



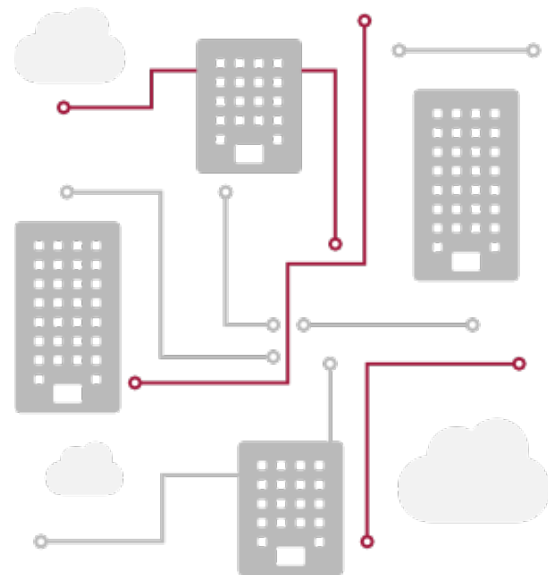
Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Wissenskapital**Energie**
GmbH



INTELLIGENTE FERNWÄRMENETZE

DATENBASIERTE OPTIMIERUNG VON WÄRMENETZEN

- ERGEBNISDARSTELLUNG FÖRDERPROJEKT EINSPARZÄHLER -

Inhaltsverzeichnis

Intelligente Fernwärmenetze	- 4 -
Noda Heat Network	- 5 -
Dynamische Steuerung der Vorlauftemperatur	- 6 -
Funktionsweise	- 7 -
Die Vorteile von NODA DST	- 9 -
Nachfrageseitiges Lastmanagement	- 10 -
Funktionsweise	- 10 -
Die Vorteile von NODA DSM	- 12 -
Datenbasierte Analyse des Fernwärmenetzes	- 13 -
Funktionsweise	- 14 -
Die Vorteile von NODA DSM	- 15 -
Case-Studies	- 16 -
Westdeutscher Fernwärmeanbieter	- 16 -
Projektumfang	- 16 -
Projektergebnis	- 16 -
Südwestdeutsches Industrieunternehmen	- 21 -
Zielsetzung des Kunden	- 22 -
Projektstand bei Ablauf des Förderzeitraums	- 22 -
Anhang	- 28 -
Messkonzept	- 28 -
Installation des Einsparzählers	- 29 -
Ermittlung der Baseline & Methodik zur Berechnung der Einsparung	- 30 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Grundbegriffe eines intelligenten Systems	- 4 -
Abbildung 2:	Systemüberblick Noda Heat Network	- 5 -
Abbildung 3:	Gesamtlösung NODA SmartHeatGrid	- 6 -
Abbildung 4:	Visualisierung der Datenanalyse	- 7 -
Abbildung 5:	Visualisierung Systemtemperaturen vs. Außentemperatur	- 8 -
Abbildung 6:	Visualisierung verschiedener Modellierungen Vorlauf-temperatursteuerung	- 8 -
Abbildung 7:	Visualisierung der Vorlauf-temperaturreduktion zwischen 16.00 und 4.00 h	- 9 -
Abbildung 8:	Visualisierung von Daten mit NODA EnergyView	- 10 -
Abbildung 9:	Visualisierung unterschiedlicher Auslöser für DSM	- 11 -
Abbildung 10:	Schematische Darstellung der Funktionsweise für Nachfrageseitiges Lastmanagement	- 12 -
Abbildung 11:	Visualisierung Effizienz von Übergabestationen	- 13 -
Abbildung 12:	Heatmap-Analyse Mehrdimensionale Visualisierung von Rücklauf-temperatur und Volumensfluss	- 14 -
Abbildung 13:	Lage und Bauart der Liegenschaften H & S Projekt FWVU Pilotphase I	- 16 -
Abbildung 14:	Lastspitzenkappung mit NODA DSM H 11	- 17 -
Abbildung 15:	Spreizung VL-Temperatur und RL-Temperatur H 11	- 18 -
Abbildung 16:	Mittelwerte VL-Temperatur und RL-Temperatur H 11	- 18 -
Abbildung 17:	Volumensfluss H 11	- 19 -
Abbildung 18:	Mittelwerte Volumensfluss H 11	- 19 -
Abbildung 19:	Relativer Overflow Gebäude Industriekunde Baden-Württemberg	- 22 -
Abbildung 20:	Absoluter Overflow Gebäude Industriekunde Baden-Württemberg in MWh	- 23 -
Abbildung 21:	Verfügbare Flexibilität der Gebäude in %	- 23 -
Abbildung 22:	Verfügbare Flexibilität der Gebäude in MWh	- 24 -
Abbildung 23:	Schematische Darstellung der Ermittlung der Energiesignatur	- 29 -
Abbildung 24:	Schematische Darstellung einer Installation	- 29 -

Abkürzungsverzeichnis

C	Celsius
DDA	Data Driven Analytics / Datenbasierte Netzanalyse
DSM	Demand Side Management / Nachfrageseitige Laststeuerung
FWVU	Fernwärmneversorgungsunternehmen
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
IoT	Internet of Things
KI	künstliche Intelligenz, selbstlernen Algorithmen
KW	Kilowatt
KWh	Kilowattstunde
LTE	Long Term Evolution Mobilfunkstandard (4G)
m ³	Kubikmeter
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
NA	NODA Analytics
NODA	NODA Intelligent Systems AB
RLp	primärer Rücklauf
RLs	sekundärer Rücklauf
SHG	Smart Heat Grid / Intelligentes Fernwärmenetz
SSM	Supply Side Management / Dynamische Anpassung primären Vorlauftemperatur
VL	Vorlauf
WKE	Wissenskapital Energie GmbH

Intelligente Fernwärmenetze

Ein „Smart-Grid“ wird als ein Netz definiert, das Informations- und Kommunikationstechnologie einsetzt, um Betriebsdaten eines Energienetzes zu sammeln und darauf zu reagieren. Der Einsatz dieser Technologien soll es ermöglichen, ein Netz effizienter zu betreiben, Energie zu sparen und die Voraussetzungen für nachhaltigere Energiesysteme zu schaffen. Smart-Grid-Technologie ist ein wesentlicher Teil einer nachhaltigen Zukunft, da viele der zunehmend im individuellen Energiemix eingesetzten umweltfreundlichen Energiequellen schwieriger zu handhaben sind als fossile Brennstoffe. Wind- und Solarkraft z.B. sind fluktuierende Energiequellen, die aufgrund ihrer schweren Vorhersehbarkeit erhebliche betriebliche Herausforderungen verursachen.

Ein Fernwärmesystem ist im Grundsatz eine Ansammlung interaktiver oder separater Regelkreis-Rückkopplungssysteme. Um ein derartiges System „intelligent“ zu machen, müssen alle Komponenten dieses Regelkreises berücksichtigt werden. Diese gibt es sowohl auf der lokalen Verbraucherebene als auch auf der systemweiten Produktions- und Vertriebssebene, und sie werden innerhalb des Prozesses ständig wiederholt.

Jede dieser Komponenten lässt sich auf die drei Grundbegriffe dE abbilden, die ein intelligentes System ausmachen:

- Die Fähigkeit die Systemumwelt zu erfassen (Messbarkeit)
- Die Fähigkeit auf Grundlage des erfassten Inputs fundierte Schlussfolgerungen zu ziehen (Analyse)
- Die Fähigkeit auf Grundlage dieser Schlussfolgerungen zu handeln (Aktion)

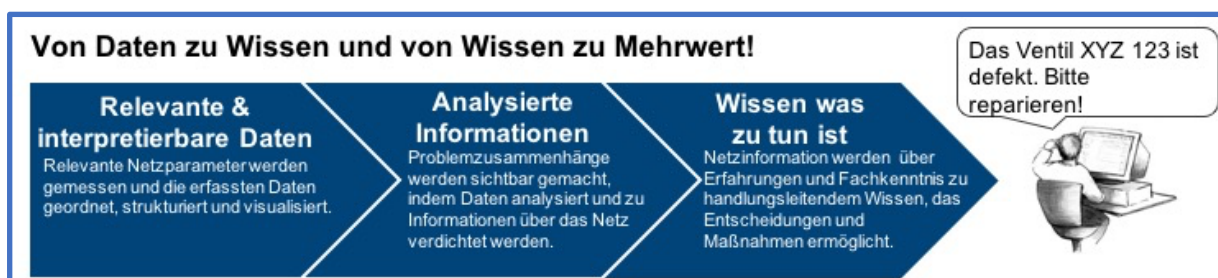


Abb. 1: Grundbegriffe eines intelligenten Systems

Es ist jedoch noch immer üblich, Energiesysteme allein aufgrund der bloßen Existenz von fernauslesbaren Messgeräten als smart oder intelligent zu bezeichnen, obwohl ein solches System kaum den ersten der drei Grundbegriffe eines „smarten“ Kreislaufs umfasst.

Um ein System zu implementieren, das in der Lage ist, alle drei Grundbegriffe des beschriebenen Erkenntnis-Kreislaufs zu erfüllen, ist für Fernwärmesysteme ein dezentraler Multi-Agenten-Ansatz geeignet, da die meisten dieser Systeme aus geographisch verteilten autonomen Einheiten bestehen, die auf unterschiedliche Weise interagieren.

Darüber hinaus bringt das Verteilmedium Wasser bzw. Dampf zeitabhängige Einschränkungen für das System mit sich: Im Gegensatz zu Elektrizität bewegt sich Wasser stark zeitverzögert durch das Netz. Das führt dazu, dass die Verteilung der Wärme in einem Fernwärmenetz je nach geografischer Lage der Verbraucher in Bezug auf die Produktionsanlagen mehrere Stunden dauern kann. Die komplexe Kombination von räumlich verteilten Hardware-Knoten mit unterschiedlichen Anforderungen und inhärenter Zeitabhängigkeit verstärkt die Notwendigkeit einer dezentralen Betrachtungsweise, bei der Berechnungen auf Grundlage der Daten mehrerer räumlich verteilter Agenten ausgeführt werden müssen. Darüber hinaus bestehen Fernwärmesysteme aus einer

Vielzahl von Verbrauchern und Erzeugern, die nicht alle ihre betrieblichen und finanziellen Informationen teilen wollen, nur um einen optimalen Netz-Zustand zu erreichen.

Der häufigste Ausgangspunkt für Digitalisierungsüberlegungen ist der Bedarf, Zählerablesungen schneller und effizienter zu gestalten. Dies ist jedoch zu kurz gedacht. Fragen, die sich auf dem Weg zur digitalen Netzoptimierung stellen, sind die nach den Herausforderungen, denen sich der Fernwärmeversorger aktuell gegenüber sieht und natürlich die möglichen künftigen Risiken. Hieraus leiten sich Art, Umfang und Frequenz der zu erhebenden Daten sowie die erforderlichen und sachgerechten analytischen Schritte ab, die zu handlungsleitendem Wissen verdichtet werden und so zur wertvollen Entscheidungsgrundlage werden. Unkoordiniertes Datensammeln führt schon in kleineren Wärmenetzen in der Regel zu erdrückenden Datenlawinen. Die zeitnahe Auslesung des Wärmemengenzählers einer Liegenschaft im 5-Minuten-Takt lässt das Datenvolumen von 1 auf rund 105.000 Daten pro Jahr anwachsen. Abhängig von Anzahl der Kunden und der erhobenen Daten kommen leicht hunderte Millionen Daten und mehr in einem Netz zusammen.

WKE bietet gemeinsam mit Ihrem Technologie-Partner NODA diejenigen Technologien und digitalen Werkzeuge, auf die es bei der Digitalisierung der Fernwärmenetze der Zukunft ankommt. Die Herausforderung besteht jedoch darin, diese Technologien und Werkzeuge auf die spezifisch-individuellen Anforderungen abzustimmen und im Verteilnetz zu implementieren.

NODA Heat-Network

Ein Fernwärmenetz ist von Natur aus bedarfsgetrieben. In der Regel kann der Netzbetreiber jedoch nur die Wärmeinspeisung auf Grundlage statischer Steuerungsparameter regeln. Großes Optimierungspotential liegt daher in der Einbindung der Nachfrageseite in das Netzmanagement.

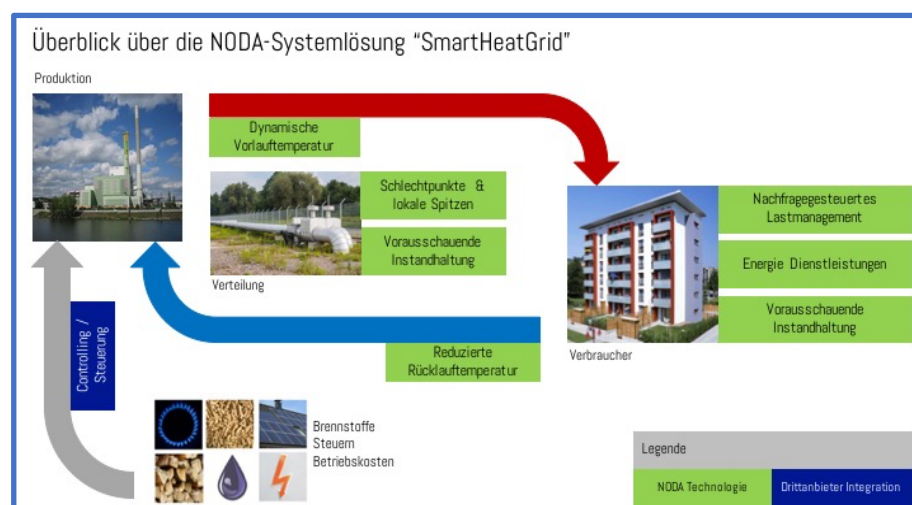


Abb. 2 Systemüberblick Noda Heat Network

Die NODA Technologie verbindet diese beiden Teilbereiche und stellt dem Netzbetreiber ein Werkzeug zur effizienten auf das jeweilige Wärmenetz abgestimmten dynamischen Steuerung von Angebot und Nachfrage zur Verfügung.

NODA Heat Network ist eine Komplettlösung für die Wärmenetzoptimierung, die folgende Lösungspakete beinhaltet:

- Dynamische Regelung der Vorlauf-temperatur (DST)
- Nachfrageseitiges Lastmanagement (DSM)
- Datengestützte Netzanalyse (DDA)

Das NODA-System ist nahtlos in bestehende IT-Systeme integrierbar und kann mit nahezu jedem aktuellen Datenmanagementsystem koexistieren. Für das nachfrageseitige Lastmanagement und die Integration von Energiedienstleistungen (z.B. an Übergabestationen) ist das NODA-System mit den meisten Reglern wie z.B. Siemens, Honeywell, Danfoss, Schneider Electric u.v.a.m. kompatibel. NODA Heat Network ist selbstverständlich vollständig kompatibel mit anderen NODA-Lösungen zur Gebäudeoptimierung und KI-gesteuerten Netz-Analysen.

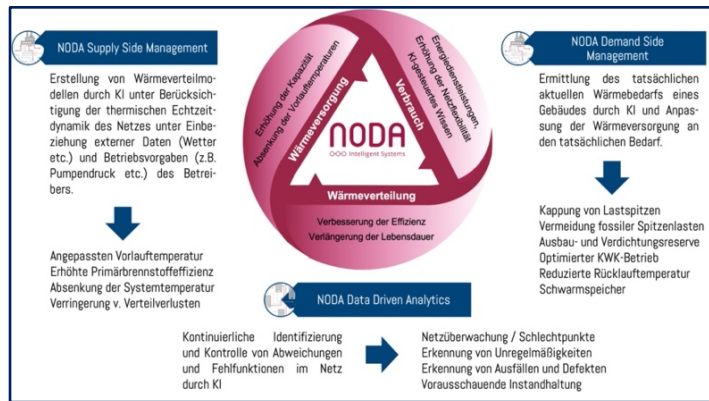


Abb. 3 Gesamtlösung NODA SmartHeatGrid

Entscheidend ist zudem, dass die NODA Technologie keinen Lock-in-Mechanismus beinhaltet. Das System kann nach Bedarf konfiguriert und erweitert werden und passt sich den Anforderungen jedes spezifischen Fernwärmenetzes an. Natürlich kann der Einsatz auch jederzeit beendet und das Wärmenetz auf die bisherigen Steuerungsmechanismen zurückgesetzt werden.

Fernwärmeversorger haben durch den Betrieb eines "Smart Heat Grid" die einmalige Chance eine aktive Rolle einzunehmen, wenn es darum geht Daten in Informationen, Informationen in Wissen und Wissen in Entscheidungen zu überführen, die Mehrwerte für das Unternehmen generieren.

Der erforderliche Hardware-Installationsaufwand (wenn überhaupt) ist begrenzt und nicht invasiv. Wenn in einem bestimmten Wärmenetz bereits ein Datenerfassungs- und -managementsystem verwendet wird, besteht möglicherweise überhaupt kein Bedarf an Hardware. In jedem Fall ist die Integration mit dem NODA-System einfach und kosteneffizient, und das NODA-System ist mit den meisten verfügbaren Steuerungs- und Überwachungssystemen kompatibel. NODA hilft Ihnen, aus Technologie-Silos auszubrechen und jegliche Lock-in-Mechanismen zu vermeiden.

DST arbeitet über die NODA-Datenmanagement-Plattform, die eine sichere Kommunikation mit modernster Verschlüsselungs- und Authentifizierungstechnologie gewährleistet

Dynamische Steuerung der Vorlauftemperatur

Die Regelung der Vorlauftemperatur ist die offensichtliche Möglichkeit für einen Wärmenetzbetreiber, die Versorgung in seinem Netz zu steuern. In der Regel geschieht dies mit statischen Einstellungen, die die Vorlauf-temperatur in Bezug auf die aktuelle Außentemperatur regeln. In einigen Fällen gibt es keine richtige Regelung, sondern lediglich eine manuelle Verschiebung der Temperaturniveaus im Laufe der Heizperiode. In den meisten Fällen lassen übliche Regelungsstrategien erheblichen Spielraum für Optimierungen durch die Berücksichtigung der tatsächlichen Echtzeitdynamik des Bedarfs. In der Praxis bedeutet dies, dass viele Wärmenetze weniger optimal gesteuert werden als die Gebäude, die sie mit Energie versorgen.

Die dynamische Steuerung der Vorlauftemperatur (DST) nutzt datenbasierte Analysen zur Erstellung selbstlernender Modelle, die die Vorlauftemperatur kontinuierlich mit den tatsächlichen Betriebsanforderungen im gesamten Netzwerk in Beziehung setzen. Selbstlernende Algorithmen (KI) erfassen die Dynamik des Wärme-

netzes, um thermische Verteilmodelle unter Berücksichtigung der thermischen Echtzeitverzögerung im Netz zu erstellen. Diese Modelle ermöglichen es, die eingespeiste Last in das Wärmenetz dynamisch auf den tatsächlichen Wärmebedarf abzustimmen, um die Effizienz der Produktion erheblich zu steigern. Im Ergebnis können so z.B. KWK-Anlagen optimiert, Verteilverluste reduziert und die Systemtemperaturen insgesamt abgesenkt werden.

NODA DST berücksichtigt kontinuierlich die tatsächliche Echtzeitdynamik des Bedarfs, um optimale Vorlaufemperaturpläne zu erstellen. Diese Pläne können dann zur Entscheidungsunterstützung oder zur direkten Steuerung verwendet werden.

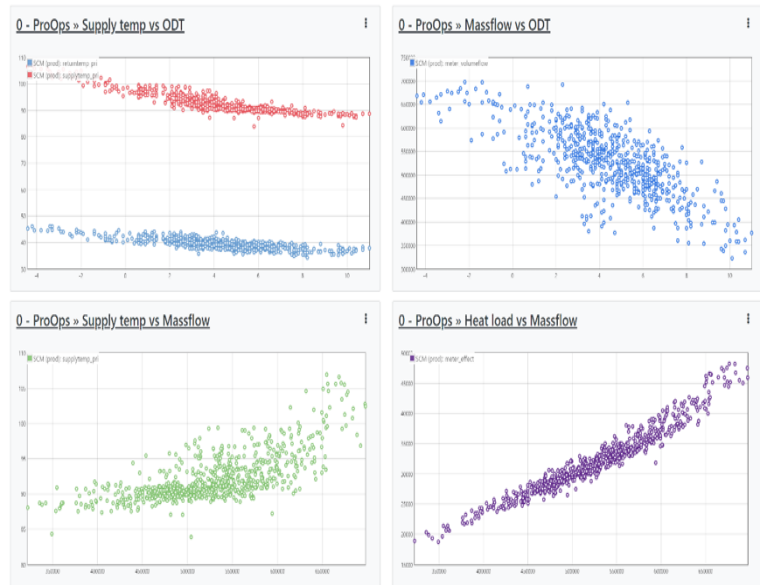


Abb. 4 Visualisierung der Datenanalyse

Ergebnisse einer Optimierung durch DST sind u.a.:

- Absenkung der primären Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur
- Erhöhung der Primärbrennstoffeffizienz
- Weniger Starts und Stopps von Produktionseinheiten führen zu Einsparungen und geringerem Verschleiß von Einheiten
- Niedrigere CO₂-Emissionen bei Wärmeproduktion mit fossilen Brennstoffen
- Verbesserte Berücksichtigung von Übertragungsbeschränkungen im Netz
- Weniger Schwankungen im Wasserfluss im Netz durch stetige Anpassung der Vorlauftemperatur an die jeweils aktuelle Zeitverzögerung im Netz.

Funktionsweise

Die dynamische Steuerung eines Fernwärmenetzes kann aufgrund der hohen Anzahl interagierender Komponenten äußerst komplex sein. Ein Fernwärmenetz besteht regelmäßig aus mehreren Produktionsanlagen und einer Vielzahl von Verbrauchsstellen, miteinander verbunden über kilometerlange Verteilnetze. Zudem ist die Last eines Fernwärmenetzes aufgrund der wechselhaften Nachfrage der Kunden oftmals großen Schwankungen unterworfen. Im Regelbetrieb erfolgt die Einspeisung der Wärme in das Leitungsnetz normalerweise mit konstanten Temperaturen und Drücken. Die notwendige Anpassung der Erzeugungsleistung / Einspeisung an einen schwankenden Wärmebedarf innerhalb einer Periode geschieht bislang vornehmlich auf Basis von Erfahrungswerten und erprobten Routinen. Fortschreitende Dezentralisierung der Netze mit räumlich verteilten Einspeisepunkten - auch aus temporären oder inkonstanten Quellen - führt zwangsläufig zu komplexeren und dynamischeren Lastverläufen. Ungenaue Abschätzung von Wärmenachfrage und Netzzustand erzeugen Unsicherheiten und erfordern höhere Sicherheitsmargen. Zur Sicherstellung der Versorgung wird häufig eine deutlich zu hohe Leistung in ein Fernwärmenetz eingespeist. Die Folge ist eine negative Auswirkung auf die Effizienz des Fernwärmenetzes.

Exakte Prognosen zum Verhalten eines Wärmenetzes sind erforderlich, um die Betriebsmittel eines Fernwärmeheizkraftwerkes optimal einzusetzen, den Primärenergieverbrauch zu verringern und fossile Zusatzfeuerungen zu minimieren. DST stellt dem Netzbetreiber Steuerungsempfehlungen für die Vorlauftemperatur unter Berücksichtigung des Betriebsverhaltens des Verteilnetzes und der zu erwartenden Echtzeit-Dynamik der Wärmefachfrage zur Verfügung. Alle wesentlichen wirtschaftlichen Faktoren eines Fernwärmenetzes werden in der Modellierung berücksichtigt, um einen wirtschaftlich optimierten Betrieb des Netzes zu erreichen:

- Wärmespeicherung im Netz
- Zeitverzögerungen im Netz
- Wärmeverluste
- Übertragungsbeschränkungen wie Schlechtpunkte und Flaschenhalse etc.

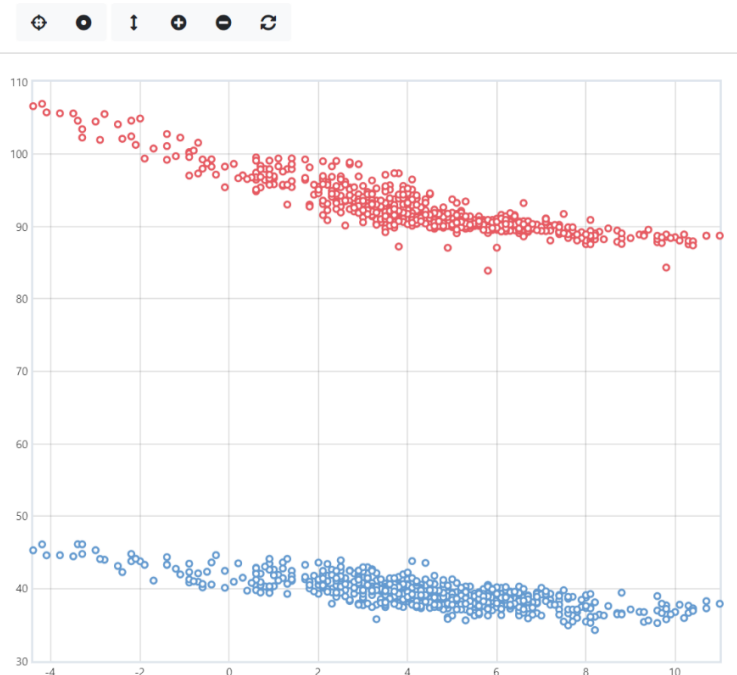


Abb. 5 Visualisierung Systemtemperaturen vs. Außentemperatur

NODA DST sammelt Wärmezählerdaten von ausgewählten Übergabestationen in den Wärmenetzen, die von selbstlernenden KI-Algorithmen verwendet werden, um Wärmeverteilmodelle zu erstellen, um die thermische Echtzeitverzögerung innerhalb des Wärmenetzes zu erfassen. In ähnlicher Weise wird die KI-Technologie auf Daten aus den Produktionsanlagen angewendet, wie z. B. Temperaturen, Druckniveaus und Wärmelast. Darüber hinaus kann das System auch externe Daten wie Stromspotpreise und Wettervorhersagedaten integrieren. Daten wie Differenzdruck und Pumpenarbeitslast können als zusätzliche Rahmenbedingungen eingestellt werden und ermöglichen es, das System weiter zu "pushen".

Aus diesen Daten werden Prognosemodelle erstellt, die das Betriebsverhalten des Wärmenetzes einschließlich der Kundennachfrage beschreiben und mit den finanziellen und technischen Anforderungen des Netzbetreibers in Beziehung gesetzt werden. Die Modelle werden zu Bedarfsprognosen über die Zeit im gesamten Netz weiterverarbeitet. Der so ermittelte Bedarf wird mit dem Angebot über die thermischen Verzögerungsprognosen korreliert. Sämtliche Modelle werden kontinuierlich aktualisiert, um stets die bestmöglichen Vorhersagen zu gewährleisten und Input für Auswertung und Nachverfolgung zu liefern.

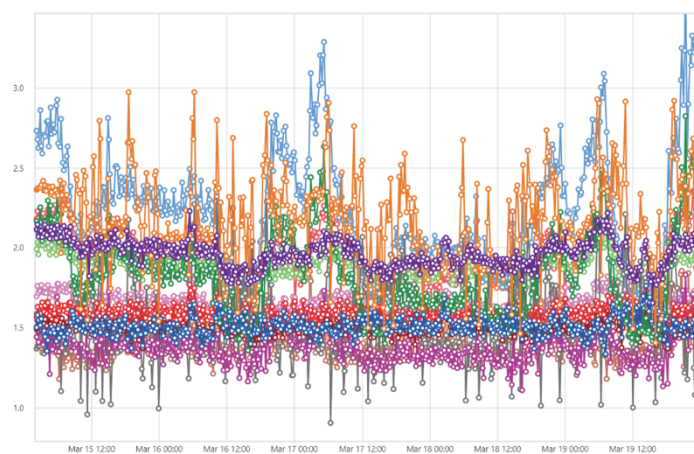


Abb. 6 Visualisierung verschiedener Modellierungen Vorlauftemperatursteuerung

Die Ausgabe des Systems sind Offsets zur normalen Vorlauftemperatur und absolute alternative Vorlauftemperaturen. Diese können so konfiguriert werden, dass sie entweder nur als Entscheidungshilfe oder als aktiver Input für die Vorlauftemperaturregelung über das SCADA-System auf sichere Weise verwendet werden.

Die Vorteile von NODA DST

Jedes Wärmenetz ist spezifisch. Untersuchungen zeigen jedoch, dass mit fortschrittlicheren Regelungsverfahren die Temperaturen in den meisten Netzen im Durchschnitt um mehrere Grad reduziert werden können. Im Ergebnis zeigen sich wirtschaftliche, technische und ökologische Vorteile. Z.B. ermöglicht es die dynamische Steuerung der Vorlauftemperatur den Betrieb von KWK-Anlagen zu optimieren, da die Stromerzeugung im Verhältnis zur Wärmelast prognostiziert werden kann, erneuerbare Energien und Niedertemperaturquellen können leichter in den Erzeugermix integriert werden und die Absenkung der Vorlauftemperatur führt zu reduzierten Verteilverlusten im System. Unabhängig vom Wärmeproduktionsmix erhöht sich die Primärenergieeffizienz und CO₂-Emissionen werden reduziert.

Viele Wärmenetzbetreiber sind heute bestrebt, die Systemtemperaturen ihrer Netze zu absenken, um erneuerbare Energien und Niedertemperatur - Überschusswärme und Hybrid-systeme einschließlich Wärmepumpen in ihre Netze zu integrieren. Die Absenkung der Vorlauftemperatur ist ein erster und wichtiger Schritt.

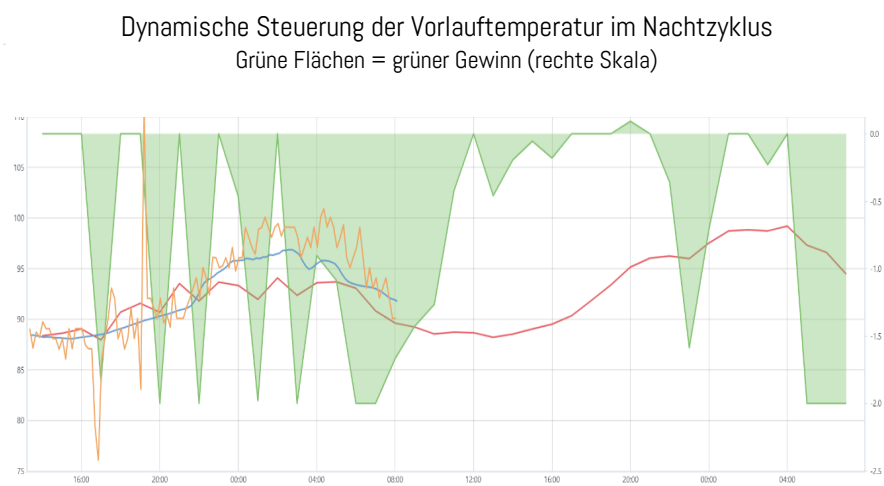


Abb. 7 Visualisierung der Vorlauftemperaturreduktion zwischen 16.00 und 4.00 h

Datengesteuerte, selbstlernende Modelle machen die dynamische Steuerung der Vorlauftemperatur sehr viel einfacher. Es besteht keine Notwendigkeit für tiefgreifende White-Box-Modellierung von Rohrleitungsnetzen und ähnliche zeitaufwendige (und teure) Bemühungen. Das Wissen ist in den Daten bereits versteckt. DST macht sich die jüngsten Fortschritte in der Digitalisierung zunutze, indem es automatisch die benötigten Informationen aus leicht zugänglichen Datenpunkten sammelt.

DST ist Teil der NODA-Wärmenetztechnologie und lässt sich nahtlos mit anderen NODA-Lösungen integrieren.

In Kombination mit nachfrageseitigem Lastmanagement (DSM) lässt sich durch Ausnutzung der thermischen Flexibilität angeschlossener Liegenschaften das Optimierungspotenzial zu erhöhen.

Die Kombination von Vorlauf- und Rücklauf-temperaturoptimierung bietet eine Möglichkeit zur vollständigen Kontrolle der Systemtemperaturen innerhalb eines Wärmenetzes und ist der Kernanforderung für moderne Niedertemperaturnetze.

Über das Angebot von Energiedienstleistungen lassen sich Interaktionen mit den Kunden intensivieren indem sie in die Lage versetzt werden, ihre Liegenschaft besser zu bewirtschaften. DST interagiert nahtlos mit aktiven Energiedienstleistungen von NODA, wie z.B. Heat Control, Tariff Control und Climate Control

In Wärmenetzen werden zunehmend intelligente Zähler eingesetzt, mit denen eine große Menge an Daten gesammelt werden können. Mit der Datengestützten Netzanalyse von NODA (DDA) durch selbstlernende Algorithmen können diese für vorausschauende Wartung oder der Erstellung von Inhalten für die Kundenkommunikation ausgewertet werden.

Nachfrageseitiges Lastmanagement

Ein Fernwärmesystem ist von Natur aus nachfragegetrieben. Der Netzbetreiber kann traditionell jedoch nur die Versorgung regeln, und dann auch nur in Bezug auf statische Regelparameter. Demgegenüber ist es jedoch ungewöhnlich, dass der Betrieb einer Übergabestation vom Betreiber eines Fernwärmenetzes überwacht oder gesteuert werden kann. Die Betriebsstrategien eines Fernwärmenetzes beschränken sich daher in der Regel darauf, allen Kunden einheitlich ausreichend hohe Temperaturen und Drücke zur Verfügung zu stellen, ohne die Möglichkeit zu haben, das System als Ganzes zu optimieren. Ein Fernwärmesystem ohne übergreifendes Regelsystem besteht im Wesentlichen nur aus einer Anzahl völlig eigennütziger und autonomer Einheiten, d.h. Übergabestationen, die nur zur Erfüllung ihrer eigenen Ziele (ausreichend warmes Brauchwasser und Innentemperatur) arbeiten, ohne jegliche Rücksicht auf die Gesamteffizienz des Systems oder den Sollzustand anderer Einheiten im Netz. Strategien des nachfrageseitigen Lastmanagements sollen demgegenüber einen möglichst netzoptimalen Ausgleich herbeiführen. Sie zielen z.B. darauf ab, die Struktur des Lastprofils durch die Kappung von Lastspitzen, Lastverschiebungen und der Energiespeicherung zu verändern, ohne dabei den Komfort des Endnutzers negativ zu beeinflussen. Der Einsatz des nachfrageseitigen Lastmanagements versetzt den Netzbetreiber im Ergebnis z.B. in die Lage, teure fossile Spitzenlasten zu reduzieren, Grundlasten auszugleichen, die Nachfrage mit Markt- oder Grenzproduktionspreisen zu synchronisieren oder Rücklaufemperaturen aktiv zu senken. Der Return on Investment beträgt oft nur 2-4 Jahre, je nach den Besonderheiten des spezifischen Wärmenetzes und der vom Wärmenetzbetreiber definierten Anwendungsstrategie.

Funktionsweise

Nachfrageseitiges Lastmanagement verwendet selbstlernende Algorithmen für Bedarfsmodellierungen auf Gebäudeebene, um Nachfrage- und Antwortsignaturen jedes Konsumenten zu erstellen. Diese Komplexität wird innerhalb des Systems verwaltet, während der Netzbetreiber die thermische Flexibilität, die das System durch kommunikative Vernetzung einer beliebigen Anzahl von Gebäuden nutzt, problemlos voll ausnutzen kann. Dabei ist die uneingeschränkte Aufrechterhaltung der Qualität der für jeden Wärmekunden erbrachten Dienstleistungen die wichtigste Bedingung. Eine Beeinträchtigung dieser Grundbedingung würde die Zuverlässigkeit der Wärmelieferung untergraben. Grundbedingung für nachfrageseitige Laststeuerung ist daher, dass für Endkunden kein Unterschied zwischen Intervallen mit aktiver direkter Nachfragesteuerung und Intervallen ohne externe Systemsteuerung feststellbar ist. Nachfrageseitige Laststeuerung (DSM) nutzt die Daten der

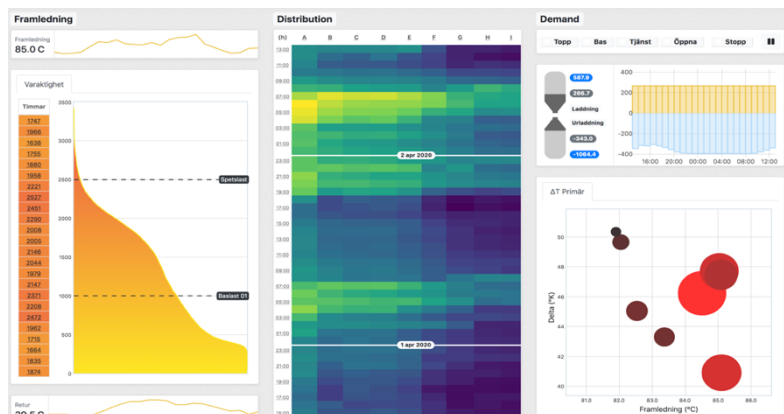


Abb. 8: Visualisierung von Daten mit NODA EnergyView

Wärmemengenzähler (Außentemperatur, Vor- und Rücklauf­temperatur primär und sekundär, Volumen und Volumensfluss primär, Last und Verbrauch) für datenbasierte Analysen zur Erstellung selbstlernender Modelle, die die thermische Flexibilität (Wärmesignatur des Gebäudes) errechnen und jeweils dE aktuelle Bedarfsdynamik bestimmen. Das Nachfrageseitige Lastmanagement verändert dynamisch die Nachfragegrenzen des Gebäudes, indem es die Nachfrage tatsächlich steuert. Das System setzt die Nachfrage aktiv mit den betrieblichen Anforderungen auf Produktions- und Vertriebsebene in Beziehung. So schafft das Nachfrageseitige Lastmanagement ein Gleichgewicht zwischen der Notwendigkeit, eine Laststeuerung durchzuführen, und der Notwendigkeit, die gelieferte Servicequalität sicherzustellen. Dieses Gleichgewicht wird durch eine Reihe von Modulen auf der Netzebene einerseits und den Modulen auf der Gebäudeebene andererseits sichergestellt, die auf verschiedenen Arten datengesteuerter, selbstlernender KI-Funktionalitäten basieren.

Verschiedene Arten von Prognosetechnologien wie baumbasierte Regression und neuronale Netze werden eingesetzt, um Vorhersagen in Bezug auf Wärmebedarf und Temperaturniveaus zu erstellen. Diese werden genutzt, um ein optimales Nachfrageprofil unter Berücksichtigung von Produktion und Verteilung zu erstellen. Anschließend wird dieser Plan auf Netzwerkebene zerlegt und die Steuerungsbefehle an die relevanten Gebäudedeckungspunkte übermittelt. Ein separater Agent stellt sicher, dass die Qualität der Dienstleistung für jedes einzelne Gebäude gewährleistet ist, dem Gesamtsystem die vorhandene thermische Flexibilität zur Verfügung gestellt wird und dem Gebäude jederzeit die erforderliche Wärmemenge erhält.

Das Nachfrageseitige Lastmanagement kann je nach den Anforderungen des jeweiligen Wärmenetzes auf viele unterschiedliche Arten eingesetzt werden. Zu den häufigsten Anwendungen gehören die Reduzierung der Spitzenlast und der Ausgleich des Nachfrageprofils. Die Spitzenlastreduzierung kann reaktiv oder proaktiv oder eine Kombination aus beidem ausgelöst werden. Ein gängiges Beispiel ist die Verwendung des Differenzdrucks als reaktiver Auslöser für das System. Ein weiterer reaktiver Auslöser könnte die Aktivität von Spitzenlastkesseln sein. Beim Bedarfsprofilausgleich wird normalerweise eine proaktive Planung auf der Grundlage von Wärmebedarfsprognosen verwendet. Durch die Reduzierung von Spitzenlasten und das Füllen von Tälern im Profil ist es möglich, das Nachfrageprofil zu ändern, ohne die gelieferte Wärmemenge zu reduzieren.



Abb. 9: Visualisierung unterschiedlicher Auslöser für DSM

Andere gängige Anwendungen sind z.B. die aktive Regelung der Rücklauf­temperatur zugunsten von Rauchgas­kondensatoren, oder die kommunikative Vernetzung mehrerer Gebäude als virtueller „Schwarmspeicher“ zur Erweiterung der Kapazität ihres physischen Gegenstücks (oder als Brückentechnologie während Planungs- und Bauphasen) oder als "Aufhängesystem" für andere Teile des NODA-Systems wie die Dynamische Steuerung der Vorlauf­temperatur. Unterschiedliche Regelstrategien des Nachfrageseitigen Lastmanagement können mit entsprechender Priorisierung des Strategieeinsatzes auch miteinander kombiniert werden. Darüber hinaus

kann das Demand Side Management immer manuell über das NODA EnergyView-System oder über ein integriertes SCADA-System geplant werden.

Die Vorteile von NODA DSM

Nachfrageseitiges Lastmanagement kann auf viele verschiedene Arten eingesetzt werden, je nach den Anforderungen des jeweiligen Wärmenetzes. Zu den häufigsten Anwendungen gehören die Reduzierung der Spitzenlast und der Ausgleich des Nachfrageprofils. Die Spitzenlastreduzierung kann reaktiv oder proaktiv oder durch eine Kombination aus beidem ausgelöst werden. Ein gängiges Beispiel ist die Verwendung des Differenzdrucks als reaktiver Auslöser für das System. Ein weiterer reaktiver Auslöser könnte die Aktivität von Spitzenlastkesseln sein. Beim Bedarfsprofilausgleich wird normalerweise eine proaktive Planung auf der Grundlage von Wärmebedarfsprognosen verwendet. Durch die Reduzierung von Spitzenlasten und das aktive Laden von Gebäuden (Füllen von Tälern im Profil) ist es möglich, das Nachfrageprofil zu ändern, während immer noch die gleiche Energiemenge geliefert wird.

Grundsätzlich unterstützt DSM den Netzbetreiber bei:

- der Reduzierung des Einsatzes wirtschaftlich und ökologisch kostspieliger fossiler Brennstoffe
- der Erhöhung der Primärbrennstoffeffizienz durch geringere Verteilungsverluste
- der Verringerung der Betriebskosten des Kesselmanagements durch Reduzierung der Starts und Stopps
- der Erhöhung der Einnahmen aus der Kraft-Wärme-Kopplung durch dynamische Anpassung der Nachfrage an den Spot-Preis-Markt
- der Optimierung der Verteilung durch lokales Nachfragemanagement an engen Abschnitten im Wärmenetz (Flaschenhälsen).
- Absenkung der Rücklaufemperatur
- Das nachfrageseitige Lastmanagement kann vom Netzbetreiber im Schadensfall aktiv eingesetzt werden, um die Versorgung kritischer Infrastruktur zu priorisieren und eine bessere Versorgung nachrangiger Verbraucher zu ermöglichen.

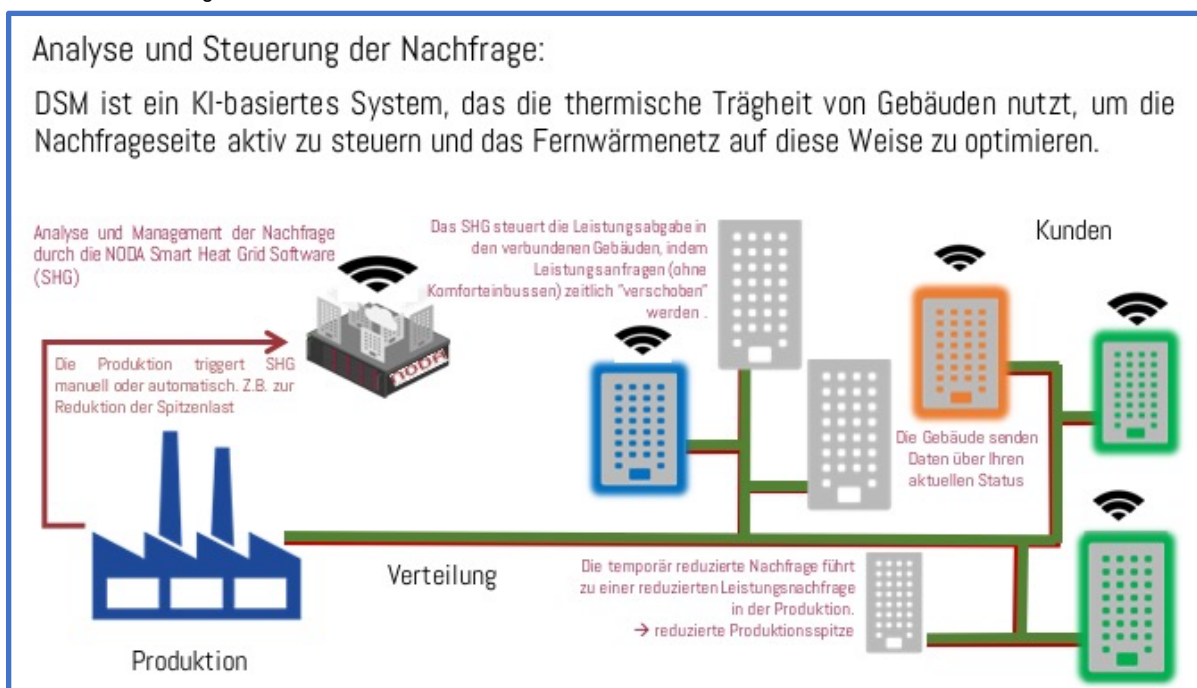


Abb. 10: Schematische Darstellung der Funktionsweise für nachfrageseitiges Lastmanagement

Die Regelstrategien des DSM können auf verschiedene Weise miteinander kombiniert und priorisiert werden. Darüber hinaus kann das DSM immer manuell über das NODA EnergyView-System oder über ein integriertes SCADA-System geplant werden. NODA ist im Allgemeinen nicht von spezifischen Automatisierungs- und Kommunikationssystemen abhängig, was sicherstellt, dass ein Lock-in-Mechanismus vermieden wird, und gleichzeitig volle Flexibilität innerhalb jedes Wärmenetzes bietet.

Datenbasierte Analyse des Fernwärmenetzes

Messdaten von Wärmezählern werden in der Regel primär zu Abrechnungszwecken verwendet. Dieselben Daten lassen sich jedoch auch für tief gehende Analysen des Netzes nutzen. Allerdings verfügen die meisten bestehenden Datenverwaltungssysteme der Netzbetreiber nicht über die Funktionalität, um eine solche groß angelegte Analyse durchzuführen.

Die Datenbasierte Analyse (DDA) ist als KI-basierte Plattform für fortgeschrittene datengesteuerte Analysen des NODA Heat Network, die sich unter Verwendung von Standard-API-Lösungen frei in die meisten Datenmanagementsysteme integrieren lässt.

Die Datenbasierte Analyse bietet einen strukturierten Prozess in Kombination mit einem innovativen Toolset zur kontinuierlichen Identifizierung von Abweichungen und Fehlfunktionen im Fernwärmenetz. Auf Basis dieser Erkenntnisse können Optimierungen des Wärmenetzes zielgenau geplant und durchgeführt werden. Dies ermöglicht niedrigere Rücklauftemperaturen, geringere Wärmeverluste, verbesserte Rauchgaskondensation und verbesserte Primärbrennstoffeffizienz.

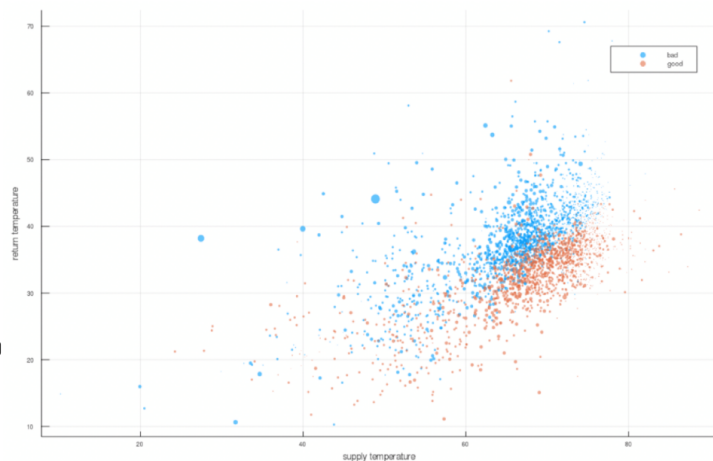


Abb. 11: Visualisierung Effizienz von Übergabestationen (Primäre Vorlauf- vs. Rücklauftemperatur / blau= ineffizient)

Risiko- und Wartungsmanagement des Wärmenetzbetreibers werden durch datenbasiertes Identifizieren von Ausfällen, Defekten und Fehlfunktionen bei Ventilen, Pumpen, Controllern, Wärmesensoren, Außentemperaturfühlern, Wärmemengenzählern etc. unterstützt. Schlechtpunktüberwachung und darauf ausgerichtete bedarfsorientierte Pumpensteuerung sowie Hinweise auf das Auftreten von Leckagen sind bei regelmäßigen Netzmonitoring möglich. Da sich Fehlfunktionen im Betrieb häufig durch schleichende Abweichungen vom Normalbetrieb ankündigen, bietet die Datengestützte Analyse einen zuverlässigen Ausgangspunkt für vorausschauende Instandhaltungsmaßnahmen und erhöht so die Ausfallsicherheit des Netzes.

Anhand der datengestützten Analyse lassen sich Indikationen im Hinblick auf das Potential des nachfrageseitigen Lastmanagements (DSM) darstellen. Aus der Wärmesignatur der Gebäude ergibt sich eine thermische Flexibilität als zusätzlicher Puffer im Netz. Daraus lassen sich konkrete Erkenntnisse für die Verschiebung von Spitzenlasten und mögliche Positiveffekte für die Wärmeproduktion wie z.B. eine effizientere Nutzung unterschiedlicher Wärmequellen unter Berücksichtigung evtl. Produktionsvorgaben des Betreibers gewinnen. Sie ist grundlegend für die bedarfsorientierte dynamische Steuerung der primären Vorlauftemperatur (DST).

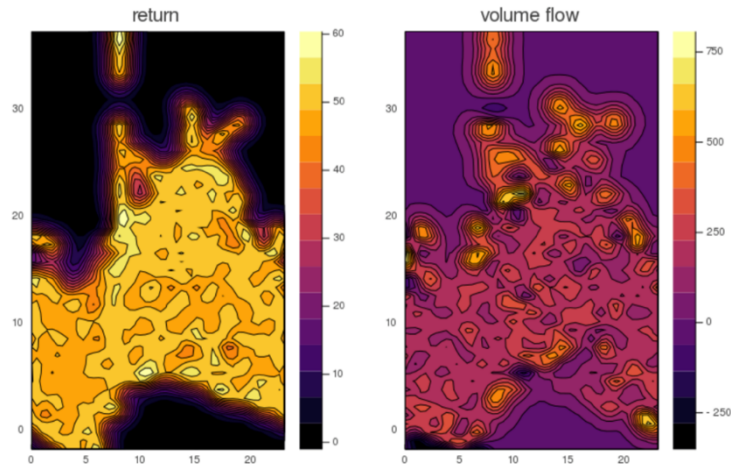


Abb. 12: Heatmap-Analyse
Mehrdimensionale Visualisierung von Rücklauf-temperatur und Volumensfluss

Der erforderliche Hardware-Installationsaufwand (wenn überhaupt) ist begrenzt und nicht invasiv. Wenn in einem bestimmten Wärmenetz bereits ein Datenerfassungs- und -managementsystem verwendet wird, besteht möglicherweise überhaupt kein Bedarf an Hardware. In jedem Fall ist die Integration mit dem NODA-System einfach und kosteneffizient, und das NODA-System ist mit den meisten verfügbaren Steuerungs- und Überwachungssystemen kompatibel. NODA hilft Ihnen, aus Technologie-Silos auszubrechen und jegliche Lock-in-Mechanismen zu vermeiden.

Die datenbasierte Analyse arbeitet über die NODA-Datenmanagement-Plattform, die eine sichere Kommunikation mit modernster Verschlüsselungs- und Authentifizierungstechnologie gewährleistet.

Wie jedes andere Modul des NODA Heat Network lässt sich die datengestützte Analyse mit allen anderen Modulen kombinieren.

Funktionsweise

Die datenbasierte Analyse basiert auf einem strukturierten Prozess, der es den Mitarbeitern ermöglicht, sich auf das Verständnis der Analyseergebnisse zu konzentrieren, anstatt die mühsame Aufgabe der Analyse selbst durchführen zu müssen. Die datenbasierte Analyse fungiert als Entscheidungsunterstützungswerkzeug, das dem Nutzer hilft, große Datenmengen zu analysieren, um relevante Informationen zu identifizieren und hervorzuheben. Diese Informationen können dann vom Bediener mithilfe der Visualisierungsunterstützung weiter analysiert werden. Wie jeder andere Teil des NODA Heat Network lässt sich die datenbasierte Analyse frei in bestehende Datenmanagementsysteme integrieren.

Die Grundlage der datenbasierten Analyse ist ein strukturierter fünfstufiger Prozess, der in den bestehenden Arbeitsprozess des Netzbetreibers integriert wird, so dass er im Laufe der Zeit immer wieder wiederholt werden kann:

- Die Vorverarbeitung stellt sicher, dass die Daten gesammelt und bereinigt werden und umfasst Identifizierung und Management von Ausreißern sowie von fehlenden Daten. Statistiken zur Datenqualität werden analysiert und präsentiert.

- Das Peer-Grouping stellt sicher, dass nicht Äpfel mit Birnen verglichen werden. Verschiedene Arten von Verbrauchersystemen verhalten sich unterschiedlich und müssen entsprechend erfasst und analysiert werden.
- Die Identifizierung verwendet dynamische Leistungsmetriken, um mögliche Fehler und Abweichungen zu erkennen.
- Sobald ein Fehler erkannt wurde, kann er durch automatische Analyse in Kombination mit visueller Entscheidungshilfe für den Bediener diagnostiziert werden.
- Durch die Quantifizierung des Nutzens der Behebung verschiedener Probleme ist es möglich, Maßnahmen entsprechend ihrer Kosteneffizienz zu priorisieren.

Die Datenbasierte Analyse ist eine vielseitige Plattform für fortgeschrittene Analysen im großen Maßstab. Sie kann auf verschiedenen Integrationsebenen eingesetzt werden, wodurch sie in den Netzbetreibern in der Regel den entsprechenden Mehrwert bietet. Analysebasierte Studien - können auf einem einmaligen Datentransfer basieren, der dann analysiert und entsprechend den tatsächlichen Anforderungen zu Berichten und Entscheidungsunterstützungsdokumentationen zusammengestellt wird. Ein einfacher und intuitiver Einstieg in die KI-basierte Analytik. Kosteneffiziente, eigenständige Messgeräte können zur Erfassung von Daten verwendet werden, die derzeit noch nicht angeschlossen sind.

EnergyView-Analytik nutzt das NODA EnergyView-System zur Präsentation von Ergebnissen aus einer Einweg-Datenübertragungsverbindung. Enthält eine Most Wanted List für Maßnahmenpriorisierung in Kombination mit einem visuellen Entscheidungsunterstützungssystem, um einen strukturierten und kontinuierlichen Prozess für die vorausschauende Wartung zu ermöglichen.

Analytik-API ermöglicht die Integration der Datenbasierten Analyse in bestehende Lösungen. Lösungsanbieter und Netzbetreiber können die Datenbasierte Analyse innerhalb ihres eigenen digitalen Ökosystems in vollem Umfang nutzen.

Die Vorteile von NODA DDA

Ein Wärmenetz kann nicht besser funktionieren, als es die am schlechtesten funktionierenden Komponenten erlauben. Die Datenbasierte Analyse bietet einen strukturierten Prozess in Kombination mit einem innovativen Toolset zur kontinuierlichen Identifizierung und Verwaltung von Abweichungen und suboptimaler Steuerung, die eine schlechte Leistung im Netz verursachen. Dies ermöglicht niedrigere Rücklauftemperaturen im Wärmenetz, was für den Betreiber durch geringere Wärmeverluste, verbesserte Rauchgaskondensation und erhöhte Primärbrennstoffeffizienz von großem Nutzen ist.

Durch die Verwendung eines strukturierten Prozesses zur Fehlererkennung ist es möglich, Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen für eine vorausschauende Wartung des Netzes zu planen und zu priorisieren. Jeder weiß, dass es besser ist, Probleme zu erkennen und zu beheben, bevor sie zu einem Schaden führen und in der Regel überaus kostspielige Sofortmaßnahmen auslösen.

Ein Kernbestandteil der datengesteuerten Analyse ist die Fähigkeit, Informationen und Wissen aus den zugrunde liegenden Daten zu extrahieren. Dies kann auch zur Erstellung von Inhalten für die Kundenkommunikation genutzt werden, da die Möglichkeit gegeben ist, jede Übergabestation kontinuierlich zu bewerten. So ist es beispielsweise möglich, die Datenbasierte Analyse als Teil eines automatisierten Helpdesks oder eines interaktiven Kundenreaktionstools zu verwenden.

Case-Studies:

Westdeutscher Fernwärmeversorger:

Das seit 2018 geführte Projekt ist auftraggeberseitig 2021 trotz zum Teil auch über den Erwartungen liegender Ergebnisse beendet worden. Die Gründe hierfür liegen in einem Managementwechsel verbunden mit erheblichen Einsparauflagen des Gesellschafters sowie einer Strategieänderung, die im Wesentlichen die Nutzung und Neuerstellung physikalischer Speicher beinhaltet.

- Projektumfang:

In G waren zum Start der ersten Pilotphase im Jahr 2018 10 Siedlungshäuser 3 unterschiedlicher



Abb. 13: Lage und Bauart der Liegenschaften H & S Projekt FWU Pilotphase I

Bauweisen und Größen in einem Umkreis von ca. 1.000 m in das Projekt einbezogen, die grundsätzlich identischen klimatischen Umwelteinflüssen ausgesetzt waren. Ziel dieser ersten Pilotphase war es, dem Auftraggeber die Grundsätzliche Wirksamkeit des NODA SHG an Gebäuden unterschiedlicher Größe und Bausubstanz. Nach der erfolgreichen Durchführung der ersten Pilotphase, die die Anforderungen des Auftraggebers im Ergebnis übertroffen hat, ist das Pilotprojekt in G im März 2019 verlängert und in den Anforderungen ergänzt worden: in der Pilotphase 2 soll die zusätzliche Aufladung von Gebäude im

Vorfeld einer Lastspitze (virtuelle Verringerung der Außentemperatur um bis zu 12° K) getestet werden. Auf diese Weise soll die Funktion von Gebäuden als im Netz vorhandene Speichermasse („Schwarspeicher“) getestet werden, um die Flexibilität des Netztes zu erhöhen, ohne das zusätzlich aufwändige Speicherkapazitäten errichtet werden müssen.

Zusätzlich sind bei dem Auftraggeber ab September 2019 zwanzig weitere Installationen in den Versorgungsgebieten E vorgenommen worden. Hierzu sind – anders als im Pilotprojekt G, wo 10 gleichartige Siedlungshäuser an einem Standort ausgewählt worden sind – 20 in Bauweise und Nutzung unterschiedliche Gebäude über das Versorgungsgebiet verteilt ausgewählt worden, um die Wirksamkeit (den Wirkungsgrad) der NSHG-Technologie gebäude- und standortunabhängig zu evaluieren. Diese Vorgehensweise soll einerseits die Grundlage für eine Priorisierung von Verbrauchern für die Skalierung, andererseits auch für eine evtl. mögliche Clusterung von Gebäudetypen bieten. Hieraus werden sich wertvolle Erkenntnisse für das Gesamtprojekt ergeben. Die Installation der SHG-Boxen durch

Mitarbeiter der des FWVU ist abgeschlossen und hat – wie bereits in G zur Aufdeckung von Hardwaremängeln geführt.

- Projektergebnis

Im Einzelnen konnte in beiden Phasen Projektes nachgewiesen werden, dass die Lastspitzenkappung in allen Gebäuden wirksam durchgeführt werden konnte und zu über den Erwartungen liegenden Ergebnissen geführt hat. Bemerkenswert war vor allem der Nachweis, dass die temporäre Unterversorgung der Gebäude im Regelfall nicht zu einem sogenannten Nachholeffekt nach Rückkehr zur „Normalregelung“ über die Außentemperaturgeführte Heizkurve geführt hat, so dass tatsächliche Energieeinsparungen erzielt worden sind, wie die nachfolgende Verlaufsgrafik der Woche 29. März 2019 – 5. April 2019 für die Liegenschaft H11 exemplarisch zeigt.

Deutlich zu erkennen ist hier die durch die gesetzten Offsets reduzierten Lasten zwischen 5.00 h und 10.00 h im Vergleich zum ungemanagten Mittwoch.

Um das Gebäude nach einer Absenkephase wieder genügend schnell aufzuheizen, wird bei der Regelung über eine Außentemperaturgeführte Heizkurve im Regelfall eine erhöhte Heizleistung abgerufen, deren notwendige erhöhte Vorlauftemperatur die Effizienz der Nachtabsenkung reduziert oder sogar eine erhöhte Energiezufuhr steuert, so dass die Heizmenge trotz der Reduktion insgesamt sogar höher liegen kann. Dem wird im Sinne des Lastmanagements vorgebeugt, indem der Ausstieg aus der Offset-Steuerung in Stufen vollzogen wird, so dass eine „Überheizung“ vermieden wird. Zusätzlich berücksichtigt das Demand Side Management den tatsächlichen, dem Betriebszustand des Gebäudes entsprechenden Wärmebedarf, der in erheblichen Umfängen durch klimatische Umwelteinflüsse, wie z.B. Sonneneinstrahlung auch an kälteren Tagen beeinflusst wird. Demgegenüber berücksichtigt ein für die Heizungssteuerung eingesetzter Außentemperaturfühler in der Regel nur die Temperatur an einem Punkt, der zur Sicherstellung des gewünschten Wärmekomforts die Umgebungstemperatur an einem Schlechtpunkt des Gebäudes aufnimmt und übermittelt.

Deutlich zu erkennen ist hier die durch die gesetzten Offsets reduzierten Lasten zwischen 5.00 h und 10.00 h im Vergleich zum ungemanagten Mittwoch.

Um das Gebäude nach einer Absenkephase wieder genügend schnell aufzuheizen, wird bei der Regelung über eine Außentemperaturgeführte Heizkurve im Regelfall

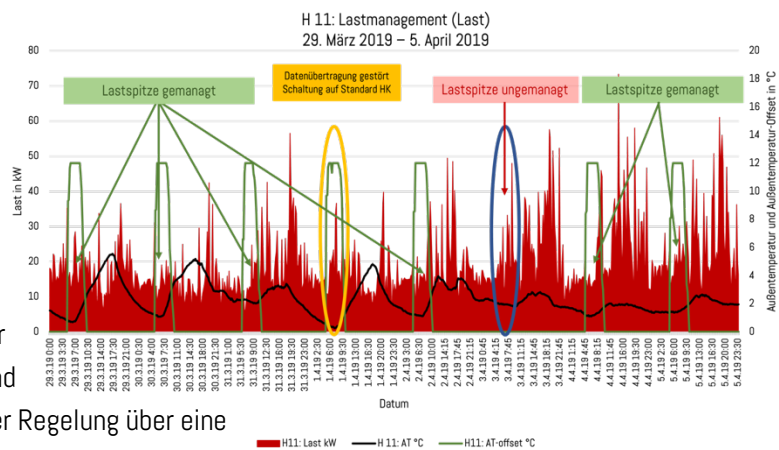


Abb. 14: Lastspitzenkappung mit NODA DSM H 11

eine erhöhte Heizleistung abgerufen, deren notwendige erhöhte Vorlauftemperatur die Effizienz der Nachtabsenkung reduziert oder sogar eine erhöhte Energiezufuhr steuert, so dass die Heizmenge trotz der Reduktion insgesamt sogar höher liegen kann. Dem wird im Sinne des Lastmanagements vorgebeugt, indem der Ausstieg aus der Offset-Steuerung in Stufen vollzogen wird, so dass eine „Überheizung“ vermieden wird. Zusätzlich berücksichtigt das Demand Side Management den tatsächlichen, dem Betriebszustand des Gebäudes entsprechenden Wärmebedarf, der in erheblichen Umfängen durch

klimatische Umwelteinflüsse, wie z.B. Sonneneinstrahlung auch an kälteren Tagen beeinflusst wird. Demgegenüber berücksichtigt ein für die Heizungssteuerung eingesetzter Außentemperaturfühler in der Regel nur die Temperatur an einem Punkt, der zur Sicherstellung des gewünschten Wärmekomforts die Umgebungstemperatur an einem Schlechtpunkt des Gebäudes aufnimmt und übermittelt.

Nachgewiesen werden konnte auch die bessere Ausnutzung der dem Gebäude zugeführten Wärme, was in eine einer größeren Differenz zwischen primärer Vorlauf- und primärer Rücklauf-temperatur zum Ausdruck kommt:

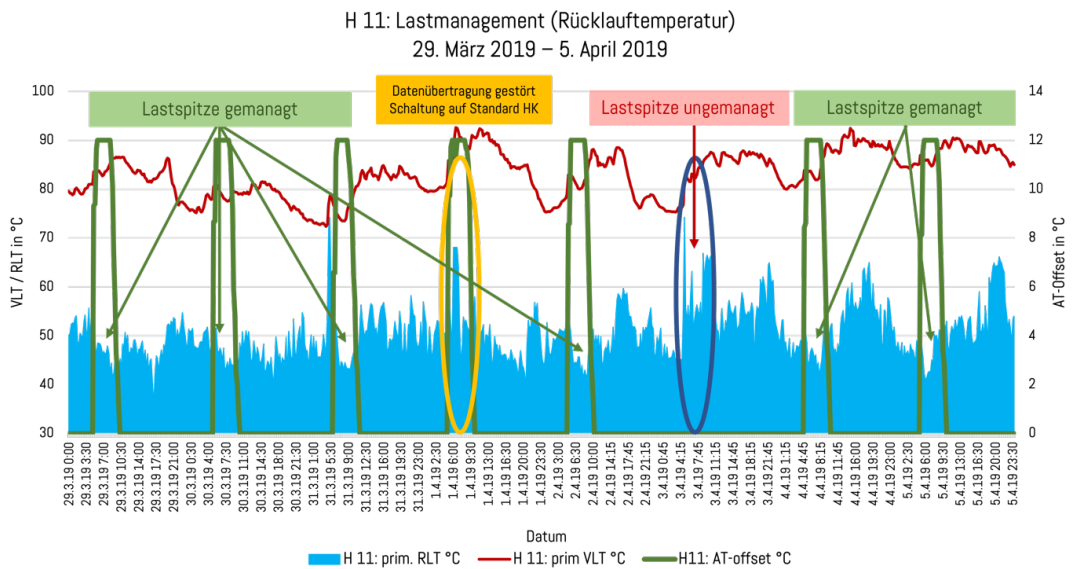


Abb. 15: Spreizung VL-Temperatur und RL-Temperatur H 11

Deutlich wird im Wochenverlauf sichtbar, dass in den Offset-Phasen der Lastspitzkappung die Rücklauf-temperatur deutlich unter der Rücklauf-temperatur insbesondere im Vergleich zum ungemangten Mittwoch liegt.

Eine Betrachtung der Mittelwerte für die Spreizung zwischen primärer Vorlauf- und primärer Rücklauf-temperatur zeigt den Effekt deutlich.

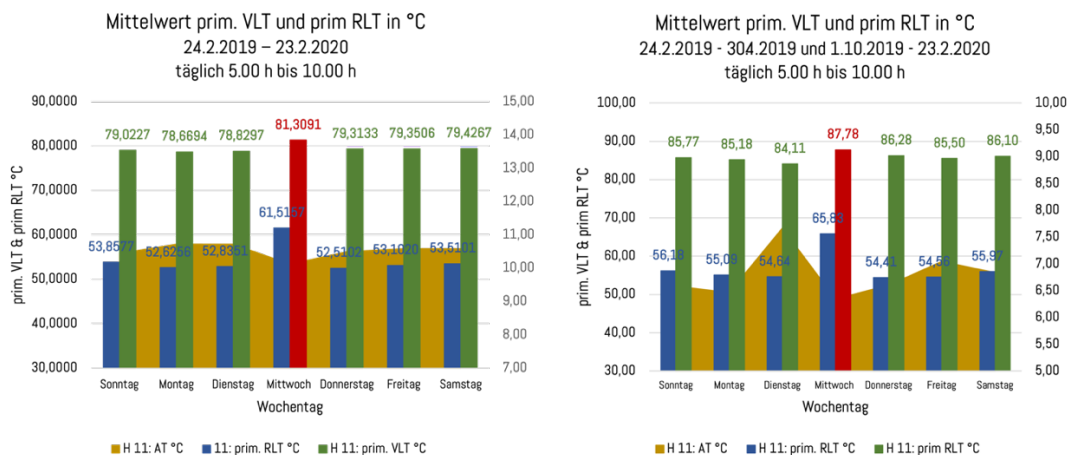


Abb.: 16 Mittelwerte VL-Temperatur und RL-Temperatur H 11

In den Offset-Phasen ist die Temperaturspreizung um bis zu 7 ° höher als an den nicht gemanagten Vergleichstagen, was die Möglichkeit unterstreicht, mit dem Einsatz des Demand Side Managements die Systemtemperaturen insgesamt abzusenken und damit nicht nur direkte Einsparungen an Primärenergie zu realisieren, sondern auch die Kraft-Wärme-Kopplung deutlich effizienter zu fahren.

Zusätzliches Einsparpotential ergibt sich schließlich aus einer Verringerung des Volumensflusses:

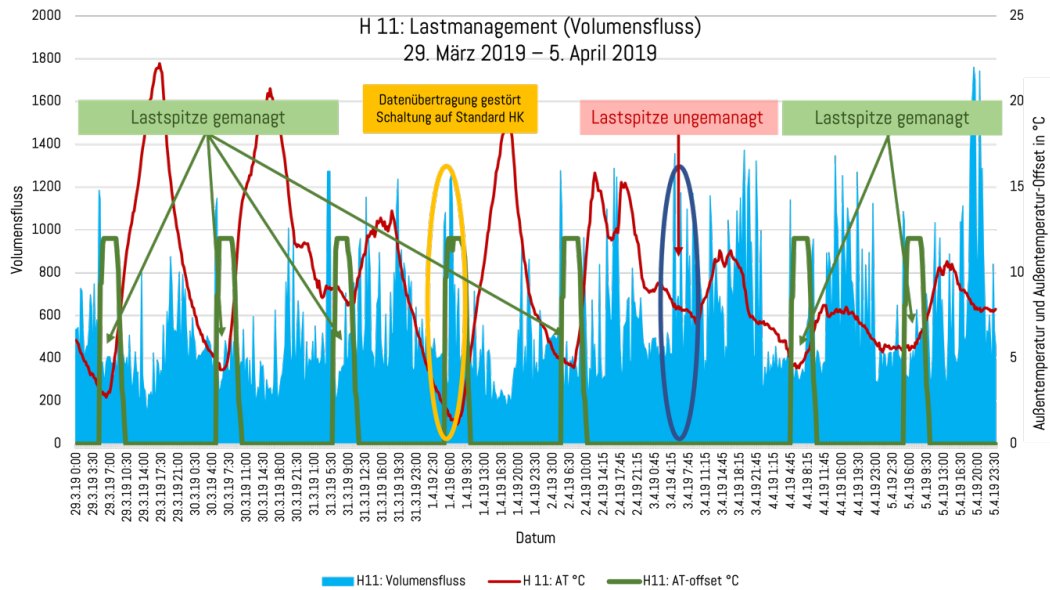


Abb. 17: Volumensfluss H 11

Deutlich erkennbar ist der reduzierte Volumensfluss in den Offset-Phasen. Auch hier zeigt die Auswertung der Mittelwerte den Effekt insgesamt:

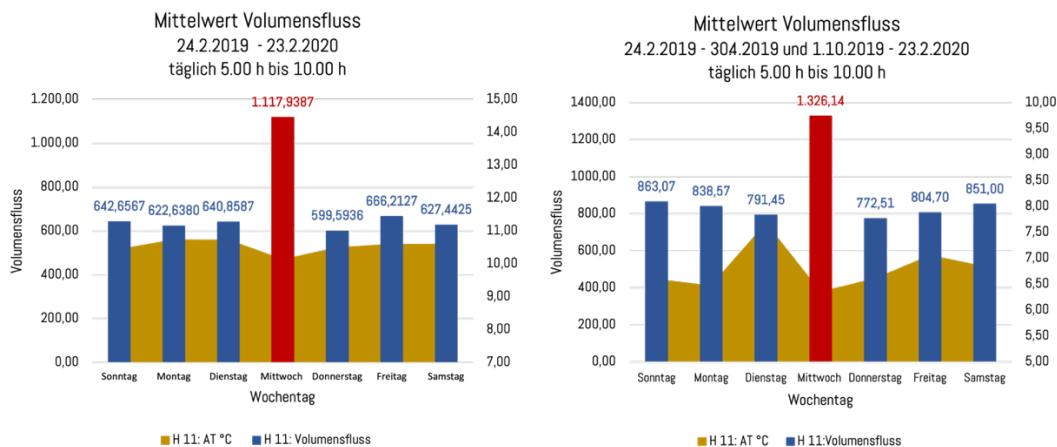


Abb. 18: Mittelwerte Volumensfluss H 11

Die Verringerung des Volumensflusses in einer ausreichenden Anzahl angeschlossener Gebäude kann deutliche Auswirkungen auf den Volumensfluss im Netz insgesamt haben. Möglich sind sowohl eine Verringerung als auch eine Glättung des Volumensflusses, was als zusätzliches Einsparpotential die Verringerung der Arbeitsleistung von Pumpen und damit die Reduzierung des im Betrieb notwendigen Pumpenstroms. bietet.

Die vorstehend exemplarisch am Gebäude H 11 in G dargestellten Ergebnisse haben sich in ihrer Grundsätzlichkeit, abhängig von den angeschlossenen Gebäuden, insgesamt bestätigt.

Zusätzlich wurde in der zweiten Projektphase in E experimentell anhand der angeschlossenen Schulen während des coronaangepassten Schulbetriebes während der Heizperiode experimentell untersucht, ob

sich positive Effekte erzeugen lassen, in dem eine „Vorheizung“ vor den verpflichtenden Lüftungspausen über das Lastmanagement positive Effekte erzielen ließen. Hier waren die Ergebnisse jedoch indifferent und der zur Verfügung stehende Testzeitraum zu kurz um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass das Lastmanagement die erwarteten Einsparergebnisse erreicht, in Teilen sogar übertroffen hat:

Zeitraum	Liegenschaft	Einsparungen in kWh
2018/19	H 2	5.692,00
	H 7	2.756,87
	H 8	2.988,23
	H 9	7.645,61
	H 11	5.885,91
	H 14	5.284,90
	H 20	4.024,80
	H 26	6.689,20
	S 22	10.595,85
	S 25	0,00
2019/20	H 2	10.601,18
	H 7	4.714,56
	H 8	8.886,64
	H 9	3.511,28
	H 11	10.584,21
	H 14	11.155,69
	H 20	8.531,87
	H 26	15.633,68
	S 22	30.783,90
	S 25	55.990,02
2020/21	H 2	9.588,01
	H 7	4.674,78
	H 8	8.690,65
	H 9	7.159,81
	11	2.322,57
	H 14	8.068,67
	H 20	4.736,97
	H 26	8.367,02
	S 22	25.791,27
	S 25	38.798,96
	AT 10	12.441,06
	BFW 8	16.653,93
	BFW 9	1.272,90
	BFW 21	1.438,78
B 39	-2.298,97	

B. 30	3.826,25
B B,K, 2 12	3.784,41
D 2	12.771,08
E 50 - 54	2.364,42
G 53	0,00
IS 20	0,00
L 2	0,00
L 21	1.332,89
LF 1-5	0,00
Sch 6	2.605,57
Schl 6	2.616,45
S 237	0,00
VE 88	9.039,33
W 62	6.221,10
Z 9 - 11 c	5.214,91
Einsparungen aller Gebäude in kWh	409.439,19

Sämtliche für die Berechnung herangezogenen Daten sowie die entsprechenden Berechnungen der Einsparungen stehen zum Download auf der Homepage der WKE zur Verfügung.

Industriekunde Baden-Württemberg:

Der Kunde betreibt auf seinem Werksgelände in Mannheim ein Wärmenetz für die Wärmeversorgung der auf dem Gelände befindlichen Gebäude. Das Netz wurde ab 1920 errichtet und wurde im Jahr 2000 von Industrie- auf Fernwärme umgestellt.

Das Netz hat eine Trassenlänge von 24 km (Vorlauf & Rücklauf).

Das Verteilnetz ist in unterschiedlichen Dämmstufen ausgelegt (historisch bedingt). Teile sind erdverlegte ISO Plus andere z.B. blechkanalverlegtes Stahlrohr mit Mineralwollisolierung.

An das Netz angeschlossen sind 70 Gebäude, die über insgesamt 110 Übergabestationen versorgt werden, die den Verbrauchsdifferenzdruck und den Wärmebezug regeln.

Die Brauchwassererzeugung erfolgt im Netz über Boiler und Wärmetauscher. Gesonderte Zähler für Brauchwasser sind nicht vorhanden

Der Kunde bezieht die Wärme im Wesentlichen vom örtlichen FWVU Die Wärmeeinspeisung erfolgt über 2 Schienen mit je 550 t/h, 72 MW Anschlussleistung und mit einer außentemperaturabhängigen Höchstvorlauftemperatur von 130° C bei -12° C Außentemperatur. Der Wärmebezug vom örtlichen FWVU betrug im Jahr 2019 ca. 180.000 MWh (letztes Jahr in Vollbetrieb vor Corona). Als zusätzliche Wärmequelle steht die Abwärme eines über Wärmetauscher mit dem Netz verbundenen Kupolofen zur Verfügung.

Das Raumwärmenetz auf dem Werksgelände wird über eine außentemperaturabhängige Heizkurve zwischen 80° C (+20° C AT) und 110° C (-12° C AT) gefahren. Die Steuerung erfolgt über mit Ventilen ausgestatteten Beimischpumpen durch Beimischung kälteren Mediums aus dem primären Rücklauf in den Vorlauf.

Die Rücklaufstemperatur ist auf max. 60 ° C begrenzt, bei Neubauten auf 50 ° C.

Netzverluste wurden mit ca. 7.000 MWh angegeben.

Auf dem Werksgelände wird ein gasbetriebenes BHKW betrieben, dass im Jahr 2019 rund 53 MWh_{el} und rund 46 MWh_{th} erzeugt hat. Der erzeugte Strom wird vollständig auf dem Werksgelände genutzt die erzeugte Wärme komplett in das Netz des örtlichen FWVU eingespeist.

Die Gebäude auf dem Werksgelände werden zentral über ein Gebäudemanagementsystem gesteuert. Die Betriebsdaten werden bereits in 15-minütiger Frequenz erhoben und in einer Datenbank gespeichert. Umfangreiche Wetterdaten werden durch eine betriebseigene Wetterstation erhoben und ebenfalls in einer Datenbank gespeichert.

In den Gebäuden sind unterschiedliche Heizquellen im Einsatz: Radiatoren, Deckenstrahler und Gebläse. In Montagehallen sind zudem zur Abschirmung Luftschleier im Einsatz. Die Luftqualität in den Hallen wird durch Zuführung von Außenluft über die Gebläse gesteuert.

- Zielsetzung des Kunden:
 - Energetische Optimierung des vorhandenen Raumwärmenetzes
 - Intelligente Steuerung und Regelung der Wärmeerzeuger und -verbraucher
 - Schaffung der Transparenz über Netzverluste und Optimierungsstellhebel
 - Kostenreduktion und Steigerung der Energieeffizienz durch optimierte Netznutzung
 - Flexibilisierung der Netzparameteranpassung anhand der tatsächlichen Bedarfe und Einflussquellen (z.B. flexible Anpassung anhand der Außentemperatur)

In der Pilotierungsphase sollen bis zu 40 Gebäude sowie die zentrale Übergabestation über NODA SHG gesteuert werden.

- Projektstand bei Ablauf des Förderzeitraums

Im November und Dezember 2022 hat eine Bestandsaufnahme und Analyse der Infrastruktur sowie der Versorgungs- und Verbrauchsprofile beim Kunden stattgefunden. Die Analyse der Verbrauchsprofile der auf dem Werksgelände befindlichen Gebäude ist positiv verlaufen:

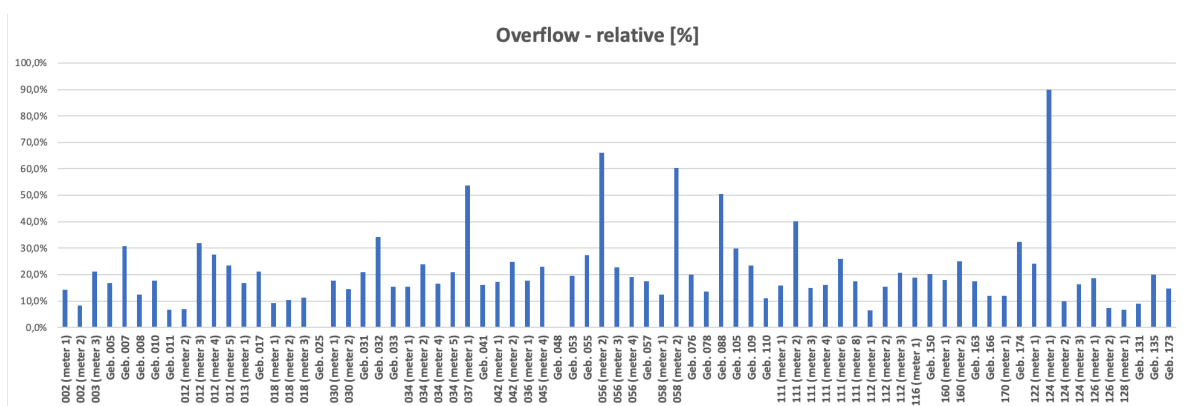


Abb. 19: Relativer Overflow Gebäude Industriekunde Baden-Württemberg

Der relative Overflow gibt an, wie viel zusätzliches Wasservolumen erforderlich ist, um eine Energieeinheit im Vergleich zu einer berechneten Referenz zu erzeugen. Je kleiner also der relative Überlauf, desto besser. Die meisten Gebäude haben einen Overflow, dies ist jedoch normal. Einige dieser Gebäude weisen jedoch recht hohe relative Overflows auf (>40 %). Dies bedeutet, dass sie eher den Volumenstrom als die Temperaturdifferenz nutzen, um dem Wärmenetz Energie zu entziehen, was in der Regel als negativ zu bewerten ist.

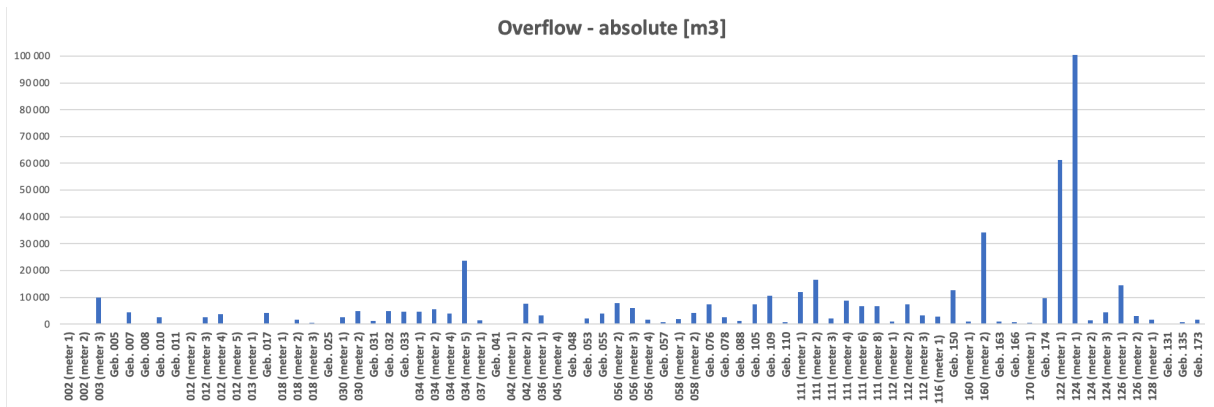


Abb. 20: Absoluter Overflow Gebäude Industriekunde Baden-Württemberg in MWH

Während der relative Overflow aus der Perspektive des einzelnen Gebäudes interessant ist, zeigt der absolute Overflow die Auswirkungen auf das Wärmenetz als Ganzes. Der absolute Overflow wird in m³ Wasservolumen gemessen.

Der Gesamtenergieverbrauch während des gesamten Jahres 2019, gemessen durch den Zähler der Netzstation, betrug etwas mehr als 180 GWh. Die Gesamtenergie aller Gebäude, außer 060, während des gesamten Jahres 2019, gemessen durch ihre kombinierten Wärmezähler, betrug fast 158 GWh. Bei der Differenz wird davon ausgegangen, dass es sich um Netzverluste und den Energieverbrauch von Gebäuden handelt, die nicht in die Analyse einbezogen wurden.

Die Bestimmung der Energiesignatur der Gebäude hat gezeigt, dass alle Gebäude über für das DSM nutzbare Nachfrageflexibilität verfügen. Dabei ist die langfristige Nachfrageflexibilität von der kurzfristigen Nachfrageflexibilität zu unterscheiden. Die langfristige Flexibilität sollte bei derartigen Gebäuden in der Regel bei ca. 8-12 % liegen. Der höhere Wert setzt Daten zur Innentemperatur voraus. Die meisten Gebäude liegen darunter. Innentemperaturdaten waren nicht verfügbar. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass als sensitiv klassifizierte Gebäude eine geringere Fähigkeit zur Nachfragesteuerung haben.

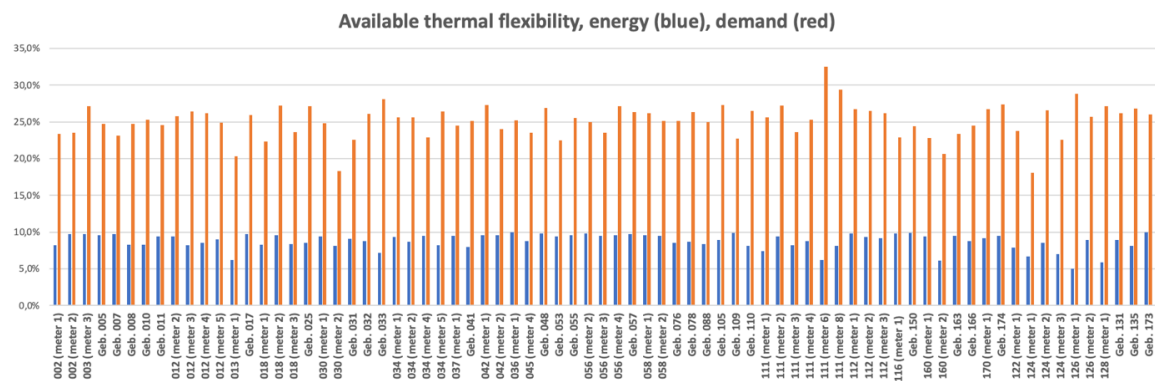


Abb. 21: Verfügbare Flexibilität der Gebäude in % (blau=langfristig/orange=kurzfristig)

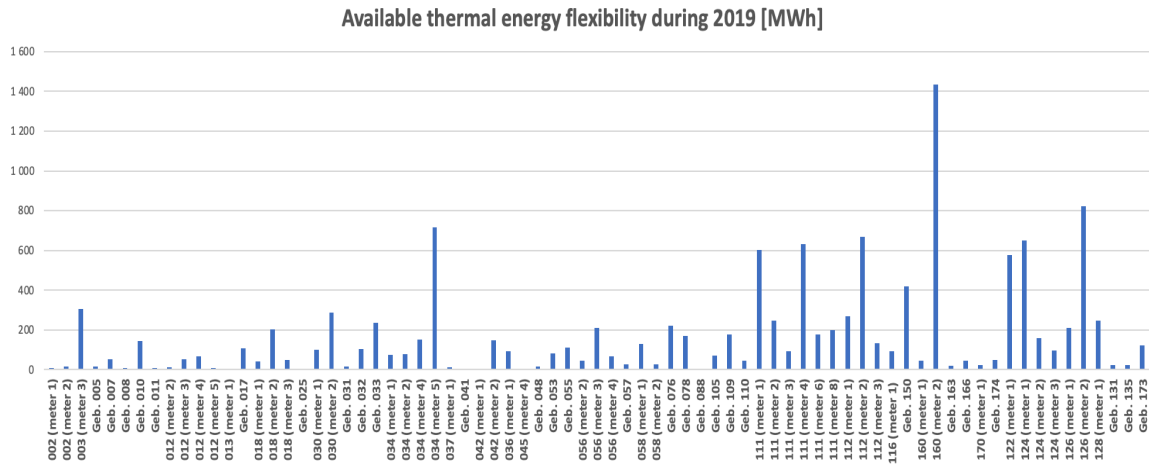


Abb. 22: Verfügbare Flexibilität der Gebäude in MWh

Zusammengerechnet ergibt sich ein Wert von etwa 12,6 GWh, der für aktive Energiedienstleistungen wie Demand Response genutzt werden kann. Angesichts der von diesen Gebäuden verbrauchten Energiemenge (d. h. 158 GWh) entspricht dies etwa 8 % der gesamten gebäudeseitig verbrauchten Energiemenge.

Diese verfügbare Nachfrageflexibilität zeigt das Potenzial für Nachfragesteuerung (DSM) in einem Fernwärmesystem auf. Beim DSM wird die thermische Trägheit von Gebäuden genutzt, um Flexibilität im Netz zu schaffen. Diese Flexibilität kann ihrerseits genutzt werden, um Lastspitzen zu vermeiden, die Kapazität der bestehenden Produktion zu erhöhen, Energie zu sparen, die Kraft-Wärme-Kopplung zu optimieren usw. Eine wichtige Anwendung von DSM ist die Funktion als Aufhängungssystem für das Management der Angebotsseite (z. B. die Optimierung der Systemtemperatur). Auf diese Art und Weise bietet DSM eine Möglichkeit, Angebot und Nachfrage auf kohärentere Weise miteinander zu verknüpfen. Dies ist besonders relevant in einem Fall wie Industriekunde Baden-Württemberg, wo die Netzwerkstation als eine Produktionseinheit in Bezug auf die einzelnen Gebäude betrachtet wird.

Die Nutzungsart der Gebäude wurde ebenso in die Analyse einbezogen wie die erforderlichen Innentemperaturwerte. Die definierten Nutzungsarten sind Büro, Montage, Lager, Produktion, Gießerei und Werkstatt. Es ist zu beachten, dass keine Messungen der tatsächlichen Innentemperatur in die Studie einbezogen wurden, so dass nicht festgestellt werden konnte, wie gut die tatsächlichen und gewünschten Temperaturniveaus in der Realität übereinstimmen.

Die Fähigkeit zur Nachfragereaktion entspricht der verfügbaren thermischen Flexibilität, die definiert ist als die Abweichung vom normalen Nachfrageverhalten, die ein Gebäude oder ein anderer Kontrollpunkt erreichen kann, ohne die Qualität der Versorgung zu beeinträchtigen. Diese Flexibilität wird auf die gleiche Weise ausgedrückt wie Energie und Nachfrage, d. h. in kW für die momentane Nachfrage und in kWh über die Dauer für den Energieverbrauch.

Die Ergebnisse zeigen ein Potential für thermische Flexibilität von ca. 12,6 GWh (bezogen auf 2019) aus den Gebäuden auf dem Werksgelände. Verteilverluste im Netz konnten nicht quantifiziert werden. Unter Annahme von durchschnittlich 10 % Verteilverlusten liegt das durch DSM generierbare Einsparpotential bei 13,86 GWh (bezogen auf 2019).

Vorlauftemperaturempfindlichkeit der Gebäude (NODA SSM)

Das primäre Ziel des Supply Side Management (SSM) ist die Optimierung der Wärmebereitstellung im Fernwärmenetz bzw. im Falle von Industriekunde Baden-Württemberg die Optimierung der Versorgungsleistung der Netzwerkstation. In der Praxis wird dies meist durch eine aktive Regelung der Vorlauftemperatur der Versorgungseinheiten erreicht. Die dynamische Anpassung der Vorlauftemperatur an den tatsächlichen Bedarf führt in der Regel zu erheblichen finanziellen Vorteilen, indem entweder der Primärenergieverbrauch gesenkt oder die Kapazität des Netzes erweitert wird.

Das Ergebnis der Analyse ist ein Sensitivitätsmodell für jedes Gebäude. Der Übersichtlichkeit halber werden die Ergebnisse als Ausgabe dieses Modells für verschiedene einzelne Schritte der Vorlauf-temperaturabweichung dargestellt. In diesem Fall verwenden wir Stufen von 0, -2,5, -5,0, -7,5, -10,0, -12,5 und -15,0 Grad Abweichung von der „normalen“ Vorlauftemperatur zu einem bestimmten Zeitpunkt. Das Modell erzeugt normalisierte Werte zwischen 0 und 1, zur besseren Übersichtlichkeit werden diese Ergebnisse jedoch in drei Kategorien eingeteilt.

0 bedeutet, dass davon ausgegangen wird, dass das Gebäude mit einer Vorlauftemperatur dieser Abweichung auskommt.

1 bedeutet, dass das Gebäude die Vorlauftemperaturabweichung höchstwahrscheinlich bewältigen wird, wobei eine aktive Nachfragesteuerung empfohlen wird, um die Auswirkungen zu mildern.

2 bedeutet, dass das Gebäude höchstwahrscheinlich eine Verschlechterung der Versorgungsqualität erleiden wird, wenn diese Temperaturabweichung umgesetzt wird

Die Analyse zeigt deutlich, dass der größte Teil der Gebäude eine dynamischere Steuerung der Vorlauftemperatur verkraften könnte (grün). Wenn dies mit einer aktiven Nachfragesteuerung kombiniert wird, insbesondere in Verbindung mit Innenraumtemperatursensoren, dann könnte diese Steuerung die Grenzen noch weiter verschieben (gelb). Eine erste Schätzung, die auf der Analyse basiert, wäre ein Ziel von fünf Grad niedrigeren Systemtemperaturen. Dies könnte dann im Laufe der Zeit durch gezielte Nachrüstungen in bestimmten Gebäuden verbessert werden.

Gebäude	0	-2,5	-5	-7,5	-10	-12,5	-15
002 (meter 1)	0	0	0	1	1	1	2
002 (meter 2)	0	0	0	1	1	1	2
003 (meter 3)	0	0	0	1	1	2	2
Geb. 005	0	0	0	0	1	1	1
Geb. 007	0	0	0	1	1	1	2
Geb. 008	0	0	0	0	1	1	1
Geb. 010	0	0	0	0	1	1	1
Geb. 011	0	0	1	2	2	2	2
012 (meter 2)	0	0	1	2	2	2	2
012 (meter 3)	0	0	0	0	1	1	2
012 (meter 4)	0	0	0	0	1	1	1
012 (meter 5)	0	0	1	1	2	2	2
013 (meter 1)	0	1	2	2	2	2	2
Geb. 017	0	0	0	1	1	2	2
018 (meter 1)	0	0	0	1	1	2	2
018 (meter 2)	0	0	0	0	1	1	1
018 (meter 3)	0	0	0	0	0	0	1
Geb. 025	0	0	0	0	0	0	1
030 (meter 1)	0	0	1	1	2	2	2
030 (meter 2)	0	0	0	1	1	1	2
Geb. 031	0	0	1	2	2	2	2
Geb. 032	0	0	0	1	1	2	2
Geb. 033	0	0	0	1	1	1	2
034 (meter 1)	0	0	0	1	1	1	2
034 (meter 2)	0	0	1	1	2	2	2
034 (meter 4)	0	0	0	1	1	2	2
034 (meter 5)	0	0	0	1	1	1	2
037 (meter 1)	0	0	0	0	0	1	1
Geb. 041	0	0	0	1	1	2	2
042 (meter 1)	0	0	0	1	1	1	2
042 (meter 2)	0	0	0	1	1	1	2
036 (meter 1)	0	0	1	1	2	2	2
045 (meter 4)	0	1	2	2	2	2	2
Geb. 048							
Geb. 053	0	0	0	0	1	1	1
Geb. 055	0	0	0	0	1	1	1
056 (meter 2)	0	0	0	1	1	2	2
056 (meter 3)	0	0	0	0	1	2	2
056 (meter 4)	0	0	0	1	1	2	2
Geb. 057	0	0	0	1	1	2	2
058 (meter 1)	0	0	0	1	1	2	2
058 (meter 2)	0	0	0	1	1	2	2
Geb. 076	0	0	0	1	1	1	2
Geb. 078	0	0	0	1	1	2	2
Geb. 088	0	0	0	1	1	2	2
Geb. 105	0	0	0	1	1	2	2
Geb. 109	0	0	0	1	1	2	2
Geb. 110	0	0	1	1	2	2	2
111 (meter 1)	0	0	0	0	1	1	1
111 (meter 2)	0	0	0	0	0	1	1
111 (meter 3)	0	0	0	1	1	2	2
111 (meter 4)	0	0	0	0	1	1	1
111 (meter 6)	0	0	0	1	1	2	2
111 (meter 8)	0	0	1	2	2	2	2
112 (meter 1)	0	0	0	0	1	1	1
112 (meter 2)	0	0	0	0	0	1	1
112 (meter 3)	0	0	0	1	1	1	2
116 (meter 1)	0	0	1	1	2	2	2
Geb. 150	0	0	1	1	2	2	2
160 (meter 1)	0	0	0	0	1	1	1
160 (meter 2)	0	0	0	0	0	1	1
Geb. 163	0	0	1	2	2	2	2
Geb. 166	0	0	1	1	2	2	2
170 (meter 1)	0	0	0	1	1	1	2
Geb. 174	0	0	1	2	2	2	2
122 (meter 1)	0	0	1	2	2	2	2
124 (meter 1)	0	0	0	1	1	2	2
124 (meter 2)	0	0	1	1	2	2	2
124 (meter 3)	0	0	1	2	2	2	2
126 (meter 1)	0	0	1	1	2	2	2
126 (meter 2)	0	0	0	1	1	1	2
128 (meter 1)	0	0	0	1	1	2	2
Geb. 131	0	0	1	1	2	2	2
Geb. 135	0	0	0	0	1	1	1
Geb. 173	0	0	0	1	1	1	2

Sensitivität Industriekunde Mannheim Vorlauftemperaturabsenkung

Aufgrund der Ergebnisse der Analyse hat Industriekunde Baden-Württemberg die Systemtemperatur über die voreingestellte Heizkurve um 5° K statisch abgesenkt, ohne dass es seitdem zu Auffälligkeiten oder Komfortverlusten in den versorgten Gebäuden auf dem Betriebsgelände gekommen ist. Dieses Potential kann durch Ertüchtigung ineffizienter Übergabestationen möglicherweise gesteigert noch werden.

Das Projekt ist durch erhebliche Sicherheitsanforderungen des Kunden mit einem deutlichen Zusatzaufwand verbunden. Entsprechend globalen der EDV-Compliance-Richtlinie war es nicht möglich, mit SHG-Boxen auf die Controller der Übergabestationen bzw. der Gebäudeleittechnik zuzugreifen. Da beim Kunden das EDV-Produktionsnetzwerk nicht von dem EDV-Unterstützungsnetzwerk (Officeanwendungen, Gebäudeleittechnik etc.) getrennt ist, war ein langwieriger Due-Diligence Prozess erforderlich, der in die Neuprogrammierung einer Schnittstelle mit abgesichertem Gate-Way erforderlich machte, was auf beiden Seiten einen zusätzlichen Aufwand von knapp einem Jahr verursachte.

Das System wird mit den Ersten Steuerungen im Verlauf des Jahres 2025 aktiviert werden.

Anhang

Messkonzept

Über eine SHG-Box mit Datenkarte werden Daten des Wärmemengenzählers erhoben: Außentemperatur, Zeit, Last, VL / RL primär- und sekundärseitig, Volumenstrom und Gesamtvolumen werden erhoben und über das Mobilfunknetz an Wissenskapital Energie GmbH / Noda übermittelt. Durch die Zusammenführung der Energiesignatur eines Gebäudes (Heiz- und Kühlkurve) und Umweltdaten auf der selbstlernenden Softwareplattform NSHG und den daraus ableitbaren Lastprognosen und den technischen Gegebenheiten beim FWU wird das Wärmenetz in Echtzeit intelligent entsprechend der sich stetig ändernden Rahmenbedingungen optimiert.

Drei Arten von Leistungskennzahlen, die für diesen Zweck vorwiegend verwendet werden, sind der Overflow, das spezifische Volumen und die Regelqualität:

- Overflow

Die Overflowkennzahl ist ein wichtiger Bestandteil der Analyse. Sie quantifiziert die Menge des nicht benötigten Volumenstroms im Vergleich zu einer kalkulierten idealen Differenztemperatur auf der Primärseite des Wärmetauschers.

Wärmeenergie soll vorzugsweise durch eine hohe Temperaturdifferenz VL/RL und nicht durch einen hohen Volumenstrom übertragen werden. Daher ist der Overflow eine wichtige Kennzahl, die vielen anderen Analysen zugrunde liegt.

Der absolute Overflow ist der tatsächliche Overflow, gemE in m³ Wasservolumen, während der relative Overflow den Overflow in Relation zur verbrauchten Gesamtenergiemenge setzt. Der spezifische Overflow zeigt die Menge des Overflows, die für jede von der Übergabestation verbrauchte MWh erzeugt wird.

- Spezifisches Volumen

Das spezifische Volumen ist eine Leistungskennzahl, die in engem Zusammenhang mit dem Overflow steht. Das spezifische Volumen ist definiert sich als das Volumen (in m³), das erforderlich ist, um eine Energieeinheit (in MWh) zu übertragen. Bei einem fabrikneuen Wärmetauscher sollte dieser Wert bei etwa 15 m³ liegen (d. h. man benötigt etwa 15 m³ Volumen an Fernwärmewasser, um eine MWh Energie zu erzeugen). Es ist jedoch durchaus üblich, dass die meisten Gebäude in der Größenordnung von 15-30 liegen, und viele weit darüber. Diese Kennzahl ein wichtiger Indikator dafür, ob eine Übergabestation gut arbeitet oder nicht, insbesondere in Kombination mit verschiedenen Versionen der Overflow-Kennzahl.

- Qualität der Steuerung

Bei der Messung der Steuerungsqualität werden verschiedene Datenpunkte und ihre Beziehung zueinander verwendet, um festzustellen, wie gut der Controller in einem Gebäude funktioniert. Die beteiligten Algorithmen analysieren zum Beispiel das dynamische Verhältnis zwischen Durchfluss und Bedarf. Im Normalfall wird ein gutes Verhältnis zwischen Durchfluss und Bedarf erwartet. Ein weiterer Aspekt, den der Algorithmus untersucht, ist die Volatilität von Bedarf und Durchfluss sowie das Verhältnis

zwischen der Außentemperatur und dem Bedarf. Diese verschiedenen Zusammenhänge werden normalisiert und durch einen Ensemble-Filter geleitet, um eine in Prozent ausgedrückte Gesamtsteuerungsqualität zu ermitteln. Ein Wert von 100 % würde auf ein perfektes Regelverhalten des lokalen

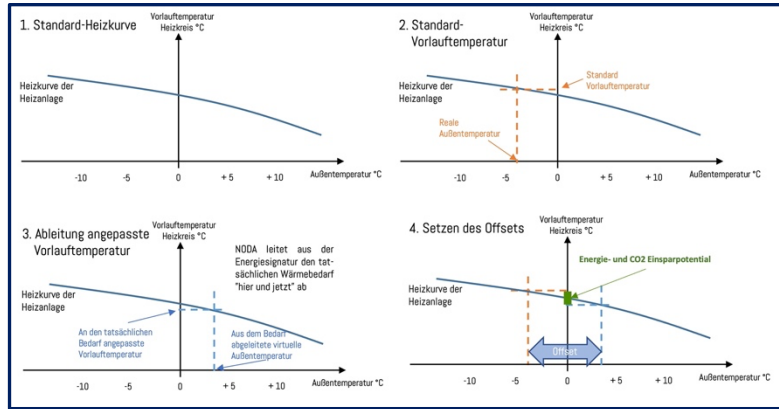


Abb. 23: Schematische Darstellung der Ermittlung der Energiesignatur

Reglers hinweisen. Normalerweise liegt die Regelgüte eines Gebäudes zwischen 80 und 95 %, obwohl auch niedrigere Werte nicht ungewöhnlich sind.

Aufwändige und kostenintensive Anpassungsarbeiten durch Experten an die sich permanent ändernden Gegebenheiten, die das Kosten-Nutzen-Verhältnis negativ beeinflussen (ingenieur-technisches Vorgehen) ist nicht erforderlich

Durch die Manipulation des Außentemperaturfühlers um bis zu + / - 12° K werden Lastspitzen verschoben bzw. ganz vermieden und durch die Witterungsprognosesteuerung Energieeinsparungen erzielt.

Alle Parameter des Systems werden aufgezeichnet, um den Nutzen des Systems zu evaluieren. Hierzu zählen insbesondere die Produktions- und Verbrauchsdaten und die zum jeweiligen Zeitpunkt vorherrschen.

Installation des Einsparzählers

NSHG kann in der Regel problemlos auch in bestehenden Fernwärmenetzen nachinstalliert werden, da lediglich die Installation einer SHG-Box zur Datenerhebung, -übermittlung und -Rücksendung der Steuerimpulse an den Controller durch

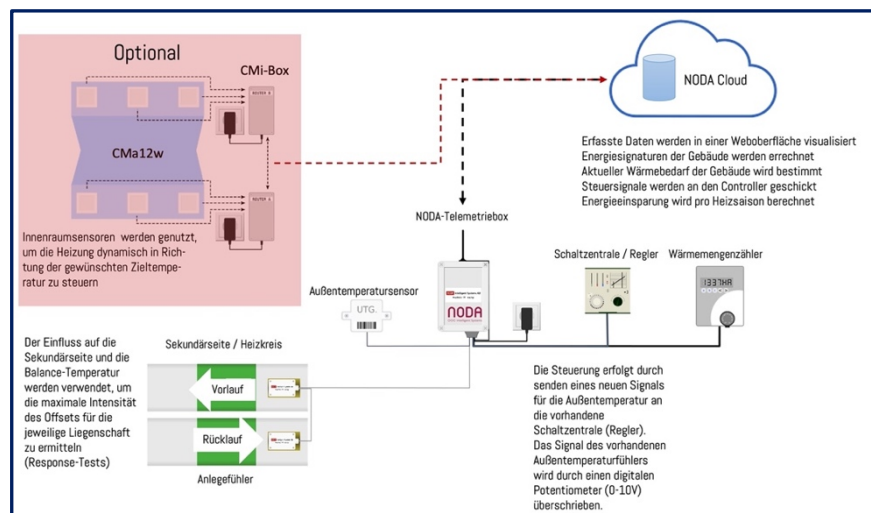


Abb. 24: Schematische Darstellung einer Installation

technisch geschultes Personal erforderlich ist. Die Kommunikation mit einer Reihe von marktgängigen Controllern ist inzwischen getestet und sichergestellt. Einige ältere Controller bzw. Messfühler mussten bei Kunden ausgewechselt werden, nachdem erkannt wurde, dass diese der hohen Datenerhebungsfrequenz nicht standhielten.

Gleiches gilt für NODA-Building und die Dynamische Steuerung der Vorlauftemperatur. Allerdings ist für letztere die Rücksendung von Steuerbefehlen an die Übergabestationen nicht erforderlich. Die Ausgabe der Offsets erfolgt an die SCADA der PRODUKTIONSSTEUERUNG.

Sofern NODA-Building mit zusätzlichen Innenraumsensoren eingesetzt werden soll, werden diese verschlüsselt über WLAN ausgelesen und entsprechend NSHG übermittelt.

Ermittlung der Baseline & Methodik zur Ermittlung der Energieeinsparung

Die relevanten Verbrauchsprozesse für die gelieferte Wärme sind einerseits die Raumwärme und andererseits die Versorgung Brauch-Warmwasser. Je nach Betriebsweise auf der gesamten Kette der Belieferung (vom Kraftwerk bis zum Heizkörper) können jedoch unterschiedliche Energieverluste anfallen. Besonders verlustreich bzw. verbrauchsintensiv wirkt sich dabei ein Stop & Go-Betrieb mit hohen Lastspitzen und tiefen Lasttälern aus wie er etwa vergleichbar mit dem Stadtverkehr beim Auto.

Die Einflussgrößen der beiden Verbrauchsprozesse sind:

- Die Raumwärme ist abhängig von der Außentemperatur. Wir gehen davon aus, dass die Einstellung der Heizungsregler jeweils auf das von den Bewohnern gewünschte Komfortniveau eingestellt ist und unverändert bleibt. Auslöser für einen Mehr- oder Minderverbrauch ist die zu einem Zeitpunkt gemessene Außentemperatur. Diese wird im Rahmen des Lastmanagements elektronisch verändert (z.B. erhöht), wodurch der Heizungsregler der Übergabestation des Gebäudes die Wärmenachfrage und -Abnahme entsprechend anpasst (z.B. verringert). Das Funktionsprinzip entspricht dem einer Nachtabsenkung, die ebenfalls als Ausgangspunkt von Energieeinsparung gilt.
- Beim Warmwasser hängt der Energieverbrauch ebenfalls vom – als gleichbleibend vorausgesetztem – Komfortniveau der Endnutzer ab. Das resultiert in einer der Entnahme und den im Zeitverlauf auftretenden Auskühlereffekten entsprechenden Wärmeabnahme für einen Warmwasserspeicher bzw. eine Warmwasserzirkulation. Da weder eine Reduzierung der Duschvorgänge gewollt bzw. möglich ist noch beabsichtigt ist, die Endnutzer auf bestimmte Zeitfenster zu verpflichten oder die Warmwassertemperatur signifikant abzusenken, muss dieser Verbrauchsprozess unbeeinflusst bleiben.

Aufgabenstellung

Für den Erfolgsnachweis des NODA-Lastmanagements ist eine stabile, nachvollziehbare Methode zur Ermittlung der Einsparungen erforderlich. Diese sollte die Frage nach der Behandlung des Warmwasserverbrauchs klären, um eine Verfälschung der Effekte beim Heizbedarf durch Schwankungen oder Ungenauigkeiten beim Warmwasser zu vermeiden.

Die Methode soll einen plausiblen Vergleich zwischen der Baseline und den gemessenen Ist-Verbräuchen erlauben.

Abschließend soll die Bewertung der Effekte aus Sicht des Gesamtnetzes skizziert werden, unabhängig von der Frage, ob dieses Teilergebnis als abrechnungsrelevant gesehen wird oder nicht.

Grundidee der Methode

Als primärer Effekt des Lastmanagements wird die Reduktion der Wärmenachfrage durch das Gebäude gesehen. Das geschieht durch die vom Lastmanagement gesetzten Offsets (Veränderung der Nachfrageerzeugenden Außentemperatur), die dieselben Konsequenzen im Gebäude bzw. im Gebäuderegler auslöst, wie beispielsweise eine Nachtabsenkung. Bei der Nachtabsenkung geht man davon aus, dass durch die Reduktion der mittleren Raumtemperatur, auf die aufgeheizt wird, ein geringerer Verbrauch ausgelöst wird.

Wird eine Nachtabsenkung von 3 K in der Zeit von 22:00 bis 6:00 eingesetzt, entspricht dies einer Reduktion der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur von 24K ($3 \text{ K} * 8 \text{ Stunden}$) über 24 Stunden, also einer Reduktion um einen 1 Heizgrad(-tag).

Üblicherweise wird in der Literatur die Reduktion der Innentemperatur um 1° mit einem Einsparungseffekt von 5-6 % bewertet.

Für die Berechnung des Effekts aus dem NODA-Lastmanagement verwenden wir daher die Abweichung durch den Offset des NODA-Lastmanagements (s.o.) zur realen Außentemperatur und ermitteln die Summe der Abweichungen in Kelvin-Stunden [Kh]. Daraus wird dann die Auswirkung auf den Verbrauch ermittelt.

Verbrauchsformeln und Vorgehen

Aktive Lastmanagement-Phasen werden gekennzeichnet. Dabei gelten Abweichungen zwischen der gemessenen Außentemperatur und der an den Controller elektronisch gesendeten Temperatur als Offset, sofern sie größer als (absolut) 0,6 K sind. Geringere Abweichungen können technisch durch die Auflösung der Ausgabehardware (256 Einzelschritte) bedingt sein und werden daher aus der Betrachtung herausgenommen.

Es werden anschließend pro Gebäude 3 Berechnungen auf unterschiedlichen Datenbasen durchgeführt:

1. auf allen Daten des Zeitraums, sofern sie vollständig sind
2. auf allen Daten, aus den Zeiträumen in denen kein Offset geschaltet war (Baseline)
3. alle Daten, aus den Zeiträumen, in denen ein Offset geschaltet war (real geschaltete Ergebnisse, wobei in dieser Zeit die Baseline verlassen wurde).

Während des Erhebungszeitraumes wurde an jedem Mittwoch das aktive Lastmanagement ausgesetzt und auf aktive Schaltung verzichtet (Referenztage). Zusätzlich wurde an einem weiteren tag außerplanmäßig nicht geschaltet. Auf eine separate Auswertung der Tage mit und ohne Lastmanagement ist jedoch verzichtet worden.

Es wurde jeder 15-Minuten-Datensatz (gemittelt aus 3 Stück 5-minütigen Momentanwerten) der Gruppe „Offset“ oder „kein Offset“ zugeordnet, sodass es für alle Tage (außer den ohne Offset) jeweils eine Menge von Werten gibt, die dann ausgewertet werden können.

Die tatsächlich gemessenen Verbräuche bestehen somit aus den Ergebnissen ohne Einflussnahme (Punkt 2, Baseline), unterbrochen von den Zeiträumen, in denen das Lastmanagement aktiv war (Punkt 3).

Für einen Vergleich muss die Baseline daraus rekonstruiert werden. Es müssen also die Verbräuche ermittelt werden, die sich ohne Berücksichtigung der durch die Offsets zu berücksichtigenden Kelvin-Stunden ergeben hätten.

Nach Ermittlung der Kelvin-Stunden werden diese dann in die Verbrauchsformel der Baseline (Punkt 2) eingesetzt um als Resultat den Umfang des vermiedenen Verbrauchs zu erhalten.

Auffällig ist dabei, dass bei dieser Berechnung der Fixanteil der linearen Formel unbedeutend ist, weil sich lediglich die temperaturabhängigen Werte verändern.

Im Ergebnis folgt daraus weiterhin, dass die separate Ermittlung des Warmwasserverbrauchs nicht erforderlich ist.

Beispielrechnung:

		Tagessummen					Einzelne Daten pro Moment			
H		Kh	all	non-offset	offset	delta kWh	all	non-offset	offset	delta kWh
11	HDD	-181,85	1,5746	1,5456	1,2181	6 746	1,0348	1,1966	14759	5 222
	fixed		-1,3206	-2,2523	8,9566		6,0444	2,9406	7,5843	
	corr%		78,28	78,33	55,81		44,34	45,55	53,27	

Der Effekt entsteht aus $181,85 \text{ K} \cdot 24 \text{ h}$, um die die reale Außentemperatur reduziert war. Multipliziert man diese mit der Steigung der Kurve „non-offset“ (also der nicht beeinflussten Werte), so ergibt sich ein Wert von 6.746 kWh für dieses Gebäude und den betreffenden Zeitraum.

Verwendet man die Steigung aus dem Modell Daten pro Moment (das deutlich geringere Korrelationen zeigt 45,55% gegenüber 78,33%), so gelangt man auf einen Wert von 5.222 kWh.

Dieses Ergebnis ist zusätzlich um die entsprechenden Netzverluste (Verteilverluste) und die Produktionsverluste zu ergänzen, die entsprechend nicht anfallen, wenn die Wärme nicht abgenommen wird und deshalb weder erzeugt noch transportiert werden muss. Die hierfür erforderlichen genauen Daten sind waren bei FWU nicht zu erheben (und sind es aller Voraussicht nach auch nicht in den Netzen anderer Fernwärmeversorgungsunternehmen). Deshalb wird für die Berechnung auf pauschalierte Werte, die in der Literatur herrschend sind bzw. sich aus wissenschaftlichen Studien in vergleichbaren Wärmenetzen ergeben haben zurückgegriffen. Für Netzverluste ist dementsprechenden ein Wert von 10 % -15 % und für Produktionsverluste ein Wert von 15 % - 20 % in Ansatz zu bringen.