

# Schlussbericht

**„FW-Digital – Digitalisierung der Technik und der Geschäftsprozesse in Wärmeversorgungsstrukturen; Teilvorhaben: Entwicklung digitaler Wärmeversorgungsstrukturen und deutsche Beteiligung am IEA-DHC Annex XIII“**

**Förderkennzeichen:** FKZ: 03EN3021A -E

**Laufzeit des Vorhabens:** 01.05.2020 – 31.12.2023

**Projektpartner:**

AGFW | Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH

GEF | GEF Ingenieur AG

Indevo | Indevo GmbH

IER | Universität Stuttgart Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung

Stiftung Umweltenergierecht

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Datum: 30.06.2024



# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
Zusammenfassung.....	5
Executive Summary .....	9
1 Einleitung.....	13
2 Koordination und Projektmanagement .....	14
3 Entwicklung digitaler Wärmeversorgungsstrukturen.....	18
3.1 Digitalisierung und Controlling.....	19
3.2 Typisierung von Wärmenetz- und Verbraucherstrukturen.....	35
3.3 Grundlegende Methoden.....	43
3.4 Praxisrelevante Anwendungen .....	67
3.5 Potentiale der Digitalisierung.....	88
3.6 Handlungsempfehlungen.....	101
4 Erarbeitung digitaler und effizienter Geschäftsprozesse .....	108
4.1 Problemstellung .....	108
4.2 Zielsetzung.....	109
4.3 Technologischer Ansatz .....	110
4.4 Stand der Dinge .....	115
4.5 Ergebnisse .....	116
4.6 Ausblick.....	147
5 Rechtlicher Rahmen für die Digitalisierung der Fernwärmeversorgung .....	149
5.1 Einführung.....	149
5.2 Datenschutzrechtliche Vorgaben für die Digitalisierung der Fernwärme .....	150
5.3 Cybersicherheitsrechtliche Vorgaben für die Digitalisierung der Fernwärme .....	166
5.4 Ergebnis.....	220
<b>6 IEA DHC Annex XIII (AGFW) .....</b>	<b>222</b>
Abbildungsverzeichnis.....	225
Tabellenverzeichnis.....	230
Literaturverzeichnis .....	231



## Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden in drei Teilstudien unterschiedliche Aspekte der Digitalisierung von Fernwärmesystemen untersucht. Hierbei wurden sowohl technische Aspekte als auch die daraus resultierenden wirtschaftlichen Bewertungen der Digitalisierung von Wärmenetzen umfassend analysiert. Rechtliche Fragestellungen, wie Datenschutz und Cybersicherheit, spielen eine entscheidende Rolle bei der Digitalisierung der Fernwärmeversorgung und unterliegen einer komplexen Regulierung auf europäischer und nationaler Ebene. Die rechtlichen Rahmenbedingungen bilden daher einen wesentlichen Bestandteil der Forschungsergebnisse

Die Messungen im Verteilnetz identifizieren Potenziale zur Effizienzsteigerung und ermöglichen die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Optimierung des Energieverbrauchs und der Betriebskosten. Durch die Analyse der Daten können Volumenstrom und Netztemperaturen gesenkt werden, was Einblicke in die Leistung der Verbraucher und die hydraulische Effizienz des Netzes gibt. Es wird empfohlen, Pumpen und Ventile basierend auf Echtzeitdaten und saisonalen Schwankungen zu optimieren. Anomalien und fehlerhafte HASTen (Hydraulische Abgleich- und Steuerungs-Technologie) unterstreichen die Bedeutung einer robusten Wartungsstrategie und prädiktiver Wartung, um die Netzwerkzuverlässigkeit zu verbessern. Die Analyse der Verbrauchsdaten zeigt Unterschiede in der Energieeffizienz, und durch Energieeffizienzprogramme sowie Echtzeit-Feedback können Verbraucher zur Spitzenlastreduktion motiviert werden. Die Datenanalyse ermöglicht prädiktive Optimierungen, um Nachfrageschwankungen und Ineffizienzen zu identifizieren. Simulationen unterstützen die Bewertung der Auswirkungen digitaler Strategien und die Verbesserung der Betriebsparameter. Digitale Technologien können die Netzleistung verbessern, jedoch muss die Digitalisierungstiefe sorgfältig gewählt werden, um wirtschaftlich sinnvoll zu bleiben.

Die Wirtschaftlichkeit digitaler Maßnahmen hängt vom Umfang des Bilanzraums und der Anzahl der HASTen ab. Eine Strategie muss ein Gleichgewicht zwischen Investitionen und operativen Einsparungen finden. Es ist entscheidend, eine auf die Netzcharakteristika abgestimmte Digitalisierungsstrategie zu entwickeln. Die Rentabilität ist in kleineren Netzen bei höherer Digitalisierungsrate am größten, während sie in größeren Netzen bei niedrigeren Raten erreicht wird. Die Handlungsempfehlungen umfassen die Zieldefinition, Auswahl geeigneter Technologien, transparente Evaluierung, realistische Budgetplanung und Entwicklung einer klaren digitalen Strategie. Eine thermo-hydraulische Simulation des Netzes und eine nachgelagerte techno-ökonomische Analyse helfen, die Effekte der Digitalisierung zu quantifizieren.

Die Wirtschaftlichkeit muss regelmäßig überprüft und die Strategie angepasst werden. Schulungen für das Team, sorgfältige Planung des Interimsbetriebs und Sicherstellung der Netzstabilität und Sicherheit sind unerlässlich. Die Systeme müssen aktuellen Vorschriften entsprechen, und effektive Monitoring-Systeme sollten Probleme frühzeitig erkennen. Der kontinuierliche Optimierungsprozess trägt dazu bei, den Energieverbrauch zu minimieren und die Gesamtleistung des Wärmenetzes zu verbessern. Nach der Umstellung auf digitale Übergabestationen ist ein stabiler und effizienter Regelbetrieb sicherzustellen, unterstützt durch Schulungen und Kundenfeedback.

Im weiteten Teilprojekt wurde ein erhebliches Optimierungspotenzial in der Fernwärmeversorgungswirtschaft durch die digitale Transformation ihrer Geschäftsprozesse festgestellt. Es besteht ein dringender Bedarf an geeigneten Instrumenten, um diesen Transformationsprozess erfolgreich zu unterstützen. Die datengetriebene Methode des Process Minings erweist sich als vielversprechender Ansatz, da sie die Komplexität und Quantität der zugrunde liegenden Daten sowie die Vielzahl struktureller Abhängigkeiten im Prozess berücksichtigen kann. Anhand exemplarischer Praxisanwendungsfälle wurde der Einsatz von Process Mining im spezifischen Kontext der Fernwärme demonstriert und dokumentiert. Durch die Entwicklung eigener Softwarelösungen konnte dieser Prozess weitgehend automatisiert werden. Verschiedene Maßnahmen und Werkzeuge wurden ebenfalls bewertet.

Trotz dieser Fortschritte war es jedoch noch nicht möglich, ein universelles und konsistentes Vorgehensmodell für Process Mining im Fernwärmesektor zu entwickeln. Dies liegt an der hohen Komplexität und der Spezifität der individuellen Ausgangssituationen vor Ort. Datengetriebene Bottom-Up-Ansätze sind grundsätzlich wenig geeignet für die Schaffung universell übertragbarer Modelle. Deshalb wurde ein Metamodell zur umfassenden Beschreibung des Anwendungskontexts entwickelt. Die Anwendung dieses Metamodells sowie anderer Werkzeuge und Maßnahmen erfordert weiterhin Expertenwissen.

Die Defizite bei der Digitalisierung im Fernwärmesektor resultieren nicht nur aus der Komplexität der Aufgaben. In der Energiewirtschaft, besonders in den sensiblen Geschäftsprozessen mit Versorgungsbezug, bestehen grundlegendere Hemmnisse. Der Hauptgrund dafür sind die schwer überschaubaren und kontrollierbaren Risiken einer tiefgreifenden digitalen Restrukturierung. Um die Resilienz der physischen Systeme und realen Prozesse nicht zu gefährden, sind robuste, konsistente, sichere und transparente Lösungen für ihre digitale Repräsentation notwendig. Langfristig kann digitale Resilienz nur durch einheitliche Spezifikationen technischer Standards und Normen sowie durch konvergente gesetzliche Rahmenbedingungen und Vorgaben sichergestellt werden.

Die Digitalisierung der technischen Infrastruktur bringt neue Herausforderungen für die Akteure der Fernwärmebranche mit sich, insbesondere auch in rechtlicher Hinsicht. Datenschutz und Cybersicherheit spielen hierbei eine zentrale Rolle. Die wesentlichen Erkenntnisse hierzu sind:

Die wichtigsten datenschutzrechtlichen Vorgaben im Bereich der Fernwärmeversorgung sind in der Datenschutz-Grundverordnung (DS-GVO) festgelegt. Diese Verordnung betrifft die Verarbeitung personenbezogener Daten. Personenbezogene Daten liegen vor, wenn eine natürliche Person identifiziert oder identifizierbar ist. Wärmeverbrauchsdaten können personenbezogene Daten darstellen, wenn sie Rückschlüsse auf die Identität einer Person zulassen. Die Verarbeitung dieser Daten erfordert einen gesetzlichen Verarbeitungstatbestand gemäß Art. 6 Abs. 1 DS-GVO.

Hierbei gibt es zwei Grundfällen zu unterscheiden: Im ersten Fall besteht ein Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnutzer. Hier ist die Verarbeitung der Wärmeverbrauchsdaten zur Erfüllung des Vertrages erforderlich (Art. 6 Abs. 1 lit. b DS-GVO), und eine Einwilligung des Nutzers ist grundsätzlich nicht notwendig. Im zweiten Fall besteht der Vertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnehmer, wobei der Anschlussnehmer in der Regel der Vermieter und der Anschlussnutzer der Mieter ist. Der Anschlussnehmer darf die Daten des Nutzers zum Zweck der Vertragserfüllung verarbeiten (Art. 6 Abs. 1 lit. b DS-GVO), und der Fernwärmeversorger kann die Daten des Anschlussnehmers zur Vertragserfüllung und die Verbrauchsdaten des Nutzers zur Wahrung berechtigter Interessen verarbeiten (Art. 6 Abs. 1 lit. f) DS-GVO). Auch hier ist eine Einwilligung in der Regel nicht erforderlich.

Die zentralen Vorgaben des Cybersicherheitsrechts im Bereich der Fernwärmeversorgung sind auf europäischer Ebene insbesondere in der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II sowie in der DS-GVO geregelt. Fernwärmeversorger fallen häufig in den Anwendungsbereich dieser Richtlinie, da sie als kritische Sektor eingestuft werden und eine bestimmte Größe oder Relevanz aufweisen. Auch kleinere Fernwärmeversorger können relevante Pflichten haben, da ihre Dienste die öffentliche Ordnung, Sicherheit oder Gesundheit beeinflussen können.

Wenn der Anwendungsbereich der Richtlinie eröffnet ist, sind Fernwärmeversorger als wesentliche oder wichtige Einrichtungen eingestuft. Wesentliche Einrichtungen unterliegen strengeren Cybersicherheitspflichten. Diese Pflichten betreffen vor allem Governance, Risikomanagement und Berichtswesen, wobei Risikomanagement und Berichtswesen von besonderer Bedeutung sind. Behörden können bei Nichteinhaltung dieser Pflichten Durchsetzungsmaßnahmen beschließen und/oder Geldbußen verhängen.

Der Anwendungsbereich der DS-GVO bezieht sich auf personenbezogene Daten. Der Fernwärmeversorger muss durch technische und organisatorische Maßnahmen („TOM“) die

Sicherheit der Datenverarbeitung sicherstellen. Dies betrifft sowohl das Planungs- und Entwicklungsstadium, in Form von „eingebautem Datenschutz“ und datenschutzfreundlichen Voreinstellungen, als auch das Verarbeitungsstadium selbst. Die Auswahl der geeigneten TOM basiert auf Kriterien wie dem Stand der Technik, den Implementierungskosten, der Art, dem Umfang und Zweck der Verarbeitung sowie der Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere des Risikos.

Bis spätestens 18. Oktober 2024 muss die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II in nationales Recht umgesetzt werden. Aktuell ist das deutsche Cybersicherheitsrecht im Bereich der Fernwärmeversorgung hauptsächlich im BSI-Gesetz und der BSI-Kritisverordnung geregelt. Diese Regelungen betreffen die Bereiche Erzeugung, Steuerung, Überwachung und Verteilung und sind auf große Fernwärmeversorger zugeschnitten, die ein Mindestniveau an IT-Sicherheit einhalten und erhebliche Störungen melden müssen. Ab dem 18. Oktober 2024 wird das deutsche Cybersicherheitsrecht in einem neu gefassten BSI-Gesetz mit 69 Paragraphen geregelt sein, welches die Vielzahl an Ausnahmeregelungen und unbestimmten Rechtsbegriffen der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II vermeidet. Es unterscheidet ebenfalls zwischen besonders wichtigen und wichtigen Einrichtungen, wobei bestimmte Einrichtungen per Rechtsverordnung als kritisch eingestuft werden können, was den Umfang der Cybersicherheitspflichten beeinflusst. Diese Pflichten und die Durchsetzungsmaßnahmen sowie Geldbußen sind der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II nachempfunden.



## Executive Summary

Within the framework of the research project, different aspects of the digitalization of district heating systems were examined in three sub-studies. Both technical aspects and the resulting economic evaluations of the digitalization of heating networks and business processes were comprehensively analyzed. Legal issues, such as data protection and cybersecurity, play a crucial role in the digitalization of district heating supply and are subject to complex regulation at both European and national levels. Therefore, the legal framework constitutes an essential component of the research findings.

Measurements in the distribution network identify potential efficiency improvements and enable the derivation of recommendations for optimizing energy consumption and operating costs. Through data analysis, flow rates and network temperatures can be reduced, providing insights into consumer performance and the hydraulic efficiency of the network. It is recommended to optimize pumps and valves based on real-time data and seasonal fluctuations. Anomalies and faulty Sub-Stations underscore the importance of a robust maintenance strategy and predictive maintenance to enhance network reliability. The analysis of consumption data reveals differences in energy efficiency, and energy efficiency programs, along with real-time feedback, can motivate consumers to reduce peak loads. Data analysis facilitates predictive optimizations to identify demand fluctuations and inefficiencies. Simulations support the evaluation of the impacts of digital strategies and the improvement of operational parameters. Digital technologies can enhance network performance, but the depth of digitalization must be carefully chosen to remain economically viable.

The economic viability of digital measures depends on the scope of the balancing area and the number of Sub-Stations. A strategy must balance investments and operational savings. It is crucial to develop a digitalization strategy tailored to the network characteristics. Profitability is greatest in smaller networks with a higher rate of digitalization, while in larger networks, it is achieved at lower rates. The recommendations include defining goals, selecting appropriate technologies, transparent evaluation, realistic budget planning, and developing a clear digital strategy. A thermo-hydraulic simulation of the network and a subsequent techno-economic analysis help quantify the effects of digitalization. Economic viability must be regularly reviewed, and the strategy adjusted. Training for the team, careful planning of interim operations, and ensuring network stability and security are essential. The systems must comply with current regulations, and effective monitoring systems should detect problems early. The continuous optimization process helps minimize energy consumption and improve the overall performance of the heating network. After switching to digital transfer stations, a stable and efficient regular operation must be ensured, supported by training and customer feedback.

In the further sub-project, significant optimization potential in the district heating supply industry was identified through the digital transformation of its business processes. There is an urgent need for suitable tools to successfully support this transformation process. The data-driven method of process mining proves to be a promising approach as it can consider the complexity and quantity of underlying data and the multitude of structural dependencies in the process. The application of process mining in the specific context of district heating was demonstrated and documented through exemplary practical use cases. By developing proprietary software solutions, this process could be largely automated. Various measures and tools were also evaluated.

Despite these advances, it has not yet been possible to develop a universal and consistent procedural model for process mining in the district heating sector. This is due to the high complexity and specificity of the individual initial situations on-site. Data-driven bottom-up approaches are generally unsuitable for creating universally transferable models. Therefore, a meta-model was developed for the comprehensive description of the application context. The application of this meta-model, as well as other tools and measures, still requires expert knowledge.

The deficits in digitalization in the district heating sector are not only due to the complexity of the tasks. In the energy industry, especially in sensitive business processes related to supply, there are more fundamental obstacles. The main reason for this is the difficult-to-oversee and controllable risks of a profound digital restructuring. To avoid endangering the resilience of physical systems and real processes, robust, consistent, secure, and transparent solutions for their digital representation are necessary. In the long term, digital resilience can only be ensured through uniform specifications of technical standards and norms, as well as through convergent legal frameworks and guidelines. Digitalisation of the technical infrastructure brings with it new challenges for players in the district heating industry, particularly from a legal perspective. Data protection and cyber security play a central role here. The key findings are as follows:

The most important data protection regulations in the district heating supply sector are set out in the General Data Protection Regulation (GDPR). This regulation concerns the processing of personal data. Personal data exists if a natural person is identified or identifiable. Heat consumption data can constitute personal data if it allows conclusions to be drawn about the identity of a person. The processing of this data requires a legal basis for processing in accordance with Art. 6 para. 1 GDPR.

There are two basic cases to be distinguished here: In the first case, there is a supply contract between the district heating supplier and the connection user. In this case, the processing of

heat consumption data is necessary to fulfil the contract (Art. 6 para. 1 lit. b GDPR) and the user's consent is generally not required. In the second case, the contract is between the district heating supplier and the connection user, whereby the connection user is usually the landlord and the connection user is the tenant. The connectee may process the user's data for the purpose of contract fulfilment (Art. 6 para. 1 lit. b) GDPR), and the district heating supplier may process the connectee's data for contract fulfilment and the user's consumption data to protect legitimate interests (Art. 6 para. 1 lit. f) GDPR). Consent is generally not required here either.

The central requirements of cybersecurity law in the area of district heating supply are regulated at European level, in particular in the Network and Information Security Directive II and in the GDPR. District heating suppliers often fall within the scope of this directive as they are categorised as a critical sector and are of a certain size or relevance. Smaller district heating suppliers may also have relevant obligations as their services may affect public order, safety or health.

When the scope of the Directive is opened, district heating suppliers are categorised as essential or important entities. Material entities are subject to stricter cybersecurity obligations. These obligations relate primarily to governance, risk management and reporting, with risk management and reporting being of particular importance. Authorities can decide on enforcement measures and/or impose fines in the event of non-compliance with these obligations.

The scope of application of the GDPR relates to personal data. The district heating supplier must ensure the security of data processing through technical and organisational measures ("TOM"). This concerns both the planning and development stage, in the form of "built-in data protection" and data protection-friendly default settings, as well as the processing stage itself. The selection of suitable TOMs is based on criteria such as the state of the art, the implementation costs, the type, scope and purpose of the processing as well as the probability of occurrence and severity of the risk.

The Network and Information Security Directive II must be transposed into national law by 18 October 2024 at the latest. Currently, German cybersecurity law in the district heating supply sector is mainly regulated by the BSI Act and the BSI Criticism Ordinance. These regulations concern the areas of generation, control, monitoring and distribution and are tailored to large district heating suppliers, who must comply with a minimum level of IT security and report significant disruptions. From 18 October 2024, German cybersecurity law will be regulated in a revised BSI Act with 69 paragraphs, which avoids the multitude of exemptions and undefined legal terms of the Network and Information Security Directive II. It also distinguishes between particularly important and important organisations, whereby certain organisations can be classified as critical by statutory order, which influences the scope of cyber security obligations.

These obligations and the enforcement measures and fines are modelled on the Network and Information Security Directive II.

# 1 Einleitung

Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung erfährt auch die Fernwärmebranche bedeutende Veränderungen. Die Integration digitaler Technologien in Fernwärmesysteme bietet immense Chancen, die Effizienz zu steigern, die Betriebsabläufe zu optimieren und letztendlich die Nachhaltigkeit des gesamten Wärmeversorgungssystems zu verbessern. Der vorliegende Abschlussbericht stellt eine umfassende Analyse und Bewertung der Auswirkungen der Digitalisierung auf die Fernwärme dar.

In den folgenden Kapiteln werden zunächst die durch die Digitalisierung erzielbaren Effizienzsteigerungspotenziale sowie die sich daraus resultierenden wirtschaftlichen Bewertungen von Wärmenetzen und Geschäftsprozessen vorgestellt. Des Weiteren werden rechtliche Rahmenbedingungen betrachtet, die Antworten auf Fragen zum Datenschutz und zur Cybersicherheit liefern. Abschließend werden Handlungsempfehlungen zur Digitalisierung der Fernwärme im Hinblick auf den rechtlichen Rahmen gegeben, um die digitale Transformation erfolgreich zu gestalten und die langfristige Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit der Branche zu sichern.

Dieser Abschlussbericht ist das Ergebnis umfangreicher Forschungsarbeit und bietet einen fundierten Einblick in die gegenwärtigen Trends und zukünftigen Perspektiven der digitalen Fernwärme. Er soll dazu beitragen, die Diskussion über die Rolle der Digitalisierung in der Energieversorgung zu vertiefen und die Entwicklung innovativer Lösungen voranzutreiben. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung erfährt auch die Fernwärmebranche bedeutende Veränderungen. Die Integration digitaler Technologien in Fernwärmesysteme bietet immense Chancen, die Effizienz zu steigern, die Betriebsabläufe zu optimieren und letztendlich die Nachhaltigkeit des gesamten Wärmeversorgungssystems zu verbessern. Der vorliegende Abschlussbericht stellt eine umfassende Analyse und Bewertung der Auswirkungen der Digitalisierung auf die Fernwärme dar.

In den folgenden Kapiteln werden zunächst durch die Digitalisierung erzielbaren Effizienzsteigerungspotenziale sowie sich daraus resultierenden wirtschaftlichen Bewertungen von Wärmenetzen und Geschäftsprozessen vorgestellt. Des Weiteren werden rechtliche Rahmenbedingungen betrachtet, die Antworten auf Fragen zum Datenschutz und zur Cybersicherheit liefern. Abschließend werden Handlungsempfehlungen zur Digitalisierung der Fernwärme im Hinblick auf die den rechtlichen Rahmen gegeben, um die digitale Transformation erfolgreich zu gestalten und die langfristige Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit der Branche zu sichern. Dieser Abschlussbericht ist das Ergebnis umfangreicher Forschungsarbeit und bietet einen fundierten Einblick in die gegenwärtigen Trends und zukünftigen Perspektiven der digitalen Fernwärme. Er soll dazu beitragen, die Diskussion über die Rolle der Digitalisierung in der Energieversorgung zu vertiefen und die Entwicklung innovativer Lösungen voranzutreiben.

## 2 Koordination und Projektmanagement

Aufgrund der Praxisrelevanz des Forschungsprojekts werden sowohl reale Netzdaten als auch Verbraucherdaten aus einem Beispielgebiet analysiert und interpretiert (siehe Abschnitt 3.4). Die realen Messdaten werden von einem Mitgliedsunternehmen des AGFW im Rahmen des Forschungsvorhabens bereitgestellt.

Zur messtechnischen Ausstattung beteiligte sich der AGFW an einer Vor-Ort-Analyse gemeinsam mit dem Projektpartner und dem Mitgliedsunternehmen. Während der Besichtigung wurden drei Schächte analysiert, und im weiteren Projektverlauf wurde die messtechnische Ausstattung abgestimmt. Bei den besichtigten Schächten handelte es sich um:

- » Eine **Stichleitung**, die zwei Versorgungsbezirke mit einer DN 400er Leitung versorgt. Der Schacht verfügte bereits über eine aktive Stromversorgung sowie Sensoren zur Temperaturmessung. Die Druckmessung wurde im Rahmen des Projekts durch eine dauerhafte Stromversorgung realisiert.
- » Einen **Verzweigungsschacht**, der mit drei Abgängen (DN 250, DN 200 und DN 150) ein Wohngebiet und einen Schulkomplex mit circa 20 MW Wärme versorgt. Die Vorrichtungen für die Stromversorgung waren hier bereits vorhanden, jedoch fehlte noch die Anbindung an das öffentliche Stromnetz. Die Installation von Messsensoren zur Erhebung und Übertragung von Temperatur- und Durchflussdaten mittels Mobilfunknetz erfolgte im Rahmen des Projekts.
- » Eine **Verteilleitung**, die ein Teilnetz versorgt. In diesem Schacht befand sich weder ein Stromanschluss noch eine Vorinstallation für eine eventuelle Stromversorgung. Im Rahmen des Projekts wurden Sensoren zur Druck-, Temperatur- und Volumenstrommessung installiert. Die Messwerte wurden mithilfe eines Gateways über das Mobilfunknetz übertragen.

Während der Projektbearbeitungszeit wurden die oben genannten Schächte zur Datenübertragung mit der erforderlichen Messtechnik ausgestattet. Die erzielten Ergebnisse sollten sowohl dem Forschungsprojekt als auch der Fernwärmebranche zugutekommen. Der AGFW stimmte gemeinsam mit den Projektpartnern und dem Fernwärmeversorgungsunternehmen das Vorgehen ab und definierte, welche Ergebnisse der Fernwärmebranche nützlich sein könnten. Darüber hinaus beteiligte sich der AGFW an der Finanzierung der Messtechnik.

Die u.a. durch eine parlamentarische Anfrage gestützte Aktivität Themenverbund »Aktivierung der Stadtwerke« konnte im Mai 2021 erfolgreich gestartet werden und führt seitdem im etwa zweimonatigen Abstand die virtuelle Veranstaltung »SW.aktiv« durch.

Der Themenverbund besteht aus den Partnern AGFW, Frankfurt am Main, Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen (Fraunhofer) und DVGW ebi, Karlsruhe. Der Themenverbund unterstützt relevante Akteurinnen und Akteure dabei, erfolgversprechende Lösungen für aktuelle und zukünftige Herausforderungen zu finden und umzusetzen. Ziel ist es, Ergebnisse aus der Forschung in die Praxis bringen und Stadtwerke zu motivieren, den Transformationsprozess zu wagen sowie eine Plattform für den Austausch und die Vernetzung zu schaffen.

Die Veranstaltungsreihe »SW.aktiv« stellt dazu erfolgreiche Technologien und Lösungsansätze vor, fördert den Erfahrungsaustausch und die Vernetzung und bietet die Möglichkeit, Themen in die Projektförderung einzubringen. Der wichtige Teil der Veranstaltungsreihe ist die Interaktion - die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sind eingeladen, mitzudiskutieren, ihre Erfahrungen und Wünsche einzubringen und die Termine der Veranstaltungsreihe so mitzugestalten.

Im Zeitraum Mai 2021 bis Dezember 2023 hat der Themenverbund erfolgreich insgesamt 14 virtuelle Veranstaltungen durchgeführt; dabei (ohne Auftaktveranstaltung) fünf Veranstaltungen mit dem AGFW als Ausrichter und acht Veranstaltungen mit den Themenverbundpartnern als Ausrichter. Die Partner arbeiten intensiv bei der Planung der Veranstaltungen und der Ausrichtung der Veranstaltungsreihe zusammen und stimmen sich hierzu regelmäßig ab.

Die Tabelle 2-1 gibt einen Überblick zu den in der Projektlaufzeit geplanten, vorbereiteten und durchgeführten Veranstaltungen.

Nummer	Veranstaltung	Datum	Ausrichter	Angemeldete Teilnehmende
1	Transformation zum Stadtwerk von morgen (Auftaktveranstaltung)	11.05.2021	Themenverbundpartner	124
2	Klimaneutrale Wärme - Konzepte, Erfahrungen und Lessons Learned aus Forschung und Praxis	13.07.2021	AGFW	166
3	Wasserstoff - Eine gute Idee für die Energiewende?	14.09.2021	DVGW ebi	99

<b>4</b>	Integrale Quartiersprojekte – Ein Lösungsansatz für die Praxis?	09.11.2021	Fraunhofer	117
<b>5</b>	Digitalisierung - Beispiele aus und für die Praxis	08.02.2022	AGFW	113
<b>6</b>	Kommunale Wärmeplanung – Was heißt das für Stadtwerke?	05.04.2022	Fraunhofer	231
<b>7</b>	Sektorenkopplung: Energiesystemmodellierung als integrales Planungswerkzeug	14.06.2022	DVGW ebi	126
<b>8</b>	Großwärmepumpen – Potenziale, Praxisbeispiele und Randbedingungen	04.10.2022	AGFW	392
<b>9</b>	Tiefe Geothermie: Große Potenziale – Wer kann sie nutzen	06.12.2022	Fraunhofer	375
<b>10</b>	Infrastruktur – Herausforderungen bei der kommunalen Energiewende?	07.03.2023	DVGW ebi	214
<b>11</b>	Abwärmenutzung für die Wärmeversorgung	02.05.2023	AGFW	310
<b>12</b>	Nahwärme - Baustein für eine nachhaltige lokale Wärmeversorgung	04.07.2023	Fraunhofer	376
<b>13</b>	Wasserstoff – Umstellung von Verteilnetzen in der Praxis	10.10.2023	DVGW ebi	358



14	Ausbau der Wärmenetze: Wie innovativer Leitungsbau dabei unterstützen kann	05.12.2023	AGFW	387
----	---	------------	------	-----

*Tabelle 2-1: Veranstaltungsreihe »SW.aktiv« im Projektzeitraum*

Im Projektzeitraum konnte die Anzahl der Interessierten an der Veranstaltungsreihe auf weit über 1500 aufgebaut werden. Diese stammen zu etwa 50 % aus Stadtwerken, Energieversorgern sowie Kommunen und zu etwa 30 % aus Branchenunternehmen. Insgesamt zeigt dies, dass es dem Themenverbund gelungen ist, die relevanten Themen aufzugreifen und eine passende Plattform zur Information, zum Austausch und zur Vernetzung zu bieten.

Im Rahmen der Projektlaufzeit wurden zwei Praxisworkshops durchgeführt. Der erste Praxisworkshop wurde aufgrund der anhaltenden Pandemiesituation zunächst in Form einer Online-Veranstaltung durchgeführt (Dezember 2021). Im Rahmen des Praxisworkshops wurden Vertreter von Unternehmen eingeladen, die kommerziell marktverfügbare Technologien anbieten. Der Praxisworkshop wurde als Teil der Veranstaltungsreihe zum fünfzigjährigen Bestehen des AGFW organisiert. Er stieß auf große Resonanz und verzeichnete die Teilnahme von nahezu 100 Vertretern von Stadtwerken, Fernwärmeversorgungsunternehmen und Institutionen. Im ersten Teil des Workshops präsentierten die Projektpartner den Fortschritt ihrer Arbeitspakete sowie die bisherigen Ergebnisse der Fernwärmebranche. Im zweiten Teil der Veranstaltung referierten Vertreter des AGFW über den aktuellen Stand der BSI-konformen Kommunikationstechnologien. Unternehmensvertreter präsentierten verschiedene Werkzeuge zur Digitalisierung der Fernwärme und demonstrierten deren potenzielle Effizienzsteigerungen.

Der zweite Praxisworkshop wurde in Frankfurt in Präsenz, der durch die entspannten Reise-richtlinien ermöglicht wurde, durchgeführt (Mai 2023). Der Workshop bot Unternehmen der Versorgungsbranche eine Plattform zum Austausch über technische und rechtliche Herausforderungen der Digitalisierung. Insgesamt nahmen elf Vertreter von Versorgungsunternehmen und Stadtwerken teil. Im Rahmen des Workshops wurden die Projektergebnisse präsentiert, Erfahrungen ausgetauscht und Herausforderungen diskutiert. Es wurde festgestellt, dass sich die Unternehmen auf unterschiedlichen Stufen der Digitalisierung befinden, jedoch ähnlichen Herausforderungen gegenüberstehen. Besonders das Thema Datenschutz und der Umgang mit personenbezogenen Daten weckten großes Interesse bei den Teilnehmern.

### 3 Entwicklung digitaler Wärmeversorgungsstrukturen

Die Digitalisierung der Energiewirtschaft bietet signifikante Potenziale, die Energiebereitstellung, -verteilung und -nutzung durch die Verknüpfung von Daten und die Steigerung der Nutzbarkeit von Messinstrumenten/Zählern effizienter zu gestalten. Durch diese Effizienzsteigerungen lassen sich sowohl Kosten als auch Treibhausgasemissionen senken und die Integration erneuerbarer Erzeuger ermöglichen. Obwohl die Wärmeerzeugung den höchsten Endenergieeinsatz aller Anwendungsbereiche aufweist, sind digitale Prozesse auf dem Stromsektor derzeit weiter vorangeschritten.

Vor diesem Hintergrund möchte dieses Teilprojekt die Forschungsfrage beantworten wie durch die Digitalisierung die technische Seite der Fernwärmeversorgung effizienter gestaltet werden kann. Hierfür ist das Teilprojekt in drei miteinander verbundene Segmente (siehe Abbildung 3-1) unterteilt. Zunächst bietet der theoretische Aspekt ein Verständnis der Typologie von Heiznetzwerken und Verbraucherverhalten (Kapitel 3.2) und wird weiter durch die Entwicklung grundlegender Methodiken (Kapitel 3.3) verstärkt. Dieses Kapitel dient als Gerüst für die nachfolgende praktische Analyse und Interpretation von Messdaten.

Kapitel 3.1 vertieft sich in die Digitalisierungs- und Steuerungsmechanismen, die im praktischen Bereich von entscheidender Bedeutung sind und legt den Grundstein für die Anwendung theoretischer Einsichten. Darauf aufbauend wird in Kapitel 3.4 die praxisrelevanten Anwendungen und Umsetzung analysiert. Um im nachfolgenden Kapitel 3.5 das mögliche Potenzial der Digitalisierung zu ermitteln. Im Kapitel 3.6 werden die theoretischen und empirischen Erkenntnisse zusammengefasst und daraus praxisorientierte Handlungsempfehlungen abgeleitet.

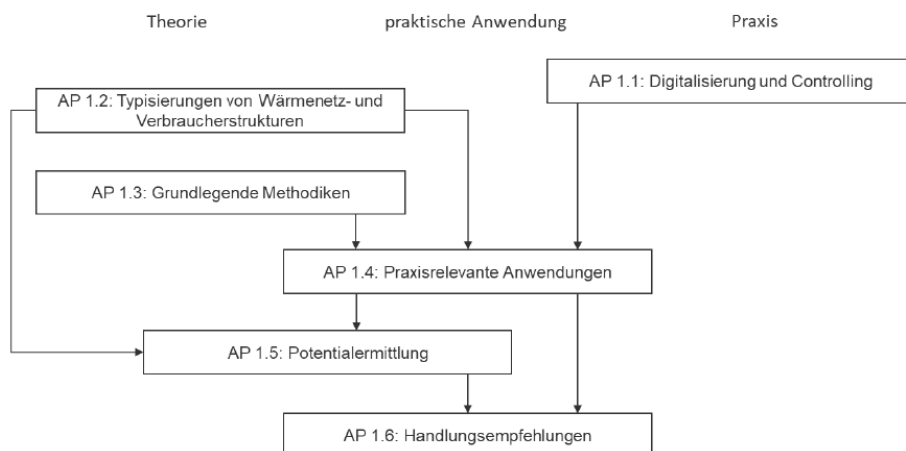


Abbildung 3-1 Gesamtübersicht Teilprojekt:

## 3.1 Digitalisierung und Controlling

Die Dynamik der Digitalisierung hat in den letzten Jahren zugenommen. Ein Trend, der durch die COVID-19-Pandemie erheblich beschleunigt wurde. Als Unternehmen gezwungen waren, digitale Lösungen anzubieten, um den Betrieb aufrechtzuerhalten, wurde der Übergang zur digitalen Transformation noch deutlicher. Ein Bericht von (UnivDatos Market Insights 2023) hebt diese Entwicklung hervor und prognostiziert ein erhebliches Wachstum im Energiesektor. Es wird erwartet, dass „die digitale Transformation im Energiemarkt aufgrund der zunehmenden Integration von Smart-Grid-Technologien und der zunehmenden Einführung von Smart-Grid-Technologien mit einer starken jährlichen Wachstumsrate von rund 17 % wachsen wird“.

### 3.1.1 Digitalisierung

#### Smart Metering

Grundvoraussetzung für die Digitalisierung sind intelligente Zähler. Allgemein bezieht sich das Messwesen auf einen umfassenden Begriff für verschiedene Messtechnologien, der oft im Kontext von Energieverbrauchsmessungen im Bereich der Energiewirtschaft verwendet wird. Im Unterschied dazu geht das Konzept des Smart Metering über die einfache digitale Erfassung eines Werts hinaus. Die Daten der Verbrauchsmessungen werden über Kabel oder per Funk an den entsprechenden Energieversorger übermittelt, gespeichert und analysiert. Smart Metering hat sich zu einem internationalen Begriff für unterschiedliche Zähler- und Kommunikationstechnologien entwickelt, wobei es jedoch keine allgemein anerkannte Definition für Smart Metering gibt. Im wörtlichen Sinne bezieht es sich auf die Verwendung von intelligenten Zählern bzw. Smart-Meter-Systemen und umfasst laut der European Smart Metering Alliance (ESMA, (Urbansky 2020a)) die folgenden Funktionen:

- » Automatische Verarbeitung, Übertragung, Verwaltung und Nutzung von Messdaten
- » Automatisierte Abwicklung von Messungen
- » Zwei-Wege-Datenübertragung mit Zählern
- » Bereitstellung aussagekräftiger und zeitnaher Verbrauchsdaten an relevante Akteure und Systeme
- » Unterstützung von Diensten, die die Effizienz des Energiesystems verbessern

Smart Metering fungiert als Schnittstelle zwischen dem Netz und dem Endverbraucher, wobei diesem eine bedeutende Rolle in Bezug auf regulatorische Funktionen eines Netzes zukommt. Es soll auf einer Infrastruktur für Mehrzweckmessungen basieren, wodurch neben dem Stromsektor zunehmend mehr Aufmerksamkeit auf den Bereich der Fernwärme gelenkt wird. Relevante Messgeräte dafür sind traditionelle Wärmemengenzähler sowie Smart-Heat-Meter (SHM).

Durch eine erhöhte Transparenz der Daten, die durch eine laufende Datenauswertung und ein Energiemonitoring gewonnen werden, wird nicht nur der Endverbraucher stärker eingebunden, sondern es kann auch eine Verbesserung der Effizienz der gesamten Wertschöpfungskette in der Fernwärme erzielt werden. Energieversorgern wird die Möglichkeit geboten, die Effizienz durch ein ausgewogenes System zu steigern. Weniger Schwankungen implizieren eine optimierte Produktion und somit eine bessere Ausnutzung der Produktionskapazitäten. Die Senkung der Betriebskosten wird durch die Vermeidung teurer Spitzenlastproduktion ermöglicht, die beispielsweise durch die Implementierung von Wärmespeicherung erreicht werden kann (Rapp et al.).

### **Systemmodell: Smart-Metering-System**

In Diskussionen und auf dem Markt werden häufig verschiedene Begriffe im Zusammenhang mit intelligenten Zählern verwendet, darunter:

- » Advanced Meter Reading (AMR)
- » Advanced Meter Infrastructure (AMI)
- » Smart-Metering-System (SMS)
- » Moderne Messeinrichtung (mME)
- » Intelligentes Messsystem (iMSys)

Der Begriff AMR bezieht sich auf Systeme, die Energiezähler durch Kommunikation fernauslesen können. Im Industriesektor wird dies als standardisierte Zählerfernauslesung bezeichnet. Im Gegensatz dazu ermöglicht AMI eine Zwei-Wege-Kommunikation zwischen Verbrauchern und Energieversorgern mithilfe eines modularen oder integrierten Gateways.

AMI-Systeme verfügen daher über erweiterte Netz- und Haussteuerungsfunktionen, einschließlich der Schaltung externer Geräte zur Laststeuerung und Schnittstellen zu Meter-Data-Management-Systemen (MDM-Systemen). Der Oberbegriff für diese Konzepte ist Smart-Metering, der im nächsten Abschnitt genauer betrachtet wird. Es ist auch wichtig, zwischen einer modernen Messeinrichtung (mME) und einem intelligenten Messsystem (iMSys) zu unterscheiden. Eine moderne Messeinrichtung bezieht sich lediglich auf einen digitalen Energiezähler, der keine Veränderungen für das Netz impliziert. Im Gegensatz dazu besteht ein intelligentes Messsystem aus einer zusätzlichen Kommunikationseinheit und einer Schnittstelle zum entsprechenden Versorgungsnetz ( (Nabe et al.), (Urbansky 2020a), (Urbansky 2020b)).

Ein Smart-Metering-System gliedert sich in drei Hauptsubsysteme:

- » Das Mess- oder Zählsystem
- » Das Kommunikationssystem
- » Das MDM-System (Meter-Data-Management-System)

Das Messsystem stellt den Zähler eines Smart-Meters dar, der im Vergleich zu herkömmlichen Messgeräten erweiterte Funktionen aufweist. Neben dem eigentlichen Messwerk sind das Zählwerk und die Steuerung zur Datenspeicherung integriert. Das Messwerk erfasst darüber hinaus mehr Messgrößen als herkömmliche Zähler, einschließlich herstellerspezifischer Werte zur Energiequalität. Im Kontext von Smart Metering für Fernwärmenetze könnten dies beispielsweise Temperatur, Volumen und Durchfluss sein. Die Datenspeicherung und Schaltzeitpunkte sind je nach Hersteller unterschiedlich parametrierbar.

Smart-Meter verfügen außerdem über Kommunikationsschnittstellen, die den Zähler mit dem Netz verbinden. Hierbei wird zwischen lokalen sowie primären, sekundären und tertiären Schnittstellen unterschieden. Lokale Schnittstellen ermöglichen die lokale Parametrierung und Datenauslesung. Primäre Schnittstellen sind für die Kommunikation mit anderen Zählern zuständig. Sekundäre Schnittstellen dienen der Kommunikation mit Kundeninformationssystemen wie beispielsweise Smart-Home-Systemen. Tertiäre Schnittstellen stellen die Verbindung zum MDM her und ermöglichen somit die Weitverkehrskommunikation. Das MDM-System umfasst Aufgaben zur Datenverarbeitung, darunter die Steuerung des intelligenten Messsystems, das Datenmanagement sowie das Zeitreihenmanagement. Dieses System ist in der Regel zwischen dem Gateway und dem Energie-Daten-Management-System (EDM) positioniert. Eine genauere Definition des Gateways wird in einem späteren Abschnitt erläutert. Gemäß den Funktionsdefinitionen der ESMA kann das Smart-Metering-System auf Kundenseite mit Feedback-Systemen für das Energiemonitoring sowie auf Seiten des Energieversorgers mit EDM und daran gebundenen Business-Applikationen verbunden werden.

### **Investitionen in und Betriebskosten von digitalisierten Hausanschlussstationen**

Die Installation, der Betrieb und die Wartung von digitalisierten Hausanschlussstationen (iHAST) gehen im Vergleich zum Betrieb herkömmlicher Hausanschlussstation (HAST) je nach Digitalisierungsgrad mit zusätzlichen Kosten einher. Aufgrund des noch niedrigen Digitalisierungsgrads deutscher Wärmenetze gibt es bisher keine Erhebung über die spezifischen Kosten für die Digitalisierung von HASTen ((Wendel et al. 2022b)). Daher werden im weiteren Verlauf die Kosten unter Berücksichtigung einer breiten Anwendbarkeit geschätzt.

Nach der VDI 2067 Verein Deutscher Ingenieure e.V (Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2012) erfolgt eine Differenzierung hinsichtlich kapital-, betriebs- und bedarfsgebundener Kosten. Die Kosten variieren je nach angestrebter Digitalisierungsstufe. Für die Umsetzung eines Mindeststandards der Digitalisierung sind Investitionen in ein SHM sowie in ein Datenmanagement- und Erfassungssystem (DES) erforderlich. Die kapitalgebundenen Kosten für diese Maßnahmen belaufen sich laut Tabelle 3-1 auf durchschnittlich 546 €, basierend auf fünf unabhängigen Angeboten, die zwischen 449 und 625 € liegen. Jährliche betriebsgebundene Kosten,

einschließlich Aufwendungen für Wartung, Instandhaltung und sonstige Serviceleistungen, belaufen sich auf schätzungsweise 73 bis 128 €/a. In Kombination mit den kapitalgebundenen Kosten ergeben sich durchschnittliche jährliche Annuitäten von etwa 163,8 €/a, wobei ungefähr 60 % auf betriebsgebundene Kosten entfallen. Die Kosten wurden für eine techn. Nutzungsdauer von 20 a mit einem Zinssatz von 7 %/a, in Anlehnung an (Rapp et al.), diskontiert. Das Bezugsjahr ist 2020.

*Tabelle 3-1: Kapital- und betriebsgebundene Kosten der Digitalisierung von HASTen<sup>1</sup>*

<b>HAST</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>kapitalgeb. Kosten €</b>	274	281	217	263	-	-
<b>betriebsgeb. Kosten €</b>	73	85	110	128	-	-
<b>annuisierte Gesamtkosten €/a</b>	132	138	110	128	-	-

### 3.1.2 Status quo der Digitalisierung deutscher Wärmenetze

Um den Digitalisierungsgrad deutscher Wärmenetze zu erfassen, ist ein genereller Überblick über den Status quo deutscher Wärmenetze und deren Transformationsziele erforderlich. Aufgrund der Komplexität und Anpassungsfähigkeit der Wärmenetze an lokale Bedingungen, können die Ausgangszustände und Transformationsziele signifikant variieren. Um einen Überblick zu erhalten, wurde eine anonymisierte Umfrage unter 219 Wärmenetzbetreibern durchgeführt. Diese umfasste allgemeine Kenngrößen, eine Abfrage zur Einschätzung der Relevanz von Transformationszielen und den Fortschritt bei bereits umgesetzten Maßnahmen. Die Rücklaufquote von 6,4 % ermöglichte erste Einblicke, wobei deren Übertragbarkeit auf den gesamten Wärmenetzbestand infolge der geringen Stichprobengröße begrenzt ist. Ebenso mindert die Abweichung in der Verteilung der Netzgrößen zwischen dem realen Wärmenetzbestand (siehe Abbildung 3-2b) und den an der Umfrage teilnehmenden Wärmenetzen (Abbildung 3-2b) die Übertragbarkeit der Ergebnisse. Es ist zu beachten, dass die Großnetze mit über 100 km Trassenlänge bei der Umfrage unterrepräsentiert und die Gruppe der großen und

<sup>1</sup> Die Daten von HASTen A, B, C, D stammen von Routledge and Williams und die Daten von HASTen E und F von Rapp et al.

kleinen Wärmenetze überrepräsentiert ist, wenn man die Gesamtanzahl der Wärmenetze in vier Größenklassen (Großnetze, große und kleine Netze sowie Kleinstnetze) aufteilt.

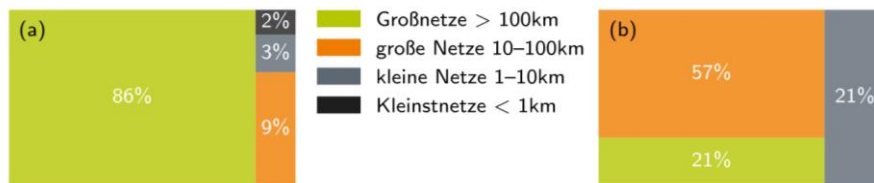


Abbildung 3-2: Typisierung der Gesamtheit deutscher Wärmenetze (a) sowie der an der Umfrage teilgenommenen Wärmenetze (b) nach Gesamtleitungslänge. Basierend auf Daten von Schweikardt et al. (2012)

Die Mehrheit der Wärmenetze wird als Heißwassernetz mit gleitenden Vorlauftemperaturen betrieben (Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2017), wobei die im Jahresmittel erreichten Vor- und Rücklauftemperaturen etwa 92 bzw. 61 °C betragen (vgl. Abbildung 3-3). Die mittlere Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf beträgt bei den befragten Wärmenetzen 30,6 °C, wobei Maximalwerte von 50 und Minimalwerte von 17 °C angegeben wurden. Einige Wärmenetze erreichen Höchsttemperaturen von 110, 125 und 130 °C, während die geringsten Rücklauftemperaturen im Jahresmittel bei 50 °C und die höchsten bei 78 °C liegen.

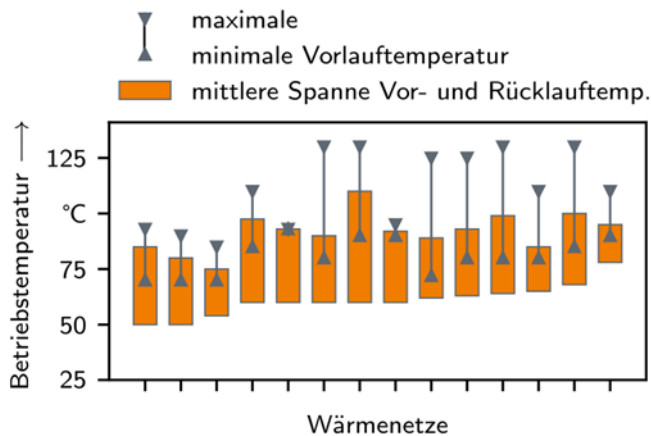


Abbildung 3-3: Mittlere wärmenetzseitige Vor- und Rücklauftemperaturen sowie die Spannweite zwischen minimalen und maximalen Vorlauftemperaturen für die an der Umfrage teilgenommenen deutschen Wärmenetze

Ein Vergleich der mittleren Vor- und Rücklauftemperaturen mit anderen europäischen Ländern ermöglicht eine Zusammenfassung des Reduktionspotenzials für Vor- und Rücklauftemperaturen, unabhängig von den klimatischen Bedingungen (vgl. Tabelle 3-2). Das Bestreben, die Betriebstemperaturen zukünftiger Wärmenetze zu senken, wird auch in Abbildung 3-4 deutlich,

in der die Relevanz der Transformationsziele seitens der befragten Wärmenetzbetreiber in aufsteigender Reihenfolge dargestellt ist.

*Tabelle 3-2: Jahresmittlere wärmenetzseitige Vor- und Rücklauftemperaturen im internationalen Vergleich*

Nation	Vorlauf °C	Rücklauf °C	Spreizung °C	Stichprobenanzahl	Quelle
Deutschland	91,7	61,0	30,7	14	eigene Erhebung
Schweiz	78,3	48,0	30,3	44	Nussbaumer and Thalmann (2014)
Dänemark	77,6	43,1	34,5	207	Gadd and Werner (2014)
Schweden	86,0	47,2	38,8	142	Gadd and Werner (2014)

### Relevanz einzelner Transformationsmaßnahmen

In der Umfrage wurden die Wärmenetzbetreiber gefragt, welcher Transformationsmaßnahme den größten Stellenwert zur Zielerreichung der Wärmewende zukommt. Die Resultate sind in Abbildung 3-4 dargestellt. Die befragten Wärmenetzbetreiber legen einen Schwerpunkt auf die Senkung von Vor- und Rücklauftemperaturen als zentrales Ziel der Transformation, um die Gesamteffizienz der Wärmenetze zu steigern. Dieses hohe Interesse an Effizienzsteigerungsmaßnahmen wurde in (Wendel and Blesl 2020) durch eine Metaanalyse der Fachaufsätze in EuroHeat & Power von 2017 bis 2019 bestätigt. Ebenso wird großes Interesse an der Digitalisierung bekundet. Im Gegensatz dazu erscheinen Maßnahmen zur Sektorenintegration zwischen dem Strom- und Wärmemarkt sowie die Anpassung von Fahrweisen an zukünftige Anforderungen laut Umfrage derzeit weniger relevant zu sein. Obwohl der Erhalt oder Ausbau des Wärmeabsatzes gemäß (Wolff and Jagnow) für einen wirtschaftlichen Wärmenetzbetrieb maßgeblich ist, wird diesem Transformationsziel nur eine geringe Bedeutung beigemessen.



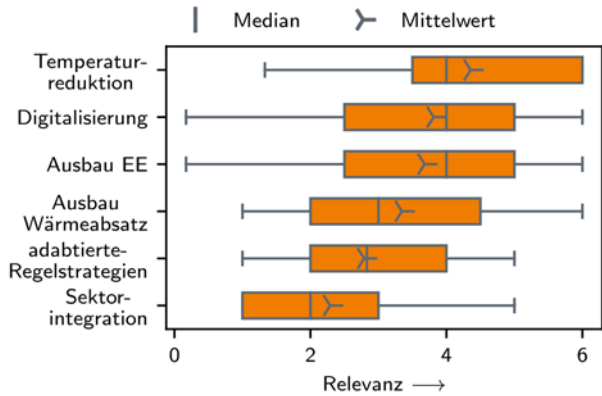


Abbildung 3-4: Die für die teilnehmenden Wärmenetzbetreiber nach aufsteigender Relevanz geordneten Transformationsziele

Es wird durch Abbildung 3-5 verdeutlicht, dass die am häufigsten umgesetzten Maßnahmen in den befragten Wärmenetzen auf die Nachverdichtung und den Ausbau der bestehenden Wärmenetze abzielen. Der Stand der Umsetzung liegt im Durchschnitt zwischen einer experimentellen Phase und einer teilweisen Implementierung, wobei die Bandbreite von "keine" bis "alle Potenziale erschlossen" reicht. Die Digitalisierung sowohl des Wärmenetzes als auch der HASTen folgen auf den beiden nachfolgenden Rängen. Dabei wurde angegeben, dass die Digitalisierung des Wärmenetzes im Vergleich zur Digitalisierung der HASTen bereits fortgeschrittener ist. Die Digitalisierung des Wärmenetzes ist darüber hinaus in allen befragten Wärmenetzen zumindest in der Planungsphase. Die Umfrageresultate weisen darauf hin, dass gemäß (Paar et al.) eine Reduktion der wärmenetzseitigen Vorlauftemperaturen erst nach einer umfangreichen Absenkung der gebäudeseitigen Rücklauftemperaturen erfolgen kann. Maßnahmen, die mit einer Verringerung der Rücklauftemperaturen in Verbindung stehen, befinden sich im Durchschnitt bereits in der experimentellen Phase, während Aktionen zur Senkung der wärmenetzseitigen Vorlauftemperaturen noch in der Planungsphase sind.

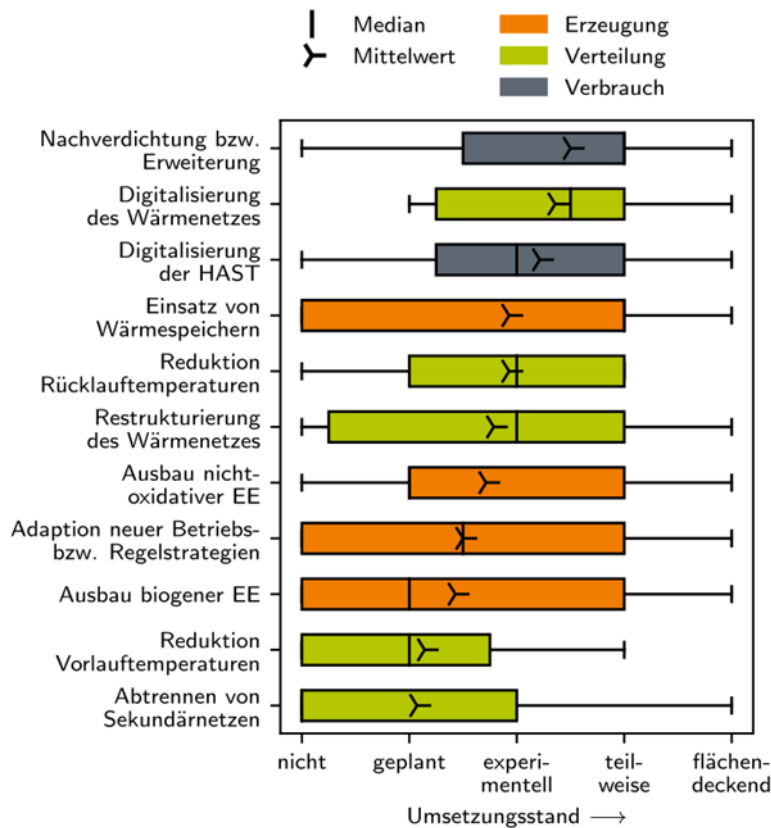


Abbildung 3-5: Die in den teilnehmenden Wärmenetzen nach aufsteigendem Umsetzungsstand geordneten Transformationsmaßnahmen

Zusammenfassend zeigt die Umfrage unter 219 Wärmenetzbetreibern einen ersten Einblick in den Digitalisierungsgrad deutscher Wärmenetze. Die befragten Wärmenetzbetreiber legen einen klaren Fokus auf die Senkung von Vor- und Rücklauftemperaturen als zentrales Ziel der Transformation, um die Gesamteffizienz der Wärmenetze zu steigern. Gefolgt von Maßnahmen der Digitalisierung. Trotz des hohen Interesses an Themen der Digitalisierung, befindet sich der Umsetzungsstand zwischen einer experimentellen und teilweisen Implementierung noch am Anfang. Von einer flächendeckenden Umsetzung digitalisierter HASTen und Wärmenetze sind die meisten Wärmenetze noch weit entfernt. Der Digitalisierung stößt jedoch auf ein hohes Interesse, da dies die Identifikation und Beseitigung von Ineffizienzen im Betrieb von Wärmenetzen ermöglicht und damit eine Reduktion der Vor- und Rücklauftemperaturen bewirkt.

### Digitalisierungskonzepte

Digitaltechnologien können die Effizienz und Integration erneuerbarer Energien in Energiesystemen erheblich verbessern, wodurch diese Systeme zuverlässiger, intelligenter und insgesamt effizienter werden. Diese Weiterentwicklung ist nicht nur für die Entwicklung neuer

Wärmenetze entscheidend, sondern stellt auch eine bedeutende Verbesserung für bestehende Wärmenetze dar.

Eine Reihe verschiedenster Digitalisierungstechnologien können genutzt werden, um diese Verbesserungen zu erreichen. Beispielsweise hat sich maschinelles Lernen als sehr effektiv erwiesen, um den Wärmebedarf vorherzusagen (Johansson et al. 2017). Digitale Zwillinge, die oft in Verbindung mit anderen Technologien wie dem Internet der Dinge (eng. IOT) und der Datenanalyse verwendet werden, haben sich als hilfreich erwiesen, um Betriebskosten zu senken (Kohne et al. 2021), Funktionen wie Selbstprognose der Belastung, Selbstoptimierung der Planung, Selbst-Diagnose von Fehlern (Liu et al. 2020) zu ermöglichen und die CO<sub>2</sub>-Intensität der Wärmeherzeugung zu verringern (O'Dwyer et al. 2020).

Zentral für die Digitalisierung ist der Prozess der Datenerfassung und -analyse. Je mehr Daten gesammelt werden, desto gründlicher respektive präziser kann die Analyse sein, was zu fundierteren Entscheidungen führt. Ideal wäre es, jedes Element eines bestehenden Heizsystems zu digitalisieren, um einen vollständigen Datensatz zu erhalten. Dieser Ansatz ist jedoch nicht immer wirtschaftlich machbar. Daher ist es entscheidend, Komponenten basierend auf einem Satz von Priorisierungskriterien zu digitalisieren.

### **Digitalisierung von Fernwärmenetzen**

Die Digitalisierung von Fernwärmenetzen umfasst die Implementierung und Integration digitaler Technologien in die Überwachung, Steuerung und Optimierung von Wärmeherzeugungs-, Verteilungs- und Wartungsprozessen. Dieses Vorgehen zielt darauf ab, die Effizienz, Zuverlässigkeit und Flexibilität des Netzbetriebs zu verbessern. Die folgenden Schlüsselaspekte der Digitalisierung werden hiermit hervorgehoben:

#### **Erweiterte Datenanalyse und maschinelles Lernen**

Aktuell werden fortgeschrittene Datenanalyseverfahren und maschinelles Lernen eingesetzt, um die Leistung von Netzwerkkomponenten zu bewerten. Diese Technologien ermöglichen eine detaillierte Überwachung und Analyse des Systemzustands, was zur Identifizierung von Optimierungsmöglichkeiten beiträgt. Die Erweiterung dieser Ansätze zur Vorhersage des Wärmebedarfs stellt eine vielversprechende Perspektive für zukünftige Entwicklungen dar.

#### **Digitale Zwillinge und Simulationen**

Digitale Simulationen sind ein wesentlicher Bestandteil des Projekts, die es ermöglichen, verschiedene Betriebsszenarien zu testen und potenzielle Verbesserungen zu identifizieren, ohne das reale System zu beeinträchtigen. Diese Werkzeuge

unterstützen die Entscheidungsfindung und tragen zur Effizienzsteigerung des Fernwärmenetzes bei.

### **Fernauslesung**

Durch den Einsatz von Sensoren im gesamten Netzwerk ist die Fernauslesung von Betriebsdaten möglich. Diese Funktion verbessert das Monitoring des Netzwerks und liefert wertvolle Daten für die Betriebsführung. Obwohl die Fernsteuerung von Systemkomponenten gegenwärtig nicht implementiert ist, wird sie als ein wichtiger Aspekt für die Erweiterung des Projekts angesehen, um die Betriebsflexibilität zu erhöhen.

### **Netzwerkoptimierung und -wartung**

Die Digitalisierung unterstützt die Optimierung und Wartung des Fernwärmenetzes. Kontinuierliche Datenanalysen ermöglichen die frühzeitige Erkennung und Behebung potenzieller Probleme, was zur Zuverlässigkeit und Langlebigkeit des Netzwerks beiträgt. In der Projektverlängerung wird diesen Aspekten eine Schlüsselrolle zugeschrieben.

### **Demand Side Management (DSM)**

DSM ermöglicht eine dynamischere und effizientere Steuerung der Wärmenachfrage. Durch die Anpassung der Wärmeversorgung in Echtzeit kann das Netzwerk effizienter betrieben und Energieverluste minimiert werden.

Diese Darstellung skizziert die Hauptaspekte und das Potenzial der Digitalisierung innerhalb der Fernwärme und betont die Bedeutung von Technologien und Methoden, die zur Verbesserung der Betriebseffizienz, der Netzwerkzuverlässigkeit und der nachhaltigen Entwicklung beitragen.

### **Digitalisierung von Verbrauchern**

Eine HAST (vgl. Abbildung 3-6) für Fernwärme ist eine zentrale Einheit, die in Gebäuden eingesetzt wird, um Wärme aus einem Fernwärmenetz effizient zu entnehmen und diese direkt oder indirekt über Kreisläufe gebäudeseitig zur Deckung der Endenergienachfrage für RW und/oder TWW bereitstellt. Die Elemente dieser Station umfassen einen Wärmetauscher (nur bei hydraulisch vom Wärmenetz entkoppelten, indirekten HASTen). Regel- und Steuereinheiten sorgen für die präzise Kontrolle von Temperatur und Druck des Wärmeträgermediums, während Mess- und Überwachungseinrichtungen wie Sensoren die Parameter wie Temperatur, Druck und Durchflussrate erfassen. Diese sind für die Erfassung der Jahresgesamtwärme und somit für die Erstellung von Abrechnungen seitens des Wärmenetzbetreibers relevant. Isolationsmaterialien gewährleisten, dass die erzeugte Wärme effizient im Gebäude genutzt

wird und nicht unerwünscht verloren geht. Umwälzpumpen verteilen die Wärme im Gebäude. Ein TWW-Speicher, der sowohl in Varianten mit und ohne einen eingebauten Wärmetauscher erhältlich ist, ermöglicht es, den Bedarf vorübergehend von der Nachfrage zu entkoppeln. Dadurch können Spitzenlasten im Wärmenetz reduziert und gleichzeitig die Zeit zur Bereitstellung ausreichend temperierten TWWs verkürzt werden.

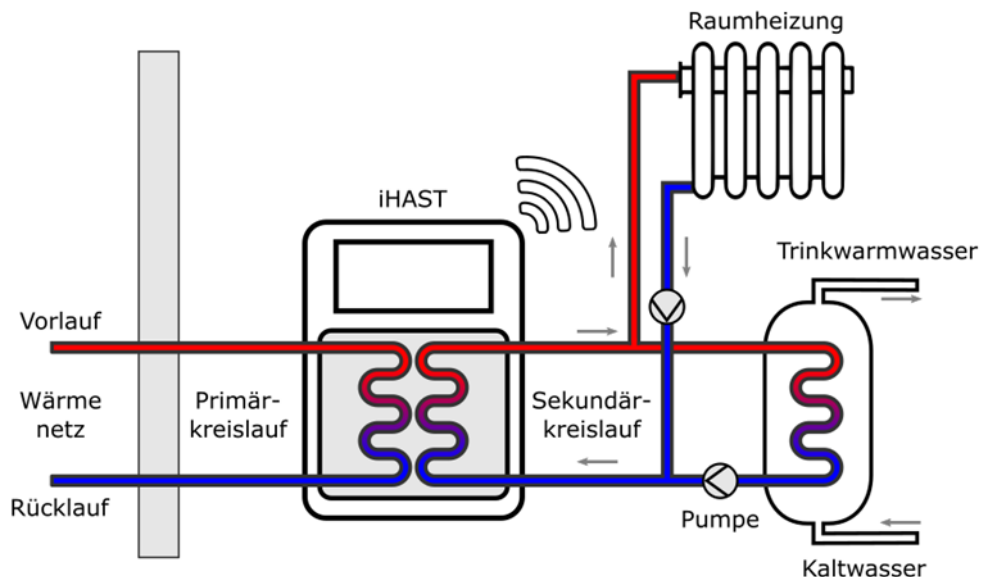


Abbildung 3-6: Schematischer Aufbau einer indirekten HAST mit zwei Sekundärkreisläufen zur Bereitstellung von RW und TWW

Die Digitalisierung von HAST kann, entsprechend des Anforderungsprofils und der Zielstellung der Frage, in verschiedene Stufen unterteilt werden. Die Definition der Stufen richtet sich nach jener von (Rapp et al.)

**Stufe 0** entspricht dem Ausgangszustand, bei dem alle Wärmezähler (WMZ) keine Funktionalitäten zur Fernauslesung besitzen. Lediglich auf Jahresebene aggregierte Informationen über die Gesamtwärmenachfrage liegen vor und können vom Wärmenetzbetreiber per Begehung abgelesen werden.

**Stufe 1** beinhaltet die digitale Auslesung der Primärseite im Mindesttaktintervall von 15 Minuten. Hier liegen zeitlich aufgelöste Informationen zu primärseitigen Temperaturen und Massenströmen vor, was einfache Aussagen über Wärmenachfragen und Fehlerfrüherkennung ermöglicht.

Innerhalb der **Stufe 2** wird zusätzlich zur bereits digitalisierten Primärseite auch die Sekundärseite und ihre Kreisläufe mit WMZ und weiterer Messsensorik ausgestattet. Informationen zu den Wärmemengenanteilen auf der Sekundärseite können zur Bilanzierung von Verlusten herangezogen werden.

**Stufe 3** baut folglich auf Stufe 2 auf und beinhaltet die digitale Auslesung zusätzlicher Informationen wie Betriebszustände von Aktuatoren und Warmwasserspeicher. Hier liegen Informationen vor, mit denen Fehler im Sekundärkreislauf identifiziert und Fehlverhalten der Bewohner aufgezeigt werden können.

**Stufe 4** beinhaltet die aktive Einflussnahme des Energieversorgers auf ausgewählte Reglereinstellungen. Informationen ermöglichen ein zielgerichtetes Lastmanagement der RW- und TWW-Nachfrage.

**Stufe 5** entspricht den Digitalisierungsstufen 1 bis 4 mit der zusätzlichen Option zur dezentralen Einbindung von Wärme in das Wärmenetz in der Rolle von Prosumern. In dieser Stufe liegen Informationen vor, mit denen die dezentrale Einbindung von Wärme optimal mit einer zentralen Erzeugung abgestimmt werden kann.

**Stufe 6**, ähnlich wie Stufe 5, beinhaltet ebenfalls die aktive Einflussnahme des Energieversorgers auf ausgewählte Reglereinstellungen. Informationen ermöglichen ein wärmenetzdienliches Last- und Einbindemanagement.

### Zu erwartende Digitalisierungseffekte

Da ein Fernwärmenetz ein gekoppeltes System auf Erzeugung, Verteilung und Verbrauch ist, wirkt die Digitalisierung gleichwohl auf alle Ebenen eines Fernwärmenetze ein. Die hieraus resultierenden Auswirkungen können ferner in aktive und passiv Digitalisierungseffekte unterteilt werden. Aktive Digitalisierungseffekte beispielsweise wirken unmittelbar in einer der Systemebenen eines Fernwärmenetzes, können jedoch gleichwohl auch passive Digitalisierungseffekte in den anderen Systemebenen bedingen. In Tabelle 3-3 werden die generellen Digitalisierungseffekte klassifiziert und deren aktive und passive Wechselwirkungen zu anderen Digitalisierungseffekten gekennzeichnet.

*Tabelle 3-3: Klassifizierung und Wechselwirkungen von aktiven und passiven Digitalisierungseffekten in Fernwärmenetzen*

Nr.	Wirkung	bedingt	Beschreibung
<b>Verbrauch:</b>			
a1	aktiv	-	<i>Lastmanagement:</i> Werden die Hausübergabestationen mittels intelligenter Messzähler digitalisiert, ermöglicht dies die kurzfristige Entkopplung der aktuellen Wärmenachfrage vom Fernwärmenetzbezug. Unter Anwendung von Prognosemodellen und intelligenter Algorithmen können sowohl der Bedarf an RW als auch TWW unter Einhaltung von Restriktionen temporär vorgezogen bzw. nachgeholt werden. Hierbei werden einerseits die bauphysiologischen Eigenschaften des Gebäudes sowie andererseits TWW-Speicher als thermische Kurzzeitspeicher verwendet.

---

*Effekte:* Durch gezielte Lastverschiebung können kurzzeitige Spitzenlasten im Fernwärmenetz reduziert bzw. vermieden werden, was zu einer allgemeinen Vergleichmäßigung der Wärmelast im Fernwärmenetz führt. Zudem können mittels eines gezielten Überheizens bzw. Auskühlens die netzseitigen Vor- und Rücklauftemperaturen temporär moduliert werden.

---

a2    aktiv    -    *anreizbasierte Preismodelle:* Die digitale Messwerterfassung erlaubt ein umfangreiches Monitoring der thermo-hydraulischen Betriebsgrößen der Hausanschlussstation. Auf Basis dessen können anreizbasierte Preismodelle etabliert werden, die beispielsweise monetäre Vorteile für das dauerhafte Unterschreiten einer Schwellentemperatur des Heizungsrücklaufs bieten.

*Effekte:* Durch anreizbasierte Preismodelle kann der Fernwärmenetzbetreiber indirekt Maßnahmen auf der Verbraucherseite subventionieren, die zur Absenkung der Fernwärmenetztemperaturen beitragen.

---

a3    aktiv    -    *Monitoring:* Je nach Messintervall können die Betriebsgrößen der Hausübergabestationen nahezu in Echtzeit überwacht werden. Anhand dessen können Algorithmen zur Ferndiagnose Anwendung finden, die frühzeitig sich andeutende Schäden (predictive maintenance) bzw. allgemein schlecht eingestellte Hausanschlussstationen anzeigen.

*Effekte:* Durch die Schadensprognose können effektive Instandhaltungs- und Wartungsstrategien Anwendung finden, mit denen die Systemverfügbarkeit der Heizungsanlage und somit der Komfort der Endkunden gesteigert werden kann. Zusammen mit dem Monitoring der Betriebsgrößen wird somit die Effizienz der Schnittstelle zwischen Fernwärmenetz und Hausübergabestation insgesamt verbessert.

---

**Verteilung:**

---

b1    aktiv    -    *Monitoring:* Ebenso wie auf der Verbraucherseite können durch gezielte Messwerterfassung die Betriebsgrößen des Fernwärmenetzes überwacht und auf Basis dessen Instandhaltungsstrategien abgeleitet werden. Hierzu werden beispielsweise mittels des Rainflow Countings Schwankungen in den Temperaturprofilen gezählt und anhand von Algorithmen zur Schadensakkumulation in eine resultierende technische Restnutzungsdauer überführt.

*Effekte:* Die auf Basis der rechnerisch ermittelten technischen Restnutzungsdauer eingeführten zustandsbasierten Instandhaltungsstrategien können zu einer Reduktion der Wartungs- und Instandhaltungskosten und zur Erhöhung der Versorgungssicherheit beitragen, wodurch insgesamt die spez. Verteilkosten gesenkt werden können.

---

- b2 aktiv - *dynamische Schlechtpunktregelung*: Die im Zuge des Monitorings erhobenen thermo-hydraulischen Betriebsgrößen der Hausanschlussstation können ferner für eine dynamische Regelung der Schlechtpunktverbraucher Anwendung finden. Vor allem in dekarbonisierten Fernwärmenetzen mit hohen Anteilen dezentral eingebundener Wärme aus intermittierenden regenerativen Erzeugeranlagen kann es zukünftig zu häufig wechselnden Schlechtpunkten im Fernwärmenetz kommen.
- Effekte*: Die dynamische Schlechtpunktregelung ermöglicht eine Optimierung der Betriebsgrößen des Fernwärmenetzes und somit eine präzisere Abstimmung der Fernwärmenetzparameter auf die tatsächlich anfallenden Bedarfsgrößen der Verbraucher. Hierdurch werden transportbedingte Wärme- und Druckverluste reduziert.
- 
- b3 passiv a1 *Freie Transportkapazitäten*: Wird die nachgefragte Wärmelast auf der Verbraucherseite mittels DSM moduliert, können zu Stoßzeiten Spitzenlasten reduziert werden. Als Folge dessen sinkt die Gleichzeitigkeit der Wärmenachfrage, wodurch gegenüber dem Auslegungsfall des Fernwärmenetzes Transportkapazitäten frei werden. Diese können sowohl für die Nachverdichtung im Bestandsfernwärmenetz als auch für dessen Erweiterung genutzt werden.
- Effekte*: werden freie Transportkapazitäten für Nachverdichtung und Erweiterung genutzt, kann der Fernwärmeabsatz entgegen dem allgemeinen Trend einer sich infolge energetischer Sanierungsmaßnahmen reduzierenden Wärmenachfrage gesteigert werden, wodurch die spezifischen Fernwärmeverteilungskosten gesenkt werden können.
- 
- b4 passiv a1, a2, a3 *Reduktion netzseitiger Vor- und Rücklauftemperaturen*: Die Digitalisierung der Verbraucherseite ermöglicht neben der temporären Verschiebung von Lasten, dem Effizienzmonitoring der Hausübergabestationen und dem Einführen von anreizbasierten Tarifen eine umfangreiche Reduktion der Rücklauftemperaturen im Fernwärmenetz. Durch eine an den Wärmebedarf angepasste Regelung des Fernwärmebetriebes kann zudem die Vorlauftemperatur präziser an den tatsächlichen Bedarf angeglichen werden. Als Folge kann das gesamte Fernwärmenetz mit niedrigeren Vor- und Rücklauftemperaturen betrieben werden.
- Effekte*: wird das Fernwärmenetz mit geringeren Vor- und Rücklauftemperaturen gefahren, reduzieren sich die transportbedingten Wärmeverluste in gleicher Weise, was zu einer Steigerung des Gesamtwirkungsgrades führt.

---

**Erzeugung:**

---



---

c1	passiv	a1	<p><i>Steigerung der Jahresvolllaststunden:</i> Als Folge des Lastmanagements reduzieren sich die Spitzenlasten im Fernwärmenetz, wodurch sich im gleichen Maße die Einsatzzeiten von Erzeugeranlagen zur Deckung der Spitzenlast verringern. Durch die Lastvergleichmäßigung können allerdings die Laufzeiten von grundlastfähigen Anlagen sowie Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung gesteigert werden.</p> <p><i>Effekte:</i> die Substitution von Anlagen zur Deckung der Spitzenlast durch KWK-Anlagen führt zu einer höheren Brennstoffausnutzung und somit zu einem ökonomischeren Betrieb des Fernwärmenetzes.</p>
<hr/>			
c2	passiv	b4	<p><i>Steigerung der Anlagenwirkungsgrade:</i> geringere netzseitige Rücklaufemperaturen führen auf der Erzeugerseite zu einem besseren thermischen Wirkungsgrad der Anlagen sowie zu einem effizienteren Betrieb der Wärmetauscher, was zu einem höheren Brennstoffausnutzungsgrad führt.</p> <p><i>Effekte:</i> Neben der Reduktion der transportbedingten Wärmeverluste trägt die Verbesserung der erzeugerseitigen Wirkungsgrade ebenfalls zu einer allgemeinen Effizienzsteigerung des Fernwärmenetzes bei. Hierdurch entstehen starke Rückkopplungen hinsichtlich eines ökonomischen Betriebs.</p>
<hr/>			
c3	passiv	b2, b4	<p><i>Regelung dezentraler Erzeugeranlagen:</i> In Folge hoher Anteile intermittierend einspeisender regenerativer Erzeugeranlagen kommt es zu wechselnden thermo-hydraulischen Betriebszuständen im Fernwärmenetz, die unter Umständen zu Engpässen und Totpunkten führen. Um dies zu verhindern, müssen bestehende Steuer- und Regelalgorithmen angepasst werden. Diese müssen sowohl die räumliche als auch zeitliche Differenz zwischen Erzeugung und Verbrauch ausgleichen, so dass stets ein versorgungssicherer Betrieb unter Berücksichtigung der thermischen Trägheit des Fernwärmenetzes gewährleistet ist. Die durch eine flächendeckende Digitalisierung des Verteilnetzes und der Verbraucher vorliegenden Messwerte sind hierbei grundlegende Größen für eine dynamische Regelung des Fernwärmebetriebs.</p> <p><i>Effekte:</i> Die Digitalisierung sowohl der Verteilnetzinfrastuktur als auch der Verbraucher ermöglicht eine dynamische Regelung der zentralen und dezentralen Erzeugeranlagen.</p>

---

### 3.1.3 Datengetriebenes Controlling

Die Digitalisierung von Fernwärmenetzen, durch die Integration intelligenter Messsysteme, ermöglicht die Einführung von datenzentrierten Betriebsmodellen. Die Einführung dieser Systeme ist unerlässlich, da sie nicht nur die Datenerfassung erleichtern, sondern auch die Basis für die detaillierte Analytik bilden, die das Modell der datenbasierten Steuerung unterstützt.

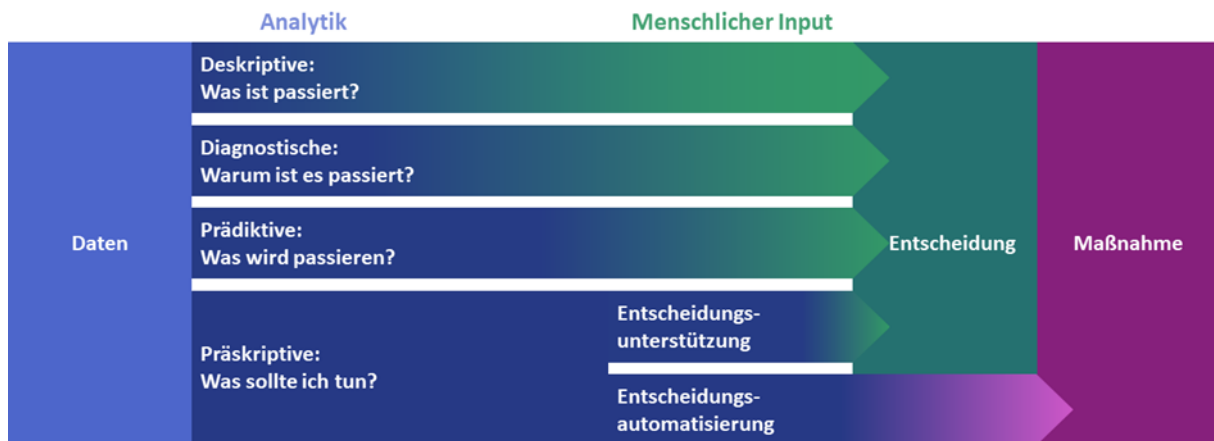


Abbildung 3-7: Stufen der Datenanalytik und ihre Rolle in der Entscheidungsfindung und Handlungsumsetzung. Eigene Übersetzung aus (Matteo Pozzi et al. 2023)

Der Weg von der Datenerfassung bis zu handlungsrelevanten Einsichten wird durch einen mehrschichtigen analytischen Ansatz systematisch aufgezeichnet. Diese analytische Fortentwicklung wird durch Abbildung 3-7 aus (Matteo Pozzi et al. 2023) verdeutlicht:

- » Anfangs spielen deskriptive Analysen eine zentrale Rolle, indem sie ein historisches Bild der Netzwerkbetriebe zeichnen und kritische Fragen darüber beantworten, was passiert ist. Diese Analyseebene ist grundlegend, da sie Daten aus intelligenten Messsystemen nutzt, um Einblicke in die vergangene Leistung, Verbrauchsmuster und unbemerkte operationale Anomalien zu gewinnen.
- » Auf einer tieferen analytischen Ebene liefern diagnostische Analysen ein detailliertes Verständnis, indem sie die Ursachen hinter den in der deskriptiven Phase beobachteten Mustern untersuchen. Diese nuancierte Analyse ist entscheidend, um die Komplexitäten von Systemineffizienzen zu entwirren und so eine gezielte Herangehensweise für Optimierung und Abhilfemaßnahmen zu ermöglichen.
- » Die prädiktive Stufe, bekannt als prädiktive Analysen, nutzt fortschrittliche statistische Modelle und maschinelles Lernen, um zukünftige Ereignisse vorherzusehen. Durch die Analyse von Trends und Mustern innerhalb der gesammelten Daten, rüstet sie die Stakeholder mit der Voraussicht aus, um proaktive Maßnahmen zur Milderung potenzieller Probleme zu ergreifen, bevor sie entstehen, was die Systemresilienz und Zuverlässigkeit sicherstellt.
- » Die präskriptive Analyse bildet den Abschluss der Analyse und leitet Erkenntnisse aus den vorherigen Phasen ab, um strategische Empfehlungen zu formulieren. Diese Analysen gehen über Prognosen hinaus und schlagen optimale Handlungswege vor, indem sie nicht nur mögliche Zukunftsszenarien aufzeigen, sondern auch Wege bieten, proaktiv auf diese Einfluss zu nehmen.

Die Notwendigkeit des menschlichen Inputs in bisher jedem Stadium der Analytik wird ebenfalls durch Abbildung 3-7 aufgezeigt. Der Entscheidungsprozess profitiert von menschlicher Intuition und Fachkenntnis, die in Verbindung mit fortschrittlicher Analytik zu differenzierteren und anpassungsfähigeren Kontrollmaßnahmen führen.

Durch intelligentes Messen und Analysieren ist es möglich, Effizienzkennwerte von Fernwärmenetzen kontinuierlich zu überwachen und anzupassen. Die gesammelten Daten bieten einen Einblick in die Funktionsweise des Netzwerks und ermöglichen dynamische Anpassungen auf die Echtzeitnachfrage und -bedingungen.

Mit der Digitalisierung des Fernwärmenetzes wird ein datengesteuertes Vorgehen für die Steuerung dieser Systeme unerlässlich. Durch die datenbasierte Steuerung können Betreiber nicht nur die aktuellen Bedingungen verstehen und darauf reagieren, sondern auch strategisch für die Entwicklungen planen. Dies ermöglicht eine effizientere Ressourcenzuweisung, einen besseren Kundenservice durch optimierte Wärmebereitstellung und letztendlich einen nachhaltigeren und wirtschaftlich lebensfähigeren Betrieb.

## **3.2 Typisierung von Wärmenetz- und Verbraucherstrukturen**

Die Digitalisierung von Wärmenetzen ist eine Weiterentwicklung der Energieinfrastruktur, insbesondere im Kontext einer effizienten und sicheren Wärmeversorgung. Dabei steht nicht nur die technologische Innovation im Fokus, sondern auch die Notwendigkeit, Betriebsprozesse besser verstehen zu lernen. In diesem Zusammenhang gewinnt die Typisierung von Wärmenetz- und Verbraucherstrukturen an Bedeutung. Die Vielfalt der Verbrauchertypen, deren unterschiedliches Verhalten und Anforderungen in einem Wärmenetzumfeld erfordert eine Kategorisierung. Der nachfolgende Abschnitt versucht Wärmenetz- und Verbraucherstrukturen zu typisieren. Die Typisierung ermöglicht eine bessere Anpassung der digitalen Technologien an die Bedürfnisse der Endnutzer und ermöglicht standardisierte effizientere Betriebsabläufe. Hierzu wird im ersten Abschnitt der Status quo deutscher Wärmenetze quantifiziert. Auf Basis dessen wird der aktuelle Entwicklungs- und Umsetzungsstand hinsichtlich der Digitalisierung von Bestandswärmenetzen diskutiert. Im Anschluss daran werden sowohl die Verbraucherstruktur als auch die Wärmenetze der zu untersuchenden Bilanzräume charakterisiert.

### **3.2.1 Status quo deutscher Wärmenetze**

Im Jahr 2021 wurden 14,1 % der Wohngebäude durch Wärmenetze versorgt. Dies entspricht etwa 9,6 % des gesamten Raumwärmebedarfs der Wohnungen. Im Neubau hingegen beträgt der Anteil der Gebäude mit Wärmenetzanschluss sogar mehr als 22 % (BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.). Die wichtigste Rolle spielen Wärmenetze jedoch bei der Versorgung von städtischen Zentren und Metropolregionen (AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. 2021).

Die Wärmeerzeugung in deutschen Fernwärmenetzen erfolgt im Jahr 2022 zu 80 % überwiegend in monozentrischem Betrieb mit KWK wovon 50 % mit Erdgas, 29 % mit Braun- und Steinkohle sowie 20 % mit Biomasse und kommunale Abfälle befeuert werden.

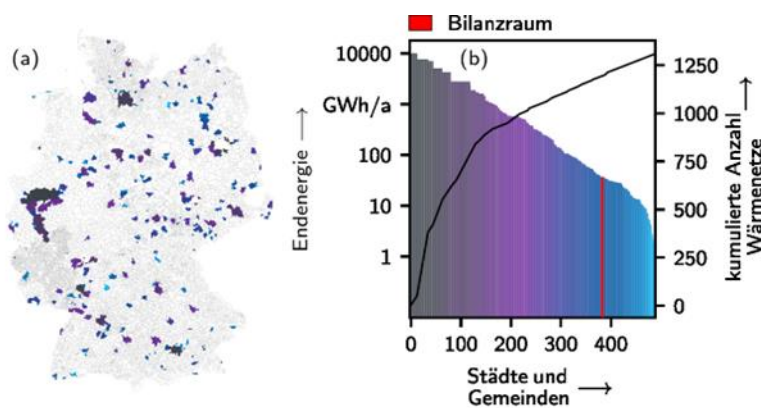


Abbildung 3-8: Raum- (a) und Größenverteilung (b) deutscher Wärmenetze. Eigene Darstellung auf Basis von (Heat Roadmap Europe 2018)

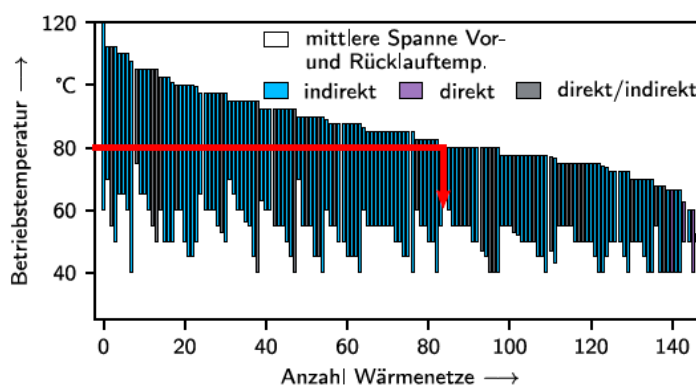


Abbildung 3-9: Analyse der Vor- und Rücklauftemperaturen in den Technischen Anschlussbedingungen

Über die einzelnen Ausgaben ist ersichtlich, dass die Anzahl an untersuchten Schlagworten starken Schwankungen unterliegt. Im Vergleich zum Gesamtumfang einer Ausgabe, der stellenweise mehrere 10.000 Wörter übersteigen kann, nehmen die Kategorien mit zwischen 20 und 50 Schlagworten je Ausgabe generell einen geringen Stellenwert ein. Themen der Kategorien „Demand-Side-Management“ sowie „Big-Data und Analyse“ sind aktuell nicht von Interesse. Da die Digitalisierung des Wärmemarktes erst am Anfang steht, wird sich dies allerdings mit zunehmenden Datenaufkommen zukünftig ändern. Die größten Interessenskategorien setzen sich sowohl aus „Steuern und Regeln“ als auch aus „Intelligent“ zusammen. Doch auch der Kategorie „Messtechnik“ kommen in jeder Ausgabe wesentliche Anteile zu. In den drei

untersuchten Jahrgängen wurden insgesamt zehn Artikel publiziert, in dem Hersteller Digitalisierungslösungen vorstellten. Die Schwerpunkte dieser Artikel sind auf Fernüberwachung von Leckagen, Schadensdetektion, intelligente Wärmemengenzähler, Kommunikationsschnittstellen sowie Temperaturmessungen ausgelegt.

Werden die einzelnen Ausgaben nach dem Erscheinungsjahr gruppiert, ergibt sich das aggregierte Gesamtbild gemäß Abbildung 3-10. Hierin ist ersichtlich, dass sich über die Jahre ein positiver Trend eingestellt hat. Von anfänglich etwa 340 Nennungen jährlich in 2017 stieg die Zahl der verwendeten Schlagworte im Jahr 2019 auf etwa 380, was einer Steigerung von etwa 12 % entspricht.

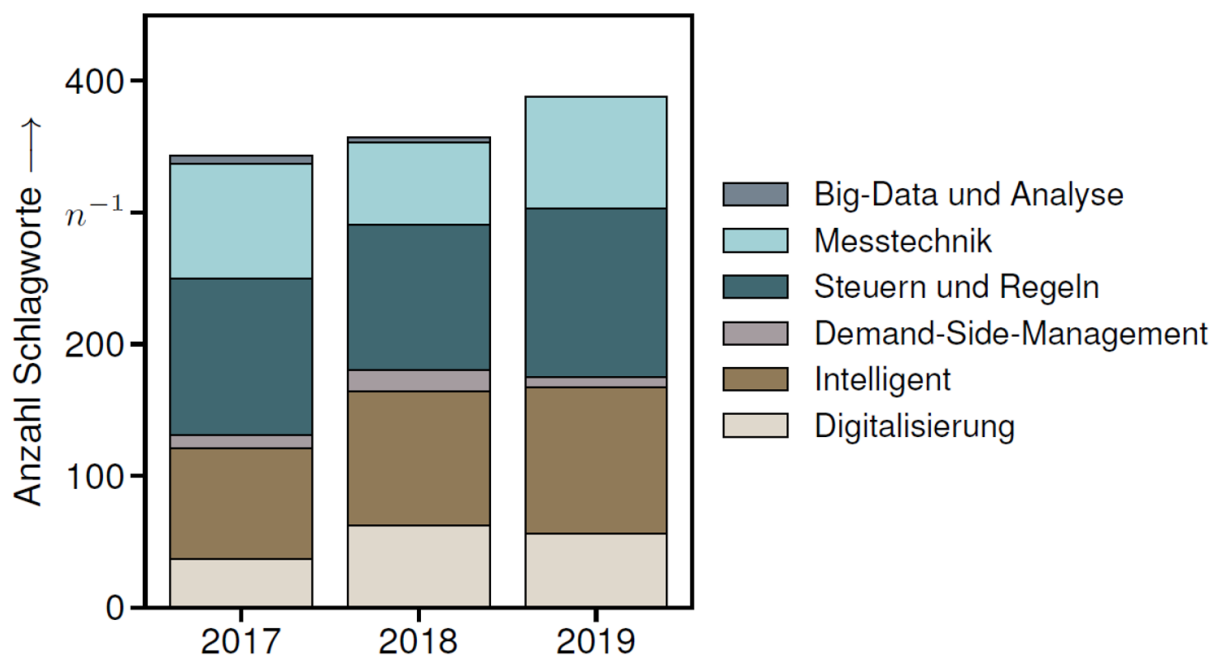


Abbildung 3-10: Auf Jahresebene Aggregierte Schlagwortanalyse bezüglich Themen der Digitalisierung für die letzten drei vollständigen Jahrgänge der EuroHeat & Power der Jahre 2017, 2018 sowie 2019

### 3.2.2 Typisierung der Fernwärmenetzinfrastruktur

Ziel der Typisierung ist es, die Erzeugung, die Verteilung sowie den Verbrauch von Fernwärme systematisch zu erfassen, zu charakterisieren und in Gruppen zu gliedern. Mit dieser Einteilung ist es möglich, für die zugrundeliegenden Modellfernwärmenetze ermittelten techno-ökonomischen Effekte der Digitalisierung zu generalisieren, um eine Übertragung auf beliebige Fernwärmenetze vorzunehmen. Die netzseitigen Daten für die Bilanzräume 1 und 2 nach der Typisierung sind in Tabelle 3-4 aufgeführt, zusammen mit ihrer abstrahierten Topologie mit aggregierten Verbrauchszentren in Abbildung 3-11.

Tabelle 3-4: Wärmenetzseitige Daten<sup>234</sup> der Bilanzräume 1 und 2

Beschreibung	Einheit	Bilanzraum 1	Bilanzraum 2	Branchenquerschnitt (AGFW   Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. 2023)
Anschluss-wärmeleistung	MW	26,7	28,7	40,7
Vollbenutzungsstunden	h a <sup>-1</sup>	1.350	3.636	1.497
Wärmenachfrage je HAST	MWh a <sup>-1</sup>	108,1	53,0	176,6
Mittlere Vorlauf-temperatur	°C	81,6	86,6	95,5
Mittlere Rücklauf-temperatur	°C	62,1	62,6	58,0
Trassenlänge	Km	5,5	4,8	20,8
Liniendichte	GWh km <sup>-1</sup>	6,6	10,2	3,0
Wärmeverluste	%	10,5	9,3	11,0

<sup>2</sup> Die mittleren Vor- und Rücklauftemperaturen der Bilanzräume 1 und 2 basieren auf realen Messwerten des Wärmenetzteilstrangs.

<sup>3</sup> Die Wärmeverluste der Bilanzräume 1 und 2 basieren auf den Simulationsergebnissen der thermo-hydraulischen Wärmenetzsimulation.

<sup>4</sup> Die mittleren Vorlauf- und Rücklauftemperaturen des Branchenquerschnitts wurden aus den arithmetischen Mittelwerten der entsprechenden Temperaturen im Sommer und im Winter berechnet, jeweils bei maximaler Außentemperatur.

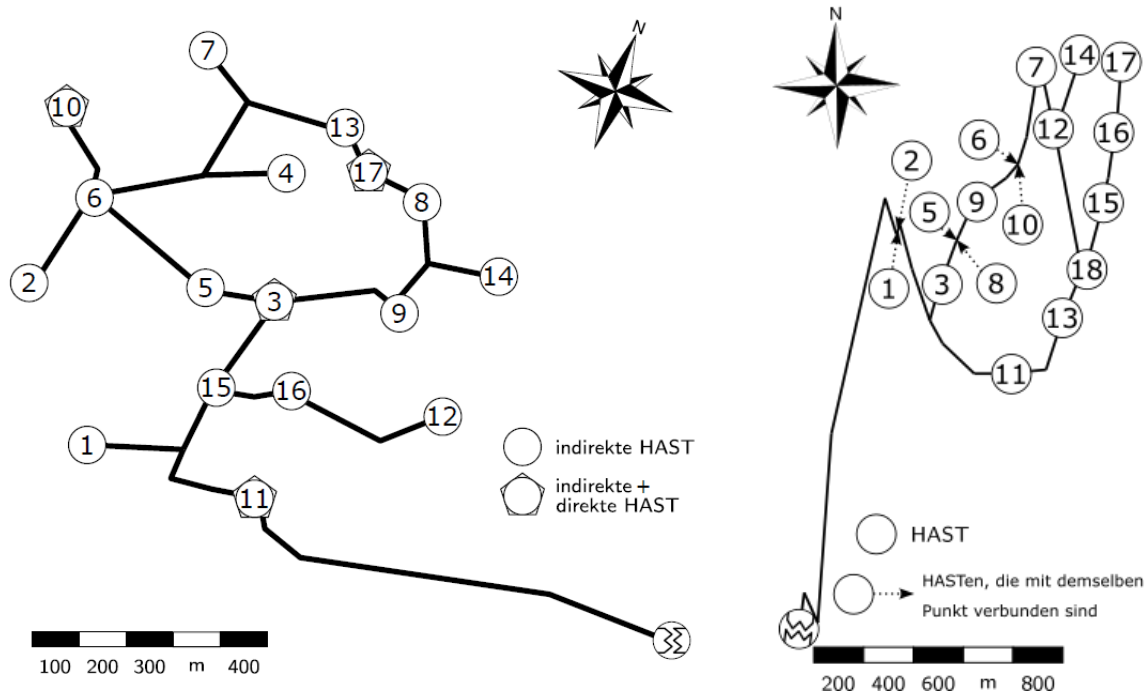


Abbildung 3-11: Abstrahierte Darstellung der modellierten Wärmenetze mit 17 aggregierten Verbrauchszentren für den Bilanzraum 1 (links) und 18 aggregierten Verbrauchszentren für den Bilanzraum 2 (rechts)

### 3.2.3 Typisierung der Verbrauchsstrukturen

Auf der Verbraucherseite des Fernwärmenetzes stehen private und gewerbliche Anschlussnehmer. Der Wärmebedarf eines Verbrauchers ist primär abhängig vom Gebäudetyp und dessen Nutzungsprofil und setzt sich aus unterschiedlichen Anteilen von Wärme zur Bereitstellung von Raumwärme, Trinkwarmwasser sowie Prozesswärme. Um die Verbraucherstrukturen typisieren zu können, sind gebäudescharfe Informationen über die Gebäudephysiologie sowie das jeweilige Nutzungsprofil erforderlich.

Die Typisierung der Verbraucher kann in drei separate Bereiche unterteilt werden, die sich hinsichtlich des Datenursprunges unterscheiden (siehe Abbildung 3-12). Hierbei werden zwischen "exogenen Daten", "eigenen Erhebung" sowie "berechneten Daten" differenziert. Daten aus dem erstgenannten Bereich können beispielsweise aus den beiden Web-Anwendungen

des Energieatlas BW<sup>5</sup> sowie aus dem am IER entwickelten EnEasy<sup>6</sup> bezogen werden. In beiden Anwendungen kann für einen frei wählbaren Bilanzraum räumlich aufgelöste Daten über den in diesen Bilanzraum enthaltenen Gebäudebestand erhalten werden. Diese Daten können wiederum in Untergruppen eingeteilt werden, die in unterschiedlichen Abstufungen sowohl den Bilanzraum als Ganzes (bilanzraumspezifische Kennzahlen) als auch die einzelnen Gebäude (gebäudespezifische Kennzahlen) beschreiben. Als exogene Daten gehen ferner auch lokale Witterungszeitreihen in die Typisierung mit ein. Diese enthalten historische Halbstundenwerte der Umgebungstemperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung, relativen Luftfeuchte, Bestrahlungsstärke, des Druckes und Niederschlages, die zwischen den Jahre 1987 bis 2020 nahe den Fernwärmenetzen gemessen wurden.

In "eigene Erhebungen" sind recherchierte und/oder auf Annahmen basierte Daten enthalten. Auf der Gebäudeebene werden hier beispielsweise für jede Baualterklasse individuelle Sanierungsraten definiert. Für jeden Bilanzraum wurde zudem eine Branchenklassifizierung der Nichtwohngebäude (NWG) angelegt, aus dem Typ und Anzahl der NWG der jeweiligen Branche hervorgeht. Mithilfe eines spezifischen, personenbezogenen Trinkwarmwasserbedarfs und deren Prognose werden die absoluten Wärmebedarfe innerhalb der "exogenen Daten" in einen Raumwärme- und einen Trinkwarmwasseranteil aufgeteilt und bis in das Jahr 2050 fortgeschrieben. Unter Berücksichtigung der im Status quo vorliegenden Anschlussgrade an das Fernwärmenetz und den Witterungsverläufen können räumlich sowie zeitlich aufgelöste Lastgänge für den Raumwärme- und Trinkwarmwasserbedarf abgeleitet werden, die anschließend bei der nachgelagerten Fernwärmenetzsimulation Verwendung finden.

---

<sup>5</sup>Abrufbar unter: <https://www.energieatlas-bw.de/> (Letztzugriff am 10.11.2020)

<sup>6</sup>Abrufbar unter: <http://iereasy.ier.uni-stuttgart.de:8080/eneasy-gui/> (Letztzugriff am 10.11.2020)



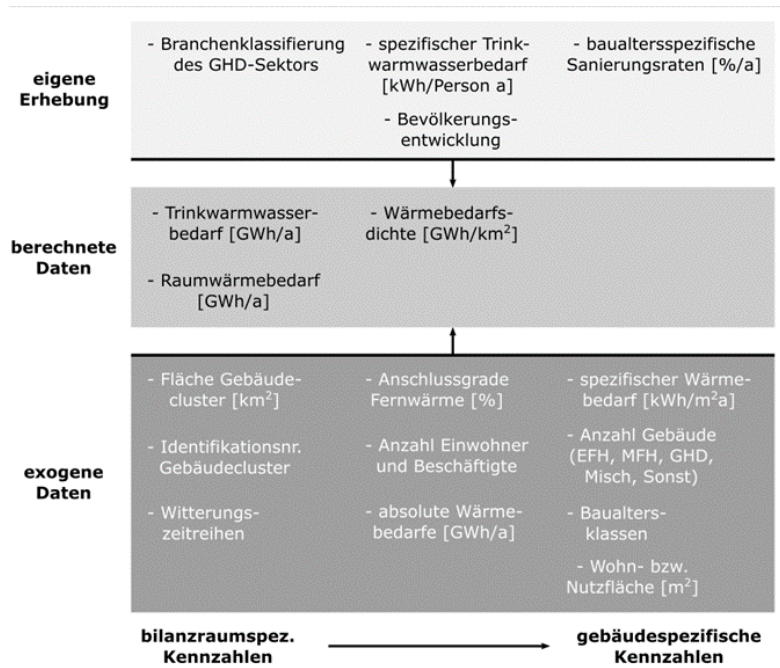


Abbildung 3-12: Schematische Darstellung der Typisierung mit vorgelagerter Datenerhebung und deren Unterteilung in „eigene Erhebung“, „berechnete Daten“ sowie „exogene Daten“

Für die Verbrauchertypisierung der zwei Bilanzräume 1 und 2 ergeben sich die in Tabelle 3-5 zusammengefassten Kennzahlen. Der jährliche Wärmebedarf der Gebäude in beiden Bilanzräumen sowie deren kumulative Wärmenachfrage sind Abbildung 3-5 dargestellt.

Tabelle 3-5: Aggregierte Übersicht der Verbrauchertypisierung für die Bilanzräume 1 und 2

	Einheit	Bilanzraum 1	Bilanzraum 2
<b>Anzahl</b>	[/]		
Einwohner		8008	18408
Beschäftigte		3638	457
Einfamilienhaus (EFH)		130	424
Mehrfamilienhaus (MFH)		153	119
Großes Mehrfamilienhaus (GMH)		35	322
Nichtwohngebäude (NWG)		15	42
<b>Fläche</b>	[m <sup>2</sup> ]		
Bilanzraumfläche		516291	886503
Wohnfläche EFH		18647	58907
Wohnfläche MFH		110530	39130
Wohnfläche GMH		200520	485979
Nutzfläche NWG		69886	46423
<b>Wärmebedarfe</b>	[GWh/a]		
RW Wohngebäude		27,15	35,24
RW NWG, Mischnutzung und Sonstige		3,11	4,76
TWW Wohngebäude		5,29	8,06
BWW NWG, Mischnutzung und Sonstige		0,05	0,03
Gesamtwärmebedarf		35,60	48,09
Wärmebedarfsdichte	[GWh/(km <sup>2</sup> ·a)]	68,95	54,03
<b>Branchenklassifizierung NWG</b>	[/]		
Einzelhandel		3	9
Schule, Kindergarten und Tageseinrichtung		8	17
Büro		1	13
Werkstatt		0	2
Restaurant		0	1
Krankenhaus und Hotel		2	0

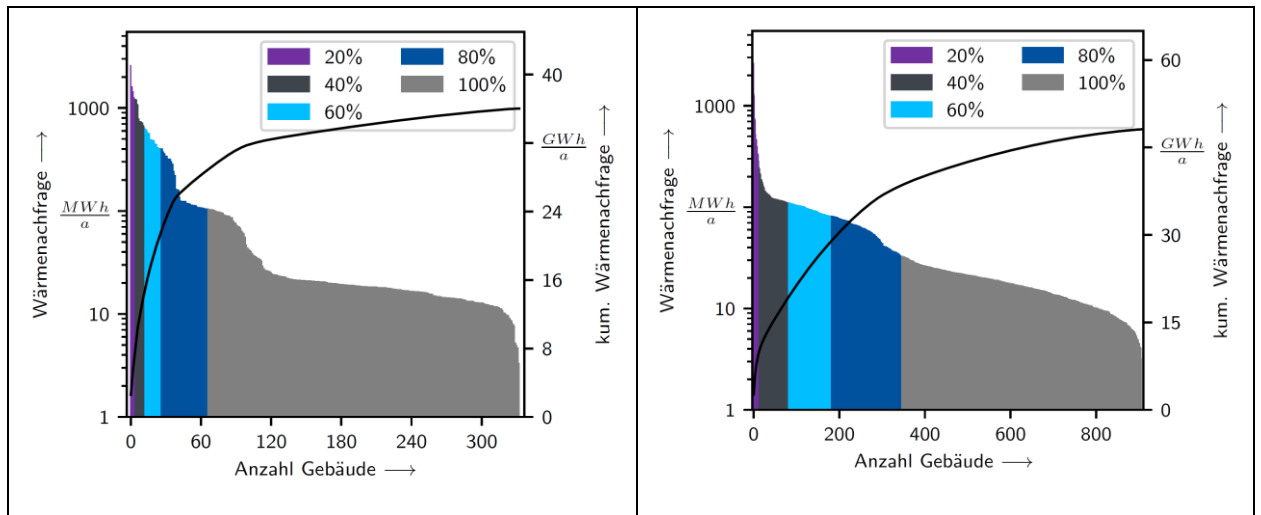


Abbildung 3-13: Jährlicher Wärmebedarf der Gebäude im Bilanzraum 1 (links) und 2 (rechts):  
Absteigend sortiert nach Höchstem bis zum Niedrigsten mit kumulativer Nachfrage

### 3.3 Grundlegende Methoden

Um die Effekte, die aus einer Digitalisierung von Wärmenetzinfrastruktur resultieren, auf den Betrieb von Wärmenetzen quantifizieren zu können, ist ein der Abbildung 3-14 entsprechender Ablauf von insgesamt fünf Stufen anzuwenden. Im Einzelnen werden:

im ersten Schritt **Daten erhoben**, mit denen die Wärmenetze und Verbraucher charakterisiert werden,

**Smart-Heat-Meter-Modelle** für Typgebäude erarbeitet, mit dessen Simulation DSM-Potentiale, Optimierungspotentiale hinsichtlich gebäudeseitiger Rücklauftemperaturen sowie Lastgänge der Raumwärme-, Trink- und Brauchwarmwassernachfrage ermittelt werden können.

Daten und Resultate der Smart-Heat-Meter-Modelle werden in **thermo-hydraulischen Wärmenetzmodellen** gebündelt und auf einer Jahresbasis.

Die Wärmenetzmodelle werden unter Anwendung der im Nachgang definierten **Digitalisierungsszenarien** simuliert. Als Resultate liegen Zeitreihen der wesentlichen Betriebsgrößen von Wärmenetze (Druck, Temperatur, Volumenstrom) für die nachgelagerten Analysen vor.

Zum Abschluss erfolgt eine **techno-ökonomische Bewertung**. Bei dieser werden zuerst die Effekte einer Digitalisierung auf die technischen Betriebsgrößen eines Wärmenetzes analysiert und im zweiten Schritt ökonomisch bewertet.

Im Nachgang werden die einzelnen fünf Prozessschritte erläutert.

Der erste Schritt (**Datenerhebung**) umfasst die Sammlung, Verarbeitung und Analyse von Daten. Dies betrifft sowohl Daten über den Gebäudebestand als auch über das Wärmenetz. Statistische Daten, Studien, Vor-Ort-Inspektionen und reale Messungen werden verwendet, um den Gebäudebestand zu charakterisieren und zu analysieren. Die Charakterisierung des Wohngebäudebestands basiert auf der Wohngebäude-Typologie gemäß Deutsche Wohngebäudetypologie (TABULA, (Loga et al. 2015)). Im Weiteren wird auch zwischen reinen Wohngebäuden, gemischt genutzten Gebäuden und Gebäuden, sowie Nichtwohngebäuden unterschieden. Zu den relevanten Daten zur Beschreibung des Gebäudebestands gehören beispielsweise die Gebäudefläche, Anzahl der Stockwerke, Nutzungsart, Baujahr und Renovierungsstatus. Informationen zu räumlich aufgelösten Anschlusswerten, Erzeugungsanlagen und Leistungen, Leitungstypen, Längen und Querschnitten sind erforderlich, um das Wärmenetz zu beschreiben, und werden aus den Angaben des Betreibers, Studien, Messungen und Prognosen generiert. Wetterzeitreihen ergänzen die Datensammlung.

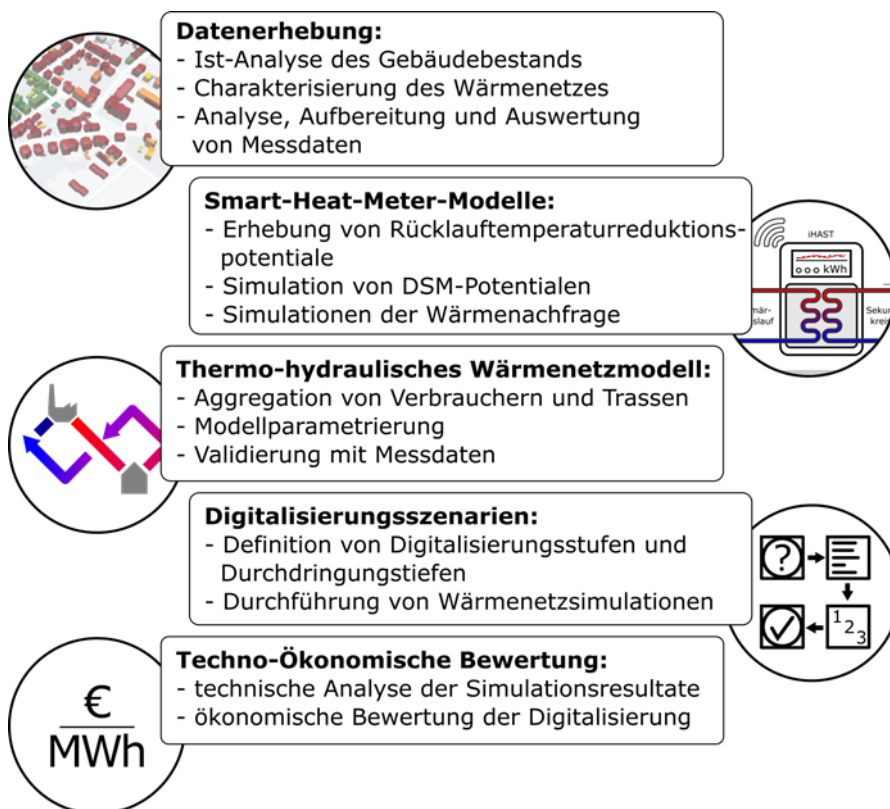


Abbildung 3-14: Schematische Übersicht der Methodik mit den einzelnen Prozessschritten zur techno-ökonomischen Bewertung der Digitalisierung von Wärmenetzinfrastrukturen

Im Rahmen der techno-ökonomischen Bewertung der Digitalisierung werden die „**Smart-Heat-Meter-Modelle**“ als zentrale Instrumente eingesetzt. Ihre Aufgaben umfassen die präzise Quantifizierung der Optimierungspotenziale von Hausübergabestationen hinsichtlich abgesenkter Rücklauftemperaturen, die durch eine messwertgetriebene Datenanalyse im Zuge einer Digitalisierung identifizier- und realisierbar sind. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Bestimmung von Potenzialen im Bereich Demand Side Management (DSM) anhand von repräsentativen Typgebäuden. Die Smart-Heat-Meter-Modelle ermöglichen eine genaue Abschätzung des variablen Wärmebedarfs über die Zeit, was eine zielgerichtete Steuerung und Optimierung der Energiebereitstellung ermöglicht.

Zusätzlich umfasst das Portfolio der Smart-Heat-Meter-Modell eine gebäudescharfe Lastgangsimulationen der Raumwärme- und Trinkwarmwassernachfrage bzw. Brauchwarmwassernachfrage. Durch die Bereitstellung von Potentialen und Lastgängen fungieren die Smart-Heat-Meter-Modelle als Schlüsselwerkzeug zur fundierten Bewertung digitalen Ansätzen in Wärmenetzen.

Für die zeitlich und räumlich aufgelöste Analyse der Digitalisierungseffekte kommen **thermo-hydraulische Wärmenetzmodelle** zur Anwendung. Die zuvor vorbereiteten Daten sind eine grundlegende Voraussetzung für die Parametrisierung und Modellierung des Wärmenetzmodells. Die Modellkomplexität wird durch eine vorgelagerte Aggregation von Verbrauchern und Wärmetrassen reduziert, um eine effiziente Handhabung des Modells in den nachfolgenden Szenariosimulationen zu gewährleisten. Die durch den Lastganggenerator des Smart-Heat-Meters zur Simulation von Raumwärme- und Trinkwarmwasser- bzw. Brauchwarmwasserzeitreihen vorliegenden Zeitreihen werden für die zuvor aggregierten Verbrauchszentren zusammengefasst. Zur Modellierung des Wärmenetzes werden die objektorientierte Modellierungssprache Modelica und die Entwicklungsplattform Dymola 2022x verwendet. Das generalisierte Modell bildet wiederum die Grundlage für alle nachfolgenden Szenariomodelle. Als Ergebnisse der thermo-hydraulischen Wärmenetzsimulation liegen Zeitreihen der Betriebskenngrößen, wie bspw. Massenströme, wärmenetzseitige Vor- und Rücklauftemperaturen und Energieströme vor. Die Zeitschrittweite der Simulation beträgt 15 min. Als vereinfachte Darstellungen werden Modelle von Unsicherheiten und systematischen Abweichungen vom realen System begleitet. Um diese einerseits zu quantifizieren und andererseits die Qualität des thermo-hydraulischen Wärmenetzmodell zu bewerten, werden die Ergebnisse des Status quo validiert. In einem iterativen Prozess werden die real gemessenen Gebäude- und Betriebsdaten des Wärmenetzes mit den simulierten Betriebsgrößen verglichen.

Die Digitalisierung von Wärmenetzinfrastrukturen, insbesondere in großen Wärmenetzen mit einer großen Anzahl von Verbrauchern, kann eine komplexe und langfristige Aufgabe

darstellen. Ein Digitalisierungsvorhaben benötigt daher eine klare Zielstellung, die mit einer Digitalisierungsstrategie umgesetzt wird. Eine Digitalisierungsstrategie legt fest, welche Verbraucher wann und wie zu digitalisieren sind. Für die modellseitige Umsetzung einer Digitalisierungsstrategie werden **Digitalisierungsszenarien** entwickelt. In diesen wird die Art der Digitalisierung verändert, wodurch deren jeweiligen Effekte auf den Wärmenetzbetrieb isoliert betrachtet und ökonomisch bewertet werden kann.

Im abschließenden Abschnitt werden die Prozesse für die **techno-ökonomische Bewertung** der Digitalisierung beschrieben. Zunächst wird eine technische Analyse der Szenarioergebnisse durchgeführt, wobei der Fokus insbesondere auf den Rücklauftemperaturen und Massenströmen des Wärmenetzes liegt. Ferner wird auf die Einflüsse von Demand-Side Management eingegangen. Im Anschluss erfolgt eine ökonomische Bewertung, bei der die Investitionen und betriebsbedingten Kosten der Digitalisierung den ggf. durch deren Einsatz erzielbaren Kostenreduktionen und Einsparungen gegenübergestellt werden. Hierdurch können fundierte Aussagen über die ökonomisch vorteilhafte Art und Tiefe von Digitalisierungsmaßnahmen getroffen werden.

### **3.3.1 Datenerhebung**

Für die Simulation von Wärmebedarfs-Zeitreihen sind neben allgemeinen Daten des deutschen Wohngebäudebestands gemäß der Typologie von TABULA (Loga et al. 2015) als auch spezifische Daten des Bilanzgebiets erforderlich. Die letztgenannten Daten können wiederum in georeferenzierte und statistische Daten unterteilt werden. Georeferenzierte Daten werden beispielsweise über OpenStreetMaps bezogen, in aggregierter Form über (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg 2022) beschafft oder optional durch Vor-Ort-Inspektionen erhoben werden. Diese Daten umfassen Angaben zur Gebäudegrundfläche und -ausrichtung, Anzahl Außenwände, Nutzungstyp, Anzahl der Stockwerke und Dachform. Informationen zur Bewohnerstruktur und Demografie, zur Verteilung von Gebäude- und Wohnungsgrößen sowie zu durchschnittlichen Sanierungsraten können aus lokalen (Statistisches Bundesamt Deutschland 2022) sowie regionalen oder überregionalen Statistiken (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2022) abgeleitet werden. Wetterzeitreihen, die den Verlauf der Außentemperaturen und der Sonneneinstrahlung einschließen, sind unter anderem in (Deutscher Wetterdienst 2022) oder (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2017) verfügbar.

Daten, die das Wärmenetz betreffen, wie bspw. Lage, Länge, Typ und Durchmesser der Wärmeleitungen, sind vom Wärmenetzbetreiber bereitzustellen und liegen häufig georeferenziert vor. Des Weiteren werden Daten über den innerhalb des Wärmenetzes abgesetzten Wärmebedarf, Zeitreihen historischer Vor- und Rücklauftemperaturen bzw. Massenströme und die

generelle Erzeugerstruktur benötigt. Hierdurch kann die Aussagekraft der nachgelagerten thermo-hydraulischen Wärmenetzsimulation verbessert werden.

Generell wird versucht, ausschließlich synthetische Wärmebedarfszeitreihen zu verwenden. Da nicht für alle Gebäude eine Wärmenachfrage ausgewiesen werden kann, ist die kleinste gemeinsame Basis in synthetischen Zeitreihen zu finden. Hierdurch kann eine stringendere Methodik umgesetzt werden. Liegen jedoch Messwerte oder Zeitreihen vor, werden diese herangezogen, um die Lastgangsimulation zu validieren bzw. in die entsprechende Richtung zu skalieren. Ferner werden Messwerte auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft und in Pre-processing-Routinen aufbereitet. Fehlende Messwerte und Messwerte außerhalb plausibler Bereiche werden durch Mittelwerte der vorhergehenden Zeitschritte ersetzt.

### **3.3.2 Smart-Heat-Meter-Modelle**

Smart-Heat-Meter-Modelle sind thermische Gebäudemodelle, mit deren Hilfe Reduktionspotentiale für abgesenkte Rücklauftemperaturen ermittelt, generische Potentiale zur zeitlichen Verschiebung von RW-Nachfragen simuliert und Zeitreihen der RW-, TWW- und BWW-Nachfrage berechnet werden.

#### *3.3.2.1 Potentialermittlung abgesenkter Rücklauftemperaturen*

Die Digitalisierung der Verbraucher ermöglicht die messwertgetriebene Identifizierung und Behebung von Fehlern oder Schäden in den gemessenen Betriebsdaten von z. B. HASTen. Die Digitalisierung kann sich auf drei der in Abbildung 3-15 fünf aufgeführten Maßnahmen auswirken: die Identifikation und Beseitigung von Fehlern oder Schäden, die Optimierung des Heizungsregelsystems und die Umsetzung eines hydraulischen Abgleichs. Die Beseitigung von Fehlern oder Schäden kann mit einem Reduktionspotenzial von etwa 10 °C geschätzt werden (vgl. (Wiltshire 2015)), ein optimiertes Heizungsregelsystem mit 6 °C (vgl. (van Oevelen et al. 2018)) und ein korrekt umgesetzter hydraulischer Abgleich mit 3,3 °C (vgl. (Averfalk et al. 2017)).

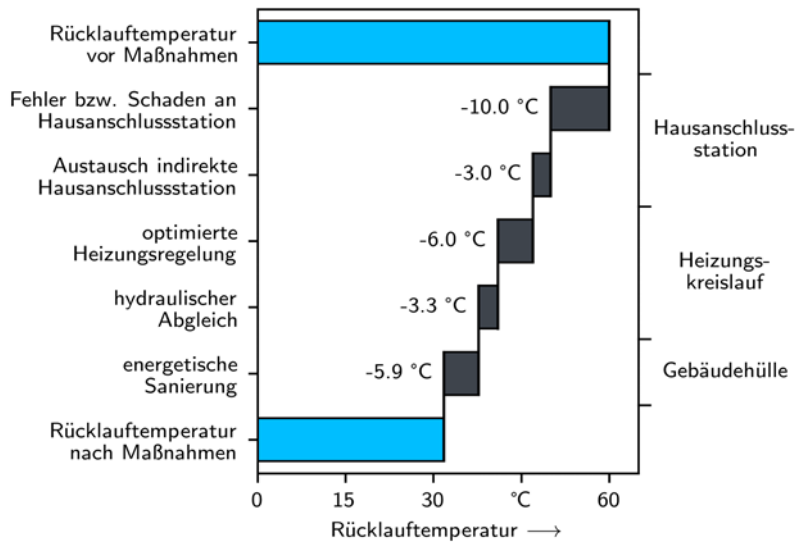


Abbildung 3-15: Maßnahmen an ein durch ein Wärmenetz versorgtes Gebäude zur Reduktion gebäudeseitiger Rücklauftemperaturen

Nach Abbildung 3-15 führen der Austausch indirekter gegen direkte HASTen sowie die energetische Sanierung zu abgesenkten Rücklauftemperaturen um je 3,0 und 5,9 °C. Da diese Maßnahmen nicht durch eine Digitalisierung ausgelöst oder unterstützt werden bzw., im Falle von direkten HASTen, von den jeweils geltenden Technischen Anschlussbedingungen untersagt, sind diese Potentiale für die nachfolgende Betrachtung nicht weiter von Relevanz.

Die alleinige Angabe von Reduktionspotentiale in °C sind für die Integration in die SHM-Modelle nicht ausreichend. Für eine realitätsnahe Abbildung sind hierzu noch Häufigkeiten zu deren Auftretenswahrscheinlichkeiten erforderlich. Die messtechnisch nachweisbare Notwendigkeit zur Durchführung hydraulischer Abgleiche liegt nach (Mailach et al. 2019) bei etwa 85 % aller untersuchten Gebäude vor. (Gadd and Werner 2015) stellen fest, dass etwa 6,4 % aller HASTen innerhalb eines Jahres einen Fehler erleiden. Für das Wärmenetz wurde angesetzt, dass sich diese jährliche Fehlerrate über insgesamt etwa 5 a fortgesetzt hat, weshalb sich eine mittlere Fehlerwahrscheinlichkeit von 36 % über alle HASTen darstellt. Diese Annahme fußt auf der unter Abschnitt 3.4.1 durchgeführten Validierung, bei der die Anzahl optimal betriebener HASTen sukzessive reduziert wurde, um höhere Anteile fehlerhafter HASTen mit wiederum höheren Rücklauftemperaturen zu erhalten. Dies wurde iterativ durchgeführt, bis die simulierten wärmenetzseitigen Rücklauftemperaturen den gemessenen Rücklauftemperaturen in guter Näherung ähnelten. Etwa 35 % aller HASTen werden mit suboptimal eingestellten Reglern betrieben (vgl. (Gadd and Werner 2015)). Da keine weiteren Informationen zu der Verteilung von Fehlern und Suboptimalitäten vorliegen wurde unterstellt, dass diese zufällig verteilt vorliegen.



### 3.3.2.2 *Bottom-Up Lastganggenerator: Simulation von Wärmebedarfszeitreihen*

Für die thermohydraulische Wärmenetzsimulation werden zeitlich aufgelöste Wärmebedarfszeitreihen der RW- und TWW-Nachfrage benötigt. Um die bestmögliche Darstellung des zu modellierenden Wärmenetzes zu erreichen, sollten idealerweise reale Verbrauchsdaten in die Simulation einbezogen werden. Da Verbrauchsdaten, die idealerweise von Wärmenetzbetreiber bereitgestellt werden, in der Regel nicht in ausreichender zeitlicher oder räumlicher Auflösung verfügbar sind, können synthetische Verbrauchsdaten als Kompromiss verwendet werden, um fehlende Eingabedaten für die thermohydraulische Wärmenetzsimulation zu ergänzen. Die Simulation dieser Daten ist Gegenstand des folgenden Abschnitts.

Um die Wärmebedarfszeitreihen zu simulieren wird der Open-Source-Lastgenerator UrbanHeatPro (Technische Universität München - Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme 2021) erweitert und angewendet. UrbanHeatPro ist ein Bottom-Up-Lastprofilgenerator, der auf der Wohngebäudetypologie gemäß TABULA (Loga et al. 2015) und VDI 3807 (Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2013) basiert und für die stochastische Simulation des Bedarfs von RW und TWW einzelner Gebäude oder Städte genutzt wird. Der RW-Bedarf der Gebäude wird unter Berücksichtigung von Wärmeübertragungswerten für Fenster, Wände, Decken und Böden, externen und internen Wärmegewinnen, Lüftungswärmeverlusten sowie durch statistische Präsenz- und Nutzungsprofile definiert. Das Gebäude wird durch ein Modell erster Ordnung approximiert, bei dem die thermische Gebäudehülle durch zwei in Serie geschaltete kapazitive und ohmsche Widerstände modelliert wird. Die RW-Nachfragen werden für feste Raum-Solltemperaturen berechnet, wobei eine nächtliche Absenkung unterstellt wird. Der Verlauf der täglichen TWW-Nachfrage unterliegt einer stochastischen Simulation.

Die ursprüngliche Version wurde hinsichtlich der Integration einer Methodik für die Simulation der BWW-Nachfrage für NWG, der Berücksichtigung energetischer Sanierungsmaßnahmen und der Ableitung zeitlich hochauflösenderen Bedarfszeitreihen erweitert. Die einzelnen Maßnahmen werden im Nachgang beschrieben:

#### **Trinkwarmwassernachfrage des Sektors GHD**

Bei der Parametrisierung von Gebäuden kann das Nutzungsprofil aus den Sektoren GHD, Industrie, öffentlicher und privater Bereich ausgewählt werden. Diese Parametrisierung betrifft jedoch nur die Simulation der RW-Bedarfszeitreihen. Abgesehen von Wohngebäuden wird keine BWW-Nachfrage simuliert. Zu diesem Zweck wurden stochastische Nachfrageprofile für den Sektor GHD in die vorhandene Grundstruktur von UrbanHeatPro integriert. Die zugrunde liegenden Nachfrageprofile unterscheiden zwischen Büro, Schule, Einzelhandel, Handwerk, Hotel/Krankenhaus und Restaurant und basieren auf der Methodik von (Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2021).

## **Energetische Sanierung**

Hohe Anschluss- oder spezifische Wärmebedarfsdichten sind wichtig für den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmenetzen, daher sind die Auswirkungen hierauf von energetischen Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Um diesen Aspekt zu berücksichtigen, wurde ein zusätzliches Modul entwickelt, mit Hilfe dessen Sanierungsquoten für die Bauteile der Gebäudetypen festgelegt und zeitlich fortzuschreiben werden können. Die Wärmeübertragungskoeffizienten der energetischen Sanierungsmaßnahmen, basieren auf den Spezifikationen von TABULA (Loga et al. 2015) Die Einflüsse der auf den Gesamtwärmebedarf für RW werden bei der Lastgangsimulation berücksichtigt.

## **Zeitliche Auflösung**

Für die simulierten TWW-Nachfragen erweist sich eine Zeitschrittweite von 60 min als unzureichend für die Verwendung in der nachgelagerten thermohydraulischen Wärmenetzsimulation. Entsprechend wurde in UrbanHeatPro eine Funktion erstellt, mit der die Zeitschrittweite der simulierten RW- und TWW-Nachfragen in diskreten Schritten zwischen 10, 20, 30 sowie 60 min ausgewählt werden kann, wobei für alle simulierten Wärmenachfragen eine endgültige Zeitschrittweite von 15 min als ausreichend festgelegt wurde.

### *3.3.2.3 DSM-Potentiale für RW und TWW*

Zum Erreichen der Ziele der Wärmewende, ist vor allem im Bereich der RW und der TWW-Bereitung eine Erhöhung des Deckungsanteils durch erneuerbar bereitgestellter Wärme ebenso nötig, wie ein Verbesserung der Energieeffizienz (Gerhardt et al. 2017). Die durch erneuerbare Energien bereitgestellte Wärme ist allerdings wetterabhängig und unterliegt hierdurch natürlichen Schwankungen. Dies stellt gleichermaßen Strom- und Wärmenetzbetreiber vor die Herausforderung, trotz zukünftig steigender Anteile erneuerbarer Energien die Versorgungssicherheit, Netzstabilität und Wirtschaftlichkeit weiterhin zu gewährleisten. Hierzu stehen den Netzbetreibern verschiedenartige Instrumente bereit. Eines dieser Instrumente ist DSM. Unter Anwendung von DSM ist es möglich, den Energiebedarf innerhalb gewisser Restriktionen zu modulieren und diesen somit stückweit an die derzeitig zur Verfügung stehenden Erzeugerleistungen anzugleichen. Durch die Modulation der Nachfrage können Spitzenlasten in den Netzen reduziert aber auch z. B. in Zeiten hoher Anteile erneuerbar bereitgestellter Energien verschoben werden. Aus ökonomischer sowie ökologischer Sicht bieten sich hierdurch Vorteile für den Netzbetreiber.

DSM kann im Kontext von Wärmenetzen sowohl auf den RW-Bedarf als auch auf den Bedarf zur TWW-Bereitung Anwendung finden. Werden Verbrauchern mittels iHASTen bzw. SHM an ein Wärmenetz angebunden, kann der Netzbetreiber in einem eingeschränkten Maße die Wärmelast auf der Verbraucherseite regeln und somit Wärmelasten zeitlich versetzt vorziehen

bzw. nachholen. Hierdurch kann eine Vergleichmäßigung aller Lasten im Wärmenetz erzielt werden.

Der TWW-Bedarf kann in aller Regel zeitlich nicht entkoppelt werden und ist daher nicht direkt durch DSM-Maßnahmen regelbar. Jedoch ermöglichen SHM ein intelligentes Laden der hausinternen Pufferspeicher zur TWW-Bereitung. Ein entsprechendes Ladekonzept kann somit z. B. die frühmorgendliche Spitzenlast, die durch das Duschen und Waschen bedingt wird, entzerren.

Um Überlastungen und Ineffizienzen durch temporäre Spitzenlasten in einem Wärmenetz zu vermeiden, wird mit der nachfolgend beschriebenen DSM-Strategie eine Vergleichmäßigung der Wärmenachfrage angestrebt. Es sei dabei darauf hingewiesen, dass es neben dieser speziellen DSM-Maßnahme noch weitere Strategien gibt, die Wärmenachfrage zu modulieren. Das Ziel weiterer DSM-Maßnahmen könnte beispielsweise die vorrangige Integration fluktuierender Wärme aus Erneuerbaren Energien sein. Eine Lastvergleichmäßigung im Betrieb von Wärmenetzen bedeutete für die RW- und TWW-Nachfrage zwei unterschiedliche Ansätze.

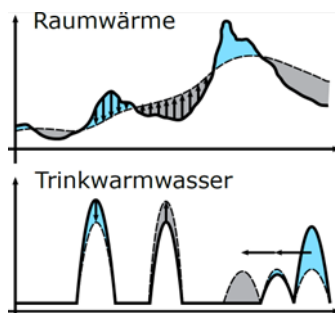


Abbildung 3-16: Schematische Darstellung beider Funktionsprinzipie zur Ableitung last-verschobener Zeitreihen der Wärmenachfrage. Bei RW-DSM kommt peak-shaving und valley-filling zur Anwendung. Bei der TWW-Bereitung kann zusätzlich load-shifting zum Einsatz kommen

### DSM-Potentiale für Raumwärme

Das grundlegende Prinzip, Gebäude zur zeitlichen Verschiebung des Raumheizungsbedarfs zu nutzen, besteht darin, dass die Raum-Solltemperatur nicht festgelegt ist, sondern innerhalb der Grenzen einer thermischen Komfortzone variieren kann (Peeters et al. 2009). Thermischer Komfort wird oft definiert als "der Zustand des Geistes, der Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung ausdrückt und durch subjektive Bewertung beurteilt wird" (2014 ASHRAE Winter Conference 2014). Die Bewertung ist subjektiv, da sie von verschiedenen Faktoren abhängt, wie beispielsweise dem Kleidungsgrad, dem Stoffwechsel, dem Geschlecht, dem Alter usw (Fanger 1970). Es gibt verschiedene Modelle zur Beschreibung des thermischen Komforts auf der Grundlage physikalischer Parameter wie Lufttemperatur,

mittlere Strahlungstemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit (Esdorn 1994). Für DSM-Maßnahmen sind hauptsächlich zyklische Veränderungen und Rampen bzw. Drifts von Bedeutung. Für Temperaturdrifts hat (Wolisz 2018) Grenzwerte für die Temperaturänderungsrate in Wohnhäusern abgeleitet, basierend auf der Aktivitätsstufe (aktiv, inaktiv, schlafend) und der Richtung der Temperaturänderung in Richtung oder weg von der optimalen Komforttemperatur

Die Einhaltung der Behaglichkeitszonen wirkt sich somit limitierend auf das Gesamtpotential zur Verschiebung von RW aus. Ebenfalls limitierend für das DSM-Potential von RW ist die thermische Masse des Gebäudes. Diese ist hauptsächlich von der bauphysikalischen Beschaffenheit der verwendeten Baumaterialien abhängig und bestimmt die passive thermische Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes. Relevant hierfür sind die Wärmeleitfähigkeit in  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$  sowie die Wärmekapazität in  $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ , da diese physikalischen Größen beschreiben, wie schnell ein Körper Wärme aufnehmen und Speichern kann. Jedoch ist die Bestimmung von DSM-Potenzialen zur Lastverschiebung der RW-Nachfrage nicht trivial, da derart detaillierte Daten über den zu analysierenden Gebäudebestand zumeist nicht vorliegen. Als gangbare Alternative wird auf die Typgebäudetypologie nach TABULA (Loga et al. 2015) zurückgegriffen. In einem ersten Schritt werden, wie aus Abbildung 3-17 hervorgeht, generische multizonale Gebäudemodelle für die Gebäudetypen EFH, MFH sowie RH erstellt. Die Gebäudemodelle wurden mit Modelica und Verwendung der Open-Source-BuildingSystems-Bibliothek (Universität der Künste Berlin - Fachgebiet Versorgungsplanung und Versorgungstechnik 2021) erstellt. Das Modell des Gebäudetyps EFH besteht aus einem einheitlichen Grundriss mit identischer Raumaufteilung und je nach Baualtersklasse aus einem Voll- oder Teilgeschoss. Jeder abgetrennte Raum wird in den Modellen durch ein eigenes Raumvolumen mit individuellen, nutzungsartspezifischen Solltemperaturen repräsentiert.

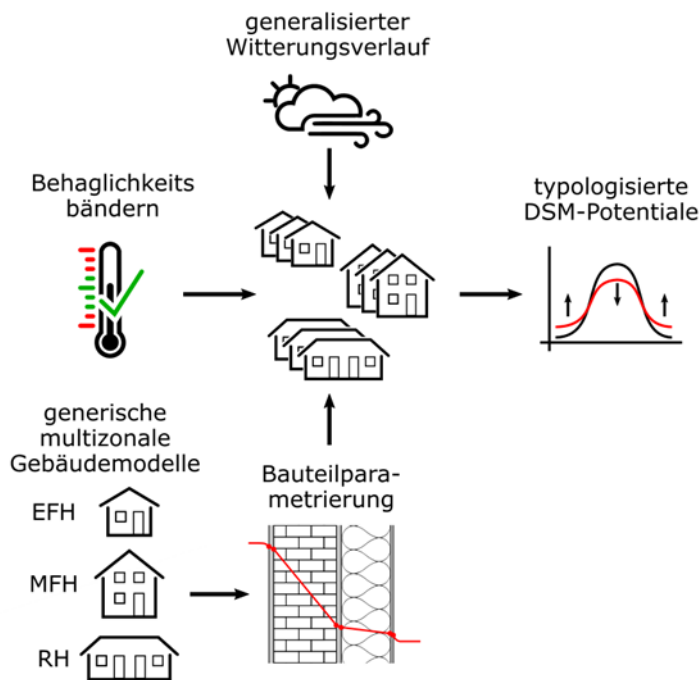


Abbildung 3-17: Methodik zur Ableitung von DSM-Potentialen für RW der Deutschen Wohngebäudetypologie nach TABULA (Loga et al. 2015)

Aufgrund einer höheren Diversität hinsichtlich Anzahl und Aufteilung der Wohnungen müssen die Modelle des Gebäudetyps MFH zum Großteil individuell an die einzelnen Baualterklassen, mit ihren jeweiligen Kubaturen, Wohnungs- und Raumaufteilungen, angepasst werden. Anders als die Gebäudemodelle der EFH werden in den Modellen der MFH nicht mehr einzelne Räume, sondern individuelle Wohneinheiten als Raumvolumen dargestellt. Dies soll vor allem den Rechenaufwand der Modelle auf ein handhabbares Maß reduzieren.

Die grundlegenden Gebäudeparameter, wie Baujahr, Anzahl der Stockwerke und Zimmer, beheizte Wohnflächen und thermische Bauparameter für Wände, Decken, Fenster und Böden, wurden aus der zuvor genannten Gebäudetypologie von TABULA entnommen. Die Anordnung und Größe der Räume innerhalb der Wohnungen basierte auf (Ebert). Darüber hinaus wurden alle Treppenhäuser gemäß den Vorschriften von (Deutsches Institut für Normung e.V. 2015) dimensioniert.

Für die Simulationen wurde ein generisches Wettermodell erstellt, bei dem die Umgebungstemperaturen schrittweise von -10 auf 15 °C erhöht wurden. Bei jedem dieser Temperaturniveaus wurde das gebäudeseitige Heizungssystem abrupt ausgeschaltet, was dazu führte, dass die einzelnen Raumtemperaturen von der mittleren Komforttemperatur zu sinken begannen. Wenn die untere Temperatur der Komfortzone erreicht ist, wird das Heizsystem wieder aktiviert. Die maximale Dauer des DSM wurde dabei auf 2 h begrenzt, da insbesondere

modernere Wohngebäude über einen längeren Zeitraum die Temperatur innerhalb der Komforttemperaturzone halten können.

Insgesamt wurden für die typisierte Erfassung von Bilanzräumen 39 Gebäudemodelle von EFH und 27 Modelle von MFH erstellt und simuliert<sup>7</sup>. Die Ergebnisse dieser Simulationen sind in Abbildung 3-18 zusammengefasst, wobei die maximale RW in kWh für verschiedene Baualters- und Sanierungsklassen bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen dargestellt ist. Potenziale für DSM bei positiven Außentemperaturen sind rechts und bei Außentemperaturen von 0 °C oder niedriger links der Mittellinie aufgetragen.

Für die Bestands-EFH-Typgebäude zeigt sich eine Zunahme der verschiebbaren RW sowohl mit neueren Baualters- als auch höheren Sanierungsklassen. Ältere und unsanierte Gebäude bieten nur bei Temperaturen über 5 °C Potenzial für DSM (z.B. E A1 bis E E1). Gebäude mittleren Alters und solche mit einer zweiten Sanierungsstufe zeigen auch bei 0 °C Raumtemperaturen steigende DSM-Potentiale. In neueren und vollständig sanierten Gebäuden (E J3 bis E L3) verschieben sich die DSM-Potentiale tendenziell zu negativen Temperaturen aufgrund verbesserter Energieeffizienz, was zu einer längeren Abschaltzeit der Heizungsanlage bei niedrigeren Temperaturen führt. Durch verbesserte Energieeffizienz verringern sich die durchschnittlichen U-Werte der Gebäudehülle, was wiederum zu einer Reduzierung der Transmissionswärmeverluste führt. Dies hat zur Folge, dass die Abschaltdauer der Heizungsanlage bei niedrigeren Umgebungstemperaturen von 0 °C oder weniger allmählich zunimmt. Mit dem Sinken der Umgebungstemperaturen steigt die erforderliche Heizleistung zur Aufrechterhaltung der Raumtemperatur, was bei modernen Gebäuden zu einer Seitwärtsverschiebung der realisierbaren DSM-Potentiale führt.

---

<sup>7</sup> Die Ergebnisse wurden in ähnlicher Form bereits in Wendel et al.2021 publiziert. Für eine detailliertere Beschreibung verweisen wir auf ebd.

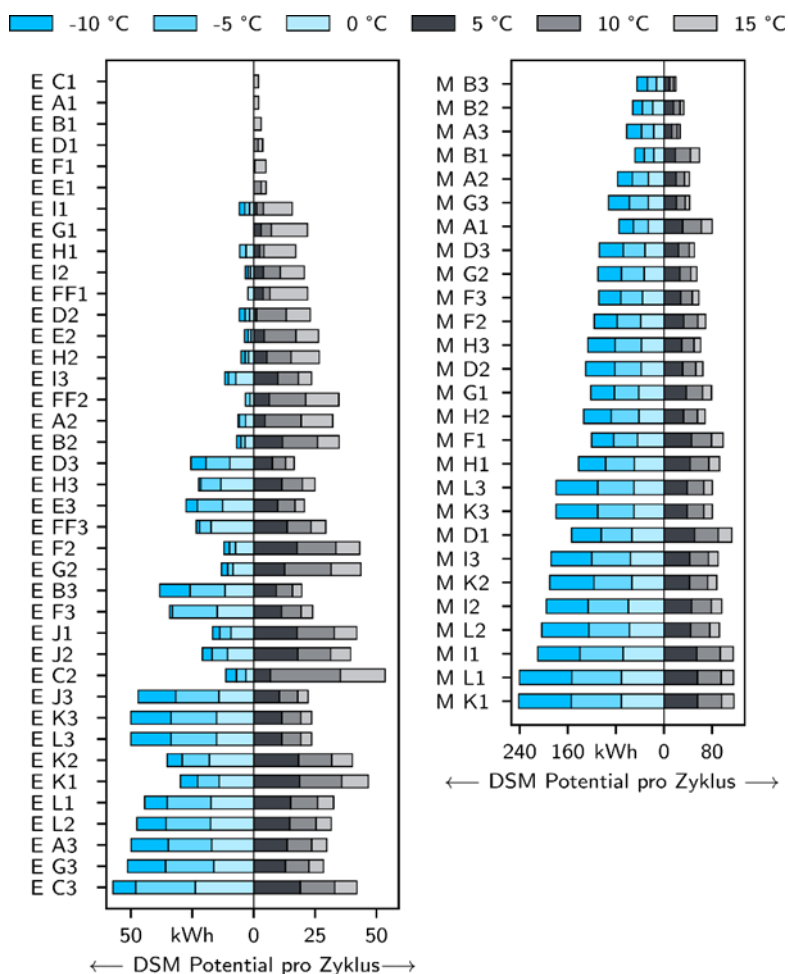


Abbildung 3-18: Absolutes DSM-Potential pro Lastverschiebezyklus in aufsteigender Reihenfolge für Wohngebäude des deutschen Wohngebäudebestands gemäß TABULA (Loga et al. 2015) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Größenklassen (EFH=E und MFH=M), Baualtersklassen (A-L) und Sanierungsstufen (1-3) in Abhängigkeit diskreter Außentemperaturstufen von  $-10$  bis  $15$  °C

Im Vergleich zu den DSM-Potenzialen der Größenklasse EFH zeigt sich bei den MFH ein stetiger Anstieg der DSM-Potentiale in der sortierten Darstellung, sowohl bei negativen als auch bei positiven Außentemperaturen. Interessanterweise ist keine deutliche Verschiebung der DSM-Potentiale zu niedrigeren Außentemperaturen bei neueren und/oder moderneren Gebäuden zu beobachten, da selbst ältere Gebäude bei Temperaturen unter  $0$  °C relativ hohe DSM-Potentiale aufweisen können. Des Weiteren fällt auf, dass mit zunehmender Sanierungsstufe von 1 auf 3 die DSM-Potentiale pro Baualtersklasse gleichmäßig abnehmen, was dem üblichen Trend von steigenden DSM-Potenzialen bei besserer energetischer Sanierung von EFH widerspricht. Der Vergleich der Potenziale zwischen den Baualtersklassen gestaltet sich nicht nur durch unterschiedliche Wohnungsgrößen, sondern auch durch die stark variierende Anzahl an Wohnungen in MFH (z. B. vier Wohnungen in M B1 und 17 Wohnungen in M L1) im Gegensatz zu den homogeneren Strukturen der EFH als schwer.

Um die Auswirkungen von DSM von den einzelnen Typgebäuden bzw. einer Gruppe von Typgebäuden auf die zugrundeliegenden Verteilnetze zu analysieren, sind zeitlich aufgelöste Lastprofile unerlässlich. Hierfür wird der Lastprofilgenerator UrbanHeatPro verwendet, um Zeitreihen des Wärmebedarfs abzuleiten. UrbanHeatPro ist ein Bottom-up-Modellgenerator für die probabilistische Simulation von Zeitreihen des RW- und TWW-Bedarfs einzelner Gebäude oder ganzer Stadtteile und Städte [27]. Der Wärmebedarf der Gebäude wird unter Berücksichtigung von Grundfläche, Stockwerksanzahl, Wärmedurchgangswerten für Fenster, Wände, Decken und Böden sowie externen und internen Wärmegewinnen simuliert, einschließlich Anwesenheitsprofile und weiterer statistischer Kenngrößen.

Die Funktionalität von UrbanHeatPro wird erweitert, sodass die durch die Gebäudesimulationen ermittelten DSM-Potentiale verwendet werden können. Die Methodik ist in Abbildung 3-19 beispielhaft skizziert. Dabei wird ein Algorithmus angewendet, der für jeden einzelnen Tag zunächst die mittlere Umgebungstemperatur berechnet. Unter Berücksichtigung des Sanierungszustandes des jeweiligen Gebäudes wird anschließend das nächstgelegene diskrete DSM-Potential in kWh/Zyklus ermittelt.

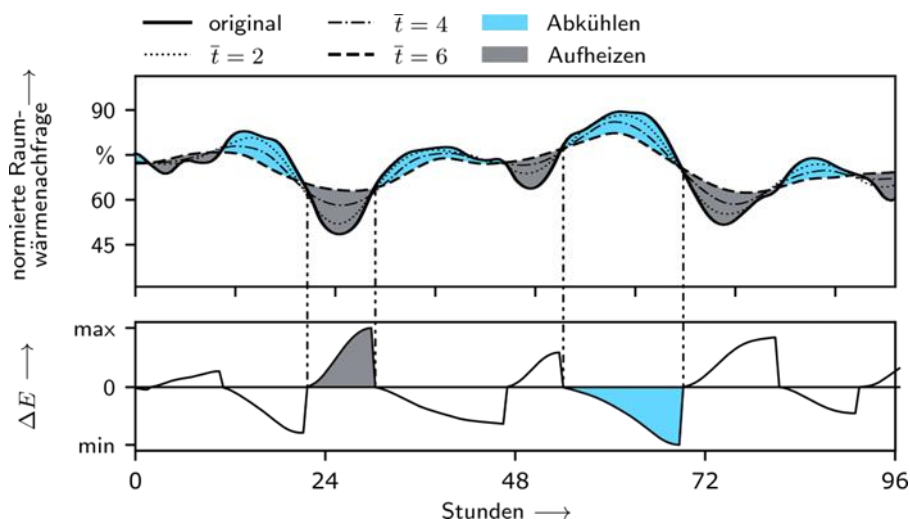


Abbildung 3-19: Schematische Vorgehensweise zur Ableitung lastvergleichmäßiger Zeitreihen der Raumwärmenachfrage

Im weiteren Verlauf wird für den ursprünglichen Lastverlauf ein gleitender Mittelwert berechnet, dessen Fensterweite bei jedem Durchlauf um einen oder mehrere Zeitschritte erweitert wird (vgl. Abbildung 3-19,  $\bar{t} = 2$  bis  $\bar{t} = 6$ ). Dadurch erfolgt eine zunehmende Glättung, wodurch Lasttäler gefüllt und Spitzen abgemildert werden. In jeder Iteration werden die verschobenen Energiemengen für die RW durch Integration ermittelt und mit dem diskreten DSM-Potential verglichen. Falls die rechnerisch verschiebbare RW für das Auskühlen des Gebäudes an einem Tag das zuvor bestimmte diskrete DSM-Potential übersteigt, wird die Iteration abgebrochen, und die Prozedur wird für alle nachfolgenden Tage wiederholt.



## DSM-Potentiale für TWW

DSM-Potentiale für TWW können, im Gegensatz zur Lastverschiebung von RW aufgrund der unmittelbaren Nachfrage nicht direkt verschoben werden. Die TWW-Speicher ermöglichen es jedoch, eine Entkopplung von Angebot und Nachfrage zu realisieren. In Bezug auf die Modellierung kann ein solcher Regelalgorithmus durch ein gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsproblem beschrieben werden. Das Ziel der Optimierung besteht darin, die jährlichen Kosten für die Bereitstellung oder den Verbrauch von TWW pro Gebäude zu minimieren. Die Zielgröße kann daher wie folgt dargestellt werden:

$$\min \sum_{t=1}^{8760} (E_{TWW,Laden}(t) + E_{TWW,Netz}(t)) \cdot C_{TWW}(t)$$

wobei  $E_{TWW,Laden}(t)$  in kWh den verbraucherseitigen TWW-Bedarf zur Ladung des TWW-Speichers zur Stunde  $t$  repräsentiert,  $E_{TWW,Netz}(t)$  in kWh den verbraucherseitigen TWW-Bedarf darstellt, der direkt durch das Wärmenetz in der Stunde  $t$  abgedeckt wird, und  $C_{TWW}(t)$  den variablen Wärmepreis für die Bereitstellung von TWW in der Stunde  $t$  in €/kWh. Je höher die Gesamtwärmenachfrage im Wärmenetz, desto höher der fiktive variable Wärmepreis, den ein Verbraucher zu dieser Zeit theoretisch zu zahlen hätte. Dies ist ein rein modellseitiges Konstrukt zur Umsetzung von DSM. Hierdurch wird vermieden, dass die TWW-Speicher während Spitzenlasten geladen werden. Für die verbraucherseitige TWW-Nachfrage  $E_{TWW, Bedarf}(t)$  muss auch zu jeder Zeit die folgende Gleichung erfüllt sein:

$$E_{TWW, Bedarf}(t) = E_{TWW,Netz}(t) - E_{TWW, Entladen}(t) + E_{TWW,Laden}(t)$$

wobei  $E_{TWW,Entladen}(t)$  der Anteil des TWW-Bedarfs in kWh ist, der durch den Speicher gedeckt wird. Weitere Nebenbedingungen definieren die Lade- und Entladeleistungen in kW, die Lade- und Entladeverluste in kWh sowie den minimalen und maximalen Füllstand des TWW-Speichers ebenfalls in kWh. Ein maximaler Volumenstrom von 0,015 m<sup>3</sup>/min wird für das Laden des Speichers verwendet. Dieser Richtwert ergibt sich aus typischen Rohrquerschnitten von 20 mm und den zur Strömungsgeräuschminimierung maximalen Strömungsgeschwindigkeit von 0,8 bis 1,0 m/s. Der minimale Füllstand wird auf 65 % der Gesamtkapazität angenommen. Die Gesamtkapazität des TWW-Speichers wird etwa auf 0,95 des täglichen TWW-Bedarfs geschätzt. Eine Person verbraucht etwa 0,12 m<sup>3</sup> Wasser je Tag. Davon entfallen etwa 1/3 auf Warmwasser. Um unterschiedliches Verhalten abzubilden, wird der tägliche TWW-Bedarf zwischen 0,02 und 0,045 m<sup>3</sup>/d variiert. Multipliziert mit der Anzahl an Bewohnern kann somit für jedes Gebäude der TWW-Bedarf überschlägig zur Speicherdimensionierung ermittelt werden. Für die Lade- und Entladeverluste werden Wirkungsgrade von 95 % angenommen. Die Optimierung wird iterativ für jedes Gebäude des Quartiers durchgeführt, wobei sowohl die

Gesamtwärmenachfrage als auch die variablen Wärmekosten in jedem Schritt aktualisiert werden.

### Ableiten lastverschobener Raumwärme- und Trinkwarmwasserzeitreihen

Zu Beginn wird für den charakterisierten Gebäudebestand eine Lastsimulation für die RW- als auch TWW-Bedarfe durchgeführt. Anschließend werden die gebäude- und außentemperaturabhängigen DSM-Potentiale für RW und die gebäudeabhängigen TWW-Speichergrößen herangezogen, um mit den zuvor beschriebenen Algorithmen einen weiteren Lastgangdurchlauf zu simulieren. Als Ergebnis liegen, gemäß der zur Anwendung kommenden DSM-Regelstrategie, ein vergleichmäßiger Verlauf der RW- und TWW-Nachfrage zugrunde (vgl. Abbildung 3-20). Hierbei werden Spitzenlasten deutlich abgesenkt, wobei das hierdurch entstehende Defizit an Wärme, unter Einhaltung energetischer, thermischer und zeitlicher Restriktionen, anschließend während der typischen Schwachlastphasen nachgeholt wird. Anschließend können die modulierten Zeitreihen der RW- und TWW-Nachfrage bei der Simulation innerhalb der thermo-hydraulischen Wärmenetze verwendet werden, um den Einfluss von DSM auf den Wärmenetzbetrieb und auf die Digitalisierung techno-ökonomisch bewerten zu können.

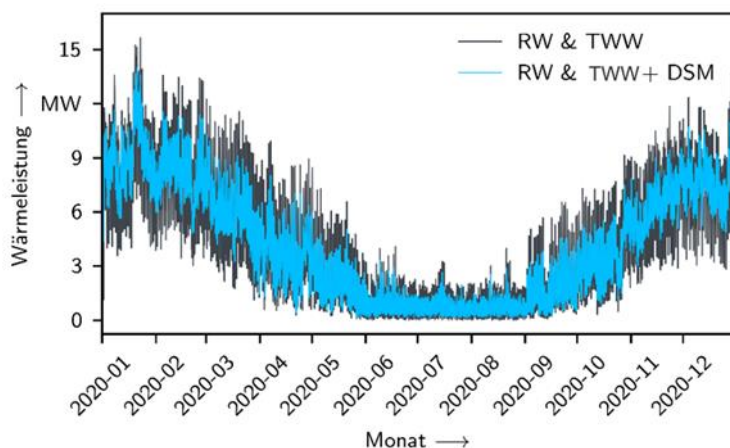


Abbildung 3-20: Beispielhafter Verlauf der stündlichen Wärmenachfrage für RW und TWW in MW für den Bilanzraum 1 sowohl für den Status quo als auch unter Anwendung von DSM

### 3.3.3 Thermo-hydraulisches Modell

Die digitale Transformation des Fernwärmenetzes wird mithilfe eines detaillierten thermo-hydraulischen Modells in Modelica nachgebildet, das ausschließlich in Dymola ausgeführt werden kann, da es die Libraries „IBPSA“ (International Building Performance Simulation Association 2022) und „DisHeatLib“ (Austrian Institute of Technology - Integrated Energy Systems 2022) verwendet, wobei letztere nur mit Dymola kompatibel ist. Dieses Modell erfasst die

Betriebsabläufe über ein ganzes Jahr, unterteilt in drei Hauptkomponenten: die Wärmeerzeugung, die Rohrinfrastruktur und die Endverbrauchermodelle.

Die schematische Darstellung des Fernwärmenetzmodells (Abbildung 3-21) illustriert die Interaktion zwischen Erzeugung, Verteilung und Verbrauch und wie diese durch Wärmebedarfszeitreihen, Witterungszeitreihen und Vorlauftemperaturzeitreihen beeinflusst werden. Die Wärmeerzeugung, repräsentiert durch eine symbolische Darstellung eines KWK-Systems sowie eines Spitzenlastkessels, wird als Ausgangspunkt für die Wärmeverteilung durch das Netzwerk verwendet, wobei die Temperatur und der Bedarf durch externe Daten wie das Wetter und die vordefinierten Verbrauchsprofile moduliert werden. Diese Visualisierung betont den zyklischen Prozess der Wärmeübertragung vom Erdreich über die Erzeugung und Verteilung bis hin zum Endverbraucher, was die Grundlage für die Analyse der Netzwerkdynamik und die daraus resultierenden Effizienzverbesserungen durch Digitalisierungsmaßnahmen bildet.

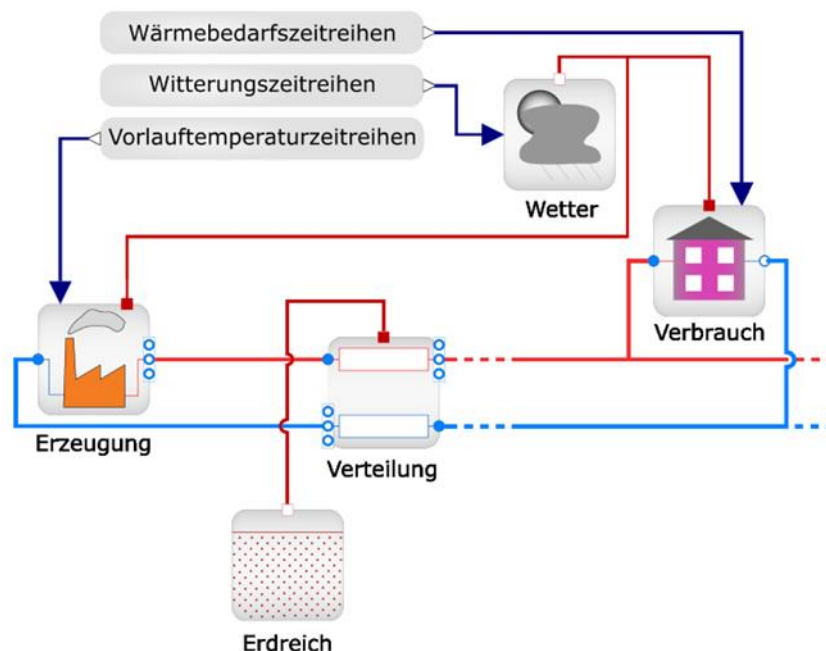


Abbildung 3-21: Abstrakter Aufbau des Fernwärmenetzmodells in Dymola

### Wärmenetztopologie

Die Netzwerktopologie wird aus Gründen der Recheneffizienz als Abstraktion des tatsächlichen Wärmenetzes konstruiert. Gebäude auf demselben Zweig werden zu Verbrauchszentren zusammengefasst, und Schleifen bzw. Ringschlüsse im Wärmenetz werden aufgetrennt, um das Modell zu vereinfachen und in erster Linie lösbar zu machen. Daten zur Wärmenetztopologie stammen aus einem Netzplan, der sowohl Trassenführung, Längen und Querschnitte enthält. In der verwendeten Modellbibliothek existieren Modelle erdverlegter Wärmeleitungen. Deren Parametrierung orientiert sich anhand von Produktkatalogen bekannter Hersteller. Es

wurden Rauheitswerte von glattem Stahl angesetzt Die Reibungsverluste werden durch die Swamee-Jain-Reibungskoeffizienten berechnet (Ricci et al. 2022). Druckverluste durch Armaturen und Bögen wurden je Trassensegment mit pauschal 15 % der rauheitsbedingten Druckverluste veranschlagt. Eine Degradation der Dämmmaterialien wurde nicht unterstellt und somit Wärmeleitfähigkeitswerte neuer Wärmeleitungen von 0,024 W/mK verwendet. Das Wärmeträgermedium ist ein inkompressibles Fluid mit temperatur- und druckabhängigen physikalischen Eigenschaften.

### **Wetterzeitreihen und Vor- und Rücklauf temperaturzeitreihen**

Die in der Simulation verwendeten Wetterzeitreihen basieren auf stündlichen Werten, die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bezogen und auf ein 30-Minuten-Zeitschrittweite interpoliert werden. Die für die thermo-hydraulische Wärmenetzsimulation verwendeten wärmenetzseitigen Vor- und Rücklauf temperaturen an der zentralen Einbindestelle werden vom Wärmenetzbetreiber in stündlichen Werten bereitgestellt.

### **Wärmebedarfszeitreihen**

Die grundlegenden Verbrauchsprofile der Verbrauchszentren liegen differenziert sowohl für die Bedarfsarten RW und TWW als auch hinsichtlich der Nutzungsart für Wohn- und Nichtwohngebäude vor.

Zu Beginn wurden gebäudespezifische Kenndaten erhoben, mit denen, unter Verwendung des Lastganggenerators, zeitlich aufgelöste Zeitreihen der Wärmenachfrage simuliert werden. Da die Eingangsdaten für den Lastganggenerator stellenweise auf statistischen Daten basieren, musste händisch eine nachgelagerte Plausibilisierung mit ggf. erforderliche Anpassung durchgeführt werden. Gegenüber der TABULA (Loga et al. 2015) wurde definiert, dass:

Einfamilienhäuser (EFH) für Wohngebäude mit einer Gesamtfläche  $\leq 500 \text{ m}^2$  und  $\leq 4$  Bewohner;

Mehrfamilienhäuser (MFH) für Wohngebäude mit einer Gesamtfläche  $> 500 \text{ m}^2$  und  $\leq 1000 \text{ m}^2$  oder Wohngebäude mit einer Gesamtfläche  $\leq 500 \text{ m}^2$  und  $> 4$  Bewohner;

Große Mehrfamilienhäuser (GMH) für Wohngebäude mit einer Gesamtfläche  $> 1000 \text{ m}^2$ .

Die Kategorie Reihenhauser (RH) bzw. Hochhaus (HH) sind im Lastganggenerator nicht hinterlegt, da Gebäude dieser Typen adäquat den bestehenden Kategorien EFH, MFH, und GMH zugeordnet werden können.

### **Grundgleichungen des Modells**

Das Grundkonzept der thermo-hydraulischen Wärmenetzsimulation stützt sich auf die 1D-Strömungsgleichung, die den Energietransfer durch die Rohrleitungen und die damit verbundenen Wärmeverluste berechnet:

$$\underbrace{\frac{\partial(\rho c_v T A)}{\partial t}}_{\text{Zeitliche Auflösung}} + \underbrace{\frac{\partial\left(\rho v\left(c_v T + \frac{p}{\rho}\right) A\right)}{\partial x}}_{\text{Räumliche Auflösung}} = \underbrace{v A \frac{\partial p}{\partial x}}_{\text{Druckdifferenz (Energie)}} + \underbrace{\frac{1}{2} \rho v^2 |v| f_D S}_{\text{Druckverlust}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}\left(k A \frac{\partial T}{\partial x}\right)}_{\text{Wärmeverluste}} - \dot{q}_e$$

Die einzelnen Terme berücksichtigen den dynamischen Energietransfer, einschließlich zeitlicher und räumlicher Ableitungen, Energiedifferenz durch Druckverluste, Dissipation durch Wandreibung und axiale Wärmediffusion. Zudem wird die 1D-Strömungsgleichung für transportierte Mengen wie Enthalpie genutzt:

$$\frac{\partial z(x, t)}{\partial t} + v(t) \frac{\partial z(x, t)}{\partial x} = 0$$

wobei  $z(x, t)$  die transportierte Menge repräsentiert. Die Lösung dieser Wellengleichung wird numerisch approximiert.

### Simulation des Erzeugerportfolios

Auf der Modellierungsseite wird die Erzeugung als einfache Druckquelle mit einer vordefinierten Vorlauftemperatur umgesetzt, die die Wärmenachfrage auf der Verbraucherseite und die transportbedingten Wärmeverluste innerhalb ihrer nominalen Wärmeleistung bereitstellt bzw. kompensiert. Die Erzeugung wird als idealisierte Erzeugungseinheit betrachtet, ohne Einschränkungen hinsichtlich der erreichbaren Änderungsgeschwindigkeiten des Massenstroms. Da von einer idealisierten Erzeugungsanlage ausgegangen wurde, ist für die Modellierung unerheblich, um welche Art von Anlage es sich handelt, beispielsweise ob es sich um eine KWK-Anlage oder einen Spitzenlastkessel handelt. Eine detailliertere Betrachtung des Erzeugerportfolios kann ex-post in der techno-ökonomischen Analyse durchgeführt werden. Die Vorlauftemperaturen auf der Erzeugerseite wird in Abhängigkeit von der Außentemperatur gleitend gesteuert und entspricht den tatsächlich gemessenen Werten der Bilanzräume. Die zentrale Umwälzpumpe hat einen systemischen Wirkungsgrad von 85 %. Es wurde zudem angenommen, dass die von der Pumpe dissipierte Energie teilweise auf das Wärmeträgermedium übergeht.

#### 3.3.4 Digitalisierungsszenarien

Digitalisierungsstrategien bilden das Fundament eines jeden Digitalisierungsprojekts. Diese Strategien definieren unter anderem die zu digitalisierenden Verbraucher, deren Rangfolge bei der Digitalisierung und den generellen zeitlichen Ablauf. Aufgrund der Versorgungsunterbrechung durch die Umstellung auf digitalisierte HASTen in Kombination mit der benötigten Installationszeit kann die umfassende Digitalisierung nur in aufeinanderfolgenden Phasen erfolgen. Um die Effekte einer Digitalisierung von Wärmenetzinfrastrukturen systematisch zu analysieren, sollen in den Digitalisierungsszenarien unterschiedliche Stufen der Digitalisierung

untersucht werden. Für die modelltechnische Analyse werden insgesamt drei unterschiedliche Digitalisierungsszenarien definiert:

- » Im ersten Szenario erfolgt die Digitalisierung bis zur Stufe 1 (vgl. Abschnitt 3.1.2 auf Seite 22). Mit dieser Digitalisierungsstufe sind messwertgetriebene Optimierungen des Betriebs von HASTen möglich. Hierdurch können Suboptimalitäten und Fehler an der Anlage identifiziert und direkt behoben werden, was zu abgesenkten gebäudeseitigen Rücklauftemperaturen führt.
- » Für das zweite Digitalisierungsszenario gilt weiterhin Stufe 1 als Zielstufe, jedoch werden die messwertgetriebenen Optimierungen zusätzlich um einen hydraulischen Abgleich erweitert. Ein hydraulischer Abgleich trägt dazu bei, den Wärmebedarf der Verbraucher im Wärmenetz zu reduzieren. Der hydraulische Abgleich ist eine Technik, die in hydraulischen Heizsystemen verwendet wird, um sicherzustellen, dass jeder Heizkörper bzw. jeder Radiator die richtige Menge heißes Wasser für eine effektive und effiziente Beheizung erhält. Dieser Prozess beinhaltet die Anpassung des Wasserflusses durch jedes Bauteil, um eine ausgewogene Verteilung der Wärme zu erreichen. Eine ungleichmäßige Wärmeverteilung führt zu Räumen, die entweder zu heiß oder zu kalt sind, was zu einem ineffizienten Betrieb des gesamten Systems führen kann. Die Effekte auf den Wärmenetzbetrieb setzen sich neben reduzierten gebäudeseitigen Rücklauftemperaturen auch aus einer verminderten Nachfrage an RW zusammen.
- » Digitalisierungsszenario 3 greift die Betriebsoptimierung und Durchführung hydraulischer Abgleiche auf und ermöglicht zusätzlich die betreiberseitige Einflussnahme auf die RW- und TWW-Nachfrage mittels DSM. Das DSM hat zum Ziel, möglichst gleichmäßige Wärmenachfragen innerhalb des Wärmenetzes zu generieren. Hierzu werden die Flexibilitäten sowohl der trägen Gebäudemasse als auch die TWW-Speicherkapazitäten herangezogen.

Wichtig bei der Szenariendefinition ist zu verstehen, dass jedes weitere Szenario konsekutiv ist und auf den Annahmen des vorherigen aufbaut.

Nachdem durch die Digitalisierungsszenarien beschrieben wird, wie Verbraucher zu digitalisieren sind, soll weiterhin definiert werden, welcher Verbraucher wann digitalisiert wird. Hierzu wird eine geordnete Reihung aller Verbraucher angefertigt. Ausgangsbasis sind die synthetisch erzeugten Zeitreihen der Wärmebedarfe je Gebäude. Unter der Annahme, dass ein größerer Verbraucher auch einen anteilig größeren Einfluss auf den Wärmenetzbetrieb ausübt, sollen primär Großverbraucher digitalisiert werden. Mit voranschreitender Digitalisierung werden somit stetig kleinere Verbraucher digitalisiert. Neben dem Gesamtwärmeabsatz je Gebäude wären auch weitere Kriterien für die Rangfolge denkbar; wie z. B. die TWW-

Speichergröße, die Lage im Wärmenetz bzw. die Lage bezüglich einer zentralen Erzeugeran-  
 lage. Die spezifischen Investitionen in digitalisierte HASTen sinken mit zunehmender Größe  
 der HASTen, weswegen die Digitalisierung größerer Verbraucher spezifisch günstiger ist. Um  
 den Einfluss unterschiedlicher Größenkategorien der Verbraucher auf eine etwaige Wirtschaft-  
 lichkeit der Digitalisierung zu quantifizieren, erfolgt der Rollout von SHMn anhand gleicher In-  
 tervalle zu je 10 % der Gesamtwärmenachfrage des Bilanzraums.

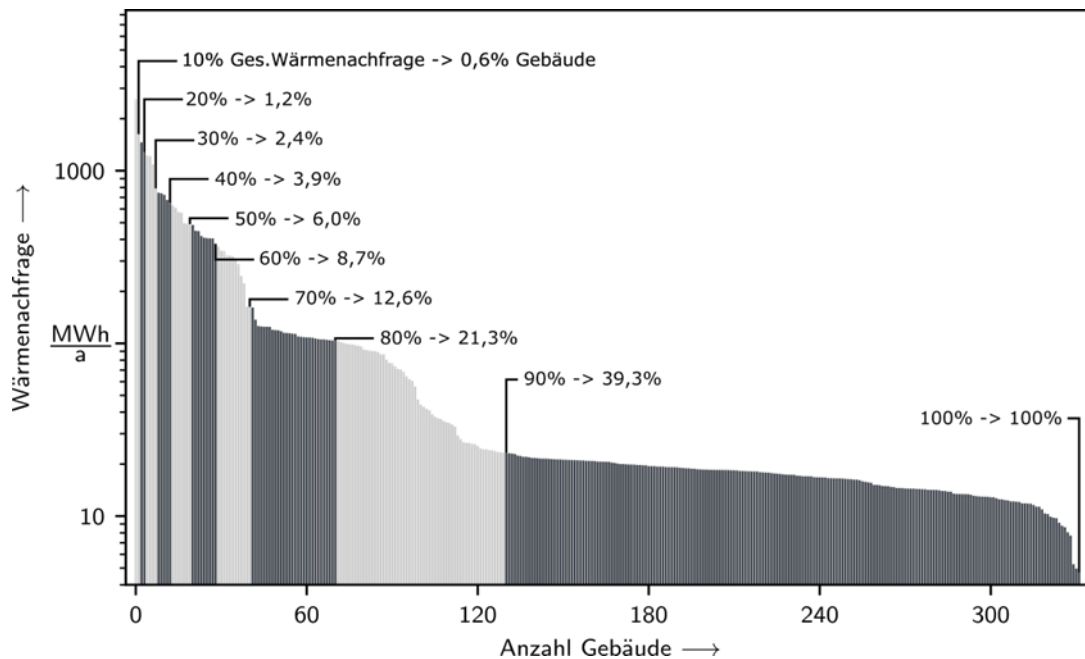


Abbildung 3-22: Nach abnehmender jährlicher Gesamtwärmenachfrage geordnete Anzahl  
 Verbraucher. Die Klassierung der Verbraucher basiert auf die erforderliche An-  
 zahl ebenjener, zu Erreichung eines 10 %igen Anteils an der Gesamtwärmenach-  
 frage beispielhaft für den Bilanzraum 1

### 3.3.5 Techno-Ökonomische Bewertung

Für die techno-ökonomische Quantifizierung der Auswirkungen der Digitalisierung von HAS-  
 Ten werden die Digitalisierungskosten, die vom Wärmenetzbetreiber zu tragen sind, mit den  
 potenziellen Effizienzgewinnen verglichen, die im Betrieb von Wärmenetzen realisiert werden  
 können. Die Vergleichsgröße für diese Analyse sind die spezifischen Wärmeverteilkosten in  
 €/MWh. Diese setzen sich aus den annuisierten Investitionen, betriebs- und bedarfsgebunde-  
 nen Kosten zusammen. Im Folgenden werden die Kosten, die mit einer Digitalisierung von  
 HASTen assoziierbar sind, aufgeführt und erläutert.

#### Kosten der Digitalisierung von HASTen

Die Investitionen für die Umrüstung der HASTen mittels SHM können von (Routledge and  
 Williams) sowie (Rapp et al.) entnommen werden. Diese wurden auf das Jahr 2020 diskontiert.

Für die Digitalisierung sind hingegen nicht nur Investitionen in SHM erforderlich. Zusätzlich fallen Kosten für deren Installation, Investitionen in Datenerfassungssystemen, Wartungen der Zähler sowie Ablese- und Serviceleistungen an. Die Spannweite der Kapital-, betriebs- und bedarfsgebundenen Kosten von digitalisierten HASTen reicht von 132 bis 201 €/a<sup>8</sup>, bei mittleren und medianen Kosten von 164 bzw. 152 €/a (vgl. Tabelle 3-1).

Für die nachträgliche Betriebsoptimierung von HASTen und Heizungsregelungen schätzt Müller et al. (2021) einmalige Kosten von 300 €, die vom Netzbetreiber zu tragen sind. Die Kosten für die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs können durch die empirischen Gleichungen von Jagnow et al. (2007) berechnet werden, die auf der beheizten Fläche basieren. Die Kosten für die Behebung eines einfachen Schadens werden auf 6 % der ursprünglichen Investition einer HAST geschätzt. Es werden relativ geringe Instandhaltungskosten angesetzt, da nach Schrammel and Binder (2018) und Müller et al. (2021) mehr als 75 % der gemeldeten Schäden an HASTen mit einem „minimalen“ Aufwand beseitigt werden können; lediglich etwa 5 % der Schäden sind mit „erheblichen“ Aufwand Instand zu setzen.

Die Investitionen in HASTen hängen von der angeschlossenen Leistung ab und reichen von 62 €/kW für Systeme über 150 kW bis zu 388 €/kW für Systeme kleiner 15 kW. (Peters et al.) Thermostatventile, mit denen eine Einzelradiatorsteuerung zur Umsetzung von DSM realisierbar ist, können mit 35 €/Stück angesetzt werden. Die Ebene der Einflussnahme von DSM wurde auf HAST-Niveau angesetzt, wodurch keine intelligenten Thermostatventile erforderlich sind. Jedoch werden für die Regelungseinheit, bestehend aus Aktuatoren, Kosten in Höhe von 47 €/Stück., abzüglich einer etwaigen Mehrwertsteuer von 19 %, angenommen (Manz 2021).

In einer zentralen IT-Infrastruktur, die sowohl aus Servern und Software besteht, laufen die digitalen Messwerte zusammen, werden aufbereitet und analysiert. Der Strombedarf für die Recheneinheit wird mit einer konstanten Leistung von 2 kW bei einer jährlichen Verfügbarkeit von 100 % auf 17,5 MWh/a festgesetzt. Die Investition in die IT-Infrastruktur kann mit Ernst & Young GmbH (2014) – unter Abdiskontierung auf das Jahr 2020 – auf 410.000 € abgeschätzt werden, wobei 293.000 € auf die Entwicklung und 117.000 € auf die Anpassung der Infrastruktur entfallen. Da beide Bilanzräume teil eines großen Wärmenetzes sind, werden die anteiligen Investitionen anhand der jeweiligen Jahreswärmeforderungen bestimmt.

---

<sup>8</sup> Jährliche Kosten unter der Annahme einer technischen Nutzungsdauer von 20 a und einem Zinssatz von 6 %/a in Anlehnung an Rapp et al.



## Erzeugerseitige Kosten und Annahmen

Bei Erzeugeranlagen, die auf der Verbrennung von organischen Verbindungen beruhen, sind die Wirkungsgrade abhängig von den Rücklauftemperaturen. Je höher die Rücklauftemperaturen, desto geringer sind die Wirkungsgrade. In Abbildung 3-23 sind die rücklauf temperaturabhängigen Wirkungsgrade für (a) einen Kondensationskessel sowie für eine KWK-Anlage (b) aufgetragen. Im Zuge der Digitalisierung ist mit der Optimierung von und der Fehlerbehebung an HASTen mit sinkenden Rücklauftemperaturen zu rechnen, weswegen die thermischen Wirkungsgrade von Spitzenlastkesseln und KWK-Anlagen steigen. Dieser Sachverhalt ist der techno-ökonomischen Bewertung zugrunde gelegt. Die Brennstoffbedarfe werden ex-post anhand der Resultate der thermo-hydraulischen Wärmenetzsimulation ermittelt. Unter Berücksichtigung der abhängigen Wirkungsgrade können Effekte der Digitalisierung auf den Brennstoffbedarf ermittelt werden.

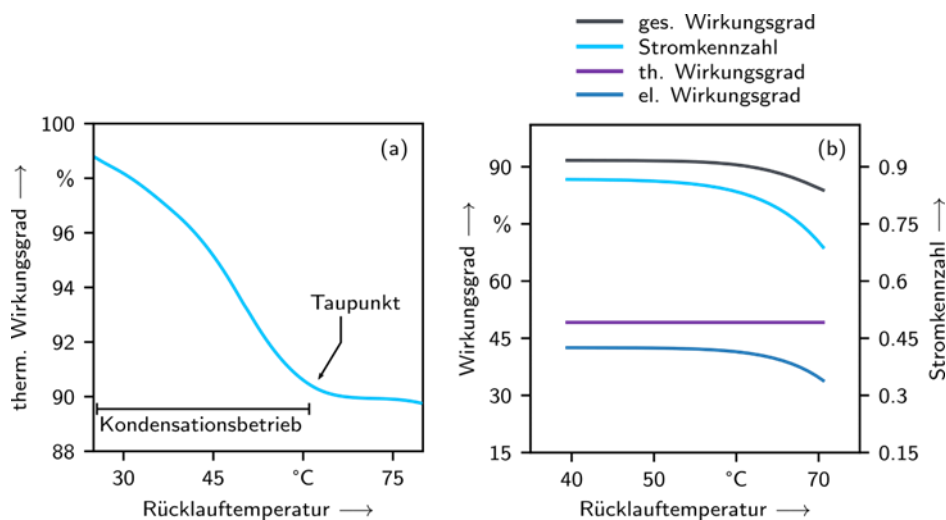


Abbildung 3-23: Abhängigkeit der thermischen, elektrischen Wirkungsgrade und Stromkennzahlen von den wärmenetzseitigen Rücklauftemperaturen für einen beispielhaften Brennwärtekessel (a) sowie für eine KWK-Anlage (b). Eigene Darstellung auf Basis von (Jones 2014) und (Dittmann and Rhein 2008)

## Stromerzeugung

Wenn das Erzeugerportfolio aus einer KWK-Anlage in Kombination mit einem Spitzenlastkessel besteht können Effekte durch den veränderten Einsatz der KWK-Anlage bzgl.-. der Stromerzeugungskosten und deren wirtschaftlichen Bilanzierung mit in Betracht gezogen werden. Für die KWK-Anlage wurden im Folgenden spezifische Brennstoffbezugspreise von 32 €/MWh, für den Spitzenlastkessel Preise von 60 €/MWh zugrunde gelegt. Aufgrund der vergangenen Entwicklungen ab 2022 wurde ein Börsenstrompreis von 100 €/MWh angesetzt.

Der Beitrag zur Teilnahme am Europäischen Emission Trading System (ETS) wird mit 3,0 €/MWh vergütet (Falkenberg et al. 2019)

### **Druckhaltung**

Durch die Absenkung der wärmenetzseitigen Rücklauf­temperatur kann die Spreizung zwischen der Vor- und Rücklauf­temperatur vergrößert werden. Eine gesteigerte Temperaturspreizung führt zu einer höheren Transportkapazität. Wird gegenüber dem Status quo die Transportkapazität konstant gelassen, reduziert sich folglich der zur Bereitstellung der bisherigen Wärmenachfrage erforderliche Massenstrom. Durch eine Reduktion der wärmenetzseitigen Rücklauf­temperaturen kann sich folglich ein reduzierter Massenstrom im Wärmenetz­betrieb zeigen. Um den Effekt eines reduzierten Massenstrom monetär bewerten zu können, werden folgende Annahmen getroffen:

Die Umwälzpumpe hat einen mittleren Wirkungsgrad von 85 %. Die Strombezugskosten werden mit 180 €/MWh veranschlagt. Die Investition in die Pumpe wird pauschal mit 7 €/MWh kalkuliert. Die an die Verbraucher abgegebene Wärme geht mit einem Mischpreis von 95 €/MWh in die Kalkulation ein.

### **Wartung und Instandhaltung (Reduktion durch verminderte thermische Belastung)**

Eine Änderung der Vor- oder Rücklauf­temperaturen führt zu einer thermisch induzierten Längenänderung, die dem umgebenden Bettungsmaterial und den Auflasten in erdverlegten Wärmeleitungen entgegenwirkt (Gerlach et al. 2018). Die resultierenden lateralen und axialen Kräfte erzeugen Spannungen und Verformungen in den Wärmeleitungen, die Materialermüdung verursachen und somit das Versagen des Bauteils auf kurze bis lange Sicht begünstigen (Hay et al. 2020). Veränderte Temperaturregime können somit auch auf die Standsicherheit und technische Nutzungsdauer einwirken, wodurch ggf. frühzeitig Ersatzinvestitionen erforderlich werden.

Die ökonomische Bewertung von Temperaturfluktuation wurde in (Blesl et al. 2017) erläutert. Um die Reinvestitionen einer frühzeitig erreichten technischen Nutzungsdauer erdverlegter Wärmetrassen zu berücksichtigen, müssen zu Beginn die ursprünglichen Investitionen in die Wärmenetze quantifiziert werden. Grundlage sind die Geographic Information System (GIS)-basierten Wärmenetztopologien der Bilanzräume. Hieraus kann die Verteilung der verwendeten Trassen hinsichtlich deren Querschnitte und Längen ermittelt werden. In (Wendel et al. 2022a) wurden Kostenfunktionen für erdverlegte Wärmetrassen erarbeitet. Verwendung findet die Funktion zur Berechnung der Baukosten für eine überbaute Verlegung von einfach gedämmten Wärmetrassen:

$$C = 3,37 \cdot DN + 491,95 [25 \leq DN \leq 600] \text{ €/m}$$

Für die Wärmetrassenverteilung werden für jede Kategorie von Trassenquerschnitte die Baukosten in € berechnet. Diese unterliegen einer gewöhnlichen Abschreibung über 20 a mit einem Zinssatz von 5 %. Die hieraus ableitbaren annuisierten Investitionen in erdverlegte Wärmetrassen können anschließend noch über die jährlich im Bilanzraum abgesetzte Wärmemenge normiert werden. Diese Kennzahl in €/MWh a dient der Vergleichbarkeit über mehrere Bilanzräume hinweg.

### **3.4 Praxisrelevante Anwendungen**

In diesem Abschnitt wird die Theorie (vgl. Kapitel 3.3) angewendet auf die Beispielgebiete. Hierfür werden die Messdaten sowohl im Netz als auch bei den Verbrauchern analysiert und interpretiert.

#### **3.4.1 Analysen von netzseitigen Messdaten**

Die Effizienz eines Fernwärmeversorgungssystems wird durch die detaillierten Daten der Fernwärmeerzeugung, des Fernwärmenetzes und der Verbrauchsseite.

Auf der Fernwärmeerzeugung konzentriert sich die Datenerfassung auf die Daten der Vor- und Rücklauftemperaturen an den Hauptanbindungssträngen der Teilnetze, die einen Einblick in die Leistungsfähigkeit und die thermischen Dynamiken des Heizsystems bieten. Auf der Netzseite liegt die Aufmerksamkeit sowohl auf den Vor- und Rücklauftemperaturen als auch auf den Volumenflussraten. Diese Kombination von Daten hilft dabei, ein klares Bild von der Kapazität des Netzes für den thermischen Transport und seiner Effizienz bei der Wärmeauslieferung zu zeichnen.

Ziel der Datenerhebung bei den Verbrauchern ist es, die Wärmenachfrage zu erklären, indem die Temperaturen und Durchflussraten ermittelt werden.

Die Messwerte bilden die Grundlage für Analysen, die sowohl die Leistungsbewertung als auch das Asset-Management umfassen. Mit Hilfe dieser Analysen sollen die Effizienz des Fernwärmenetzes bewertet, optimale und suboptimale Betriebspunkte identifizieren und die Reaktion des Systems auf unterschiedliche Verbraucheranforderungen bestimmt werden.

Nachfolgende werden exemplarisch die Ergebnisse der an einem Verzweigungspunkt, an dem sich das Hauptzulaufrohr in Ausläufe mit den Durchmessern DN 250, DN 200 und DN 150 aufteilt, aufgezeigt. Hierbei versorgen die größeren Rohre, DN 250 und DN 200, jeweils ein Wohngebiete, während DN 150 hauptsächlich mit einer Schule verbunden ist. Die Messwerte wurden im Minutentakt aufgezeichnet. An dem Abzweig ergab sich die in Abbildung 3-24 dargestellte Verteilung der Rücklaufvolumenströme auf die verschiedenen Rohrdurchmesser während der Messkampagnen von März 2022 bis September 2023. Die DN 250 Rohre weisen den größten Anteil am Volumenstrom auf, etwa 60 %. Bis zu 30 % des Abflusses werden von

DN 200 Rohren geleitet. Der Anteil, der durch DN 150 Rohre fließt, nimmt deutlich ab, besonders in den Sommermonaten. Messfehler sind in den Monaten April, Juli und November 2022 sowie im September 2023 erkennbar.

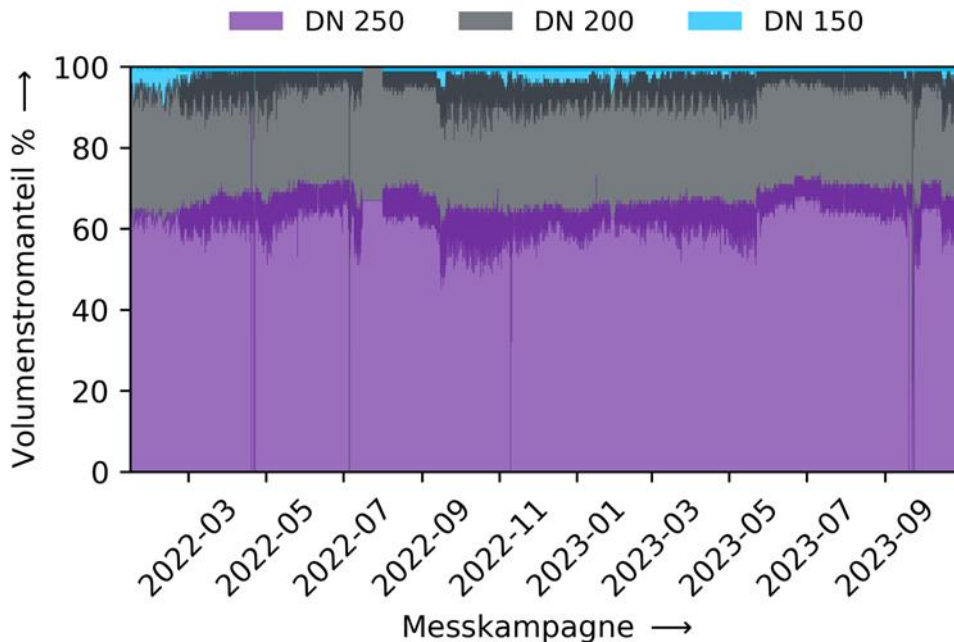


Abbildung 3-24: Auf den Zustrom normierte (Rücklauf-)Volumenstromverteilung eines Abzweigs

Eine Häufigkeitsverteilung der normierten Rücklaufvolumenströme für die Leitungen wird in Abbildung 3-25 gezeigt. Idealerweise sollte das Maximum der Verteilung weder rechts- noch linksschief sein, in der Mitte der Normalverteilung. Eine Abweichung von dieser idealen Form deutet darauf hin, dass die Kapazitätsauslastung der Leitung nicht optimal ist. Die Rohre DN 250 und DN 200 weisen eine leicht rechtsschiefe Verteilung auf, mit der am häufigsten auftretenden Volumenstromklasse bei etwa 30 %, was darauf hindeutet, dass diese Leitungen relativ gut ausgelastet sind. Im Gegensatz dazu zeigt das DN 150 Rohr eine deutlich rechtsschiefe Verteilung, mit der höchsten Frequenz der Volumenströme bei ungefähr 10 %, was auf eine weniger effiziente Nutzung und erhebliche Stillstandszeiten hinweist. Diese Schiefelage wird besonders durch eine hohe Frequenz des 0 % Volumenstroms hervorgehoben, die auf Zeiten der Inaktivität oder möglichen Sensorausfall deuten könnte. Darüber hinaus akkumulieren die normierten Ströme unter 5 % eine Häufigkeit von 0,1 %, was insbesondere im Vergleich zu den Rohren DN 250 und DN 200 eine beachtliche Menge ist und auf eine höhere Inzidenz von niedrigen Volumenströme bei DN 150 Rohren hinweist.

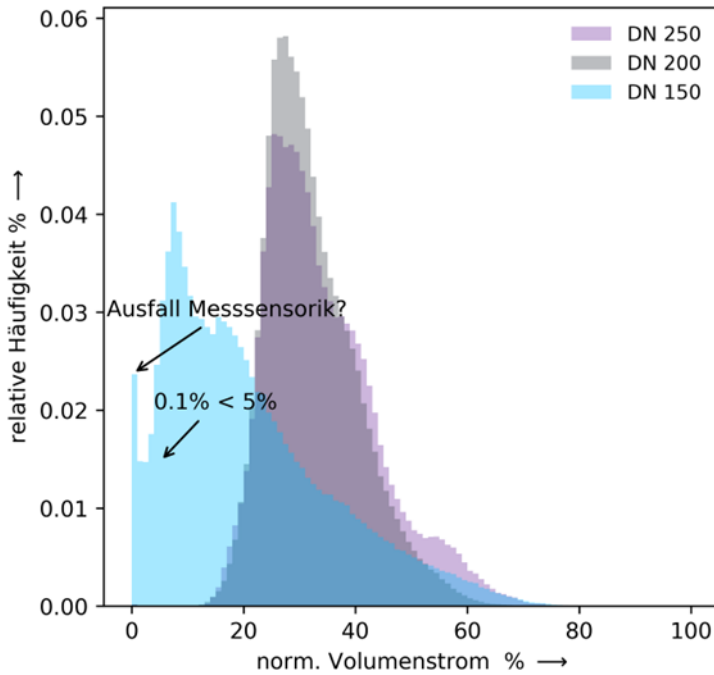


Abbildung 3-25: Häufigkeitsverteilung der für jeden Abzweig auf die max. Volumenströme normierten (Rücklauf-)Volumenströme

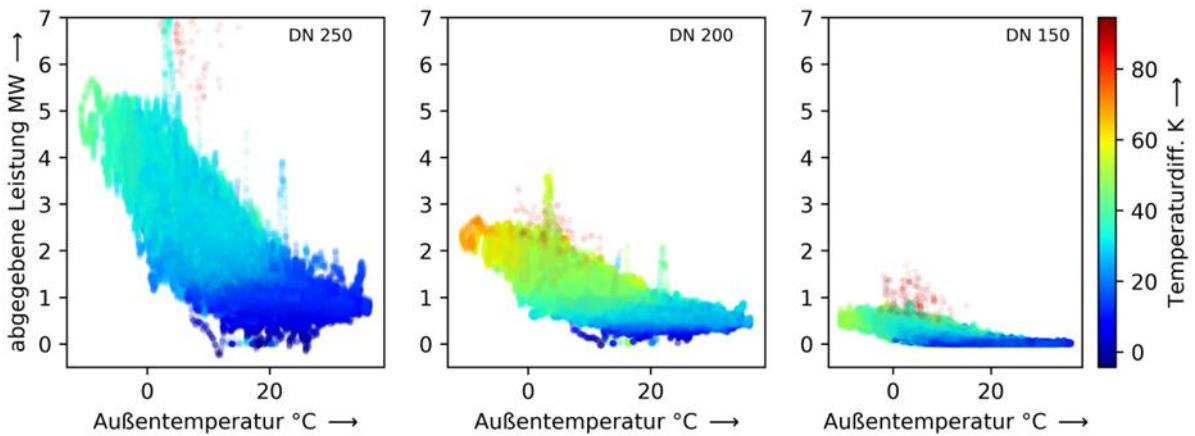


Abbildung 3-26: Abgegebene Wärmeleistung als Funktion sowohl der Außentemperatur als auch der Spreizung

Die abgegebene Wärmeleistung, die in der Abbildung 3-26 dargestellt wird, ist für einzelne Rohre berechnet. Sie basiert auf der Außentemperatur und dem Temperaturunterschied zwischen Vor- und Rücklauf des jeweiligen Rohrs. Die Wärmeleistung wird mit der folgenden Formel bestimmt:

$$\dot{Q} = c_p \dot{V} \rho \Delta T$$

Wobei:

$c_p$  ist die Wärmekapazität von Wasser.

$\dot{V}$  ist der Durchfluss des Rücklaufs.

$\rho$  ist die Dichte von Wasser.

$\Delta T$  ist die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf in der Leitung.

Das Diagramm kategorisiert die Datenpunkte nach dem Temperaturunterschied zwischen Vor- und Rücklauf, mit Farben, die von Dunkelblau bis Dunkelrot reichen. Es wird angenommen, dass die Wärmeleistung der DN 250 und DN 150 Rohre mehr durch den Durchfluss beeinflusst wird, da sie hauptsächlich in Blautönen markiert sind. DN 200 zeigt eine breitere Farbskala, was darauf hindeutet, dass die Wärmeleistung stärker durch den Temperaturunterschied beeinflusst wird.

Die Gruppierung der Datenpunkte bildet in der Idealvorstellung eine spindelförmige Figur, breiter bei mäßig niedrigen Außentemperaturen, was auf eine größere Varianz in der Wärmeleistung und Temperaturdifferenz hinweist. Mit steigenden Außentemperaturen verengt sich die Streuung, was auf eine verringerte Nachfrage nach Raumheizung hindeutet. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen verengt sich die Streuung wieder, was auf weniger Variabilität in der Reaktion des Systems während extremer Kälte schließen lässt. Ein relativ konsistenter Unterschied von etwa 10 °C bei höheren Außentemperaturen ist wahrscheinlich auf die Nutzung von TWW bzw. BWW zurückzuführen.

Das Diagramm hebt auch Ausreißer hervor. Das sind Fälle von ungewöhnlich hohen oder niedrigen Wärmeleistungen, die nicht dem erwarteten Trend folgen. Darüber hinaus könnten Fälle von negativer Wärmeleistung im roten Kreis auf Sensorfehler hinweisen, was zu den Ausreißern im Datensatz beiträgt. Diese atypischen Messwerte erfordern eine weitere Untersuchung, um ihre Richtigkeit und Implikationen zu bestätigen.

Die Graphen veranschaulichen, wie sich die thermische Leistung in Abhängigkeit von der Außentemperatur verändert, wobei höhere Leistungen bei niedrigeren Temperaturen auf eine höhere Heizanforderung hinweisen. Die farbkodierte Darstellung nach Temperaturdifferenz deutet darauf hin, wie unterschiedlich der Temperaturunterschied die Wärmeleistung beeinflusst, mit einem größeren  $\Delta T$ , das auf eine effektive Wärmeübertragung schließt. Die spindelförmige Verteilung der Daten zeigt die Betriebseffizienz und die Reaktion des Systems auf die

variierende Heiznachfrage. Ausreißer könnten auf technische Probleme oder atypische Betriebszustände hinweisen und bedürfen einer weiteren Analyse.

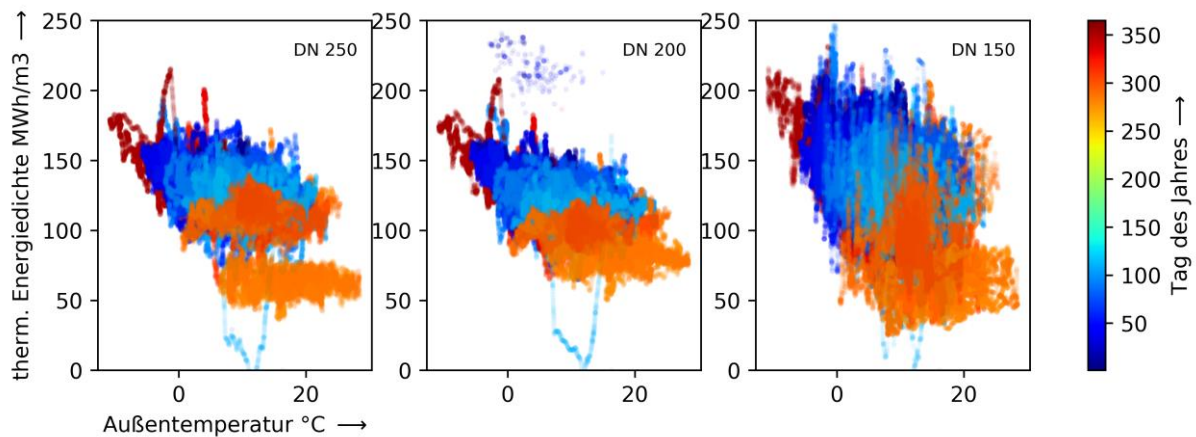


Abbildung 3-27: Thermische Energiedichte in Heizperioden als Funktion sowohl der Außentemperatur als auch der Tag des Jahres

Im Weiteren wird die thermische Energiedichte

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

mit:

$c_p$  ist die Wärmekapazität von Wasser.

$\rho$  ist die Dichte von Wasser.

$\Delta T$  ist die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf in der Leitung.

berechnet. Die Leistungsbewertung der thermischen Energiedichte während der Heizperiode für verschiedene Rohrdurchmesser als Funktion sowohl der Außentemperatur als auch des Tages des Jahres ist in Abbildung 3-27 dargestellt. Hierbei wird die thermische Energiedichte auf der y-Achse und in MWh/m<sup>3</sup> dargestellt. Der Farbverlauf der Datenpunkte reicht von Dunkelblau bis Dunkelrot und entspricht den Tagen des Jahres, wobei Dunkelblau den früheren Teil des Jahres und Dunkelrot den späteren Teil anzeigt.

Die physikalische Interpretation bezieht sich auf die Betriebsmerkmale eines Heizsystems, die durch die Reaktion der thermischen Energiedichte auf die Außentemperaturen über das Jahr hinweg angezeigt wird. Im idealen Zustand würde die Datenwolke im Diagramm eine spindelförmige Gestalt aufweisen. Mit höheren thermischen Energiedichten bei niedrigeren Außentemperaturen, um die gestiegene Heiznachfrage zu decken. Auf der rechten Seite, bei höheren

Außentemperaturen, würde die thermische Energiedichte abnehmen, was eine geringere Heizanforderung anzeigt. Eine solche spindelförmige Verteilung würde auf ein effizient und dynamisch arbeitendes Heizsystem hinweisen. Eine Abweichung von dieser idealen Form könnte auf eine suboptimale Anpassung des Systems an die Heizlast hindeuten, was entweder eine nicht ausreichende Wärmeversorgung bei niedrigen Außentemperaturen oder eine Überdimensionierung und Energieverschwendung bei höheren Temperaturen bedeuten kann. In jedem Fall legt eine Abweichung nahe, dass das Heizsystem nicht optimal auf die Schwankungen der Heizlast reagiert, was zu einer geringeren Effizienz und potenziellen Unbequemlichkeiten für die Bewohner führen kann.

In den Daten für DN 250 und DN 200 ein deutlicher Unterschied in der thermischen Energiedichte erkennbar. Diese Variation könnte auf mehrere Faktoren zurückzuführen sein, wobei die plausibelste Erklärung der Unterschied in den Außentemperaturen zu Beginn der Heizperiode ist. Insbesondere wies der Beginn der Heizperiode 2023, dargestellt in Abbildung 3-28, durchschnittliche Außentemperaturen auf, die um 1,6 °C höher lagen als im Vorjahr, was die beobachteten Werte der thermischen Energiedichte beeinflussen könnte.

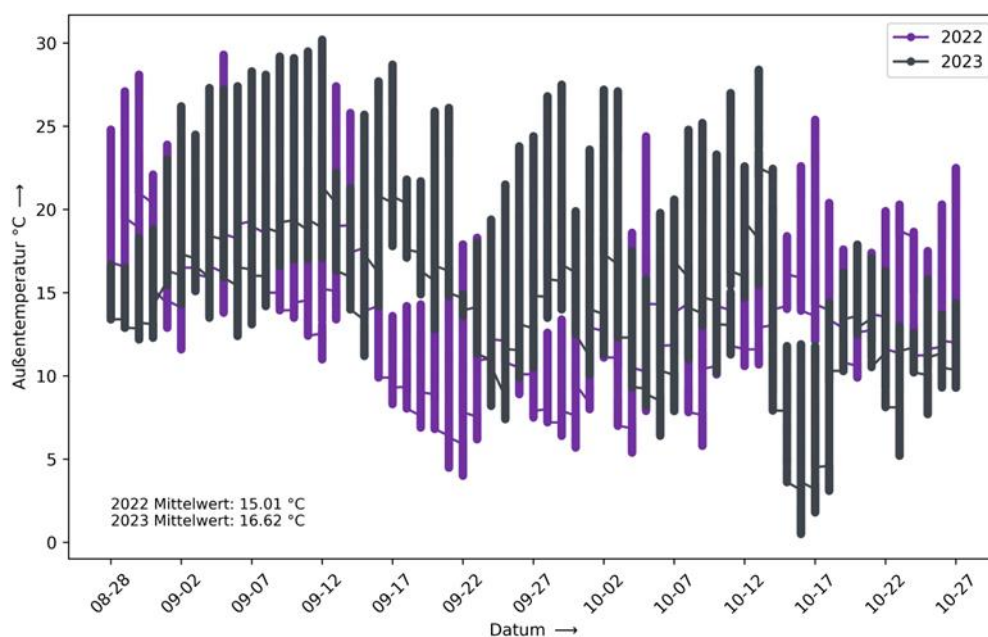


Abbildung 3-28: Vergleich der täglichen Außentemperaturen zwischen den Jahren 2022 und 2023 mit Mittelwerten auf Basis DWD (2022)

Für DN 150 zeigen die Daten keine ähnlich klare Unterscheidung von Heizperiode zu Heizperiode, aber es zeigt sich eine breite Palette von Energiedichten über verschiedene Außentemperaturen hinweg. Die breite Streuung deutet auf eine Variation in der Heiznachfrage oder der Systemleistung über den beobachteten Bereich der Außentemperaturen hinweg.



Die im Datensatz beobachteten Ausreißer werden nicht analysiert und werden nicht weiter diskutiert. Ihre Bedeutung und Auswirkung auf die Gesamtanalyse würden eine zusätzliche Untersuchung erfordern, um eine genaue Interpretation der Systemleistung sicherzustellen.

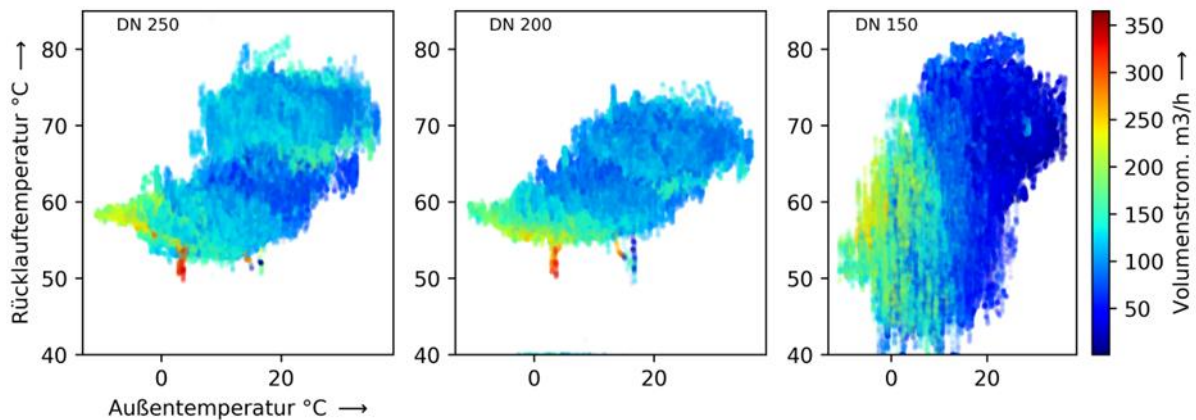


Abbildung 3-29: Rücklauf- und Außentemperatur als Funktion sowohl der Außentemperatur als auch des Volumenstroms

Die Rücklauf- und Außentemperatur als Funktion sowohl der Außentemperatur als auch des Volumenstroms für drei verschiedene Rohrgrößen: DN 250, DN 200 und DN 150, wird in Abbildung 3-29 veranschaulicht. Der Volumenstrom wird farblich kodiert dargestellt, wobei die Farbtöne von Blau für niedrigere Ströme bis Rot für höhere Ströme reichen. Ein ideales Diagramm würde ein spindelförmiges Muster zeigen. Bei niedrigeren Außentemperaturen wird eine niedrigere Rücklauf- und Außentemperatur erwartet, da das Heizsystem entsprechend Wärmeenergie benötigt. Die Datenpunkte bei kühleren Außentemperaturen sollten idealerweise zu Rot tendieren aufgrund erhöhter Volumenströme, da das System für die höhere Wärmenachfrage kompensiert. Steigen die Außentemperaturen, sollten auch die Rücklauf- und Außentemperaturen steigen und der Volumenstrom abnehmen, was durch eine Verschiebung der Datenpunkte zu Blau gekennzeichnet ist und ein gut reguliertes System anzeigt, das seinen Ausstoß verringert, wenn die Heizlast abnimmt. Eine Abweichung von diesem idealen Muster könnte auf Unzulänglichkeiten im System hinweisen, wie etwa eine ineffiziente Wärmeübertragung, unzureichende Isolation oder Probleme bei der Regeltechnik, die alle zu einem weniger effizienten Betrieb und erhöhtem Energieverbrauch führen können.

Bei den Daten von DN 250 werden zwei Cluster durch farblich codierte Kreise unterschieden: Ein roter Kreis umfasst ein Cluster mit niedrigeren Rücklauf- und Außentemperaturen über ein Spektrum von Strömen, was wahrscheinlich die aktive Heizperiode anzeigt. Innerhalb dieses rot umkreisten Clusters gibt es Ausreißer: einen mit der niedrigsten Rücklauf- und Außentemperatur und dem höchsten Volumenstrom, was auf eine mögliche Spitze im Wärmebedarf hindeutet, und einen anderen mit sowohl der niedrigsten Rücklauf- und Außentemperatur als auch dem Volumenstrom, dessen Ursache

weiter untersucht werden muss. Ein brauner Kreis hebt die zweiten Cluster hervor, der durch höhere Rücklauftemperaturen und niedrigere Ströme gekennzeichnet ist und möglicherweise die Nicht-Heizperiode darstellt.

Für DN 200 sind ebenfalls zwei Cluster vorhanden, jedoch ist die Trennung zwischen ihnen sehr undeutlich, was auf einen weniger deutlichen Übergang zwischen Heiz- und Nicht-Heizperioden hindeutet.

Das Diagramm für DN 150 zeigt, dass der Wärmebedarf dieses Rohrs von den Raumheizanforderungen einer Schule dominiert wird, was sich in der ausgeprägten vertikalen Verteilung der Datenpunkte zeigt, insbesondere während der Heizperiode. In den Sommermonaten, wenn keine Raumheizung erforderlich ist, bleibt das System wahrscheinlich hauptsächlich aus Zirkulationsgründen in Betrieb.

Das Auftreten dieser Cluster bietet wertvolle Einblicke in die Betriebsmuster des Heizsystems, die den Einfluss saisonaler Veränderungen auf den Heizbedarf widerspiegeln. Die Identifizierung von Ausreißern innerhalb dieser Muster hebt Fälle hervor, die von der Norm abweichen und eine weitere Untersuchung erfordern, um ihre Ursachen und Auswirkungen auf den Systembetrieb zu verstehen.

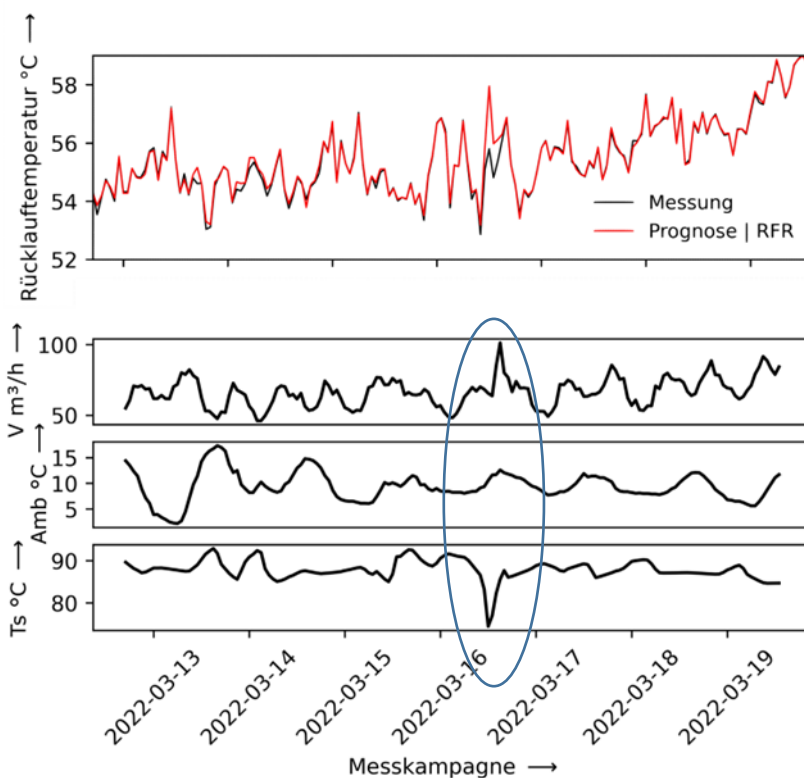


Abbildung 3-30: Prognosemodell zur Identifikation anomaler Betriebszustände

Eine Analyse der DN 200-Leitung, die ein Prognosemodell verwendet, um ungewöhnliche Betriebszustände zu identifizieren, ist in Abbildung 3-30 dargestellt. Hierin zeigt das oberste Diagramm die Rücklauf­temperatur über die Zeit, wobei die x-Achse die Messkampagnendaten vom 13.03.2022 bis zum 19.03.2022 darstellt. Die y-Achse zeigt sowohl die gemessene als auch die prognostizierte Rücklauf­temperatur in °C. Die Vorhersagen in diesem Diagramm, die für die Analyse entscheidend sind, wurden mit einem Random Forest Regressor erzeugt, das auf stündlich gemittelten Daten einschließlich Volumenflussraten und Temperaturen trainiert wurde. Die Vorhersageleistung des Modells wurde neben den tatsächlichen Messungen visualisiert, wobei ein  $R^2$ -Wert zur Bewertung der Genauigkeit verwendet wurde. Ein orangefarbener Kreis hebt eine geringfügige Abweichung zwischen den vorhergesagten und den tatsächlichen Temperaturen hervor, was auf eine vernachlässigbare Diskrepanz ohne signifikante Anomalien im Betrieb hindeutet.

Direkt darunter zeigt das zweite Diagramm die Volumenflussrate in  $m^3/h$ , das dritte Diagramm die Umgebungstemperatur in °C und das unterste Diagramm die Vorlauf­temperatur ( $T_s$ ) ebenfalls in °C, alle Daten sind gegen denselben Zeitrahmen auf der x-Achse geplottet.

Erhebliche Abweichungen sind durch blaue Kreise über alle Diagramme hinweg markiert und signalisieren einen bedeutenden Unterschied zwischen prognostizierten Werten und tatsächlichen Messungen, was auf ungewöhnliche Betriebszustände hinweist. Diese Abweichungen sind durch einen deutlichen Abfall der Vorlauf­temperatur gekennzeichnet, was zu einer reaktiven Erhöhung der Volumenflussrate aufgrund des weiteren Öffnens von Ventilen in den HASTen aufgrund des fallenden Differenzdrucks führt. Die differenzdruckgesteuerte Pumpe reagiert auf diese Veränderung, indem sie den Fluss erhöht, um das System zu stabilisieren.

Der Nutzen dieses Diagramms liegt in seinem ganzheitlichen Ansatz, der Temperaturabweichungen, Flussratenänderungen und Druckvariationen kombiniert, um einen umfassenden Überblick über den Zustand des Netzes zu bieten. Dies ermöglicht es den Betreibern, Unregelmäßigkeiten schnell zu identifizieren und anzugehen, was eine prädiktive Wartungsumgebung fördert und einen kontinuierlichen, effizienten Netzwerk­betrieb sicherstellt.

In Zukunft wird angestrebt, Ergebnisse aus dem thermo-hydraulischen Simulationsmodell als Prognosewerte zu verwenden, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Anomalieerkennung weiter zu verbessern und die Betriebsführung des Fernwärmernetzes zu optimieren.

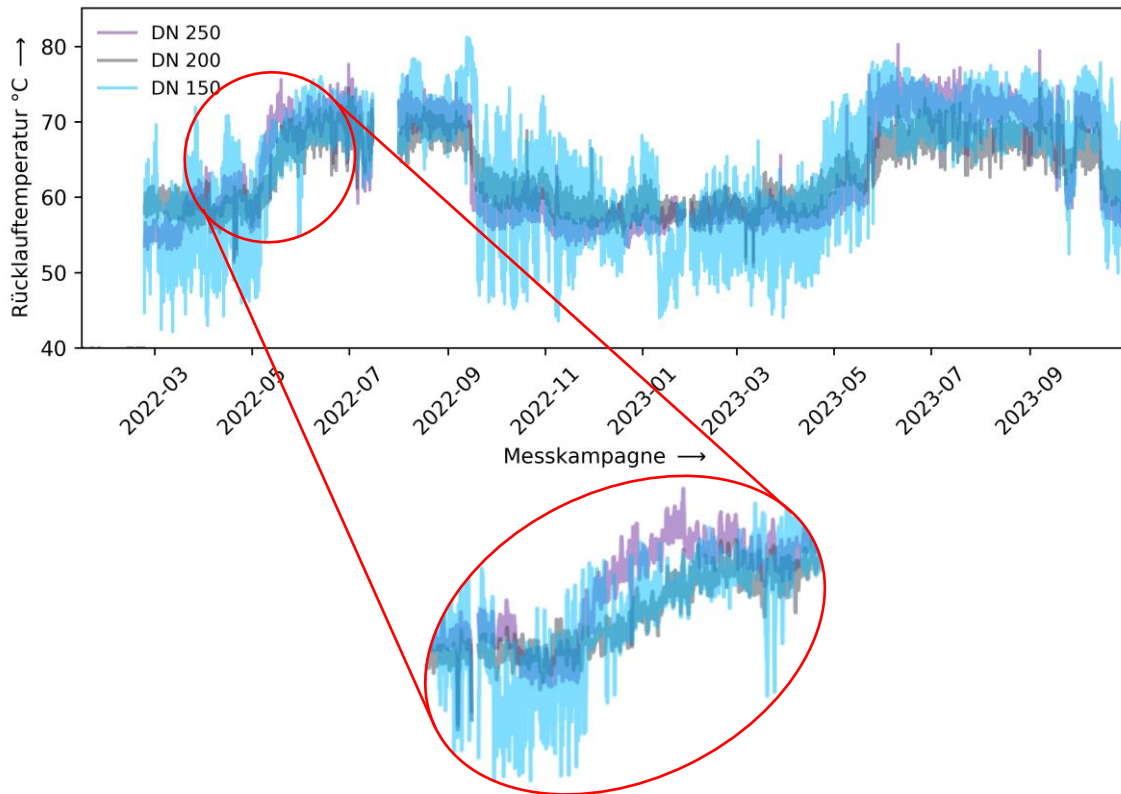


Abbildung 3-31: Einfluss der Rücklauftemperatur auf die Belastung erdverlegter Wärmeleitung

Eine detaillierte Analyse der Rücklauftemperaturen von drei Zweigen, die mit dem exemplarischen Knotenpunkt verbunden sind, wird als Teil einer Asset-Management-Studie in Abbildung 3-31 präsentiert. Das Diagramm stellt die Rücklauftemperatur des Wassers über die Zeit dar und erfasst die Temperaturdynamik für die Rohre DN 250, DN 200 und DN 150 während verschiedener Perioden einer Messkampagne von März 2021 bis September 2023.

Für DN 250 ist das Temperaturprofil vergleichsweise gleichmäßig, während DN 200 und DN 150 zunehmend und signifikant schwankende Fluktuationen aufweisen. Diese Schwankungen werden den unterschiedlichen Heizbedarfsprofilen und Betriebsstrategien der an jeden Zweig angeschlossenen Gebäude zugeschrieben.

Die folgende Gleichung wird verwendet, um die thermische Belastung der Rohre  $N_o$  zu bewerten:

$$N_o = \frac{k^b}{(c\Delta T)^b} \sum \frac{n_i}{N_i} = n_1 \left( \frac{\Delta T_1}{\Delta T_{\text{ref}}} \right)^b + n_2 \left( \frac{\Delta T_2}{\Delta T_{\text{ref}}} \right)^b + \dots + n_i \left( \frac{\Delta T_i}{\Delta T_{\text{ref}}} \right)^b$$

Wobei:

$\Delta T_{\text{ref}}$  ist die Referenztemperaturdifferenz, die auf 120 °C festgelegt wurde und einen Designparameter darstellt. Dieser Wert repräsentiert eine Standardtemperaturdifferenz, für die das Heizsystem ausgelegt und optimiert ist.

$b$  ist der Materialkoeffizient, der die Empfindlichkeit des Materials gegenüber Temperaturschwankungen bezüglich der Ermüdungslebensdauer beschreibt. Er gibt an, wie sich die Ermüdungslebensdauer des Materials mit einer Zunahme der Betriebstemperaturspanne verringert.

Die Belastungsanalyse folgt der Rainflow-Zählungsmethode, bei der der "verbrauchte" Nutzungsanteil der erwarteten Lebensdauer des Systems bewertet wird. Mit einer Lebensdauer von 50 Jahren, Referenztemperaturdifferenz von 120 °C, und Materialkoeffizient von 4 spiegeln die Ergebnisse den Prozentsatz der genutzten Lebensspanne wider: 19,7 % für DN 250, 0,3 % für DN 200 und 45,8 % für DN 150, wobei die letzteren Messreihen mit Volumenströmen unter 5 % ausgeschlossen sind.

Annotierte Trends im Diagramm zeigen Variationen in den Heizkurven, die auf unterschiedliche Heizungsanforderungen der Gebäude hinweisen könnten. Ein steilerer Verlauf könnte darauf hindeuten, dass Gebäude in kürzerer Zeit mehr Heizung benötigen, während eine flachere Kurve auf einen längeren Bedarf an höheren Vorlauftemperaturen hinweisen könnte.

Diese Analyse ist von entscheidender Bedeutung für das Asset-Management und liefert Einblicke in den Wartungsbedarf und die Lebenszyklusplanung des Systems. Sie unterstreicht die unterschiedlichen thermischen Belastungen, denen jeder Rohrabschnitt ausgesetzt ist, was für die Schätzung der verbleibenden Lebensdauer der Komponenten des Heiznetzwerks unerlässlich ist.

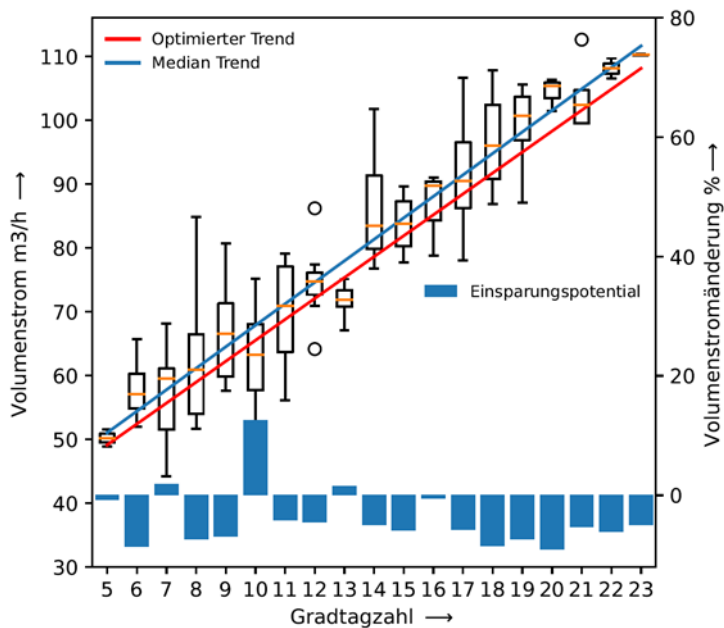


Abbildung 3-32: Messwertgetriebene Identifikation von Optimierungspotentialen für den wärmenetzzeitigen Volumenstrom

Die Analyse und Vergleich der Betriebsparameter eines Wärmenetzes erfordert eine differenzierte Betrachtung, da die Betriebszustände von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden. Hierbei spielen vor allem die Tageszeit und der Witterungsverlauf, der maßgeblich die Heizlast und somit den Betriebszustand des Wärmenetzes beeinflussen, eine wesentliche Rolle. Um einen aussagekräftigen Vergleich zu ermöglichen, muss eine einheitliche Vergleichsgröße ermittelt werden, die anschließend als Grundlage für die Untersuchung dienen. Um die exogenen Stell- und Störgrößen zu quantifizieren, wird auf die Außentemperatur als maßgeblicher Treiber der RW-Nachfrage zurückgegriffen. Die Außentemperatur kann als Funktion durch die Gradtagzahl (GTZ) dargestellt werden. Die GTZ ist eine meteorologische Kennzahl, die in der Energiewirtschaft verwendet wird, um den Heizbedarf von Gebäuden oder den Energieverbrauch von Heizsystemen abzuschätzen. Sie basiert auf der Außentemperatur und dient dazu, die durchschnittliche tägliche Temperaturabweichung von einem bestimmten Referenzwert, der als Basisinnentemperatur festgelegt ist, zu quantifizieren. Nach der VDI 3807 (VDI-Richtlinie 3807) wird diese aus dem Temperaturunterschied zwischen der mittleren Raumtemperatur von 20 °C und dem jeweiligen Mittelwert der Außentemperatur errechnet. Positive Werte geben dabei an, dass die Außentemperatur unter der Basisinnentemperatur liegt, was auf einen höheren Heizbedarf hindeutet. Negative Werte hingegen deuten darauf hin, dass die Außentemperatur über der Basisinnentemperatur liegt und somit weniger Heizbedarf besteht. Gradtagzahlen sind eine geeignete Kennzahl, um die Witterungsverhältnisse eines Tages zu quantifizieren und damit gleiche Tage zu identifizieren, für die ein Vergleich der Betriebsparameter durchgeführt werden kann.

Zunächst erfolgt die Berechnung der täglichen GTZ für jeden Tag im Zeitraum von Oktober bis April, wobei der Fokus auf der ausschließlichen Betrachtung der Heizperiode liegt. Diese zeitliche Einschränkung ermöglicht eine gezielte Untersuchung der Betriebsparameter, die für den Wärmenetzbetrieb ausschlaggebend sind, da die Raumwärmenachfrage maßgeblich die jährliche Gesamtwärmenachfrage des Wärmenetzes bestimmt. Innerhalb der Heizperiode liegen Gradtage zwischen 5 und 23 Kd vor. Die Einteilung der GTZ erfolgt in einer Intervallbreite von 1 Kd. Im Anschluss daran können für die einzelnen GTZ die darzustellenden Betriebszustände klassiert werden. Die Analyse der klassierten Daten erfolgt in Form von Boxplots. Mit Boxplots kann die Verteilung, Zentralneigung und Streuung von Daten visuell dargestellt werden. Sie bieten eine schnelle und prägnante Übersicht über die Charakteristiken eines Datensatzes, helfen Ausreißer zu identifizieren und unterstützen den Vergleich mehrerer Datensätze. Die Box repräsentiert den Bereich zwischen dem ersten Quartil (Q1) und dem dritten Quartil (Q3), wobei die Linie innerhalb der Box den Median markiert. Für alle klassierten GTZ werden die Medianwerte der Boxen herangezogen und auf deren Basis ein Mediantrend abgeleitet. Dieser gibt Aufschluss darüber, wie sensitiv die betrachtete Betriebsgröße auf Änderungen der Außentemperatur reagiert. Unter der Annahme, dass Betriebszustände innerhalb der ersten und dritten Quartile reguläre Betriebszustände darstellen, kann eine quasi Optimierung der Betriebsstrategie durch Translation des Mediantrends entlang der Ordinate erfolgen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Quartile nicht überschritten werden, da dies ggf. zu Insuffizienzen im Betrieb führen könnte.

Die Ergebnisse der GTZ-Klassierung für den Volumenstrom in  $\text{m}^3/\text{h}$  werden in Abbildung 3-32 gezeigt. Durch die GTZ-abhängige Auftragung ist ein linearer Trend des Volumenstroms zu erkennen. Je geringer die tagesmittlere Außentemperatur, desto höher ist der für die Versorgung der Anschlussnehmer erforderliche Volumenstrom. Bei einer Vervierfachung der GTZ erfährt der Volumenstrom eine Verdopplung von 50 auf  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ . Die geringste Streubreite bzw. Fluktuation der gemessenen Volumenströme ist für die Klassen 5, 12, 13 sowie 20, 22 und 23 zu verzeichnen. Vor allem für die Randbereiche kann dies auf einen geringen Datenumfang schließen. Für die Volumenströme der GTZ 8 bis 11 zeigt sich eine leicht linksschiefe Verteilung, für GTZ von 14 bis 19 eine tendenziell eher rechtsschiefe Verteilung.

Der optimierte Mediantrend zeigt auf, welche Volumenströme für eine Versorgung der Anschlussnehmer wahrscheinlich ausreichend sein könnten, da sich dieser größtenteils am unteren Band des 1. Quartils orientiert. Infolge der Verschiebung kann das Wärmenetz mit tendenziell geringeren Volumenströmen betrieben werden. Zwischen dem optimierten Mediantrend und dem ursprünglichen Trend werden die Differenzen ermittelt, die auf der sekundären Ordinate aufgetragen sind. Ersichtlich ist, dass über die meisten GTZ-Klassen eine Reduktion der Volumenströme um etwa 3 bis 9 % erzielt werden können. Für die Klassen 6, 10 sowie 13

hingegen stellt sich eine Erhöhung der erforderlichen Volumenströme ein. Insbesondere die Volumenströme bei einer GTZ von 10 Kd stechen mit einer deutlichen Erhöhung von 16 % heraus. Dies liegt daran, dass die Volumenströme innerhalb dieser Klasse annähernd gleichverteilt vorliegen und der Median bereits deutlich unterhalb des ursprünglichen Mediantrends lag und durch den optimierten Trend angehoben wurde. Über alle Klassen hinweg zeigt sich ein Einsparpotential von etwa 3,8 %. Die Optimierung der Volumenströme in einem Wärmenetz birgt für den Betreiber zahlreiche Vorteile, die sich positiv auf die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Systems auswirken. Durch eine präzise Abstimmung der Volumenströme kann eine gleichmäßige Verteilung der Wärmeenergie in allen Netzabschnitten gewährleistet werden. Dies führt zu einer verbesserten Temperaturkontrolle und verhindert Überhitzungen oder Unterversorgungen in einzelnen Bereichen des Wärmenetzes. Darüber hinaus ermöglicht die Optimierung der Volumenströme eine Reduzierung von Verlusten durch Wärmeübertragung, da die Wärme gezielt und effizient zu den Verbrauchsstellen transportiert wird. Dies trägt nicht nur zu einer höheren Energieeffizienz bei, sondern senkt auch die Betriebskosten des Wärmenetzes. Ein weiterer entscheidender Vorteil liegt in der Verlängerung der technischen Nutzungsdauer der Anlagenkomponenten. Durch die Minimierung von thermischen Belastungen durch optimale Betriebsbedingungen können die Kosten für Wartung und Instandhaltung reduziert werden. Insgesamt trägt die Optimierung der Volumenströme somit nicht nur zu einer nachhaltigeren und umweltfreundlicheren Energieversorgung bei, sondern stärkt auch die Wettbewerbsfähigkeit des Wärmenetzbetreibers auf dem Markt für konkurrierende Wärmebereitstellungstechnologien.

### **3.4.2 Analysen von verbraucherseitigen Messdaten**

Die folgenden Analysen dienen als beispielhafte Untersuchung von vier ausgewählten HASTen aus dem Bilanzraum 1. Diese Beispiele wurden ausgewählt, um Einblicke in die Leistungskennzahlen und Effizienzüberlegungen der ähnlichen Infrastruktur zu geben. Jede Bewertung befasst sich mit unterschiedlichen Aspekten des Systembetriebs und möglichen Effizienzverbesserungen.

Die Analyse der Temperaturdifferenzverteilung ist ein wesentliches Instrument zur Bewertung der Konsistenz der Rücklauftemperaturen, was auf die Kontrolle und Effizienz hindeutet, mit der verschiedene Stationen arbeiten. Eine engere Temperaturverteilung deutet auf ein effizienteres und stabileres System hin, während eine breitere Verteilung auf potenzielle Ineffizienzen und Variabilitäten hinweisen kann.

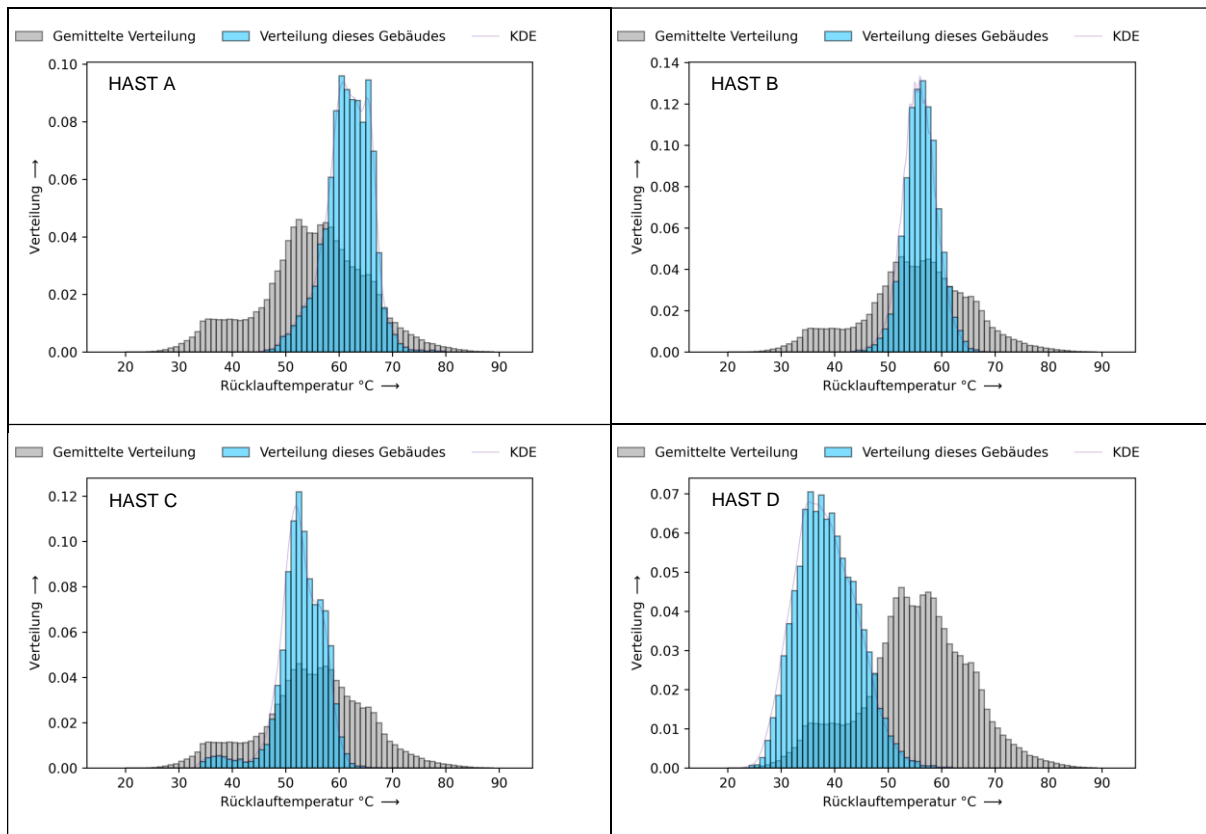
In der Analyse von Leistung gegenüber Durchfluss liegt der Fokus auf der betrieblichen Effizienz dieser Stationen. Die Untersuchung der Korrelation zwischen der erzeugten thermischen Leistung und der Durchflussmenge des Wassers gewinnt Einblicke in die Wirksamkeit des Wärmeübertragungsprozesses und die Gesamtleistung des Heizsystems.



Die Analyse der Vorhersagegenauigkeit bewertet die Zuverlässigkeit der Modelle, die zur Prognose der Leistung der Stationen entworfen wurden. Genau Vorhersagen sind entscheidend für die effektive Wartungsplanung, die Optimierung des Betriebs und das strategische Management der Fernwärmeinfrastruktur.

Zuletzt untersuchen wir das Potenzial für Kosteneinsparungen, indem wir die finanziellen Vorteile identifizieren, die durch die Optimierung des Systems erreicht werden können. Dies beinhaltet eine umfassende Betrachtung der idealen Betriebstemperaturen, der aktuellen Energiepreise und der Systemeffizienz, um die möglichen wirtschaftlichen Gewinne aus verbesserten Temperaturdifferenzen im Netzwerk abzuschätzen.

Insgesamt dienen diese Analysen dazu, die Betriebsdynamik eines Fernwärmenetzes zu untersuchen und zu verstehen und potenzielle Bereiche für Leistungsverbesserungen aufzuzeigen.



*Abbildung 3-33: Vergleich der Rücklauftemperaturverteilungen in den HASTen A, B, C und D: Histogramme und KDE-Analysen zur Darstellung der gemittelten und spezifischen Verteilungen pro Gebäude*

Vier Histogramme, die den Rücklauftemperaturen von HASTen A bis D innerhalb eines Fernwärmenetzes entsprechen, werden in Abbildung 3-33 gezeigt. Jedes Histogramm wird mit einer gemittelten Verteilung verglichen, die das kollektive Rücklaufemperaturprofil über alle HASTen darstellt, wobei eine Kernel-Dichteschätzung (KDE) eine geglättete Kontur der Häufigkeitsverteilung bietet.

HAST A weist eine breitere Verteilung der Rücklaufemperaturen auf, mit einer Streuung, die breiter als die gemittelte Verteilung ist, was auf ein variables Rücklaufemperaturprofil hindeutet. Solche Variabilität könnte auf eine HAST hinweisen, die weniger kontrolliert ist oder Herausforderungen in Bezug auf die Effizienz ihres Wärmelieferungssystems hat. Die KDE, die um den mittleren Temperaturbereich spitzt, deutet darauf hin, dass die häufigsten Rücklaufemperaturen nicht weit vom Durchschnitt abweichen, doch die breite Verteilung impliziert erhebliche Schwankungen.

Im Gegensatz dazu zeigt HAST B eine engere Verteilung mit einem deutlich höheren Gipfel, der eng an die gemittelte Verteilung angelehnt ist. Dies deutet auf eine sehr konsistente Rücklaufemperatur hin, die ein gut reguliertes System kennzeichnet. Die KDE stützt dies und zeigt eine minimale Abweichung vom Durchschnitt, wobei die meisten Rücklaufemperaturen sich nahe der zentralen Tendenz des Netzwerks gruppieren.

HAST C präsentiert eine Verteilung, die etwas breiter als die von HAST B ist, aber immer noch einen zentralen Gipfel aufweist, der weitgehend die gemittelte Verteilung widerspiegelt. Obwohl diese Station eine gute Kontrolle zeigt, könnte die leichte Verzerrung hin zu höheren Temperaturen auf kleinere Ineffizienzen oder einen etwas höheren Betriebsbereich im Vergleich zum Durchschnitt hinweisen.

Das Histogramm für HAST D fällt mit der schmalsten Verteilung und steilsten Spitze auf und deutet auf eine außergewöhnliche Kontrolle über die Rücklaufemperaturen und eine Übereinstimmung mit dem gemittelten Profil hin. Die Leistung dieser HAST deutet auf einen hoch effizienten Betrieb hin, mit Rücklaufemperaturen, die konsequent nahe am Netzwerkdurchschnitt liegen.

Zusammengenommen bieten die Histogramme und KDE-Diagramme eine umfassende Ansicht darüber, wie die Leistung jeder HAST im Vergleich zum Netzwerkdurchschnitt steht. HAST B und D, mit ihren scharfen Spitzen und engen Verteilungen, passen eng zur gemittelten Verteilung und deuten auf einen effizienten Betrieb hin, was darauf hindeutet, dass diese Stationen hervorragend darin sind, die gewünschte Rücklaufemperatur zu halten, was zur Gesamteffizienz des Netzwerks beiträgt. HAST A, mit seiner breiteren Streuung, und HAST C, mit seiner leichten Schiefe, bieten einen Kontrast zum Netzwerkdurchschnitt und signalisieren Möglichkeiten für gezielte Verbesserungen in der betrieblichen Steuerung und Effizienz.

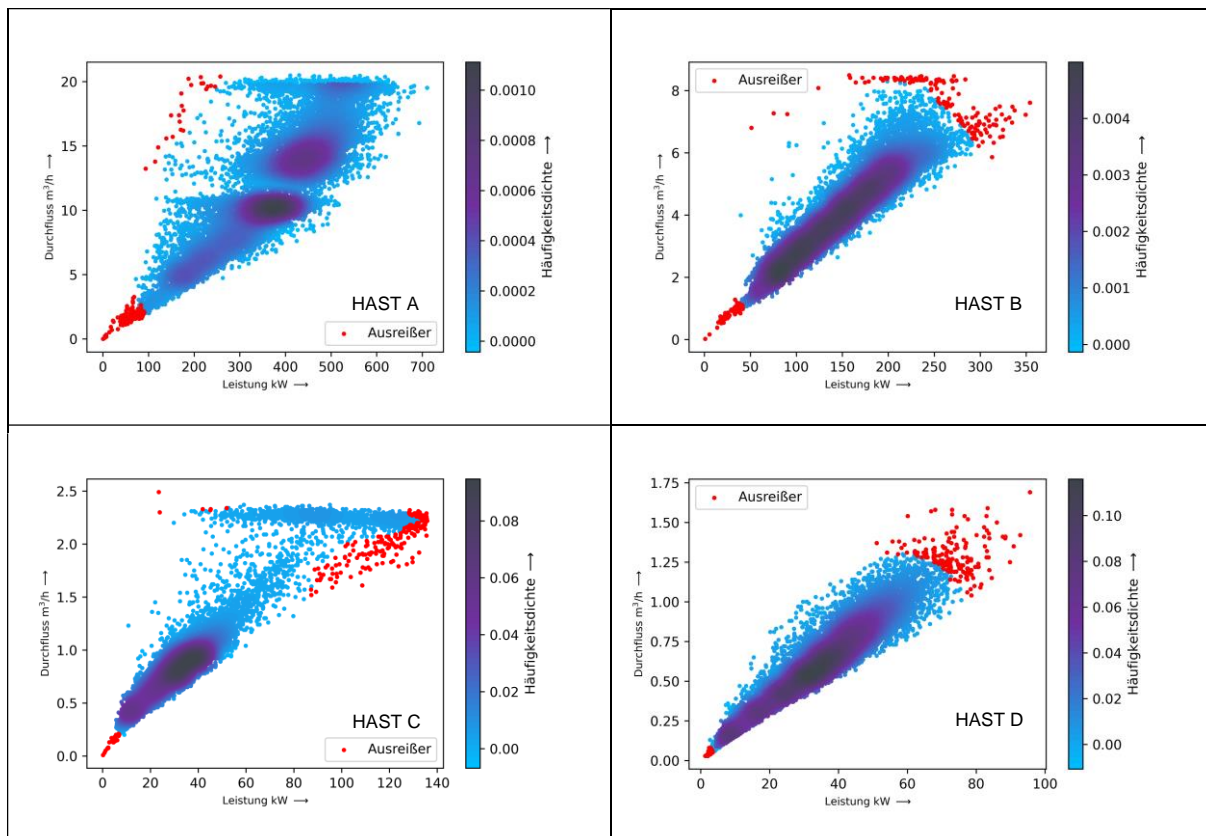


Abbildung 3-34: Korrelationsanalyse der Ausgangsleistung und Durchflussmenge in den HASTen A, B, C und D: Dichteverteilungs-Diagramme mit Hervorhebung von Ausreißern

Vier Diagramme der HASTen A bis D, die das Verhältnis zwischen Durchfluss in  $\text{m}^3/\text{h}$  und Leistung in kW illustrieren, werden in Abbildung 3-34 gezeigt. Eine geringere Streuung der Datenpunkte deutet typischerweise auf einen effizienteren und zuverlässigeren Betrieb hin und zeigt eine direkte und effektive Umwandlung von Leistung in Durchflussrate mit weniger Variabilität und betrieblichen Abweichungen.

Ausreißer in diesen Datensätzen werden mit der Isolation-Forest-Methode identifiziert, einem Algorithmus, der besonders effektiv für die Anomalieerkennung in komplexen Datensätzen ist. Diese Technik isoliert Anomalien, indem sie zufällig Merkmale auswählt und dann zufällige Trennwerte zwischen den maximalen und minimalen Werten dieser Merkmale auswählt. Sie geht davon aus, dass Anomalien 'wenige und anders' sind und daher leichter von den restlichen Daten isoliert werden können, die dichter und gruppiert erwartet werden. Diese Ausreißer sind auf den Diagrammen deutlich markiert und unterscheiden sich von den regulären Betriebsdaten, was es ermöglicht, sich auf Punkte zu konzentrieren, die erheblich vom

Hauptmuster abweichen. Diese Abweichungen könnten auf Messfehler, ungewöhnliche Betriebszustände oder potenzielle Verbesserungsbereiche hinweisen.

In der Einzelanalyse zeigt das Diagramm von HAST A eine breite Streuung der Datenpunkte mit einer beträchtlichen Anzahl von Ausreißern. Dies deutet auf eine variable Leistung hin, bei der die Station möglicherweise Schwierigkeiten hat, eine konsistente Energieverteilung aufrechtzuerhalten, möglicherweise aufgrund von Betriebseffizienzmängeln oder einer breiten Palette von Nachfrageszenarien.

HAST B zeigt eine viel engere Gruppierung von Punkten, was auf eine starke, konsistente Beziehung zwischen Leistung und Durchflussrate mit weniger Ausreißern hinweist. Dieses Muster deutet darauf hin, dass HAST B mit größerer Effizienz arbeitet, was möglicherweise eine stabilere Nachfrage oder ein verfeinertes Steuerungssystem widerspiegelt.

Bei HAST C bilden die Datenpunkte eine dichte Gruppe im unteren Bereich von Leistung und Durchflussrate und erweitern sich leicht bei höheren Werten. Dies weist auf einen zuverlässigen Betrieb unter Standardbedingungen hin, deutet aber auch darauf hin, dass das System möglicherweise Effizienzverluste erlebt, wenn es über seinen typischen Betriebsbereich hinausgedrängt wird.

HAST D folgt einem ähnlichen Trend wie HAST C, jedoch mit einem noch engeren Betriebsbereich. Dies könnte auf einen kleineren Betriebsmaßstab hinweisen oder möglicherweise auf konservativere Einstellungen, die dazu dienen könnten, das System gegen Verschleiß zu schützen oder spezifischen Energieverbrauchsrichtlinien zu entsprechen.

Betrachtet man diese Diagramme zusammen, kann man ein ganzheitliches Verständnis der Leistung des Fernwärmenetzes ableiten. Stationen wie HAST B, mit engeren Datenverteilungen und weniger Ausreißern, verkörpern das, was als optimale Leistung betrachtet werden könnte. Im Gegensatz dazu heben die breiteren Streuungen bei HAST A und in geringerem Maße bei HAST C und D Bereiche hervor, in denen betriebliche Verbesserungen vorgenommen werden könnten. Dies könnte die Anpassung von Steuerungsparametern, die Aufrüstung von Systemkomponenten oder die Überarbeitung der Energiemanagementstrategien zur Nachfrage umfassen, um einen effizienteren und konsistenteren Betrieb zu erreichen, der der Leistung von HAST B ähnelt. Die Identifikation und Analyse von Ausreißern sind entscheidend, um spezifische Fälle zu finden, in denen das System von der erwarteten Leistung abweicht, und bieten einen Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen und Optimierungsanstrengungen.

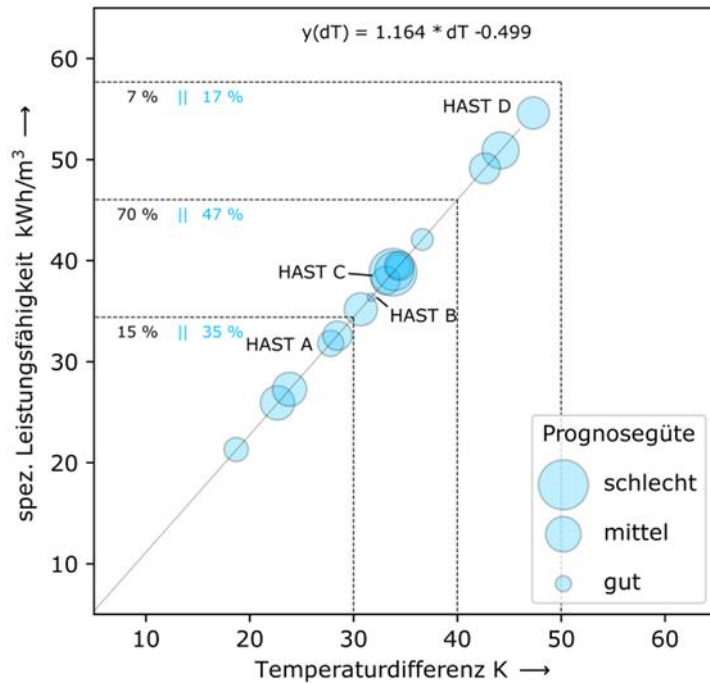


Abbildung 3-35: Effizienzanalyse der HASTen A, B, C, und D: Darstellung der spezifischen Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz mit Prognosegütebewertung

Ein Streudiagramm, das die spezifische Leistungsfähigkeit in kW/m<sup>3</sup> in Beziehung zur Temperaturdifferenz in °C über verschiedene HASTen (HASTen A bis D inkl.), wird in Abbildung 3-35 gezeigt. Jeder Punkt repräsentiert die Leistung einer HAST, wobei die Größe des Punktes zur Qualität der Prognosegenauigkeit für deren Rücklauftemperaturen steht – größere Punkte deuten auf eine 'schlechte' Vorhersagegenauigkeit hin, während kleinere Punkte eine 'gute' Vorhersagegenauigkeit anzeigen. Für jede HAST wird ein Prognosemodell trainiert, mit denen die Betriebsvariablen Vor- und Rücklauftemperaturen und Volumenströme anhand der Außentemperatur, Tages- und Jahreszeit prognostiziert werden. Anschließend werden die prognostizierten Betriebsdaten mit den real gemessenen Betriebsdaten eines für das Training nicht zur Verfügung stehenden Datensatzes verglichen. Die Prognosegüte wird durch das mittlere Abweichungsquadrat bestimmt. Je größer die in Abbildung 3-35 dargestellten Blase, desto schlechter kann das Verhalten einer HAST auf Basis der eigenen historischen Daten prognostiziert werden. Dies kann dahingehend gedeutet werden, dass sich die Betriebsführung teilweise oder vollumfänglich geändert hat; was wiederum auf etwaige Fehler der HASTen schließen lassen kann.

Die lineare Gleichung  $y(dT) = 1,164 \cdot dT - 0,499$  stellt ein Modell für die Beziehung zwischen der Temperaturdifferenz an der HAST und der spezifischen Leistungsfähigkeit dar. Ein

größerer Temperaturgradient weist in der Regel darauf hin, dass die HAST thermische Energie effektiv extrahiert, bevor das Wasser zum Heizwerk zurückfließt.

In dieser Analyse fällt HAST A in den Bereich der Temperaturdifferenz von 20-30 °C, wo 15 % der HASTen basierend auf Gadd and Werner (2015) kategorisiert werden, was auf eine geringere Effizienz hindeutet. HAST B und C befinden sich im Bereich von 30-40 °C, was mit der Mehrheit, 70 %, der HASTen in der Referenz übereinstimmt und auf eine durchschnittliche Betriebseffizienz hinweist. HAST D zeichnet sich aus, positioniert im Bereich der Temperaturdifferenz von 40-50 °C, den nur 7 % der HASTen erreichen, was auf eine überlegene Effizienz hindeutet.

Die Größe der Blasen spiegelt die Prognosegenauigkeit der Rücklauftemperaturen jeder HAST wider. Größere Blasen bedeuten eine 'schlechte' Vorhersagequalität, was auf signifikante Variabilität oder betriebliche Faktoren hindeutet, die eine genaue Temperaturvorhersage erschweren. Umgekehrt symbolisieren kleinere Blasen eine 'gute' Vorhersagequalität und heben HASTen mit stabileren und vorhersehbareren Betriebsbedingungen hervor.

HASTen, die durch größere Blasen dargestellt werden und somit eine 'schlechte' Prognosegenauigkeit aufweisen, könnten von einer detaillierten Untersuchung profitieren, um die zugrunde liegenden Ursachen der Vorhersagefehler zu verstehen, was zu verbesserten Betriebsstrategien und genaueren Prognosen in der Zukunft führen könnte.

Dieses Streudiagramm betont die Wichtigkeit, eine optimale Temperaturdifferenz für die Energieeffizienz in Fernwärmesystemen aufrechtzuerhalten und unterstreicht die Herausforderungen bei der genauen Vorhersage von Rücklauftemperaturen. Die Fähigkeit, diese Temperaturen zuverlässig vorherzusagen, ist entscheidend für ein effizientes Energiemanagement und die Optimierung des Systems.

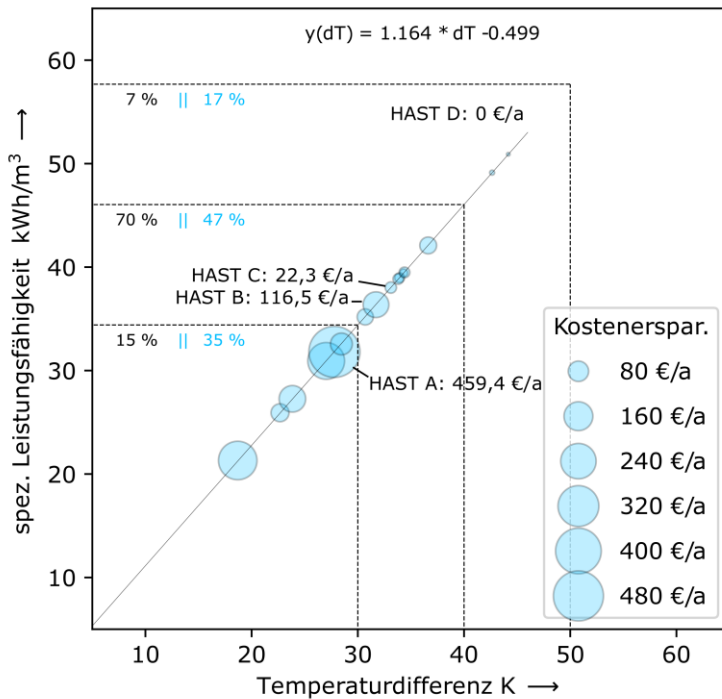


Abbildung 3-36: Optimierungspotenzial der HASTen A, B, C, und D: Zusammenhang zwischen Temperaturdifferenz und spezifischer Leistungsfähigkeit mit jährlicher Kosteneinsparung

Die spezifische Leistungsfähigkeit in kW/m³ im Verhältnis zur Temperaturdifferenz °C für eine Reihe von HASTen (HASTen A bis D) wird in Abbildung 3-36 veranschaulicht. Die Größe jeder Blase repräsentiert die potenziellen jährlichen Kosteneinsparungen in €/a, die durch Optimierung bei jeder HAST realisiert werden könnten, wobei größere Blasen auf größere Einsparungen hinweisen.

Die potenziellen Kosteneinsparungen werden auf der Grundlage des Unterschieds zwischen der tatsächlichen und einer idealen Temperaturdifferenz (45 °C nach Gadd and Werner (2015)) berechnet, wobei Faktoren wie die Kosten für die Wärmeerzeugung, die Pumpeneffizienz und die Energiepreise berücksichtigt werden. Diese Berechnungen beziehen die Menge an Energie ein, die eingespart werden könnte, wenn jede HAST bei optimalen Temperaturdifferenzen betrieben würde, und die entsprechenden Einsparungen, die in Form von reduziertem Energieverbrauch realisiert werden könnten.

HAST A zeigt mit potenziellen Einsparungen von 459,4 €/a eine Positionierung am unteren Ende der Achse der Temperaturdifferenz, was darauf hindeutet, dass es signifikante Verbesserungsmöglichkeiten und Kosteneinsparpotenziale gibt. Im Gegensatz dazu zeigt HAST B mit potenziellen Einsparungen von 116,5 €/a, dass es effizienter arbeitet als HAST A, aber dennoch Raum für Verbesserungen bietet. HAST C wird noch näher am idealen Betriebspunkt

dargestellt, mit potenziellen Einsparungen von 22,3 €/a, was auf eine höhere Effizienz und abnehmende Renditen bei weiteren Optimierungsanstrengungen hinweist.

HAST D wird mit keinen potenziellen Einsparungen von 0 €/a dargestellt und befindet sich am oberen Ende der Temperaturdifferenzskala. Dies impliziert, dass HAST D bereits auf einem optimalen Effizienzniveau arbeitet, und es kaum oder keinen Raum für weitere Einsparungen durch eine Erhöhung der Temperaturdifferenz gibt. Diese vorbildliche Leistung setzt den Maßstab für andere Stationen und unterstreicht die Vorteile einer engen Steuerung der Betriebsparameter, um maximale Effizienz und Kostenwirksamkeit in Fernwärmebetrieben zu erreichen.

Zusammenfassend lässt das Diagramm erkennen, dass mit zunehmender Temperaturdifferenz die spezifische Leistungsfähigkeit steigt und das Potenzial für Kosteneinsparungen wächst. Jedoch, sobald die Temperaturdifferenz ein Optimum erreicht, wie bei HAST D gezeigt, ist das System so effizient wie möglich innerhalb seiner aktuellen Konfiguration, und keine weiteren Kosteneinsparungen sind allein durch eine erhöhte Temperaturdifferenz erreichbar.

### **3.5 Potentiale der Digitalisierung**

Im Folgenden wird die Untersuchung und Bewertung der Potentiale der Digitalisierung im Kontext von Wärmenetzen vorgenommen. Dabei werden die Erkenntnisse aus den mess- und simulationsgestützten Analysen präsentiert, die auf der Anwendung digitaler Technologien und innovativer Ansätze basieren. Eingangs erfolgt eine Diskussion über die durch DSM erzielbaren Flexibilität, wobei diese unterteilt sind in generische und bilanzraumabhängige DSM-Potentiale. Im Anschluss daran erfolgt eine techno-ökonomische Bewertung der Effekte, die sich durch die Digitalisierung von HASTen auf den Wärmenetzbetrieb darstellen. Betrachtung finden hierbei die Optimierung und Fehlerbeseitigung von und an HASTen, die Durchführung hydraulischer Abgleiche sowie DSM-Maßnahmen.

#### **3.5.1 Lastverschiebungspotentiale**

Durch die Anwendung von Demand Side Management (DSM) können sowohl Spitzenlasten im Wärmenetz reduziert als auch Schwachlastphasen durch eine vorzeitige Wärmenachfrage



minimiert werden. Dies führt zu einem gleichmäßigeren Betrieb<sup>9</sup>. Nachdem im Abschnitt 3.3.2.3 die Grundlagen für die Flexibilisierung des Energieverbrauchs in Gebäuden erläutert wurden, erfolgt nun die Analyse generischer und absoluter Lastverschiebepotentiale für die Bilanzräume.

### **Absolute Lastverschiebepotentiale für Raumwärme und Trinkwarmwasser**

Das Simulationsergebnis einer möglichen Anwendung des DSM durch die verschiebbaren RW-Nachfrage für die unterschiedlichen Jahreszeiten wird in Abbildung 3-37 dargestellt. Bei näherer Betrachtung der Tagesverläufe zeigt sich, dass das DSM im Frühling (a) und im Sommer (b) hauptsächlich die morgendlichen Spitzenlasten reduziert, wobei die verschobenen RW-Nachfragen größtenteils zwischen 00:00 und 04:00 Uhr bzw. zwischen 12:00 und 23:00 Uhr nachgeholt werden. Durch die Konzentration der RW-Nachfragereduktion auf einen relativ kurzen Zeitraum (zwischen 04:00 und 12:00 Uhr) können erhebliche Leistungen verschoben werden, die sich dann über einen längeren Zeitraum erstrecken. Ein großes temporäres Potential zur Reduzierung von Spitzenlasten wird dabei gegen eine langfristige Erhöhung der RW-Nachfrage bei geringeren Leistungen eingetauscht. Insgesamt wird im Frühling (a) und Sommer (b) lediglich ein DSM-Zyklus angewendet, der aus einer Kombination von vorgezogenen und nachgeholten Lasten besteht. Typisch für den methodischen Ansatz zur Lastvergleichmäßigung ist, dass durch die Mittelwertbildung „stehende Wellen“ geformt werden, die jeweils einen Zyklus abgrenzen. Innerhalb derer stets zusätzlich Wärme aus dem Wärmenetz bezogen, oder aber Wärme aus der thermischen Gebäudemasse Verwendung findet. Diese beiden Zyklen finden im kontinuierlichen Wechsel zueinander statt. Ein stufenweises Aufladen der Gebäude kann durch die gewählte Methodik nicht realisiert werden. Für den Herbst (c) und Winter (d) hingegen zeigt sich, dass ein weiterer DSM-Zyklus am Abend hinzukommt. Ähnlich wie im Frühling und Sommer treten die stärksten Eingriffe durch DSM in den späten Abendstunden um 03:00 Uhr und am Morgen um 08:00 Uhr auf. Insbesondere im Winter (d) ist festzustellen, dass das realisierbare DSM-Potenzial tendenziell mit niedrigen Außentemperaturen

---

<sup>9</sup> Dies gilt unter der Prämisse, dass das Ziel des DSM eine Lastvergleichmäßigung zur Maximierung des Einsatzes von grundlastfähigen Anlagen der Wärmebereitstellung ist. Neben dieser Regelstrategie existieren noch eine Vielzahl weiterer Strategien mit unterschiedlichen Zielstellungen.

zunimmt. Trotz der höheren Transmissionswärmeverluste bei niedrigen Außentemperaturen ist im Winter das größere absolute Flexibilitätspotenzial vorhanden.

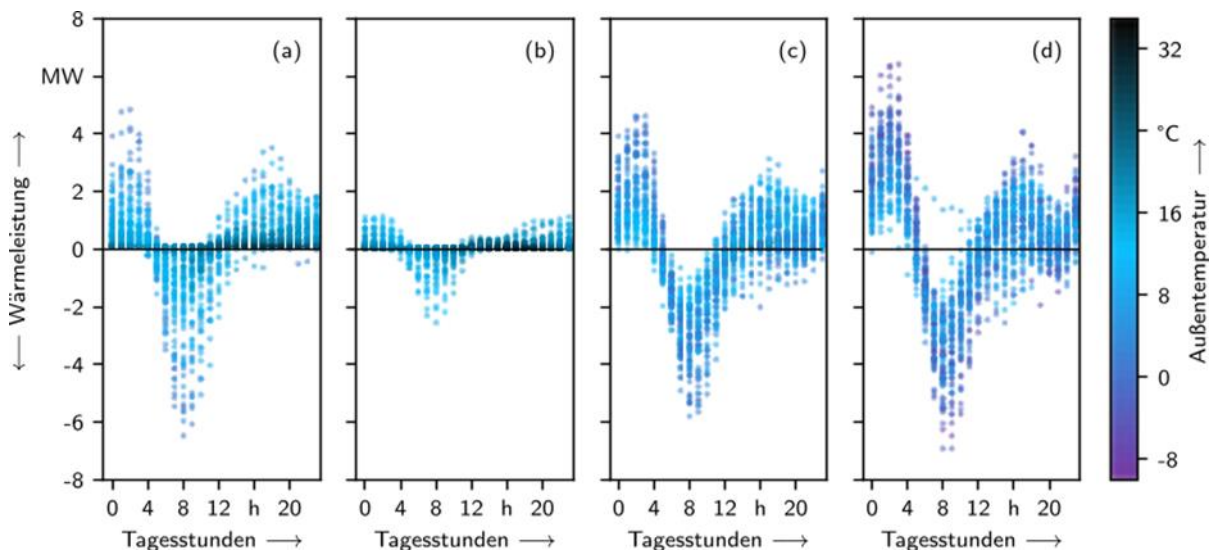


Abbildung 3-37: Außentemperaturabhängige Tagesverläufe der verschiebbaren RW-Nachfrage (positive Lasten deuten einen ggü. dem Status quo zusätzlichen Wärmebezug aus dem Wärmenetz an), gegliedert für die Jahreszeiten Frühling (a), Sommer (b), Herbst (c) und Winter (d). Dargestellt für den Bilanzraum 1.

In Abbildung 3-38 werden die Wärmeleistungen zur Bereitstellung von TWW über die Außentemperaturen sowohl für den Status quo (a) als auch für die Anwendung von DSM (b) dargestellt. Typischerweise fallen die geringsten Wärmeleistungen über die späten Abendstunden zwischen 22:00 und 05:00 Uhr an, wobei sich ein kompaktes Band mit Wärmeleistungen zwischen 0 und 0,35 MW ergibt. Die Spitzenlasten treten hauptsächlich in den morgendlichen Stunden auf, wenn vermehrt Warmwasser zum persönlichen Gebrauch benötigt wird, und können Werte von annähernd 2,0 MW erreichen. Um die Mittagszeit herum liegt die Wärmeleistung relativ konstant bei etwa 0,8 MW. Da die Leistung zur Bereitstellung von TWW bei Außentemperaturen unter 15 bzw. 20 °C mit den Leistungen zur Deckung der RW-Nachfrage konkurrieren, können bei Außentemperaturen unter diesem Bereich verstärkt Lastreduktionen festgestellt werden. In der Übergangszone zwischen 10 und 20 °C werden vor allem geringe Bezugsleistungen, die während der späten Abendstunden auftreten, vermieden. Diese stehen dann dem nächtlichen „Überhitzen“ der thermischen Gebäudemassen zur Verfügung.

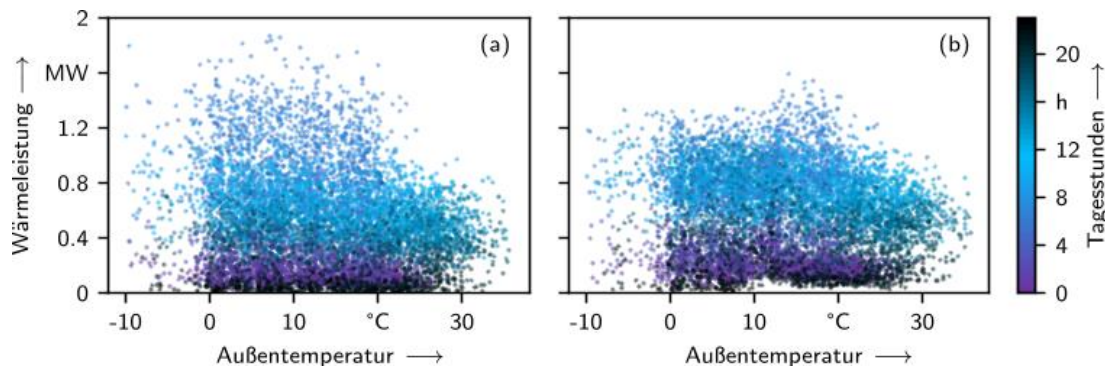


Abbildung 3-38: Tageszeitabhängige Wärmeleistung zur Bereitstellung von TWW ohne (a) als auch mit (b) DSM für den Bilanzraum 1

### Gesamtpotential

Werden die Potentiale des DSM von RW und TWW parallel genutzt, so ergibt sich in Bezug auf den ursprünglichen Lastverlauf der in Abbildung 3-39 dargestellte Verlauf. Hierbei wird ersichtlich, dass vor allem Spitzenlasten in ihrer Ausprägung abgemildert werden. Im Gegenzug werden die korrespondierenden Täler aufgefüllt. Es resultiert eine Lastvergleichmäßigung. Die zuvor ausgeprägten Schwankungen zwischen den Lastbezügen werden reduziert. Die Anhebung der Lasttäler ist hierbei stark von der im jeweiligen Wärmenetz Anwendung findenden Strategie zur Nachtabsenkung abhängig. Je mehr Gebäude über diese Regelung verfügen, desto stärker fluktuierend ist der ursprüngliche Verlauf. Durch die größere Nachfrage an Raumwärme in der Heizperiode ist das Lastverschiebepotential während dieser Phase größer als in den Sommermonaten.

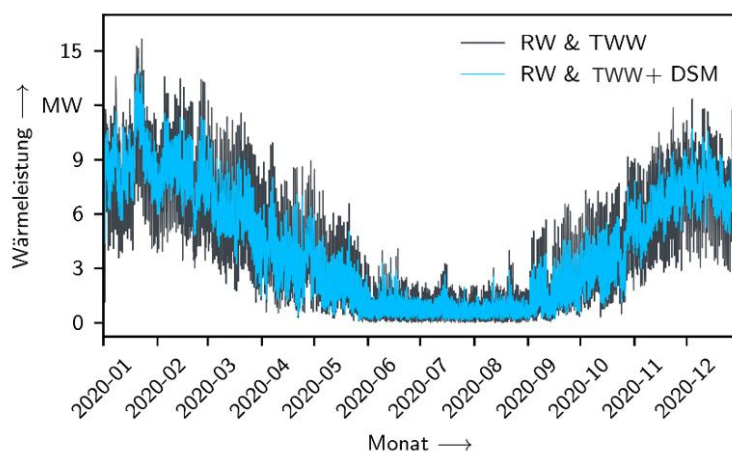
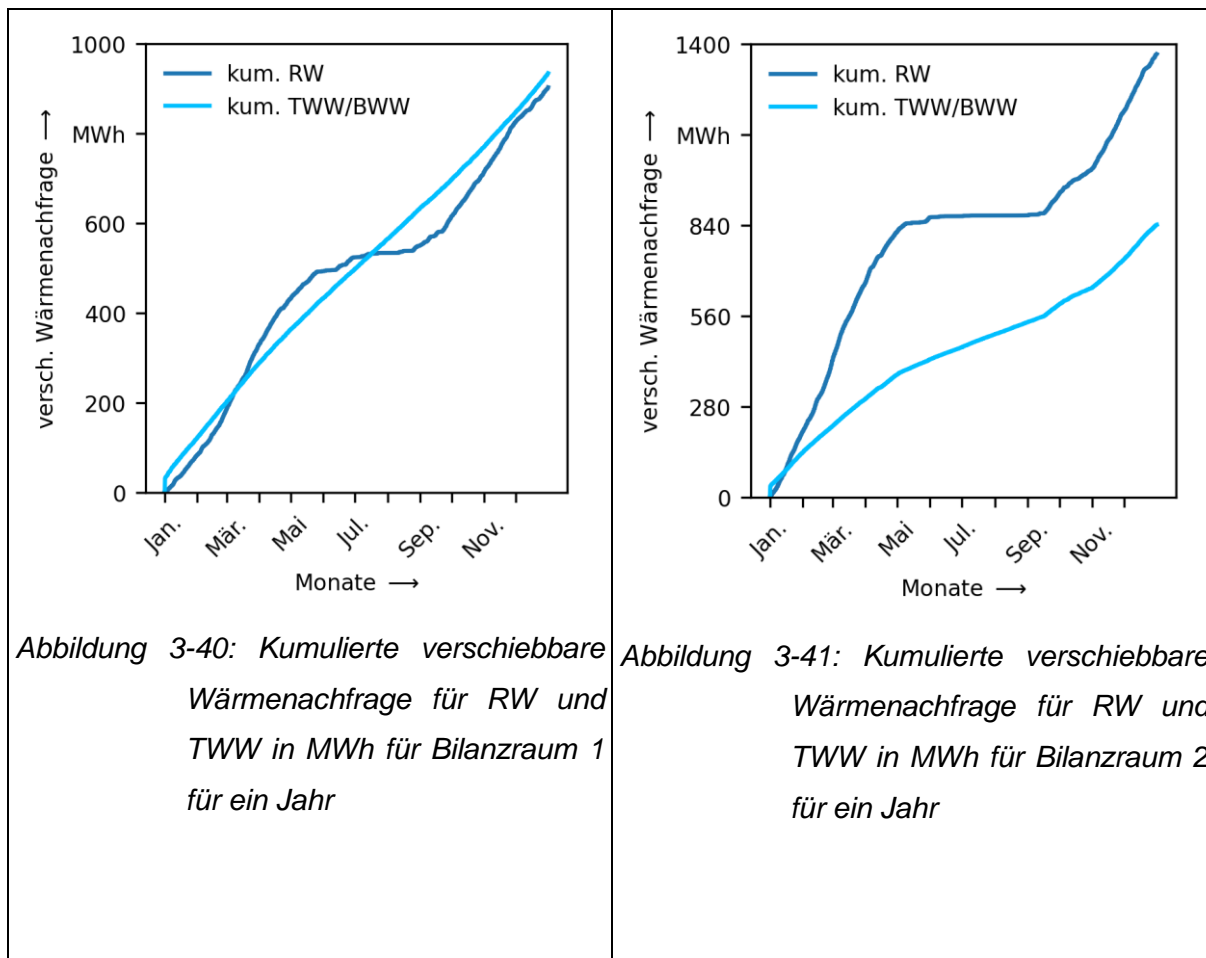


Abbildung 3-39: Verlauf der stündlichen Wärmenachfrage für RW und TWW bzw. BWW in MW für den Bilanzraum 1 sowohl für den Status quo als auch unter Anwendung von DSM



Wird die Differenz zwischen ursprünglicher und adaptierter Wärmelast berechnet, kann die verschiebbare Wärmemenge bestimmt werden. In Abbildung 3-40 sind die verschiebbaren Wärmemengen für die Bereitstellung von RW und TWW des Bilanzraums 1 kumuliert für ein Jahr dargestellt, während Abbildung 3-41 die entsprechenden Daten für Bilanzraum 2 zeigt. Im Bilanzraum 1 entfallen etwa 87 % der gesamten Wärmenachfrage für RW-Anwendungen, was 32 GWh/a von den ursprünglichen 37 GWh/a entspricht, während im Bilanzraum 2 82 % der Wärmenachfrage auf RW entfallen, entsprechend 36 GWh/a von 45 GWh/a. Für die TWW-Bereitung entfallen 5 GWh/a im Bilanzraum 1 und 8 GWh/a im Bilanzraum 2. Mit Blick auf Abbildung 3-40 und Abbildung 3-41 wird ersichtlich, dass durch die Digitalisierung von HASTen und einem intelligenten TWW-Speichereinsatz etwa 935 MWh/a der TWW-Nachfrage in Bilanzraum 1 und 842 MWh/a in Bilanzraum 2 zeitlich verschoben werden kann, was überschlägig etwa 19 % bzw. 10 % der gesamten jährlichen TWW-Nachfrage in den jeweiligen Bilanzräumen entspricht, zeitlich entkoppelt und zur Steigerung der Gesamtflexibilität des Wärmenetzes verschoben werden. Der kumulierte Verlauf der verschiebbaren TWW-Nachfrage in Bilanzraum 1 zeigt sich in Abbildung 3-40 nahezu linear, was der witterungsunabhängigen Nachfrage entspricht. Im Gegensatz dazu zeigt Abbildung 3-41 für Bilanzraum 2,

insbesondere von Mai bis Oktober, abgeflachte Phasen im Verlauf, was auf eine höhere Anzahl an Schulen, Kindergärten und Tageseinrichtungen zurückzuführen sein könnte, die in den Sommermonaten weniger Betrieb haben. Für die zeitliche Entkopplung der RW-Nachfrage vom Dargebot fallen im Bilanzraum 1 und im Bilanzraum 2 geringere Potentiale an. Insgesamt können auf Jahressicht rund 903 MWh/a verschoben werden, was bezüglich der Gesamttraumwärmefachfrage von 32 GWh/a lediglich einen Anteil von 2,7 % entspricht, während in Bilanzraum 2 etwa 1369 MWh/a oder 3,8 % verschoben werden können. Dies begründet sich darin, dass die thermische Gebäudemasse, die maßgebliche Relevanz für die Speicherfähigkeit von RW hat, ein träges Verhalten aufweist, zusätzlich zu der Tatsache, dass Bilanzraum 2 rund dreimal mehr Gebäude hat als Bilanzraum 1, was ein höheres kumulatives DSM-Potenzial für RW bedeutet. Zugleich limitiert das restriktive Band der thermischen Behaglichkeit die theoretisch nutzbaren Speicherkapazitäten der Gebäudehülle. Überdies ist die verschiebbare RW-Nachfrage witterungsabhängig, wie anhand des kumulativen Verlaufs ersichtlich ist. Ab Mai bis Oktober flacht die Zuwachsrate der verschiebbaren RW-Nachfrage ab, da in der Übergangszeit und den Sommermonaten prinzipiell weniger RW angefragt wird. Ob einiger kalter Nächte ist die RW-Nachfrage im Sommer ungleich null, weshalb auch hier zwar geringere, jedoch konstante Flexibilitätspotentiale gehoben werden können. Der Beitrag der Übergangszeit und der Sommermonate zum gesamten Flexibilitätspotential der RW geht in Bilanzraum 1 mit überschlägig etwa 20 % und in Bilanzraum 2 mit 8,6 % ein. Der Anteil verschiebbarer RW ist in der Übergangs- und Sommerzeit deutlich höher als in der Heizperiode. Limitierender Faktor sind die niedrigeren Außentemperaturen, die in den kalten Jahreszeiten zu tendenziell geringeren DSM-Potentialen führen, bei gleichzeitig jedoch hohen Wärmefachfragen für RW in beiden Bilanzräumen.

### **3.5.2 Techno-ökonomische Analyse**

In Kapitel 3.3.5 wurden die methodischen Grundlagen für die techno-ökonomische Quantifizierung der Auswirkungen der Digitalisierung von HASTen beschrieben. Die Ergebnisse der Analyse für die beiden Bilanzräume sind in Abbildung 3-42 und Abbildung 3-43 dargestellt. Die Analyse der Ergebnisse mit Fehlerbehebung, Steuerungsoptimierung und hydraulischem Abgleich, jedoch ohne DSM, wird in Abbildung 3-42 gezeigt. Diese Analyse wird um das DSM erweitert, wie in Abbildung 3-43 dargestellt. Die Balkendiagramme kategorisieren den prozentualen Anteil der digitalisierten Wärmefachfrage innerhalb von Fernwärmefachnetzen, gestaffelt von 10 % bis zu 100 %, entlang der X-Achsen. Auf den linken Y-Achsen werden finanzielle Auswirkungen in k€/a angezeigt, wobei Balken unterhalb der Achsen entweder Einsparungen bei den Kosten oder zusätzliche Einnahmen und Balken oberhalb der Achsen zusätzliche Kosten oder verringerte Einnahmen aufgrund von Digitalisierungsmaßnahmen darstellen.

Die Legende der Balkendiagramme klassifiziert die dargestellten Daten in:

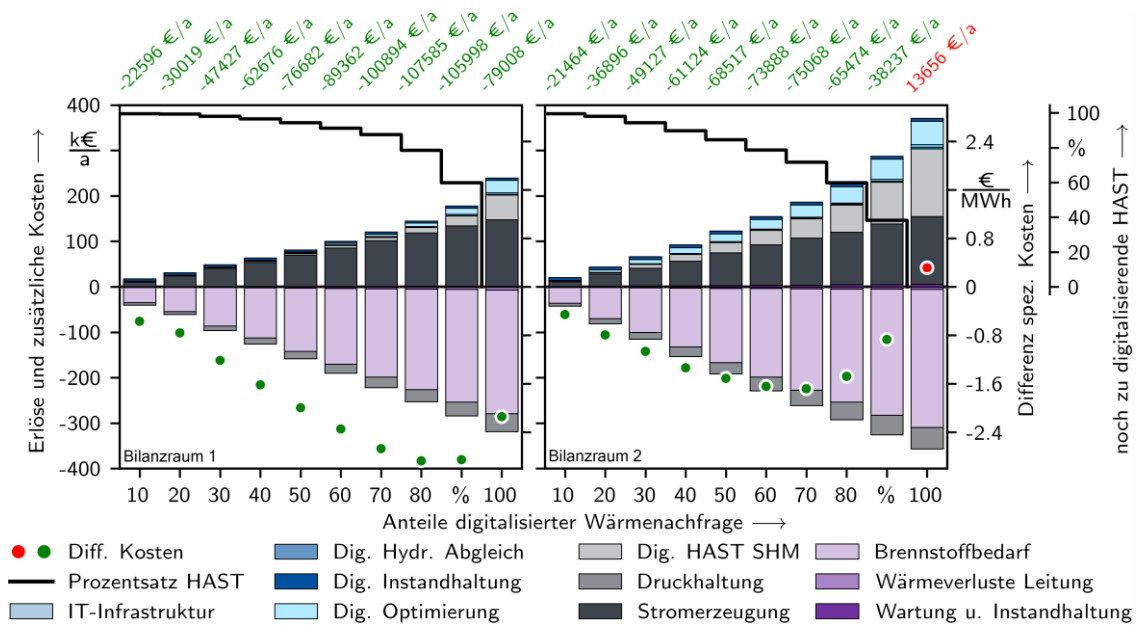
Änderungen bei Betriebskosten und Erlöse, wie Wartung und Instandhaltung (des Netzes), Wärmeverluste in Leitungen, Brennstoffbedarf, Druckhaltung und Stromerzeugung;  
Kosten für die Implementierung der Digitalisierung, einschließlich Investitionen in SHM-Installationen und deren Wartung sowie IT-Infrastruktur;  
Kosten, die mit Fehlerbehebung (Dig. Instandhaltung), Steuerungsoptimierung (Dig. Optimierung), und hydraulischem Abgleich (Dig. Hydr. Abgleich) in beiden Abbildungen verbunden sind, sowie mit DSM (Dig. HAST DSM-RW und Dig. HAST DSM-TWW) ausschließlich in Abbildung 3-43

Mittels der GIS-basierten Wärmenetztopologien können die absoluten Investitionen in die erdverlegten Wärmeleitungen approximiert werden, die wiederum Grundlage für die Berechnung der Wartungs- und Instandhaltungskosten sind. Für die beiden Bilanzräume wurden spezifische Investitionen von 11,32 respektive 8,62 €/MWh a ermittelt. Hierbei gelten die gleichen Zins- und Abschreibungszeiträume wie bei den HASTen. Mit jährlichen Kosten von 1 % der ursprünglichen Investitionen gehen die monetären Aufwendungen für Wartung- und Instandhaltung ein.

Über den Balkendiagrammen sind Streupunkte dargestellt; rote Punkte zeigen Fälle, in denen spezifische Kosten gestiegen sind, und grüne Punkte zeigen, wo spezifische Einsparungen erzielt wurden. Diese Streupunkte sind mit Texten über den Diagrammen versehen, die ihre resultierenden Werte in €/a angeben.

Um einen einfacheren Vergleich zu ermöglichen, insbesondere beim Vergleich zweier unterschiedlicher Bilanzräume, zeigen zusätzliche Y-Achsen den Prozentsatz der noch zu digitalisierenden HASTen. Diese Prozentnormalisierung ermöglicht einen klareren Vergleich zwischen verschiedenen Bereichen. Die in Prozent ausgedrückten Stufenlinien, die mit dem Grad der Digitalisierung ansteigen, stellen das verbleibende Digitalisierungspotential dar.

## Fehlerbehebung + Steuerungsoptimierung + hydraulischem Abgleich



*Abbildung 3-42: Techno-ökonomischen Bewertung im Vergleich zu Stufe 0 über 10 Stufen für Bilanzraum 1 und Bilanzraum 2, mit Fehlerbehebung + Steuerungsoptimierung + hydraulischem Abgleich*

In Abbildung 3-42 ist zu erkennen, dass die Digitalisierung in beiden Bilanzräumen dazu beitragen kann, die Betriebskosten bei Brennstoffbedarf, Druckhaltung und Wärmeverlusten in Leitungen zu reduzieren. Gleichzeitig werden die Betriebskosten hinsichtlich der Wartung und Instandhaltung, der Stromerzeugung (aufgrund von verringerten Erlösen), der Investition in SHM-Installationen, der Fehlerbehebung, der Steuerungsoptimierung, des hydraulischen Abgleichs und der IT-Infrastruktur erhöht. Die deutlichsten Vorteile zeigen sich bei den Kosten für den Brennstoffverbrauch und die Druckhaltung, wohingegen die Stromerzeugung, die Investitionen in SHM-Installationen und die Steuerungsoptimierung zu den nachteiligsten Posten zählen. Die Digitalisierung führt bei den restlichen Kosten nicht zu wesentlichen Unterschieden. Mit einem zunehmenden Anteil digitalisierter Wärmenachfrage zeigt sich in beiden Fällen der allgemeine Trend, dass die Digitalisierung bis zu einem höheren Anteil zunächst immer vorteilhafter wird, dann jedoch die Vorteile in den späteren Stufen rasch abnehmen.

## Fehlerbehebung + Steuerungsoptimierung + hydraulischem Abgleich + DSM

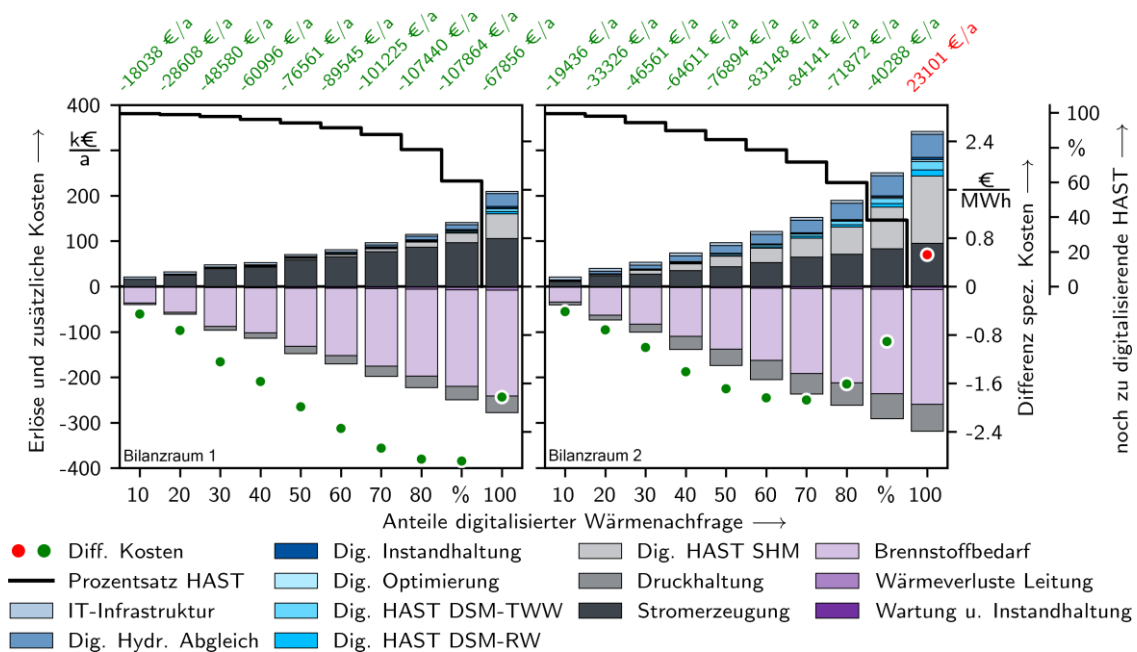


Abbildung 3-43: Techno-ökonomischen Bewertung im Vergleich zu Stufe 0 über 10 Stufen für Bilanzraum 1 und Bilanzraum 2, mit Fehlerbehebung + Steuerungsoptimierung + hydraulischem Abgleich + DSM

Abbildung 3-43 zeigt ähnliche allgemeine Trends wie in Abbildung 3-42 allerdings mit einigen Unterschieden, die auf die Einbeziehung des DSM zurückzuführen sind. Die Integration des DSM erhöht die Betriebskosten. Verglichen mit Abbildung 3-42 erhöht die Implementierung des DSM die Anforderungen an den hydraulischen Abgleich, mildert den Rückgang der Einnahmen aus der Stromerzeugung und dämpft in gewissem Maße die Reduzierung des Brennstoffverbrauchs. Es ist auch zu erkennen, dass die Einbeziehung des DSM keine deutlichen Unterschiede für den kleineren Bilanzraum 1 verursacht, jedoch für den größeren Bilanzraum 2 mehr Vorteile bringt, wenn der digitalisierte Anteil der Wärmenachfrage zwischen 40 % und 90 % liegt. Allerdings bringt DSM für eine vollständige Digitalisierung im Bilanzraum 2 sogar noch mehr Nachteile als Szenarien ohne DSM.

### Zusammenfassung

In dieser techno-ökonomischen Bewertung wurde gezeigt, dass Digitalisierung potenziell zu betrieblichen Einsparungen bei Fernwärmenetzen führen kann; diese Einsparungen können jedoch durch die erforderlichen Investitionen und einige negative wirtschaftliche Auswirkungen ausgeglichen werden. Die größten Einsparungen werden beim Brennstoffverbrauch, infolge des hydraulischen Abgleichs der den Endenergiebedarf für die Raumwärme senkt, erzielt. Ein geringerer Wärmebedarf korreliert mit einem verringerten Brennstoffbedarf. Dennoch führt



dies auch zu einem Rückgang der Stromerlöse aus dem KWK. Obwohl auf den ersten Blick ein Rückgang der Stromerlöse ungünstig erscheint, bietet dies eine erhebliche Chance für eine zusätzliche Verdichtung oder Erweiterung des Versorgungsgebiets aufgrund der freigewordenen Transportkapazitäten.

Um die Bedeutung dieser detaillierten Beobachtungen für die gesamte techno-ökonomische Bewertung der Digitalisierung zu verstehen, werden nun die spezifischen Auswirkungen und Unterschiede zwischen den Bilanzräumen betrachtet. Die Auswirkungen der Digitalisierung auf Wartung und Instandhaltung, Wärmeverluste in Leitungen, Fehlerbehebung an HASTen, Steuerungsoptimierung im Netz und die Investition in IT-Infrastruktur sind durchgehend ähnlich. In den Diagrammen sind sowohl der positive als auch der negative Teil des größeren Bilanzraums 2 höher als die des kleineren Bilanzraums 1. Die Unterschiede in den resultierenden Kostenunterschieden werden hauptsächlich durch die Unterschiede in den Investitionen in SHM und den hydraulischen Abgleich verursacht. In den meisten Stufen sind die Einsparungen im Bilanzraum 1 höher als im Bilanzraum 2. In jeder Stufe sind im Bilanzraum 2 mehr HASTen digitalisiert. Ebenso hat der hydraulische Abgleich in jeder Stufe einen größeren Einfluss auf die beheizte Fläche im Bilanzraum 2 als im Bilanzraum 1. Alle diese Unterschiede sind eng mit der Größe des Bilanzraums verbunden, was darauf hindeutet, dass es sich um einen der sensibelsten Parameter handelt.

Die Annahme einer betrieblichen Strategie, die die Reduzierung des Pumpenenergieverbrauchs gegenüber der Minimierung von Wärmeverlusten priorisiert, führt zu vergleichsweise geringeren Einsparungen bei Wärmeverlusten als bei der Druckhaltung. Die Kosten für die Durchführung des hydraulischen Abgleichs, die Optimierung der HASTen und die Wartung sind im Vergleich zu den Investitionen in SHM minimal. Betrachtet man nur die Kosten der Digitalisierung, repräsentieren Investitionen in SHM für den Bilanzraum 1 bis zu etwa 52 % und für den Bilanzraum 2 bis zu etwa 60 % der Gesamtausgaben. Dieses Muster ist in beiden Bilanzräumen konsistent. Generell verbessert sich die Wirtschaftlichkeit bis zu einer Digitalisierungsstufe von 80 % (ohne DSM) oder 90 % (mit DSM) für Netze mit weniger HASTen, zum Beispiel Bilanzraum 1 mit 333 HASTen, wo sie ihren Höhepunkt erreicht. Bei größeren Netzen, wie Bilanzraum 2 mit 907 HASTen, wird die optimale Wirtschaftlichkeit bei einer Digitalisierung von 70 % (sowohl ohne als auch mit DSM) erreicht. Über diese Punkte hinaus gehen die wirtschaftlichen Gewinne deutlich zurück, wobei die Ausgaben für die Digitalisierung die Vorteile potenziell überwiegen, insbesondere wenn kleinere Wohngebäude priorisiert werden.

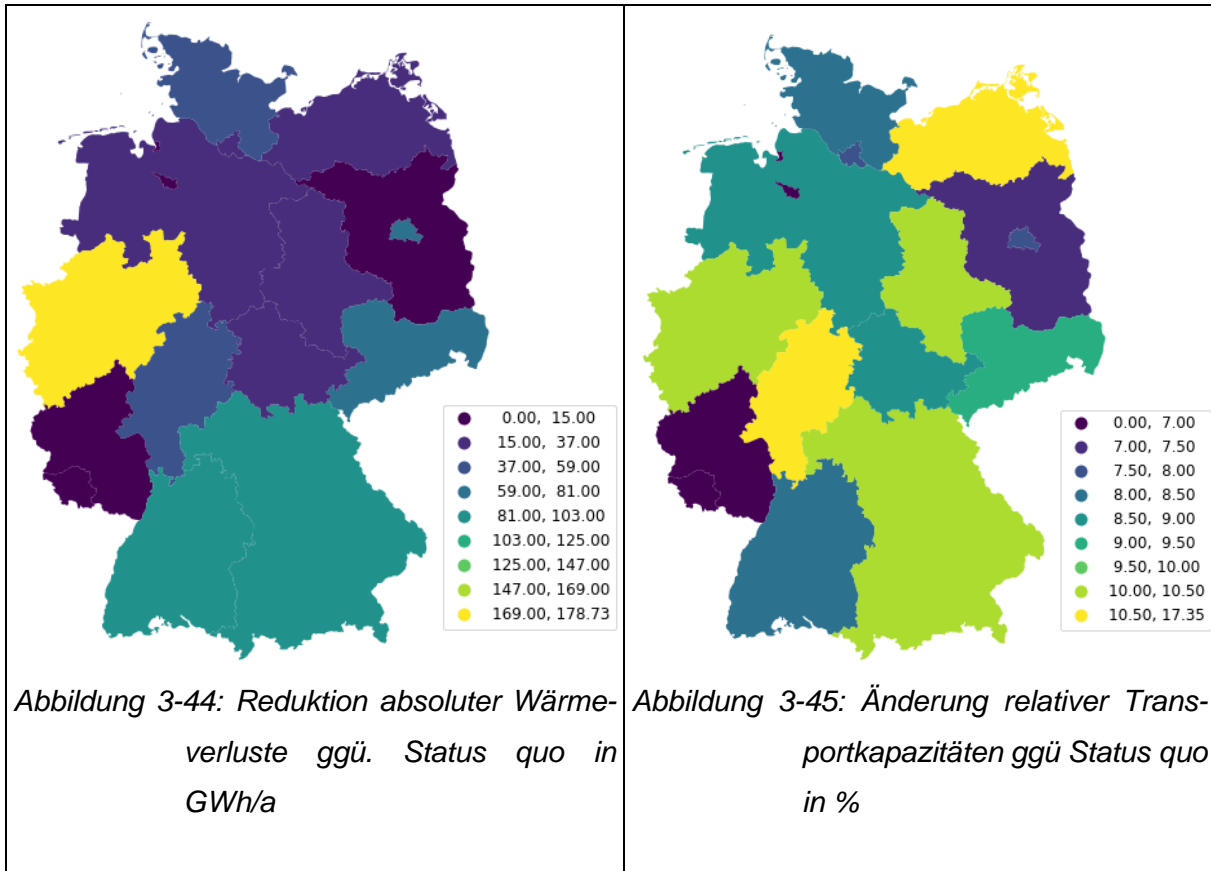
### **3.5.3 Hochrechnung für Deutschland**

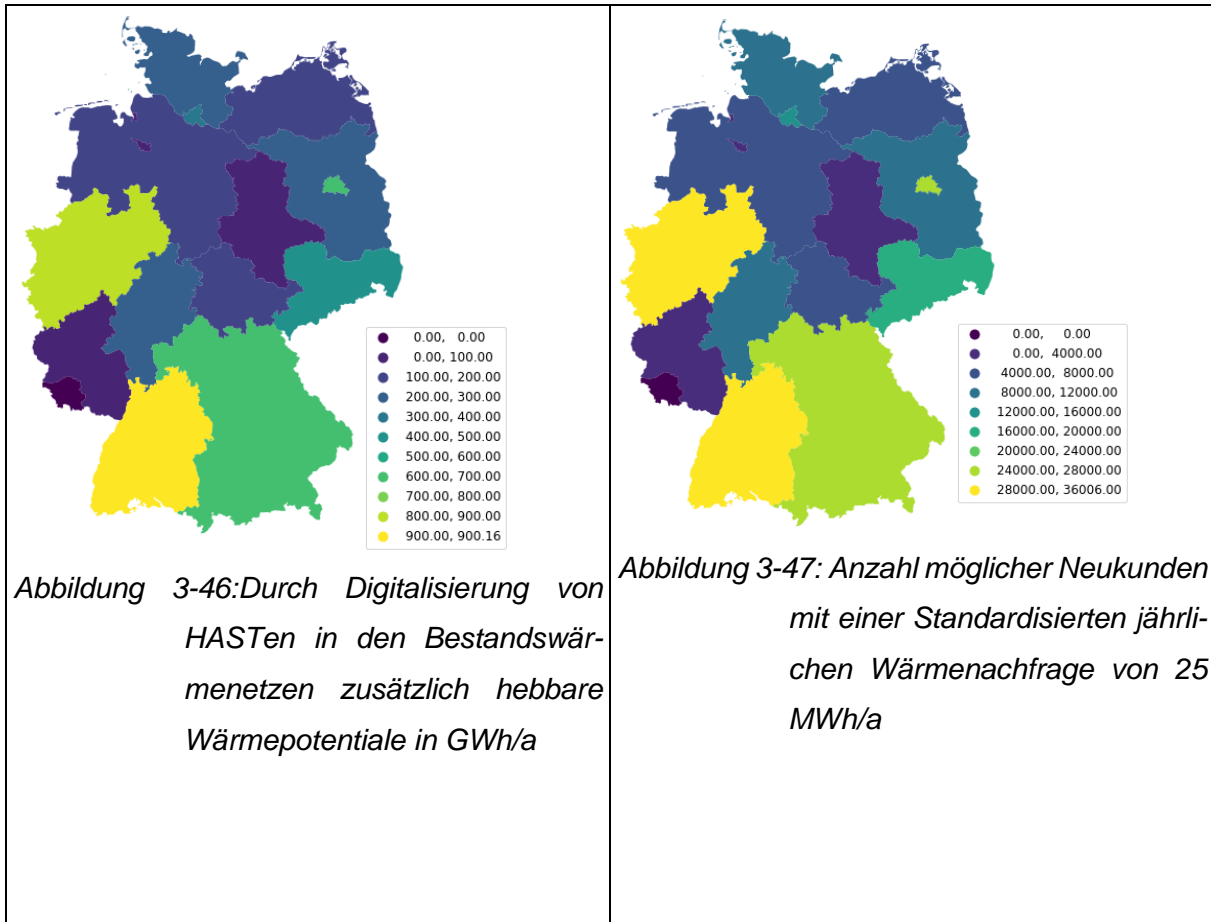
Wie die Einzelanalyse exemplarischer Wärmenetze zeigt, bietet die Digitalisierung von HASTen Optimierungspotential des Wärmenetzbetriebs. Diese Erkenntnisse werden im Folgenden auf den gesamten deutschen Wärmenetzbestand übertragen. Diese Extrapolation ermöglicht

zu ermitteln, wie die Implementierung digitaler Technologien und datenbasierter Ansätze in einem breiteren Kontext zur Steigerung der Effizienz, Senkung der Betriebskosten und Verbesserung der Ökologie beitragen kann. Letztendlich zielt diese Analyse darauf ab, Handlungsempfehlungen für eine strategische Integration digitaler Lösungen zu formulieren, um die Ziele der Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit zu fördern.

Um die Effekte einer Digitalisierung von HASTen auf den gesamtdeutschen Wärmenetzbestand extrapolieren zu können, werden die auf Wärmenetzebene ermittelten Einsparpotentiale verwendet. Zusammen mit den Daten Wärmenetze, die jährlich durch den AGFW für dessen Mitgliedsunternehmen erhoben werden, kann ein Gesamtbild auf nationaler Ebene generiert werden. Bei der Hochrechnung werden die maximalen Potentiale, die durch die Digitalisierung gehoben werden können, angesetzt. Somit wird von einer vollständigen Digitalisierung aller HASTen ausgegangen. Die Daten des Wärmenetzbestandes entstammen dem Hauptbericht (AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. 2022) In Abbildung 3-44 sind die gegenüber dem Status quo durch Digitalisierung von HASTen erzielten Reduktionen der transportbedingten Wärmeverluste in GWh/a auf Bundeslandebene aufgetragen. Die größten Reduktionen werden in Nordrhein-Westfalen erzielt. Obwohl die Wärmenetze in Nordrhein-Westfalen hinsichtlich der eingebundenen Wärme in einer gleichen Größenordnung wie die in Baden-Württemberg liegen, so vermag die Digitalisierung hier infolge der höheren relativen Wärmenetzverluste im Status quo (14 % gegenüber 10 % in Baden-Württemberg) größere Hebel zu realisieren. Die Einsparungen liegen bei maximal etwa 180 GWh/a. Direkt nachfolgend sind die nach Einwohner größeren Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg. Die Größenordnung der Reduktionen belaufen sich auf etwa 80 bis 100 GWh/a. Die Transportkapazität gibt an, wie viel GWh/a ein Wärmenetz jährlich an dessen Anschlussnehmer verteilen kann. Diese ist eine Funktion aus dem anliegenden Massenstrom und der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf. Hierbei ist maßgeblich die verwendete Art- und Konstruktion der Wärmetrassen samt deren Durchmesser ausschlaggebend. Wird eine mittlere Temperaturspreizung zwischen wärmenetzseitigen Vor- und Rücklauf gemäß Abbildung 3-3 für den Status quo von etwa 33 °C angesetzt, führen die durch die Wärmenetzsimulationen ermittelten Temperaturreduktionspotentiale in Kombination mit den Reduzierten Massenströmen zu den in Abbildung 3-45 aufgetragenen Transportkapazitäten. Da die Wärmenetze im Zuge der Digitalisierung effizienter werden, können weitere Verbraucher an die bestehende Infrastruktur angeschlossen werden. Die so freiwerdenden Transportkapazitäten können ohne weiteres für Nachverdichtungen herangezogen werden. Relativ betrachtet, zeigen sich mit 10 bis 17 % die vielversprechendsten Potentiale in Mecklenburg-Vorpommern und Hessen. Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Bayern folgen mit zusätzlichen Transportkapazitäten von 10 bis 10,5 %. Selbst in den Bundesländern Rheinland-Pfalz, Brandenburg und Hamburg,

die die geringsten relativen Zuwächse an freiwerdenden Transportkapazitäten zeigen, können immerhin noch etwa 7,0 bis 7,5 % erzielt werden.





Durch Überlagerung der relativen Änderung der Transportkapazitäten mit den jeweils in den Bundesländern jährlich abgesetzten jährlichen Wärmemenge des Status quo überlagert, können die absoluten Potentiale für den Anschluss von Neukunden ermittelt werden. Die höchsten Potentiale stellen sich in Baden-Württemberg dar und belaufen sich auf etwa 900 GWh/a. Nordrhein-Westfalen, Berlin und Bayern reihen sich in die Ränge ein. Dies ist nicht verwunderlich, da diese gemäß der Mitgliedererhebung des AGFW die Bundesländer mit den in Summe größten Wärmeabsatz durch Wärmenetze haben. Werden die freiwerdenden Wärmenetzkapazitäten durch einen fiktiven Verbraucher mit einer Wärmenachfrage von 25 MWh/a dividiert, können überschlägig die infolge der Effizienzsteigerungen durch Digitalisierung zusätzlich anschließbare Anzahl an Verbrauchern abgeschätzt werden. Es zeigt sich, dass in Summe in Deutschland etwa 212.000 neue Anschlussnehmer mit Wärmenetzen versorgbar wären, ohne zusätzliche Investitionen in Netzausbau und -erweiterung zu tätigen. Vor dem Hintergrund der durch die aktuelle Bundesregierung postulierten jährlich bis 2030 anzustrebenden 100.000 Neuanschlüsse (tagesschau.de 2023) zeigt sich, dass alleine durch die Digitalisierung der Bestandskunden das Ziel von insgesamt etwa 600.000 neuen Anschlussnehmer bereits zu 35 % erreicht werden kann.

## **3.6 Handlungsempfehlungen**

Dieses Kapitel leitet aus den vorherigen Erkenntnissen Handlungsempfehlungen ab, die durch Messungen, Simulationen und Hochrechnungsprozesse gewonnen wurde.

### **3.6.1 Erkenntnisgewinne aus den Messungen**

Anhand der Messungen können das Potenzial zur Effizienzsteigerung identifiziert und entsprechende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die dazu beitragen können sowohl den Energieverbrauch als auch die Betriebskosten des Netzes zu optimieren.

#### **Optimierung des Volumenstroms und der Netztemperaturen für verbesserte Effizienz**

Die Analyse der Messungen an Verteilknoten hebt Möglichkeiten zur Reduzierung des Volumenstroms und der Netztemperaturen hervor, die Einblicke in die Leistung der angeschlossenen Verbraucher und die gesamthafte hydraulische Effizienz des Netzes bieten. Um diese Möglichkeiten zu nutzen, wird empfohlen, gezielte Anpassungen im Betrieb des Verteilsystems vorzunehmen, wie beispielsweise die Optimierung der Einstellungen von Pumpen und Ventilen basierend auf der Echtzeitanfrage und saisonalen Schwankungen. Dieser Ansatz verspricht nicht nur eine Reduzierung des Energieverbrauchs, sondern verbessert auch die Gesamteffizienz und Reaktionsfähigkeit des Heiznetzes.

#### **Angehen von Netzverzweigungen mit hoher Trägheit und Identifizierung von Ineffizienzen**

Die Identifizierung von Netzverzweigungen, die eine hohe Trägheit und geringe Kühlleistung aufweisen, deutet auf spezifische Bereiche hin, in denen Verbesserungen die Netzleistung signifikant steigern können. Gezielte Eingriffe in diese Verzweigungen – wie die Aufrüstung der Infrastruktur, die Verbesserung der Isolierung und die Verfeinerung der Steuerungsstrategien – können Ineffizienzen reduzieren, insbesondere in Teilen des Netzes mit geringen Temperaturdifferenzen. Dieser fokussierte Ansatz zielt darauf ab, die Betriebseffizienz dieser Verzweigungen und dadurch des gesamten Netzes zu erhöhen.

#### **Lösung von Netzwerkanomalien und fehlerhaften HASTen**

Die Erkennung von Netzwerkanomalien und fehlerhaften HASTen zeigt auf, die Bedeutung einer robusten Wartungs- und Managementstrategie. Die Implementierung fortschrittlicher Diagnosewerkzeuge und die Annahme einer prädiktiven Wartung können diese Probleme proaktiv angehen, die Netzwerkzuverlässigkeit und die Zufriedenheit der Verbraucher zu verbessern. Ein regelmäßiges Überwachungsregime, gepaart mit schnellen Fehlerbehebung, wird eine kontinuierliche Netzleistung sicherstellen und potenzielle Unterbrechungen verhindern.

## **Einbindung der Verbraucher für Effizienz auf der Nachfrageseite**

Die Analyse auf der Verbraucherseite offenbart Unterschiede im Energieverbrauch und in der Effizienz zwischen verschiedenen HASTen. Die Einbindung der Verbraucher durch Programme zur Energieeffizienz, Echtzeit-Feedback zum Verbrauch und Anreize zur Reduzierung der Spitzenlast können Verbesserungen in der Netzwerkeffizienz bewirken. Empfehlungen beinhalten die Implementierung intelligenter Messlösungen, um Verbrauchern handlungsrelevante Einblicke in ihre Energieverbrauchsmuster zu geben und energieeffizientes Verhalten zu fördern.

## **Nutzung von Datenanalysen für prädiktives Management**

Die Fülle an Daten aus den Analysen sowohl auf der Netz- als auch auf der Verbraucherseite bietet eine Möglichkeit, prädiktive Analysen zur Optimierung des Netzbetriebs und der Verbraucherinteraktionen einzusetzen. Durch die Entwicklung ausgefeilter Modelle, die Nachfrageschwankungen vorhersehen und potenzielle Ineffizienzen identifizieren, können Betreiber eine optimale Netzleistung und Energieverteilung sicherstellen. Dieser proaktive Ansatz erleichtert die Feinabstimmung der Versorgungsparameter, reduziert Verschwendung und verbessert die Anpassungsfähigkeit des Systems an veränderliche Nachfrageprofile. Die Messungen an den Verteilknoten identifizieren Potenziale der Absenkung des Volumenstroms bzw. der Absenkung der Netztemperaturen – lässt damit Rückschlüsse über die angeschlossenen Verbraucher und die Netzhydraulik allgemein zu.

### **3.6.2 Erkenntnisgewinne aus Simulationen**

Diese Simulationen bieten eine fundierte Grundlage für die Bewertung der Auswirkungen von Digitalisierungsstrategien und erlauben es, spezifische Vorschläge für eine verbesserte Betriebsführung und die wirtschaftliche Integration digitaler Technologien zu formulieren.

#### **Optimierung der Betriebsparameter durch Simulationsergebnisse**

Die aus den Simulationen abgeleiteten Erkenntnisse bieten Ansätze zur weiteren Optimierung der Netz- und HAST-Betriebsparameter. In Kombination mit den Messdaten lassen sich gezielt nicht optimale Betriebspunkte und HASTen identifizieren, um gegebenenfalls Regelstrategien zu adjustieren und die Energieeffizienz zu steigern. Dies kann zu einer Reduzierung des Energieeinsatzes und somit zu niedrigeren Betriebskosten führen, während es gleichzeitig die Stabilität in der Druckhaltung des Netzes unterstützt.

#### **Bewertung der Digitalisierungsmaßnahmen für Betriebskosteneinsparungen**

Durch die digitalen Technologien können Netzbetreiber ihre Infrastruktur und die Reaktionsfähigkeit des Netzes verbessern. Jedoch muss die Digitalisierungstiefe sorgfältig gewählt werden. Die Vorteile können nämlich in fortgeschrittenen Phasen aufgrund der

zunehmenden Anzahl kleiner HASTen abnehmen. Eine vollständige Digitalisierung könnte unter diesen Umständen ökonomisch unvorteilhaft werden und zusätzliche Kosten verursachen.

### **Auswirkungen der fortschreitenden Digitalisierung auf die Wirtschaftlichkeit**

Die Simulation zeigt, dass die Wirtschaftlichkeit der Digitalisierungsmaßnahmen bis zu einem gewissen Grad mit dem Umfang des Bilanzraums und der Anzahl der HASTen korreliert. Es ist daher entscheidend, eine Strategie zu entwickeln, die eine Balance zwischen den notwendigen Investitionen und den operativen Einsparungen herstellt. Die Kosten für die Steuerungsoptimierung und der Nutzen durch eingesparte Energie und verbesserte Netzleistung müssen in jeder Phase der Digitalisierung sorgfältig gegeneinander abgewogen werden.

### **Technisch-ökonomische Grenzen der Digitalisierung**

Es ist notwendig, die spezifischen Auswirkungen der Digitalisierung für jeden Bilanzraum zu betrachten, da diese sich in den Auswirkungen auf Wartung und Instandhaltung, Wärmeverluste, Fehlerbehebung und Netzsteuerung ähneln. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung einer auf die spezifischen Netzcharakteristika abgestimmten Digitalisierungsstrategie, um maximale betriebliche Vorteile zu erzielen.

### **Bewertung der Rentabilität von Digitalisierungsstufen**

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Rentabilität von Digitalisierungsmaßnahmen in Netzen mit einer geringeren Anzahl von HASTen, wie im Bilanzraum 1, bei einer Digitalisierungsschwelle von 90% ihren Höhepunkt erreicht, während sie in größeren Netzen, wie im Bilanzraum 2, bereits bei 70% erreicht wird. Über diese Schwellenwerte hinaus nehmen die wirtschaftlichen Gewinne ab, was die Notwendigkeit unterstreicht, eine sorgfältig geplante Digitalisierungsstrategie zu implementieren.

## **3.6.3 Strategien und Maßnahmen**

Basierend auf den erörterten Erkenntnissen werden im folgenden Abschnitt konkrete Strategien und Maßnahmen vorgestellt, die es ermöglichen, die identifizierten Herausforderungen einer Digitalisierung erfolgreich zu bewältigen.

### **Zieldefinition**

Handlungsempfehlungen sind Vorschläge, die auf fundierten Analysen, Erkenntnissen oder Expertise basieren. Sie werden typischerweise gegeben, um bestimmte Probleme zu lösen, Ziele zu erreichen oder positive Veränderungen zu fördern. Handlungsempfehlungen bieten praktische Anleitungen und Orientierung für Entscheidungsträger, Stakeholder

oder Einzelpersonen, die vor Problemen, und im Zuge deren Umsetzung vor Herausforderungen stehen. Für die Formulierung von Handlungsempfehlungen ist es somit wesentlich, aus einer zielorientierten Sicht auf etwaige Herausforderungen zu Blicken. Das Problem, das zum Ziel auch die Steigerung des Digitalisierungsgrades in Wärmenetzen vorsieht, ist eine mangelnde Kompatibilität der Betriebsbedingungen für die Transformation zu Niedertemperaturwärmenetzen. Die Herausforderung, die sich hieraus ableiten lässt, ist die Frage des wirtschaftlichen Beitrags der Digitalisierung von Wärmenetzinfrastrukturen und die damit resultierenden positiven Effekte auf das Gesamtsystem. Zu Beginn muss daher definiert werden, welche Ziele mit einer Digitalisierung erreicht werden sollen. Eine Digitalisierung, mit der die Ablesung und Rechnungsstellung automatisiert werden soll, verfügt über geringere technische Anforderungen, als z. B. eine Digitalisierung zur Realisierung von Flexibilitäten mittels Demand-Side Management. Jedoch wird bei ersterem Ziel nur eine Volldigitalisierung anzustreben sein, um den Betrieb zweier paralleler Prozesszweige zu vermeiden. Hingegen kommt letzteres Digitalisierungsziel auch mit einer Teildigitalisierung zurecht.

### **Auswahl von Technologielösungen und überschlägige Budgetplanung**

Die Auswahl passender Technologielösungen ist von entscheidender Bedeutung, um den zuvor definierten Digitalisierungsziel gerecht zu werden. Hierbei ist zu klären, wie die Digitalisierungsziele erreicht werden können. Konkret muss definiert werden, ob die Verbraucher, das Wärmenetz oder beides mit digitalen Sensoren und Kommunikationsschnittstellen digitalisiert werden sollen. Eine sorgfältige Evaluierung verschiedener Technologien von unterschiedlichen Anbietern ermöglicht es, diejenigen auszuwählen, die am besten den spezifischen Anforderungen entsprechen und somit auch den größtmöglichen ökonomischen Nutzen bieten. Bei der Auswahl geeigneter Technologielösungen ist ebenfalls darauf zu achten, dass diese prinzipiell kompatibel mit den bisherigen, zur Anwendung kommenden Hard- und Softwarelösungen sind. Der Auswahlprozess muss transparent und nachvollziehbar gestaltet werden und sich auf eine normative Vergleichsbasis stützen. Dies umfasst bspw. die Identifizierung von Kernfunktionen, Integrationserfordernissen und Skalierbarkeit. Parallel zur Auswahl der Technologielösungen ist eine realistische Budgetplanung empfehlenswert. Es ist wichtig, möglichst alle relevanten Kostenfaktoren zu berücksichtigen, einschließlich etwaiger Lizenzgebühren, Implementierungskosten, Schulungen und laufende Wartung. Eine realistische Budgetplanung stellt sicher, dass die finanziellen Ressourcen effektiv und effizient genutzt werden und hilft, unerwartete Kosten zu vermeiden bzw. einzugrenzen.

### **Digitale Strategie entwickeln**



Unternehmen sollten eine klare digitale Strategie entwickeln, die ihre Ziele und Prioritäten in einem zeitlichen Rahmen setzt. Gegenstand der Strategieentwicklung müssen die zentralen Fragen *wer* soll *wann* digitalisiert werden sein. Das *wie* sollte innerhalb dieses Prozessschrittes schon definiert sein, da dies bereits durch die Zielstellung implizit vorgegeben wird. Grundlegende Informationen über Art der Anschlussstation, dessen Leistung und die Gesamtwärmenachfrage sind wichtige gebäudespezifische Kennzahlen, die helfen, eine Priorisierung der Digitalisierungszeitpunkte zu bestimmen. Da davon auszugehen ist, dass eine Volldigitalisierung unter Berücksichtigung von Wartungs- und Instandhaltungszyklen bzw. Montagedauern bis zu mehrere Jahre dauern kann, ist ein dedizierter Plan über die Ausbringung von digitalisierter Infrastruktur zu erstellen. Die Reihung kann nach Kriterien geschehen, mit denen augenscheinlich die größten Potentiale im Wärmenetz realisiert werden können. Mögliche Kriterien könnten die Gesamtwärmenachfrage, das DSM-Potential, die Lage zur Einbinde- bzw. Erzeugerstelle oder aber Kundenakzeptanz sein. Im Falle einer Digitalisierung von Wärmetrassen könnte die an diese angeschlossene Art und Anzahl an Verbrauchern, die Trassenlänge oder aber die Lage im Wärmenetz für die Reihung relevant sein. Trivialerweise bieten sich für eine erste Ausbringung große, institutionelle bzw. öffentliche Verbraucher an. Bei Wärmetrassen bieten sich kleine bis mittlere Abzweige an, da bei den größeren Trassen viele kleinere Wärmetrassen zusammenlaufen und so ggf. Überlagerungseffekte die Aussage über etwaige Fehler und/oder Suboptimalitäten verhindern. Die digitale Transformation sollte als langfristiger Prozess betrachtet werden. Zugleich sollte die Strategie flexibel genug sein, um sich an sich ändernde Marktbedingungen und Technologietrends anzupassen.

### **Simulationsgestützte Strategievalidierung**

Die Wirtschaftlichkeit ist für Unternehmen von zentraler Bedeutung, da sie die effiziente Nutzung von Ressourcen und die Sicherstellung langfristiger Rentabilität gewährleistet. Eine wirtschaftliche Betriebsführung ermöglicht es, Kosten zu kontrollieren, Erträge zu maximieren und somit ihre finanzielle Stabilität zu festigen. Vor diesem Hintergrund sind die in den Punkten 1 bis 3 getroffenen Annahmen und definierten Strategien kritisch zu hinterfragen. Ein potenter Ansatz besteht in der thermo-hydraulischen Simulation von Wärmenetzen. Mit einer nachgelagerten techno-ökonomischen Analyse können die Effekte auf die Regelgrößen des Wärmenetzes unter Variation verschiedener Durchdringungstiefen und Arten der Digitalisierung quantifiziert und in einem gesamtwirtschaftlichen Kontext verglichen werden. Als Abbildungen realer Systeme können anhand von Simulationsmodellen Entscheidungen überprüft und deren Ausgestaltung iterativ angepasst werden. Hierdurch ist es möglich, die zu Beginn definierten Ziele einer Digitalisierung und dessen technischer Ausgestaltung zu plausibilisieren. Die Simulation stellt sich somit als solides Werkzeug für

einen faktenbasierten Entscheidungsprozess, an dessen Ende eine robuste Prognose über die sich im Betrieb später darstellenden wirtschaftlichen Effekte einer Digitalisierung. Insofern der Prozess des Aufbaus und der Simulation von thermo-hydraulischen Wärmenetzmodellen die Kapazitäten übersteigt, kann eine erste Abschätzung mit den in dieser Untersuchung erarbeiteten Kennzahlen zu den durch die Digitalisierung zu erwartenden Effekten überschlagen werden.

Zeigt sich durch die Wirtschaftlichkeitsbewertung eine Unrentierlichkeitslücke, müssen entweder die Zieldefinition aufgeweicht oder aber die Digitalisierungsstrategie eingedampft bzw. angepasst werden. Weiterhin sind wahrscheinlich kleinere Wirtschaftlichkeitslücken auf gesamtsystemischer Ebene vertretbar. Für eine dedizierte Einschätzung bedarf es jedoch dedizierter betriebswirtschaftlicher Evaluationen, die über die hier durchgeführten techno-ökonomischen Bewertungen hinausragen.

### **Durchführung Rollout und Interimsbetrieb**

Um die Durchführung der Digitalisierung reibungslos ablaufen zu lassen, sollte das Team interne Schulungen absolvieren. Hierbei steht der Aufbau von Expertise in den relevanten Tätigkeitsfeldern als auch eine Sensibilisierung hinsichtlich des Umgangs mit sensiblen Daten im Fokus. Gleichwohl soll sich das Team mit den neusten digitalen Technologien und Prozessen vertraut machen können. In einer ersten kleinen Digitalisierungsetappe können Erfahrungen und Expertise aufgebaut werden, die beim großangelegtem Rollout nutzbringend zur Steigerung der Effektivität angewandt werden können. Gerade bei der Digitalisierung von großen Wärmenetzen wird die Ausbringung wegen fehlender oder geringer Montagekapazitäten in mehreren konsekutiven Etappen stattfinden müssen. Hierdurch entsteht die Notwendigkeit für einen Interimsbetrieb. Dieser muss fundiert geplant werden, so dass die notwendigen Redundanzen einen weiteren sicheren Wärmenetzbetrieb garantieren kann. Denn Netzstabilität und Sicherheit sind kritisch. Die Netzstabilität muss, insbesondere bei der Integration von digitalen Steuerungssystemen, gewährleistet sein. Auch müssen Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden, um vor Cyberangriffen und unbefugtem Zugriff zu schützen. Da sowohl die Entwicklungszyklen im Bereich der Technik kurz und das generelle Feld der Digitalisierung von Wärmenetzen jung ist, können regulatorische und technische Änderungen schnell eintreten. Über aktuelle bzw. sich zukünftig ändernde regulatorische Anforderungen und Normen im Zusammenhang mit der Digitalisierung von Wärmenetzen muss sich stets informiert werden. Zudem muss sichergestellt werden, dass alle neuen digitalen Übergabestationen den geltenden Vorschriften entsprechen. Bereits während des flächendeckenden Rollouts müssen effektive Monitoring-Systeme entwickelt und angewandt werden. Mit diesen kann der Betrieb in Echtzeit überwacht und potentielle Probleme frühzeitig erkannt werden. Die Flexibilität der digitalen Systeme

ermöglicht es, den Regelbetrieb kontinuierlich zu optimieren. Durch die Analyse von Verbrauchsdaten können Effizienzsteigerungen identifiziert und umgesetzt werden. Dieser stetige Optimierungsprozess trägt dazu bei, den Energieverbrauch zu minimieren und die Gesamtleistung des Wärmenetzes zu verbessern.

### **Übergang in Regelbetrieb**

Nach der erfolgreichen Umstellung von regulären auf digitalisierte Übergabestationen steht der Übergang in den Regelbetrieb an. In dieser Phase ist es wichtig, sicherzustellen, dass alle Systeme stabil und effizient funktionieren. Die Betriebsabläufe sollten reibungslos sein, und etwaige Anfangsschwierigkeiten oder technische Herausforderungen sollten behoben worden sein. Schulungen, Kundenbefragung zur Akzeptanzförderung und das Betriebsmonitoring sollten weiterhin durchgeführt werden, um auch in der Zukunft einen reibungslosen und effizienten Betrieb der digitalen Infrastruktur zu ermöglichen.

## 4 Erarbeitung digitaler und effizienter Geschäftsprozesse

### 4.1 Problemstellung

Die fortschreitende Energie- und Wärmewende stellt die Versorgungsbranche vor große Herausforderungen. Nicht ausschließlich, aber insbesondere auch im Fernwärmesektor hat sie tiefgreifende strukturelle Veränderungen zur Folge. So lässt sich eine vollständige Dekarbonisierung der Fernwärmeversorgung vielerorts nur in der Fläche realisieren, sodass der Transformationsprozess zwangsläufig mit einer Dezentralisierung und Diversifizierung der Erzeugungsinfrastrukturen einhergeht. Diese unumkehrbare Entwicklung impliziert auch die Einbindung inkonstanter bzw. volatiler Wärmequellen (bspw. regenerative Erzeuger oder unvermeidbare industrielle Abwärme) sowie eine zunehmende Integration unbeständiger und unsicherer Wärmesenken (teilautarke Prosumer). Verstärkt durch den notwendigen Ausbau der leitungsgebundenen Wärmeversorgungsnetze in urbanen Siedlungsräumen führt dies zum unvermeidbaren Effekt einer stetig wachsenden gesamtsystemischen Dynamik und Komplexität.

Diese gravierenden Veränderungen in den Fernwärmesystemen bedingen auch die adäquate Adaption oder gar eine grundlegende Reformation der Geschäftsprozesse und eingesetzten Instrumente zu ihrer Organisation und Durchführung. Zum einen nimmt die Transparenz eines Vorgangs mit zunehmender Komplexität generell ab, was sich unmittelbar negativ auf eine proaktive und effiziente Steuer- bzw. Kontrollierbarkeit auswirkt. Zum anderen kann ein Wachstum der Dynamik die Relevanz von sog. Laufzeiteffekten durch systemimmanente Wechselwirkungen, auch über multiple Geschäftsprozesse und -bereiche hinweg, maßgeblich verstärken. Isolierte Betrachtungen einzelner Prozesse oder sogar einzelner ihrer Teilsequenzen, wie das bei den konventionellen Domänenlösungen noch überwiegend der Fall ist, sind bei einer Zunahme wechselwirkender kausaler Abhängigkeiten jedoch im besten Fall riskant; im schlimmsten Fall wirken sie sich nicht nur negativ auf die Effizienz eines Vorgangs aus, sondern gefährden auch seine resultierende Effektivität.

Die branchenetablierten Routinen und Instrumente wurden zumeist problembezogen evolviert und im Einzelnen konkret auf individuelle Fallanforderungen ausgerichtet. Dadurch sind Anpassungsfähigkeit, Flexibilität und Skalierbarkeit stark eingeschränkt; weiterhin ist auch die Interoperabilität in der Regel unzureichend, sodass sich die Prozessketten weder lückenlos und hinreichend detailliert noch fehlerfrei abbilden lassen. Vielmehr bedarf es zukünftig also

ganzheitlicher, systematischer Ansätze für eine integrative und vernetzte Digitalisierung der Geschäftsprozesse im Fernwärmesektor.

## 4.2 Zielsetzung

Die Digitalisierung verändert Wirtschaft und Gesellschaft fundamental, weswegen sie auch oft als „Digitalen Revolution“ beschrieben wird. Sie umfasst nicht nur die mittlerweile obligatorischen Informations- und Kommunikationstechnologien, sondern durchdringt viele Lebens- und Arbeitsbereiche tiefgreifend, indem sie Menschen, Maschinen und Prozesse miteinander vernetzt (IFO Institut). Der Sammelbegriff „Digitalisierung“ umfasst dabei im Wesentlichen die folgenden Aspekte (Institut der Deutschen Wirtschaft):

- » Digitale Infrastruktur: Aufbau von digitalen Netzwerken und Plattformen.
- » Datenökonomie: Die wirtschaftliche Nutzung von Informationen als Ressource.
- » Big Data: Die Nutzung großer und komplexer Datenmengen zur Informationsextraktion.
- » Künstliche Intelligenz (KI): Die Nutzung von Big Data und Technologien des maschinellen Lernens zur Informationsgewinnung und Entscheidungsfindung.
- » Plattformökonomie: Adaptive Geschäftsmodelle, die auf digitalen Plattformen aufbauen oder sich von diesen ableiten.
- » Industrie 4.0: Die intelligente Vernetzung von Produktions- bzw. Geschäftsprozessen und Maschinen bzw. Anlagen.

Die Digitalisierung hat zweifellos das Potenzial, die Effizienz und Effektivität bestehender sowie zukünftiger Systeme maßgeblich zu steigern. Gleichzeitig kann sie sich jedoch auch prägend und mitunter disruptiv sowohl auf die Beschaffenheit als auch auf die Umgebung der Systeme selbst auswirken, sodass diese dabei gravierend verändert oder sogar vollständig abgelöst werden. Ein natürliches Hemmnis auf dem Pfad zu einer erfolgreichen digitalen Transformation liegt daher darin, die mittel- bis langfristigen Konsequenzen für bzw. Wirkungen auf das System und seine Peripherie nicht vorab einschätzen oder in ihrem Verlauf steuern zu können. Es geht also darum, die Potenziale der Digitalisierung zielführend zu nutzen und gleichzeitig ihre immanenten Herausforderungen zu bewältigen (IFO Institut).

Vor diesem Hintergrund ergibt sich die letztlich ausschlaggebende Fragestellung, wie sich die im Hinblick auf die Versorgungssicherheit zum Teil hochsensiblen Geschäftsprozesse im Fernwärmesektor mit Instrumenten der Digitalisierung flexibler, effizienter und ggf. effektiver gestalten lassen, ohne dabei jedoch die Stabilität, Sicherheit und Kontrolle des Gesamtsystems zu gefährden oder – im Idealfall – seine Resilienz dabei sogar zu stärken.

Das Ziel im Teilvorhaben lag somit darin, einen reproduzierbaren methodischen Ansatz zu entwickeln und exemplarisch zu erproben, um kosten- und ergebnistreibende Geschäftsprozesse im Fernwärmesektor zweckmäßig und nachhaltig digitalisieren zu können. Auch wenn die Implementierung ganzheitlicher Optimierungen prinzipiell eher eine deduktive Herangehensweise (Top-down) nahelegt, implizieren sowohl die hohe Spezifität als auch die Heterogenität der individuellen Ausprägungen vor Ort hierfür zunächst eine konventionelle Bottom-up-Methodik zur datengetriebenen Analyse. Im Kern sollte also ein übertragbares Muster entwickelt werden, um auf Grundlage der verfügbaren Ereignisdokumentation in Fernwärmeversorgungsunternehmen die Defizite in verschiedenen, vornehmlich sektor-spezifischen Geschäftsprozessen systematisch identifizieren, exakt lokalisieren und somit gezielt eliminieren zu können. Dabei steigt mit der Menge und Relevanz der Defizite grundsätzlich auch das effektive Optimierungspotenzial. Im Sinne der beschriebenen Notwendigkeit für eine ganzheitliche Optimierung war es daher nur naheliegend und konsequent, einen aufbauenden Ansatz zu entwickeln, um auch die Übereinstimmungen bzw. querschneidende Belange und reziproke Abhängigkeiten in bzw. zwischen den untersuchten Geschäftsprozessen (verschiedener relevanter Anwendungsfälle) zu identifizieren. Auf diese Weise sollten weitere Synergiepotenziale geschöpft und die Voraussetzungen geschaffen werden, um die Prozesse integrativ miteinander zu verknüpfen.

## **4.3 Technologischer Ansatz**

### **4.3.1 Methodisches Vorgehensmodell**

Zur programmatischen Arbeitsvorbereitung wurde zunächst ein iteratives Vorgehensmodell festgelegt (siehe Abbildung 4-1).

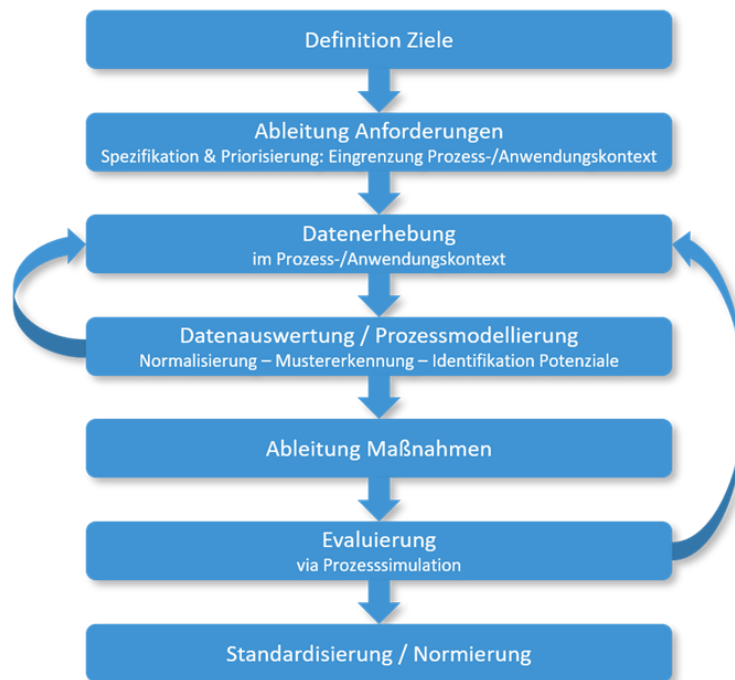


Abbildung 4-1: Iteratives Vorgehensmodell (vereinfachte Darstellung)

Initiale Grundlage des programmatischen Vorgehensmusters bildete die definierte Zielstellung (vgl. Abschnitt 4.2), die bereits im Zuge der Antragstellung irreversibel festgelegt worden war. Für jedes definierte Einzelziel konnten in der ersten Phase der Bearbeitung des Vorhabens sodann konkrete Anforderungen abgeleitet werden. Die Formulierung dieses Katalogs aus technischen Kriterien erfolgte in zwei chronologischen Schritten. Zunächst wurden, entsprechend den formulierten Zielsetzungen, die Anforderungen an das gewünschte Endergebnis identifiziert und priorisiert; gewichtet wurde dabei anhand der Skala „kritisch“ (zwingend erforderlich), „obligatorisch“ (bedingt erforderlich) oder „optional“. Die technische Spezifikation dieser auch als Lasten bezeichneten Anforderungen erfolgte noch strikt lösungsneutral. Ihre Dokumentation wurde im sog. Lastenheft zusammengefasst. Erst im sukzessiven zweiten Schritt der Anforderungsanalyse ließen sich aus den Lasten dezidierte Vorgaben an die technische Umsetzung zur Zielerreichung bzw. Problemlösung ableiten; diese als Pflichten bezeichneten Kriterien können nach dem Ein- oder Ausschlussprinzip bereits bestimmte (dezidierte) Maßnahmen implizieren bzw. ggf. auch explizieren. Ihre Zusammenfassung erfolgte im sog. Pflichtenheft. Während das Lastenheft der finalen Bemessung der Zielerfüllungsgrades dient, bildet das Pflichtenheft die maßgebliche Richtlinie für alle folgenden Schritte bei der Bearbeitung des Teilvorhabens.

Die erste Aufgabe nach der abgeschlossenen Anforderungsanalyse bestand in einer methodischen Eingrenzung des konkreten Anwendungskontexts. In diesem Zusammenhang sollten zunächst alle typischen Geschäftsprozesse identifiziert werden, die eine charakteristische

Spezifität für Unternehmen des Fernwärmesektors (Versorger und Netzbetreiber sowie sowohl unmittel- als auch mittelbar involvierte Lieferanten, Logistiker, spezialisierte Service-Dienstleister, Planer, Konstrukteure und Bauunternehmen) aufweisen. Noch vor den detaillierten Prozessanalysen fand außerdem eine Abschätzung statt, welche der identifizierten Fernwärme-typischen Geschäftsprozesse die maßgeblichsten Potenziale zur Effizienzsteigerung durch geeignete Instrumente der Digitalisierung besitzen.

Nach der Eingrenzung relevanter Geschäftsprozesse konnte sodann eine gezielte Akquise exemplarischer Realdaten bei den Praxispartnern vorgenommen werden. Da solche Eingangsdaten im Regelfall vielfältige formale Heterogenitäten aufweisen, ihr absolutes Mengenaufkommen sehr umfangreich ist und sie aus zahlreichen unterschiedlichen Bezugsquellen – einschließlich verschiedener Datendomänen und Sprachräume – zusammengetragen werden (das evidente Phänomen der Massendaten bzw. „Big Data“), mussten sie zur weiteren Verarbeitung zunächst zusammengeführt bzw. kompiliert werden. Diese notwendige Konsolidierungsphase besteht vornehmlich in einer semantischen Strukturierung und der syntaktischen Harmonisierung der Eingangsdaten sowie ggf. auch in ihrer punktuellen Vervollständigung bzw. Ergänzung. Sie ist von maßgeblicher Bedeutung für die weitere Be- bzw. Verarbeitung, da die Genauigkeit und Aussagekraft einer späteren Analyse ganz entscheidend von der Vollständigkeit und Qualität der zugrundeliegenden digitalen Ereignisdaten („Eventlogs“) abhängen. Je nach dem jeweiligen Datafizierungs- und Digitalisierungsgrad untersuchter Unternehmensprozesse, des Qualitätsniveaus bei der Ereignisprotokollierung und der technischen Interoperabilität der jeweiligen Datenquellen kann dieser Arbeitsschritt allerdings mit einem erheblichen manuellen Bearbeitungsaufwand verbunden sein. So wiesen auch die im Verlauf des Vorhabens verwendeten Praxisdaten einen sehr großen Umfang sowie – quasi repräsentative – Datenlücken und Inkompatibilitäten auf, was zur weiteren Verarbeitung ein intensives Preprocessing erforderlich machte. Unter dem Begriff Preprocessing versteht man die zweckmäßige Aufbereitung der vorliegenden Rohdaten, d.h. ihre formale Normalisierung, Korrektur, Vervollständigung, semantische bzw. qualitative Harmonisierung und konvergente Zusammenführung. Um hierfür gezielt Abhilfe zu schaffen sowie die methodische Homogenität und Reproduzierbarkeit des integrativen Ansatzes zu gewährleisten, wurde im Rahmen des Teilvorhabens eine datenbankgestützte Applikation zur systematischen Datensammlung und aufbereitung für das Process Mining Fernwärme-spezifischer Geschäftsprozesse entwickelt. Auch diese Applikation wird nach Projektabschluss als evaluiertes Arbeitsergebnis der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt.

Nach der Aufbereitung und Zusammenführung der Praxisdaten wurden die ausgewählten Anwendungsfälle schließlich methodisch analysiert und ausgewertet. Ziel der Untersuchungen war es, die Defizite in den exemplarischen Workflows zu identifizieren und Potenziale für eine



Optimierung durch digitale Instrumente konkret zu verorten. Nur durch strikte Anwendung einer einheitlichen Methodik bei allen durchgeführten Prozessanalysen konnte eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet werden. Diese Analogie stellt eine grundlegende Voraussetzung dar, um bei der späteren Entwicklung von Maßnahmen – bzw. einer übertragbaren Methodik – generalisierbare und somit auch universell anwendbare Ergebnisse sicherzustellen.

Nach erfolgreicher Praxisevaluierung dieses universellen Maßnahmenkatalogs ist es der konsequente finale Schritt im zugrundeliegenden Vorgehensmodell, die gewonnenen Erkenntnisse in Verbandsgremien zur Spezifikation eines offiziellen technischen Regelwerks einzubringen; dies schließt prinzipiell auch multilaterale Standardisierungs- oder Normierungsverfahren nicht aus. Die Standardisierung ist jedoch kein impliziter Bestandteil der Bearbeitung des Vorhabens zur Projektlaufzeit, sondern ist im Rahmen der mittel- bis langfristigen Ergebnisverwertung vorgesehen.

#### **4.3.2 Systematische Abbildung und Analyse von Geschäftsprozessen**

Bereits in den frühen 2000er Jahren entwickelte sich ein interdisziplinäres Forschungsfeld, in dem die Nutzung von Ereignisdaten in Unternehmen für die Rekonstruktion und Analyse von Geschäftsprozessen untersucht wurde (BNVKI 2001). Dabei konnten verschiedene Verfahren aus bereits etablierten wissenschaftlichen Disziplinen adaptiert und miteinander kombiniert werden; hierzu zählen insbesondere:

- » Data Mining: Statistische Methoden zur computergestützten Auswertung großer Datenbestände („Big Data“). Ziel ist die Mustererkennung, um Wiederholungen, Regelmäßigkeiten, Ähnlichkeiten oder Gesetzmäßigkeiten bestimmen zu können.
- » Business Intelligence bzw. Geschäftsanalytik: Methoden zur systematischen Analyse von Unternehmensstrukturen und -prozessen.
- » Workflow-Management: Informationstechnische Unterstützung von Arbeitsabläufen in Unternehmen. Grundsätzliches Ziel ist die Effizienzsteigerung und, im Optimalfall, die vollständige Automatisierung von Prozessen.
- » Business-Process-Management bzw. Geschäftsprozessmanagement: Konzeption, Implementierung, Steuerung, Optimierung und Dokumentation von Geschäftsprozessen.

Unter der neuen Bezeichnung „Process Mining“ wurde schließlich ein induktiver bzw. datengetriebener Bottom-Up-Ansatz entwickelt, um aus Ereignisprotokollen automatisch Prozessmodelle zu extrahieren und die Prozessabläufe zu visualisieren. Seither hat sich das Process Mining zu einem etablierten Forschungsfeld entwickelt und wird heute in verschiedenen Branchen, Unternehmen und operativen Bereichen eingesetzt (vgl. Abschnitt 4.4).

Durch die Anwendung von speziellen Algorithmen und Methoden lassen sich beim Process Mining Prozessabläufe auf Basis ihrer verteilten digitalen Spuren analysieren, visualisieren und letztlich auch zweckmäßig optimieren. Dabei werden Protokolldaten zu einzelnen Ereignissen, Prozessschritten oder Teilprozessen aus verschiedenen Bezugsquellen wie zum Beispiel Datenbanken, System- und Transaktionsprotokolle bzw. Logdateien oder Unternehmenssoftware wie beispielsweise ERP- und SCM-Systeme genutzt, um den Gesamtprozess und seinen tatsächlichen Ablauf zu rekonstruieren sowie seine Defizite zu identifizieren. Auf diese Weise können sogar augenscheinlich verlorene Informationen wiederhergestellt werden; die induktive Rekonstruktion ermöglicht es, auch das in den Quelldaten und ihren Interrelationen enthaltene, implizite und sonst verborgene Prozesswissen zu modellieren und so wieder greifbar zu machen (Freye 2023)

Das Process Mining lässt sich in drei aufeinander aufbauende Teilbereiche untergliedern (siehe Abbildung 4-2). Bei der initialen Prozesserkennung werden zunächst die vorhandenen Ereignisprotokolle ausgewertet und ein repräsentatives Ist-Prozessmodell abgeleitet, welches den tatsächlichen Abläufen zugrunde liegt. Bei der Prozessübereinstimmung wird das Ist-Modell mit einem idealisierten Soll-Zustand verglichen, um in einem ersten Schritt signifikante Abweichungen zu identifizieren und folgend auch exakt zu lokalisieren. Bei der abschließenden Prozessverbesserung wird das bestehende Ist-Modell schließlich erweitert, angepasst und zielführend optimiert, um die Effizienz des Ablaufs zu maximieren (Peters 2018).



Abbildung 4-2: Ebenen des Process Minings nach (Barenkamp 2022)

Die Technik wird oft verwendet, wenn durch andere Herangehensweisen keine formale Beschreibung der Prozesse mehr möglich (bspw. bei zu hoher struktureller oder quantitativer Komplexität des Analysegegenstands) oder wenn die Qualität existierender Prozessaufzeichnungen nicht validierbar bzw. unbestimmt ist. Process Mining bietet Unternehmen die Möglichkeit, ihre Abläufe und Routinen transparenter zu machen, effizienter zu gestalten sowie die Einhaltung von individuellen Compliance-Vorgaben zu überwachen. Eine besonders hohe Relevanz hat das Instrument auch bei der Reorganisation von Geschäftsprozessen, Geschäftsfeldern oder ganzen Unternehmensbereichen. Eine besonders wichtige Rolle nimmt das

Process Mining damit nicht zuletzt auch bei der digitalen Transformation von Unternehmen und ihren Prozessen ein (ebenda).

## **4.4 Stand der Dinge**

### **4.4.1 Stand von Wissenschaft und Technik**

Process Mining (PM) hat sich als das Werkzeug etabliert, das es möglich macht, die Vielzahl von Geschäftsprozessen und deren Varianten in Ihrer Gesamtheit inkl. der gegenseitigen Ein- und Wechselwirkungen zu erfassen, abzubilden und zu analysieren. Process Mining überbrückt die Lücke zwischen der traditionellen modellbasierten Prozessanalyse (z. B. Simulation und andere Geschäftsprozessmanagement-Techniken) und datenorientierten Analysetechniken wie maschinelles Lernen und Data Mining. Es hat dabei den Vorteil, dass anstelle einer Stichprobe die Gesamtheit der Prozesse betrachtet werden kann und dementsprechend objektive Ergebnisse zu erwarten sind. Übergeordnetes Ziel des PM ist die holistische Optimierung der Geschäftsprozesse eines Unternehmens bzw. eines Geschäftsbereiches. In einer breiter angelegten Literaturstudie zeigen (Thiede et al. 2018), dass PM system- und organisationsübergreifend bisher in Unternehmen unterrepräsentiert ist. Das gilt insbesondere für die Versorgungswirtschaft. So konnten (Thiede et al. 2018) beispielsweise zeigen, dass zwischen 2000 und 2016 von insgesamt 144 wirtschaftswissenschaftlichen Veröffentlichungen zu den Themenfeldern Organisation – System – Service nur eine zwischen 2010 und 2016 der Versorgungswirtschaft zugeordnet werden konnte (Thiede et al. 2018) .

Eine Reihe vorhandener Prozesse sind bereits miteinander verknüpft und beeinflussen sich in Effizienz und Wirkung zum Teil negativ bzw. hemmend. Hierzu kommen weitere, teilweise neue und sektorenübergreifende Prozesse, die wiederum Verknüpfungen zueinander haben und in Wechselwirkung mit bereits vorhandenen Prozessen treten. Diese Gesamtheit gilt es auch und besonders in der zunehmend Sektoren miteinander verknüpfenden Wärmewirtschaft zu koordinieren, zu optimieren und demzufolge zu steuern.

### **4.4.2 Technischer Fortschritt seit Antragstellung**

In den letzten Jahren hat sich das Process Mining sukzessive weiterentwickelt. Der Process Mining Markt ist in den letzten Jahren stark gewachsen (Bremmer). Als wesentliche Treiber gilt weiterhin die digitale Transformation, die vor Allem im Fernwärmemarkt in vielen Projekten umgesetzt wird. Neben Produkten die in Quellsysteme integriert (z.B. SAP) sind etablieren sich Systeme, die fortschrittliche Analysefunktionen auf Basis von KI (z.B. Microsoft) ermöglichen. Die fortschreitende Digitalisierung der Prozesse und die damit steigende Menge der verfügbaren Ereignisdaten vergrößern laufend die Potenziale des Process Minings in vielen Unternehmen (Barenkamp and Schnier 2023).

Neben der bisherigen Analysefunktion im Process Mining setzten die Anbieter verbreitert auf KI-gestützte Automatisierung von Prozessen. Dies wird zu einer weiteren Verzahnung von Anwendungssystemen und Process-Mining Systemen führen. Darüber hinaus werden KI-Systeme in Zukunft vermehrt die Entdeckung der Prozesse in Datalakes, die Zuordnung zu Datenschemata, die Beantwortung konkreter Fragen zu den Prozessen und allgemeine Fragen zu den Prozessen übernehmen (Microsoft 2024a). Bei der fortschreitenden Integration der KI in das Process Mining müssen zukünftig Datenschutz und Informationssicherheit noch stärker betrachtet werden und die Unternehmen und Nutzer müssen Regelungen zum verantwortungsvollen Einsatz der Technologie treffen (Microsoft 2024b)

## 4.5 Ergebnisse

### 4.5.1 Arbeitspaket 2.1: Zieldefinition

#### 4.5.1.1 Zielkriterien

Im ersten Schritt mussten allgemeine Kriterien definiert werden, die Aufschluss darüber geben, ob und wie weit sich ein Geschäftsprozess mit dem Instrument der Digitalisierung optimieren lässt.

Ein Geschäftsprozess ist charakterisiert als eine Prozesskette oder Workflow bzw. eine konsekutiv zusammenhängende Abfolge von Tätigkeiten, die einer Unternehmung dazu dienen, eine erwünschte Leistung bzw. ein Ergebnis – im Regelfall der determinierte Optimalzustand eines Systems – mit einem festgelegten Umfang zur Verfügung stehender Ressourcen und den notwendigen Informationen zu erreichen (Gadatsch 2022). Unterschieden wird dabei prinzipiell zwischen *primären* und *sekundären* Geschäftsprozessen. Primäre Geschäftsprozesse sind operative Abläufe in Unternehmungen, die einen unmittelbaren Beitrag zu einem Produkt oder einer Dienstleistung und damit zur Wertschöpfung oder zum Kundennutzen leisten (bspw. die Wärmelieferung oder Kundenabrechnung); sekundäre Geschäftsprozesse sind vor- oder nachgelagerte interne Abläufe, die die primären Geschäftsprozesse unterstützen, dabei jedoch keinen direkten Beitrag zur Wertschöpfung leisten (bspw. Instandhaltungsmaßnahmen oder die Finanzbuchhaltung) (Schmelzer and Sesselmann 2020).

Eine Steigerung der Prozesseffizienz bzw. Produktivität äußert sich entweder dadurch, dass der Ressourcenaufwand bei Beibehaltung eines bestimmten Grads der Zielerfüllung gesenkt wird (sog. *Minimalprinzip*) oder dass, bei gleichbleibendem Ressourceneinsatz, der Grad der Zielerfüllung erhöht wird (sog. *Maximalprinzip*). Zur Bemessung lassen sich somit grundsätzlich drei wesentliche Eigenschaften eines Prozesses heranziehen, die gleichzeitig auch die potenziellen Ansätze seiner Optimierung darstellen:

- » Die **Zeit**, die zur Durchführung benötigt wird.

- » Seine Effektivität bzw. die **Qualität** des finalen Ergebnisses oder Produkts (Zielerfüllungsgrad).
- » Die zur Durchführung eingesetzten **Ressourcen** bzw. seine **Kosten**.

Hieraus ergibt sich ein dreidimensionales System (siehe Abbildung 4-3), deren Dimensionen in wechselwirkender Abhängigkeit stehen. Ist die Ausgangssituation durch eine natürliche Limitierung vorhandener Ressourcen und Informationen sowie die Prozessinfrastruktur durch ein vorgegebenes Instrumentarium (Methoden und Werkzeuge) definiert, so lassen sich maximal zwei Dimensionen zulasten der dritten optimieren; wenn ein Prozess beispielsweise beschleunigt wird, muss sich das zwangsläufig negativ auf die Ergebnisqualität auswirken, wenn nicht gleichzeitig auch der Ressourceneinsatz zulasten der Kosten erhöht wird. Um einen Prozess also nicht nur relativ neu auszurichten bzw. zu repriorisieren, sondern seine Gesamteffizienz bei gleicher Ausgangssituation zu steigern, muss zwangsläufig eine Optimierung seiner Infrastruktur erfolgen.

Eine Anpassung der Prozessinfrastruktur erfolgt, unter Beibehaltung der Zielstellung und Rahmenbedingungen, durch die Implementierung neuer Instrumente – also eine Änderung der Methodik und/oder die Anwendung alternativer Werkzeuge. Die moderne Informationstechnologie bietet dafür sowohl im Software- (vgl. Abbildung 4-3) als auch im Hardwarebereich (bspw. Technologien des „Internets der Dinge“) bereits zahlreiche Ansätze.

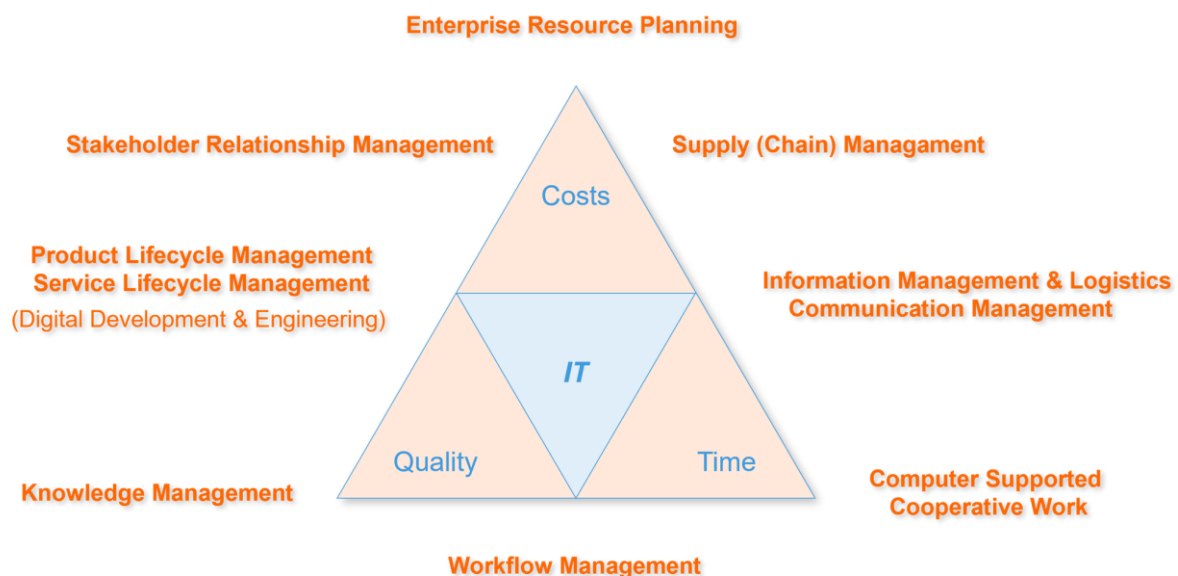


Abbildung 4-3: Dimensionen der Optimierung und etablierte digitale Instrumente

Die Zielstellung der Potenzialermittlung lag jedoch nicht nur darin, geeignete Instrumente zu identifizieren, sondern auch in der Quantifizierung des potenziellen Effekts einer Steigerung des Digitalisierungsgrads. Hierfür mussten zunächst die übergeordneten Zielkriterien

angesetzt werden, um die Ausrichtung des Prozesses und den Zweck der seiner Transformation vorzugeben. Darüber hinaus war es außerdem erforderlich, die wesentlichen Einflussfaktoren und Prozessparameter eines Anwendungsfalls zu definieren, also die kontextuellen Anforderungen an die jeweilige Zweckmäßigkeit zu spezifizieren.

Die übergeordneten Zielkriterien wurden wie folgt definiert:

- » **Prozess-Transparenz:** Schaffung eines klaren Überblicks über den Zustand und den Ablauf bzw. die Funktionsweise des Prozesses („As-Is“).
- » **Prozess-Umwandlung:** Identifikation von Engpässen, Fehlern und ineffizienten Abläufen im Prozessablauf. Vereinfachung der Bearbeitung durch methodische Glättung.
- » **Verkürzung der Durchlaufzeit:** Steigerung der Reaktionszeit auf Ereignismeldungen inkl. der kausalen Lösungsfindung (Entscheidung über notwendige Folgeprozesse) sowie Reduktion des manuellen Aufwands und Fehlervermeidung bei der Ein- und Weitergabe von Informationen. Gezielte Lokalisierung von Engpässen, Fehlern und ineffizienten Abläufen zur späteren Optimierung.
- » **Kosteneinsparung:** Detektion versteckter Schwachstellen in der Prozessbearbeitung sowie Mustererkennung zur Ermittlung von Automatisierungspotenzialen.
- » **Prozess-Kopplung:** Identifikation und Bemessung prozess-, bereichs- sowie ggf. auch unternehmensübergreifender Synergiepotenziale in Prozessabläufen zur Effizienzsteigerung durch integrative Verknüpfung querscheidender Geschäftsbelange. Insbesondere auch die Erkennung wechselwirkender Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Geschäftsprozessen.
- » **Verbesserte Compliance:** Auffindung von Abweichungen im Prozessablauf mit gesetzlichen Vorschriften oder internen Vorgaben und Richtlinien.
- » **Erhöhung Kundenzufriedenheit:** Verbesserung der Kundenerfahrungen durch gezielte Identifikation von Problemen im Prozessablauf, die sich negativ auf die Zufriedenheit involvierter Kunden bzw. Stakeholder auswirken.

#### 4.5.1.2 *Evaluierung*

Für die Evaluierung sowohl der Effizienz als auch der Effektivität wurden die untersuchten Geschäftsprozesse der Praxispartner von der Meldung des auslösenden Ereignisses („Trigger“) bis zum Abschluss im Zuge der Projektbearbeitung mittels eines kontinuierlichen Monitorings überwacht und dokumentiert. Um bei der Auswertung der Prozessdokumentationen eine generelle Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen, musste ein einheitliches Instrumentarium angewendet werden. So wurde bereits im Vorfeld ein Satz von Leistungsindikatoren (*Key Performance Indicators, KPI*) bestimmt, der folgende Zwecke erfüllt:

- » Hinreichender Aufschluss über die Effizienz der untersuchten Prozesse.

- » Hinreichender Aufschluss über die Effektivität bzw. den Zielerreichungsgrad der untersuchten Prozesse.
- » Universelle und eindeutige empirische Messbarkeit.
- » Universelle Anwendbarkeit – sowohl auf verschiedenen Ebenen als auch in verschiedenen Domänen bzw. Kontexten und unabhängig von spezifischen Anwendungsfällen.
- » Universelle Vergleichbarkeit – analoge Konformität der Analyseergebnisse in allen untersuchten Anwendungskontexten.
- » Mittelbare Abbildung der Zufriedenheit des Kunden bzw. Auftraggebers.
- » Ermittlung der Digitalisierungsgrade untersuchter Geschäftsprozesse sowie ggf. vorhandener Medienbrüche in digitalen Schnittstellen.

Für ein zweckdienliches Benchmarking auf dieser Grundlage wurden schließlich folgende KPIs festgelegt und bei allen Prozessanalysen konsequent angewandt:

- » **Workflow-Management:** Informationstechnische Unterstützung von Arbeitsabläufen in Unternehmen. Grundsätzliches Ziel ist die Effizienzsteigerung und, im Optimalfall, die vollständige Automatisierung von Prozessen.
- » **DLZ** („Durchlaufzeit“): Gesamte Durchlaufzeit vom Trigger bis zum finalen Abschluss des Bearbeitungsprozesses. Die DLZ ist damit das repräsentative Maß für die Effizienz eines Prozesses; lange Durchlaufzeiten erhöhen durch ein stetig steigendes Fehlerpotenzial jedoch auch das Risiko qualitativer Mängel – gefährden also auch die Effektivität des Prozesses (Richard Muther and Lee Hales), ((Womack 2007)).
- » **MTTR** („Mean Time To React“ bzw. mittlere Wiederherstellungszeit): Abbildung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit eines Problemlösungsprozesses. Die MTTR repräsentiert die vergangene Zeit zwischen dem Trigger des Prozesses und seinem erfolgreichen Abschluss bzw. der finalen Problemlösung. Dieser Zeitraum umfasst also auch die Erkennung, also die Detektion und Lokalisierung, sowie Diagnose des Problems.
- » **FTFR** („First Time Fix Rate“): Abbildung der Effektivität eines Bearbeitungsprozesses. Die FTFR gibt an, in wie viel Prozent der Fälle ein Problem bereits beim ersten Versuch gelöst werden konnte. Eine hohe FTFR bedeutet, dass ein spezifischer Problem- bzw. Anwendungsfall häufig bereits beim ersten Lösungsversuch behoben werden konnte. Über die FTFR lässt sich somit indirekt auch auf die mittlere Zufriedenheit des Auftraggebers bzw. Kunden rückschließen.
- » **MDG** („Meldungs-Digitalisierung-Grad“): Anteil der Meldungen, die automatisiert ausgelöst und per Datenfernübertragung (kabelgebunden oder per Funk) kommuniziert werden. Der MDG ist ein Indikator für den Fortschritt, den ein Unternehmen bei der Digitalisierung seiner Geschäftsprozesse erreicht hat. Es ist ein Maß dafür, wie durchgängig und effizient die Digitalisierung bereits umgesetzt wurde – sowohl bezogen auf

den einzelnen spezifischen Problem- bzw. Anwendungsfall, als auch im gesamten Unternehmen sowie prozess-, abteilungs- und bereichsübergreifend. Darüber hinaus können Informationsinseln gezielt lokalisiert und in der Folge vernetzt oder aufgelöst werden.

Aus den definierten Schlüsselindikatoren wurden schließlich auch konkrete Anforderungen an die Gestaltung des Process Mining Modells abgeleitet und priorisiert. Vorrangig sind dabei Filterfunktionen nach Typ, Typenklasse sowie der lokalen und temporalen Verortung (Lage, Position und ggf. Zeit und Kondition) des Problems bzw. des Bearbeitungsgegenstands. Das Prozess Modell selbst muss die Kennzahlen DLZ, MTTR und MDG auf Basis der Filter ausweisen.

#### *4.5.1.3 Methodische Eingrenzung sektorspezifischer Digitalisierungskontexte*

Die Digitalisierung verändert Wirtschaft und Gesellschaft grundlegend und erstreckt sich auf alle Bereiche. Die Anwendung des Process Minings konzentrierte sich zu anfangs noch stark auf das Lieferkettenmanagement im industriellen Sektor, mittlerweile werden jedoch sektorübergreifend jedoch viele Bereiche abgedeckt (Freye 2023). Dies beinhaltet auch allgemeine Organisations-, Verwaltungs- und Planungsroutinen, wie sie auch in der Energieversorgungswirtschaft vorkommen. In den überwiegend hochsensiblen Geschäftsprozessen, die unmittelbar oder mittelbar die substanziellen Versorgungsaufgaben betreffen, besteht jedoch noch ein eklatanter Aufholbedarf (Thiede et al. 2018). Dies gilt insbesondere für die Fernwärmebranche, die stark diversifiziert und von vielen kommunal oder regional ausgerichteten Anbietern geprägt ist. Die vorgegebene Zielstellung im Teilvorhaben war es daher, speziell Fernwärmecharakteristische Geschäftsprozesse hinsichtlich einer Analyse der Digitalisierungspotenziale zu fokussieren.

### **Handlungsfelder**

In diesem Sinn galt es zunächst zu identifizieren, welche Handlungsfelder der Digitalen Transformation für den Fernwärmesektor grundsätzlich relevant sind und gleichzeitig hinreichende Optimierungspotenziale bieten. Im zweiten Schritt mussten dann domänen-spezifische Anwendungsfälle eingegrenzt werden. Diese Eingrenzung sollte einerseits eine eindeutige Repräsentativität für die Fernwärmebranche sicherstellen; andererseits impliziert die gezielte Ausrichtung auf Fernwärmesysteme lokaler Ausprägungen in der Regel auch einen hohen Unikatscharakter. Dies erhöht die Komplexität des Untersuchungsgegenstands, die sich durch zahlreiche kausale Abhängigkeiten nach Außen (bspw. Börsenstrompreise oder Wetterprognosen) und innere Wechselwirkungen (bspw. der reibungslose Betrieb einer Anlage mit ihrem technischen Zustand oder die adäquate Wärmelieferung mit der Kunden-zufriedenheit) noch drastisch erhöht.



Aus diesem Grund wurde ein methodischer Top-Down-Ansatz zur systematischen Abschichtung gewählt. Die ganzheitliche Sicht auf das System gewährleistet eine vollständige Erfassung sowie die Überschaubarkeit. Es wird gleichfalls vermieden, dass durch eine isolierte Betrachtung verknüpfter Prozesse falsche Ergebnisse generiert werden. Wesentliche Potenziale für integrale Digitalisierungsstrategien erstrecken sich über multiple Handlungsfelder und Anwendungsfälle hinweg.

Für die Digitale Transformation in der Wirtschaft existieren verschiedene, thematisch zum Teil unscharf abgegrenzte Anwendungsbereiche, welche organisatorischen Strukturen, Ressourcen und Geschäftsmodelle widerspiegeln. In der IMPULS-Studie (Lichtblau et al. 2023) „INDUSTRIE 4.0-Readiness“ des VDMA (Lichtblau et al. 2015) wurden sechs anwendungsbezogene Sektoren bzw. thematische Handlungsfelder für den Maschinen- und Anlagenbau identifiziert. Das Handlungsfeld „Operations“ umfasst dabei alle integrativen Prozesse, die zur Herstellung eines Produkts erforderlich sind. Hierzu zählen bspw. die Betriebsplanung und -führung, d. h. die Steuerung und Kontrolle der eingesetzten Assets. Sie interagieren also unmittelbar mit den betrieblichen Anlagen, die wiederum ein eigenes abgegrenztes Handlungsfeld bilden, das unter dem Begriff „Factory“ zusammengefasst wurde. Dies gilt im produzierenden Gewerbe genauso wie in der Wärmewirtschaft. Alle thematischen Aspekte im direkten Zusammenhang mit dem angestrebten Endresultat der „Operations“ – also dem herzustellenden Produkt – wurden dagegen durch das Handlungsfeld „Products“ beschrieben. Übertragen auf den Fernwärmesektor handelt es sich beim Produkt um die Wärmeversorgung – analog zu „Product“ also „Supply“; es beinhaltet sowohl die Versorgung der Kunden als auch ander kundenbezogenen Dienstleistungen (z.B. Zählerauslesung, Abrechnung und Rechnungsstellung). Das Handlungsfeld „Factory“ umfasst, übertragen auf den Fernwärmesektor, sowohl die Erzeugungs- als auch die Leitungsinfrastrukturen und lässt sich somit unter dem neutralen Begriff „Assets“ zusammenfassen.

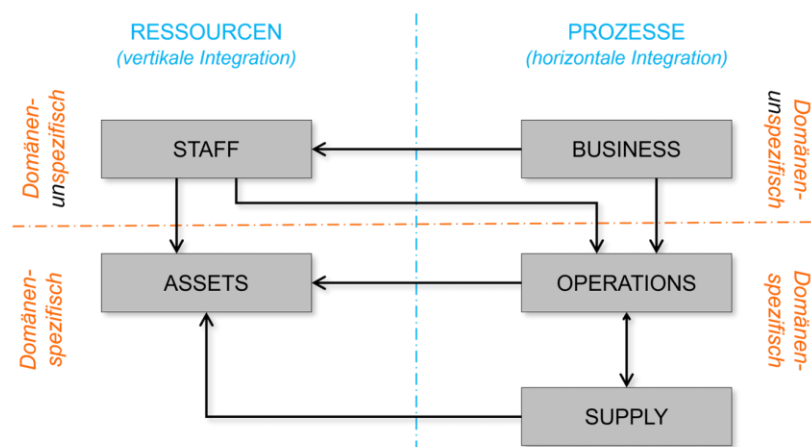


Abbildung 4-4: Thematische Handlungsfelder und Abhängigkeiten

Als weitere Handlungsfelder identifizierten die Macher der Studie „Strategie und Organisation“, „Mitarbeiter“ sowie „Data-driven-Services“. „Strategie und Organisation“ adressiert dabei die Kultur (bspw. Zielplanung, strategische bzw. politische Compliance, Innovations- und Investitionsbereitschaft), die Führung (bspw. Leitbilder, Managementmethoden und taktische Compliance) sowie die Organisation (bspw. Unternehmensstrukturen, Verwaltungsroutinen und Regeln bzw. operative Compliance) einer Unternehmung; es lässt sich durch den Überbegriff „Business“ zusammenfassen. Beim Handlungsfeld Mitarbeiter bzw. „Staff“ geht es dagegen um die Kompetenz, Verfügbarkeit, Kapazität und Einsatzbereitschaft des Personals. Nicht inbegriffen sind die Festlegungen kompetenz- oder projektbezogener Rollen und Zuordnung von Zuständigkeiten. Hierbei handelt es sich um integrale Bestandteile der Definition von Unternehmensstrukturen, die im Bereich Strategie und Organisation verortet werden. Das letzte Handlungsfeld „Data-driven Services“ beschreibt als querschneidender Belang schließlich datenbasierte Analysen, Auswertungen und Dienstleistungen über alle Unternehmensbereiche und Handlungsfelder hinweg.

Während die Handlungsfelder „Operations“, „Assets“ und „Supply“ damit eine eindeutig domänenspezifische Ausprägung besitzen, verhält es sich bei den Kategorien „Mitarbeiter“ sowie „Business“ anders. Sie sind für die Fernwärmebranche gleichfalls relevant, jedoch auf alle Wirtschaftssektoren gleichermaßen anwendbar. Das in der VDMA-Studie identifizierte Handlungsfeld „Data-driven Services“ war im gegenständlichen Kontext dagegen obsolet. Hierbei handelt es sich nicht um einen thematischen Anwendungsbereich für digitale Transformationsprozesse, sondern bereits um konkrete Ausprägungen ihrer technischen Umsetzung. So handelt es sich beispielsweise auch beim Process Mining um eine datengetriebene Dienstleistung (vgl. Abschnitt 4.3.2). „Data-driven Services“ sind damit per Definition Teil der Lösung und nicht Teil des Problems.

Als weiteres Gliederungsmerkmal lassen sich die Handlungsfelder in zwei Kategorien differenzieren. Zum einen handelt es sich um reale physische Subjekte („Staff“) oder Objekte („Assets“), die sich unter dem Oberbegriff „Ressourcen“ zusammenfassen lassen. Die Handlungsfelder „Business“, „Operations“ und „Supply“ adressieren dagegen „Prozesse“. Ein einzelner Anwendungsfall ist grundsätzlich einem Handlungsfeld thematisch zugeordnet, kann sich jedoch über mehrere Anwendungsfelder erstrecken. Dies erklärt sich aus ihren wechselseitigen Abhängigkeiten. „Prozesse“ haben generell einen Objektbezug und müssen daher auf „Ressourcen“ zugreifen können. „Ressourcen“ wiederum benötigen „Prozesse“, die sie steuern. Eine isolierte Betrachtung bestimmter „Prozesse“ oder „Ressourcen“ ist deshalb im Regelfall nicht zielführend.

## Anwendungsfälle

Auf der Grundlage des Lastenhefts (siehe Abschnitt 4.3.1) konnte der Untersuchungsgegenstand im Sinne einer zielführenden Fokussierung des Teilprojekts schließlich eingegrenzt werden. Verortet sind die konkreten Anwendungsfälle vornehmlich in den thematischen Handlungsfeldern „Assets“, „Operations“ und „Supply“. Der anzustrebende Fokus beinhaltet damit nun nur noch diejenigen Geschäftsprozesse, die zum einen eine hohe Domänen-spezifität für die Fernwärmebranche aufweisen und zum anderen auch relevante Optimierungspotenziale besitzen. Weitere Einschränkungen der konkreten Anwendungs-kontexte konnten, bspw. aufgrund individueller Prioritäten oder Datenrestriktionen der Praxispartner, im Einzelfall jedoch nicht vorab ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse der methodischen Abschichtung zur Identifizierung relevanter Anwendungsfälle sind in der Tabelle 4-1 dargestellt. Eine eindeutige Zuordnung von Anwendungsfällen zu den Handlungsfeldern ist aufgrund querschneidender Belange nicht immer möglich. Darüber hinaus können grundsätzlich auch weitere Abhängigkeiten ohne dedizierten Fernwärmebezug existieren, beispielsweise im Zuge von Sektorkopplungen. Weiterhin ist die konkrete Kategorisierung perspektivisch, sodass verschiedene dezidierte Anwendungsfälle partiell oder holistisch zu individuellen Geschäftsprozess-Ausprägungen integrativ kombiniert bzw. zusammengefasst werden können; aus diesem Grund wurden dezidierte und integrative Kategorisierungsansätze differenziert.

Tabelle 4-1: Relevante Anwendungsfälle für die Digitalisierung im Fernwärmesektor

Handlungsfeld	Anwendungsfall	
	dezidiert	integrativ
ASSETS	Planung Erzeugungsanlagen (operativ)	Planung und Bau Erzeugung
	Bau Erzeugungsanlagen	
	Planung und Bau Speicher	
	Planung Netze (operativ)	Planung und Bau Netze
	Bau Netze	
	(Geplante) Wartung Erzeugung	Wartung und Instandhaltung (proaktiv)
	(Geplante) Wartung Netze	
	Störungsmanagement Erzeugung (sporadisch auftretende Störungen)	Störungsmanagement (reaktiv)
	Störungsmanagement Netze (sporadisch auftretende Störungen)	
Metering/Monitoring/Digital Twins		
OPERATIONS	Brennstoffversorgung/-logistik	Supply-Chain-Management
	Brennstoff-/Strom-/Emissionshandel (Energienmärkte)	
	Betriebsmitteleinsatz und -fahrweise (zentrale Erzeugung)	Supply-Side-Management (KEO)
	Betriebsmitteleinsatz und -fahrweise (verteilte Erzeugung)	
	Speicherbetrieb	Netzbetrieb
	Netzbetrieb	
Demand-Side-Management		
SUPPLY	Kundenakquise	→ BUSINESS → Marketing
	Technischer Kundendienst	→ Störungsmanagement
	Zählerauslesung	
BUSINESS	Fakturierung/Billing	Kundenabrechnung
	Preisbildung	

#### 4.5.1.4 Umfrage zur Priorisierung der Anwendungsfälle

Durch die methodische Analyse zur Identifikation domänenspezifischer Geschäftsprozesse mit hinreichendem Potenzial für eine digitale Transformation konnten insgesamt 30 repräsentative Anwendungsfälle festgestellt werden (vgl. Abschnitt 4.5.1.3). Da jedoch nicht mehr drei oder vier exemplarische Geschäftsprozesse im Zuge des Vorhabens evaluiert werden konnten, mussten diese eingegrenzt werden. Unter Einbindung der assoziierten Praxispartner wurde dazu bereits im Zuge der Abschichtung eine Priorisierung vorgenommen. Für eine finale Auswahl und Festlegung der konkreten Praxisbeispiele sollte jedoch ein breiteres und repräsentativeres Branchenfeedback eingeholt werden.

Aus diesem Grund wurde, zur Diskussion der möglichen Anwendungsfälle und ihrer Digitalisierungspotenziale, beim Verbundpartner AGFW ein Praxisworkshop sowie, parallel dazu, eine internetbasierte Online-Umfrage unter Fernwärmeversorgungsunternehmen und -netzbetreibern sowie verbundenen Branchendienstleistungsgesellschaften durchgeführt. Dieser Austausch ließ zwar eine Ableitung plausibler Erkenntnisse zu, aufgrund einer nicht hinreichenden absoluten Teilnehmerzahl sind die Ergebnisse wissenschaftlich jedoch nur bedingt repräsentativ.

Die Diskussionen und Befragungen im Rahmen des Workshops und der Umfrage verfolgten vornehmlich folgende Absichten:

- » Notwendigkeit und Dringlichkeit der digitalen Transformation im Fernwärmesektor.
- » Kategorisierung, Potenzialermittlung und Priorisierung Fernwärme-spezifischer Geschäftsprozesse für eine digitale Transformation.
- » Diskussion der Instrumente zur digitalen Transformation von Geschäftsprozessen – insbesondere des Process Minings.
- » Relevanz bestimmter Methoden, Werkzeuge und Phasen des Process Minings.
- » Voraussetzungen und Möglichkeiten zur Einführung des Process Mining als Treiber der Digitalisierung in den Unternehmen der Fernwärmebranche.
- » Konkrete Anforderungen und Wünsche beteiligter Unternehmen im kontextuellen Zusammenhang.

### Erkenntnisse

Allen befragten Unternehmen war die grundsätzliche Notwendigkeit und teilweise auch hohe Dringlichkeit einer digitalen Transformation ihrer Geschäftsprozesse bewusst. Das ist jedoch wenig überraschend und wahrscheinlich auch kaum repräsentativ, da sich hieraus letztlich auch die Motivation zur Teilnahme erklärt. Die systematische Methode des Process Minings in diesem Zusammenhang war einem Großteil der teilnehmenden Unternehmen allerdings noch nicht bekannt. So konnten lediglich ca. 18% der Unternehmen schon Erfahrungen mit

dem gezielten Einsatz dieser Technologie sammeln. Dies lässt, in Übereinstimmung mit den Studienergebnissen von (Thiede et al. 2018), auch die Schlussfolgerung zu, dass spezifische Geschäftsprozesse der Energieversorgungswirtschaft und insbesondere des Fernwärme-sektors bislang noch kaum im Fokus der digitalen Transformation standen. Diese Feststellung wurde ferner auch mit den Antworten bzgl. eingesetzter Methoden zur Modellierung typischer Geschäftsprozesse untermauert. So werden beispielsweise bei mehr als 60% der befragten Unternehmen für Verfahrensanweisungen noch immer rein dokumentbasierte textuelle Beschreibungen genutzt (siehe Abbildung 4-5).



Abbildung 4-5: Prozessdokumentation in teilnehmenden Unternehmen (Auszug)

Dennoch ist unter den Teilnehmern bereits ein ausgeprägtes Bewusstsein vorhanden, dass das Fehlen einer konvergenten digitalen Repräsentation Intransparenzen schafft und keine automatisierten Auswertungen zulässt. Dabei steht eine regelbasierte Automatisierung und Optimierung bereits klar im Fokus der Bemühungen der befragten Unternehmen. Die Überprüfung der Konformität von Prozessen ist in diesem Zusammenhang jedoch noch kein vorrangiges Thema bei den beteiligten Unternehmen, sondern eher der vorbereitende Schritt eines „Process Discovery“ (vgl. dazu Abschnitt 4.3.2), um vorhandene Effizienzverluste aufzudecken und gezielte Einzelmaßnahmen zur Optimierung abzuleiten.

Verbesserungen der Effizienz ließen sich bei den Teilnehmern bislang – unabhängig vom konkreten Anwendungsfall – in der Regel nur partiell durch isolierte Optimierungen einzelner Prozessschritte auf Basis stichprobenartiger Untersuchungen vornehmen. Weiterhin lässt sich konstatieren, dass die Komplexität der Abfolge einzelner Prozessschritte tendenziell eher gering ausfällt, die Anzahl der Wiederholungen eines Prozesses bzw. die Anzahl seiner Fallinstanzen mit im Mittel mehr als 1.000 Fällen im Jahr dagegen vergleichsweise hoch ist (siehe Abbildung 4-6). Damit ist übereinstimmend festzustellen, dass sowohl der Bedarf eines systematischen Process Minings in der Fernwärmebranche hoch ist als auch die grundlegen-

den Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz des Werkzeugs geradezu prädestiniert sind.

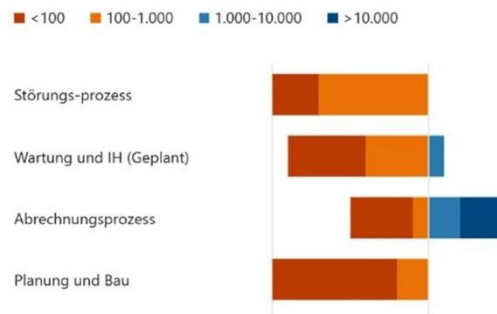


Abbildung 4-6: Relative Häufigkeit relevanter Geschäftsprozesse (Abläufe pro Jahr)

Die größten Potenziale zur Optimierung Fernwärme-spezifischer Geschäftsprozesse durch das Instrument Digitalisierung wurden vorrangig bei der Kundenabrechnung (meter-to-cash) gesehen (siehe Abbildung 4-7), jedoch wird ein breiter Querschnitt verschiedener Handlungsfelder mit dem Fokus auf besonders relevante Geschäftsprozesse abgebildet. Die Einschätzung der teilnehmenden Unternehmen entspricht im Wesentlichen auch den eigenen Erfahrungen der Verbundpartner. Der Abrechnungsprozess ist in klassischen Beispielen des Prozessmanagement durch seine quantitative Eignung immer wieder herangezogen worden (Krüger and Helmers 2020).



Abbildung 4-7: Digitalisierungspotenziale und -notwendigkeiten aus Branchensicht

Der Abrechnungsprozess umfasst hier alle Phasen von der Ablesung der Verbrauchszähler beim Kunden über die Übermittlung, Strukturierung und Auswertung der Daten, die Rechnungserstellung bis hin zur finalen Transaktion und Buchung der Forderungen. Die Befragung konnte zwar die Annahme bestätigen, dass gerade die Abrechnungsprozesse bereits hochgradig IT-gestützt sind. Dabei kommen jedoch vornehmlich vor allem kaufmännische Systeme wie SAP, Oracle oder Salesforce zu Einsatz, die sich auf die Fakturierung konzentrieren. Mit ganzheitlicher Sicht auf den Gesamtprozess wird dagegen zumeist eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme eingesetzt, weshalb im Regelfall auch zahlreiche Prozess- und Technologieschnittstellen überwunden werden müssen. Aufgrund der mangelhaften Interoperabilität war es bei den meisten der teilnehmenden Unternehmen in der Vergangenheit daher auch nicht

oder nur schwer möglich, ein ganzheitliches Bild des Geschäftsprozesses über alle Instanzen einer definierten Abrechnungsperiode hinweg zu erzeugen.

Auf Grundlage der Umfrageergebnisse wurden schließlich auch die konkreten Anwendungsfälle für eine Evaluierung im Rahmen des Vorhabens festgelegt. In Reihenfolge ihrer Priorität sind dies:

- » Störfallmanagement; reaktive Bearbeitung sporadischer Störungen im Netz.
- » Wartung und Instandhaltung; proaktive, geplante Routinen zum Erhalt der Funktionsfähigkeit und Stärkung der Resilienz von Leitungsnetzen.
- » Kundenabrechnung (integrative Betrachtung).

Beim den Anwendungsfällen Störfallmanagement sowie Wartung und Instandhaltung wurde der Fokus aufgrund der lokalen Verteilung und des damit erhöhten Optimierungspotenzials auf das Leitungsnetz gelegt. Wegen des höheren Optimierungspotenzials sporadisch auftretender und unvorherbestimmbarer Ereignisse erfolgte schließlich auch eine höhere Priorisierung des Störfallmanagements zum Anwendungsfall der planmäßigen Wartung und Instandhaltung. Der Geschäftsprozess zur Kundenabrechnung musste trotz seiner sehr hohen Praxisrelevanz nachrangig priorisiert werden, da aufgrund datenschutz- und -sicherheitsrechtlichen Restriktionen personenbezogener Kundendaten leider kein hinreichend umfangreicher und detaillierter Praxisdatenbestand zur Auswertung zur Verfügung gestellt werden konnte. Betriebs- und Planungsprozesse wurden nicht betrachtet, da in diesem wissenschaftlichen Kontext bereits zahlreiche andere Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit innovativen Digitalisierungslösungen ansetzen.

### Hemmnisse

Im Rahmen des AGFW-Workshops wurden den Teilnehmern auch exemplarische Auswertungen vorliegender Anwendungsfälle der assoziierten Praxispartner vorgestellt. Die Ergebnisse sorgten, ob ihrer eklatanten Potenzialidentifikation, für breites Erstaunen und erzeugten eine durchweg sehr positive Resonanz.

Eine generell eher kritische Haltung hinsichtlich der Digitalisierung und Vernetzung von Geschäftsprozessen in der Versorgungswirtschaft ist jedoch trotzdem noch sehr ausgeprägt. Einerseits besteht bei ganzheitlichen Transformationsansätzen weiterhin ein signifikantes Konfliktpotenzial mit datenschutz- und sicherheitsrechtlichen Belangen. Die notwendige Kapse- lung verschiedener Ereignisdaten und verbundener Prozesse wirkt einer integrativen Optimierung oftmals entgegen oder verhindert diese. Ein anderer evidenter Aspekt, der zu inhärenten Vorbehalten hinsichtlich der digitalen Transformation innerhalb der Branche führt, besteht in einer unsicheren bzw. ungewissen Resilienz digitaler Prozessabläufe. Damit ist im



Wesentlichen gemeint, dass die Stabilität und Resilienz virtueller Systemabbilder die Resilienz des physischen Systems niemals riskieren oder die Kontrolle darüber in irgendeiner Weise beeinträchtigen darf. Mit der Komplexität der Prozesse und Anzahl der eingesetzten digitalen Werkzeuge nehmen diese Unsicherheit grundsätzlich aber zu. Dies lässt sich auf eine oft fehlende, manchmal proprietäre, uneinheitliche, nicht ausreichende oder hinreichend unterstützte Standardisierung bzw. Normierung der inneren und äußeren Schnittstellen zurückführen. Hier wird zum Abbau der Hemmnisse ein dringender Handlungsbedarf sowohl für die Forschung als auch die Gesetzgebung ausgemacht.

#### **4.5.2 Arbeitspaket 2.2: Process Mining**

Die Geschäftsprozesse der projektbeteiligten Fernwärmeversorgungsunternehmen werden aufgenommen und mittels einer Modellnotation zur Abbildung von Geschäftsprozessen erfasst (BPMN 2.0 oder ereignisgesteuerte Prozesskette). Für die Aufnahme der Geschäftsprozesse werden Prozessbegleitungen Vor-Ort inkl. Interviews der Fachabteilungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Vor-Ort-Begehungen und Interviews sind Prozesslandkarten der Unternehmen.

Die Prozessbeschreibungen müssen neben den Aktivitäten auch die eingesetzten Systeme zuordnen. Dabei werden die kaufmännischen sowie technischen Systeme berücksichtigt. Darüber hinaus werden alle weiteren Werkzeuge und Datenquellen identifiziert, die Prozessdaten erfassen, bearbeiten oder speichern. In Vorbereitung auf das Process Mining müssen in den Darstellungen auch die Medienbrüche und die zugeordneten übergreifenden Geschäftsvorfälle erfasst werden.

Die Entitäten der erfassten IT-Systeme werden in einem Datenmodell mit den notwendigen Abhängigkeiten und Datenschnittstellen abgebildet. Dieses bildet die Grundlage der Prozessanalyse. Aus den Data-Sets der Mitgliedsunternehmen werden Event-Logs für die definierten Geschäftsprozesse generiert. Dies ist die Grundlage für ein Process Mining, um den Digitalisierungsgrad und die Potenziale auf Basis der Gesamtheit der Geschäftsprozessdaten zu ermitteln.

Es wird ein detailliertes Abbild der tatsächlichen Prozesse erstellt, um digitalisierungsbasierte Potenziale herauszuarbeiten. Kernfragen sind dabei:

- » Wer setzt den Prozess um (personelle vs. autonome Prozessabwicklung)?
- » Wie wird der Prozess umgesetzt?
- » Was wird in dem Prozess bearbeitet?

In der Analyse werden gezielt Systemlücken aufgedeckt, die zu Informations- und/oder Medienbrüchen führen und so die Komplexität der Prozesse erhöhen. Es ist notwendig alle

Varianten eines tatsächlichen Prozesses aufzudecken, um den internen manuellen Aufwand und Engpässe zu identifizieren.

Das Mining der Prozesse wird unter dem Aspekt der Bestimmung des Digitalisierungsgrades, des Beitrages zur Zielerreichung sowie zu Bestimmung der Konformität der tatsächlichen Prozesse mit den vorgegebenen Soll-Prozessen des Unternehmens durchgeführt. In einer zweiten Stufe werden die Unterschiede in der Bearbeitung der Prozesse innerhalb der Modellgruppe bestimmt. Auf Basis der GP-Modelle werden Prozessfolgen identifiziert, die in den Unternehmen übergreifend auftreten. So werden Prozesscluster erstellt, die repräsentativ für die Fernwärmebranche (und ggf. für andere Akteure der Versorgungswirtschaft) sind.

Die Durchführung des AP erfordert die gezielte Aufnahme von Daten. Dabei handelt es sich um Detailinformationen zu Prozessabläufen zur Darstellung derer in der gewählten Geschäftsprozessnotation. Darüber hinaus werden zur Nutzung des Process Mining verschiedene Varianten der Durchführung eines Prozesses aufgenommen und miteinander verglichen.

#### *4.5.2.1 Vorbereitung*

Um eine möglichst hohe Aussagequalität und Vergleichbarkeit der Ergebnisse beim Process Mining sicherzustellen, war es zunächst zwingend erforderlich, eine einheitliche und strukturierte Methode für die durchgängig konvergente Datenerhebung sowie ihre digitale Notation, Konsolidierung und Speicherung zu entwickeln. Für jeden der definierten Anwendungsfälle wurden zunächst die relevanten Kriterien und Parameter festgelegt sowie eine adäquate Chronologie zur deren Abfrage bestimmt. Für die zentrale Persistierung wurde eine objektrelationale Datenbank konzipiert und angelegt, deren Architektur (Entity-Relationship-Model) direkt vom entworfenen Metamodell (vgl. Abschnitt 4.5.3.2) adaptiert wurde. Im weiteren Verlauf der Bearbeitung mussten dann lediglich noch dedizierte Schnittstellen zu den verwendeten Analysewerkzeugen implementiert werden.

Für die unabhängige Abbildung des Prozessmining wurde eine App erstellt, die auf Entitäten zum Störungsmanagement und für die Datenerfassung des Instandhaltungsmanagements genutzt werden kann. Die entwickelte Datenstruktur dient als Grundlage für die Entwicklung der Miningmodelle. Für die Entwicklung wurde die „Power Platform“ von Microsoft auf Basis der „Azure Dienste“ genutzt. Diese Plattform erlaubt die Digitalisierung von Geschäftsprozessen mit unterschiedlichen Bausteinen. Auf diese Weise ließen sich Datenbankstrukturen in „Data-verse“ modellieren, eine Online App auf Basis einer modellgesteuerten App implementieren sowie Workflows mittels „Power Automate“ umsetzen. Der Einsatz der integrativen Plattform erlaubt in späteren Phasen zudem auch eine Anbindung von IoT Sensoren und Triggern, die Nutzung von Bot-Technologien zur Digitalisierung von Nutzerschnittstellen sowie die einfache technische Einbettung in digitale Unternehmensinfrastrukturen und Auswertungsverfahren.

Die Daten der Unternehmen können zur Analyse an die App angebunden werden und entsprechend der Process Mining Logik ausgewertet werden. Daten können dementsprechend direkt in der App erfasst (wenn keine Vorkysteme vorhanden sind) oder aus den Vorkystemen angebunden werden.



Abbildung 4-8: Datenfluss im Process Mining (eigene Darstellung)

Bei der Dateneingabe wird der Anwender über einen „Process Flow“ dirigiert und angeleitet, der kontextsensitiv die situativ notwendigen Informationen abfragt. Auf diese Weise werden überflüssige bzw. redundante Eingaben vermieden und es lassen sich Schleifen oder Rücksprünge innerhalb der Prozesskette verhindern, sofern diese bei der Analyse der bestehenden Prozesse erkannt wurden. Dies führt zu einer maßgeblichen Reduktion der Durchlaufzeit.

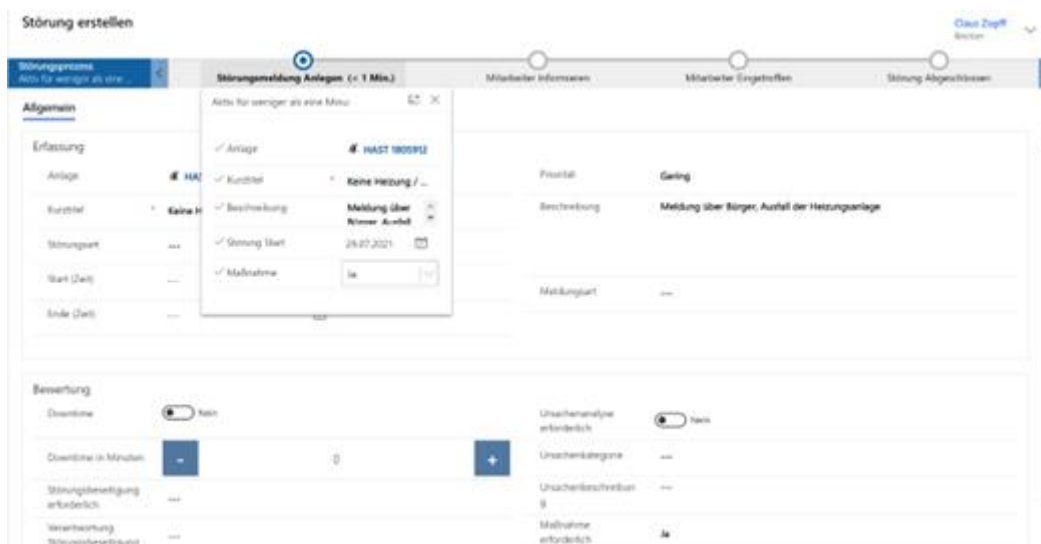


Abbildung 4-9: App zur strukturierten Ereigniseingabe

Der so abgebildete Process-Flow beinhaltet auch alle individuellen Entscheidungen sowie manuelle Eingriffe und Interaktionen der involvierten Mitarbeiter.

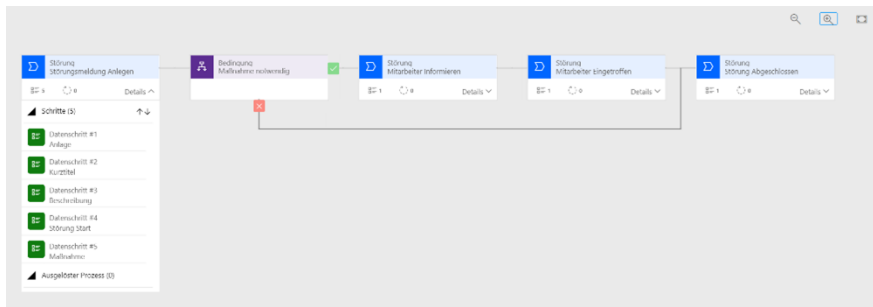


Abbildung 4-10: Processflow eines exemplarischen Anwendungsfalls

Innerhalb der App wird automatisch die wesentliche Kennzahl der Durchlaufzeit des Störungsprozesses geloggt und dem Mitarbeiter kontinuierlich angezeigt (siehe Abbildung 6 Processflow FW-Digital-Störungsmeldung). Um den Aufwand in der Bearbeitung der Meldungen und der Weiterleitung an den Verantwortlichen zu reduzieren, wurde ein erster Workflow erstellt und in der App integriert. Mit Hilfe dieses Workflows wird bei einem notwendigen Einsatz zur Störungsbeseitigung automatisch eine Mail an den jeweils verantwortlichen Mitarbeiter versendet. Der Zeitpunkt der Meldung wird automatisch in einem Eventlog gespeichert und steht somit auch wieder für das Process Mining zu Verfügung.



Abbildung 4-11: Automatische Berechnung der Durchlaufzeit

#### 4.5.2.2 Störungsmanagement in Fernwärme-Leitungsnetzen

Erster Gegenstand der Untersuchung waren die Prozesse zum Störungsmanagement innerhalb des fokussierten Geschäftsbereichs der Fernwärme-Betriebssteuerung. Analysiert wurde dabei die gesamte Prozesskette – beginnend bei der Detektion einer Störung, über die dadurch ausgelösten Kommunikations-, Koordinations- und Entscheidungsvorgänge, bis hin zur Überprüfung der Störungsquelle, der etwaigen Fehlerbeseitigung und dem finalen Statusreport zur Schließung des Vorgangs.

Im Zuge der Analyse wurden digitale Datensätze aus zehn lokalen Systemquellen der Praxispartner ausgelesen. Das gesamte Informationspaket wurde danach in einem aufwändigen Verfahren gemäß der festgelegten Methodik in mehreren Teilschritten zu Eventlogs zusammengeführt. Zunächst erfolgte die formale Vereinheitlichung. Folgend wurden die Daten

semantisch gefiltert, systematisch strukturiert und in ein universales Prozessmodellschema überführt.

Das aus den Systemen extrahierte Prozess-Eventlog (siehe Abbildung 4-12) enthält die Case ID / Nr. (Störungsnummer), die Activity (Prozessschritt) und das Timestamp (Datum und Uhrzeit des Logs). Dieses Eventlog wurde aus den einzelnen Abfragen der Quellsysteme erzeugt.

Nr.	Activity	TimeStamps	Sorting
18755	4808 Abmeldung System	11.09.2020 13:15	70
18756	4809 Meldung	10.09.2020 19:30	10
18757	4809 Erstellung SharePoint	10.09.2020 19:50	20
18758	4809 Weiterleitung	11.09.2020 07:00	30
18759	4809 Abmeldung System	11.09.2020 13:15	70
18760	4810 Meldung	11.09.2020 08:35	10
18761	4810 Erstellung SharePoint	11.09.2020 08:37	20
18762	4810 Weiterleitung	11.09.2020 08:35	30
18763	4810 Abmeldung System	11.09.2020 14:00	70
18764	4811 Meldung	11.09.2020 13:30	10
18765	4811 Erstellung SharePoint	11.09.2020 13:42	20
18766	4811 Weiterleitung	11.09.2020 13:30	30
18767	4811 Abmeldung System	16.09.2020 12:00	70
18768	4812 Meldung	12.09.2020 10:40	10
18769	4812 Erstellung SharePoint	12.09.2020 10:52	20
18770	4812 Abmeldung System	12.09.2020 10:50	70
18771	7191 Meldung	23.09.2019 09:45	10

Abbildung 4-12: Eventlog (Auszug) zum Störungsmanagement

Dieses Eventlog bildet die Basis für die Analyse in einem PM Tool und für weitergehende Ableitungen von Kennzahlen und Datenanalysen zur Optimierung der Prozesse.

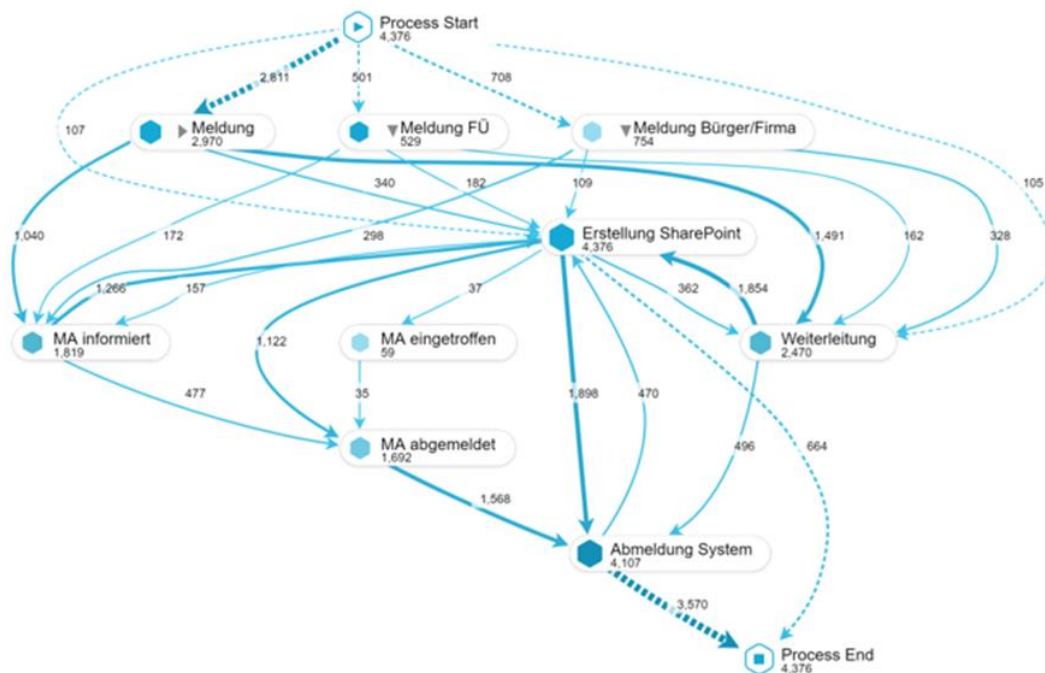


Abbildung 4-13: Ergebnisdarstellung des Process Minings im FW-Störungsmanagement (PM Modell auf Basis Celonis)

Das Process Mining für den ersten untersuchten Anwendungsfall offenbarte bei den Praxispartnern ein signifikantes Optimierungspotenzial. Die untersuchten Gesamtprozesse waren noch nicht durchgängig digitalisiert, sodass vielfach zeitaufwändige manuelle Eingriffe mit entsprechend hohem Fehlerpotenzial erfolgen mussten. Insgesamt wurde die Bearbeitung von **4.376** Störungen in den lokalen Fernwärme-Leitungsnetzen ausgewertet. Davon werden nur ca. 12% durch einen digitalisierten Trigger ausgelöst. Zahlreiche Systembrüche in den Bearbeitungsroutinen führten an anderer Stelle durch nicht hinreichend interoperable Schnittstellen in der Toolkette zu Fehlinterpretationen, Informationslücken oder sogar vollständigen Informationsverlusten. Außerdem war zu beobachten, dass im Verfahren oftmals Prozessschleifen vorliegen. In der Konsequenz hieraus kommt es im Ablauf zu zahlreichen Verzögerungen und Redundanzen, zudem lassen sich Teilprozesse nicht immer korrekt bzw. funktionsbezogen adressieren.

Signifikante Optimierungspotenziale ergeben sich durch eine automatisierte, kontinuierliche Meldung von Ereignissen und einer damit verbundenen Verkürzung der Reaktionszeiten. Dies zeigt sich deutlich beim Vergleich der Trigger-Zeitpunkte in Abbildung 4-14.

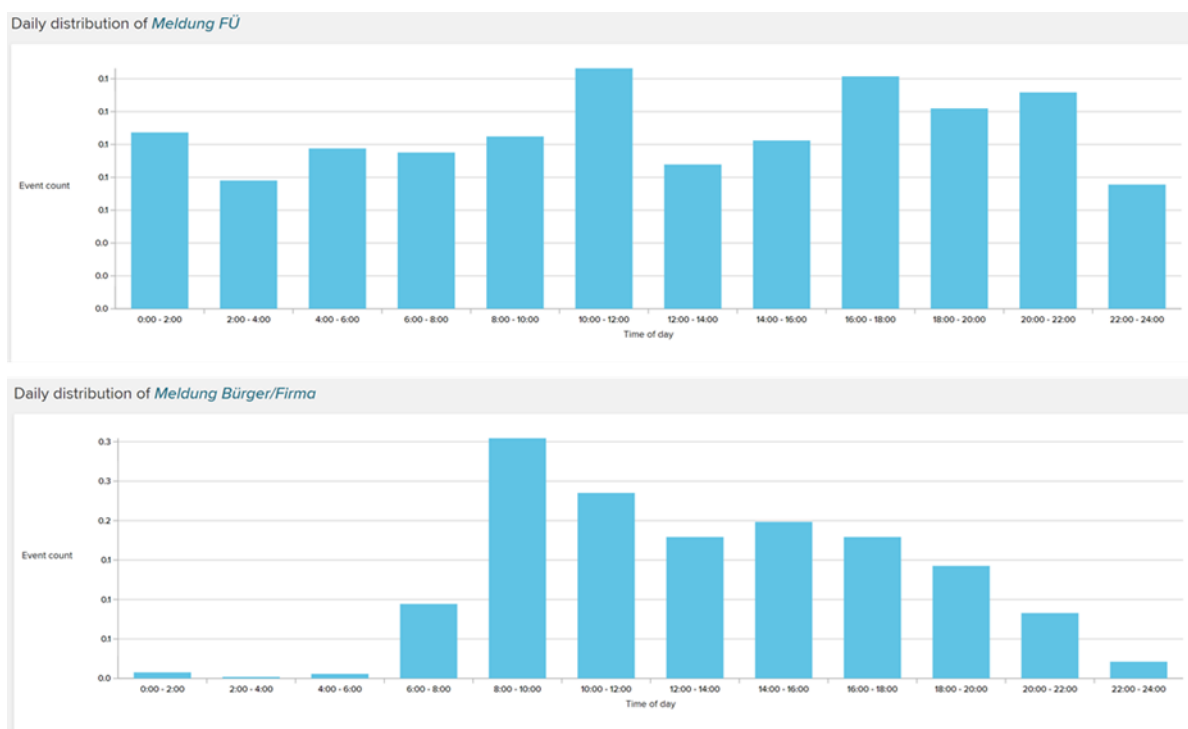


Abbildung 4-14: FW-Störungsmanagement – Vergleich der Trigger-Zeitpunkte

Anhand des gleichen Eventlogs wurde mit einem weiteren PM-Tool eine entsprechende Auswertung vorgenommen. Das zweite Beispiel wurde mit Hilfe der Power Plattform umgesetzt. Neben der grafischen Aufbereitung des Prozesses werden Auswertungen zu den Varianten und statistische Daten aufbereitet. Abbildung 4-15: Top5-Varianten mit Microsoft Prozess

Mining (eigene Darstellung) zeigt eine Auswertung der Prozessdurchläufe der 5 meist genutzten Varianten. Es werden ca. 2500 der Fälle abgedeckt (>60%) und alle definierten Aktivitäten.

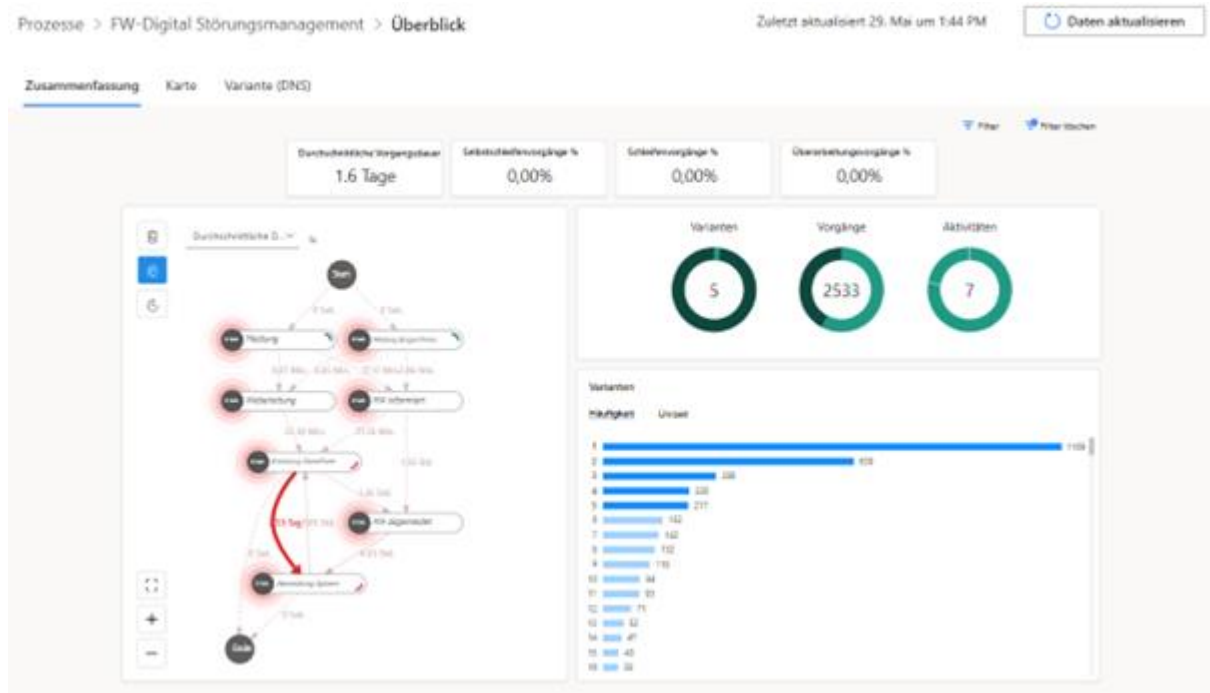


Abbildung 4-15: Top5-Varianten mit Microsoft Prozess Mining (eigene Darstellung)

Die Darstellung weist automatisch die Durchlaufzeiten aus. Mit Hilfe des PM lassen sich auf diese Art die Reaktionszeiten im Störungsmanagement auswerten und mit online verfügbaren Benchmarks oder externen Zielstellungen vergleichen. Ähnlich zu der Standardauswertung von Celonis wird automatisch eine zeitliche Verteilung der Vorgänge ausgewertet. Damit werden schließlich auch Aussagen zum Ressourceneinsatz möglich.

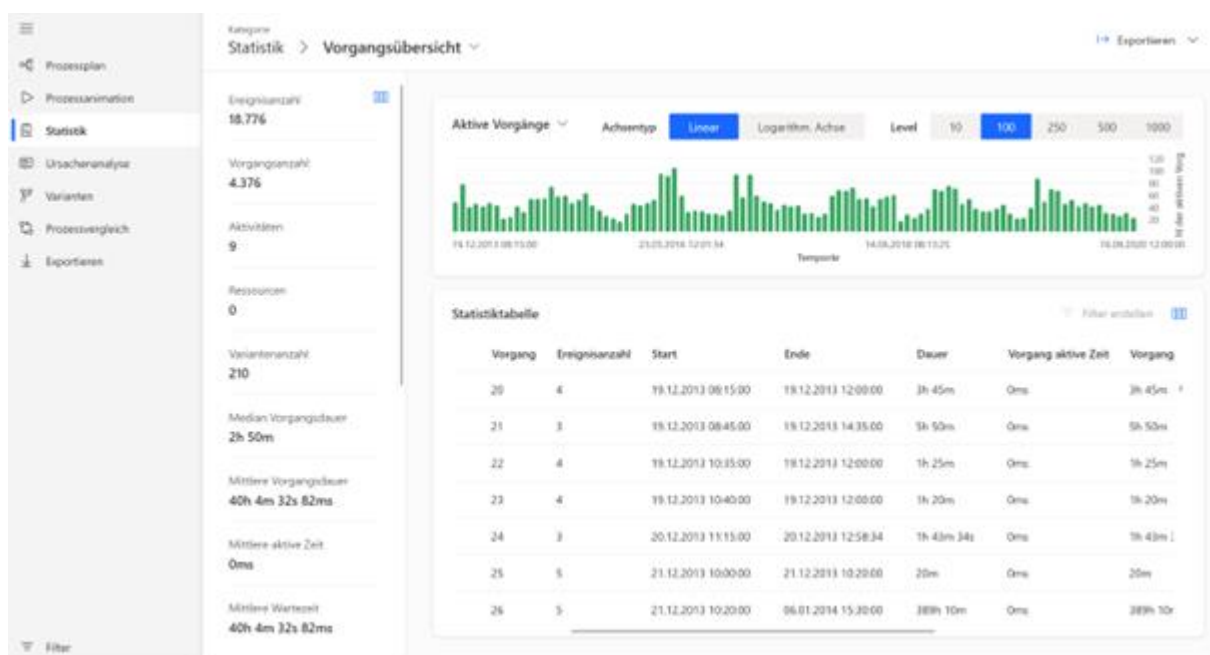


Abbildung 4-16: Zeitliche Verteilung der Vorgänge (eigene Darstellung)

Die aufbereiteten Prozesse können nun mit den Prozessbeteiligten ausgewertet und entsprechende Maßnahmen zur Optimierung abgeleitet werden. Aktuelle Versionen des Process Mining Tools von Microsoft erlauben eine KI-gestützte Auswertung, sodass auf der Basis natürlicher Sprache eine Auswertung möglich wird. Es werden statistische Daten im Zusammenhang ausgewertet.

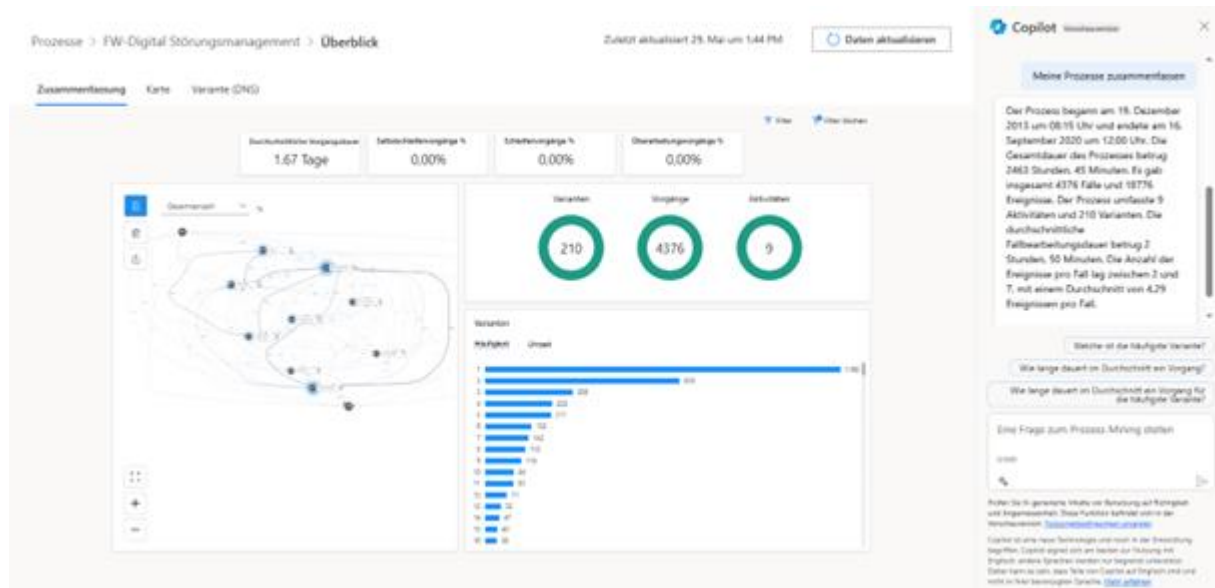


Abbildung 4-17: Aktuelle Auswertung mit KI

Beispiel: "Der Prozess begann am 19. Dezember 2013 um 08:15 Uhr und endete am 16. September 2020 um 12:00 Uhr. Die Gesamtdauer des Prozesses betrug 2463 Stunden, 45 Minuten. Es gab insgesamt 4376 Fälle und 18776 Ereignisse. Der Prozess umfasste 9 Aktivitäten und 210 Varianten. Die durchschnittliche Fallbearbeitungsdauer betrug 2 Stunden, 50 Minuten. Die Anzahl der Ereignisse pro Fall lag zwischen 2 und 7, mit einem Durchschnitt von 4,29 Ereignissen pro Fall."

Darüber hinaus sind Auswertungen zu Schleifen im Prozess und sog. Bottlenecks (Engpässen) möglich.

Grundlage des Process Mining ist die Abbildung der tatsächlichen Abfolge definierter Aktivitäten. Jeder Prozesspfad stellt dabei eine Variante des Prozesses dar. In klassischen BPMN-Modellen würden diese Varianten über Verzweigungen abgebildet. Der analysierte Eventlog enthält 210 Varianten. Die Auswertung der Varianten ist in der Mehrzahl der aktuellen Systeme möglich. So bieten die eingesetzten Systeme von Microsoft und Celonis diese Möglichkeit, aber auch Open Source Varianten auf Basis von R (BupaR) erlauben die Darstellung der tatsächlich ablaufenden Varianten.



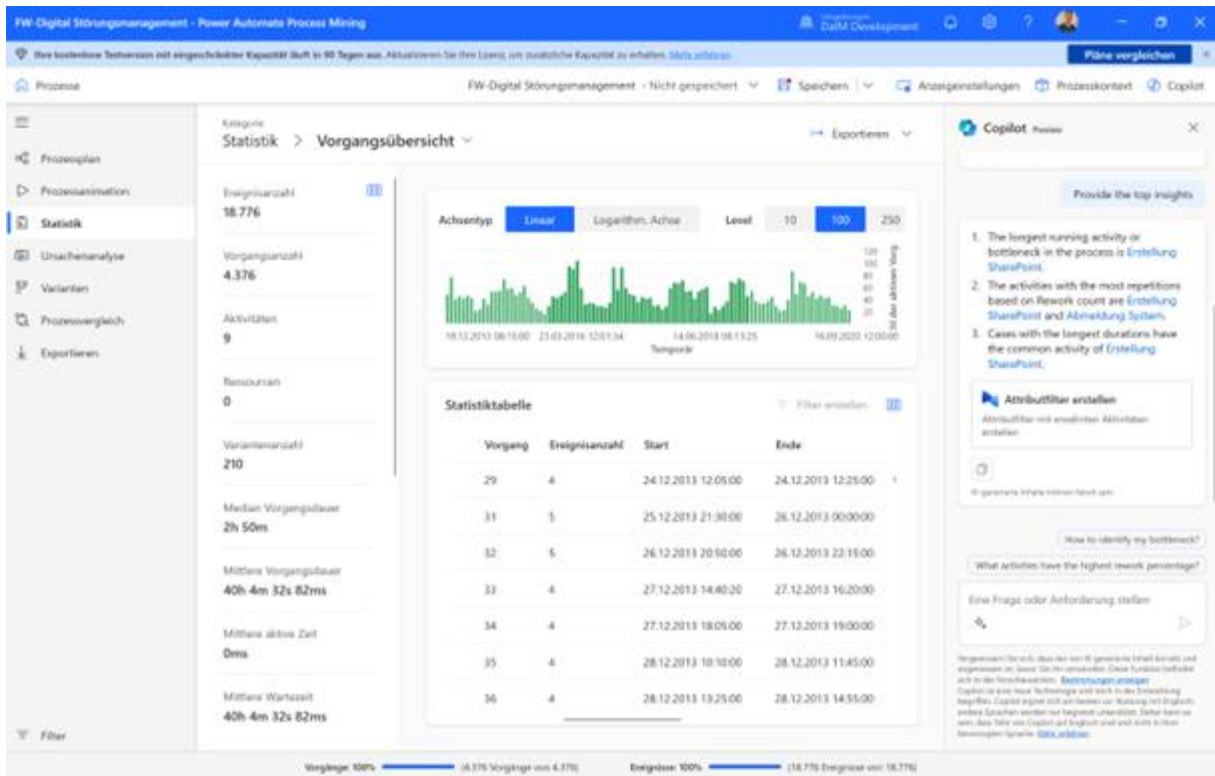


Abbildung 4-18: KI-Auswertemöglichkeiten (Beispiele)



Abbildung 4-19: Variantenanalyse

## Anwendungsfall 2: Planmäßige Wartung und Instandhaltung

Die planmäßige Wartung von Netzkomponenten und Erzeugungsalanlagen ist eine zentrale Aufgabe in der Wärmeversorger. Der Prozess startet in der Regel mit einer Planung und endet mit Abschluss der jeweiligen Maßnahmen.

Abbildung 4-20: Beispiel BPM Prozess: geplante Wartung zeigt eine exemplarische Darstellung des Prozesses.

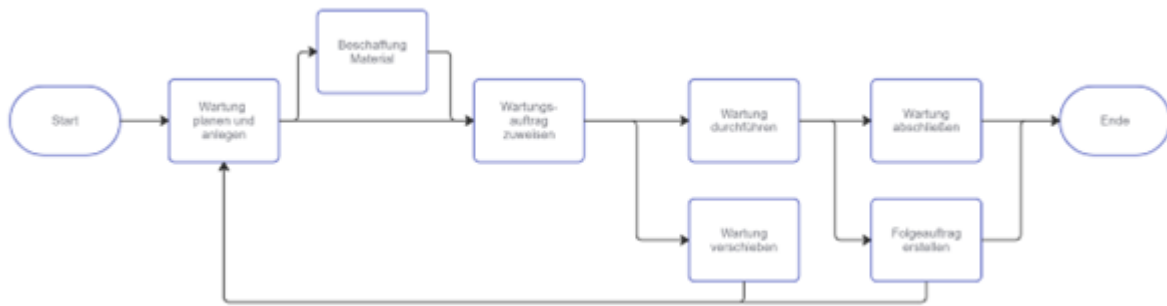


Abbildung 4-20: Beispiel BPM Prozess: geplante Wartung

Für jeden definierten Prozess werden nun die eingesetzten Systeme bestimmt und die Bedingungen für das jeweilige Event definiert. Entsprechend der Definition wird ein Eventlog erzeugt. Je nach eingesetzten PM Werkzeug stehen dafür integrierte Werkzeuge oder Editoren (SQL, Python u.a.) zur Verfügung.

Dataflow einrichten: FW-Digital Wartung und Instandhaltung Hilfe

Start Transformieren Spalte hinzufügen Anzeigen Hilfe

Daten abrufen - einlegen  
Verwalten von Verbindungen  
Optionen  
Parameter verwalten -  
Aktualisieren  
Eigenschaften  
Erweiterter Editor  
Spalten auswählen -  
Spalten entfernen -  
Spalten verschieben  
Zeilen verringern -  
Sortieren  
Transformieren  
Kombinieren  
Vorlage erip  
Freigelegt

Abfragen [3]  
Wartung planen und a...  
Wartung abschließen  
Eventlog

Tablr.Combine(("#Wartung planen und anlegen", "#Wartung abschließen"))

CaseID	Activity	TIMESTAMP	creatortbyname
1	990C996-2633-8C11-86E5-60498D...	22.10.2021, 10:57:54	Gerdt Grytsch
2	A782168F-213C-8C11-86E5-60498D...	2.11.2021, 21:12:26	Claus Zopf
3	80882503-88FE-8C11-82E5-00003A4...	8.7.2022, 12:39:34	Claus Zopf
4	E059558A-FD48-ED11-8BA1-00003A...	14.10.2022, 20:19:45	Claus Zopf
5	10DC114F-C306-EF11-9F89-60498D...	30.4.2024, 07:43:20	Claus Zopf
6	99C72165-1E09-EF11-9F89-60498D...	3.5.2024, 07:26:08	Claus Zopf
7	990C996-2633-8C11-86E5-60498D...	4.11.2021, 23:00:00	Gerdt Grytsch
8	A782168F-213C-8C11-86E5-60498D...	1.11.2021, 23:00:00	Claus Zopf
9	80882503-88FE-8C11-82E5-00003A4...	21.6.2021, 22:00:00	Claus Zopf
10	E059558A-FD48-ED11-8BA1-00003A...	13.10.2022, 22:00:00	Claus Zopf
11	10DC114F-C306-EF11-9F89-60498D...	29.4.2024, 22:00:00	Claus Zopf
12	99C72165-1E09-EF11-9F89-60498D...	2.5.2024, 22:00:00	Claus Zopf

Abfrageeinstellungen >  
Eigenschaften  
Name  
Eventlog  
Angewendete Schritte  
Quelle

Nach (11.34 Sek) abgeschlossen Spalten: 4 Zeilen: 12 Schritt

Abbildung 4-21: Vereinfachtes Beispiel zur Erzeugung des Eventlogs mit Power-Query (Microsoft)

Der vereinfachte Prozess mit nur 7 CaselDs und 2 Aktivitäten weist 3 Varianten und 1 Datenfehler auf (Abbildung 4-22).

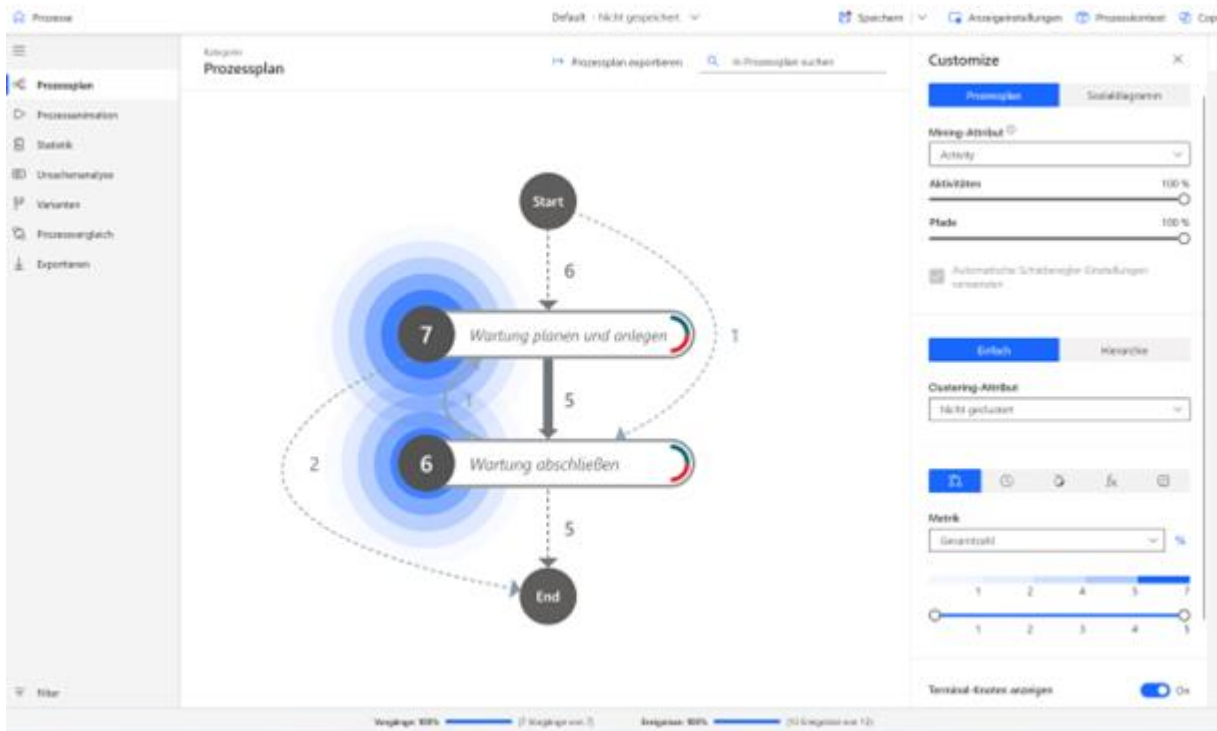


Abbildung 4-22: Vereinfachtes Beispiel des Wartungsprozesses (Microsoft Process Mining)

Für den Wartungsprozess ist auf diese Weise ein Prozessmodell, eine Datenstruktur und ein Dataflow erstellt worden, der mit Daten eines Unternehmens verbunden und ausgewertet werden kann. Im Ergebnis werden die Prozesse mit Hilfe eines PM-Tools ausgewertet.

#### 4.5.2.3 Process Discovery

Für eine automatisierte Extraktion von Prozessmodellen aus den Ereignisprotokollen (Event Logs) der exemplarischen Anwendungsfälle wurde das sogenannte „Process Discovery“ Verfahren (vgl. (van der Aalst et al. 2012)S. 33) durchgeführt. Diese Methode eignet sich insbesondere für die rückwirkende (regressive) Dokumentation und kausale Nachvollziehbarkeit von komplexen Ist-Prozessen. In den Beispielprozessen wurde dies Verfahren mit Hilfe der eingesetzten Werkzeuge umgesetzt.

Sinnvoll ist das Verfahren insbesondere, wenn die prozesssteuernden Regeln und -beeinflussenden Kriterien oder die beteiligten (kompetenzbezogenen) Akteursrollen nicht oder nicht vollständig bekannt sind. So werden beim Process Discovery grundsätzlich drei unterschiedliche Perspektiven bzw. Sichtweisen unterschieden:

- » Die „organisationale Sichtweise“ stellt die Beziehungen der am Prozess beteiligten Akteursrollen in einem konvergenten Modell dar. Hierzu werden insbesondere Algorithmen aus der Analyse sozialer Netzwerke verwendet, welche die Fach- und Entscheidungskompetenzen der Prozessbeteiligten sowie ihre jeweilige Relevanz für die Prozessaus- bzw. -durchführung untersuchen (vgl. (van der Aalst et al. 2005) van der Aalst, Reijers et al. (2005), S. 549 – 593, Zitiert nach (Stocker 2014), S. 29). Dieser spezielle Ansatz wurde im bisherigen Verlauf der Projektbearbeitung nicht verfolgt, da noch keine personenbezogenen Daten der Prozessausführung verfügbar waren und genutzt wurden. Mit TP3 fand hierzu ein bilateraler Austausch statt; neben der Klärung juristischer Rahmenbedingungen ging es dabei auch um die Identifizierung datenschutzrechtlicher Hürden und Einschränkungen für das Process Mining. Sowohl das Meta-Modell als auch der methodische ETL-Prozess inkl. des Eventlog Schemas wurden jedoch entsprechend aufgebaut, um auch diese Perspektive konsistent abbilden zu können.
- » Die „temporale Perspektive“ betrachtet das zeitliche Verhalten von Prozessen. Dabei können Optimierungspotentiale durch zu lange Prozessschritte oder „Flaschenhälse“, die den Prozessfluss stören bzw. aufhalten, detektiert werden. Die Visualisierung der Prozessanalyse kann beispielsweise über ein animiertes Fuzzy-Modell erfolgen, durch das sich Marken bewegen. Ein langsamer Markenfluss repräsentiert dabei lange- und ein schneller Markenfluss kurze Durchlaufzeiten. Auf diese Weise ließen sich vor allem im untersuchten Störungsprozess zahlreiche unnötige Verzögerungen, vornehmlich durch eine unzureichende oder fehlende Digitalisierung von Prozessschritten, lokalisieren und bestimmen.
- » Die „datenbezogene Perspektive“ betrachtet schließlich den Fluss und die Erfassung der Verwendung von Daten. So können zum Beispiel diskrepant hohe Datenflüsse im Gesamtprozess lokalisiert werden, die bspw. Anzeichen für Sicherheitslücken bzw. -lecks oder eine Überlastung der Systeme sein können (vgl. (Stocker 2014)), S. 29 ff.).Q Bei den analysierten Praxisprozessen sind solche Abweichungen vor allem zwischen operationellen Systemen und Auftragssteuerungssystemen zu beobachten.

Für die fokussierten Anwendungsfälle Störung und Wartung bzw. Instandsetzung wird das Ziel, verfolgt Digitalisierungspotenziale aufzudecken und für Effizienzsteigerungen nutzbar zu machen. Mit den vorliegenden Zwischenergebnissen lässt sich bereits attestieren, dass sich insbesondere auch das Process Discovery gezielt dazu einsetzen lässt, da die Prozesse dafür grundlegend notwendige Kriterien erfüllen:

- » Es liegen Event-Logs für alle wesentlichen Prozessschritte vor.
- » Die Prozessschritte haben eindeutige Bezeichner (CaseID).

- » Mit dem integrativen Metamodell lassen sich alle Objekt- und Eigenschaftsklassen des Prozesses sowie auch ihre Abhängigkeiten konsistent beschreiben.
- » Jeder Prozess verfügt über ein Start- und Endereignis.

#### 4.5.2.4 *Conformance Checking*

Es konnte nachgewiesen werden, dass sich mittels Process Discovery weitere Potenziale in den untersuchten Praxisprozessen identifizieren lassen. Im gegenwärtigen Fall liegen diese vor allem in der Digitalisierung der Ereigniskette zum Auslösen der Prozesse (Trigger), der Digitalisierung der Schnittstellen zwischen der operationellen bzw. technischen Datenebene und der Geschäftsprozessebene. Diese Schnittstellen müssen grundsätzlich eine bidirektionale Ausprägung haben (Kommunikation in beide Richtungen erlauben), damit Rückmeldungen und steuernde Eingriffe in die Prozesse möglich sind.

Auf Grundlage der Process Discovery Analysen konnte schließlich auch die Konformität der Mining-Modelle bezüglich der gestellten Soll-Vorgaben untersucht und bewertet werden (sog. „Process Mining Conformance Checking“). Hierfür wurden die in den Event Logs aufgezeichneten Aktivitäten der Ist-Prozesse mit den formalisierten Anforderungen der Soll-Prozesse verglichen (vgl. (van Dongen et al. 2009)), S. 225 – 242). Während bei Discovery-Techniken lediglich die Ist-Prozesse dargestellt werden, vergleichen die Conformance-Checking-Techniken die Ist-Prozesse mit den Soll-Prozessen oder den an den Prozess gerichteten Anforderungen. Auf diese Weise können automatisch Abweichungen Soll-Ist-Abweichungen detektiert und quantifiziert werden. Hieraus lassen sich die konkreten Optimierungspotenziale ableiten.

Um das Conformance Checking aufbauen zu können, mussten zunächst Soll-Prozesse definiert und Regeln („Rules“) deklariert werden, wann eine Verletzung des Soll Prozesses vorliegt. Die Soll-Vorgaben können dabei individuelle Prozessvorgaben sein oder auf rechtlich bindenden Verpflichtungen basieren. Um einen Konformitätscheck in das Prozess-Mining für Fernwärme-Geschäftsprozesse zu integrieren, musste das Datenmodell der Eventlogs um ein sog. Rule-Log erweitert werden. In dieser Datenbank werden alle potenziellen und tatsächlichen Regelverletzungen erfasst und für den Konformitätscheck ausgewertet. Neben dem Rule-Log konnten zudem eindeutige Regeldefinitionen festgehalten werden.

### **4.5.3 Arbeitspaket 2.3: Maßnahmenentwicklung**

#### 4.5.3.1 *Automatisierung des Process Minings in den fokussierten FW-Anwendungsfällen*

Ein Hauptziel innerhalb des Teilvorhabens war es, die entwickelten Methoden für den fokussierten Anwender reproduzierbar und auf seine individuelle Ausgangssituation übertragbar zu machen. Die grundsätzlich am besten geeignete Möglichkeit dies zu erreichen ist es, die Methoden weitestgehend zu automatisieren.

Für das notwendige, aber zumeist sehr aufwändige Preprocessing wurde im ersten Schritt eine maßgeschneiderte App für mobile Endgeräte entwickelt und anhand der fokussierten exemplarischen Praxis-Anwendungsfälle erprobt (vgl. Abschnitt 4.3.1). Sie unterstützt den Anwender bei der gezielten Akquise und qualifizierten Konsolidierung Fernwärme-spezifischer Eventlogs für ein zweckmäßiges Process Mining; hierfür wurden die exemplarischen Anwendungsfälle Störungsmanagement, planmäßige Wartung bzw. Instandhaltung und Kundenabrechnung bereits vorkonfiguriert. Eine besondere Herausforderung bestand jedoch noch darin, die Prozessdokumentationen aus der App in adäquate Eventlogs für das Process Mining zu überführen.

Um diesen Vorgang der Datentransformation weitestgehend zu automatisieren, wurden schließlich speziell angepasste „Dataflows“ entwickelt. Hierbei handelt es sich um eine proprietäre Abfragemethode zur Transformation und Auswertung großer und komplexer Datenmengen (Big Data), auch aus multiplen Quellen, mittels des proprietären Geschäfts-analysediens-tes Power BI® (Microsoft 2024). Mit den implementierten Dataflows lassen sich die relevanten Daten aus der App nun automatisiert in anforderungsgerechte Eventlogs konvertieren. Diese können anschließend durch das Process Mining erfasst und verarbeitet werden. Die Dataflows wurden soweit diversifiziert und generalisiert, dass sie sich in die etablierten Process Mining Plattformen (vgl. dazu 0) einbinden lassen.

Um die KPIs DLZ, MTTR und MDG (vgl. Abschnitt 4.5.1) in Abhängigkeit der definierten Fernwärme-spezifischen Filter in einem dynamischen Prozess abzubilden, war es ferner notwendig, das entwickelte Process Mining Modell mit klassischen Modellen für die Datenauswertung zu koppeln. Hierdurch wird neben der Vergleichbarkeit der Ergebnisse auch eine Produkt- und Herstellerneutralität sichergestellt. Zunächst musste hierfür jedoch ein geeignetes Instrument entwickelt werden, mit dem sich alle wesentlichen Aspekte des Modells vollständig und konsistent übertragen lassen. Für die Implementierung wurde schließlich die freie und plattform-unabhängige Programmiersprache R für mathematische bzw. statistische Berechnungen und die grafische Ergebnisvisualisierung gewählt. Die Logik des Process Mining Modells konnte schließlich mittels einer angepassten Projektbibliothek in R übersetzt und berechnet werden.

Das im Zuge des Teilvorhabens entwickelte R-Programm stellt strukturierte Kartierungen der eingelesenen Prozesse dar und gibt dabei bedarfsgerecht auch die jeweiligen Schlüsselkennwerte der einzelnen Prozessschritte aus (siehe Abbildung 4-23). Für die Berechnung und Darstellung der Ergebnisse lassen sich die definierten KPIs individuell als Filter setzen (in den in Abbildung 4-23 gezeigten Beispielen die DLZ und MTTR).

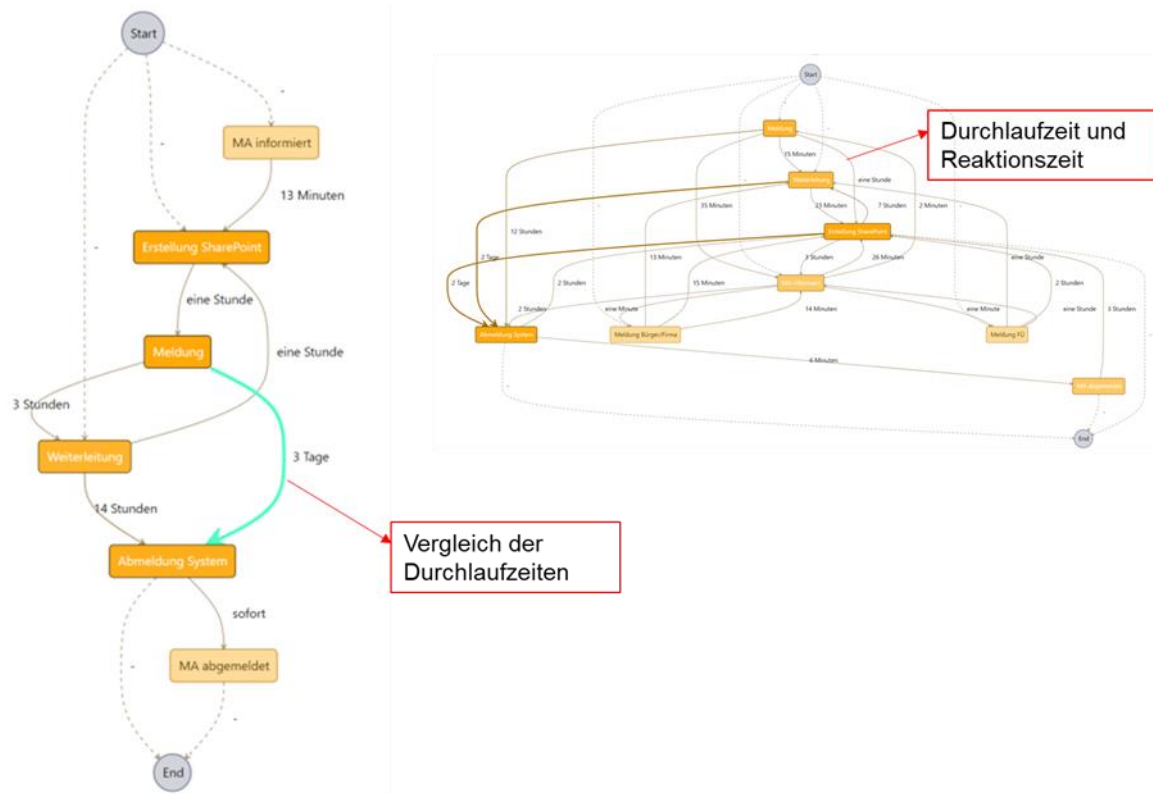


Abbildung 4-23: Beispielhafte Prozesskartierungen mit Ausweisung der DLZ und MTTR

Meldungen zur Problemaufnahme und -verarbeitung werden in der Praxis bislang oft noch telefonisch durchgeführt und manuell abgewickelt. Um diese Kommunikationsprozesse durchgängig zu digitalisieren und konvergent optimierbar zu machen, ließen sich beispielsweise sog. Chatbots einsetzen. Hierbei handelt es sich um textbasierte Dialogsysteme, die es ermöglichen, mit technischen Systemen Informationen auszutauschen oder mit ihnen zu interagieren. Diese Programme simulieren menschliche Konversationen und können in nahezu beliebigen Anwendungskontexten eingesetzt werden. Prädestiniert sind dabei zuerst determinierte Systeme ohne unbestimmte Emergenz; durch den Einsatz künstlicher Intelligenz (KI), insbesondere dialogorientierte KI-Techniken (z.B. Natural Language Processing, NLP), können sukzessive – durch entsprechendes Training – jedoch auch komplexere und sehr dynamische Systeme abgebildet werden (Barenkamp and Schnier 2023).

Im Zuge des Teilvorhabens wurde ein relativ simpler, nicht KI-basierter Chatbot zur Unterstützung der Meldevorgänge in den exemplarischen Anwendungsfälle entwickelt und prototypisch implementiert. Dieser berücksichtigt die automatische Abwicklung und datenbankgestützte Dokumentation der Kommunikationsprozesse zur

- » Erfassung von Kontaktdaten,
- » lokalen Verortung eines Problems bzw. einer Störung,
- » zeitliche Chronik eines Problems bzw. einer Störung,

- » Typisierung des von dem Problem bzw. der Störung betroffenen Objekts bzw. Subjekts sowie
- » Beschreibung bzw. Klassifizierung des konkreten Problem-, Fehler- bzw. Störungsbilds (Diagnose).

Eine Praxisevaluierung des Chatbots konnte im Rahmen des Vorhabens allerdings nicht durchgeführt werden. Als problematisch erwiesen sich in diesem Zusammenhang neben akuten Kapazitätsengpässen bei den assoziierten Praxispartnern auch diverse datenschutz- und -sicherheitsrechtliche Vorbehalte.

#### 4.5.3.2 *Deduktives Metamodell*

Das datengetriebene Verfahren des Process Minings dient der Optimierung von Geschäftsprozessen. Im konkreten Kontext des Vorhabens werden spezifische Geschäftsprozesse des Fernwärmesektors analysiert. Um die Durchführung des Process Minings transparent nachvollziehbar, reproduzierbar und ggf. auch für weitere Anwendungsfälle übertragbar zu machen, musste eine geeignete Methode zur formalisierten Dokumentation entwickelt werden. Hierfür bedurfte es einerseits eines integrativen Ansatzes, um sowohl das Process Mining Modell als auch alle Anforderungen und Rahmenbedingungen sowie äußere innere und innere Abhängigkeiten konsistent und eindeutig beschreibbar zu machen. Andererseits sollte eine formale Grundlage bzw. eine sog. Ontologie für die Abbildung des Verfahrens in einem konvergenten Prozessmodell gebildet werden.

Zu diesen Zwecken wurde ein das Process Mining Modell beschreibendes System- bzw. „Metamodell“ entwickelt. Entgegen der datengetriebenen Methode des Process Minings wurde hierfür kein induktiver Bottom-Up, sondern ein ganzheitlicher Top-Down Ansatz gewählt. Voraussetzung für die Modellierung waren sowohl das Verständnis der eingesetzten Methodik als auch ein explizites Wissen über die hierarchischen Strukturen und strukturellen Abhängigkeiten des inneren und äußeren Systems (bzw. der Systemperipherie).

Das Metamodell beschreibt den Gegenstand und Kontext des Process Minings, also Geschäftsprozesse („Business Process“) und ihre Einbindung in Unternehmensstrukturen (siehe

Abbildung 4-24). Bei Geschäftsprozessen handelt es sich grundsätzlich um Prozessketten, die sich auf mindestens einen Prozessschritt bzw. einen Einzelprozess oder eine Aktion („Event“) herunterbrechend lassen; einzelne Aktionen können sich innerhalb eines konkreten Anwendungsfalls – oder auch verschiedener Anwendungsfälle – jedoch beliebig oft wiederholen.



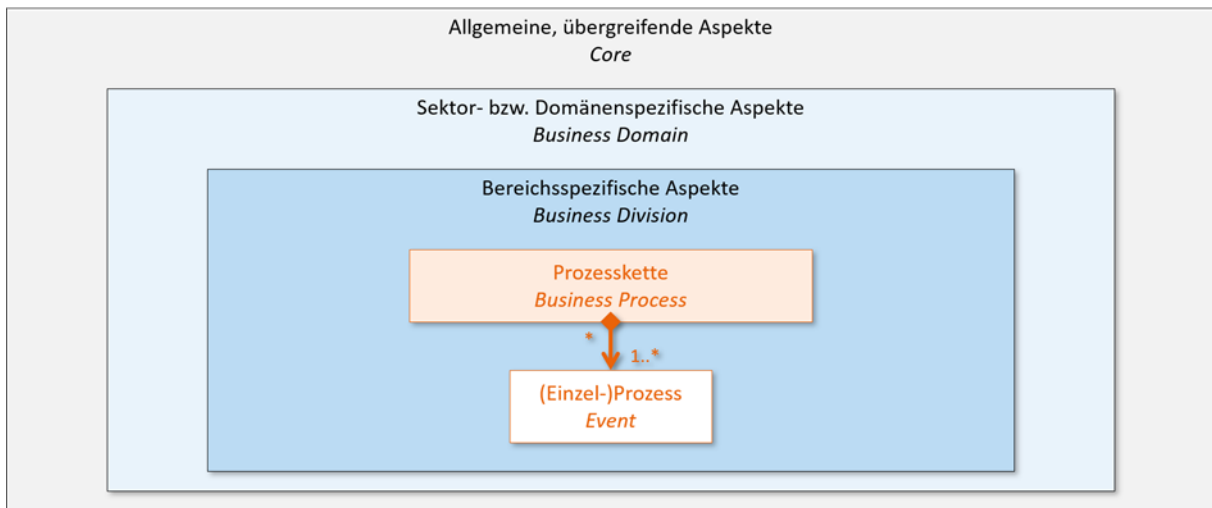


Abbildung 4-24: Hierarchische Gliederung der Prozessdomänen bzw. Namensräume

Die analysierten Geschäftsprozesse befinden sich immer in einem für bestimmte Geschäftsbereiche bzw. „Business Division“ eindeutigen Namensraum. Dabei ist jedoch grundsätzlich nicht ausgeschlossen, dass sich ein Geschäftsprozess auch über verschiedene Geschäftsbereiche erstrecken kann. Solche Notationen erfolgen über assoziative Verknüpfungen gekoppelter Prozesse. Sie können unidirektional ausgeprägt sein – also einseitige Abhängigkeiten ausdrücken; dabei referenziert der auslösende Business Process den abhängigen, wobei die jeweilige Business Division explizit adressiert wird. Ferner lassen sich aber auch bidirektionale Abhängigkeiten beschreiben, wobei die entsprechenden Geschäftsprozess- und Domäneninstanzen gegenseitig referenziert werden.

Für den Fernwärmesektor charakteristische Geschäftsbereiche sind bspw. das Störungsmanagement, der Netzbetrieb oder das Kundenabrechnungsmanagement (vgl. Abschnitt 4.5.1.3). Alle Systemeigenschaften, also Objekte, Objekteigenschaften bzw. Features, Objektattribute, Kriterien, Multiplizitäten und Abhängigkeiten, die nicht für einen einzelnen spezifischen Fernwärme-Geschäftsbereich, jedoch für den Fernwärmesektor insgesamt charakteristisch sind, werden in der übergeordneten Namensraumschale „Business Domain“ definiert. Über die Business Domain lassen sich sodann auch verschiedene Geschäftsbereiche uni- oder bidirektional miteinander koppeln bzw. verknüpfen. Global gültige, unspezifische oder abstrakte Eigenschaften finden sich schließlich in der äußeren Schale „Core“. Prinzipiell kann aus einem untergeordneten Namensraum auf alle übergeordneten Namensräume zugegriffen werden bzw. werden alle Eigenschaften übergeordneter Schalen geerbt. Eine Eindeutigkeit von Eigenschaften zwischen verschiedenen Business Domains oder Division ist dabei jedoch nicht gegeben.

Die Spezifikation des Metamodells (siehe

Abbildung 4-25) erfolgte in der plattformneutralen Modellierungssprache Unified Modeling Language (UML). Die grafische Notation ist menschen- und maschinenlesbar, lässt sich flexibel mit Vorgehens- bzw. Prozessmodellen koppeln sowie in nahezu beliebige Programmiersprachen übersetzen (Rumpe 2012).

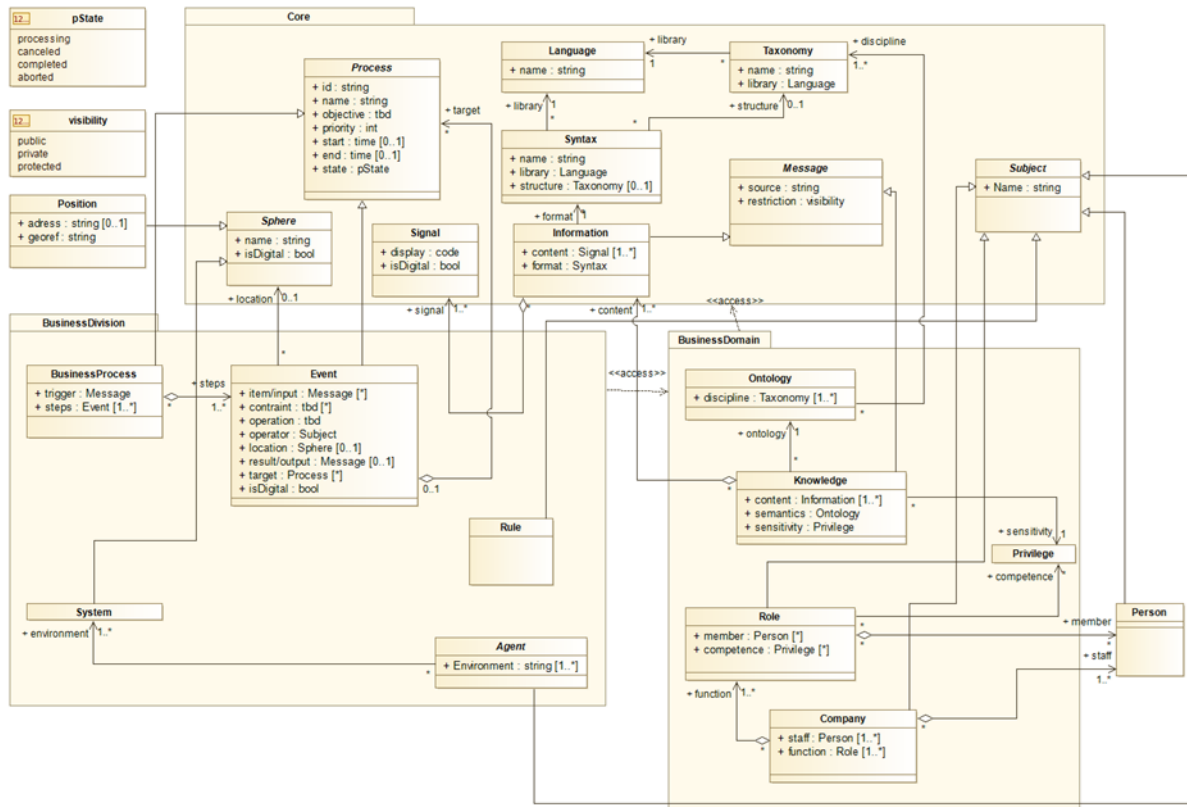


Abbildung 4-25: Vereinfachtes UML-Schema des Metamodells

Die praktische Evaluierung des Metamodells im Zuge des Vorhabens erfolgte anhand der ausgewählten exemplarischen Anwendungsfälle Störungsmanagement, Wartung und Instandhaltung sowie Kundenabrechnung (letzter Anwendungsfall nur partiell, vgl. dazu Abschnitt 4.5.1.4). Da diese exemplarischen Anwendungsfälle auf konkreten Realdaten der assoziierten Praxispartner und ihren individuellen Ausgangssituationen beruhen sowie anwendungs-bezogen auch nicht das umfassende Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten repräsentieren, lassen sich Inkonsistenzen bei einer Übertragung nicht ausschließen. Das Metamodell ist daher noch nicht validiert und wird nur unter entsprechendem Vorbehalt veröffentlicht.

#### 4.5.4 Instrumente

Der Markt für Process Mining Tools wächst rasant. Zu den führenden Anbietern gehören Celonis, SAP Signavio, Software AG und Microsoft. Daneben gibt es weitere Tools mit spezifischen Inhalten. In der Studie wurden keine Open Source Varianten berücksichtigt. Im aktuellen

Projekt wurde neben Celonis und Microsoft, das Open Source Projekt BupaR eingesetzt.

Figure 1: Magic Quadrant for Process Mining

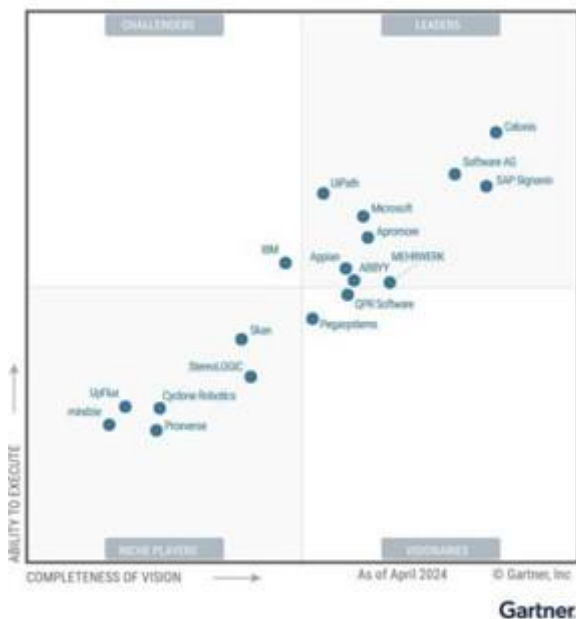


Abbildung 4-26: Gartner Studie zum Process Mining 2024

## 4.6 Ausblick

Im Zuge des Teilvorhabens konnte ein signifikantes Optimierungspotenzial in der Fernwärmeversorgungswirtschaft durch die digitale Transformation ihrer Geschäftsprozesse festgestellt werden. Gleichzeitig wurde ein dringender Bedarf zweckmäßiger Instrumente zu dessen erfolgreicher Unterstützung festgestellt.

Die datengetriebene Methode des Process Minings erweist sich aufgrund der hohen Komplexität und Quantität zugrundeliegender Datenbestände sowie der Vielzahl struktureller Abhängigkeiten im Prozess dazu als ein sehr vielversprechender Ansatz. Anhand exemplarischer Praxisanwendungsfälle konnte der Einsatz des Process Minings im Fernwärme-spezifischen Kontext demonstriert, reproduzierbar dokumentiert sowie, durch die Entwicklung eigener Softwarehilfsmittel und Lösungen, sogar weitestgehend automatisiert werden. Ferner wurden verschiedene Maßnahmen und Werkzeuge bewertet.

Trotz dieser Anstrengungen war es jedoch noch nicht möglich, ein universelles, vollständiges, zusammenhängendes und konsistentes Vorgehensmodell für ein angepasstes Process Mining im Fernwärmesektor zu bilden. Dies liegt, neben der systemeigenen Komplexität des Gegenstands, vor allem an der ausgeprägten Spezifität der individuellen Ausgangssituation vor Ort. Außerdem eignen sich datengetriebene Bottom-Up-Ansätze prinzipiell wenig für den Aufbau universell übertragbarer Modelle. Aus diesem Grund wurde ein Metamodell zur ganzheitlichen Beschreibung des Anwendungskontexts entwickelt. Sowohl die Anwendung des

Metamodells und anderer beschriebener Werkzeuge als auch die konsequente und zielführende Umsetzung der Maßnahmen erfordern jedoch weiterhin ein obligatorisches Expertenwissen.

Bestehende Defizite bei der Digitalisierung im Fernwärmesektor lassen sich jedoch nicht nur auf die Komplexität der Aufgaben zurückführen. Gerade bei den hochsensiblen Geschäftsprozessen der Energiewirtschaft mit einem direkten oder indirekten Versorgungsbezug besteht weiterhin ein viel grundlegenderes Hemmnis zur digitalen Transformation. Der entscheidende Grund hierfür liegt in den noch nicht immer hinreichend überschaubaren und kontrollierbaren Risiken einer tiefgreifenden digitalen Restrukturierung. Um die Resilienz der physischen Systeme und realen Prozesse nicht zu gefährden, bedarf es zwingend entsprechend robuster, konsistenter, sicherer und transparenter Lösungen ihrer digitalen Repräsentation. Eine digitale Resilienz lässt sich langfristig aber nur befördern und sicherstellen, wenn dazu sowohl einheitliche Spezifikation technischer Standards und Normen als auch konvergente gesetzliche Rahmenbedingungen und Vorgaben zu ihrer Durchsetzung existieren.

## 5 Rechtlicher Rahmen für die Digitalisierung der Fernwärmeversorgung

### 5.1 Einführung

Digitalisierung ist, nach einem engen Begriffsverständnis, die Überführung einer analogen Information in ein digitales Format und die Speicherung dieser digitalen Information auf einem physischen Datenträger ((PROF. DR. JAN OSTER, LL.M.)). Die Digitalisierung betrifft insbesondere auch die technische Infrastruktur. Vorreiter der Digitalisierung ist im Energiesektor der Stromsektor: Spätestens seit der dritten Elektrizitätsbinnenmarktrichtlinie 2009/72/EG, mit der die Einführung von intelligenten Messsystemen in der europäischen Union vorgegeben wurde, nimmt die Zahl der Stromzähler zu, die über eine BSI-zertifizierte Kommunikationseinheit ("Smart-Meter-Gateway") sicher eingebunden werden können. Diese Stromzähler, die potenziell fernablesbar sind und im Messstellenbetriebsgesetz (MSbG)<sup>10</sup> als moderne Messeinrichtungen bezeichnet werden, wurden im Jahr 2023 bereits an ca. 17,1 Mio. Zählpunkten eingesetzt (BKartA/BNetzA). Diese Entwicklung, die zur Digitalisierung der technischen Infrastruktur beitragen wird, steht im Fernwärmesektor noch am Anfang. Anfangspunkt im Fernwärmesektor bildet die Richtlinie (EU) 2018/2002 ("Energieeffizienzrichtlinie")<sup>11</sup>, die in Art. 9c eine Fernablesungsanforderung für Wärmezähler vorsieht, wobei die Richtlinie zwischen neu installierten Zählern und Bestandszählern unterscheidet und für Bestandszähler eine Übergangsregelung enthält. Diese Fernablesungsanforderung wurde vom nationalen Gesetzgeber in § 3 Abs. 3 Fernwärme- oder Fernkälte-Verbrauchserfassungs- und -Abrechnungsverordnung (FFVAV)<sup>12</sup> mit der Maßgabe umgesetzt, dass neu installierte Wärmezähler nach dem 5. Oktober 2021 zwingend fernablesbar sein müssen, während vor diesem Stichtag installierte

---

<sup>10</sup> Messstellenbetriebsgesetz vom 29. August 2016 (BGBl. I S. 2034), das zuletzt durch Art. 12 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 405) geändert worden ist.

<sup>11</sup> Richtlinie (EU) 2018/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Änderung der Richtlinie 2012/27/EU zur Energieeffizienz, ABl. EU Nr. L 328 vom 21.12.2018, S. 210.

<sup>12</sup> Fernwärme- oder Fernkälte-Verbrauchserfassungs- und -Abrechnungsverordnung vom 28. September 2021 (BGBl. I S. 4591, 4831), die durch Art. 2 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 9) geändert worden ist.

Wärmezähler bis einschließlich 31. Dezember 2026 mit dieser Funktion nachgerüstet oder durch fernablesbare Zähler ersetzt werden müssen. Der "Rollout" von fernablesbaren Wärmezählern ist also rechtlich verpflichtend.

Vor diesem Hintergrund steht die Fernwärmebranche vor neuen Herausforderungen. Während bei Herstellern von Wärmezählern die Cybersicherheit der Geräte immer stärker in den Blick gerät, müssen Fernwärmeversorger ihr operatives Geschäft an die Digitalisierung anpassen. Die Akteure der Fernwärmebranche müssen sich mit den Themen Datenschutz und Cybersicherheit beschäftigen; dementsprechend gerät der rechtliche Rahmen für die Digitalisierung der Fernwärmeversorgung in den Blickpunkt. Im Folgenden wird dieser rechtliche Rahmen näher betrachtet, wobei im Grundsatz zwischen den Vorgaben des Datenschutzrechts (dazu 5.2) und den Vorgaben des Cybersicherheitsrechts (dazu 5.2.2.1.1) unterschieden wird. Die Darstellung nimmt schwerpunktmäßig den rechtlichen Rahmen der Fernwärmeversorger in den Blick, geht aber auch, sofern Neuerungen bestehen oder zu erwarten sind, auf rechtliche Vorgaben für die Hersteller von Wärmezählern ein. Die Darstellung schließt mit einem Ergebnis ab (dazu 5.4).

## **5.2 Datenschutzrechtliche Vorgaben für die Digitalisierung der Fernwärmeversorgung**

Das Datenschutzrecht besteht aus mehreren Regelwerken mit einer Vielzahl von Einzelregelungen. Um ein Verständnis darüber zu gewinnen, welche datenschutzrechtlichen Vorgaben für die Digitalisierung der Fernwärmeversorgung relevant sind, ist es sinnvoll, das Datenschutzrecht zunächst aus dem Blick des europäischen sog. Mehrebenensystems zu betrachten (dazu 5.2.1). Ausgehend davon werden dann die zentralen Vorgaben der maßgeblichen Datenschutz-Grundverordnung dargestellt (dazu 5.2.2). Abschließend werden die Erkenntnisse aus diesem Abschnitt in einem Zwischenergebnis zusammengefasst (dazu 5.2.2.4).

### **5.2.1 Datenschutzrechtliche Vorgaben im Mehrebenensystem**

Die europäische Union ist ein Staatenverbund<sup>13</sup> mit Rechtsetzungskompetenzen auf unterschiedlichen Ebenen. Für diese Ausführungen ist im Bereich des Datenschutzrechts zwischen der europäischen Ebene (dazu 5.2.1.1) und der nationalen Ebene (dazu 5.2.1.2) zu unterscheiden, wobei die Vorgaben für die Digitalisierung der Fernwärmeversorgung insoweit schwerpunktmäßig auf der europäischen Ebene liegen (dazu 5.2.1.3).

---

<sup>13</sup> BVerfGE 123, 267 (348).

#### 5.2.1.1 Datenschutzrechtliche Vorgaben im europäischen Recht

Auf der europäischen Ebene ist zwischen dem europäischen Primärrecht, das im Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV)<sup>14</sup>, dem Vertrag über die Europäische Union (EUV)<sup>15</sup> und in der Grundrechtecharta<sup>16</sup> niedergelegt ist, sowie dem europäischen Sekundärrecht, das insbesondere in europäischen Verordnungen und Richtlinien geregelt ist, zu unterscheiden. Zu diesen europäischen Verordnungen zählen auch die Datenschutz-Grundverordnung (DS-GVO)<sup>17</sup> und die ePrivacy-Verordnung (ePrivacy-VO).

Die Datenschutz-Grundverordnung gilt seit dem Jahr 2018 und regelt die Verarbeitung von personenbezogenen Daten durch Einzelpersonen, Unternehmen und Verbände innerhalb der Europäischen Union. Sie findet nur Anwendung auf Daten von natürlichen Personen, also Privatpersonen. Daten juristischer Personen, also etwa Unternehmen, sind nicht umfasst. Die Verordnung dient dem Schutz der Grundrechte und Grundfreiheiten natürlicher Personen, insbesondere dem Schutz personenbezogener Daten und dem Schutz des freien Datenverkehrs. Die Datenschutz-Grundverordnung enthält neben den Voraussetzungen für die Verarbeitung als Rechtsfolge ein Pflichtenprogramm, das bei jeder Verarbeitung personenbezogener Daten eingehalten werden muss. Die Datenschutz-Grundverordnung kann durch die Mitgliedstaaten im Rahmen von Öffnungsklauseln zudem konkretisiert werden.

Die ePrivacy-Verordnung befindet sich schon seit längerem im Planungsstadium; ist bisher jedoch noch nicht in Kraft getreten<sup>18</sup> Ihr Regelungsgehalt bezieht sich auf die Achtung des

---

<sup>14</sup> Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union, ABl. Nr. C 326 vom 26. Oktober 2012, S. 46.

<sup>15</sup> Vertrag über die Europäische Union, ABl. EU Nr. C 326 vom 26. Oktober 2012, S. 13.

<sup>16</sup> Charta der Grundrechte der Europäischen Union, ABl. EU Nr. C 202 vom 7. Juni 2016, S. 389.

<sup>17</sup> Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung), ABl. EU Nr. L 119 vom 6. Mai 2016, S. 1.

<sup>18</sup> Bisher wurde frühestens Mitte 2019 mit dem Inkrafttreten der Verordnung gerechnet, <https://www.datenschutzexperte.de/blog/datenschutz-und-eu-dsgvo/eprivacy-stand-heute/> (zuletzt abgerufen am 07.05.2024); Seydherhelm, e-privacy-VO und MsbG - Vereinbarkeit der

Privatlebens und den Schutz personenbezogener Daten in der elektronischen Kommunikation in Zusammenhang mit der Verarbeitung elektronischer Kommunikationsdaten, die in Verbindung mit der Bereitstellung und Nutzung elektronischer Kommunikationsdienste erfolgt<sup>19</sup>. Hinsichtlich des Anwendungsbereichs sind „personenbezogene Daten“ im Sinne der ePrivacy-Verordnung nicht mit „personenbezogenen Daten“ im Sinne der Datenschutz-Grundverordnung gleichzusetzen; die ePrivacy-Verordnung bezieht sich auch auf personenbezogene Daten von juristischen Personen. Die ePrivacy-Verordnung lässt im Entwurf ebenfalls eine gewisse Öffnung für nationale Regelungen erkennen<sup>20</sup>

#### 5.2.1.2 *Datenschutzrechtliche Vorgaben im nationalen Recht*

Auf der nationalen Ebene ist für den Datenschutz das einfache Bundesrecht relevant. Hierzu zählen v.a. das vorgenannte Messstellenbetriebsgesetz, das die Datenverarbeitung v. a. in Zusammenhang mit intelligenten Messsystemen regelt („Smart Meter“), sowie das Bundesdatenschutzgesetz (BDSG)<sup>21</sup>, das den allgemeinen Schutz von personenbezogenen Daten insbesondere im Bereich der Datenverarbeitung durch öffentliche Stellen umfasst, aber auch Sonderregelungen für die Verarbeitung durch nichtöffentliche Stellen vorsieht. Die Datenschutz-Grundverordnung wird auf der Grundlage der erwähnten Öffnungsklauseln durch die

---

europäischen und nationalen Anforderungen an die Datenverarbeitung nach dem Messstellenbetriebsgesetz, EnWZ 2018, S. 348 ff., m. w. N.; Schätzungen zufolge ist angesichts des Scheiterns des jüngsten Entwurfs aber nicht mit einem Inkrafttreten vor 2023 zu rechnen, unter Berücksichtigung einer Übergangszeit von 24 Monaten ergäbe sich damit ein Geltungsbeginn etwaiger Neuregelungen nicht vor 2025, vgl. <https://cms.law/de/deu/insight/e-privacy> (zuletzt abgerufen am 07.05.2024).

<sup>19</sup> <https://www.datenschutzexperte.de/blog/datenschutz-und-eu-dsgvo/eprivacy-stand-heute/>.

<sup>20</sup> Die Erlaubnistatbestände des Art. 8 ePrivacy-VO („alleiniger Zweck eines elektronischen Kommunikationsvorgangs“ und „vom Betroffenen gewünschter Dienst der Informationsgesellschaft“) sind jedenfalls nicht einschlägig. Es geht bei der m2m-Kommunikation weder um den alleinigen Zweck des Kommunikationsvorgangs, noch liegt eine Einwilligung des Betroffenen vor, da die Ausstattung aufgrund gesetzlicher Vorgaben stattfindet (§ 29 MsbG), siehe auch: Seyderhelm, e-privacy-VO und MsbG - Vereinbarkeit der europäischen und nationalen Anforderungen an die Datenverarbeitung nach dem Messstellenbetriebsgesetz, EnWZ 2018, S. 348 (349).

<sup>21</sup> Bundesdatenschutzgesetz vom 30. Juni 2017 (BGBl. I S. 2097), das zuletzt durch Art. 10 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 414) geändert worden ist.



Vorgaben des Messstellenbetriebsgesetzes und des Bundesdatenschutzgesetzes konkretisiert.

Vor Erlass der europäischen Datenschutz-Grundverordnung im Jahr 2017 war das allgemeine Datenschutzrecht national im Wesentlichen im Bundesdatenschutzgesetz geregelt. Bezugspunkt des Bundesdatenschutzgesetzes in der Fassung von 25. Mai 2018 sind nach § 1 BDSG, wie schon bei der Datenschutz-Grundverordnung, die personenbezogenen Daten. Das Bundesdatenschutzgesetz enthält umfassende Regelungen für öffentliche Stellen, die auch für private Unternehmen einschlägig sein können (siehe § 1 Abs. 1 BDSG. Näher dazu (Arning et al. 2022), § 1 BDSG Rn. 4 ff.). Durch die Neufassung des Bundesdatenschutzgesetzes vom 25. Mai 2018 wurde auf das gleichzeitige Inkrafttreten der Datenschutz-Grundverordnung reagiert, die zwar einige mitgliedstaatliche Gestaltungsspielräume enthält, gegenüber der vergangenen Fassung des Bundesdatenschutzgesetzes dennoch an etlichen Stellen vorrangig anzuwenden gewesen wäre ((Simitis et al. 2019), Einleitung Rn. 274; (Benecke und Wagner 2016), DVBl. 2016, S. 600 (608), da eine EU-Verordnung in allen Mitgliedstaaten direkt anzuwenden ist, ist es nicht zulässig, bereits geregelte Bereiche durch nationales Recht nochmals (doppelt) zu regeln. Der deutsche Gesetzgeber, darf daher nur insoweit tätig werden, als die Datenschutz-Grundverordnung Spielräume durch bspw. Öffnungsklauseln bietet. Diese Vorgaben wurden durch die Neufassung des Bundesdatenschutzgesetzes berücksichtigt.). Die Neufassung des Bundesdatenschutzgesetzes sorgt dafür, dass unzulässige Überschneidungen zwischen europäischem und nationalem Recht nicht bestehen.

#### *5.2.1.3 Schwerpunkt: Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung*

Die datenschutzrechtlichen Vorgaben, die für die Digitalisierung der Fernwärmeversorgung relevant sind, finden sich in erster Linie in der Datenschutz-Grundverordnung. Die Datenschutz-Grundverordnung ist unmittelbar geltendes Recht in allen Mitgliedsstaaten der EU und genießt als europäische Verordnung grundsätzlich Anwendungsvorrang gegenüber dem nationalen Recht. Dem nationalen Recht, v. a. in Form des Bundesdatenschutzgesetzes, dürfte insoweit nur noch eine geringe Bedeutung zukommen. Schaut man auf die beiden nationalen Regewerke ergibt sich folgendes:

Die Datenschutz-Grundverordnung dürfte im Bereich der Fernwärmeversorgung im Grundsatz nicht durch die spezielleren Regelungen des Messstellenbetriebsgesetzes verdrängt werden, weil das Messstellenbetriebsgesetz nur für den Strom- und Gassektor, nicht aber für die Fernwärme anwendbar ist (vgl. hierzu auch (Fabritius 2022), 5. Aufl., § 6 MsbG Rn. 14). Zwar ist unklar, ob und inwieweit das Messstellenbetriebsgesetz auf die Fernwärme anwendbar ist, wenn der Anschlussnehmer von einem Bündelangebot nach § 6 MsbG Gebrauch macht und der Messstellenbetrieb damit nicht nur für Strom, sondern auch für Fernwärme über das Smart-Meter-Gateway durchgeführt wird. Aber selbst, wenn das Messstellenbetriebsgesetz insoweit

Anwendung fände, bestünde das Problem, dass die Regelungen des Gesetzes auf den Fernwärmesektor nicht ausgelegt ist; hier stellen sich in jedem Fall erhebliche Umsetzungsfragen (vgl. hierzu auch (Fabritius 2022), 5. Aufl., § 6 MsbG Rn. 14).

Auch speziellere Regelungen des Bundesdatenschutzgesetzes werden insoweit kaum in Betracht kommen. Es dürfte nur wenige Regelungen beinhalten, die für die Fernwärmeversorgung überhaupt relevant sein könnten. Vor diesem Hintergrund und dem Umstand, dass schon seit einigen Jahren im Gesetzgebungsverfahren zur ePrivacy-Verordnung keine nennenswerten Fortschritte zu verzeichnen sind, gelten somit weitgehend nur die Regelungen der europäischen Datenschutz-Grundverordnung.

Die Abbildung 5-1 fasst das europäische Mehrebenensystem im Bereich des Datenschutzrechts für die Fernwärmeversorgung und die Schwerpunktsetzung dieser Darstellung zusammen.

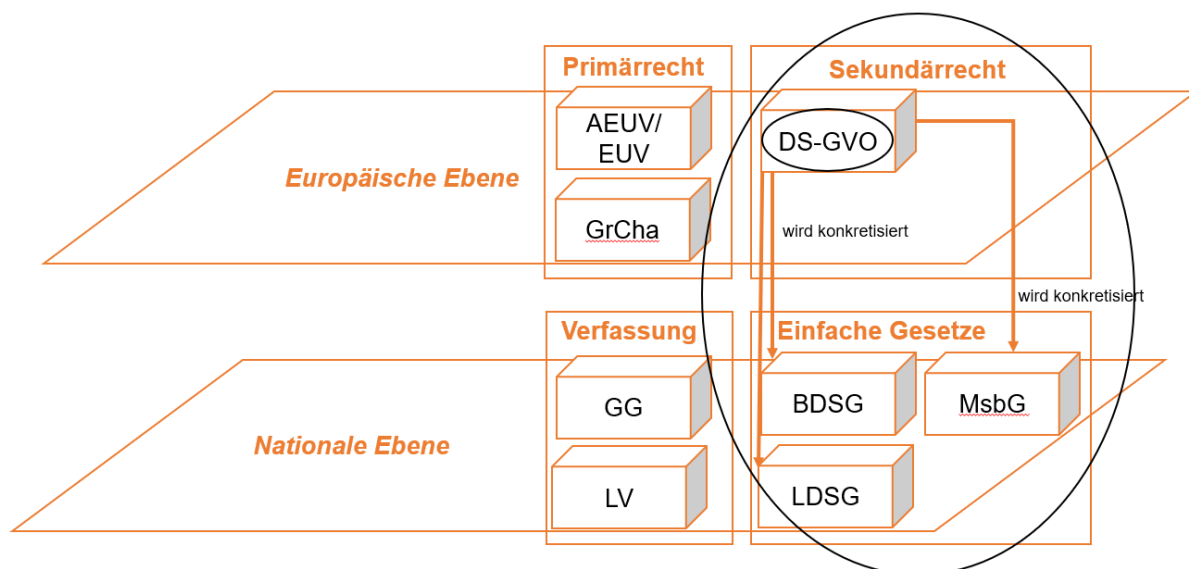


Abbildung 5-1: Datenschutzrecht im europäischen Mehrebenensystem. Quelle: Eigene Darstellung.

### 5.2.2 Die Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung

Die Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung sind, wie erwähnt, unmittelbar in allen Mitgliedstaaten anwendbar und müssen folglich nicht durch nationales Recht umgesetzt werden. Diese betreffen v. a. den Anwendungsbereich der Verordnung (dazu 5.2.2.1), die Anforderungen an eine rechtmäßige Datenverarbeitung (dazu 5.2.2.2), das Pflichtenprogramm der Verordnung (dazu 5.2.2.3) sowie Rechtsfolgen bei Verstößen dagegen (dazu 5.2.2.4).

### 5.2.2.1 Anwendungsbereich der Verordnung: Verarbeitung von personenbezogenen Daten

Die Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung knüpfen an die Verarbeitung von personenbezogenen Daten an. Hintergrund ist, dass das Datenschutzrecht ein Ausdruck der informationellen Selbstbestimmung des Einzelnen ist und daher nach seinem Sinn und Zweck Daten mit einem gewissen Personenbezug schützen soll. Personenbezogene Daten sind in Art. 4 Nr. 1 DS-GVO legaldefiniert. Es handelt sich um

„alle Informationen, die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person (betroffene Person) beziehen; als identifizierbar wird eine natürliche Person angesehen, die direkt oder indirekt, insbesondere mittels Zuordnung zu einer Kennung wie einem Namen, zu einer Kennnummer, zu Standortdaten, zu einer Online-Kennung oder zu einem oder mehreren besonderen Merkmalen, die Ausdruck der physischen, physiologischen, genetischen, psychischen, wirtschaftlichen, kulturellen oder sozialen Identität dieser Person sind, identifiziert werden kann.“

Personenbezogene Daten sind demnach sehr weitgehend alle Angaben, die sich auf eine direkt oder zumindest theoretisch identifizierbare natürliche Person beziehen. Das sind jedenfalls unverschlüsselte Verbrauchs- und Erzeugungsdaten und gewohnheitsbezogene Daten wie Komfortanforderungen oder auch Informationen zur Zahlungsbereitschaft, insofern sie bestimmten natürlichen Personen zugeordnet werden (Glattfeld and Keller-Herder 2018), S. 135 ff., m. w. N.; nach der vom EuGH bestätigten relativen Theorie sind hierbei alle Mittel zu berücksichtigen, die vernünftigerweise eingesetzt werden könnten, um die betreffende Person zu bestimmen, (RA Prof. Dr. Markus Köhler and Ingwert Müller-Boysen)). Personenbezogene Daten können aber auch verschlüsselte oder in gewissem Maße entpersonalisierte Daten sein, wenn durch sie dennoch unter Zuhilfenahme sonstiger Informationen beziehungsweise technischer Mittel auf die Identität der Person geschlossen werden kann, und sofern der erforderliche Aufwand zur Identifizierung nicht unangemessen hoch ist<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> Siehe insbesondere Erwägungsgrund 26 der Datenschutz-Grundverordnung: „Einer Pseudonymisierung unterzogene personenbezogene Daten, die durch Heranziehung zusätzlicher Informationen einer natürlichen Person zugeordnet werden könnten, sollten als Informationen über eine identifizierbare natürliche Person betrachtet werden. Um festzustellen, ob eine natürliche Person identifizierbar ist, sollten alle Mittel berücksichtigt werden, die von dem Verantwortlichen oder einer anderen Person nach allgemeinem Ermessen wahrscheinlich genutzt

Es kann festgehalten werden, dass dem Begriff der personenbezogenen Daten ein umfassender, im Zweifel weit auszulegender Anwendungsbereich zugeschrieben wird und es kann festgehalten werden, dass dem Begriff der personenbezogenen Daten ein umfassender, im Zweifel weit auszulegender Anwendungsbereich zugeschrieben wird und es letztlich ausreichend ist, dass aufgrund der Kombination an Informationen beziehungsweise mit Hilfe technischer Mittel ein Rückschluss auf die dahinterstehende Person ermöglicht wird. Vor diesem Hintergrund können Wärmeverbrauchsdaten von Fernwärmekunden im Einzelfall personenbezogene Daten sein, wenn ein Rückschluss auf die natürliche Person möglich ist.

#### 5.2.2.1.1 Die Identifikation von Personenmehrheiten

Eine weitere Frage stellt sich hinsichtlich der Personenanzahl, auf die rückgeschlossen werden kann: Muss sich die Identifikation immer auf nur eine individuelle natürliche Person beziehen, oder ist auch bei der Identifikation einer Personenmehrheit von personenbezogenen Daten zu sprechen? Dies ist bspw. von Relevanz bei der Fernwärmeversorgung auf Kundenseite, da hinter einem Hausanschluss mit Messeinrichtung regelmäßig eine Mehrzahl von Personen die Wärme verbrauchen. Der Wortlaut der Verordnung ist hier deutlich und spricht von Informationen, die sich auf eine natürliche Person beziehen, Art. 4 Nr. 1 DS-GVO. Insofern ist grundsätzlich bei Informationen, die sich auf Personenmehrheiten oder -gruppen beziehen, aber die Identifikation einer einzelnen Person aus dieser Gruppe nicht ermöglichen, kein Personenbezug anzunehmen. Es besteht allerdings auch hier die Möglichkeit der mittelbaren Identifikation, d. h. es handelt sich dann um personenbezogene Daten, wenn zwar nur eine Gruppe direkt identifiziert wird, es aber mithilfe anderer Informationen beziehungsweise technischen Mitteln möglich ist, doch auf einzelne natürliche Personen rückschließen zu können<sup>23</sup>.

#### 5.2.2.2 Anforderungen an eine rechtmäßige Datenverarbeitung

Liegen personenbezogene Daten vor, sind die Anforderungen an eine rechtmäßige Verarbeitung von personenbezogenen Daten im Bereich der Fernwärmeversorgung in Art. 6 Abs. 1 DS-GVO normiert. Demnach ist eine Verarbeitung nur zulässig, wenn mindestens einer der

---

werden, um die natürliche Person direkt oder indirekt zu identifizieren, wie bspw. das Aussondern.

<sup>23</sup> <https://www.dr-datenschutz.de/personenbezogene-daten-nach-dsgvo-einfach-erklaert/> (zuletzt abgerufen am 07.05.2024).

dort genannten Verarbeitungstatbestände einschlägig ist. Art. 6 Abs. 1 DS-GVO kennt folgende Verarbeitungstatbestände:

- „a) Die betroffene Person hat ihre Einwilligung zu der Verarbeitung der sie betreffenden personenbezogenen Daten für einen oder mehrere bestimmte Zwecke gegeben;
- b) die Verarbeitung ist für die Erfüllung eines Vertrags, dessen Vertragspartei die betroffene Person ist, oder zur Durchführung vorvertraglicher Maßnahmen erforderlich, die auf Anfrage der betroffenen Person erfolgen;
- c) die Verarbeitung ist zur Erfüllung einer rechtlichen Verpflichtung erforderlich, der der Verantwortliche unterliegt;
- d) die Verarbeitung ist erforderlich, um lebenswichtige Interessen der betroffenen Person oder einer anderen natürlichen Person zu schützen;
- e) die Verarbeitung ist für die Wahrnehmung einer Aufgabe erforderlich, die im öffentlichen Interesse liegt oder in Ausübung öffentlicher Gewalt erfolgt, die dem Verantwortlichen übertragen wurde;
- f) die Verarbeitung ist zur Wahrung der berechtigten Interessen des Verantwortlichen oder eines Dritten erforderlich, sofern nicht die Interessen oder Grundrechte und Grundfreiheiten der betroffenen Person, die den Schutz personenbezogener Daten erfordern, überwiegen, insbesondere dann, wenn es sich bei der betroffenen Person um ein Kind handelt.“

Die Verarbeitung von personenbezogenen Daten knüpft mitunter an den Verantwortlichen an. Das wirft die Frage auf, wer Verantwortlicher nach der Datenschutz-Grundverordnung ist (dazu 5.2.2.2.1) Ausgehend davon kann bei der Verarbeitung von personenbezogenen Daten im Bereich der Fernwärmeversorgung zwischen zwei Grundfällen unterschieden werden. Der erste Fall betrifft einen Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnutzer (dazu 5.2.2.2.2), während der zweite Fall auf einen Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnehmer abstellt (dazu 5.2.2.2.3).

#### 5.2.2.2.1 Verantwortlicher nach der Datenschutz-Grundverordnung

Der Verantwortliche ist also die Person, die bei der Datenverarbeitung die wesentlichen Entscheidungen trifft (Bäcker et al. 2024). Zentrale Kriterien für die Entscheidungsbefugnis sind insbesondere Vertragsbestimmungen, soweit sie die Realität abbilden, Umfang von Weisungsrechten sowie Recht und Umfang von Aufsichts- und Kontrollmaßnahmen (Bäcker et al. 2024). Der Verantwortliche ist vom Auftragsverarbeiter zu unterscheiden, der Weisungen entgegennimmt (siehe hierzu Art. 4 Nr. 8 DS-GVO). Verantwortliche können als alleinige Verantwortliche oder als gemeinsame Verantwortliche auftreten, je nachdem, ob die

Entscheidungsbefugnisse bei einer einzigen Person oder bei mehreren Personen liegen ((Bäcker et al. 2024), Art. 4 DS-GVO Rn. 12. Siehe hierzu auch Art. 26 DS-GVO).

Der Verantwortliche ist zur Rechenschaft über die Einhaltung der Pflichten der Datenschutz-Grundverordnung verpflichtet (Art. 5 Abs. 2 DS-GVO). Das ist eine Neuerung seit Inkrafttreten der Datenschutz-Grundverordnung: Vorher lag die Darlegungs- und Beweislast für etwaige Datenschutzverstöße beim Geschädigten. Art. 5 Abs. 2 DS-GVO bürdet den Nachweis des datenschutzkonformen Verhaltens nun dem Verantwortlichen auf ((Glattfeld and Keller-Herder 2018), ER 2018, S. 135 ff., m. w. N). Das hierdurch erhöhte Risiko führt zur Notwendigkeit eines entsprechenden Datenschutzmanagements bei Unternehmen (Glattfeld and Keller-Herder 2018), ER 2018, S. 135 (136 f.)). Der Verantwortliche muss außerdem technische und organisatorische Maßnahmen umsetzen, um sicherzustellen, dass die Verarbeitung gemäß dieser Verordnung erfolgt (Art. 24 DS-GVO). Zu diesen technischen und organisatorischen Maßnahmen (sog. „TOM“) zählt insbesondere auch die Datensicherheit (siehe hierzu unter 5.3.2.3)

Verantwortlicher im Bereich der Fernwärmeversorgung ist bei Abschluss eines Versorgungsvertrags mit einem Fernwärmekunden in jedem Fall der Fernwärmeversorger. Ob eine gemeinsame Verantwortlichkeit von Fernwärmeversorger und Dritten, die vom Fernwärmeversorger für bestimmte Dienstleistungen – z. B. Zählerablesung – beauftragt wurden, besteht, ist vom Einzelfall abhängig. Diese Darstellung geht, aus Vereinfachungsgründen, von einer alleinigen Verantwortlichkeit des Fernwärmeversorgers bei der Verarbeitung von personenbezogenen Daten aus.

#### 5.2.2.2.2 Fall 1: *Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnutzer*

Der erste Fall betrifft Anschlussnutzer, die einen Versorgungsvertrag mit einem Fernwärmeversorger abgeschlossen haben. Es geht also um ein Zweipersonenverhältnis. Dieser Fall ist insbesondere bei Einfamilienhäusern gegeben, kann aber auch bei Mietwohnungen einschlägig sein, wenn der Mieter ausnahmsweise direkt einen Versorgungsvertrag mit dem Fernwärmeversorger abschließt.

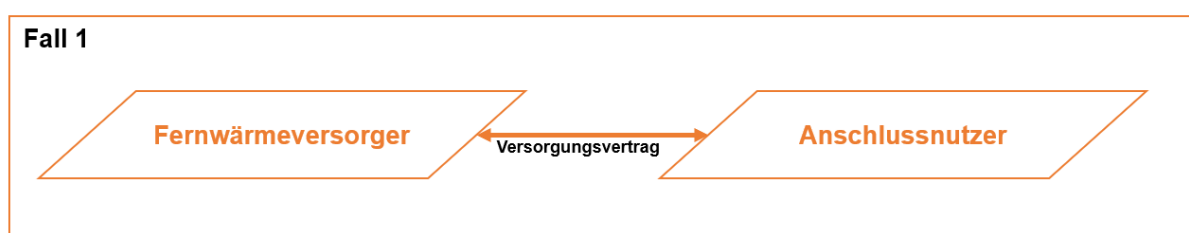


Abbildung 5-2: *Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnutzer (Fall 1). Quelle: Eigene Darstellung.*

Da Fernwärmeversorger und Anschlussnutzer in einem Vertragsverhältnis zueinanderstehen, kommt hier die Verarbeitung der personenbezogenen Daten zum Zweck der Vertragserfüllung in Betracht (Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO). Voraussetzung ist aber, dass die Verarbeitung zu diesem Zweck erforderlich ist. Das ist der Fall, wenn ein unmittelbarer sachlicher Zusammenhang zwischen dem konkreten Vertragszweck und der intendierten Datenverarbeitung besteht ((Bäcker et al. 2024), 4. Aufl., Art. 6 DS-GVO Rn. 39). Die Grundlage, um diesen Zusammenhang herstellen zu können, bildet die Ermittlung der vertragscharakteristischen Leistung ((Bäcker et al. 2024), 4. Aufl., Art. 6 DS-GVO Rn. 39). Vertragscharakteristische Leistung ist bei einem Versorgungsvertrag über Fernwärme die Wärmelieferung. Da der Fernwärmeversorger die Daten des Wärmeverbrauchs zum Zweck der Verbrauchsabrechnung benötigt, dürfte insoweit ein unmittelbarer sachlicher Zusammenhang zum Vertragszweck bestehen und damit die Verarbeitung zu diesem Zweck auch erforderlich sein.

Verarbeitet der Fernwärmeversorger aber auch weitere Daten des Anschlussnutzers, die zum Zweck der Vertragserfüllung nicht erforderlich sind, und kommt kein anderer Verarbeitungstatbestand in Betracht, bedarf der Fernwärmeversorger – wie stets bei fehlenden Erlaubnistatbeständen – der Einwilligung des Anschlussnutzers (Art. 6 Abs. 1 lit. a) DS-GVO). Beim Einholen einer Einwilligung ist darauf zu achten, dass alle erforderlichen Wirksamkeitskriterien erfüllt sind. Die Wirksamkeitsvoraussetzungen der Einwilligung folgen aus Art. 7 DS-GVO. Eine wirksame Einwilligung muss demnach durch eine Willensbekundung in Form einer Erklärung oder einer sonstigen eindeutigen bestätigenden Erteilung von der betroffenen Person, vor Verarbeitung und höchstpersönlich<sup>24</sup> erteilt werden. Zudem sind auf Seiten des Einwilligenden Freiwilligkeit, Informiertheit und hinreichende Bestimmtheit erforderlich.

Die Höchstpersönlichkeit wirft Fragen auf, wenn der Anschlussnutzer in einem Haushalt mit mehreren Personen lebt, die Daten aller Haushaltsmitglieder zum Wärmeverbrauch erfasst werden und Verhaltensprofile dieser Personen gebildet werden könnten. Dann müsste aus Sicht der Datenschutz-Grundverordnung jedes Haushaltsmitglied als betroffene Person<sup>25</sup> seine Einwilligung erteilen, um die Höchstpersönlichkeit sicherzustellen. Das ist aber nicht unproblematisch, zumal ein unbestimmter Kreis betroffener Personen die Erfüllung der

---

<sup>24</sup> Trotz Gegenstimmen kann über die Möglichkeit der Stellvertretung bei der Einwilligung nachgedacht werden, insbesondere da eine gesetzliche Normierung des Kriteriums der Höchstpersönlichkeit nicht existiert, vgl. Lüdemann and Pokrant 2019.

<sup>25</sup> Siehe auch Art. 4 Nr. 1 DS-GVO, der betroffene Person als die natürliche Person bezeichnet, die durch Informationen identifiziert oder identifizierbar ist.

datenschutzrechtlichen Informationspflichten erschwert; denn bei Unklarheit über die konkret betroffene Person laufen auch die Informationen ins Leere ((Lüdemann and Pokrant 2019), DuD 6/2019, S. 365 (369 f.))

Die Freiwilligkeit erfordert insbesondere, dass die Erfüllung eines Vertrags nicht von der Einwilligung abhängig gemacht werden darf, wenn die Einwilligung des Betroffenen per se nicht zur Vertragserfüllung erforderlich ist. Es ist also unzulässig, einen Vertrag abzuschließen, dem Vertragspartner die Erbringung der Leistung dann aber vorzuenthalten, um Druck auf den Betroffenen auszuüben und diesen zur Abgabe einer Einwilligung zu bewegen (sog. vertikales Kopplungsverbot)(Ricci et al. 2022) ( (Brand 2022), Art. 4 Rn. 85, (Dr. iur. Dr. rer. pol. Hans Steege)).

Die Informiertheit erfordert, dass der Betroffene eine Einwilligung in Kenntnis der Sachlage abgibt. Nach Erwägungsgrund 42 der Datenschutz-Grundverordnung sollte die betroffene Person hierfür mindestens wissen, wer der Verantwortliche ist und für welche Zwecke ihre personenbezogenen Daten verarbeitet werden sollen (Lüdemann and Pokrant 2019). Laut Erwägungsgrund 32 der Datenschutz-Grundverordnung soll die Einwilligung durch eine eindeutige bestätigende Handlung erfolgen, mit der u. a. unmissverständlich das Einverständnis bekundet wird. Dies lässt auf das Erfordernis eines „Opt-ins“ schließen<sup>26</sup>

Die Bestimmtheit stellt sicher, dass der Betroffene im Zeitpunkt der Einwilligung auch weiß, für welchen jeweiligen Fall seine Daten benötigt und verarbeitet werden. Dies umfasst bspw. auch die Kenntnis über den Kreis der Datenempfänger oder die Weitergabe der Daten in andere Länder und ähnliche Einzelheiten ((Simitis et al. 2019), Art. 7 Rn. 68). Eine Einwilligung darf demnach nicht zu allgemein formuliert oder als Blanko-Erklärung ausgestaltet sein. Dem Einwilligenden müssen zum Zeitpunkt der Einwilligung auch dann alle Verarbeitungsvorgänge bekannt sein, wenn die Daten faktisch beliebig nutzbar sind. Jede nachträgliche Änderung oder Erweiterung bedarf einer neuen Einwilligung, sofern keine gesetzlicher Erlaubnistatbestand einschlägig ist, der mit den ursprünglichen Erhebungszwecken vereinbar ist. Einzig die anfängliche Festlegung von Zwecken, über deren tatsächlichen Einsatz erst später

---

<sup>26</sup> Beim Opt-in-Verfahren muss der Betreffende aktiv seine Zustimmung bekunden, z.B. durch einen Haken beim Feld „Ja, ich stimme der Verarbeitung zu ...“ in einem Web-Formular. „Opt-out“ beschreibt das Gegenteil, d. h. bei nicht gewollter Verarbeitung der personenbezogenen Daten muss der Betroffene den entsprechenden Haken entfernen. Wichtig ist zudem die Beachtung der weitergehenden Informationspflichten nach Art. 13 DS-GVO.

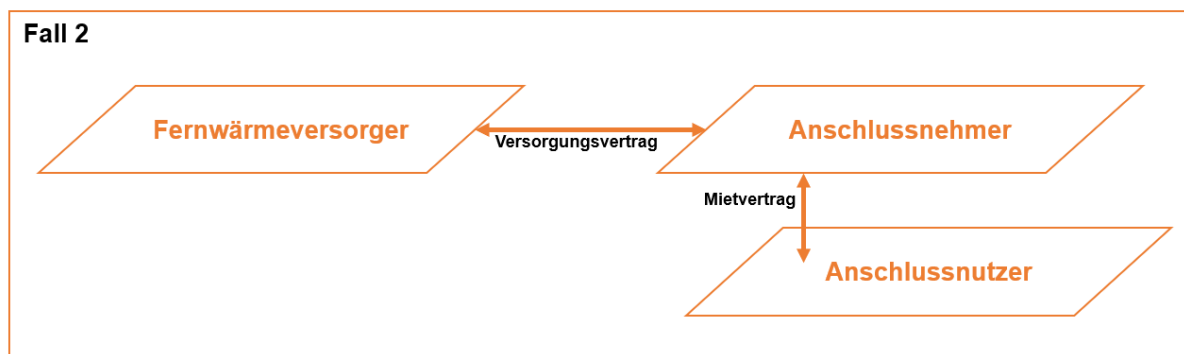


entschieden wird, schon bei Einholung der Einwilligung ist in diesem Zusammenhang denkbar (Lüdemann and Pokrant 2019), DuD 6/2019, S. 365 (367) m. w. N).

Die Einwilligung muss also gewisse Rechtsvorgaben erfüllen, um im Ergebnis wirksam zu sein. Zudem ist sie nur begrenzt zukunftssicher, da Art. 7 Abs. 3 DS-GVO regelt, dass eine Einwilligung jederzeit vom Betroffenen widerrufen werden kann. Die Verarbeitung ist dann mit Wirkung für die Zukunft nicht mehr zulässig ist und der Betroffene kann eine Löschung der erhobenen Daten (auch bei Dritten) verlangen. Dies kann beim Verantwortlichen zu logistischem und technischem Aufwand führen und sollte daher bedacht werden, wenn sich für den Weg der Datenverarbeitung über die Einwilligung entschieden wird. Eine Belehrung über diese Widerrufsmöglichkeit muss bei Abgabe der Einwilligung erfolgen.

#### 5.2.2.2.3 Fall 2: *Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnehmer*

Der zweite Fall betrifft Anschlussnehmer, die einen Versorgungsvertrag mit einem Fernwärmeversorger abgeschlossen haben. Sofern der Anschlussnehmer ein Vermieter ist und damit Anschlussnehmer und Anschlussnutzer auseinanderfallen, besteht hier zumindest ein Dreipersonenverhältnis; bei mehreren Anschlussnutzern ein Verhältnis mit einer entsprechenden Personenanzahl. Das ist in Mietverhältnissen der Regelfall, weil der Versorgungsvertrag zumeist zwischen Fernwärmeversorger und Gebäudeeigentümer/Vermieter abgeschlossen wird und der Vermieter die Fernwärmekosten im Rahmen der Betriebskostenabrechnung mit dem Mieter als Anschlussnutzer abrechnet. In diesem Fall muss also das Vertragsverhältnis zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnehmer und das Vertragsverhältnis zwischen Anschlussnehmer und Anschlussnutzer unterschieden werden.



*Abbildung 5-3: Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnehmer (Fall 2). Quelle: Eigene Darstellung.*

Der Anschlussnehmer wird im Rahmen des Vertragsverhältnisses mit dem Anschlussnutzer personenbezogene Daten verarbeiten, zumal ihm, neben den Wärmeverbrauchsdaten, der Name, die Adresse und sonstige Angaben aus dem Mietvertrag und einer etwaigen Mieterselbstauskunft bekannt sind. Die Verarbeitung der personenbezogenen Daten des

161

Anschlussnutzers dürfte aber zur Vertragserfüllung erforderlich sein, weil Teil des Mietvertrags in diesem Fall auch die Bereitstellung von Fernwärme und damit insoweit eine vertragscharakteristische Leistung ist. Da der Anschlussnehmer die Wärmeverbrauchsdaten regelmäßig für die Erstellung der Betriebskostenabrechnung benötigt, dürfte eine rechtmäßige Verarbeitung nach Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO vorliegen. Sofern der Anschlussnehmer im Mietvertrag eine Betriebskostenpauschale vereinbart hat und die Wärmeverbrauchsdaten daher nicht für die Erstellung einer Betriebskostenabrechnung benötigt werden, lässt sich jedenfalls vertreten, dass die Verarbeitung zur Wahrung der berechtigten Interessen des Anschlussnehmers erforderlich ist (Art. 6 Abs. 1 lit. f) DS-GVO), weil der Anschlussnehmer für die Abrechnung des Versorgungsvertrags gegenüber dem Fernwärmeversorger Kenntnis über den Wärmeverbrauch am betreffenden Hausanschluss haben muss.

Der Fernwärmeversorger wird im Rahmen des Vertragsverhältnisses mit dem Anschlussnehmer personenbezogene Daten des Anschlussnehmers sowie gegebenenfalls, wenn ein Personenbezug hergestellt werden kann, auch personenbezogene Daten der Anschlussnutzer verarbeiten. Die Verarbeitung der personenbezogenen Daten des Anschlussnehmers dürfte zur Vertragserfüllung erforderlich sein, weil – wie erörtert – die vertragscharakteristische Leistung bei einem Versorgungsvertrag über Fernwärme die Wärmelieferung ist und der Fernwärmeversorger die Daten des Anschlussnehmers zum Zweck der Verbrauchsabrechnung benötigt (Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO). Die Verarbeitung der personenbezogenen Daten der Anschlussnutzer kann wohl nicht darauf gestützt werden, dass die Verarbeitung zur Vertragserfüllung erforderlich ist, weil Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO voraussetzt, dass

---

„(...) dessen Vertragspartei die betroffene Person ist (...)“.

Vertragspartei des Versorgungsvertrags ist der Anschlussnehmer, während betroffene Person hier insoweit der Anschlussnutzer ist, weil dessen Wärmeverbrauchsdaten verarbeitet werden sollen. Das heißt aber nicht notwendigerweise, dass der Fernwärmeversorger für die Verarbeitung der Wärmeverbrauchsdaten der Anschlussnutzer eine Einwilligung nach Art. 6 Abs. 1 lit. a) DS-GVO benötigt. Unter der Voraussetzung, dass es sich im Einzelfall um personenbezogene Daten handelt, könnte der Fernwärmeversorger möglicherweise eine Verarbeitung auf die Wahrung der berechtigten Interessen des Fernwärmeversorgers nach Art. 6 Abs. 1 lit. f) DS-GVO stützen.

Die Wahrung berechtigter Interessen wird anhand einer dreistufigen Prüfung festgestellt, wobei nach deutschem Verständnis auf der ersten Stufe die Interessen dem Gesetz nicht zuwiderlaufen dürfen, auf der zweiten Stufe die Datenverarbeitung zur Wahrung dieses berechtigten Interesses erforderlich sein muss sowie auf der dritten Stufe eine abschließende

Interessenabwägung zugunsten des Verantwortlichen ausfallen muss (Bäcker et al. 2024). Der Fernwärmeversorger dürfte bei Personenmehrheiten in einem Gebäude ein berechtigtes Interesse an der Verarbeitung der Wärmeverbrauchsdaten der Anschlussnutzer haben, weil er auf dieser Grundlage eine Abrechnung über die Wärmelieferung erstellt und diesen Zahlbetrag dem Anschlussnehmer in Rechnung stellt. Dieses berechnete Interesse dürfte auch erforderlich sein, weil der Fernwärmeversorger ohne die Verarbeitung der Wärmeverbrauchsdaten keine exakte Abrechnung und damit auch keinen exakten Zahlbetrag gegenüber dem Anschlussnehmer ausweisen kann. Zudem spricht viel dafür, dass eine Interessenabwägung zugunsten des Fernwärmeversorgers ausfällt. Hätte der Anschlussnehmer nicht selbst einen Versorgungsvertrag mit dem Fernwärmeversorger abgeschlossen, wäre der Anschlussnutzer gehalten gewesen, einen Versorgungsvertrag mit dem Fernwärmeversorger abzuschließen. Dann wäre eine Datenverarbeitung – im Rahmen des Erforderlichen – zur Vertragserfüllung nach Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO zulässig. Der Anschlussnutzer steht also durch die Verarbeitung nach Art. 6 Abs. 1 lit. f) DS-GVO nicht schlechter. Hinzu kommt, dass eine Verarbeitung nach Art. 6 Abs. 1 lit. f) DS-GVO die Datenverarbeitung für den Fernwärmeversorger erheblich vereinfacht, weil eine Einwilligung mit allen Anschlussnutzern, die in Mietshäusern auch regelmäßig wechseln und die – wie erörtert – jederzeit widerrufen werden kann, nicht notwendig ist. Eine Verarbeitung nach Art. 6 Abs. 1 lit. f) DS-GVO dürfte also für den Fernwärmeversorger vorteilhaft und für den Anschlussnutzer nicht nachteilig sein. Daher spricht viel dafür, dass der Fernwärmeversorger eine Verarbeitung insoweit auf die Wahrung der berechtigten Interessen des Fernwärmeversorgers nach Art. 6 Abs. 1 lit. f) DS-GVO stützen kann.

Verarbeitet der Fernwärmeversorger aber neben den personenbezogenen Daten des Anschlussnehmers, die zum Zweck der Vertragserfüllung erforderlich sind, und den Wärmeverbrauchsdaten der Anschlussnutzer, die zur Wahrung der berechtigten Interessen des Fernwärmeversorgers erforderlich sind, weitere personenbezogene Daten, kann im Einzelfall eine Einwilligung des Betroffenen erforderlich sein (Art. 6 Abs. 1 lit. a) DS-GVO).

### *5.2.2.3 Pflichtenprogramm der Datenschutz-Grundverordnung*

Werden personenbezogene Daten verarbeitet – sei es aufgrund eines Erlaubnistatbestands oder einer Einwilligung – enthält die Datenschutz-Grundverordnung eine Reihe von Pflichten, die im Zusammenhang mit der Datenverarbeitung zu beachten sind. Zu diesen Pflichten gehören v. a. Informationspflichten (dazu 5.2.2.3.1), das Recht auf Löschung (dazu 5.2.2.3.2) sowie das Recht auf Datenübertragbarkeit (dazu 5.2.2.3.3). Im Folgenden soll ein Überblick über relevante Pflichten verschafft werden.

#### *5.2.2.3.1 Informationspflichten*

Zum Pflichtenprogramm des Verantwortlichen gehören Informationspflichten bei der Erhebung von personenbezogenen Daten. Die Informationspflichten unterscheiden danach, ob die

personenbezogenen Daten beim Betroffenen erhoben wurden oder nicht. Die Datenerhebung beim Betroffenen ist in Art. 13 DS-GVO geregelt, während die Datenerhebung bei einem Dritten in Art. 14 DS-GVO normiert ist. In beiden Fällen kommt dem Verantwortlichen die Aufgabe zu, dem Betroffenen zum Zeitpunkt der Datenerhebung eine Reihe von Informationen zur Verfügung zu stellen; zu diesen Informationen zählen bspw. der Name und die Kontaktdaten des Verantwortlichen sowie die Zwecke der Datenverarbeitung. Da bei einem Versorgungsvertrag die personenbezogenen Daten beim Betroffenen erhoben werden, ist insoweit Art. 13 DS-GVO einschlägig; der Fernwärmeversorger muss dem Kunden die dort genannten Informationen vor Beginn der Wärmelieferung bereitstellen. Das wird in aller Regel in einer Datenschutzerklärung geschehen, die Teil des Versorgungsvertrags ist.

#### 5.2.2.3.2 Recht auf Löschung

Zum Pflichtenprogramm gehört ferner das Recht auf Löschung nach Art. 17 DS-GVO. Danach besteht nicht nur das Recht des Betroffenen, dass der Verantwortliche personenbezogene Daten unverzüglich löscht, sondern in bestimmten Fällen auch die Pflicht zur Löschung. Einer der Gründe, warum eine Pflicht zur Löschung bestehen kann, ist insbesondere, dass der Zweck der Datenverarbeitung entfallen ist (Art. 17 Abs. 1 lit. a) DS-GVO). Das dürfte im Bereich der Fernwärmeversorgung etwa der Fall sein, wenn der Versorgungsvertrag mit dem Fernwärmeversorger gekündigt wird und der Wärmebedarf durch andere Energieträger oder durch einen anderen Fernwärmeversorger gedeckt wird.

Die Löschung betrifft aber nicht nur den Verantwortlichen; es muss unter Berücksichtigung von verfügbaren Technologien auch bei Dritten, die diese Daten bzw. Kopien, Links etc. verwenden, eine Löschung herbeigeführt werden (Dena-ANALYSE)). Die Arbeitsschritte zur Berücksichtigung dieser Rechte und Pflichten können bei großer Verbreitung von Daten mit einigem logistischen Aufwand verbunden sein und auch eine entsprechend hohe Serverleistung erfordern (Belz 2019).

#### 5.2.2.3.3 Recht auf Datenübertragbarkeit

Art. 20 DS-GVO gewährt schließlich das Recht, dass jeder Person die personenbezogenen Daten, die einem Verantwortlichen bereitgestellt wurden, in einem strukturierten, gängigen und maschinenlesbaren Format (interoperables Format (Dena-ANALYSE)) zur Verfügung stehen müssen. Daneben besteht die Pflicht, dass der verantwortliche Erheber die Daten in einem interoperablen Format speichern muss, damit diese auf Wunsch des Betroffenen an Dritte für eine weitere Nutzung übertragen werden können. Problematisch ist in diesem Zusammenhang, dass in vielen Bereichen der Energiewirtschaft bislang keine einheitlichen Datenformate vorliegen, die den Anforderungen an interoperable Formate genügen (Dena-ANALYSE).

#### 5.2.2.4 Rechtsfolgen bei Verstößen

Die Rechtsfolgen bei Verstößen gegen die Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung betreffen Untersuchungs- und Abhilfebefugnisse, die in Art. 58 DS-GVO abschließend aufgeführt sind. Von besonderer Bedeutung sind dabei Geldbußen, die zu den Abhilfebefugnissen gehören (Art. 58 Abs. 2 lit. i) DS-GVO). Die Einzelheiten zu Geldbußen sind in Art. 83 DS-GVO geregelt.

Die Geldbußen werden durch die nationalen Datenschutzaufsichtsbehörden für bestimmte Datenschutzverstöße verhängt. Die Bußgelder werden zusätzlich oder anstelle von weiteren Bei- oder Abhilfebefugnissen auferlegt. Auch der Auftragsverarbeiter kann direkt und/oder neben dem Verantwortlichen mit Sanktionen belegt werden. Die Bußgelder müssen im Einzelfall wirksam, verhältnismäßig und abschreckend sein. Bei der Entscheidung, ob und in welcher Höhe Sanktionen verhängt werden, steht den Aufsichtsbehörden ein gesetzlicher Kriterienkatalog zur Verfügung. Straferhöhend wirken die Vorsätzlichkeit des Verstoßes, ein Versäumnis, Maßnahmen zur Minderung des entstandenen Schadens zu ergreifen, oder eine fehlende Zusammenarbeit mit der Aufsichtsbehörde.

In Art. 83 Abs. 5 DS-GVO sind besonders gravierende Verstöße aufgelistet, für die der Bußgeldrahmen bis zu 20 Millionen Euro beträgt oder im Fall eines Unternehmens bis zu 4 Prozent des gesamten weltweit erzielten Jahresumsatzes im vorangegangenen Geschäftsjahr, je nachdem, welcher Wert der höhere ist. Im Übrigen sind Geldbußen von bis zu 10 Millionen Euro oder im Fall eines Unternehmens von bis zu 2 Prozent seines gesamten weltweit erzielten Jahresumsatzes des vorangegangenen Geschäftsjahrs möglich (Art. 83 Abs. 4 DS-GVO).

#### 5.2.2.5 Zwischenergebnis zum Datenschutzrecht

Das Datenschutzrecht im europäischen Mehrebenensystem besteht aus einer Vielzahl an Regelungswerken und einzelnen Regelungen. Die zentralen Vorgaben für die Digitalisierung der Fernwärmeversorgung finden sich insoweit in der Datenschutz-Grundverordnung. Der Anwendungsbereich der Datenschutz-Grundverordnung betrifft die Verarbeitung von personenbezogenen Daten. Personenbezogene Daten liegen vor, wenn eine natürliche Person identifiziert werden kann oder identifizierbar ist. Wärmeverbrauchsdaten können im Einzelfall personenbezogene Daten darstellen, wenn sie Rückschlüsse auf die Identität der natürlichen Person zulassen. Eine besondere Problemstellung bilden insoweit Personenmehrheiten.

Die Verarbeitung von personenbezogenen Daten ist nur zulässig, wenn ein Verarbeitungstatbestand nach Art. 6 Abs. 1 DS-GVO vorliegt. Bei der Fernwärmeversorgung ist zwischen zwei Grundfällen zu unterscheiden. Im ersten Fall besteht ein Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnutzer in Form eines Zweipersonenverhältnisses. Die Verarbeitung der Wärmeverbrauchsdaten ist hier zur Erfüllung des Versorgungsvertrags erforderlich

(Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO). Einer Einwilligung des Anschlussnutzers bedarf es grundsätzlich nicht, es sei denn, es werden weitere Daten verarbeitet, die zu diesem Zweck nicht erforderlich sind. Im zweiten Fall besteht ein Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnehmer. Es liegt zumindest ein Dreipersonenverhältnis vor, weil Anschlussnehmer und Anschlussnutzer auseinanderfallen; der Anschlussnehmer ist Vermieter, während der Anschlussnutzer ein Mieter ist. Der Anschlussnehmer darf die personenbezogenen Daten des Anschlussnutzers, zu denen auch Wärmeverbrauchsdaten gehören können, zum Zweck der Erfüllung des Mietvertrags verarbeiten (Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO). Der Fernwärmeversorger darf die personenbezogenen Daten des Anschlussnehmers zum Zweck der Erfüllung des Versorgungsvertrags verarbeiten (Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO); die Wärmeverbrauchsdaten des Anschlussnutzers aber nicht, weil zwischen ihm und dem Anschlussnutzer kein Versorgungsvertrag besteht. Es spricht aber gute Argumente dafür, dass der Fernwärmeversorger die Wärmeverbrauchsdaten des Anschlussnutzers zur Wahrung seiner berechtigten Interessen verarbeiten darf (Art. 6 Abs. 1 lit. f) DS-GVO). Eine Einwilligung des Anschlussnehmers oder des Anschlussnutzers ist insoweit also wohl nicht erforderlich, es sei denn, es werden weitere Daten verarbeitet, die zu diesen Zwecken nicht erforderlich sind.

Der Verantwortliche, das ist hier in erster Linie der Fernwärmeversorger, muss ein umfangreiches Pflichtenprogramm der Datenschutz-Grundverordnung beachten. Dieses Pflichtenprogramm enthält unter anderem Informationspflichten gegenüber dem Betroffenen, ein Recht auf Löschung sowie ein Recht auf Datenübertragbarkeit. Der Verantwortliche sollte die Pflichten, die an ihn gestellt werden, einhalten, weil die nationalen Datenschutzaufsichtsbehörden bei Verstößen Untersuchungs- und Abhilfebefugnisse haben. Zu diesen Abhilfebefugnissen zählt, als wohl schärfstes Schwert, auch die Verhängung von Geldbußen, die im Einzelfall wirksam, verhältnismäßig und abschreckend sein sollen.

### **5.3 Cybersicherheitsrechtliche Vorgaben für die Digitalisierung der Fernwärmeversorgung**

Das Cybersicherheitsrecht ist eine Querschnittsmaterie und die einzelnen Vorschriften sind über eine Vielzahl von Regelungswerken verstreut. Dies erschwert die Rechtsanwendung des Cybersicherheitsrechts auch für Fernwärmeversorger. Hinzu kommt, dass verschiedene Begrifflichkeiten mitunter synonym verwendet werden, obwohl rechtlich zwischen Cybersicherheit, Informationssicherheit, IT-Sicherheit und Datensicherheit zu unterscheiden ist. Die begriffliche und rechtliche Zersplitterung dieses Komplexes erfordert eine Ordnung dieses immer wichtiger werdenden Rechtsgebiets. Ausgehend von einer klärenden Begriffsbestimmung (dazu 5.3.1) werden zentrale Vorgaben im europäischen Cybersicherheitsrecht (dazu 5.3.2)

sowie im nationalen Cybersicherheitsrecht (dazu 5.3.3) für den Bereich der Fernwärmeversorgung dargestellt.

### 5.3.1 Cybersicherheit: Begriffsbestimmung und Begriffsabgrenzung

Für die rechtliche Annäherung an die Materie bedarf es zunächst einer Klärung der auch in den Rechtstexten verwendeten Begriffe. Neben dem Begriff der Cybersicherheit können zwei Begriffspaare unterschieden werden: Informationssicherheit und IT-Sicherheit als Begriffspaar aus der Informatik sowie Datenschutz und Datensicherheit als Begriffspaar aus dem Recht ((Hornung and Schallbruch 2024), § 17 Rn. 1). Cybersicherheit ist ein Begriff mit gewissen Unschärfen. Teilweise wird Cybersicherheit nur auf das Themenfeld der IT-Sicherheit mit einem besonderen Fokus auf Kommunikation und Vernetzung bezogen ((Hornung and Schallbruch 2024), § 5 Rn. 6.). So definiert etwa die deutsche Cybersicherheitsstrategie 2021 Cybersicherheit als

„die IT-Sicherheit der im Cyberraum auf Datenebene vernetzten beziehungsweise vernetzbaren informationstechnischen Systeme“(BMI 2021).

Teilweise wird Cybersicherheit aber auch als Oberbegriff für die beiden Begriffspaare verstanden und deckt damit die Themenfelder Informationssicherheit, IT-Sicherheit und Datensicherheit in Gänze ab ((Kipker et al. 2023), Kap. 1 Rn. 4). Dieses letztgenannte, eher weite Begriffsverständnis wird den folgenden Ausführungen zugrunde gelegt.

*Informationssicherheit* ist demgemäß ein Teilbereich der Cybersicherheit. Sie schützt technische und nicht-technische Systeme vor Gefahren und Bedrohungen durch Risikominimierung. Dabei ist sie als Begriff der Informatik blind für den Personenbezug von Informationen (vgl. Voskamp, in: (Kipker et al. 2023), Kap. 5 Rn. 1). Zugleich ist sie ein Oberbegriff für IT-Sicherheit, die sich nur auf Systeme sowie Informations- und Kommunikationstechnik bezieht ( (Hornung and Schallbruch 2024), vgl. (Kipker et al. 2023)).

Datenschutz und Datensicherheit nehmen weniger die Perspektive von Systemen, sondern mehr von Rechten ein. Datenschutz geht dabei von der Perspektive des Betroffenen aus und betrifft in erster Linie diejenigen Voraussetzungen, die rechtlich an die informationelle

Selbstbestimmung i. S. v. Art. 2 Abs. 1 i. V. m. Art. 1 Abs. 1 des Grundgesetzes (GG)<sup>27</sup> anzulegen sind (Kipker et al. 2023), teilweise wird Datenschutz einengend allein auf die informationelle Selbstbestimmung und damit auf personenbezogene Daten reduziert, s. Voskamp in (Kipker et al. 2023)). Datensicherheit geht dagegen eher von der Perspektive des Verantwortlichen aus und betrifft diejenigen Voraussetzungen, die rechtlich an eine technisch-organisatorische Absicherung eines angemessenen Datenschutzniveaus zu stellen sind (vgl. Kipker in: (Kipker et al. 2023)). Effizienter Datenschutz erfordert zudem auch Datensicherheit, weswegen beide Bereiche eng miteinander verknüpft sind (vgl. Voskamp, in: (Kipker et al. 2023)). Dagegen betreffen Datensicherheit und IT-Sicherheit die Sicherheit bei der Digitalisierung aus verschiedenen Perspektiven: Die eine betrifft die Mikroperspektive, die andere die Makroperspektive (Hornung and Schallbruch 2024). Allerdings fällt die strikte Trennung von Mikro- und Makroebene praktisch schwer, weil die Systemarchitektur der Rahmen für die Datenverarbeitung ist.

### **5.3.2 Vorgaben im europäischen Cybersicherheitsrecht**

Das europäische Cybersicherheitsrecht ist Ausfluss der europäischen Cybersicherheitsstrategie<sup>28</sup> und aus einer Vielzahl von Rechtsakten zusammengesetzt. Zu nennen sind für den Sektor der Fernwärmeversorgung v. a. die Richtlinie (EU) 2022/2555 („Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II“)<sup>29</sup>, die Verordnung 2019/881 („Cybersecurity Act“)<sup>30</sup> sowie die

---

<sup>27</sup> Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Art. 1 u. 2 Satz 2 des Gesetzes vom 29. September 2020 (BGBl. I S. 2048) geändert worden ist.

<sup>28</sup> Siehe hierzu [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip\\_20\\_2391](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_20_2391) (zuletzt abgerufen am 07.05.2024).

<sup>29</sup> Richtlinie (EU) 2022/2555 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2022 über Maßnahmen für ein hohes gemeinsames Cybersicherheitsniveau in der Union, ABl. EU Nr. L 333 vom 27. Dezember 2022, S. 80.

<sup>30</sup> Verordnung (EU) 2019/881 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 über die ENISA (Agentur der Europäischen Union für Cybersicherheit) und über die Zertifizierung der Cybersicherheit von Informations- und Kommunikationstechnik, ABl. EU Nr. 151 vom 7. Juni 2019, S. 15.



Verordnung die oben ausführlich vorgestellte Datenschutz-Grundverordnung<sup>31</sup>. Sie bilden zusammen mit den Vorgaben des nationalen Cybersicherheitsrechts den Kernbestand der Cybersicherheitsarchitektur im Bereich der Fernwärmeversorgung in Deutschland. Dieser Kernbestand wird allerdings zunehmend um weitere Rechtsakte ergänzt, die nicht schwerpunktmäßig die Cybersicherheit betreffen, aber in einzelnen Bestimmungen die Cybersicherheit adressieren. Zu nennen ist bspw. die Verordnung (EU) 2023/988 („Produktsicherheitsverordnung“)<sup>32</sup>, die im Rahmen der Produktsicherheit auch Anforderungen an die Cybersicherheit stellt<sup>33</sup>.

Die Architektur des Cybersicherheitsrechts wird in ihrem Kernbestand in der folgenden Abbildung 5-4 dargestellt. Hervorzuheben ist hierbei das europäische Cybersicherheitsrecht, weil es durch unmittelbare Anwendbarkeit im Fall einer Verordnung sowie durch nationale Umsetzungspflichten im Fall einer Richtlinie die Grundpfeiler des nationalen Cybersicherheitsrechts sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene ganz maßgeblich beeinflusst.

---

<sup>31</sup> Weitere europäische Rechtsakte im Bereich des Cybersicherheitsrechts sind insbesondere die Richtlinie 2008/114/EG, über die Ermittlung und Ausweisung europäischer Kritischer Infrastrukturen die Richtlinie 2013/40/EU über Angriffe auf Informationssysteme und die Richtlinie 2014/53/EU über die rechtliche Harmonisierung bei der Bereitstellung von Funkanlagen; schöner Überblick bei Kipker et al. 2023, 2. Aufl., Kap. 1 Rn. 30.

<sup>32</sup> Verordnung (EU) 2023/988 des Parlaments und des Rates vom 10. Mai 2023 über die allgemeine Produktsicherheit, ABl. Nr. L 135 vom 23. Mai 2023, S. 1.

<sup>33</sup> Siehe 5.3.2.4.

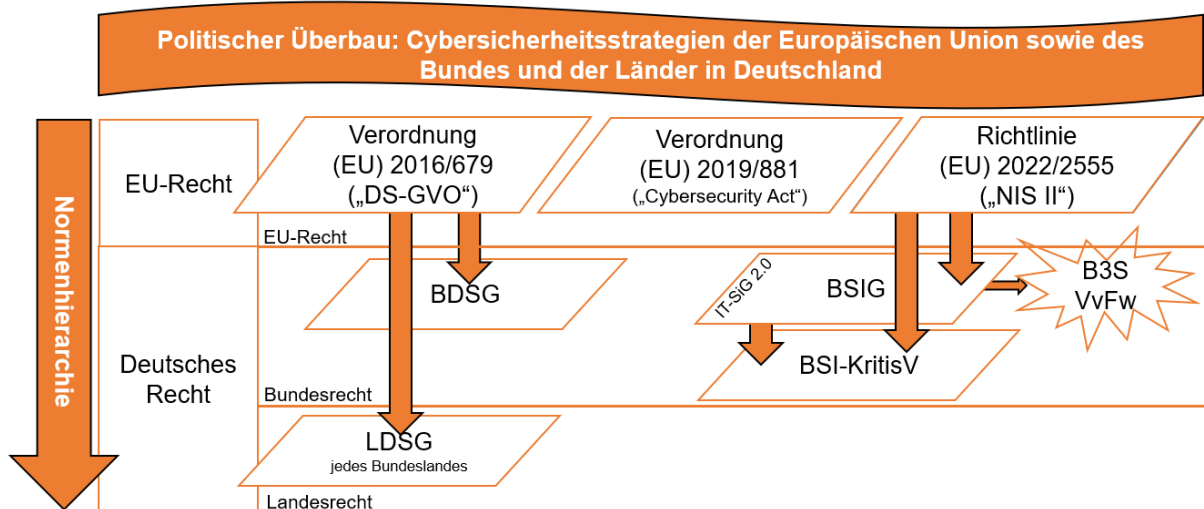


Abbildung 5-4: Architektur des europäischen und nationalen Cybersicherheitsrechts. Quelle: Eigene Darstellung.

Das maßgebliche EU-Cybersicherheitsrecht im Bereich der Fernwärmeversorgung hat im Kern folgenden Inhalt: Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II („NIS II“) enthält Vorgaben, um ein gemeinsames hohes Cybersicherheitsniveau in der Europäischen Union zu gewährleisten. Sie ist sektorspezifisch ausgestaltet und statuiert v. a. Pflichten im Hinblick auf Risikomanagement, Governance sowie Berichte gegenüber bestimmten Stellen. Der Cybersecurity Act schafft u. a. Vorgaben für die behördliche Struktur im Bereich der europäischen Cybersicherheit. Die Datenschutz-Grundverordnung („DS-GVO“) enthält schließlich bruchstückhafte Vorgaben zur Datensicherheit. Hervorzuheben sind insbesondere Art. 25 DS-GVO zum Datenschutz durch Technikgestaltung sowie Art. 32 DS-GVO zur Sicherheit der Datenverarbeitung.

Die folgende Darstellung geht auf die Vorgaben der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II (dazu 5.3.2.1), die Vorgaben des Cybersecurity Act (dazu 5.3.2.2), die Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung (dazu 5.3.2.3) sowie die Vorgaben der Produktsicherheitsverordnung (dazu 5.3.2.4) im Bereich der Fernwärmeversorgung ein. Schwerpunkt der Darstellung bilden dabei die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II sowie die Datenschutz-Grundverordnung, weil diese Rechtsakte im Bereich der Fernwärmeversorgung die größte Bedeutung haben dürften.

Hinzuweisen ist darauf, dass das Cybersicherheitsrecht durch politische, wirtschaftliche und technische Entwicklungen getrieben wird und dementsprechend einer hohen Dynamik unterliegt. Schon die obige Abbildung deutet diese Dynamik durch die Jahreszahlen der europäischen Rechtsakte an. Das Cybersicherheitsrecht wird laufend um neue Bausteine aktualisiert und erweitert. Derzeit befinden sich zahlreiche Vorgaben im Bereich der Cybersicherheit noch

im Entwurfsstadium. Sie werden aber in naher Zukunft zu geltendem Recht; einige dieser Entwürfe werden auch für die Fernwärmeversorgung von Bedeutung sein. Daher sollen auch diese überblicksartig betrachtet (dazu 5.3.2.5) und die aktuelle Rechtslage vorgestellt werden<sup>34</sup>

#### 5.3.2.1 Vorgaben in der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II

Digitalisierung ist in vielen Unternehmen eine Grundvoraussetzung für die Ausübung wirtschaftlicher Tätigkeiten. Digitalisierung ermöglicht aber nicht nur neue Chancen für Unternehmen, sondern birgt auch neue Risiken. Risiken der Digitalisierung sind v. a. Angriffe auf Informationssysteme mit dem Ziel, diese Systeme lahmzulegen und/oder Daten aus diesen Systemen zu entwenden oder zu manipulieren. Solche Cyberangriffe sind insbesondere in den Bereichen der Kritischen Infrastrukturen problematisch. Kritische Infrastrukturen sind – so Art. 2 lit. a) Richtlinie 2008/114/EG – Anlagen, Systeme oder Teile davon,

„die von wesentlicher Bedeutung für die Aufrechterhaltung wichtiger gesellschaftlicher Funktionen, der Gesundheit, der Sicherheit und des wirtschaftlichen oder sozialen Wohlergehens der Bevölkerung sind und deren Störung oder Zerstörung erhebliche Auswirkungen auf einen Mitgliedstaat hätte, da diese Funktionen nicht aufrechterhalten werden könnten“.

Kritische Infrastrukturen, die einer besonderen Sicherheit ihrer Netz- und Informationssysteme bedürfen, wurden erstmals von der Europäischen Union in der Richtlinie (EU) 2016/1148 („NIS I“)<sup>35</sup> definiert. Zu diesen Kritischen Infrastrukturen gehörte nach Anhang II auch – und zwar hervorgehoben an erster Stelle – der Energiesektor, wobei nur die Teilsektoren Elektrizität, Erdöl und Erdgas umfasst waren. Der Teilsektor der Fernwärme wurde in dieser Richtlinie nicht umfasst. Da die Richtlinie – mangels unmittelbarer Anwendbarkeit – eine Umsetzung in nationales Recht erforderte und diese Umsetzung nur den Mindestvorgaben der Richtlinie entsprechen musste, entschloss sich der deutsche Gesetzgeber für eine überschießende Richtlinienumsetzung und erweiterte den nationalen Katalog der Kritischen Infrastrukturen um den Teilsektor Fernwärme. Die zu erreichenden Schwellenwerte, um als Fernwärmeversorger unter diesen Katalog zu fallen, waren aber außerordentlich hoch angesetzt und betrafen nur eine

---

<sup>34</sup> Mit Stand April 2024.

<sup>35</sup> Richtlinie (EU) 2016/1148 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2016 über Maßnahmen zur Gewährleistung eines hohen gemeinsamen Sicherheitsniveaus von Netz- und Informationssystemen in der Union, ABl. EU Nr. L 194 vom 19.07.2016, S. 1.

Handvoll Fernwärmeversorger in Deutschland (zum nationalen Cybersicherheitsrecht näher unter 5.3.3).

Die Kommission überprüfte auf Grundlage des Art. 23 NIS I fortlaufend die Anwendung der Richtlinie. Sie stellte dabei fest, dass der Umsetzungsspielraum der Richtlinie von den Mitgliedstaaten in sehr unterschiedlichem Ausmaß genutzt wurde und dementsprechend in den Mitgliedstaaten der Anwendungsbereich der Richtlinie, die Verpflichtungen sowie deren Durchsetzung auf sehr unterschiedliche Weise geregelt wurde<sup>36</sup>. Da aus Sicht des europäischen Gesetzgebers diese unterschiedlichen Regelungswerke in den Mitgliedstaaten einem funktionierenden Binnenmarkt und einer funktionierenden Cybersicherheit zuwiderliefen, entschied er sich dafür, in einer Neufassung der Richtlinie

---

„diese großen Unterschiede zwischen den Mitgliedstaaten zu beseitigen“<sup>37</sup>.

Das war der Ausgangspunkt für eine novellierte Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie; nämlich die Richtlinie (EU) 2022/2555 („NIS II“). Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II ist – verglichen mit der vorherigen Richtlinie – ein Rechtsakt mit einem höheren Detailgrad und letztlich auch mit einer höheren Regelungskomplexität. Sie hat insbesondere das Ziel, den bisherigen Anwendungsbereich der Richtlinie auf größere Teile und Teilbereiche der Wirtschaft zu erstrecken und damit in einem deutlich stärkeren Ausmaß als bisher die Cybersicherheit für viele Unternehmen zu einer zentralen Aufgabe zu machen, an der kein Weg mehr vorbeiführt<sup>38</sup>

Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II ist grundsätzlich nicht unmittelbar anwendbares Recht. Sie muss – wie die vorherige Richtlinie auch – in nationales Recht umgesetzt werden. Die Mitgliedstaaten müssen die Vorgaben aus der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II ab dem 18. Oktober 2024 anwenden. Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II zeichnet also die zukünftige Gestalt des nationalen Cybersicherheitsrechts in Bezug auf die Sicherheit der Netz- und Informationssysteme von Kritischen Infrastrukturen vor. Fernwärmeversorgern dient die Richtlinie im Prinzip als eine Vorbereitung auf die zukünftige Rechtslage und die damit zusammenhängenden Rechte und Pflichten. In Deutschland soll die Richtlinie im BSI-Gesetz umgesetzt werden; es kursieren bereits seit April 2023 Referentenentwürfe

---

<sup>36</sup> Erwägungsgrund Nr. 4 EU/2022/2555

<sup>37</sup> Erwägungsgrund Nr. 5 EU/2022/2555

<sup>38</sup> Erwägungsgrund Nr. 6 EU/2022/2555

zum NIS 2-Umsetzungs- und Cybersicherheitsstärkungsgesetz (kurz: NIS2UmsuCG), die unterschiedliche Bearbeitungsstände aufweisen<sup>39</sup>.

Im Folgenden soll für den Bereich der Fernwärmeversorgung dargestellt werden, wann der Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II eröffnet ist (dazu 5.3.2.1.1), welche Arten von Einrichtungen bei der Eröffnung des Anwendungsbereichs zu unterscheiden sind (dazu 5.3.2.1.2), welche Cybersicherheitspflichten die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II für diese Einrichtungen vorsieht (dazu 5.3.2.1.2.3) sowie wie diese Pflichten bei ihrer Nichterfüllung durchgesetzt werden und welche Sanktionsmöglichkeiten bestehen (dazu 5.3.2.1.2.3.4).

#### 5.3.2.1.1 Anwendungsbereich der Richtlinie

Der Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II ist in Art. 2 NIS II geregelt und richtet sich an Einrichtungen. Nach Art. 6 Nr. 38 NIS II ist eine Einrichtung

„eine natürliche Person oder nach dem an ihrem Sitz geltenden nationalen Recht geschaffene und anerkannte juristische Person, die in eigenem Namen Rechte ausüben und Pflichten unterliegen kann“.

Damit der Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II eröffnet ist, müssen zwei Kriterien für diese Einrichtungen zusammentreffen. Neben einem sektorspezifischen Kriterium (dazu 5.3.2.1.1.1) muss ein weiteres, nicht sektorspezifisches Kriterium hinzutreten. Dieses nicht sektorspezifische Kriterium kann an die Größe der Einrichtung (dazu 5.3.2.1.1.1) oder an die Relevanz der Einrichtung (dazu 5.3.2.1.1.3) anknüpfen.

##### 5.3.2.1.1.1 Einrichtungen eines bestimmten Sektors

Das sektorspezifische Kriterium ist Ausdruck der Richtlinie, nur kritische Sektoren den detaillierten Vorgaben des Cybersicherheitsrechts zu unterwerfen. Art. 2 NIS II betrifft daher nur Einrichtungen, die einem spezifischen Sektor in Anhang I oder II der NIS II zugeordnet werden können. Anhang I enthält Sektoren mit hoher Kritikalität, wobei zu diesen Sektoren der Energiesektor und zum Energiesektor wiederum nunmehr auch ausdrücklich der Teilsektor der

---

<sup>39</sup> Alle Referentenentwürfe, die seit April 2023 im Umlauf sind, sowie ein Diskussionspapier des Bundesministerium des Innern (BMI) finden sich unter: <https://ag.kritis.info/2024/03/07/referentenentwurf-des-bmi-nis-2-umsetzungs-und-cybersicherheitsstaerkungsgesetz-nis2umsucg/> (zuletzt abgerufen am 07.05.2024).

Fernwärme gehört. Der Teilsektor der Fernwärme erfasst die Betreiber von Fernwärme im Sinne des Art. 2 Nr. 19 Richtlinie (EU) 2018/2001<sup>40</sup>. Fernwärme in diesem Sinne ist

„die Verteilung thermischer Energie in Form von Dampf [und] heißem Wasser (...) von zentralen oder dezentralen Produktionsquellen über ein Netz an mehrere Gebäude oder Anlagen zur Nutzung von Raum- oder Prozesswärme (...)“.

Der Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II ist somit nun auch auf den Bereich der Fernwärme zugeschnitten<sup>41</sup>.

#### 5.3.2.1.1.2 Einrichtungen einer bestimmten Größe

Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II betrifft einerseits Einrichtungen aus dem Sektor der Fernwärme ab einer bestimmten Größe. Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II knüpft dabei an die Größe der Einrichtung an, weil nur die wichtigsten Einrichtungen im Sektor an die detaillierten Vorgaben des Cybersicherheitsrechts gebunden werden sollen.

Der Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II ist nach Art. 2 Abs. 1 NIS II eröffnet, wenn die Einrichtung aus dem Sektor Fernwärme als mittleres Unternehmen gilt oder die Schwellenwerte für mittlere Unternehmen überschreitet. Ob die Einrichtung als mittleres Unternehmen gilt, bestimmt Art. 2 des Anhangs der Empfehlung 2003/361/EG<sup>42</sup>. Hiernach muss die Einrichtung mindestens 50 und weniger als 250 Mitarbeiter haben sowie einen Jahresumsatz von mindestens 10 Mio. Euro und maximal 50 Mio. Euro und eine Jahresbilanzsumme von mindestens 10 Mio. Euro und maximal 43 Mio. Euro aufweisen. Wenn diese Schwellenwerte kumulativ erreicht oder gar überschritten werden, hat die Einrichtung die notwendige Größe, um in den Anwendungsbereich der Richtlinie nach Art. 2 Abs. 1 NIS II zu fallen. Fernwärmeversorger werden in vielen Fällen diese notwendige Größe erreichen.

---

<sup>40</sup> Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, ABl. EU Nr. L 328 v. 21.12.2018, S. 82.

<sup>41</sup> Anhang II enthält zudem sonstige kritische Sektoren; sie spielen aber für den Bereich der Fernwärme keine Rolle.

<sup>42</sup> Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend der Definition von Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen, ABl. EU Nr. L 124 v. 20.05.2003, S. 36.

#### 5.3.2.1.1.3 Einrichtungen einer bestimmten Relevanz

Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II betrifft Einrichtungen aus dem Sektor der Fernwärme aber nicht nur dann, wenn die Einrichtung eine bestimmte Größe erreicht, sondern auch dann, unabhängig von der Größe, wenn der Einrichtung eine bestimmte Relevanz zukommt. Mit dem Kriterium der Relevanz sollen auch Einrichtungen in den Anwendungsbereich der Richtlinie fallen, die zu den Klein- oder Kleinstunternehmen zählen, aber in ihrer cybersicherheitsrechtlichen Bedeutung mittleren oder großen Unternehmen kaum nachstehen.

Art. 2 Abs. 2 NIS II enthält einen Katalog für Klein- und Kleinstunternehmen, die eine besondere Relevanz haben und deswegen auch in den Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II fallen sollen. Der Katalog besteht aus sechs Buchstaben von lit. a) bis lit. f), wobei für Klein- und Kleinstunternehmen im Sektor der Fernwärme v. a. drei dieser Buchstaben in Betracht kommen. Zusätzlich kommt auch Art. 2 Abs. 3 NIS II in Betracht. Diese vier Katalogtatbestände werden im Folgenden näher betrachtet.

##### 5.3.2.1.1.3.1 Dienst mit wesentlichen Auswirkungen

Nach Art. 2 Abs. 2 lit. c) NIS II liegt eine besondere Relevanz vor, wenn

„sich eine Störung des von der Einrichtung erbrachten Dienstes wesentlich auf die öffentliche Ordnung, die öffentliche Sicherheit oder die öffentliche Gesundheit auswirken könnte“.

Die Richtlinie enthält weder Beispiele für Einrichtungen mit dieser Art von Diensten noch Definitionen der öffentlichen Ordnung, der öffentlichen Sicherheit oder der öffentlichen Gesundheit. Offen bleibt auch, wann eine wesentliche Auswirkung auf diese Rechtsgüter vorliegen soll. Die Verwendung eines verstärkenden Adjektivs („wesentlich“) deutet an, dass der Auswirkung auf die Rechtsgüter ein gewisses Gewicht zukommen soll. Zugleich drückt die Verwendung des Konjunktivs („könnte“) aus, dass schon eine potenzielle Auswirkung auf die Rechtsgüter ausreichen soll.

Die Semantik scheint auf den ersten Blick gegenläufig zu wirken und die Auslegung und die Identifizierung von möglichen Fallgruppen zu erschweren. Allerdings ist auch zu bedenken: Je stärker auf potenzielle Auswirkungen abgestellt wird, desto einfacher können auch wesentliche Auswirkungen begründet werden; denn vorstellbar ist eben vieles. Dadurch, dass Art. 2 Abs. 2 lit. c) NIS II auf potenzielle Auswirkungen abstellt, wird der Anwendungsbereich der Richtlinie im Ergebnis wohl nicht unerheblich ausgeweitet.

Abhängig davon, wie die Begriffe definiert werden, könnte eine Störung der Fernwärmeversorgung möglicherweise gewisse Auswirkungen auf die öffentliche Ordnung und/oder die öffentliche Sicherheit haben. Noch naheliegender ist aber, dass eine Störung der

Fernwärmeversorgung – gerade im Winter – erhebliche Auswirkungen für die öffentliche Gesundheit haben könnte. Die potenziellen Auswirkungen dürften bei der Wohnraumbeheizung nicht zu unterschätzen sein. Wenn man in diese Richtung argumentiert, dürfte es gut vertretbar sein, bei Klein- und Kleinstunternehmen im Sektor der Fernwärme grundsätzlich von einer besonderen Relevanz nach Art. 2 Abs. 2 lit. c) NIS II auszugehen, Aber kein Grundsatz ohne Ausnahme: Wenn die Fernwärme lediglich für gewerbliche oder industrielle Zwecke bereitgestellt wird, erscheint es eher fraglich, eine potenzielle wesentliche Auswirkung auf die öffentliche Gesundheit anzunehmen. Letztlich kommt es aber auf die Umstände des Einzelfalls an.

#### *5.3.2.1.1.3.2 Dienst mit wesentlichem Systemrisiko*

Nach Art. 2 Abs. 2 lit. d) NIS II liegt zudem eine besondere Relevanz vor, wenn

„eine Störung des von der Einrichtung erbrachten Dienstes zu einem wesentlichen Systemrisiko führen könnte (...)“.

Die Richtlinie konkretisiert den Begriff des wesentlichen Systemrisikos nicht. Sie nimmt aber in einem Nebensatz insbesondere auf Sektoren Bezug, in denen die Störung grenzüberschreitende Auswirkungen haben könnte. Fernwärme ist regelmäßig kein Sektor mit grenzüberschreitenden Auswirkungen, weil durch die technischen Rahmenbedingungen im Bereich der Fernwärmeversorgung Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch regelmäßig in einem engen räumlichen, städtischen Zusammenhang stehen. Aus diesem Grund dürfte dieser Katalogtatbestand für die Fernwärme eher von geringer Bedeutung sein.

#### *5.3.2.1.1.3.3 Kritische Einrichtungen nach nationaler Bedeutung*

Nach Art. 2 Abs. 2 lit. e) NIS II liegt außerdem eine besondere Relevanz vor, wenn

„die Einrichtung aufgrund der besonderen Bedeutung, die sie auf nationaler oder regionaler Ebene für den betreffenden Sektor oder die betreffende Art des Dienstes oder für andere voneinander abhängige Sektoren in dem Mitgliedstaat hat, kritisch ist“.

Die Richtlinie enthält – auch hier – durch unbestimmte Rechtsbegriffe und fehlende Definitionen kaum Anhaltspunkte dazu, welche Arten von Einrichtungen konkret unter diesen Katalogtatbestand fallen könnten. Da Art. 2 Abs. 2 NIS II die Vorgaben des europäischen Cybersicherheitsrechts für bestimmte Anwendungsfälle auf Klein- und Kleinstunternehmen erstreckt, kann man der Vorschrift einen Ausnahmecharakter zugestehen. Dementsprechend dürfte eine eher restriktive Auslegung der Vorschrift angezeigt sein; Klein- und Kleinstunternehmen im Sektor der Fernwärme werden in der Regel eher nicht diesem Katalogtatbestand unterfallen.



#### 5.3.2.1.1.3.4 Kritische Einrichtungen nach CER-Richtlinie

Nach Art. 2 Abs. 3 NIS II liegt schließlich eine besondere Relevanz vor, wenn die Einrichtung

„nach Richtlinie (EU) 2022/2557 als kritische Einrichtung[ ] eingestuft wurde[ ]“.

Die Richtlinie (EU) 2022/2557<sup>43</sup> (kurz: CER-Richtlinie) ist gewissermaßen die Schwesterrichtlinie der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II und betrifft die physische Resilienz kritischer Einrichtungen. Jeder Mitgliedstaat ermittelt bis zum 17. Juli 2026 auf Grundlage bestimmter Kriterien die kritischen Einrichtungen nach der CER-Richtlinie; auch für den Sektor Energie und den Teilsektor Fernwärme (Art. 6 CER-Richtlinie). Die Mitgliedstaaten haben also auch die Möglichkeit, Fernwärmeversorger als kritische Einrichtungen einzustufen, auch wenn sie nur Klein- oder Kleinstunternehmen sind. Welche Einrichtungen die Mitgliedstaaten im Teilsektor Fernwärme als kritische Einrichtungen einstufen, bleibt abzuwarten. Nach Art. 4 des überarbeiteten Referentenentwurfs zum KRITIS-Dachgesetz werden diese kritischen Einrichtungen durch die Bundesregierung voraussichtlich in einer Rechtsverordnung festgelegt werden.

#### 5.3.2.1.1.3.5 Zwischenergebnis

Der Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II betrifft grundsätzlich den Teilsektor Fernwärme. Wenn ein Fernwärmeversorger zumindest die Schwellenwerte für mittlere Unternehmen erreicht, ist der Anwendungsbereich der Richtlinie nach Art. 2 Abs. 1 NIS II eröffnet. Wenn ein Fernwärmeversorger diese Schwellenwerte nicht erreicht, dürfte der Anwendungsbereich in vielen Fällen jedenfalls nach Art. 2 Abs. 2 lit. c) NIS II eröffnet sein, weil eine Störung der Fernwärmeversorgung wesentliche Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit haben könnte. Die übrigen Katalogtatbestände in Art. 2 Abs. 2 und Abs. 3 NIS II werden in der Regel nicht einschlägig sein.

#### 5.3.2.1.2 Einrichtungsarten in der Richtlinie

Wenn der Anwendungsbereich der Richtlinie eröffnet ist und eine Einrichtung nach Art. 2 NIS II vorliegt, stellt sich für die Rechtsfolgen die Frage, um welche Art von Einrichtung es sich handelt. Dabei ist nach der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II zwischen

---

<sup>43</sup> Richtlinie (EU) 2022/2557 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2022 über die Resilienz kritischer Einrichtungen, ABl. Nr. L 333 v. 27.12.2022, S. 164.

wesentlichen Einrichtungen (dazu 5.3.2.1.2.1) und wichtigen Einrichtungen (dazu 5.3.2.1.2.2) zu unterscheiden.

#### 5.3.2.1.2.1 Wesentliche Einrichtungen

Wesentliche Einrichtungen sind in Art. 3 Abs. 1 NIS II in einem Katalog abschließend aufgeführt. Als wesentliche Einrichtungen gelten insbesondere

- » Einrichtungen, die in Anhang I aufgeführt sind und die Schwellenwerte für mittlere Unternehmen nach Art. 2 Abs. 1 NIS II überschreiten (lit. b)),
- » Einrichtungen, die in Anhang I aufgeführt sind und von einem Mitgliedstaat nach Art. 2 Abs. 2 lit. b) bis lit. e) NIS II als wesentliche Einrichtungen eingestuft wurden (lit. e)) sowie
- » Einrichtungen, die nach der CER-Richtlinie als kritische Einrichtungen eingestuft wurden (lit. f)).

Wesentliche Einrichtungen sind Adressaten von bestimmten Rechten und Pflichten der Richtlinie. Sie unterliegen im Unterschied zu wichtigen Einrichtungen strengeren Aufsichts- und Durchsetzungsmaßnahmen; das betrifft bspw. präventive Cybersicherheitsmaßnahmen, regelmäßige Sicherheitsüberprüfungen und größere behördlichen Durchsetzungsmöglichkeiten (wie etwa die Befugnis zur Benennung eines Überwachungsbeauftragten). Die Mitgliedstaaten müssen bis zum 17. Juli 2025 eine Liste von wesentlichen Einrichtungen erstellen (Art. 3 Abs. 3 NIS II).

Fernwärmeversorger werden mitunter als wesentliche Einrichtungen gelten. Sie sind in Anhang I aufgeführt und dürften nicht selten die Schwellenwerte für mittlere Unternehmen überschreiten; folglich werden sie insoweit unter Art. 3 Abs. 1 lit. b) NIS II fallen. Falls der konkrete Fernwärmeversorger die Schwellenwerte für mittlere Unternehmen nicht überschreitet, gilt er dennoch als wesentliche Einrichtung, sofern der Mitgliedstaat ihn nach Art. 2 Abs. 2 lit. b) bis lit. e) NIS II als wesentliche Einrichtung einstuft.

#### 5.3.2.1.2.2 Wichtige Einrichtungen

Wichtige Einrichtungen sind in Art. 3 Abs. 2 NIS II geregelt. Als wichtige Einrichtungen gelten Einrichtungen, die in den Anwendungsbereich der Richtlinie fallen und keine wesentlichen Einrichtungen sind. Sie stellen somit einen Auffangtatbestand dar. Die Mitgliedstaaten erstellen bis zum 17. Juli 2025 auch eine Liste von wichtigen Einrichtungen (Art. 3 Abs. 3 NIS II).

Sofern Fernwärmeversorger die Schwellenwerte für mittlere Unternehmen nicht ohnehin überschreiten, werden sie in aller Regel als wichtige Einrichtungen einzustufen sein. Das gilt insbesondere auch für Klein- oder Kleinstunternehmen, wenn ihnen eine besondere Relevanz

nach Art. 2 Abs. 2 lit. b) bis lit. e) NIS II zukommt und sie nicht vom Mitgliedstaat als wesentliche Einrichtung eingestuft wurden.

#### 5.3.2.1.2.3 Cybersicherheitspflichten in der Richtlinie

Ausgehend von der Einordnung des Fernwärmeversorgers als wesentliche oder als wichtige Einrichtung nach Art. 3 NIS II können die konkreten Cybersicherheitspflichten bestimmt werden. Die Cybersicherheitspflichten sind in Art. 20 ff. NIS II geregelt und bestehen in den Bereichen Governance (dazu 5.3.2.1.2.3.1), Risikomanagement (dazu 5.3.2.1.2.3.2) und Berichtswesen (dazu 5.3.2.1.2.3.3).

##### 5.3.2.1.2.3.1 Pflichten im Bereich Governance

Die Pflichten im Bereich Governance sind in Art. 20 NIS II geregelt. Sie betreffen die Leitungsorgane von wesentlichen und wichtigen Einrichtungen; diese Pflichten waren nicht Teil der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie I und sind neu in die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II aufgenommen worden. Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II macht Cybersicherheit gewissermaßen zur „Chefsache“<sup>44</sup>.

Die Governance-Pflichten sind zweigeteilt: Zum einen müssen die Leitungsorgane die ergriffenen Risikomanagementmaßnahmen in der Einrichtung billigen und ihre Umsetzung überwachen (Art. 20 Abs. 1 NIS II). Die Leitungsorgane müssen somit Kenntnis von den ergriffenen Maßnahmen haben und sich auch fortlaufend über die Maßnahmen in Kenntnis setzen lassen. Zum anderen müssen die Mitglieder der Leitungsorgane an Schulungen im Bereich Cybersicherheit teilnehmen und allen Mitarbeitern der Einrichtung regelmäßig entsprechende Schulungen anbieten (Art. 20 Abs. 2 NIS II). Ziel der Schulungen ist es, den Teilnehmenden ausreichende Kenntnisse und Fähigkeiten zu vermitteln, um Risiken und Managementpraktiken im Bereich Cybersicherheit sowie deren Auswirkungen auf den jeweils erbrachten Dienst der Einrichtung zu erkennen und zu bewerten. Bei Verstößen gegen die Governance-Pflichten kann die betreffende Einrichtung die Leitungsorgane verantwortlich machen; das gilt – wie Art. 20 Abs. 1 NIS II zu entnehmen ist – sowohl bei Verstoß gegen die Billigungs- und Überwachungspflicht als auch bei Verstoß gegen die Schulungspflicht.

##### 5.3.2.1.2.3.2 Pflichten im Bereich Risikomanagement

Die Pflichten im Bereich Risikomanagement sind in Art. 21 NIS II festgelegt. Sie dienen dazu, die Risiken für die Netz- und Informationssysteme der betreffenden Einrichtungen zu

---

<sup>44</sup> So auch *Kipker*, Chefsache Cybersicherheit: NIS-2 ist da, EuZW 2023, S. 249 (250).

beherrschen und die Auswirkungen von Sicherheitsvorfällen möglichst gering zu halten (Art. 21 Abs. 1 NIS II).

Dazu müssen die Einrichtungen geeignete und verhältnismäßige technische, operative und organisatorische Risikomanagementmaßnahmen treffen. Die Maßnahmen sind nicht ausdrücklich an eine bestimmte Managementebene gebunden; sie können also durchaus in den Managementebenen delegiert werden. Entscheidend ist nur, dass die Maßnahmen am Ende – wie erörtert – von den Leitungsorganen der Einrichtung gebilligt werden (Art. 20 Abs. 1 NIS II).

Die Risikomanagementmaßnahmen müssen auf einem gefahrenübergreifenden Ansatz beruhen und an dem Katalog in Art. 21 Abs. 2 NIS II ausgerichtet werden. Der Katalog ist als eine Art „Checkliste“ formuliert und liefert das Korsett für die zu treffenden Maßnahmen, ohne aber selbst die zu treffende Maßnahmen zu formulieren. Diese Aufgabe obliegt den zuständigen Stellen in der jeweiligen Einrichtung. Die Kommission kann diesen Katalog aber mit Hilfe von Durchführungsrechtsakten – auch für den Energiesektor – noch näher konkretisieren (Art. 21 Abs. 5 UAbs. 2).

#### 5.3.2.1.2.3.3 *Pflichten im Bereich Berichtswesen*

Die Pflichten im Bereich Berichtswesen sind in Art. 23 NIS II normiert. Die Einrichtung muss Sicherheitsvorfälle unverzüglich melden, wenn erhebliche Auswirkungen auf die Erbringung des Dienstes bestehen („erheblicher Sicherheitsvorfall“; Art. 23 Abs. 1 UAbs. 1 NIS II). Nach Art. 6 Nr. 6 NIS II ist ein Sicherheitsvorfall ein

„ein Ereignis, das die Verfügbarkeit, Authentizität, Integrität oder Vertraulichkeit gespeicherter, übermittelter oder verarbeiteter Daten oder der Dienste, die über Netz- und Informationssysteme angeboten werden bzw. zugänglich sind, beeinträchtigt“.

Das Wort „beeinträchtigt“ legt nahe, dass bereits eine tatsächliche Auswirkung auf die Daten oder Dienste der Einrichtung eingetreten sein muss. Nach Art. 23 Abs. 3 Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II gilt ein Sicherheitsvorfall als erheblich, wenn

„a) er schwerwiegende Betriebsstörungen der Dienste oder finanzielle Verluste für die betreffende Einrichtung verursacht hat oder verursachen kann;

b) er andere natürliche oder juristische Personen durch erhebliche materielle oder immaterielle Schäden beeinträchtigt hat oder beeinträchtigen kann.“

Eine Definition der schwerwiegenden Betriebsstörung existiert nicht. Allerdings hat der Richtliniengeber diesen unbestimmten Rechtsbegriff in Erwägungsgrund Nr. 101 konkretisiert. Eine

Anfangsbewertung sollte die Bedeutung der Netz- und Informationssysteme für die Erbringung der Dienste, die Schwere und die technischen Merkmale der Cyberbedrohung sowie die Schwachstellen und die Erfahrungen mit ähnlichen Vorfällen berücksichtigen. Indikatoren für einen erheblichen Sicherheitsvorfall bilden v. a. das Ausmaß der Beeinträchtigung, die Dauer des Sicherheitsvorfalls und die Zahl der betroffenen Nutzer.

Wichtig ist, dass eine Berichtspflicht nur einen eingetretenen Sicherheitsvorfall, nicht aber eine eingetretene schwerwiegende Betriebsstörung voraussetzt. Der Wortlaut in Art. 23 Abs. 3 NIS II lässt ausdrücklich auch eine potenzielle Betriebsstörung genügen („verursachen kann“). Das deutet – ebenso bei lit. b) – auf einen eher weiten Anwendungsbereich der Berichtspflicht hin.

Die erheblichen Sicherheitsvorfälle müssen dem CSIRT (deutsch: Computer-Notfallteam) oder der zuständigen Behörde nach Art. 23 Abs. 4 NIS II gemeldet werden. Das CSIRT wird durch den Mitgliedstaat benannt (Art. 10 Abs. 1 NIS II); in Deutschland wurde nach § 4b BSIG das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) zum CSIRT benannt.

Das konkrete Verfahren, um erhebliche Sicherheitsvorfälle an das CSIRT zu melden, ist in Art. 23 Abs. 4 NIS II festgelegt. Es besteht ein mehrstufiger Ansatz; letztlich ist dieses Stufenkonzept ein Kompromiss zwischen der Notwendigkeit von zeitnahen Meldungen einerseits und detaillierten Meldungen andererseits<sup>45</sup>. Es können zumindest drei Stufen unterschieden werden:

- » Stufe 1: Frühwarnung; spätestens binnen 24 Stunden nach Kenntnis,
- » Stufe 2: Meldung; spätestens binnen 72 Stunden nach Kenntnis,
- » Stufe 3: Abschlussbericht; spätestens 1 Monat nach Meldung.

Das Stufenkonzept bedeutet im Grunde: Je frischer der Sicherheitsvorfall ist, desto geringer sind die Anforderungen an den Detailgrad des Berichts. Bei andauernden Sicherheitsvorfällen entfällt Stufe 3 und es kommt noch eine weitere Stufe hinzu:

- » Stufe 4: Fortschrittsbericht und Abschlussbericht; spätestens 1 Monat nach Behandlung des Sicherheitsvorfalls.

#### *5.3.2.1.2.3.4 Durchsetzung der Pflichten und Sanktionsmöglichkeiten*

Die Einrichtungen müssen die Pflichten in den Bereichen Governance, Risikomanagement und Berichtswesen einhalten. Den zuständigen Behörden kommen zu diesem Zweck

---

<sup>45</sup> Siehe Erwägungsgrund Nr. 101 NIS II.

entsprechende Aufsichtsbefugnisse zu (Art. 32 Abs. 2, Art. 33 Abs. 2 NIS II). Wird eine Pflicht aus den genannten Bereichen nicht eingehalten, hat die Behörde zwei Möglichkeiten: Zum einen ist sie befugt, Durchsetzungsmaßnahmen zur Erfüllung dieser Pflichten zu ergreifen (dazu 5.3.2.1.2.3.4.1). Zum anderen ist sie befugt, Geldbußen als Sanktion zu verhängen (dazu 5.3.2.1.2.3.4.2).

#### 5.3.2.1.2.3.4.1 Möglichkeit 1: Durchsetzungsmaßnahmen

Die Durchsetzungsmaßnahmen sind für wesentliche Einrichtungen in Art. 32 Abs. 4 und 5 NIS II sowie für wichtige Einrichtungen in Art. 33 Abs. 4 und 5 NIS II aufgeführt. Sie können zwischen Durchsetzungsmaßnahmen ohne Fristsetzung (jeweils Abs. 4) und Durchsetzungsmaßnahmen mit Fristsetzung (jeweils Abs. 5) unterschieden werden. Die Durchsetzungsmaßnahmen ohne Fristsetzung sind in einem Katalog aufgeführt, der die Mindestbefugnisse der Behörde klarstellt. Diese Mindestbefugnisse regeln v. a. verbindliche Anweisungen, die getroffen werden können; sei es, zum Zweck festgestellte Mängel zu beheben oder zum Zweck ein gegen die Richtlinie verstoßendes Verhalten einzustellen.

Wenn die Durchsetzungsmaßnahmen nach Abs. 4 lit. a) bis lit. d) und lit. f) unwirksam bleiben, können schließlich auch die Durchsetzungsmaßnahmen mit Fristsetzung nach Abs. 5 zur Anwendung kommen. Nach Fristablauf sind – bei Nichterfüllung der Pflichten – die zuständigen Behörden befugt,

- » die Zertifizierung oder Genehmigung der erbrachten Dienste der Einrichtung zu einem Teil oder im Ganzen vorübergehend auszusetzen oder durch eine Zertifizierungs- oder Genehmigungsstelle oder ein Gericht vorübergehend aussetzen zu lassen (lit. a) oder
- » durch die zuständigen Stellen oder Gerichte natürlichen Personen auf Geschäftsführungs- oder Vorstandsebene vorübergehend die Wahrnehmung von Leitungsaufgaben in der Einrichtung zu untersagen (lit. b).

Die Durchsetzungsmaßnahmen müssen unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalls wirksam, verhältnismäßig und abschreckend sein (Art. 32 Abs. 1, Art. 33 Abs. 1 NIS II). Dabei ist der Katalog in Art. 32 Abs. 7 NIS II gebührend in den Blick zu nehmen; zudem müssen die zuständigen Behörden die Verteidigungsrechte einhalten (Art. 32 Abs. 7, Art. 33 Abs. 5 NIS II). Die Durchsetzungsmaßnahmen müssen schließlich ausführlich begründet werden (Art. 32 Abs. 8, Art. 33 Abs. 5 NIS II). Die Mitgliedstaaten können den Katalog der Durchsetzungsmaßnahmen auch um die Befugnis erweitern, Zwangsgelder zu verhängen (Art. 34 Abs. 6 NIS II).

#### 5.3.2.1.2.3.4.2 Möglichkeit 2: Geldbußen

Die allgemeinen Bedingungen für die Verhängung von Geldbußen gegenüber wesentlichen und wichtigen Einrichtungen sind in Art. 34 NIS II aufgeführt. Sie betreffen nur den Verstoß gegen

- » die Pflichten im Bereich des Risikomanagements (Art. 21 NIS II) und
- » die Pflichten im Bereich des Berichtswesens (Art. 23 NIS II).

Dabei stehen Durchsetzungsmaßnahmen und Geldbußen nicht alternativ, sondern kumulativ nebeneinander. Die zuständige Behörde darf also zusätzlich zu einer Durchsetzungsmaßnahme nach Art. 32, 33 NIS II grundsätzlich eine Geldbuße verhängen. Eine Ausnahme besteht nach Art. 35 Abs. 2 NIS II: Wenn der Verstoß gegen die genannten Pflichten zugleich einen Verstoß gegen den Schutz personenbezogener Daten nach der Datenschutz-Grundverordnung zur Folge hat und die Datenschutzaufsichtsbehörden aus diesem Grund eine Geldbuße nach der Datenschutz-Grundverordnung verhängen, darf das gleiche, pflichtwidrige Verhalten nicht zum Anknüpfungspunkt für eine weitere Geldbuße auf Basis der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II gemacht werden. Ein pflichtwidriges Verhalten darf also nicht zu einer „Doppelbestrafung“ führen.

Während eine Pflichtverletzung im Bereich des Risikomanagements oder des Berichtswesens die Verhängung einer Geldbuße begründen kann, kann eine Pflichtverletzung im Bereich Governance nicht durch die Verhängung einer Geldbuße sanktioniert werden. Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II nimmt die Pflichten im Bereich Governance von Geldbußen aus; in diesen Fällen bleiben nur die Durchsetzungsmaßnahmen der zuständigen Behörden – ggf. in Kombination mit Zwangsgeldern – sowie die Haftung der Leitungsorgane gegenüber der Einrichtung. Daraus kann der Rückschluss gezogen werden, dass der Richtliniengeber die Pflichtverletzungen im Bereich des Risikomanagements und des Berichtswesens als die gravierenderen Pflichtverletzungen ansieht und dementsprechend diese Pflichtverletzungen in das Zentrum der Sanktionierung stellt.

Die allgemeinen Bedingungen in Art. 34 NIS II sind erkennbar an den Bedingungen für Geldbußen in der Datenschutz-Grundverordnung orientiert. Dementsprechend muss die Verhängung von Geldbußen unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalls wirksam, verhältnismäßig und abschreckend sein (Art. 34 Abs. 1 NIS II). Ob und in welcher Höhe eine Geldbuße letztlich verhängt wird, erfordert eine genaue Prüfung; dazu ist der Katalog des Art. 32 Abs. 7 gebührend zu berücksichtigen (Art. 34 Abs. 3 NIS II).

Wird eine Geldbuße gegenüber einer wesentlichen Einrichtung verhängt, beträgt der Höchstbetrag der Geldbuße in den Mitgliedstaaten mindestens 10 Mio. Euro oder mindestens 2 Prozent des weltweiten Jahresumsatzes im vorangegangenen Geschäftsjahr, je nachdem, welcher Betrag höher ist (Art. 34 Abs. 4 NIS II). Das Wort „mindestens“ ist hier Ausdruck der Mindestharmonisierung nach Art. 5 NIS II; die Mitgliedstaaten dürfen bei der Umsetzung in nationales Recht also auch höhere Höchstbeträge vorsehen. Da die zuständigen Behörden gehalten sind, bei der Bemessung der Geldbuße ein angemessenes Gleichgewicht zwischen

Wirksamkeit, Verhältnismäßigkeit und Abschreckung zu finden, wird die Geldbuße aber in aller Regel – das ist Ausdruck der Verhältnismäßigkeit – nicht in die Nähe des festgelegten Höchstbetrags kommen. Wird die Geldbuße gegenüber einer wichtigen Einrichtung verhängt, beträgt der Höchstbetrag der Geldbuße in den Mitgliedstaaten mindestens 7 Mio. Euro oder mindestens 1,4 Prozent des weltweiten Jahresumsatzes im vorangegangenen Geschäftsjahr, je nachdem, welcher Betrag höher ist (Art. 34 Abs. 5 NIS II).

#### *5.3.2.2 Vorgaben im Cybersecurity Act*

Die Verordnung (EU) 2019/881 wird in der Praxis häufig als Cybersecurity Act bezeichnet. Gegenstand des Cybersecurity Acts sind Regelungen über die europäische Agentur für Cybersicherheit (kurz: ENISA) sowie über die Cybersicherheitszertifizierung von Informations- und Kommunikationstechnik (kurz: IKT).

Die ENISA ist gewissermaßen die europäische Cybersicherheitsbehörde. Sie soll die ihr zugewiesenen Aufgaben mit dem Ziel wahrnehmen, ein hohes gemeinsames Maß an Cybersicherheit in der Europäischen Union zu erreichen (Art. 3 Abs. 1 S. 1). Die zugewiesenen Aufgaben der ENISA im Bereich der Cybersicherheit sind umfangreich und umfassen die Entwicklung und Umsetzung der Unionspolitik und des Unionsrechts (Art. 5), den Kapazitätsaufbau (Art. 6), die operative Zusammenarbeit auf Unionsebene (Art. 7), die Cybersicherheitszertifizierung (Art. 8), das Wissens- und Informationsmanagement (Art. 9), die Sensibilisierung und Ausbildung (Art. 10), die Forschung und Innovation (Art. 11) sowie die internationale Zusammenarbeit (Art. 12). Weitere Regelungen im Cybersecurity Act betreffen v. a. die Organisation (Art. 13 ff.), die Aufstellung und Gliederung des Haushaltsplans (Art. 29 ff.) sowie das Personal (Art. 34 ff.) der ENISA.

Ausweislich des Aufgabenkatalogs ist die ENISA ein zentraler Ansprechpartner der Organe, Einrichtungen und sonstigen Stellen der Union und der Mitgliedstaaten; sie unterstützt bspw. auch die CSIRTs in den Mitgliedstaaten in der Verbesserung ihrer Fähigkeiten (Art. 6 Abs. 1 lit. g)). Die ENISA ist also kein unmittelbarer Ansprechpartner der Fernwärmeversorger und wirkt durch die Wahrnehmung ihrer Aufgaben über andere Stellen allenfalls mittelbar auf die Fernwärmeversorger ein. Der Cybersecurity Act enthält somit keine Vorgaben für Fernwärmeversorger, sondern stellt im Grunde das formale Gerüst der ENISA dar, wobei im Zentrum des Rechtsakts die Aufgaben, die Struktur und die Arbeitsweise der Agentur stehen. Deswegen wird der Cybersecurity Act hier nicht weitergehend erörtert.



### 5.3.2.3 Vorgaben in der Datenschutz-Grundverordnung

Ein wichtiger Vorläufer der europäischen Datenschutz-Grundverordnung war die – mittlerweile außer Kraft getretene – Richtlinie 95/46/EG („DSRL“)<sup>46</sup>, Sie enthielt bereits die Vorgabe, dass ein Verantwortlicher durch die „geeigneten technischen und organisatorischen Maßnahmen“ ein angemessenes Datenschutzniveau zu gewährleisten hat (vgl. Art. 17 Abs. 1 DSRL)<sup>47</sup>. Aufbauend hierauf enthält die geltende Datenschutz-Grundverordnung verstreut über die Verordnung in einzelnen Vorschriften bruchstückhafte Vorgaben zur Datensicherheit. Diese Vorgaben finden sich insbesondere in Art. 5 Abs. 1 lit. f) DS-GVO, Art. 24 DS-GVO, Art. 25 DS-GVO, Art. 32 DS-GVO und Art. 35 DS-GVO<sup>48</sup>. Auf diese Vorgaben wird im Folgenden näher eingegangen.

#### 5.3.2.3.1 Grundsatz der Datensicherheit

Art. 5 Abs. 1 lit. f) DS-GVO sichert technisch und organisatorisch die Datenschutzgrundsätze in Art. 5 Abs. 1 DS-GVO ab und könnte daher als Datensicherheitsgrundsatz bezeichnet werden<sup>49</sup>. Der Grundsatz geht – anders als die Vorschrift suggeriert – über das Ziel der Integrität und Vertraulichkeit weit hinaus und umfasst auch die Ziele der Verfügbarkeit und Unversehrtheit sowie der Zugangs- und Zugriffsbeschränkung<sup>50</sup>. Der Grundsatz wird generell in Art. 24 DS-GVO sowie mit Blick auf die Datenverarbeitung in der Planung (Art. 25 DS-GVO) und mit Blick auf die Datenverarbeitung in der Ausführung (Art. 32 DS-GVO) näher konkretisiert<sup>51</sup>.

---

<sup>46</sup> Richtlinie 95/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. Oktober 1995 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten und zum freien Datenverkehr.

<sup>47</sup> Eine strafrechtliche Wurzel, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll, ist natürlich das ab den achtziger Jahren geschaffene „Computerstrafrecht“ in §§ 202a ff., 263a ff., 303a ff. StGB, näher dazu *Singelstein/Zech* in: Hornung/Schallbruch, IT-Sicherheitsrecht, Praxis-handbuch, § 20 Rn. 38 ff.

<sup>48</sup> Zu den Vorschriften in aller Kürze auch *Voskamp*, in: Kipker, Cybersecurity, Kap. 5 Rn. 4 ff.

<sup>49</sup> Vgl. *Roßnagel* in: Simitis/Hornung/Spieker gen. Döhmann, Datenschutzrecht, Kommentar, Art. 5, Rn. 167 f.

<sup>50</sup> *Roßnagel* in: Simitis/Hornung/Spieker gen. Döhmann, Datenschutzrecht, Kommentar, Art. 5 Rn. 167; zu vielen dieser Grundsätze näher *Sohr/Kemmerich* in: Kipker, Cybersecurity, Kap. 2 Rn. 7 ff.

<sup>51</sup> Vgl. auch *Jaspers/Schwartzmann/Hermann*, in: Atzert et al. 2023, Kommentar, 2. Aufl., Art. 5 Rn. 79; *Roßnagel* in: Simitis et al. 2019, Art. 5 Rn. 171.

#### 5.3.2.3.2 Grundpflichten des Verantwortlichen

Art. 24 DS-GVO ist die erste Vorschrift im Kapitel IV („Verantwortlicher und Auftragsverarbeiter“) und die erste Vorschrift des ersten Abschnitts („Allgemeine Pflichten“). Das deutet bereits an: Art. 24 DS-GVO ist eine „Generalnorm“<sup>52</sup> und skizziert die Grundpflichten des Verantwortlichen<sup>53</sup>. Verantwortlicher ist – wie bereits erörtert – die Stelle, die allein oder gemeinsam mit anderen über die Zwecke und Mittel der Verarbeitung von personenbezogenen Daten entscheidet (Art. 4 Nr. 7 HS. 1 DS-GVO). Wenngleich die Vorschrift die Umsetzung „geeignete[r] technische[r] und organisatorische[r] Maßnahmen“ verlangt, ist die Konkretisierung der Grundpflichten den folgenden Vorschriften vorbehalten. Dazu zählen v. a. Art. 25 und Art. 32 DS-GVO ((Simitis et al. 2019), Kommentar, Art. 24 Rn. 1).

#### 5.3.2.3.3 Eingebauter Datenschutz

Art. 25 DS-GVO enthält Vorgaben zum „eingebauten Datenschutz“. Eingebauter Datenschutz umfasst Datenschutz durch Technikgestaltung (Art. 25 Abs. 1 DS-GVO; „privacy by design“; dazu 4.3.2.3.3.1) sowie datenschutzfreundliche Voreinstellungen (Art. 25 Abs. 2 DS-GVO; „privacy by default“; dazu 4.3.2.3.3.2). Datenschutzfreundliche Voreinstellungen sind dabei ein Unterfall der Technikgestaltung (Vgl. (Simitis et al. 2019), Art. 25 Rn. 24; (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 25 Rn. 16 f.).

##### 5.3.2.3.3.1 Privacy by Design

Art. 25 Abs. 1 DS-GVO ist persönlich nur an den Verantwortlichen gerichtet und verpflichtet ihn zu geeigneten technischen und organisatorischen Maßnahmen („TOM“), die verarbeiteten personenbezogenen Daten in Menge, Umfang, Speicherdauer und Zugänglichkeit auf das Erforderliche zu begrenzen. Die Vorschrift ist zeitlich und inhaltlich besonders ausgreifend: Zeitlich ist sie mit Blick auf den Verordnungstext explizit bereits im Vorfeld der Datenverarbeitung – d. h. in der Planungs- und Entwicklungsphase – zu beachten, wobei der Gegenstand der Datenschutz-Grundverordnung erst die Verarbeitungsphase erfasst (vgl. Art. 1 Abs. 1 DS-GVO) und dadurch ein logischer Widerspruch entsteht (siehe (Bäcker et al. 2020), Art. 25, DS-GVO, Rn. 23). Inhaltlich konkretisiert sie nicht nur sämtliche Datenschutzgrundsätze in Art. 5 DS-GVO, sondern kann sämtliche Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung betreffen

---

<sup>52</sup> Siehe nur *Hartung* in: Kühling/Buchner, DS-GVO/BDSG, Kommentar, 3. Aufl., Art. 24, DS-GVO Rn 9; *Voskamp* in: Kipker, Cybersecurity, Kap. 5 Rn. 5.

<sup>53</sup> Vgl. auch *Petri*, in: Simitis et al. 2019, Kommentar, Art. 24 Rn. 1.

(„holistischer Ansatz“, (vgl. auch (Simitis et al. 2019), Art. 25 Rn. 45; (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 25 Rn. 16 f.).

#### 5.3.2.3.3.1.1 Auswahlkriterien für eine geeignete TOM

Art. 25 und Art. 32 DS-GVO haben einen unterschiedlichen Zuschnitt, wie bereits die unterschiedliche Platzierung in der Datenschutz-Grundverordnung nahelegt (vgl. (Simitis et al. 2019), Art. 25 Rn. 36). Gemein ist ihnen aber jedenfalls, dass sie die Anforderungen der Verantwortung nach Art. 24 DS-GVO konkretisieren und eine Abwägung erfordern, die auf gleichen Kriterien gründen und in eine TOM münden. Die Kriterien gründen sich nicht allein auf der Sicherheit der Verarbeitung, sondern beziehen auch die Freiheit natürlicher Personen ein (Simitis et al. 2019), Art. 25 Rn. 14, 38). Die Auswahl der TOM muss auf Grundlage einer Abwägung vier Kriterien berücksichtigen: (1) Stand der Technik, (2) Implementierungskosten, (3) Art, Umfang, Umstände und Zweck der Verarbeitung sowie (4) Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere des Risikos. Der Verantwortliche hat wegen der Unbestimmtheit der Kriterien einen nicht unerheblichen Handlungsspielraum bei der Abwägung, der von der Aufsichtsbehörde nur in Hinblick auf grobe Verstöße überprüft werden darf<sup>54</sup>.

Das erste Kriterium ist der Stand der Technik, der die Abwägung einer gewissen Dynamik unterzieht und damit ein flexibles und technikneutrales Sicherheitsniveau gewährleistet<sup>55</sup>. Der Stand der Technik verlagert den

---

„rechtliche[n] Maßstab für das Gebotene und Erlaubte (...) an die Front der technischen Entwicklung“<sup>56</sup>.

Der Stand der Technik geht über die „Regeln der Technik“ hinaus, die sich bereits in der Praxis verbreitet und bewährt haben, und bleibt hinter den dem „Stand von Wissenschaft und Technik“ zurück, der auch neueste Erkenntnisse der Forschung umfasst<sup>57</sup>. Ob der Stand der

---

<sup>54</sup> Hartung, in: Bäcker et al. 2024, Kommentar, 3. Aufl., Art. 25 DS-GVO Rn. 19; vgl. auch Hansen, in: Simitis et al. 2019, Datenschutzrecht, Kommentar, Art. 32 Rn. 20 f., da Art. 25 DS-GVO und Art. 32 DS-GVO insoweit gleichlaufen.

<sup>55</sup> Vgl. Ekrot/Fischer/Müller, in: Kipker et al. 2023, Kap. 3 Rn. 18.

<sup>56</sup> BVerfGE 49, 89 (135).

<sup>57</sup> Statt vieler Hansen in: Simitis/Hornung/Spieker gen. Döhmann, Datenschutzrecht, Kommentar, Art. 32 Rn. 22; ausführlich Ekrot/Fischer/Müller, in: Kipker, Cybersecurity, Kap. 3 Rn. 4 ff.; in aller Kürze Julian Senders and Ass. iur. Anna Halbig 2020 Nr. 17 von Oktober 2020, S. 10 ff.

Technik eingehalten wurde, kann im Einzelfall schwer zu ermitteln sein, weil Sicherheit als qualitatives Kriterium weniger leicht zu messen bzw. zu beurteilen ist (Vgl. Ekrot/Fischer/Müller in: (Kipker et al. 2023), Kap. 3 Rn. 8). Konkretisiert wird der Stand der Technik im Bereich der Datensicherheit bzw. IT-Sicherheit auf verschiedene Weise, insbesondere durch technische Regelwerke<sup>58</sup> sowie sonstige technische Fachveröffentlichungen der ENISA<sup>59</sup> und des BSI<sup>60</sup>, der Datenschutzaufsichtsbehörden, der Datenschutzkonferenz<sup>61</sup> und sonstige Akteure<sup>62</sup>. Wichtig ist, dass die technischen Regelwerke sowie die sonstigen technischen Fachveröffentlichungen ständig weiterentwickelt werden und damit nur eine begrenzte Geltungsdauer haben. Das bedeutet: Der Stand der Technik erfordert nicht eine einmalige IT-Sicherheitsmaßnahme des Verantwortlichen, sondern eine fortlaufende Vergewisserung ihrer Aktualität (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 25 Rn. 46).

Das zweite Kriterium sind die *Implementierungskosten*. Was unter Implementierungskosten im Einzelnen zu verstehen ist, wird nicht einheitlich beurteilt. Nach einer Auffassung ((Atzert,

---

<sup>58</sup> Technische Regelwerke werden mitunter weiter in technische Normen, Standards und technische Richtlinien unterteilt. Gemein ist ihnen, dass sie auf Grundlage von technischer Expertise von privaten Einrichtungen erstellt werden. Solche Einrichtungen sind bspw. das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN), die Internationale Organisation für Normung (ISO) und die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC)). Wichtige technische Regelwerke im Bereich der Daten- bzw. IT-Sicherheit sind insbesondere die ISO-Normen 27000 ff. (Informationssicherheit), die die IEC-Normenreihe 62351 (Daten- und Kommunikationssicherheit bei Energieversorgungsunternehmen) und IEC 62443 (IT-Sicherheit für industrielle Automatisierungssysteme), näher dazu *Ekrot/Fischer/Müller*, in: Kipker, Cybersecurity, Kap. 3, Rn. 11 ff. zu nennen

<sup>59</sup> Die ENISA ist die Europäische Agentur für Cybersicherheit mit Sitz in Heraklion (Griechenland), über deren Internetseite regelmäßig Publikationen erscheinen.

<sup>60</sup> Dazu zählen bspw. die technischen Richtlinien des BSI, der BSI-Grundschriftkatalog, das BSI-Grundschriftkompendium und die BSI-Cybersicherheitsempfehlungen. Wichtige technische Richtlinien in diesem Zusammenhang sind insbesondere die BSI-TR-02102 und 03109, speziell zur BSI-TR-02102 *Ekrot/Fischer/Müller* in: Kipker, Cybersecurity, Kap. 3 Rn. 15.

<sup>61</sup> Zu nennen ist v. a. das Standard-Datenschutzmodell des Bundes und der Länder („SDM“).

<sup>62</sup> Ein sonstiger Akteur in diesem Zusammenhang ist bspw. der Bundesverband für IT-Sicherheit e.V. (TeleTrusT), der erst kürzlich – August 2021 – eine neue Handreichung zum Stand der Technik herausgegeben hat.

Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 25 Rn. 46) seien unter Hinweis auf den „insoweit klaren Wortlaut“ Betriebs- und Folgekosten nicht Teil der Implementierungskosten. Nach einer anderen Auffassung (Simitis et al. 2019), Art. 32 Rn. 26; (Bäcker et al. 2020), Art. 32 DS-GVO Rn. 11; (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 97, einschränkend mit Blick auf die Kostenhöhe (Bäcker et al. 2024), Art. 25 DS-GVO Rn. 22) seien Implementierungskosten weiter zu fassen: Dies seien alle zusätzlichen Kosten für die Umsetzung der Sicherheitsmaßnahme einschließlich der Prüfung, ob die Umsetzung rechtlich zulässig ist (z. B. Materialkosten oder Personalkosten). In der Sache sprechen die besseren Argumente für die letztgenannte Auffassung. Eine Abwägung ohne Berücksichtigung von Betriebs- und Folgekosten wäre kostenseitig unvollständig und würde damit der Intention der Vorschrift entgegenstehen, eine möglichst genaue Abwägung – mit immerhin vier verschiedenen Kriterien – und damit eine möglichst angemessene Maßnahme auszuwählen.

Das dritte Kriterium sind *Art, Umfang, Umstände und Zweck der Verarbeitung*, die die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Schwere des Risikos beeinflussen. In Bezug auf die Art der Verarbeitung sind die Risiken in lokalen Systemen ohne Netzwerkumgebung geringer als in verteilten Cloud-Systemen ((Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 86). In Bezug auf den Umfang der Verarbeitung sind die Risiken bei einer größeren Anzahl personenbezogener Daten grundsätzlich höher als bei einer geringeren Anzahl (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 87). In Bezug auf die Umstände der Verarbeitung müssen die externen Rahmenbedingungen der Verarbeitung – d. h. die globale Cybersicherheitslage und die betrieblichen Rahmenbedingungen – evaluiert werden (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 88). In Bezug auf den Zweck der Verarbeitung ist dessen Reichweite zu bestimmen, um notwendige und nicht notwendige Verarbeitungen unterscheiden zu können (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 89). Der Zweck der Verarbeitung ist insbesondere mit Risiken behaftet, wenn soziale Abhängigkeitsverhältnisse zugrunde liegen oder grundrechtserhebliche Folgemaßnahmen einhergehen ((Simitis et al. 2019), Art. 24 Rn. 12).

Das vierte Kriterium ist schließlich die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Schwere des Risikos. Das Risiko kann mittels einer quantitativen oder einer qualitativen Methode bestimmt werden.

Bei der quantitativen Methode wird – umgerechnet in Geldbeträge – eine potenzielle Beeinträchtigung mit dem Faktor der jährlichen Häufigkeit multipliziert (Schaden  $i$  [„impact“] x Eintrittswahrscheinlichkeit  $p$  [„probability“]) (Simitis et al. 2019), Art. 32 Rn. 28; (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 90). Wichtig ist, dass sich diese in der Informationssicherheit bewährte Methode nur mit veränderten Vorzeichen auf die Datenschutz-Grundverordnung übertragen lässt. Denn in der Datenschutz-Grundverordnung wird die Informationssicherheit nicht aus Sicht der verarbeitenden Organisation, sondern aus Sicht der natürlichen

Personen mit ihren Grundrechten bestimmt (Simitis et al. 2019), Art. 32 Rn. 28). „Schaden“ ist eher als Beeinträchtigung zu verstehen (Simitis et al. 2019), Art. 32 dort in Fn. 27). Dazu können materielle und immaterielle Beeinträchtigungen zählen<sup>63</sup>. Die Schwere der Beeinträchtigung muss in den gebildeten Geldbetrag einfließen, wobei auf typisierte Fallgruppen in der Rechtsprechung zurückgegriffen werden kann ((Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 91).

Bei der qualitativen Methode wird dagegen eine Risikomatrix erstellt, wobei Risiko und Eintrittswahrscheinlichkeit jeweils in Kategorien – geringfügig bis groß – eingeteilt werden. Diese Methode entspricht der Auffassung der Datenschutzaufsichtsbehörden ((Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 90).

#### *5.3.2.3.3.1.2 Auswahlentscheidung für eine geeignete TOM*

Wenngleich Art. 25 und Art. 32 DS-GVO die gleichen Kriterien für die Abwägung anlegen, ist die TOM nach Art. 25 DS-GVO im Lichte des Ziels der datenschutzfreundlichen Technikgestaltung zu wählen (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 25 Rn. 31). Abgesehen von der in Art. 25 Abs. 1 DS-GVO genannten Pseudonymisierung können solche TOM bspw. die Erstellung eines Datenschutzkonzeptes („Data Strategy“) oder die Durchführung einer Datenschutzfolgenabschätzung („DSFA“; siehe Art. 35 Abs. 1 DS-GVO) sein (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 25 Rn. 38).

#### *5.3.2.3.3.2 Privacy by Default*

Art. 25 Abs. 2 DS-GVO beschränkt den persönlichen Anwendungsbereich auf den Verantwortlichen. Die Vorschrift verlangt geeignete technische und organisatorische Maßnahmen, die als automatische Standardeinstellung die personenbezogenen Daten des Nutzers auf das Erforderliche minimieren. Art. 25 Abs. 2 DS-GVO beruht im Wesentlichen auf zwei Gedanken: (1) Standardeinstellungen werden vom Nutzer regelmäßig beibehalten. (2) Standardeinstellungen, die eine maximal datensparsame Erhebung von personenbezogenen Daten vorsehen, schützen den Nutzer und minimieren damit Sicherheitsrisiken (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 25 Rn. 60; vgl. auch (Simitis et al. 2019), Art. 32 Rn. 39.; (Bäcker et al. 2020), Art. 25 DS-GVO Rn. 24). Art. 25 Abs. 2 DS-GVO bezieht die maximal datensparsame Verarbeitung nicht nur auf die Menge, sondern auch auf den Umfang, die Speicherfrist sowie die Zugänglichkeit (Art. 25 Abs. 2 S. 2 DS-GVO). Die Vorschrift zielt v. a. auf internetbasierte Anwendungen. Sie kann im Bereich der Fernwärmeversorgung bspw. beim Einsatz von

---

<sup>63</sup> Vgl. dazu Erwägungsgrund Nr. 75 der DS-GVO.

Online-Portalen, Webseiten und Apps eine Rolle spielen, die der Fernwärmeversorger für den Verbraucher bereitstellt ((Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 25 Rn. 60).

#### 5.3.2.3.4 Sicherheit der Verarbeitung

Art. 32 DS-GVO betrifft die Sicherheit der Verarbeitung. Die Vorschrift ist persönlich an den Verantwortlichen und an den Auftragsverarbeiter (Art. 28 DS-GVO) gerichtet und insofern personell weiter als Art. 25 DS-GVO gefasst. Sie ist jedoch zeitlich und inhaltlich enger als Art. 25 DS-GVO gefasst: Zeitlich bezieht sie sich – entsprechend den Vorgaben des Art. 1 Abs. 1 DS-GVO – „nur“ auf das Verarbeitungsstadium und nicht auf das vorgelagerte Planungs- und Entwicklungsstadium. Inhaltlich verfolgt sie keinen holistischen Ansatz, sondern ist v. a. auf den bereits erwähnten Datensicherheitsgrundsatz in Art. 5 Abs. 1 lit. f) DS-GVO gerichtet (Simitis et al. 2019), Art. 25 Rn. 12).

Verantwortlicher und Auftragsverarbeiter müssen geeignete TOM treffen, um „ein dem Risiko angemessenes Schutzniveau zu gewährleisten“ (Art. 32 Abs. 1 Hs. 1 DS-GVO). Welche TOM getroffen werden, ist auf Grundlage einer Abwägung zu entscheiden. Die Abwägung muss die bereits in Art. 25 Abs. 1 DS-GVO genannten Kriterien berücksichtigen: (1) Stand der Technik, (2) Implementierungskosten, (3) Art, Umfang, Umstände und Zweck der Verarbeitung sowie (4) Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere des Risikos. Die Schwere des Risikos muss im Rahmen des Art. 32 DS-GVO akribisch ermittelt werden, weil auf Grundlage des Risikos das „angemessene Schutzniveau“ beurteilt wird. Um das angemessene Schutzniveau beurteilen zu können, sollten auch die Anforderungen des Art. 32 Abs. 2 DS-GVO einbezogen werden (Simitis et al. 2019), Art. 32 Rn. 30). Das zeigt deutlich: Die Abwägung in Art. 32 DS-GVO ist auf die Sicherheit der Verarbeitung fokussiert und hat damit einen anderen Zuschnitt als Art. 25 DS-GVO, bei dem alle Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung – speziell sämtliche Grundsätze der Datenverarbeitung – in den Blick genommen werden müssen, Wenngleich die Vorschriften im Wortlaut ähnlich sind, können durch den unterschiedlichen Zuschnitt der Vorschriften jeweils unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden und damit unterschiedliche TOM zu treffen sein.

Wenn die vier Kriterien berücksichtigt und das angemessene Schutzniveau beurteilt wurde, müssen der Verantwortliche bzw. der Auftragsverarbeiter die geeigneten TOM treffen. Welche TOM der Verantwortliche bzw. Auftragsverarbeiter in Betracht ziehen könnte, ist in einem konkreten – nicht abschließenden – Maßnahmenkatalog niedergelegt (Art. 32 Abs. 1 DS-GVO). Der Maßnahmenkatalog nennt jedenfalls vier verschiedene TOM, wobei die konkrete Auswahl der Maßnahme im Ermessen des Verantwortlichen und des Auftragsverarbeiters steht (Simitis et al. 2019), Art. 32 Rn. 30).

Die erste TOM ist die *Pseudonymisierung* und *Verschlüsselung* (lit. a)). Bei der Pseudonymisierung können personenbezogene Daten ohne zusätzliche Informationen keiner spezifischen Person zugeordnet werden, wobei die zusätzlichen Informationen – im Gegensatz zur Anonymisierung – nicht gelöscht, sondern gesondert aufbewahrt werden (vgl. Art. 4 Nr. 5 DS-GVO) ((Bäcker et al. 2020), Art. 32 DS-GVO Rn. 18). Bei der Verschlüsselung wird Klartext nach einem bestimmten Verfahren in Geheimtext umgewandelt, wobei entweder ein einziger Schlüssel („symmetrisches Verfahren“) oder jeweils verschiedene Schlüssel („asymmetrisches Verfahren“) für die Ver- und Entschlüsselung verwendet werden (ausführlich dazu (Bäcker et al. 2020), Art. 32 DS-GVO Rn. 19). Das Verschlüsselungsverfahren muss dem Stand der Technik entsprechen ((Bäcker et al. 2020), Art. 32 DS-GVO Rn. 21).

Die zweite TOM ist die Sicherstellung von Systemen und Diensten, die *vertraulich*, *integer*, *verfügbar und belastbar* sind (lit. b)). Sie sind vertraulich, wenn Unbefugte – z. B. durch Zugangs-, Zugriffs- und Weitergabebeschränkungen – ausgeschlossen sind ((Bäcker et al. 2020), Art. 32 DS-GVO Rn. 21). Sie sind integer, wenn Unbefugte keine Veränderungen vornehmen konnten ((Simitis et al. 2019), Art. 32; (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 55). Sie sind verfügbar, wenn die bestimmungsgemäße Funktion gewährleistet ist (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 58). Sie sind schließlich belastbar, wenn die bestimmungsgemäße Funktion auch unter widrigen Bedingungen aufrechterhalten werden kann ((Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 61).

Die dritte TOM ist die Wiederherstellbarkeit von personenbezogenen Daten, die nach einem Zwischenfall beschädigt, gelöscht oder auf andere Weise unverfügbar sind (lit. c)). Wiederherstellbarkeit erfordert technische Vorkehrungen in Form von Datensicherungskonzepten (Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 70).

Die vierte TOM ist das Sicherheitsmanagement (lit. d)). Das Sicherheitsmanagement ist ein interner Prozess, der die Sicherheit der Verarbeitung durch festgelegte Mittel, in festgelegten Zeitabständen und durch einen festgelegten Verantwortlichen überprüft, bewertet und evaluiert ((Atzert, Leutheusser-Schnarrenberger 2020), Art. 32 Rn. 74 ff.)

Das zeigt: Art. 32 DS-GVO und Art. 25 DS-GVO sind strukturell ähnlich aufgebaut. Sie erfordern für die Auswahl einer TOM, eine Abwägung vorzunehmen, die vier bestimmte Kriterien berücksichtigen muss. Art. 32 DS-GVO ist jedoch etwas spezifischer, weil die Vorschrift allein auf die Sicherheit der Verarbeitung gerichtet ist und – deswegen – für die Abwägung auch für die Beurteilung eines angemessenen Schutzniveaus erfordert.

#### 5.3.2.3.5 Datenschutz-Folgenabschätzung

Wenn eine Verarbeitung von personenbezogenen Daten voraussichtlich mit einem hohen Risiko einhergeht, führt der Verantwortliche vorab eine Abschätzung der Folgen durch



(„Datenschutz-Folgenabschätzung“; kurz DSFA; Art. 35 Abs. 1 DS-GVO). Wann eine DSFA durchgeführt wird, ergibt sich aus den Grundbedingungen nach Abs. 1, den Regelbeispielen nach Abs. 3, der Positivliste der Aufsichtsbehörde nach Abs. 4 („black list“), der Negativliste der Aufsichtsbehörde nach Abs. 5 („white list“) sowie der Ausnahmeregelung in Abs. 10. Wichtig ist, dass die Bundesrepublik Deutschland bislang noch keine Ausnahmeregelung nach Abs. 10 vorsieht und die Aufsichtsbehörden – die Datenschutzbeauftragten des Bundes und der Länder – bislang noch keine Negativlisten nach Abs. 5 erstellt haben. Die Vorschriften sind folglich (noch) nicht Teil des Prüfungsprogramms.

Die Positivliste nach Abs. 4 wird von jeder Aufsichtsbehörde mit eigenen Nuancen geführt. Jede Positivliste soll einen Überblick über DSFA-pflichtige Verarbeitungsvorgänge geben. Die Positivlisten konzentrieren sich insbesondere auf die Verarbeitung von personenbezogenen Daten, die besonders umfangreich oder besonders sensibel sind. Die Regelbeispiele nach Abs. 3 gehen in die gleiche Richtung und decken drei Fallgruppen ab, die für die Datenverarbeitung mit einem hohen Risiko verbunden sind: Die systematische, umfassende und automatisierte Bewertung von persönlichen Aspekten natürlicher Personen (lit. a)), die umfangreiche Verarbeitung personenbezogener Daten nach Art. 9 und Art. 10 DS-GVO (lit. b)) sowie die systematische umfangreiche Überwachung öffentlich zugänglicher Bereiche (lit. c)). Die Grundbedingungen nach Abs. 1 enthalten schließlich eine Art Generalklausel für Fallgruppen, die ebenfalls mit einem hohen Risiko verbunden sind und von den spezielleren Vorgaben nicht erfasst wurden. Eine Datenschutz-Folgenabschätzung nach Art. 35 Abs. 1 DS-GVO ist „insbesondere bei Verwendung neuer Technologien“ durchzuführen („Technikfolgenabschätzung“).

Wenn eine DSFA durchgeführt wird, müssen bestimmte Mindestanforderungen erfüllt werden (Art. 35 Abs. 7 DS-GVO). Dazu zählen eine systematische Beschreibung von Verarbeitungsvorgängen und Zweck der Verarbeitung (lit. a)), eine Bewertung von Notwendigkeit und Verhältnismäßigkeit der Verarbeitungsvorgänge in Bezug auf den Zweck (lit. b)), eine Bewertung der Risiken in Bezug auf die Rechte und Freiheiten des Betroffenen (lit. c)) sowie die zur Risikobewältigung geplanten Abhilfemaßnahmen (lit. d)).

#### 5.3.2.4 Vorgaben in der Produktsicherheitsverordnung

Die Produktsicherheit war auf europäischer Ebene bisher in der Richtlinie 2001/95/EG geregelt<sup>64</sup>. Da seitdem die Digitalisierung erheblichen Einfluss auf Produkteigenschaften und Vertriebswege genommen hat, wurde schon seit längerer Zeit eine Richtlinienüberarbeitung diskutiert (siehe (Rott)). Ergebnis dieser Überarbeitung ist nunmehr die Produktsicherheitsverordnung, die im Mai 2023 verabschiedet wurde, im Dezember 2024 in Kraft treten und dann unmittelbar anwendbares Recht auch in Deutschland sein wird. Die Produktsicherheitsverordnung (ProdSiVO) soll für die Einhaltung bestimmter Sicherheitsstandards bei Produkten sorgen. Sie kann im Bereich der Fernwärmeversorgung für Produkthersteller von Bedeutung sein (dazu 5.3.2.4.1). Zudem stellt sich die Frage, ob durch diese Verordnung auch neue Pflichten für die Fernwärmeversorger zukommen (dazu 5.3.2.4.2).

##### 5.3.2.4.1 Cybersicherheitsanforderungen für Hersteller von Wärmezählern

Kern der Verordnung ist das allgemeine Sicherheitsgebot in Art. 5 ProdSiVO. Es besagt, dass Wirtschaftsakteure nur sichere Produkte in Verkehr bringen oder auf dem Markt bereitstellen dürfen. Produkt ist

„jede[r] Gegenstand, der für sich allein oder in Verbindung mit anderen Gegenständen entgeltlich oder unentgeltlich — auch im Rahmen der Erbringung einer Dienstleistung — geliefert oder bereitgestellt wird und für Verbraucher bestimmt ist oder unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen wahrscheinlich von Verbrauchern benutzt wird, selbst wenn er nicht für diese bestimmt ist“ (Art. 3 Nr. 1 ProdSiVO).

Die Produktregulierung erfordert also einen Verbraucherbezug. Verbraucher ist wiederum

„jede natürliche Person, die zu Zwecken handelt, die außerhalb ihrer gewerblichen, geschäftlichen, handwerklichen oder beruflichen Tätigkeit liegen“ (Art. 3 Nr. 17 ProdSiVO).

Die Verbraucherdefinition entspricht also der schon lange verwendeten Verbraucherdefinition aus Art. 2 Nr. 1 der Verbraucherrichtlinie 2011/83/EU<sup>65</sup>. Verbrauchern wird im Bereich der Fernwärmeversorgung ein Wärmezähler bereitgestellt, der für die Messung und Abrechnung

---

<sup>64</sup> Richtlinie 2001/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Dezember 2001 über die allgemeine Produktsicherheit, ABl. EU Nr. L 11 vom 15. Januar 2002, S. 4.

<sup>65</sup> Richtlinie 2011/83/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, ABl. EU Nr. L 304/64 vom 25. Oktober 2011.

des Wärmeverbrauchs am Hausanschluss verwendet wird. Diese Wärmehähler fallen somit unter den Produktbegriff nach Art. 3 Nr. 1 ProdSiVO. Unabhängig davon, ob der Wärmehähler fernauslesbar ist oder nicht, unterliegen die Hersteller solcher Wärmehähler ab 13. Dezember 2024 den Sicherheitsanforderungen der Produktsicherheitsverordnung.

Der Wärmehähler muss also ein sicheres Produkt sein. Sichere Produkte bergen

„bei normaler oder vernünftigerweise vorhersehbarer Verwendung, was auch die tatsächliche Gebrauchsdauer einschließt, keine oder nur geringe mit seiner Verwendung zu vereinbarende, als annehmbar erachtete und mit einem hohen Schutzniveau für die Gesundheit und Sicherheit der Verbraucher vereinbare Risiken“ (Art. 3 Nr. 2 ProdSiVO).

Ob der Wärmehähler ein sicheres Produkt ist und damit dem allgemeinen Sicherheitsgebot nach Art. 5 ProdSiVO entspricht, bemisst sich anhand einer Bewertung nach Art. 6 ProdSiVO, bei der ein Katalog von verschiedenen Aspekten zu berücksichtigen ist. Dieser Katalog ist nicht grundlegend neu, sondern baut auf dem früheren Katalog des Art. 3 Abs. 3 ProdSiRL auf und wurde um einige Aspekte erweitert. Neu ist aber, dass dem Katalog folgende ausdrückliche Bezugnahme auf die Cybersicherheit hinzugefügt wurde:

„sofern aufgrund der Art des Produkts erforderlich, die angemessenen Cybersicherheitsmerkmale, die erforderlich sind, um das Produkt vor äußeren Einflüssen, einschließlich böswilliger Dritter, zu schützen, sofern sich ein solcher Einfluss auf die Sicherheit des Produkts auswirken könnte, einschließlich eines möglichen Ausfalls der Verbindung“ (Art. 6 Abs. 1 lit. g) ProdSiVO).

Einfacher ausgedrückt: Wenn die Art des Produkts eine Berücksichtigung der Cybersicherheit erfordert und äußere Einflüsse auf die Informationstechnik Auswirkungen auf die Produktsicherheit haben könnten, sind die erforderlichen Cybersicherheitsanforderungen in der Bewertung der Produktsicherheit zu berücksichtigen. Die äußeren Einflüsse müssen sich nicht notwendigerweise tatsächlich auf die Produktsicherheit auswirken; der Konjunktiv („könnte“) deutet an, dass schon die bloße Möglichkeit der Auswirkung ausreicht. Auch wenn die Cybersicherheitsanforderungen auf bestimmte Produktmerkmale beschränkt werden („erforderlich“), ist die Bezugnahme auf die Cybersicherheit insoweit weit zu verstehen.

Was bedeutet das für die Fernwärmeversorgung? Wärmehähler müssen nach Art. 16 Abs. 1 EED fernablesbar sein, wobei Bestandszähler diese Anforderung erst bis zum 1. Januar 2027 erfüllen müssen. Wärmehähler werden also in Zukunft die Verbrauchsdaten mit Hilfe elektromagnetischer Wellen – bspw. durch Funkverbindung – übertragen. Die drahtlose Verbindung führt aber zu Sicherheitsrisiken; so besteht bspw. bei einer fehlenden oder mangelhaften Verschlüsselung der Verbindung die Möglichkeit des Zugriffs auf die übertragenen Daten durch

Dritte. Unabhängig davon, ob ein Smart-Meter-Gateway bei der Datenübertragung zum Einsatz kommt, könnten sich somit äußere Einflüsse auf die Produktsicherheit auswirken. Die erforderlichen Cybersicherheitsanforderungen müssen somit bei der Bewertung der Produktsicherheit berücksichtigt werden. Die EU-Energieeffizienzrichtlinie und die EU-Produktsicherheitsverordnung spielen im Fall des Wärmezählers also zusammen.

Unklar ist, was die angemessenen Cybersicherheitsanforderungen für Wärmezähler, auf die Art. 6 Abs. 1 lit. g) ProdSiVO verweist, sein sollen. Hier ist aber eine Konformitätsvermutung nach Art. 7 ProdSiVO zu beachten: Es wird jedenfalls vermutet, dass der Wärmezähler dem allgemeinen Sicherheitsgebot entspricht, wenn der Wärmezähler in Bezug auf Risiken und Risikokategorien entweder den anwendbaren europäischen Normen entspricht, sofern diese Normen die Risiken und Risikokategorien regeln sowie deren Fundstellen im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht wurden (Art. 7 Abs. 1 lit. a) ProdSiVO), oder – in Ermangelung anwendbarer europäischer Normen – den Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen im nationalen Recht entspricht, sofern dieses Recht mit dem Unionsrecht in Einklang steht (Art. 7 Abs. 1 lit. b) ProdSiVO).

#### 5.3.2.4.2 Keine Auswirkungen auf Fernwärmeversorger

Fraglich ist, ob die Cybersicherheitsanforderungen nach Art. 6 Abs. 1 lit. g) ProdSiVO Auswirkungen auf die Pflichten des Fernwärmeversorgers haben. Das wäre etwa der Fall, wenn die Cybersicherheitsanforderungen in die Pflichten des Fernwärmeversorgers nach § 31 Abs. 2 MessEG hineinspielen würden, wonach ein Messgeräteverwender insbesondere nach Nr. 1 die wesentlichen Anforderungen an das Messgerät nach § 6 Abs. 2 MessEG während der gesamten Verwendungszeit einzuhalten hat. Der Fernwärmeversorger ist insoweit Messgeräteverwender, weil er den Wärmezähler, der nach § 1 Abs. 1 Nr. 7 MessEV in den Anwendungsbereich des Mess- und Eichrechts fällt, jedenfalls im geschäftlichen Verkehr betreibt. Der Fernwärmeversorger muss daher auch die wesentlichen Anforderungen nach § 31 Abs. 2 Nr. 1 MessEG erfüllen; diese betreffen aber – wie aus § 6 Abs. 2 MessEG i. V. m. § 7 MessEV hervorgeht – die Messrichtigkeit und Messbeständigkeit, nicht aber die Produktsicherheit. Das Mess- und Eichrecht hat dementsprechend eine andere Zielrichtung. Die Cybersicherheitsanforderungen, die aus Art. 6 Abs. 1 lit. g) ProdSiVO hervorgehen, haben insoweit folglich keine Auswirkungen auf die Pflichten, die der Fernwärmeversorger nach dem Mess- und Eichrecht zu erfüllen hat.

#### 5.3.2.5 Neue rechtliche Vorgaben im Entwurfsstadium

Das europäische Cybersicherheitsrecht ist durch eine hohe Dynamik gekennzeichnet. Diese Dynamik ist getrieben durch den informationstechnischen Fortschritt und die damit entstehenden Gefahren für einzelne Rechtssubjekte, für einzelne Mitgliedstaaten und/oder für die Europäische Union insgesamt. Diese Gefahren betreffen unterschiedliche Bereiche und werden

deswegen durch unterschiedliche Rechtsakte adressiert. Während der Cybersecurity Act die supranationale Organisation der Cybersicherheit in einer einzigen Gefahrenabwehrbehörde bündelt und durch klare Zuständigkeiten und klare Aufgabenverteilungen eine supranationale Handlungsfähigkeit in Gefahrenlagen schafft, sorgt die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II durch Cybersicherheitspflichten in den Bereichen Governance, Risikomanagement und Berichtswesen für ein unionsweites Cybersicherheitsniveau von Netz- und Informationssystemen kritischer Infrastrukturen. Flankiert wird dieses Cybersicherheitsniveau durch die bereits vorstellte Datenschutz-Grundverordnung, wonach die Datensicherheit bei der Verarbeitung von personenbezogenen Daten gewährleistet werden muss.

Weitere Rechtsakte sind in Planung und befinden sich mit dem Cyber Resilience Act (dazu 5.3.2.5.1), dem Cyber Solidarity Act (dazu 5.3.2.5.1.1) und der Produkthaftungsrichtlinie (dazu 5.3.2.5.2) bereits im Entwurfsstadium. Da diese Rechtsakte auch bestimmten Gefahren Rechnung tragen und in Zukunft voraussichtlich zum Kanon des europäischen Cybersicherheitsrechts gehören werden, soll überblicksartig auf diese Rechtsakte und ihre Relevanz für Fernwärmeversorger eingegangen werden.

#### 5.3.2.5.1 Cyber Resilience Act

Der Cyber Resilience Act (kurz: CRA) ist ein Vorschlag der Kommission vom 15. September 2022 für eine Verordnung über horizontale Cybersicherheitsanforderungen für Produkte mit digitalen Elementen<sup>66</sup>. Der Vorschlag kann dem europäischen Produktsicherheitsrecht zugeordnet werden. Ziel der Verordnung ist es, bestimmte Hardware- und Softwareprodukte durch Vorschriften über das Inverkehrbringen, durch grundlegende Anforderungen an die Konzeption, Entwicklung und Herstellung und an Verfahren zur Schwachstellenbehebung sowie durch Vorschriften über die Marktüberwachung und Durchsetzung dieser Vorschriften und

---

<sup>66</sup> Der Vorschlag wurde am 12. März 2024 vom Europäischen Parlament angenommen (dazu Europäisches Parlament, Legislative Entschließung vom 12. März 2024 zu dem Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über die horizontalen Cybersicherheitsanforderungen für Produkte mit digitalen Elementen (COM (2022)0454 – C9-0308/2022 – 2022/0272(COD)), P9\_TA(2024)0130). Die Anpassungen, die im Zuge der Annahme des Europäischen Parlaments am Verordnungsentwurf vorgenommen wurden, konnten zum Zeitpunkt der Endredaktion nicht mehr in diesen Abschlussbericht aufgenommen werden. Die folgenden Ausführungen basieren daher auf den Rechtsstand des Verordnungsentwurfs der Kommission vom 15. September 2022.

Anforderungen resilienter gegen Cyberangriffe zu machen (vgl. Art. 1 CRA-E). Der Verordnungsentwurf ist also an Produkthersteller gerichtet.

Der Anwendungsbereich des CRA-E soll grundsätzlich gelten für

„Produkte mit digitalen Elementen, deren bestimmungsgemäße oder vernünftigerweise vorhersehbare Verwendung eine direkte oder indirekte logische oder physische Datenverbindung mit einem Gerät oder Netz einschließt“ (Art. 2 Abs. 1 CRA-E).

Der Entwurf unterscheidet dabei zwischen Produkten mit digitalen Elementen (Art. 3 Nr. 1 CRA-E), kritischen Produkten mit digitalen Elementen (Art. 3 Nr. 3 CRA-E) sowie hochkritischen Produkten mit digitalen Elementen (Art. 3 Nr. 4 CRA-E). Die Unterschiede werden im Folgenden vorgestellt.

#### 5.3.2.5.1.1 Produkt mit digitalen Elementen

Ein Produkt mit digitalen Elementen ist

„ein Software- oder Hardwareprodukt und dessen Datenfernverarbeitungslösungen, einschließlich Software- oder Hardwarekomponenten, die getrennt in Verkehr gebracht werden sollen“ (Art. 3 Nr. 1 CRA-E).

Die Begriffe der Datenfernverarbeitungslösung (Art. 3 Nr. 2 CRA-E), der Software (Art. 3 Nr. 6 CRA-E), der Hardware (Art. 3 Nr. 7 CRA-E) sowie der Komponenten (Art. 3 Nr. 8 CRA-E) werden im Verordnungsentwurf näher definiert. Die Definitionen weichen aber nicht vom Verständnis des allgemeinen Sprachgebrauchs ab.

Produkte mit digitalen Elementen unterliegen den grundlegenden Anforderungen in Anhang I Abschnitt 1; zudem müssen die festgelegten Verfahren des Produktherstellers den grundlegenden Anforderungen in Anhang I Abschnitt 2 entsprechen (Art. 5 CRA-E). Die grundlegenden Anforderungen in Anhang I Abschnitt 1 betreffen die Konzeption, Entwicklung und Herstellung des Produkts und enthalten Cybersicherheitsanforderungen in Bezug auf die Produkteigenschaften.

Der Verordnungsentwurf nennt keine Beispiele für Produkte mit digitalen Elementen; die Definition des Art. 3 Nr. 1 CRA-E legt aber nahe, dass auch im Bereich der Fernwärmeversorgung viele Geräte in den Anwendungsbereich fallen könnten. Ein Beispiel für ein Produkt mit digitalen Elementen könnte eine Pumpe in einer Pumpstation darstellen; sie sorgt für einen Ausgleich des Druckverlustes im Fernwärmenetz durch Druckerhöhung und gewährleistet damit

eine kontinuierliche Verteilung des Heizwassers über größere Entfernungen<sup>67</sup>. Wenn die Pumpe automatisch über ein IT-System gesteuert wird, dürfte das digitale Element in der digitalen Steuerung der Pumpe mittels Fernkommunikationsmitteln liegen.

Falls ein Produkt ein digitales Element aufweist, ist aber stets zu prüfen, ob das Produkt nicht auch als kritisch oder als hochkritisch zu betrachten ist.

#### 5.3.2.5.1.2 Kritisches Produkt mit digitalen Elementen

Ein kritisches Produkt mit digitalen Elementen ist

„ein Produkt mit digitalen Elementen, das nach den in Artikel 6 Absatz 2 festgelegten Kriterien ein Cybersicherheitsrisiko birgt und dessen Kernfunktionen in Anhang III aufgeführt sind“ (Art. 3 Nr. 3 CRA-E).

Zusätzliche Voraussetzung ist also die Kritikalität des Produkts, wobei hierfür das Produkt entweder zu einer Produktkategorie nach Anhang III gehört oder die Kernfunktionen einer Produktkategorie nach Anhang III aufweist (Art. 6 Abs. 1 S. 1 CRA-E). Die Produktkategorien in Anhang III werden wiederum nach dem Cybersicherheitsrisiko des Produkts in die Klassen I und II unterteilt (Art. 6 Abs. 1 S. 2 CRA-E). Die maßgeblichen Kriterien für das Cybersicherheitsrisiko – und damit die Einteilung in Klasse I oder II – sind im Katalog des Art. 6 Abs. 2 CRA-E geregelt.

Anhang III enthält eine umfangreiche Auflistung von insgesamt 38 Arten kritischer Produkte mit digitalen Elementen. Unter all diesen kritischen Produkten werden auch – in Klasse II a. E. – intelligente Zähler genannt (Anhang III Klasse II Nr. 15). Unklar ist aber, ob mit intelligenten Zählern auch Wärmezähler gemeint sind. Der Wortlaut „intelligente Zähler“ ist jedenfalls nicht auf einen bestimmten Teilssektor in der Energiewirtschaft beschränkt; eine mögliche Präzisierung entsprechend der Messgeräte-Richtlinie 2014/32/EU<sup>68</sup> auf „Wasserzähler“ (MI-001), „Gaszähler“ (MI-002), „Elektrizitätszähler für Wirkverbrauch“ (MI-003) oder „Wärmezähler“ (MI-004) ist unterblieben. Der deutsche Wortlaut entspricht zudem der englischen Sprachfassung („smart meters“) sowie der französischen Sprachfassung („compteurs intelligents“). Der Begriff

---

<sup>67</sup> Vgl. AGFW/BDEW, Branchenspezifischer Sicherheitsstandard für die Verteilung von Fernwärme (B3S VvFw), Stand: 15.02.2021, Version 1.1, S. 7.

<sup>68</sup> Richtlinie 2014/32/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Messgeräten auf dem Markt (Neufassung), Abl. EU Nr. L 96/149 vom 26. Februar 2014.

ist zudem in der Verordnungsbegründung und in den Erwägungsgründen weder aufgegriffen noch näher konkretisiert worden.

Eine Zusammenschau mit der Elektrizitätsbinnenmarkttrichtlinie (kurz: EBM-RL) , der Gasbinnenmarkttrichtlinie (kurz: GBM-RL) und der Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie (kurz: EPBD) zeigt, dass der europäische Gesetzgeber – auch in der englischen und französischen Sprachfassung – zwischen den Begriffen „intelligentes Messsystem“, „intelligenter Zähler“ und „Zähler“ unterscheidet. Die beiden erstgenannten Begriffe werden in vielen Stellen in der EBM-RL und der GBM-RL – sowie der Vorgängerrichtlinie – in Bezug auf die Elektrizitäts- und Gaswirtschaft verwendet. Das intelligente Messsystem ist in Art. 2 Nr. 23 EBM-RL definiert und auf die Messung von Elektrizität und die elektronische Kommunikation zu Informations-, Kontroll- und Steuerungszwecken zugeschnitten. Der intelligente Zähler ist in der EBM-RL dagegen nicht definiert; es liegt aber nahe, dass damit ein Messgerät gemeint ist, das eine elektronische Kommunikation zu den genannten Zwecken gewährleisten kann.

Demgegenüber taucht der Begriff „Zähler“ in der EPBD für die Bereiche Wärme, Kälte und Wasser auf. Dort ist der Begriff nicht definiert; aus Art. 16 EED – vormals Art. 9c EED a. F. – geht aber hervor, dass Wärme-, Kälte- und Wasserzähler fernauslesbar sein müssen. Die fernauslesbaren Wärme-, Kälte- und Wasserzähler werden allerdings an keiner Stelle der EPBD als intelligente Zähler bezeichnet oder in Bezug zueinander gesetzt. Vielmehr stellt Art. 13 und Art. 17 EPBD nur einen Zusammenhang zwischen intelligenten Zählern und der Gaswirtschaft her. Das lässt den Rückschluss zu, dass der Begriff des intelligenten Zählers – trotz des offenen Wortlauts – im europäischen Recht nur auf die Elektrizitäts- und Gaswirtschaft bezogen ist.

Der Sinn und Zweck des Anhang III besteht darin, Produkte mit digitalen Elementen zu definieren, die einem hohen Cybersicherheitsrisiko unterliegen und deswegen durch das Produktsicherheitsrecht in besonderem Maße geschützt werden müssen. Maßgeblich dafür, ob ein Produkt in Anhang III aufgeführt ist, ist die Höhe des Cybersicherheitsrisikos. Die Höhe des Cybersicherheitsrisikos wird anhand einer oder mehrerer Kriterien in Art. 6 Abs. 2 CRA-E bestimmt. Das erste Kriterium im Katalog des Art. 6 Abs. 2 CRA-E deutet eher in die Richtung, dass intelligente Zähler nur auf die Elektrizitäts- und Gaswirtschaft bezogen sind. Das Kriterium betrifft die Cybersicherheitsfunktion des Produkts in Verbindung mit bestimmten Merkmalen (Art. 6 Abs. 2 S. 3 lit. a) CRA-E). Zu diesen Merkmalen zählt auch die Erfüllung einer Funktion,

„die für das Vertrauen von entscheidender Bedeutung ist, insbesondere eine Sicherheitsfunktion wie Netzsteuerung, Endpunktsicherheit und Schutz des Netzes“ (lit. iv)).



Die Funktion der Netzsteuerung und des Netzschutzes dürfte im Bereich der Energiewirtschaft insbesondere durch das intelligente Messsystem erfüllt werden; ihm kommt – wie gesehen – eine Informations-, Kontroll- und Steuerungsfunktion zu. Der Wärmezähler soll zwar perspektivisch über die HAN-Schnittstelle des Smart-Meter-Gateways auch Teil eines intelligenten Messsystem sein, aber eher weniger zum Zweck der Netzsteuerung und dem Netzschutz, sondern eher zum Zweck der sicheren Übertragung von Wärmeverbrauchsdaten.

Das dritte Kriterium im Katalog des Art. 6 Abs. 2 CRA-E könnte demgegenüber einen Anknüpfungspunkt dafür bieten, dass intelligente Zähler auch auf die Wärmeversorgung bezogen sein sollen. Das Kriterium betrifft

---

„die bestimmungsgemäße Verwendung kritischer oder sensibler Funktionen, wie [die] Verarbeitung personenbezogener Daten“ (lit. c)).

Der Wärmezähler dient der Messung des Wärmeverbrauchs und verarbeitet dabei Wärmeverbrauchsdaten. Da der Fernwärmeversorger den Wärmezähler einem Hausanschluss zuordnen kann, kann er auch die Wärmeverbrauchsdaten jedenfalls einem Haushalt zuordnen; in bestimmten Grenzen können aus den Wärmeverbrauchsdaten auch Rückschlüsse auf die Anzahl und die Gewohnheiten der Personen hinter dem Hausanschluss gezogen werden. Der Wärmezähler betrifft insoweit die Verarbeitung von personenbezogenen Daten und hat somit nach seiner bestimmungsgemäßen Verwendung eine kritische oder sensible Funktion nach Art. 6 Abs. 2 lit. c) CRA-E.

Zusammenfassend deutet also die Systematik in den europäischen Rechtsakten eher darauf hin, dass die Regelungen für intelligente Zähler nur auf die Elektrizitäts- und Gaswirtschaft anwendbar sind. Demgegenüber würde dem Wortlaut und dem Sinn und Zweck des Anhang III nicht entgegenstehen, intelligente Zähler auch auf Wärmezähler zu erstrecken. Selbst wenn man geneigt ist, die Systematik in den europäischen Rechtsakten für das überzeugendere Argument zu halten und den Begriff „intelligente Zähler“ nur auf den Elektrizitäts- und Gasmarkt zu beziehen, ist aber zu bedenken, dass ein kritisches Produkt mit digitalen Elementen schon vorliegen soll, wenn die Kernfunktionen einer Produktkategorie nach Anhang III erfüllt sind (Art. 6 Abs. 1 CRA-E). Mangels einer Definition des intelligenten Zählers können dessen Kernfunktionen nicht unmittelbar aus den europäischen Rechtsakten bestimmt werden; sie können aber – mit Rechtsunsicherheiten – in gewisser Weise abgeleitet werden. So enthält Anhang I Abs. 2 der Elektrizitätsbinnenmarkttrichtlinie 2009/72/EG folgenden Satz:

---

„Wird die Einführung intelligenter Zähler positiv bewertet, so werden mindestens 80 % der Verbraucher bis 2020 mit intelligenten Messsystemen ausgestattet.“

Daraus könnte abgeleitet werden, dass eine Kernfunktion des intelligenten Zählers darin liegt, über entsprechende Schnittstellen zu einem intelligenten Messsystem zu verfügen. Denn wenn die Schnittstellenfunktion keine Kernfunktion des intelligenten Zählers wäre, hätte auf eine Einführung der intelligenten Zähler verzichtet und auf die vorhandenen, eingebauten Zähler der Verbraucher zurückgegriffen werden können.

Vor diesem Hintergrund dürfte es gut vertretbar sein, den Begriff „intelligente Zähler“ in Anhang III des CRA-E auf Wärmehähler zu erstrecken. Der Wärmehähler dürfte somit ein kritisches Produkt mit digitalen Elementen nach Art. 3 Nr. 3 CRA-E sein.

#### 5.3.2.5.1.3 Hochkritisches Produkt mit digitalen Elementen

Ein hochkritisches Produkt mit digitalen Elementen ist

„ein Produkt mit digitalen Elementen, das nach den in Artikel 6 Absatz 5 festgelegten Kriterien ein Cybersicherheitsrisiko birgt“ (Art. 3 Nr. 4 CRA-E).

Art. 6 Abs. 5 CRA-E enthält eine Befugnis der Kommission zum Erlass delegierter Rechtsakte. Die Kommission soll auf Basis dieses delegierten Rechtsakts hochkritische Produkte mit digitalen Elementen festlegen. Dementsprechend bleibt abzuwarten, ob der Verordnungsentwurf so umgesetzt wird, ob die Kommission dann von dieser Befugnis Gebrauch macht und welche Produkte die Kommission dann als hochkritische Produkte einstuft.

#### 5.3.2.5.1.4 Cyber Solidarity Act

Der Cyber Solidarity Act ist ein Vorschlag der Kommission vom 18. April 2023 für eine Verordnung, die der Stärkung der europäischen Kapazitäten gegenüber Cyberangriffen dienen soll. Ziel des Kommissionsvorschlags ist der Aufbau einer europäischen Infrastruktur von Sicherheitsoperationszentren („Cyber Shield“), die Schaffung eines Notfallmechanismus im Bereich der Cybersicherheit sowie die Etablierung eines Überprüfungsmechanismus bei Cybersicherheitsvorfällen. Der Kommissionsentwurf soll neben der ENISA, den CSIRTs und den institutionellen Netzwerken im Bereich der Cybersicherheit – wie etwa dem EU CyCLONe – eine zusätzliche Form der europäischen Zusammenarbeit schaffen; er enthält also keine bereichsspezifischen Vorgaben für die Fernwärmeversorgung und erfordert dementsprechend in diesem Kontext keine nähere Betrachtung.

#### 5.3.2.5.2 Produkthaftungsrichtlinie

Die Kommission hat zudem am 28. September 2022 den Entwurf für eine neue Produkthaftungsrichtlinie vorgestellt (ProdHaftRL-E)<sup>69</sup>. Die neue Produkthaftungsrichtlinie soll die bisherige Richtlinie 85/374/EWG ersetzen und die bisherigen Vorschriften der Produkthaftung modernisieren ((Philipp Reusch), RDi 2023, S. 152 (158)). Deutlich wird die Modernisierung insbesondere bei den Begriffen des Produkts (dazu 5.3.2.5.2.1) und der Fehlerhaftigkeit des Produkts (dazu 5.3.2.5.2.2).

##### 5.3.2.5.2.1 Begriff des Produkts

Der Kommissionsentwurf fasst den Begriff des Produkts wie folgt:

„alle beweglichen Sachen, auch wenn diese in eine andere bewegliche oder unbewegliche Sache integriert sind. Dazu zählen auch Elektrizität, digitale Bauunterlagen und Software“ (Art. 4 Nr. 1 ProdHaftRL-E).

Der Begriff des Produkts wird also – im Unterschied zu Art. 2 RL 85/374/EWG –erweitert. Softwarehersteller im Bereich der Fernwärmeversorgung fallen also in Zukunft in den Anwendungsbereich der Richtlinie; das betrifft bspw. die Software von Wärmezählern oder die Software in der Leitwarte. Diese begriffliche Erweiterung entspricht auch dem Entwurf zum Cyber Resilience Act (siehe 5.3.2.5.1), dem eine Definition des Produkts fehlt, aber dessen Definition zu Produkten mit digitalen Elementen sowohl Hardwareprodukte als auch Softwareprodukte umfasst.

Der Begriff des Produkts in Art. 4 Nr. 1 ProdHaftRL-E betrifft ausdrücklich auch Elektrizität; demgegenüber enthalten der Wortlaut der Richtlinie und die Erwägungsgründe keine Bezugnahme auf Wärme. Die Systematik ist ebenfalls nicht auf Wärme zugeschnitten: Der Kommissionsentwurf benennt als unkörperliche Gegenstände in Art. 4 Nr. 1 S. 2 ProdHaftRL-E

---

<sup>69</sup> Der Vorschlag wurde am 12. März 2024 vom Europäischen Parlament angenommen (dazu Europäisches Parlament, Legislative Entschließung vom 12. März 2024 zu dem Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über die Haftung fehlerhafter Produkte (COM (2022)0495 – C9-0322/2022 – 2022/0302(COD)), P9\_TA(2024)0132). Die Anpassungen, die im Zuge der Annahme des Europäischen Parlaments am Verordnungsentwurf vorgenommen wurden, konnten zum Zeitpunkt der Endredaktion nicht mehr in diesen Abschlussbericht aufgenommen werden. Die folgenden Ausführungen basieren daher auf den Rechtsstand des Verordnungsentwurfs der Kommission vom 28. September 2022.

ausdrücklich nur Elektrizität, digitale Bauunterlagen und Software. Das legt den Umkehrschluss nahe, dass sonstige unkörperliche Gegenstände – wie bspw. Wärme – keine Produkte nach der Richtlinie darstellen und somit nicht in den Anwendungsbereich fallen sollen.

Dem Sinn und Zweck der Richtlinie würde dagegen nicht entgegenstehen, den Begriff des Produkts auch auf Wärme zu erstrecken; denn Verbraucherschutz ist keine Frage einer bestimmten Erscheinungsform von Energie, sondern betrifft Elektrizität und Wärme gleichermaßen<sup>70</sup>. Die Wertung des Kommissionsentwurfs, grundsätzlich nur bewegliche Sachen in den Anwendungsbereich der Richtlinie einzubeziehen, legt allerdings nahe, den Begriff des Produkts nicht allzu weit auszulegen. Zudem enthält der Kommissionsentwurf bei Wärme – anders als bei Elektrizität – auch keine Klarstellung der Einbeziehung in den Erwägungsgründen<sup>71</sup>. Es sprechen somit die besseren Argumente dafür, dass Wärme kein Produkt nach Art. 4 Nr. 1 ProdHaftRL-E ist und damit dem Kommissionsentwurf nicht unterfällt.

#### 5.3.2.5.2.2 Fehlerhaftigkeit des Produkts

Der Kommissionsentwurf enthält nicht nur einen erweiterten Produktbegriff, sondern auch einen erweiterten Fehlerbegriff. Ein Produkt gilt – wie bisher nach Art. 6 RL 85/374/EWG – als fehlerhaft, wenn

---

„es nicht die Sicherheit bietet, die die breite Öffentlichkeit unter Berücksichtigung aller Umstände, insbesondere der nachfolgenden, erwarten darf“ (Art. 6 Nr. 1 ProdHaftRL-E).

Neu ist, dass der Kommissionsentwurf zu diesen nachfolgenden Umständen auch

---

„Sicherheitsanforderungen des Produkts einschließlich sicherheitsrelevante Cybersicherheitsanforderungen“ (Art. 6 Nr. 1 lit. f) ProdHaftRL-E).

zählt. Die Fehlerhaftigkeit kann aus Sicherheitslücken im Bereich der Cybersicherheit folgen. Produkthersteller können bei einem Cyberangriff für eine Sicherheitslücke aber nur haftbar gemacht werden, wenn das Produkt nicht dem verfügbaren Stand von Wissenschaft und Technik entspricht (Philipp Reusch), RDi 2023, S. 152 (158).). Der Stand der Wissenschaft und Technik ist im Bereich der Cybersicherheit aber noch in der Entstehung; die Netz- und

---

<sup>70</sup> Der Verbraucherschutz wird ausdrücklich in Erwägungsgrund Nr. 15 – auch in Zusammenhang mit Elektrizität – betont.

<sup>71</sup> Siehe hierzu Erwägungsgrund Nr. 15.

Informationssicherheitsrichtlinie II wird erst im Oktober 2024 in Kraft treten, während der sich der Cyber Resilience Act noch im Entwurfsstadium befindet. Es fehlen also im europäischen Recht noch technische Normen und Standards, die Produktherstellern – wie etwa Herstellern von Wärmezählern – eine Hilfestellung geben, welche Mindestanforderungen bei der Cybersicherheit eingehalten werden müssen ( (Philipp Reusch), RDi 2023, S. 152 (158).).

#### 5.3.2.6 *Zwischenergebnis*

Der Kernbestand des europäischen Cybersicherheitsrechts betrifft im Bereich der Fernwärmeversorgung die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II, die Datenschutz-Grundverordnung und den Cybersecurity Act. Weitere Regelungen zum europäischen Cybersicherheitsrecht enthalten einzelne Rechtsakte, wie etwa die Produktsicherheitsverordnung. Der Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II erfordert das Zusammentreffen von zwei Kriterien. Das erste Kriterium erfordert, dass die Einrichtung, die Cybersicherheitspflichten erfüllen soll, einem Sektor der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II zugeordnet werden kann. Zu diesen Sektoren zählt der Energiesektor und als dessen Teilsektor auch der Fernwärmesektor; die Richtlinie erfasst als Einrichtungen im Fernwärmesektor die Betreiber von Fernwärme im Sinne des Art. 2 Nr. 19 Richtlinie (EU) 2018/2001. Das zweite Kriterium erfordert eine bestimmte Größe oder eine bestimmte Relevanz der Einrichtung. Die Größe der Einrichtung ist gegeben, wenn die Einrichtung zumindest die Größe eines mittleren Unternehmens erreicht. Das ist bei Fernwärmeversorgern häufig der Fall. Selbst wenn ein Fernwärmeversorger diese Größe nicht erreicht, wird in der Regel die Relevanz der Einrichtung vorliegen, weil eine Relevanz bei Diensten angenommen wird, die sich auf die öffentliche Ordnung, die öffentliche Sicherheit oder die öffentliche Gesundheit auswirken können. Das ist der Fernwärmeversorgern regelmäßig der Fall, weil die Auswirkungen fehlender Wohnraumbeheizung – gerade im Winter – auf die öffentliche Gesundheit nicht zu unterschätzen sein dürften.

Wenn der Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II eröffnet ist, kann der Fernwärmeversorger eine wesentliche Einrichtung oder eine wichtige Einrichtung darstellen; im Fall einer wesentlichen Einrichtung unterliegt er strengeren Cybersicherheitspflichten. Die Cybersicherheitspflichten betreffen die Bereiche Governance, Risikomanagement und Berichtswesen. Von zentraler Bedeutung sind v. a. die beiden letztgenannten Pflichten. Die zuständigen Behörden können, wenn eine Pflicht nicht umgesetzt wird, Durchsetzungsmaßnahmen beschließen und/oder Geldbußen verhängen.

Der Anwendungsbereich der Datenschutz-Grundverordnung betrifft – wie erörtert – personenbezogene Daten. Der Verantwortliche, das ist hier in erster Linie der Fernwärmeversorger, muss durch TOM die Sicherheit der Datenverarbeitung sicherstellen. Die Sicherheit der Datenverarbeitung betrifft einerseits das Planungs- und Entwicklungsstadium in Form von „eingebautem Datenschutz“; das umfasst Datenschutz durch Technikgestaltung („privacy by

design“), datenschutzfreundliche Voreinstellungen („privacy by default“), aber auch die Durchführung einer Datenschutz-Folgenabschätzung in bestimmten Fällen. Andererseits betrifft die Sicherheit der Datenverarbeitung aber auch das Verarbeitungsstadium als solches. Der Verantwortliche hat die Aufgabe, die Sicherheit der Datenverarbeitung über die gesamten Stadien der Datenverarbeitung zu gewährleisten, wobei es hierfür die Auswahl der geeigneten TOM bedarf. Kriterien bei der Auswahl der TOM sind: (1) Stand der Technik, (2) Implementierungskosten, (3) Art, Umfang, Umstände und Zweck der Verarbeitung sowie (4) Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere des Risikos. Der Verantwortliche hat wegen der Unbestimmtheit der Kriterien einen nicht unerheblichen Handlungsspielraum bei der Abwägung.

Der Cybersecurity Act enthält Vorgaben über die europäische Cybersicherheitsbehörde, kurz ENISA. Die ENISA ist aber kein unmittelbarer Ansprechpartner der Fernwärmeversorger, sondern wirkt durch die Wahrnehmung ihrer Aufgaben allenfalls mittelbar auf die Fernwärmeversorger ein.

Die Produktsicherheitsverordnung richtet sich an Hersteller von Wärmezählern und enthält neue Vorgaben für die Cybersicherheit. Pflichten für Fernwärmeversorger sind damit aber nicht verbunden, weil die Produktsicherheitsverordnung nicht in die Pflichten hineinspielt, die den Fernwärmeversorger als Messgeräteverwender im Rahmen des Mess- und Eichrechts treffen.

Das europäische Cybersicherheitsrecht wird in Zukunft um weitere Rechtsakte ergänzt werden, die sich noch im Entwurfsstadium befinden. Zu nennen sind der Cyber Solidarity Act, der Cyber Resilience Act sowie die Produkthaftungsrichtlinie. Von Bedeutung für die Fernwärmebranche sind aber nur die beiden letztgenannten Rechtsakte. Der Cyber Resilience Act ist wohl auf Wärmezähler anwendbar und damit ein kritisches Produkt mit digitalen Elementen; Wärmezähler unterliegen folglich den dort genannten Anforderungen an die Produktsicherheit. Die Produkthaftungsrichtlinie wird nichts an der bisherigen Richtlage ändern, dass Wärme kein Produkt ist. Sie enthält allerdings einen erweiterten Fehlerbegriff, wonach auch sicherheitsrelevante Cybersicherheitsanforderungen einen Produktfehler darstellen. Hersteller von Wärmezählern dürften also in Zukunft insoweit haftbar gemacht werden können.

### **5.3.3 Vorgaben im nationalen Cybersicherheitsrecht**

Das europäische Cybersicherheitsrecht beeinflusst in erheblichem Maße das nationale Cybersicherheitsrecht. Da das europäische Cybersicherheitsrecht in Form der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II aktualisiert wurde und diese Aktualisierung im nationalen Recht bis zum 18. Oktober 2024 umgesetzt werden muss, wird auch das deutsche Cybersicherheitsrecht zeitnah, spätestens bis zum Ablauf dieser Umsetzungsfrist, aktualisiert werden. Eine Darstellung des nationalen Cybersicherheitsrechts muss demzufolge zwischen der

Rechtslage bis zum 18. Oktober 2024 (dazu 5.3.3.1) und der Rechtslage ab dem 18. Oktober 2024 (dazu 5.3.3.2) unterscheiden.

#### 5.3.3.1 *Geltende Vorgaben im Bereich der Kritischen Infrastrukturen*

Im Hinblick auf die Rechtslage bis zum 18. Oktober 2024 ist auf die Vorgaben im BSI-Gesetz (dazu 5.3.3.1.1), die Vorgaben in der BSI-Kritisverordnung (dazu 5.3.3.1.2), die Vorgaben im branchenspezifischen Sicherheitsstandard B3S VvFw (dazu 5.3.3.1.3) sowie die Vorgaben im Energiewirtschaftsgesetz (dazu 5.3.3.1.4) einzugehen.

##### 5.3.3.1.1 *Vorgaben im BSI-Gesetz*

Im Zuge des zunehmenden Einsatzes der Informationstechnik wurde bereits 1990 ein Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik verabschiedet („BSI-Gesetz“; kurz: BSIG) und zum 1. Januar 1991 nahm besagtes Bundesamt (kurz: „BSI“) erstmalig seinen Dienst auf<sup>72</sup>. Das BSI-Gesetz hatte inklusive Berlin-Klausel und Regelung zum Inkrafttreten lediglich acht Paragraphen und verfolgte das Ziel, behördlich den

„Gefahren durch unrichtige, unbefugt gesteuerte, fehlende oder rechtsgutgefährdende Informationen (...) angemessen [zu] begegne[n]“<sup>73</sup>.

Seit diesen Anfängen wurden die Kompetenzen des BSI immer weiter ausgebaut, wobei die BSI-Gesetz-Novellen in den Jahren 2015, 2017 und 2021 hervorzuheben sind und kurz vorgestellt werden sollen.

Im Jahr 2015 wurde das „IT-Sicherheitsgesetz“ (kurz: „IT-SiG“)<sup>74</sup> verabschiedet. Dieses Artikelgesetz hatte mit Blick auf das BSI-Gesetz drei wesentliche Themenfelder: (1) IT-Sicherheit von Kritischen Infrastrukturen, (2) IT-Sicherheit in der Bundesverwaltung und (3) neue BSI-Befugnisse bei IT-Produkten und Produktuntersuchungen (ausführlich (Gitter et al.)). Die IT-Sicherheit von Kritischen Infrastrukturen war der zentrale Baustein des neuen Gesetzes. Sie wurde einerseits durch eine Verordnungsermächtigung in § 10 Abs. 1 BSIG einer Rechtsverordnung vorbehalten – der späteren Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen

---

<sup>72</sup> Siehe hierzu auch der Gesetzesentwurf der Bundesregierung vom 27.04.1990, BT-Drs. 11/7029.

<sup>73</sup> Vgl. BT-Drs. 11/7029, S. 6.

<sup>74</sup> BGBl. 2015 I S. 1324.

nach dem BSI-Gesetz (BSI-KritisV)<sup>75</sup> – sowie andererseits auf die Einhaltung von Mindeststandards (§ 8a Abs. 1 BSIG) und Meldepflichten (§ 8b Abs. 4 S. 1 BSIG) gestützt.

Im Jahr 2017 wurden darüber hinaus die Vorgaben der Richtlinie 2016/1148 über Netz- und Informationssysteme („NIS-RL“) in das BSI-Gesetz umgesetzt. Die RL 2016/1148 hatte zwei wesentliche Themenfelder: (1) Zum einen sollte sie Pflichten für Betreiber „wesentlicher Dienste“ regeln; insoweit überlappte sie im Wesentlichen mit den Vorgaben des IT-Sicherheitsgesetzes zu Kritischen Infrastrukturen. (2) Zum anderen sollte sie Pflichten für Anbieter „digitaler Dienste“ regeln; insoweit ging sie über die Vorgaben des IT-Sicherheitsgesetzes hinaus. Hervorzuheben ist, dass der deutsche Gesetzgeber die RL 2016/1148 nicht nur zeitlich schon ein Jahr vor Ablauf der Umsetzungsfrist umgesetzt hatte, sondern auch inhaltlich über die Sektoren und Dienstleistungen der RL 2016/1148 hinausging.

Im Jahr 2021 wurde schließlich – nach mehreren geleakten Referentenentwürfen – das „IT-Sicherheitsgesetz 2.0“ (kurz: „IT-SiG 2.0“) verabschiedet. Das IT-Sicherheitsgesetz 2.0 ist wiederum ein Artikelgesetz und adressiert mit Blick auf das BSI-Gesetz im Wesentlichen vier Themenfelder: (1) IT-Sicherheit von Kritischen Infrastrukturen, (2) IT-Sicherheit von Unternehmen im besonderen öffentlichen Interesse, (3) IT-Sicherheitsnachweise und (4) zahlreiche neue BSI-Befugnisse. Hervorzuheben ist der, im Vergleich zum früheren BSI-Gesetz erweiterte Anwendungsbereich auf Unternehmen, die gar keine Kritische Infrastruktur betreiben (vgl. § 2 Abs. 14 BSIG). Solche Unternehmen im besonderen öffentlichen Interesse sind Rüstungsunternehmen (Nr. 1), volkswirtschaftlich bedeutsame Unternehmen (Nr. 2) und Unternehmen, die bestimmte Mengen gefährlicher Stoffe nach der Störfall-Verordnung überschreiten (Nr. 3).

Auf Grundlage der im Dezember 2020 vorgestellten europäischen Cybersicherheitsstrategie wurde auf europäischer Ebene im Jahr 2022, wie bereits erörtert, die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II verabschiedet. Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II unterscheidet zwischen wesentlichen Einrichtungen (bisher: wesentliche Dienste; in Deutschland Kritische Infrastrukturen genannt) und wichtigen Einrichtungen, wobei zu den wesentlichen Einrichtungen unter anderem auch die Fernwärme zählen soll. Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II wird, vor dem Hintergrund der Umsetzungsfrist bis spätestens 18. Oktober 2024, eine erneute Änderung des BSI-Gesetzes erforderlich machen.

---

<sup>75</sup> BSI-Kritisverordnung vom 22. April 2016 (BGBl. I S. 958), die zuletzt durch Art. 1 der Verordnung vom 6. September 2021 (BGBl. I S. 4163) geändert worden ist.



#### 5.3.3.1.2 Vorgaben in der BSI-Kritisverordnung

In Konkretisierung des BSI-Gesetzes regelt die BSI-Kritisverordnung die IT-Sicherheit von Kritischen Infrastrukturen. Die BSI-Kritisverordnung umfasste in der ersten Fassung im Jahr 2016 die Sektoren Energie, Wasser, Ernährung sowie Informationstechnik und Telekommunikation („erster Korb“) und wurde im Jahr 2017 um die Sektoren Transport, Verkehr, Gesundheit sowie Finanz- und Versicherungsdienstleistungen ergänzt („zweiter Korb“)<sup>76</sup>. Schließlich wurde die Verordnung im Jahr 2021 um den Sektor Siedlungsabfallentsorgung erweitert (vgl. § 2 Abs. 10 Nr. 1 BSIG). Nach einer Darstellung des Anwendungsbereichs der BSI-Kritisverordnung (dazu 5.3.3.1.2.1) wird auf die Betreiberpflichten (dazu 5.3.3.1.2.2) eingegangen.

##### 5.3.3.1.2.1 Anwendungsbereich

Die Kritikalität einer Infrastruktur wird anhand von Qualität (§ 2 Abs. 10 BSIG) und Quantität (§ 10 Abs. 1 BSIG) vorgenommen. Das bedeutet: Ist die Dienstleistung von hoher Bedeutung für das funktionierende Gemeinwesen („Qualität“) und erreicht sie einen als bedeutend anzusehenden Versorgungsgrad („Quantität“)( (Hornung and Schallbruch 2024), § 13 Rn. 32.)? Kritikalität wird anlagenbezogen und nicht betreiberbezogen bestimmt, wobei die Bestimmung nicht als behördliche Entscheidung durch Verwaltungsakt, sondern durch Mitteilungspflicht gegenüber der Behörde erfolgt ((Hornung and Schallbruch 2024), § 13 Rn. 36, 42). Vorteil einer solchen Bestimmung soll eine schlankere Verwaltung sein((Hornung and Schallbruch 2024), § 13 Rn. 38). Kritische Infrastrukturen werden nach § 10 BSIG in drei Schritten bestimmt.

Erstens: Für jeden Sektor ist festgelegt, welche Dienstleistungen kritisch sind. Im Sektor Energie sind bspw. die Stromversorgung, die Gasversorgung, die Kraftstoff- und Heizölversorgung sowie die Fernwärmeversorgung kritische Dienstleistungen, (§ 2 Abs. 1 BSI-KritisV); die Fernwärmeversorgung ist nach der bisherigen Rechtslage nur in Übererfüllung der NIS-Richtlinie durch den nationalen Gesetzgeber ein Teil der kritischen Dienstleistungen. Die Fernwärmeversorgung wird in drei Bereichen erbracht: Erzeugung, Steuerung und Überwachung sowie Verteilung (§ 2 Abs. 5 BSI-KritisV).

Zweitens: Für jede kritische Dienstleistung ist festgelegt, welche Anlagen für die Dienstleistungserbringung erforderlich sind. Für die Dienstleistung „Fernwärmeversorgung“ sind im

---

<sup>76</sup> Die schrittweise Festlegung durch den Ordnungsgeber, welche Sektoren zu den Kritischen Infrastrukturen gehören, wird in der Literatur als „erster Korb“ bzw. „zweiter Korb“ bezeichnet, s. nur *Beucher/Fromageau* in: Kipker, Cybersecurity, Kap. 12 Rn. 4; *Kipker*, Der BMI-Referentenentwurf zur Umsetzung der NIS-RL, MMR 2017, S. 143 (143).

Bereich Erzeugung Heizwerke und Heizkraftwerke, im Bereich Steuerung und Überwachung Anlagen zur zentralen standortübergreifenden Steuerung sowie im Bereich Verteilung Fernwärmenetze erforderlich<sup>77</sup>.

Drittens: Für jede Anlage ist festgelegt, auf Grundlage welches Bemessungskriteriums (Spalte C) ab welchem Schwellenwert (Spalte D) gesamtgesellschaftlich ein hinreichend bedeutsamer Versorgungsgrad i. S. v. § 1 Abs. 4 BSI-KritisV vorliegt (vgl. Anhang 1 Teil 1 Nr. 3 BSI-KritisV) ((Hornung and Schallbruch 2024), § 13, Rn. 43). Der Schwellenwert im Bereich Erzeugung liegt bei einer ausgeleiteten Wärmeenergie von 2.300 GWh/Jahr, im Bereich Steuerung und Überwachung bei 250.000 angeschlossenen Haushalten oder bei einer ausgeleiteten Wärmeenergie von 2.300 GWh/Jahr sowie im Bereich Verteilung bei 250.000 angeschlossenen Haushalten.

Hintergrund ist folgende Überlegung: Alle Fernwärmekunden verbrauchen zusammen 10,6 Mio. TWh, womit der Durchschnittsverbrauch pro versorgter Person 4.528 kWh/Jahr beträgt<sup>78</sup>. Zugleich können bei mehr als 500.000 versorgten Personen durch ein einziges Unternehmen die vorhandenen Notfallkapazitäten keine ausreichende Kompensation mehr leisten („too big to fail“)<sup>79</sup>. Der Durchschnittsverbrauch pro versorgter Person (4.528 kWh/Jahr) multipliziert mit der Kapazitätsgrenze (500.000 versorgte Personen) ergibt 2.300 GWh, den festgelegten Schwellenwert (Hornung and Schallbruch 2024), § 13 Rn. 48).

Abgesehen von der Kritikalität stellt sich auch die Frage nach dem Betreiber der Anlage als Pflichtenadressat („KRITIS-Betreiber“)<sup>80</sup>. KRITIS-Betreiber ist derjenige, der bestimmenden Einfluss auf die Beschaffenheit und den Betrieb der Anlage oder Teilen davon ausübt (§ 1

---

<sup>77</sup> Anhang 1 Teil 3 Nr. 4 ff. BSI-KritisV.

<sup>78</sup> Referentenentwurf BSI-KritisV, S. 34, abrufbar unter [https://www.bmi.bund.de/Shared-Docs/downloads/DE/gesetzestexte/gesetzeseentwuerfe/kritis-vo-entwurf.pdf;jsessionid=DE93717B1982E8EA110AF9D9B92768F5.live862?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmi.bund.de/Shared-Docs/downloads/DE/gesetzestexte/gesetzeseentwuerfe/kritis-vo-entwurf.pdf;jsessionid=DE93717B1982E8EA110AF9D9B92768F5.live862?__blob=publicationFile&v=2) (zuletzt abgerufen am 07.05.2024).

<sup>79</sup> Referentenentwurf BSI-KritisV, S. 28; *Fischer* in: Hornung/Schallbruch, IT-Sicherheitsrecht, Kommentar, § 13 Rn. 49.

<sup>80</sup> Klarstellend wird darauf hingewiesen, dass Betreiber Kritischer Infrastrukturen im Folgenden mit KRITIS-Betreiber abgekürzt werden; der KRITIS-Begriff soll hier aus Vereinfachungsgründen synonym verwendet werden.

Nr. 2 BSI-KritisV). Entscheidend ist, wer die tatsächliche Sachherrschaft über die Anlage ausübt ((Hornung and Schallbruch 2024), § 13 Rn. 51.)

#### 5.3.3.1.2.2 Betreiberpflichten

KRITIS-Betreiber haben zwei Kardinalpflichten ((Hornung and Schallbruch 2024), § 13 Rn. 27). Zum einen müssen sie ein Mindestniveau an IT-Sicherheit einhalten (§ 8a Abs. 1 BSIG). Der Betreiber muss also informationstechnische Systeme, informationstechnische Komponenten in solchen Systemen sowie informationstechnische Prozesse absichern, wobei der Stand der Technik einzuhalten ist ((Hornung and Schallbruch 2024), § 13 Rn. 65 f.). Der Stand der Technik wird nicht nur durch internationale, europäische und nationale Normen und Standards konkretisiert, sondern die Betreiber und die Branchenverbände können auch branchenspezifische Sicherheitsstandards vorschlagen, die den Stand der Technik konkretisieren (§ 8a Abs. 2 S. 1 BSIG); sog. „kooperativer Ansatz“ (Kipker et al. 2023), Kap. 3 Rn. 28; (Hornung and Schallbruch 2024), § 13 Rn. 70, 72). Wenn das BSI die Eignung des branchenspezifischen Sicherheitsstandards – üblicherweise für einen Zeitraum von zwei Jahren – feststellt, können KRITIS-Betreiber in diesem Zeitraum durch Einhaltung des Standards nachweisen, dass sie ein Mindestniveau an IT-Sicherheit einhalten (§§ 8a Abs. 3, Abs. 1 BSIG) (Näher (Kipker et al. 2023), Kap. 3 Rn. 27).

Branchenspezifische Sicherheitsstandards beinhalten im Gegensatz zu technischen Normen – wie DIN oder ISO – branchenspezifische Besonderheiten und sind damit in besonderem Maße für die Praxis von Bedeutung (vgl. (Kipker et al. 2023), Kap. 3 Rn. 26). Sie existieren aber nur punktuell, schon weil § 8a BSIG im Bereich der Telekommunikation und der Energie durch spezifische Sicherheitskataloge in § 109 Abs. 6 TKG und § 11 EnWG verdrängt wird, um eine Doppelregulierung zu vermeiden<sup>81</sup>. Im Bereich der Fernwärme existiert jedoch ein branchenspezifischer Sicherheitsstandard für die Verteilung von Fernwärme („B3S VvFW“), worauf gleich näher eingegangen wird<sup>82</sup>.

---

<sup>81</sup> *Fischer* in: Hornung and Schallbruch 2024, Kommentar, § 13 Rn. 77; eine Übersicht zu aktuell geeigneten branchenspezifischen Sicherheitsstandards bei *Ekrot/Fischer/Müller* in: Kipker et al. 2023, Kap. 3 Rn. 27.

<sup>82</sup> Eine Liste der branchenspezifischen Sicherheitsstandards findet sich auf der Webseite des BSI unter [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/KRITIS-und-regulierte-Unternehmen/Kritische-Infrastrukturen/Allgemeine-Infos-zu-KRITIS/Stand-der-Technik-umsetzen/Uebersicht-der-B3S/uebersicht-der-b3s\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/KRITIS-und-regulierte-Unternehmen/Kritische-Infrastrukturen/Allgemeine-Infos-zu-KRITIS/Stand-der-Technik-umsetzen/Uebersicht-der-B3S/uebersicht-der-b3s_node.html) (zuletzt abgerufen am 07.05.2024).

Zum anderen müssen KRITIS-Betreiber erhebliche Störungen melden (§ 8b Abs. 4 S. 1 BSIG). Das BSI ist zentrale Meldestelle und soll mit diesen Informationen ein umfassendes Lagebild über die Cybersicherheitslage in Deutschland zeichnen können ( (Hornung and Schallbruch 2024), Kommentar, § 13 Rn. 88). Die Meldepflicht betrifft vergangene Störungen oder erhebliche Beeinträchtigungen (§ 8b Abs. 4 Nr. 1 BSIG) sowie mögliche zukünftige Störungen oder erhebliche Beeinträchtigungen (§ 8b Abs. 4 Nr. 2 BSIG).

Greift der KRITIS-Betreiber für kritische Dienstleistungen auf IT-Dienstleister zurück und lagert sie insoweit aus, liegen die Pflichten weiterhin beim Betreiber der Anlage, können jedoch ähnlich einer Auftragsverarbeitung vertraglich insoweit an den IT-Dienstleister weitergegeben werden ((Sassenberg et al. 2020), Kap. 2 Rn. 166 mit den Beispielen Rechenzentrumsbetrieb, Wartung und Support). Außerdem können IT-Dienstleister unter den Voraussetzungen des § 5 Abs. 1 Nr. 2 BSI-KritisV i. V. m. Anhang 4 selbst KRITIS-Betreiber sein. Nach Anhang 4 Nr. 2 lit. g) ist bspw. eine Serverfarm eine kritische Dienstleistung im Sektor Informationstechnik. Da Serverfarmen die technische Grundlage für Cloud-Computing-Dienste sind, ist ab Erreichen des Schwellenwertes jeder Cloudbetreiber ein KRITIS-Betreiber ((Hornung and Schallbruch 2024), § 13 Rn. 99) . Zugleich ist er Anbieter digitaler Dienste nach § 2 Nr. 12 BSIG, weil die Richtlinie EU/2016/1148 („NIS-RL“) zwischen KRITIS-Betreibern und Betreibern digitaler Dienste unterscheidet (siehe Art. 4 NIS-RL). Solche Fälle könnten bspw. Process-Mining-Anbietern betreffen, die ihre Tools als Software-as-a-Service („SaaS“) anbieten<sup>83</sup>.

#### 5.3.3.1.3 Vorgaben im branchenspezifischen Sicherheitsstandard B3S VvFW

Der branchenspezifische Sicherheitsstandard für die Verteilung von Fernwärme („B3S VvFW“) wurde gemeinsam von AGFW und BDEW vorgeschlagen und für Fernwärmenetze mit mindestens 250.000 angeschlossenen Haushalten konzipiert(vgl. (AGFW and BDEW 2021), Version 1.1, S. 6). Auf Grundlage dieses branchenverbandlichen Vorschlags hat das BSI am 30. April 2021 die Eignung des Sicherheitsstandards bis zum 31. März 2023 festgestellt (vgl. auch § 8a Abs. 2 S. 1 BSIG). Seit diesem Fristablauf streben AGFW und BDEW eine erneute Eignungsfeststellung des – überarbeiteten – Sicherheitsstandards an. Da es zu einer solchen Feststellung des BSI aber bisher nicht gekommen ist, liegt zum jetzigen Zeitpunkt Ende April

---

<sup>83</sup> Hinzuweisen ist, dass Anbieter digitaler Dienste anderen Anforderungen als KRITIS-Betreiber unterliegen (§ 8c BSIG), wobei die Kardinalpflichten bei KRITIS-Betreibern graduell strenger sind und speziell die Meldepflicht früher – vor dem Ausfall – einsetzt, s. Fischer in: Hornung/Schallbruch, IT-Sicherheitsrecht, Kommentar, § 13 Rn. 99; Ritter and Schulte 2019, CR 2019, S. 617 (624).

2024 kein gültiger branchenspezifischer Sicherheitsstandard für die Verteilung von Fernwärme vor.

Der branchenspezifische Sicherheitsstandard, der bis zum 31. März 2023 gültig war, enthielt Vorgaben für die informationstechnische Funktionsfähigkeit des Fernwärmenetzes. Die Funktionsfähigkeit wurde anhand von vier IT-Schutzziele definiert: Verfügbarkeit, Integrität, Authentizität sowie Vertraulichkeit ( (AGFW and BDEW 2021), Version 1.1, S. 10 f.). Welche Maßnahmen der Fernwärmeversorger für die Erreichung der IT-Schutzziele umsetzte, hing vom jeweiligen Schutzbedarf ab und erforderte ein Risikomanagement. Im Rahmen des Risikomanagements wurden die Risiken identifiziert, analysiert, bewertet und behandelt ( (AGFW and BDEW 2021), Version 1.1, S. 18 f.). Wenn ein Risiko als nicht tolerabel bewertet wurde, war es auf dreierlei Weise zu behandeln: (1) Unterlassen der Aktivität (Risikovermeidung), (2) Reduzieren der Eintrittswahrscheinlichkeit der Bedrohung (Risikoreduzierung) oder (3) Begrenzen des Schadens bei eingetretenem Schadensergebnis (Risikobegrenzung)( (AGFW and BDEW 2021), Version 1.1, S. 20).

Um Risiken nachhaltig und angemessen behandeln zu können, musste der Fernwärmeversorger ein Informationssicherheitsmanagementsystem („ISMS“) implementieren (Näher (AGFW and BDEW 2021), Version 1.1, S. 20). Welche Maßnahmen der Fernwärmeversorger im Bereich der technischen Informationssicherheit, der personellen und organisatorischen Sicherheit und der sonstigen Maßnahmen einschließlich der Nachweisbarkeit in Betracht ziehen konnte, wurde schließlich im Einzelnen beschrieben und bildete einen Schwerpunkt des Standards ( (AGFW and BDEW 2021), Version 1.1, S. 23 ff.).

#### *5.3.3.1.4 Keine Vorgaben im Energiewirtschaftsgesetz*

Die sektorspezifischen IT-Sicherheitsvorgaben in § 11 Abs. 1a und 1b EnWG betreffen nicht den gesamten Energiesektor, sondern nur die leitungsgebundene Energieversorgung mit Strom, Gas und Wasserstoff (Dazu nur (Bourwieg et al. 2023), § 1 Rn. 20;. (Oberholte et al. 19XX), Loseblatt, 123. EL November 2023, § 1 EnWG Rn. 16) Sie betreffen damit nur Strom-, Gas- und Wasserstoffnetze, nicht aber Fernwärmenetze. Die Fernwärmeversorgung ist also nicht Teil der rechtlichen Vorgaben des Energiewirtschaftsgesetz und unterliegt somit – auch in Bezug auf Daten- bzw. IT-Sicherheit – eigenen rechtlichen Vorgaben.

#### *5.3.3.2 Zukünftige Vorgaben im Bereich der Kritischen Infrastrukturen*

Diese dargestellte Rechtslage wird sich spätestens ab dem 18. Oktober 2024 durch das NIS 2-Umsetzungs- und Cybersicherheitsstärkungsgesetz (NIS2UmsuCG) verändern. Erste Schlüsse dahingehend, wie die Rechtslage ab dem 18. Oktober 2024 aussehen könnte, können bereits aus den Dokumenten gezogen werden, die öffentlich verfügbar sind. Zu diesen Dokumenten gehören Referentenentwürfe, die als Bearbeitungsstände April 2023, Juli 2023,

Dezember 2023 und Mai 2024 ausweisen, sowie ein Diskussionspapier des Bundesministeriums des Innern (BMI) aus dem September 2023.

Zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieses Abschlussberichts war das neueste Dokument der Referentenentwurf mit Bearbeitungsstand vom 22. Dezember 2023<sup>84</sup>, wonach die BSI-Kritisverordnung in das BSI-Gesetz überführt werden soll. Die bisherige Aufteilung von BSI-Gesetz und BSI-Kritisverordnung soll also aufgehoben und das BSI-Gesetz zu einer größeren Kodifikation mit insgesamt 66 Paragraphen werden. Zentrale Bedeutung für die Umsetzung der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II haben v. a. die Vorgaben aus Teil 3 („Sicherheit in der Informationstechnik von Einrichtungen“), die in den §§ 28 ff. BSIG-E geregelt sind. Die §§ 28 ff. BSIG-E betreffen v. a. die Frage, ob und inwieweit die Fernwärmeversorgung zum Anwendungsbereich des BSIG-E gehört (dazu 4.3.3.2.1), sowie die Frage, welche Cybersicherheitspflichten für die Fernwärmeversorger nach dem BSIG-E bestehen (dazu 5.3.3.2).

#### 5.3.3.2.1 Anwendungsbereich nach dem BSIG-E

Kern des Teil 3 bildet § 28 BSIG, der, anknüpfend an die Vorgaben der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II, den Anwendungsbereich des BSI-Gesetz für den Bereich der Fernwärmeversorgung spezifiziert. Dabei unterscheidet § 28 BSIG zwischen besonders wichtigen Einrichtungen (dazu 5.3.3.2.1.1), wichtigen Einrichtungen (dazu 5.3.3.2.1.2) sowie kritischen Einrichtungen (dazu 5.3.3.2.1.3).

##### 5.3.3.2.1.1 Besonders wichtige Einrichtungen

Eine besonders wichtige Einrichtung ist insbesondere „eine natürliche oder juristische Person oder eine rechtlich unselbstständige Organisationseinheit einer Gebietskörperschaft, die anderen natürlichen oder juristischen Personen entgeltlich Waren oder Dienstleistungen anbietet, die, einer der in Anlage 1 bestimmten Einrichtungsarten zuzuordnen ist und die

a) mindestens 250 Mitarbeiter beschäftigt, oder

---

<sup>84</sup> Dieses Dokument ([https://ag.kritis.info/wp-content/uploads/2024/03/CI1\\_17002\\_41\\_22-86-32-NIS2UmsuCG-2.-RefE-22-12-2023-09-58h.docx](https://ag.kritis.info/wp-content/uploads/2024/03/CI1_17002_41_22-86-32-NIS2UmsuCG-2.-RefE-22-12-2023-09-58h.docx); zuletzt abgerufen am 07.05.2024) wird den folgenden Ausführungen zugrunde gelegt. Der neueste Referentenentwurf vom 07.05.2024 konnte zum Zeitpunkt der Endredaktion dieses Abschlussberichts nicht mehr berücksichtigt werden. Zu finden ist dieser neueste Referentenentwurf unter <https://ag.kritis.info/wp-content/uploads/2024/05/Anlage-2.pdf> (zuletzt abgerufen am 07.05.2024).

b) einen Jahresumsatz von über 50 Millionen Euro und zudem eine Jahresbilanzsumme von über 43 Millionen Euro aufweist“ (§ 28 Abs. 1 Nr. 1 BSIG-E).

Eine besonders wichtige Einrichtung ist also das Äquivalent zu einer wesentlichen Einrichtung nach Art. 3 Abs. 1 NIS II. Sie muss v. a. einer Einrichtungsart nach Anlage 1 zuzuordnen sein. Anlage 1 ist in Spalte B, wie die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II, nach Sektoren unterteilt und unterscheidet in Spalte C im Energiesektor zwischen den Branchen der Stromversorgung, der Fernwärme- und Fernkälteversorgung, der Kraftstoff- und Heizölversorgung sowie der Gasversorgung. Unter Zeile Nr. 1.2 werden als Einrichtungsart in Spalte D im Bereich der Fernwärme die Betreiber von Fernwärmeversorgung nach § 3 Nr. 19 GEG ausgewiesen, wobei Fernwärme in diesem Sinne

„die Wärme [bezeichnet], die mittels eines Wärmeträgers durch ein Wärmenetz verteilt wird“.

Abweichend zu Art. 3 Abs. 1 NIS II, der für die Schwellenwerte der NIS II auf Art. 2 des Anhangs der Empfehlung 2003/361/EG verweist, muss eine besonders wichtige Einrichtung nach § 28 Abs. 1 Nr. 1 BSIG-E aber nicht kumulativ mindestens 250 Mitarbeiter beschäftigen und einen Jahresumsatz von über 50 Millionen Euro oder eine Jahresbilanzsumme von über 43 Millionen Euro aufweisen. Im Gegensatz zu den europäischen Vorgaben reicht es nach dem BSIG-E schon aus, alternativ die Schwelle der Mitarbeiteranzahl (lit. a) oder die Schwelle der Geschäftszahlen (lit. b) zu überschreiten; insoweit geht der Entwurf über die Vorgaben der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II hinaus.

#### 5.3.3.2.1.2 Wichtige Einrichtungen

Eine wichtige Einrichtung ist insbesondere

„eine natürliche oder juristische Person oder eine rechtlich unselbstständige Organisationseinheit einer Gebietskörperschaft, die anderen natürlichen oder juristischen Personen entgeltlich Waren oder Dienstleistungen anbietet, die einer der in Anlagen 1 und 2 bestimmten Einrichtungsarten zuzuordnen ist und die

a) mindestens 50 Mitarbeiter beschäftigt oder

b) einen Jahresumsatz und eine Jahresbilanzsumme von jeweils über 10 Millionen Euro aufweist“ (§ 28 Abs. 2 Nr. 1 BSIG).

Die Definition der wichtigen Einrichtung nach § 28 Abs. 2 Nr. 1 BSIG ist im Ergebnis eng an die Definition der wichtigen Einrichtung nach Art. 3 Abs. 2 NIS II angelehnt. Sie weicht aber jedenfalls in zweierlei Hinsicht von der europäischen Definition in der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II ab. Zum einen ist die Definition im BSIG-E weiter gefasst, weil – auch

hier – alternativ nur die Schwelle der Mitarbeiteranzahl (lit. a) oder die Schwelle der Geschäftszahlen (lit. b) überschritten werden muss. Die Schwelle, um als Fernwärmeversorger in den Anwendungsbereich des BSIG-E zu gelangen, ist insoweit geringer. Zum anderen ist die Definition im BSIG-E aber auch enger gefasst, weil der Entwurf Klein- oder Kleinstunternehmen ausklammert, die nach Art. 2 Abs. 2 lit. b) bis e) NIS II ebenfalls als wichtige Einrichtungen eingestuft werden könnten. Für Fernwärmeversorger, die als Klein- oder Kleinstunternehmen nach Art. 2 Abs. 2 lit. b) bis e) NIS II in den Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II fallen, sind insoweit also nur noch die Schwellenwerte des § 28 Abs. 2 Nr. 1 BSIG maßgeblich.

Die Ausgestaltung im BSIG-E vereinfacht die Rechtsanwendung, weil der Anwendungsbereich, ob ein Fernwärmeversorger Cybersicherheitspflichten nach dem BSIG-E zu erfüllen hat, auf „nackte Zahlen“ heruntergebrochen wird und damit insoweit nicht, wie in der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II, Ausnahmeregelungen geprüft und die dort genannten unbestimmte Rechtsbegriffe ausgelegt werden müssen. Dass die Rechtsanwendung trotz dieser Vereinfachung im Einzelfall nicht unkompliziert bleiben wird, deutet aber schon § 28 Abs. 3 BSIG-E an, der Einzelheiten darüber enthält, wie Mitarbeiteranzahl, Jahresumsatz und Jahresbilanzsumme bestimmt werden und wie Partnerunternehmen und verbundene Unternehmen in diese Daten einzubeziehen sind. Die Beantwortung der Frage, ob ein Fernwärmeversorger in den Anwendungsbereich des BSIG-E fällt, kann also im Einzelfall durchaus mit einem gewissen Aufwand verbunden sein.

#### 5.3.3.2.1.3 Kritische Einrichtungen

Besonders wichtige Einrichtungen und wichtige Einrichtungen können auch als kritische Einrichtungen qualifiziert werden. Kritische Einrichtungen werden nicht durch das BSI-Gesetz, sondern durch eine Rechtsverordnung nach § 57 Abs. 4 BSIG-E bestimmt. Diese Rechtsverordnung, die nicht noch erlassen wurde, legt unter anderem auch für den Sektor Energie die Anlagenarten und die Schwellenwerte fest, die ab einem bestimmten Stichtag als kritische Einrichtungen einzustufen sind (§ 28 Abs. 6 BSIG-E). Die Frage, ob eine Einrichtung als kritische Einrichtung einzustufen ist, ist nicht unerheblich, weil an kritische Einrichtungen besondere Anforderungen im Bereich der Cybersicherheit gestellt werden. Ob und inwieweit die Einrichtungen der Fernwärmeversorgung als kritische Einrichtungen einzustufen sind, bleibt abzuwarten.

#### 5.3.3.2.2 Cybersicherheitspflichten nach dem BSIG-E

Die Cybersicherheitspflichten nach dem BSIG-E entsprechen im Wesentlichen den Cybersicherheitspflichten nach der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II. Dementsprechend wird, wenn auch im Entwurf in veränderter Reihenfolge, zwischen



Risikomanagementmaßnahmen, Melde- und Registrierungspflichten sowie Billigungs-, Überwachungs- und Schulungspflichten unterschieden.

#### 5.3.3.2.2.1 Risikomanagementmaßnahmen

Risikomanagementmaßnahmen sind in § 30 BSIG-E geregelt und betreffen besonders wichtige Einrichtungen sowie wichtige Einrichtungen. Die Vorgaben in § 30 BSIG-E entsprechen Art. 21 NIS II. Die Einrichtungen sind verpflichtet,

„geeignete, verhältnismäßige und wirksame technische und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen, um Störungen der Verfügbarkeit, Integrität, Authentizität und Vertraulichkeit der informationstechnischen Systeme, Komponenten und Prozesse, die sie für die Erbringung ihrer Dienste nutzen, zu vermeiden und Auswirkungen von Sicherheitsvorfällen möglichst gering zu halten“ (§ 30 Abs. 1 S. 1 BSIG-E).

Die Einrichtungen müssen zu diesem Zweck die Maßnahmen aus dem Katalog nach § 30 Abs. 2 BSIG-E ergreifen, der die Mindeststandards bei Risikomanagementmaßnahmen definiert. Der Katalog des § 30 Abs. 2 BSIG-E ist dem Katalog des Art. 21 Abs. 2 NIS II nachempfunden. Die Einrichtungen sollen bei diesen Maßnahmen den Stand der Technik einhalten, die maßgeblichen europäischen und internationalen Normen berücksichtigen und müssen einen gefahrenübergreifenden Ansatz zugrunde legen (§ 30 Abs. 2 S. 1 BSIG-E). Die Einrichtungen dürfen zudem durch Rechtsverordnung nach § 57 Abs. 4 BSIG-E bestimmte IKT-Produkte, IKT-Dienste und IKT-Prozesse nur verwenden, wenn diese über eine Cybersicherheitszertifizierung nach Art. 49 des Cybersecurity Acts verfügen (§ 30 Abs. 6 BSIG-E).

Besonders wichtige Einrichtungen unterliegen weiteren Vorgaben an Risikomanagementmaßnahmen. Sie müssen ab einem bestimmten Stichtag – nämlich: ein Jahr nach Inkrafttreten des Gesetzes – am Informationsaustausch nach § 6 BSIG-E teilnehmen, der eine Vernetzung des BSI mit den teilnehmenden Einrichtungen im Bereich Cybersicherheit gewährleistet und durch das BSI im Rahmen eines entsprechenden Online-Portals aufgesetzt wird (§ 30 Abs. 7 i.V.m. § 6 BSIG-E). Sie können außerdem – zusammen mit ihren Branchenverbänden – branchenspezifische Sicherheitsstandards zur Gewährleistung der Anforderungen nach § 30 Abs. 1 BSIG-E vorschlagen (§ 30 Abs. 9 S. 1 BSIG-E). Die branchenspezifischen Sicherheitsstandards, wie etwa der B3S VvFW, beruhen in Zukunft nicht mehr auf § 8a Abs. 2 BSIG, sondern auf der neuen Rechtsgrundlage des § 30 Abs. 9 BSIG-E. Diese Rechtsgrundlage enthält aber im Ergebnis keine veränderten Voraussetzungen für die Eignungsfeststellung des Sicherheitsstandards; der Gesetzentwurf weist lediglich darauf hin, dass bei der Erstellung des Sicherheitsstandards die Durchführungsrechtsakte der Europäischen Kommission berücksichtigt werden müssen.

Kritische Einrichtungen unterliegen besonderen Anforderungen an Risikomanagementmaßnahmen. Die Einzelheiten zu diesen Anforderungen sind in § 31 BSIG-E geregelt.

#### 5.3.3.2.2 Melde-, Unterrichts- und Registrierungspflichten

Meldepflichten sind in § 32 BSIG-E normiert. Besonders wichtige Einrichtungen und wichtige Einrichtungen müssen, wie schon die Darstellung zu Art. 23 NIS II gezeigt hat (siehe hierzu die Pflichten im Bereich Berichtswesen unter 5.3.2.1.2.3.3), erhebliche Sicherheitsvorfälle nach einem Stufenkonzept an eine gemeinsame Meldestelle des BSI und des BBK – kurz für Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe – melden (§ 32 Abs. 1 BSIG-E). Diese Meldestelle fungiert also als CSIRT im Sinne des Art. 23 Abs. 4 NIS II.

Die Meldepflichten stehen in engem Zusammenhang mit den Unterrichtungspflichten nach § 35 BSIG-E. Auf Anweisung des BSI müssen besonders wichtige Einrichtungen und wichtige Einrichtungen die Empfänger ihrer Dienste über diesen erheblichen Sicherheitsvorfall unterrichten, wobei die Unterrichtung auch durch Kenntlichmachung auf einer Internetseite erfolgen kann (§ 35 Abs. 1 BSIG-E).

Meldepflichten im Energiesektor unterliegen zwei Ausnahmenvorschriften. Zum einen gilt die Meldepflicht nach § 32 BSIG-E nicht für Betreiber von Energieversorgungsnetzen oder Energieanlagen im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes (§ 28 Abs. 4 Nr. 2 BSIG-E). Da das Energiewirtschaftsgesetz die leitungsgebundene Versorgung mit Strom, Gas und Wasserstoff betrifft und damit nicht auf die Fernwärme anwendbar ist, stellen Fernwärmenetze und Fernwärmeanlagen insoweit aber keine Energieversorgungsnetze und Energieanlagen dar. Die Ausnahme des § 28 Abs. 4 Nr. 2 EnWG ist für die Fernwärmeversorgung somit nicht anwendbar. Zum anderen besteht eine erweiterte Meldepflicht für kritische Anlagen (§ 32 Abs. 3 BSIG-E). Wenn ein erheblicher Sicherheitsvorfall Auswirkungen auf die kritische Anlage hat oder auch nur haben könnte, müssen Betreiber kritischer Anlagen auch Angaben zur Art der betroffenen Anlage und der kritischen Dienstleistung sowie zu den Auswirkungen des Sicherheitsvorfalls auf diese Dienstleistung übermitteln. Da kritische Anlagen erst noch durch Rechtsverordnung nach § 57 Abs. 4 BSIG-E bestimmt werden, kann es sein, dass die erweiterte Meldepflicht auch auf die Fernwärmeversorgung bezogen werden könnte.

Registrierungspflichten sind in § 33 BSIG-E geregelt. Besonders wichtige Einrichtungen und wichtige Einrichtungen müssen spätestens drei Monate, nachdem sie erstmals oder erneut als solche Einrichtungen gelten, an eine gemeinsame Registrierungsstelle des BSI und BBK bestimmte Angaben übermitteln, die im Katalog des § 33 Abs. 1 Nr. 1 – 5 BSIG-E aufgeführt sind. Kritische Einrichtungen müssen zusätzliche Angaben übermitteln, die in § 33 Abs. 2 BSIG-E normiert sind. Die besondere Registrierungspflicht nach § 34 BSIG-E ist für Einrichtungen im Bereich der Fernwärmeversorgung nicht einschlägig.

#### 5.3.3.2.2.3 Billigungs-, Überwachungs- und Schulungspflichten

Die Governance-Pflichten aus Art. 20 NIS II werden in § 38 BSIG-E als Billigungs-, Überwachungs- und Schulungspflichten bezeichnet. Geschäftsleitungen besonders wichtiger Einrichtungen und wichtiger Einrichtungen müssen die Risikomanagementmaßnahmen nach § 30 BSIG-E billigen und ihre Umsetzung überwachen (§ 38 Abs. 1 BSIG-E) sowie regelmäßig an Schulungen im Bereich der Cybersicherheit teilnehmen (§ 38 Abs. 3 BSIG-E).

#### 5.3.3.2.3 3 Aufsichts- und Durchsetzungsmaßnahmen nach dem BSIG-E

Die Aufsichts- und Durchsetzungsmaßnahmen, die in Art. 32 NIS II für wesentliche Einrichtungen und in Art. 33 NIS II für wichtige Einrichtungen geregelt sind, finden sich in § 64 BSIG-E für besonders wichtige Einrichtungen sowie in § 65 BSIG-E für wichtige Einrichtungen. Neben den Aufsichts- und Durchsetzungsmaßnahmen kommen, wie schon aus Art. 34 NIS II hervorgeht, auch Geldbußen in Betracht. Die Geldbußen für Verstöße gegen die Cybersicherheitspflichten nach § 30 BSIG-E und § 32 BSIG-E sind in § 60 Abs. 2 Nr. 2 und Nr. 3 BSIG-E geregelt, wobei die maximale Höhe der Geldbuße für besonders wichtige Einrichtungen aus § 60 Abs. 7 BSIG-E und für wichtige Einrichtungen aus § 60 Abs. 6 BSIG-E hervorgeht. Das BSI ist die zuständige Behörde sowohl für die Aufsichts- und Durchsetzungsmaßnahmen (§ 62 BSIG-E) als auch für die Verhängung von Geldbußen (§ 60 Abs. 8 BSIG-E).

#### 5.3.3.3 Zwischenergebnis zum nationalen Cybersicherheitsrecht

Das deutsche Cybersicherheitsrecht ist im Bereich der Fernwärmeversorgung bisher in erster Linie im BSI-Gesetz, in der BSI-Kritisverordnung sowie im branchenspezifischen Sicherheitsstandard B3S VvFW geregelt, wobei der B3S VvFW seit dem 31. März 2023 nicht mehr gültig ist. Die Regelungen in der BSI-Kritisverordnung betreffen die Bereiche Erzeugung, Steuerung und Überwachung sowie Verteilung. Sie sind auf große Fernwärmeversorger zugeschnitten, weil die Schwellenwerte im Bereich Erzeugung bei einer ausgeleiteten Wärmeenergie von 2.300 GWh/Jahr, im Bereich Steuerung und Überwachung bei 250.000 angeschlossenen Haushalten oder bei einer ausgeleiteten Wärmeenergie von 2.300 GWh/Jahr sowie im Bereich Verteilung bei 250.000 angeschlossenen Haushalten liegen. Ab Erreichen dieser Schwellenwerte müssen zwei Kardinalpflichten erfüllt werden: Sie müssen einerseits ein Mindestniveau an IT-Sicherheit einhalten sowie andererseits erhebliche Störungen melden. Sofern der KRITIS-Betreiber auf IT-Dienstleister zurückgreift, können diese Kardinalpflichten auch durch den betreffenden Dienstleister erfüllt werden.

Spätestens ab dem 18. Oktober 2024 muss die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II in deutsches Recht umgesetzt worden sein. Die Auswirkungen auf das deutsche Cybersicherheitsrecht werden auch im Bereich der Fernwärmeversorgung erheblich sein. Das NIS2-Umsetzungs- und Cybersicherheitsstärkungsgesetz (NIS2UmsuCG) ist bereits in Vorbereitung.

Die Referentenentwürfe, die im Internet kursieren, zeigen, dass das BSI-Gesetz und die BSI-Kritisverordnung zusammengeführt werden sollen. Das BSI-Gesetz soll eine größere Kodifikation mit – Stand März 2024 – 69 Paragrafen werden. Die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II soll im BSI-Gesetz dergestalt umgesetzt werden, dass auf die Vielzahl an Ausnahmeregelungen und unbestimmten Rechtsbegriffe verzichtet wird. Das BSI-Gesetz unterscheidet – entsprechend der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II – zwischen besonders wichtigen Einrichtungen und wichtigen Einrichtungen, wobei bestimmte Einrichtungen durch Rechtsverordnung als kritische Einrichtungen eingestuft werden können. Die Einstufung hat Auswirkungen auf den Umfang der Cybersicherheitspflichten; kritische Einrichtungen unterliegen dem höchsten Pflichtenstandard. Die Cybersicherheitspflichten sind, wie auch die Durchsetzungsmaßnahmen und Geldbußen, der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II nachgebildet.

## 5.4 Ergebnis

Der „Rollout“ von fernablesbaren Wärmezählern ist in vollem Gang. Die Digitalisierung der technischen Infrastruktur wird also, mit einem gewissen zeitlichen Verzug zum Strommarkt, in den nächsten Jahren zunehmend auch die Fernwärmeversorgung erfassen. Das birgt neue Herausforderungen für die Akteure der Fernwärmebranche, v. a. auch in rechtlicher Hinsicht. Die Digitalisierung stellt Anforderungen an Datenschutz und Cybersicherheit.

Die zentralen Vorgaben des Datenschutzrechts sind im Bereich der Fernwärmeversorgung in der Datenschutz-Grundverordnung geregelt. Der Anwendungsbereich der Datenschutz-Grundverordnung betrifft die Verarbeitung von personenbezogenen Daten. Personenbezogene Daten liegen vor, wenn eine natürliche Person identifiziert werden kann oder identifizierbar ist. Wärmeverbrauchsdaten können im Einzelfall personenbezogene Daten darstellen, wenn sie Rückschlüsse auf die Identität der natürlichen Person zulassen. Die Verarbeitung von personenbezogenen Daten erfordert einen Verarbeitungstatbestand nach Art. 6 Abs. 1 DS-GVO. Hier ist zwischen zwei Grundfällen zu unterscheiden: Im ersten Fall besteht ein Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnutzer; es liegt ein Zweipersonenverhältnis vor. Die Verarbeitung der Wärmeverbrauchsdaten ist zur Erfüllung des Versorgungsvertrags erforderlich (Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO). Einer Einwilligung des Anschlussnutzers bedarf es grundsätzlich nicht. Im zweiten Fall besteht ein Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnehmer. Es liegt zumindest ein Dreipersonenverhältnis vor, weil Anschlussnehmer und Anschlussnutzer auseinanderfallen; der Anschlussnehmer ist Vermieter, während der Anschlussnutzer ein Mieter ist. Der Anschlussnehmer darf die personenbezogenen Daten des Anschlussnutzers, zu denen auch Wärmeverbrauchsdaten gehören können, zum Zweck der Erfüllung des Mietvertrags verarbeiten (Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO).

Der Fernwärmeversorger darf die personenbezogenen Daten des Anschlussnehmers zum Zweck der Erfüllung des Versorgungsvertrags (Art. 6 Abs. 1 lit. b) DS-GVO) und die Wärmeverbrauchsdaten des Anschlussnutzers wohl zur Wahrung seiner berechtigten Interessen verarbeiten (Art. 6 Abs. 1 lit. f) DS-GVO). Eine Einwilligung des Anschlussnehmers oder des Anschlussnutzers ist auch hier grundsätzlich nicht erforderlich.

Die zentralen Vorgaben des Cybersicherheitsrechts sind im Bereich der Fernwärmeversorgung auf europäischer Ebene v. a. in der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II und in der Datenschutz-Grundverordnung geregelt. Der Anwendungsbereich der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II ist für Fernwärmeversorger in der Regel eröffnet, weil Fernwärmeversorger dem Fernwärmesektor als kritischem Sektor zugeordnet werden können und eine bestimmte Größe oder eine bestimmte Relevanz aufweisen. Selbst wenn Fernwärmeversorger kein mittleres Unternehmen darstellen, haben ihre Dienste in der Regel die entsprechende Relevanz, weil sie sich auf die öffentliche Ordnung, die öffentliche Sicherheit oder die öffentliche Gesundheit – gerade im Winter – auswirken können. Wenn der Anwendungsbereich eröffnet ist, ist der Fernwärmeversorger als wesentliche Einrichtung oder als wichtige Einrichtung einzuordnen; im Fall einer wesentlichen Einrichtung unterliegt er strengeren Cybersicherheitspflichten. Die Cybersicherheitspflichten, denen der Fernwärmeversorger unterliegt, betreffen die Bereiche Governance, Risikomanagement und Berichtswesen. Von zentraler Bedeutung sind v. a. die beiden letztgenannten Pflichten. Die zuständigen Behörden können, wenn eine Pflicht nicht umgesetzt wird, Durchsetzungsmaßnahmen beschließen und/oder Geldbußen verhängen. Der Anwendungsbereich der Datenschutz-Grundverordnung betrifft – wie erörtert – personenbezogene Daten. Der Verantwortliche, also in erster Linie der Fernwärmeversorger, muss durch technische und organisatorische Maßnahmen („TOM“) die Sicherheit der Datenverarbeitung sicherstellen. Die Sicherheit der Datenverarbeitung betrifft einerseits das Planungs- und Entwicklungsstadium in Form von „eingebautem Datenschutz“; das umfasst Datenschutz durch Technikgestaltung („privacy by design“), datenschutzfreundliche Voreinstellungen („privacy by default“), aber auch die Durchführung einer Datenschutz-Folgenabschätzung in bestimmten Fällen. Andererseits betrifft die Sicherheit der Datenverarbeitung aber auch das Verarbeitungsstadium als solches. Der Verantwortliche hat die Aufgabe, die Sicherheit der Datenverarbeitung über die gesamten Stadien der Datenverarbeitung zu gewährleisten, wobei es hierfür die Auswahl der geeigneten TOM bedarf. Kriterien bei der Auswahl der TOM sind: (1) Stand der Technik, (2) Implementierungskosten, (3) Art, Umfang, Umstände und Zweck der Verarbeitung sowie (4) Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere des Risikos.

Da die Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II bis spätestens zum 18. Oktober 2024 in nationales Recht umgesetzt werden soll, ist auf nationaler Ebene zwischen der Rechtslage bis zu diesem Stichtag und der Rechtslage ab diesem Stichtag zu unterscheiden. Bisher ist das

deutsche Cybersicherheitsrecht im Bereich der Fernwärmeversorgung in erster Linie im BSI-Gesetz und in der BSI-Kritisverordnung geregelt. Die Regelungen in der BSI-Kritisverordnung betreffen die Bereiche Erzeugung, Steuerung und Überwachung sowie Verteilung. Sie sind, in Anbetracht der angesetzten Schwellenwerte, auf große Fernwärmeversorger zugeschnitten und unterliegen zwei Kardinalpflichten, nämlich der Einhaltung eines Mindestniveaus an IT-Sicherheit sowie der Meldung erheblicher Störungen. Ab dem 18. Oktober 2024 wird das deutsche Cybersicherheitsrecht im Bereich der Fernwärmeversorgung weitgehend in einem neu gefassten BSI-Gesetz mit – Stand März 2024 – 69 Paragraphen geregelt sein. Das BSI-Gesetz verzichtet, so deuten die bisherigen Referentenentwürfe an, auf die Vielzahl an Ausnahmeregelungen und unbestimmten Rechtsbegriffe, die in der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II normiert wurden. Das BSI-Gesetz unterscheidet aber auch, vergleichbar zur Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II, zwischen besonders wichtigen Einrichtungen und wichtigen Einrichtungen. Bestimmte Einrichtungen können allerdings durch Rechtsverordnung als kritische Einrichtungen eingestuft werden; diese Einstufung hat Auswirkungen auf den Umfang der Cybersicherheitspflichten. Die Cybersicherheitspflichten sind, wie auch die Durchsetzungsmaßnahmen und Geldbußen, der Netz- und Informationssicherheitsrichtlinie II nachgebildet.

## **6 IEA DHC Annex XIII (AGFW)**

Der AGFW fungierte im Berichtszeitraum als Operating Agent des IEA DHC Fernwärmeforschungsprogramms und leitete neben der finanziellen Abwicklung der Beiträge auch das Management des Programms. Die fortlaufende Umstellung von Annex XII über XIII hin zum Start von Annex XIV erfolgte planmäßig und wurde vom Zuwendungsempfänger erfolgreich verwaltet.

Die Meetings des "IEA DHC Executive Committee" wurden von AGFW halbjährlich mitorganisiert und in den entsprechenden Gastgeberländern durchgeführt. Ausnahmen waren das 76. Treffen im Mai und das 77. Treffen im Dezember 2021, die aufgrund der COVID-19-Pandemie virtuell stattfanden.

Die Rolle der AGFW wurde in der Außenkommunikation von "Operating Agent" hin zu "Programme Manager" umgewandelt. Ebenso wurde der Programmtitel zu "International Energy Association Technology Collaboration Programme on District Heating and Cooling" gekürzt.

Im Berichtszeitraum wurden die Annex XII Projekte:

1. Effects of Loads on Asset Management of the 4th Generation District Heating Networks

2. MEMPHIS - Methodology to evaluate and map the potential of waste heat from industry, service sector and sewage water by using internationally available open data
3. Integrated Cost-effective Large-scale Thermal Energy Storage for Smart District Heating and Cooling
4. Stepwise transition strategy and impact assessment for future district heating systems
5. Sustainable District Cooling Guidelines

auf Basis der Organisation des Zuwendungsempfängers abschließend qualitätsgesichert und veröffentlicht.

Unter Annex XIII wurden die folgenden Projekte ausgewählt, begleitet und erfolgreich veröffentlicht:

1. Leave 2nd generation behind: cost effective solutions for small-to-large scale DH networks
2. MEMPHIS 2.0: Advanced algorithm for spatial identification, evaluation of temporary availability and economic assessment of waste heat sources and their local representation
3. Artificial Intelligence for Forecasting of Heat Production and Heat demand and Fault Detection in District Heating Networks
4. Cost Benefit study on the building secondary network for improving DH performance
5. Optimized transition towards low-temperature and low-carbon DH systems (OPTiTRANS)
6. The district heating business model 2050
7. CASCADE: A comprehensive toolbox for integrating low-temperature sub-networks in existing district heating networks
8. District heating scheme for carbon neutrality in Asia.

Weiterhin hat der Zuwendungsempfänger den Rahmen für die die folgenden Task-shared Forschungsplattformen bereitgestellt:

Annex TS2: Implementation of Low Temperature District Heating Systems

Annex TS3: Hybrid Energy Networks

Annex TS4: Digitalisation of District Heating and Cooling

Annex TS5: Integration of Renewable Energy Sources into existing District Heating and Cooling Systems

Annex TS6: Status Assessment, Ageing, Lifetime Prediction and Asset Management of District Heating Pipes

Annex TS7: Industry-DHC Symbiosis.

Zwei zusätzliche Vorschläge für neue Task-shared Annexes, TS8: Exeperimental investigations of DHC und TS9: Digitalisation of DHC 2.0, in die Definitionsphase überführt.

Die Task-shared Aktivitäten zu Annex TS2 und TS3 wurden im Berichtszeitraum mit der Veröffentlichung von Handbüchern mit Anhängen von den entsprechend verantwortlichen Taskmanagern abgeschlossen.

Das IEA DHC Programm behielt grundsätzlich seine Mitgliederstruktur bei, wuchs aber auf insgesamt 16 Mitglieder plus einen Sponsor an, da Irland, die Niederlande und Estland im Berichtszeitraum beitraten.

Das "17th International Symposium on District Heating and Cooling" wurde erfolgreich unter der Schirmherrschaft von IEA DHC als Hybridveranstaltung in Nottingham, Großbritannien 2021 durchgeführt.

Das "18th International Symposium on District Heating and Cooling" wurde erneut hybrid, in Beijing, China erfolgreich umgesetzt.

Die IEA DHC-Webseite erfuhr im Berichtszeitraum umfassende Aktualisierungen und eine rechtliche Überarbeitung.

Mitarbeiter des Zuwendungsempfängers bereicherten das Annex TS4 "Digitalisation of District Heating and Cooling" mit Erfahrungen aus dem Projekt FW-Digital und trugen zum Handbuch für Annex TS3 bei. Alle weiterführenden Task-shared Aktivitäten wurden planmäßig fortgeführt.

Gemeinsam mit dem europäischen Fernwärmeverband Euroheat and Power initiierten Mitarbeiter der Zuwendungsempfängers einen europäischen 10-Punkte-Plan für die Wärmewende. Dieser wurde von breiter Unterstützung verschiedener europäischer Verbände getragen und im Jahr 2023 persönlich der EU-Kommission vorgestellt, womit AGFW seine Rolle in der internationalen Zusammenarbeit und im Bereich des Wissenstransfers stärkte.

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten zur Länderbefragung bezüglich der Forschungspräferenzen für Annex XIV abgeschlossen und ein Call for Proposals vorbereitet. AGFW sammelte im Berichtszeitraum 48 Outline Proposals und organisierte die Bewertung für Annex XIV.



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1 Gesamtübersicht Teilprojekt: .....	18
Abbildung 3-2: Typisierung der Gesamtheit deutscher Wärmenetze (a) sowie der an der Umfrage teilgenommenen Wärmenetze (b) nach Gesamtleitungslänge. Basierend auf Daten von Schweikardt et al. (2012) .....	23
Abbildung 3-3: Mittlere wärmenetzseitige Vor- und Rücklauftemperaturen sowie die Spannweite zwischen minimalen und maximalen Vorlauftemperaturen für die an der Umfrage teilgenommenen deutschen Wärmenetze.....	23
Abbildung 3-4: Die für die teilnehmenden Wärmenetzbetreiber nach aufsteigender Relevanz geordneten Transformationsziele .....	25
Abbildung 3-5: Die in den teilnehmenden Wärmenetzen nach aufsteigendem Umsetzungsstand geordneten Transformationsmaßnahmen .....	26
Abbildung 3-6: Schematischer Aufbau einer indirekten HAST mit zwei Sekundärkreisläufen zur Breitstellung von RW und TWW .....	29
Abbildung 3-7: Stufen der Datenanalytik und ihre Rolle in der Entscheidungsfindung und Handlungsumsetzung. Eigene Übersetzung aus (Matteo Pozzi et al. 2023).....	34
Abbildung 3-8: Raum- (a) und Größenverteilung (b) deutscher Wärmenetze. Eigene Darstellung auf Basis von (Heat Roadmap Europe 2018) .....	36
Abbildung 3-9: Analyse der Vor- und Rücklauftemperaturen in den Technischen Anschlussbedingungen .....	36
Abbildung 3-10: Auf Jahresebene Aggregierte Schlagwortanalyse bezüglich Themen der Digitalisierung für die letzten drei vollständigen Jahrgänge der EuroHeat & Power der Jahre 2017, 2018 sowie 2019 .....	37
Abbildung 3-11: Abstrahierte Darstellung der modellierten Wärmenetze mit 17 aggregierten Verbrauchszentren für den Bilanzraum 1 (links) und 18 aggregierten Verbrauchszentren für den Bilanzraum 2 (rechts) .....	39
Abbildung 3-12: Schematische Darstellung der Typisierung mit vorgelagerter Datenerhebung und deren Unterteilung in „eigene Erhebung“, „berechnete Daten“ sowie „exogene Daten“ .....	41
Abbildung 3-13: Jährlicher Wärmebedarf der Gebäude im Bilanzraum 1 (links) und 2 (rechts): Absteigend sortiert nach Höchstem bis zum Niedrigsten mit kumulativer Nachfrage .....	43

Abbildung 3-14: Schematische Übersicht der Methodik mit den einzelnen Prozessschritten zur techno-ökonomischen Bewertung der Digitalisierung von Wärmenetzinfrastrukturen.....	44
Abbildung 3-15: Maßnahmen an ein durch ein Wärmenetz versorgtes Gebäude zur Reduktion gebäudeseitiger Rücklauftemperaturen.....	48
Abbildung 3-16: Schematische Darstellung beider Funktionsprinzipie zur Ableitung lastverschobener Zeitreihen der Wärmenachfrage. Bei RW-DSM kommt peak-shaving und valley-filling zur Anwendung. Bei der TWW-Bereitung kann zusätzlich load-shifting zum Einsatz kommen .....	51
Abbildung 3-17: Methodik zur Ableitung von DSM-Potentialen für RW der Deutschen Wohngebäudetypologie nach TABULA (Loga et al. 2015) .....	53
Abbildung 3-18: Absolutes DSM-Potential pro Lastverschiebezyklus in aufsteigender Reihenfolge für Wohngebäude des deutschen Wohngebäudebestands gemäß TABULA (Loga et al. 2015) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Größenklassen (EFH=E und MFH=M), Baualtersklassen (A-L) und Sanierungsstufen (1-3) in Abhängigkeit diskreter Außentemperaturstufen von – 10 bis 15 °C .....	55
Abbildung 3-19: Schematische Vorgehensweise zur Ableitung lastvergleichmäßiger Zeitreihen der Raumwärmenachfrage .....	56
Abbildung 3-20: Beispielhafter Verlauf der stündlichen Wärmenachfrage für RW und TWW in MW für den Bilanzraum 1 sowohl für den Status quo als auch unter Anwendung von DSM.....	58
Abbildung 3-21: Abstrakter Aufbau des Fernwärmenetzmodells in Dymola .....	59
Abbildung 3-22: Nach abnehmender jährlicher Gesamtwärmenachfrage geordnete Anzahl Verbraucher. Die Klassierung der Verbraucher basiert auf die erforderliche Anzahl ebenjener, zu Erreichung eines 10 %igen Anteils an der Gesamtwärmenachfrage beispielhaft für den Bilanzraum 1 .....	63
Abbildung 3-23: Abhängigkeit der thermischen, elektrischen Wirkungsgrade und Stromkennzahlen von den wärmenetzseitigen Rücklauftemperaturen für einen beispielhaften Brennwertkessel (a) sowie für eine KWK-Anlage (b). Eigene Darstellung auf Basis von (Jones 2014) und (Dittmann and Rhein 2008).....	65
Abbildung 3-24: Auf den Zustrom normierte (Rücklauf-)Volumenstromverteilung eines Abzweigs .....	68

Abbildung 3-25: Häufigkeitsverteilung der für jeden Abzweig auf die max. Volumenströme normierten (Rücklauf-)Volumenströme.....	69
Abbildung 3-26: Abgegebene Wärmeleistung als Funktion sowohl der Außentemperatur als auch der Spreizung.....	69
Abbildung 3-27: Thermische Energiedichte in Heizperioden als Funktion sowohl der Außentemperatur als auch der Tag des Jahres .....	71
Abbildung 3-28: Vergleich der täglichen Außentemperaturen zwischen den Jahren 2022 und 2023 mit Mittelwerten auf Basis DWD (2022).....	72
Abbildung 3-29: Rücklauftemperatur als Funktion sowohl der Außentemperatur als auch der Volumenstrom.....	73
Abbildung 3-30: Prognosemodell zur Identifikation anomaler Betriebszustände .....	74
Abbildung 3-31: Einfluss der Rücklauftemperatur auf die Belastung erdverlegter Wärmeleitung.....	76
Abbildung 3-32: Messwertgetriebene Identifikation von Optimierungspotentialen für den wärmenetzzeitigen Volumenstrom .....	78
Abbildung 3-33: Vergleich der Rücklauftemperaturverteilungen in den HASTen A, B, C und D: Histogramme und KDE-Analysen zur Darstellung der gemittelten und spezifischen Verteilungen pro Gebäude.....	81
Abbildung 3-34: Korrelationsanalyse der Ausgangsleistung und Durchflussmenge in den HASTen A, B, C und D: Dichteverteilungs-Diagramme mit Hervorhebung von Ausreißern .....	83
Abbildung 3-35: Effizienzanalyse der HASTen A, B, C, und D: Darstellung der spezifischen Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz mit Prognosegütebewertung.....	85
Abbildung 3-36: Optimierungspotenzial der HASTen A, B, C, und D: Zusammenhang zwischen Temperaturdifferenz und spezifischer Leistungsfähigkeit mit jährlicher Kosteneinsparung .....	87
Abbildung 3-37: Außentemperaturabhängige Tagesverläufe der verschiebbaren RW-Nachfrage (positive Lasten deuten einen ggü. dem Status quo zusätzlichen Wärmebezug aus dem Wärmenetz an), gegliedert für die Jahreszeiten Frühling (a), Sommer (b), Herbst (c) und Winter (d). Dargestellt für den Bilanzraum 1. .	90
Abbildung 3-38: Tageszeitabhängige Wärmeleistung zur Bereitstellung von TWW ohne (a) als auch mit (b) DSM für den Bilanzraum 1 .....	91

Abbildung 3-39: Verlauf der stündlichen Wärmenachfrage für RW und TWW bzw. BWW in MW für den Bilanzraum 1 sowohl für den Status quo als auch unter Anwendung von DSM.....	91
Abbildung 3-40: Kumulierte verschiebbare Wärmenachfrage für RW und TWW in MWh für Bilanzraum 1 für ein Jahr .....	92
Abbildung 3-41: Kumulierte verschiebbare Wärmenachfrage für RW und TWW in MWh für Bilanzraum 2 für ein Jahr .....	92
Abbildung 3-42: Techno-ökonomischen Bewertung im Vergleich zu Stufe 0 über 10 Stufen für Bilanzraum 1 und Bilanzraum 2, mit Fehlerbehebung + Steuerungsoptimierung + hydraulischem Abgleich.....	95
Abbildung 3-43: Techno-ökonomischen Bewertung im Vergleich zu Stufe 0 über 10 Stufen für Bilanzraum 1 und Bilanzraum 2, mit Fehlerbehebung + Steuerungsoptimierung + hydraulischem Abgleich + DSM.....	96
Abbildung 3-44: Reduktion absoluter Wärmeverluste ggü. Status quo in GWh/a.....	99
Abbildung 3-45: Änderung relativer Transportkapazitäten ggü Status quo in %.....	99
Abbildung 3-46: Durch Digitalisierung von HASTen in den Bestandswärmenetzen zusätzlich hebbare Wärmepotentiale in GWh/a .....	100
Abbildung 3-47: Anzahl möglicher Neukunden mit einer Standardisierten jährlichen Wärmenachfrage von 25 MWh/a.....	100
Abbildung 4-1: Iteratives Vorgehensmodell (vereinfachte Darstellung) .....	111
Abbildung 4-2: Ebenen des Process Minings nach (Barenkamp 2022).....	114
Abbildung 4-3: Dimensionen der Optimierung und etablierte digitale Instrumente .....	117
Abbildung 4-4: Thematische Handlungsfelder und Abhängigkeiten .....	121
Abbildung 4-5: Prozessdokumentation in teilnehmenden Unternehmen (Auszug) .....	126
Abbildung 4-6: Relative Häufigkeit relevanter Geschäftsprozesse (Abläufe pro Jahr).....	127
Abbildung 4-7: Digitalisierungspotenziale und -notwendigkeiten aus Branchensicht.....	127
Abbildung 4-8: Datenfluss im Process Mining (eigene Darstellung) .....	131
Abbildung 4-9: App zur strukturierten Ereigniseingabe .....	131
Abbildung 4-10: Processflow eines exemplarischen Anwendungsfalls .....	132
Abbildung 4-11: Automatische Berechnung der Durchlaufzeit .....	132
Abbildung 4-12: Eventlog (Auszug) zum Störungsmanagement .....	133

Abbildung 4-13: Ergebnisdarstellung des Process Minings im FW-Störungsmanagement (PM Modell auf Basis Celonis).....	133
Abbildung 4-14: FW-Störungsmanagement – Vergleich der Trigger-Zeitpunkte .....	134
Abbildung 4-15: Top5-Varianten mit Microsoft Prozess Mining (eigene Darstellung) .....	135
Abbildung 4-16: Zeitliche Verteilung der Vorgänge (eigene Darstellung) .....	136
Abbildung 4-17: Aktuelle Auswertung mit KI .....	136
Abbildung 4-18: KI-Auswertemöglichkeiten (Beispiele).....	137
Abbildung 4-19: Variantenanalyse .....	137
Abbildung 4-20: Beispiel BPM Prozess: geplante Wartung.....	138
Abbildung 4-21: Vereinfachtes Beispiel zur Erzeugung des Eventlogs mit Power-Query (Microsoft).....	139
Abbildung 4-22: Vereinfachtes Beispiel des Wartungsprozesses (Microsoft Process Mining) .....	139
Abbildung 4-23: Beispielhafte Prozesskartierungen mit Ausweisung der DLZ und MTTR...	143
Abbildung 4-24: Hierarchische Gliederung der Prozessdomänen bzw. Namensräume.....	145
Abbildung 4-25: Vereinfachtes UML-Schema des Metamodells .....	146
Abbildung 4-26: Gartner Studie zum Process Mining 2024.....	147
Abbildung 5-1: Datenschutzrecht im europäischen Mehrebenensystem. Quelle: Eigene Darstellung.....	154
Abbildung 5-2: Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnutzer (Fall 1). Quelle: Eigene Darstellung.....	158
Abbildung 5-3: Versorgungsvertrag zwischen Fernwärmeversorger und Anschlussnehmer (Fall 2). Quelle: Eigene Darstellung.....	161
Abbildung 5-4: Architektur des europäischen und nationalen Cybersicherheitsrechts. Quelle: Eigene Darstellung.....	170

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Veranstaltungsreihe »SW.aktiv« im Projektzeitraum .....	17
Tabelle 3-1: Kapital- und betriebsgebundene Kosten der Digitalisierung von HASTen .....	22
Tabelle 3-2: Jahresmittlere wärmenetzseitige Vor- und Rücklauftemperaturen im internationalen Vergleich.....	24
Tabelle 3-3: Klassifizierung und Wechselwirkungen von aktiven und passiven Digitalisierungseffekten in Fernwärmenetzen.....	30
Tabelle 3-4: Wärmenetzseitige Daten der Bilanzräume 1 und 2 .....	38
Tabelle 3-5: Aggregierte Übersicht der Verbrauchertypisierung für die Bilanzräume 1 und 242	
Tabelle 4-1: Relevante Anwendungsfälle für die Digitalisierung im Fernwärmesektor.....	124

## Literaturverzeichnis

2014 ASHRAE Winter Conference (2014): ASHRAE.

AGFW; BDEW (2021): Branchenspezifischer Sicherheitsstandard für die Verteilung von Fernwärme (B3S VvFw). With assistance of BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Edited by AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. Available online at [AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. \(2021\): AGFW - Hauptbericht 2021. Frankfurt am Main, Deutschland. Available online at <https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht>, checked on 3/12/2024.](https://www.agfw.de/securedl/sdl-eyJ0eXAIoiJKV1QiLCJhbGciOiJIUzI1NiJ9.eyJpYXQiOiJlMTc1ODQ0NTIsImV4cCI6MTcxNzY3NDQ1MiwidXNlciI6MCwiZ3JvdXBzIjpbMCwtMV0sImZpbGUiOiJmaWxIYWRtaW4vdXNlciI9IjE3cGxvYWQvT3JnYW5pc2F0aW9uX3VfQXJiZWl0c3NpY2hlcmlhXQvU2ljaGVyaGVpdHNyaWNodGxpbnllbi9TaWNoZXJoZWl0c3JpY2h0bGluaWVfQjNTX2tvbXBsZXR0MjAyMjE5MTMucGRmliwicGFnZSI6OTE5fQ.jBMFp9wpTAvk0fWSK0dyu0lzcFpa3n-aUWOleaCSHSw/Sicherheitsrichtlinie_B3S_komplett20221213.pdf.</a></p></div><div data-bbox=)

AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (2022): AGFW - Hauptbericht 2022. Frankfurt am Main, Deutschland. Available online at <https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht>, checked on 4/2/2024.

AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (2023): AGFW – Hauptbericht 2022. AGFW. Frankfurt am Main, Deutschland. Available online at <https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht>, checked on 4/2/2024.

Arning, Marian; Bernzen, Anna K.; Braun, Martin; Ettig, Diana (2022): DSGVO - BDSG - TTDSG. Kommentar. 4., völlig neu bearbeitete und wesentlich erweiterte Auflage. Edited by Jürgen Taeger, Detlev Gabel. Frankfurt am Main: Fachmedien Recht und Wirtschaft dfv Mediengruppe (Kommunikation & Recht Kommentar).

Atzert, Michael; Benedikt, Kristin; Buchmann, Antonia; Dietze, Lars; Ferik, Levent; Franck, Lorenz et al. (2023): DS-GVO/BDSG. Datenschutz-Grundverordnung Bundesdatenschutzgesetz. neu bearbeitete Auflage 2024. Edited by Rolf Schwartmann, Andreas Jaspers, Gregor Thüsing, Dieter Kugelmann. Heidelberg: C.F. Müller (Heidelberger Kommentar).

Atzert, Michael; Leutheusser-Schnarrenberger, Sabine (2020): DS-GVO/BDSG. Datenschutz-Grundverordnung, Bundesdatenschutzgesetz. 2., neu bearbeitete Auflage. Edited by Rolf Schwartmann, Andreas Jaspers, Gregor Thüsing, Dieter Kugelmann. Heidelberg: C.F.

Müller (Juris Zusatzmodul Justiz Datenschutz und IT-Recht). Available online at <https://www.juris.de/perma?d=clarice-SHJR-K-dsgvo-T0000>.

Austrian Institute of Technology - Integrated Energy Systems (2022): DisHeatLib: GitHub. Available online at <https://github.com/AIT-IES/DisHeatLib>.

Averfalk, Helge; Werner, Sven; Felsmann, Clemens; Rühling, Karin; Wiltshire, Robin; Svendsen, Svend et al. (2017): Transformation Roadmap from High to Low Temperature District Heating Systems : Annex XI final report. Available online at [https://www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex\\_XI/IEA-DHC-Annex\\_XI\\_Transformation\\_Roadmap\\_Final\\_Summary\\_Report\\_April\\_30-2017.pdf](https://www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex_XI/IEA-DHC-Annex_XI_Transformation_Roadmap_Final_Summary_Report_April_30-2017.pdf), checked on 1/26/2024.

Bäcker, Matthias; Bange, Mirko Andreas; Bergt, Matthias; Boehm, Franziska (2020): Datenschutz-Grundverordnung BDSG. Kommentar. 3. Auflage. Edited by Jürgen Kühling, Benedikt Buchner. München: C.H. Beck.

Bäcker, Matthias; Bange, Mirko Andreas; Bergt, Matthias; Boehm, Franziska (2024): Datenschutz-Grundverordnung, BDSG. Kommentar. 4. Auflage. Edited by Jürgen Kühling, Benedikt Buchner. München: C.H. Beck.

Barenkamp, Marco (2022): Künstliche Intelligenz als Unterstützungsfunktion der Vorhersage und Prozessexzellenz im Process Mining. In *Wirtsch Inform Manag* 14 (3), pp. 160–170. DOI: 10.1365/s35764-022-00404-8.

Barenkamp, Marco; Schnier, Tobias (2023): Künstliche Intelligenz im Process Mining – Anwendung und Potenziale. In *Wirtsch Inform Manag* 15 (2), pp. 134–140. DOI: 10.1365/s35764-023-00468-0.

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland: Basisdaten und Einflussfaktoren: 6. Ausgabe (2022). Available online at [https://heliogaia.de/W%C3%A4rmeverbrauchsanalyse\\_Foliensatz-2022.pdf](https://heliogaia.de/W%C3%A4rmeverbrauchsanalyse_Foliensatz-2022.pdf), checked on 3/12/2024.

Belz (2019): Wie Energieunternehmen die Datenmengen aus dem Digitalisierungsnetz meistern können, et 5/2019, S. 60 (61).

BKartA/BNetzA: Monitoringbericht. In, p. 36. Available online at <https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/MonitoringberichtEnergie2023.pdf>.

Blesl, Markus; Wendel, Frank; Hay, Stefan; Huther, Heiko (2017): Gebrauchsdaueranalyse von Wärmenetzen mit Einbindung erneuerbar Energien. In *EuroHeat & Power* 2017 (11), pp. 42–48.



BMI (2021): Cybersicherheitsstrategie für Deutschland 2021.

BNVKI (Ed.) (2001): Process mining: discovering workflow models from event-based data. With assistance of B. Kröse, M. Rijke, de, G. Schreiber, M. Someren, van. Proceedings of the 13th Belgium-Dutch Conference on Artificial Intelligence (BNAIC 2001), October 25-26, Amsterdam, Pages 283-290. Maastricht, The Netherlands.

Bourwieg, Karsten; Hellermann, Johannes; Hermes, Georg; Arndt, Felix; Bockermann, Julius; Bourazeri, Konstantina; Merk, Sebastian (Eds.) (2023): EnWG. Energiewirtschaftsgesetz : Kommentar. Verlag C.H. Beck. 4. Auflage. München: C.H. Beck.

Brand, Thimo (2022): Datenschutz-Grundverordnung VO (EU) 2016/679, Bundesdatenschutzgesetz. Kommentar. 3. Auflage. Edited by Peter Gola, Dirk Heckmann. München: C.H. Beck.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2017): Ortsgenaue Testreferenzjahre (TRY) von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse [Datenbank]. Available online at <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2013/testreferenzjahre/01-start.html;jsessionid=20BAD33AFCA9880A0CE78D87A04461B9.live21323?pos=2>, checked on 3/7/2024.

Dena-ANALYSE: Datenschutz und Datensicherheit. In, vol. 2018, p. 8.

Deutsches Institut für Normung e.V. (2015): Gebäudetreppen: Begriffe, Messregeln, Hauptmaße. Berlin, Deutschland: DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) (91.060.30) (18065). Available online at [https://www.th-owl.de/files/webs/gestaltung/\\_migrated/content\\_uploads/DIN\\_18065\\_Gebaeudetreppen.pdf](https://www.th-owl.de/files/webs/gestaltung/_migrated/content_uploads/DIN_18065_Gebaeudetreppen.pdf), checked on 3/8/2024.

Deutscher Wetterdienst (2022): Open Data Server [Datenbank]. Available online at <https://opendata.dwd.de/>, checked on 3/7/2024.

Dittmann, Achim; Rhein, Martin (2008): Einfluss von Vor- und Rücklauftemperatur auf die Wirtschaftlichkeit von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung: Teilthema des: LowEx-Fernwärme MULTILEVEL DISTRICT HEATING. In : 1. Giessener Fernwärmekolloquium. Available online at [https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/ressourcen/dateien/forschung\\_und\\_projekte/projekte/mlhd/vortraege/G\\_FWK\\_Vortrag\\_Dittmann\\_Rhein.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/ressourcen/dateien/forschung_und_projekte/projekte/mlhd/vortraege/G_FWK_Vortrag_Dittmann_Rhein.pdf?lang=de), checked on 3/12/2024.

Dr. iur. Dr. rer. pol. Hans Steege: DS-GVO zeitgemäß für das autonome Fahren? In, MMR 2009, 509 (511).

Ebert, Bernd: LowEx-Bestand Analyse - Abschlussbericht zu AP 1.1: Systematische Analyse von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden. Karlsruhe, Deutschland, checked on 3/8/2024.

Ernst & Young GmbH (2014): Kosten-Nutzen-Analyse für einen flächendeckenden Einsatz intelligenter Messgeräte. EY. Available online at [https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user\\_upload/Oesterreichs\\_Energie/Publikationsdatenbank/Analysen/2014/2014.07\\_KNA\\_Endbericht.pdf](https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Analysen/2014/2014.07_KNA_Endbericht.pdf), checked on 3/11/2024.

Esdorn, Horst (Ed.) (1994): Raumklimatechnik: Grundlagen. 16. Aufl., korrigierter Nachdr. Berlin, Deutschland: Springer (VDI-Buch, Bd. 1).

Fabritius, Christoph (2022): Berliner Kommentar zum Energierecht. 5., völlig neu bearbeitete und wesentlich erweiterte Auflage. Edited by Franz Jürgen Säcker, Xenia Zwanziger. Frankfurt am Main: Fachmedien Recht und Wirtschaft dfv Mediengruppe.

Falkenberg, Hanno; Klotz, Eva-Maria; Koepp, Marcus; Thamling, Nils; Wunsch, Marco; Ziegenhagen, Inka et al. (2019): Evaluierung der Kraft-Wärme-Kopplung: Analysen zur Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. Berlin, Deutschland. Available online at [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/evaluierung-der-kraft-waerme-kopplung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/evaluierung-der-kraft-waerme-kopplung.pdf?__blob=publicationFile&v=1), checked on 3/12/2024.

Fanger, Poul O. (1970): Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press.

Freye, Christine (2023): Bewertung der Anwendung des Process Mining im Lieferkettenmanagement. Eine empirische Untersuchung am Fallbeispiel eines Süßwarenherstellers. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer Gabler (BestMasters).

Gadatsch, Andreas (2022): Geschäftsprozesse analysieren und optimieren. Praxistools zur Analyse, Optimierung und Controlling von Arbeitsabläufen. 2. Auflage. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg (essentials).

Gadd, Henrik; Werner, Sven (2014): Achieving low return temperatures from district heating substations. In *Applied Energy* 136, pp. 59–67. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.09.022.

Gadd, Henrik; Werner, Sven (2015): Fault detection in district heating substations. In *Applied Energy* 157, pp. 51–59. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.07.061.

Gerhardt, Norman; Sandau, Fabian; Becker, Sarah; Scholz, Angela (2017): Wärmewende 2030: Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Berlin, Deutschland. Available online at [https://www.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2016/Sektoruebergreifende\\_EW/Waermewende-2030\\_WEB.pdf](https://www.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2016/Sektoruebergreifende_EW/Waermewende-2030_WEB.pdf), checked on 3/8/2024.

Gerlach, Tim; Achmus, Martin; Terceros, Mauricio (2018): Numerical Investigations on District Heating Pipelines Under Combined Axial And Lateral Loading. In *Energy Procedia* 149, pp. 435–444. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.08.208.

Gitter; Meißner; Spauschus: Das neue IT-Sicherheitsgesetz – IT-Sicherheit zwischen Digitalisierung und digitaler Abhängigkeit. In : ZD.

Glattfeld, Eric H.; Keller-Herder, Laurenz (2018): Die Datenschutz-Grundverordnung und ihre Umsetzung durch EVU. In *EnergieRecht* (4). DOI: 10.37307/j.2194-5837.2018.04.03.

Hay, Stefan; Blesl, Markus; Wendel, Frank; Leuteritz, Andreas; Below, Heiko; Thöler, Matthias et al. (2020): Technische Gebrauchsdauernanalyse von Wärmenetzen - Kurzfassung der Forschungsergebnisse. In *EuroHeat & Power 2020* (6), pp. 43–48.

Heat Roadmap Europe (2018): Pan-European Thermal Atlas (PETA) 4.3 [Interaktive Karte]. Available online at <https://heatroadmap.eu/peta4/>, checked on 3/7/2024.

Hornung, Gerrit; Schallbruch, Martin (Eds.) (2024): IT-Sicherheitsrecht. Praxishandbuch. 2. Auflage. Baden-Baden: Nomos.

IFO Institut: Digitalisierung der Wirtschaft. Digitalisierung der Wirtschaft. Available online at <https://www.ifo.de/themen/digitalisierung-der-wirtschaft>, checked on 5/28/2024.

Institut der Deutschen Wirtschaft: Digitalisierung. Edited by Institut der Deutschen Wirtschaft (IW). Available online at <https://www.iwkoeln.de/themen/digitalisierung.html>, checked on 5/28/2024.

International Building Performance Simulation Association (2022): modelica-ibpsa: GitHub. Available online at <https://github.com/ibpsa/modelica-ibpsa>.

Jagnow, Kati; Sell, Ingo; Wolff, Dieter (2007): Investitionskostenfunktionen TGA. Kostenfunktionen für Komponenten der Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung im Wohnbauten. DELTA-Q. Braunschweig, Deutschland. Available online at <https://www.delta-q.de/wp-content/uploads/Kostenbericht-Anlagentechnik-I.pdf>, checked on 3/8/2024.

Johansson, Christian; Bergkvist, Markus; Geysen, Davy; Somer, Oscar de; Lavesson, Niklas; Vanhoudt, Dirk (2017): Operational Demand Forecasting In District Heating Systems Using Ensembles Of Online Machine Learning Algorithms. In *Energy Procedia* 116, pp. 208–216. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.068.

Jones, Dennis R. (2014): Principals of Condensing Boiler System Design. In : 2014 ASHRAE Winter Conference: ASHRAE. Available online at <https://eds.p.ebsco-host.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=d5a34462-4c48-4411-b687-ac033f48ce56%40redis>, checked on 3/11/2024.

Julian Senders; Ass. iur. Anna Halbig (2020): Digitalisierung und Netzausbau. Zur Einordnung als Stand der Technik und zur Behandlung der Kosten in der Anreizregulierung. Stiftung Umweltenergierecht. Available online at [https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2020/10/Stiftung\\_Umweltenergierecht\\_WueStudien\\_17\\_Digitalisierung\\_und\\_Netzausbau\\_NEW.pdf](https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2020/10/Stiftung_Umweltenergierecht_WueStudien_17_Digitalisierung_und_Netzausbau_NEW.pdf).

Kipker, Dennis-Kenji; Barudi, Malek; Beucher, Klaus; Bird, Richard (Eds.) (2023): Cybersecurity. 2. Auflage. München: C.H. Beck (Kap. 1, Rn. 4.).

Kohne, Thomas; Burkhardt, Max; Theisinger, Lukas; Weigold, Matthias (2021): Technical and digital twin concept of an industrial heat transfer station for low exergy waste heat. In *Procedia CIRP* 104, pp. 223–228. DOI: 10.1016/j.procir.2021.11.038.

Krüger, Marcus; Helmers, Ingmar (2020): Process Mining in der Energiewirtschaft – Einsatzgebiete und Erfahrungen. In Oliver D. Doleski (Ed.): Realisierung Utility 4. 0 Band 2. Praxis der Digitalen Energiewirtschaft Vom Vertrieb Bis Zu Innovativen Energy Services. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, pp. 51–59.

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2022): Energieatlas Baden-Württemberg [Interaktive Karte und Datenbank]. Available online at <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/projekte/pages/home/index.xhtml>, checked on 3/7/2024.

Lichtblau, Karl; Stich, Volker; Bertenrath, Roman; Blum, Matthias; Bleider, Martin; Millack, Agnes et al. (2023): Industrie 4.0-Readiness [dt.]. Frankfurt [u. a.]: Impuls-Stiftung. Available online at <https://epub.fir.de/frontdoor/index/index/docId/2569>.

Liu, Lanbin; Zhang, Hanbei; Liu, Yameng (2020): A smart and transparent district heating mode based on industrial Internet of things. In *International Journal of Energy Research* 45 (1), pp. 824–840. DOI: 10.1002/er.5962.

Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden.

Lüdemann, Volker; Pokrant, Patrick (2019): Die Einwilligung beim Smart Metering. In *Datenschutz Datensich* 43 (6), pp. 365–370. DOI: 10.1007/s11623-019-1123-5.

Mailach, Bettina; Emmrich, Florian; Oschatz, B.; Schinke, L.; Seifert, J. (2019): Potential Energy Savings and Economic Evaluation of Hydronic Balancing in Technical Building Systems. Dresden, Deutschland. Available online at <https://files.danfoss.com/download/CorporateCommunication/BuildingEfficiency/Potential-Energy-Savings-and-Economic-Evaluation-of-Hydronic-Balancing-in-Technical-Building-Systems.pdf>, checked on 3/11/2024.

Manz, Manuel (2021): Digitalisierung in der Fernwärme: Techno-ökonomische Konzeptionierung von Strategien des Smart-Meter-Rollouts am Beispiel zweier Wärmenetzteilstränge. Unveröffentlichte Masterarbeit. Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland.

Matteo Pozzi; Thorsen, Jan Eric; Oddgeir Gudmundsson; Anna Marszal-Pomianowska; Per Heiselberg; Jensen, Steen Schelle et al. (2023): Digitalisation in District Heating and Cooling systems: A tangible perspective to upgrade performance: Euroheat & Power.

Microsoft (2024): Copilot in der Process Mining-Erfassung, checked on 6/3/2024.

Müller, Andreas; Binder, Jakob; Schmidt, Ralf-Roman (2021): Zukunftsfähige Fernwärmenetze durch niedrige Netztemperaturen. In *EuroHeat & Power* 2021 (6), pp. 50–55.

Nabe, Christian; Beyer, Catharina; Brodersen, Nils; Schäffler, Harald; Adam, Dietmar; Heinemann, Christoph et al.: Ökonomische und technische Aspekte eines flächendeckenden Rollouts intelligenter Zähler. Available online at [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/MessUndZaehlwesen/EcofysFlaechendeckender-Rollout.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzzugangUndMesswesen/MessUndZaehlwesen/EcofysFlaechendeckender-Rollout.pdf?__blob=publicationFile&v=1), checked on 3/6/2024.

Nussbaumer, Thomas; Thalmann, Stefan (2014): Status Report on District Heating Systems in IEA Countries. IEA Bioenergy Task 32; Swiss Federal Office of Energy; Verenum. Zürich, Switzerland. Available online at [https://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/24/2017/03/IEA\\_Task32\\_DHS\\_Status\\_Report.pdf](https://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/24/2017/03/IEA_Task32_DHS_Status_Report.pdf), checked on 3/6/2024.

O'Dwyer, Edward; Pan, Indranil; Charlesworth, Richard; Butler, Sarah; Shah, Nilay (2020): Integration of an energy management tool and digital twin for coordination and control of multi-vector smart energy systems. In *Sustainable Cities and Society* 62, p. 102412. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102412.

Obernolte, Wolfgang; Danner, Wolfgang; Theobald, Christian; Kühling, Jürgen (Eds.) (19XX): Energierecht. Energiewirtschaftsgesetz mit Verordnungen, EU-Richtlinien, Gesetzesmaterialien, Gesetze und Verordnungen zu Energieeinsparung und Umweltschutz sowie andere energiewirtschaftlich relevante Rechtsregelungen; Kommentar. München: Beck.

Paar, Angelika; Herbert, Florian; Pehnt, Martin; Ochse, Susanne; Richter, Stephan; Maier, Stefanie et al.: Transformationsstrategien von fossiler zentraler Fernwärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien. Frankfurt am Main, Deutschland. Available online at [https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Endbericht\\_Transformationsstrategien\\_FW\\_IFEU\\_GEF\\_AGFW.pdf](https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Endbericht_Transformationsstrategien_FW_IFEU_GEF_AGFW.pdf), checked on 3/6/2024.

Peeters, Leen; Dear, Richard de; Hensen, Jan; D'haeseleer, William (2009): Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. In *Applied Energy* 86 (5), pp. 772–780. DOI: 10.1016/j.apenergy.2008.07.011.

Peters, Max; Steidle, Thomas; Hebisch, Holger; Skok, Joanna; Berg, Anders; Graef, Denise; Andres, Florian: Kommunale Wärmeplanung: Einführung in den Technikkatalog. Stuttgart, Deutschland. Available online at [https://www.kea-bw.de/fileadmin/user\\_upload/Waermewende/Wissensportal/Kommunale-Waermepaltung-Einfuehrung-in-den-Technikkatalog-Version-1-barrierefrei.pdf](https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Waermewende/Wissensportal/Kommunale-Waermepaltung-Einfuehrung-in-den-Technikkatalog-Version-1-barrierefrei.pdf), checked on 3/8/2024.

Peters, Ralf (2018): Process-Mining. Geschäftsprozesse: Smart, Schnell und Einfach. With assistance of Markus Nauroth. Wiesbaden: Gabler (Essentials Ser). Available online at <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5568438>.

Philipp Reusch: KI und Software im Kontext von Produkthaftung und Produktsicherheit. In, RDi, pp. 152–155.

PROF. DR. JAN OSTER, LL.M.: Smarte Stromlieferverträge. In : ZdiW, pp. 418–423.

RA Prof. Dr. Markus Köhler; A Ingwert Müller-Boysen: Blockchain und smart contracts – Energieversorgung ohne Energieversorger? In : ZNER 2018, 203 (207).

Rapp, Harald; Fricke, Norman; Pöllet, Natalie; Rühling, Karin; Volmer, Vera; Hoppe, Stefan et al.: Koordinierter Schlussbericht - Langfassung für das Projekt ‚qDigitalisierung von energieeffizienten Quartierslösungen in der Stadtentwicklung mit intelligenten Fernwärme-Hausanschlussstationen - iHAST - Phasen 1 - 2)‘q. Available online at <https://www.agfw.de/ihast>, checked on 3/11/2024.

Ricci, Mattia; Sdringola, Paolo; Tamburrino, Salvatore; Puglisi, Giovanni; Di Donato, Elena; Ancona, Maria Alessandra; Melino, Francesco (2022): Efficient District Heating in a Decarbonisation Perspective: A Case Study in Italy. In *Energies* 15 (3), p. 948. DOI: 10.3390/en15030948.

Richard Muther; Lee Hales: Systematic Layout Planning. In.

Ritter, Steve; Schulte, Laura (2019): Rechtliche Anforderungen an Anbieter digitaler Dienste, die zugleich kritische Infrastrukturen sind. In *Computer und Recht* 35 (9), pp. 617–624. DOI: 10.9785/cr-2019-350918.

Rott: Die Digitalisierung des Produktsicherheitsrechts. In : VuR.

Routledge, Keith; Williams, Jonathan: District Heating - Heat Metering Cost Benefit Analysis. Garston, UK. Available online at

<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7951aded915d0422067657/5462-district-heating-heat-metering-cost-benefit-anal.pdf>, checked on 1/26/2024.

Rumpe, Bernhard (2012): Agile Modellierung mit UML. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Sassenberg, Thomas; Faber, Tobias; Bodungen, Benjamin von; Mantz, Reto (Eds.) (2020): Rechtshandbuch Industrie 4.0 und Internet of Things. Praxisfragen und Perspektiven der digitalen Zukunft. 2. Auflage. München: C.H. Beck; Vahlen.

Schmelzer, Hermann J.; Sesselmann, Wolfgang (2020): Geschäftsprozessmanagement in der Praxis. Kunden zufriedenstellen, Produktivität steigern, Wert erhöhen. 9., vollständig überarbeitete Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary).

Schrammel, Harald; Binder, Jakob (2018): Effiziente Rücklauftemperatursenkung. Methoden und Umsetzungsbeispiele Zwischenergebnisse aus dem Projekt T2LowEx. AEE – Institut für Nachhaltige Technologien. Available online at [https://www.ait.ac.at/fileadmin/mc/energy/downloads/News\\_and\\_Events/2018\\_11\\_29\\_4FWK/C1\\_Effiziente\\_Ruecklauftemperatursenkung\\_Methoden\\_Umsetzungsbeispiele\\_SCHRAMMEL\\_FINAL.pdf](https://www.ait.ac.at/fileadmin/mc/energy/downloads/News_and_Events/2018_11_29_4FWK/C1_Effiziente_Ruecklauftemperatursenkung_Methoden_Umsetzungsbeispiele_SCHRAMMEL_FINAL.pdf), checked on 1/26/2024.

Simitis, Spiros; Hornung, Gerrit; Spiecker Döhmman, Indra (Eds.) (2019): Datenschutzrecht. DSGVO mit BDSG. 1. Auflage. Baden-Baden: Nomos (NomosKommentar).

Statistisches Bundesamt Deutschland (2022): GENESIS-Online [Datenbank]. Available online at <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>, checked on 3/7/2024.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022): Statistisches Landesamt Baden-Württemberg [Datenbank]. Available online at <https://www.statistik-bw.de/>, checked on 3/7/2024.

Stocker, Thomas (2014): Sicherheit in Geschäftsprozessen. Dissertation. Universität, Freiburg.

tagesschau.de (2023): 100.000 Gebäude jährlich sollen ans Wärmenetz: tagesschau.de. Available online at <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/fernwaermegipfel-100.html>, checked on 4/15/2024.

Technische Universität München - Lehrstuhl für Erneuerbare und Nachhaltige Energiesysteme (2021): UrbanHeatPro: GitHub. Available online at <https://github.com/tum-ens/UrbanHeatPro>.

Thiede, Malte; Fuerstenau, Daniel; Bezerra Barquet, Ana Paula (2018): How is process mining technology used by organizations? A systematic literature review of empirical studies. In *BPMJ* 24 (4), pp. 900–922. DOI: 10.1108/BPMJ-06-2017-0148.

UnivDatos Market Insights (2023): Digitale Transformation im Energiemarkt: Aktuelle Analyse und Prognose (2022-2028). Available online at <https://univdatos.com/de/report/digital-transformation-in-energy-market/>, checked on 3/6/2024.

Universität der Künste Berlin - Fachgebiet Versorgungsplanung und Versorgungstechnik (2021): BuildingSystems: GitHub. Available online at <https://github.com/UdK-VPT/Building-Systems>.

Urbansky, Frank (2020a): Smart-Meter-Rollout - was bringt es der Wohnungswirtschaft? In *Die Wohnungswirtschaft* (04), pp. 26–30. Available online at <https://www.haufe.de/download/die-wohnungswirtschaft-ausgabe-42020-wohnungswirtschaft-512864.pdf>, checked on 3/6/2024.

Urbansky, Frank (2020b): Was ist Smart Metering? In *Die Wohnungswirtschaft* (03). Available online at [https://www.haufe.de/immobilien/wohnungswirtschaft/smart-metering\\_260\\_511532.html](https://www.haufe.de/immobilien/wohnungswirtschaft/smart-metering_260_511532.html), checked on 3/6/2024.

van der Aalst, Wil; Adriansyah, Arya; Medeiros, Ana Karla Alves de; Arcieri, Franco; Baier, Thomas; Blickle, Tobias et al. (2012): Process Mining Manifesto. In Florian Daniel, Kamel Barkaoui, Schahram Dustdar (Eds.): *Business Process Management Workshops*, vol. 99. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Business Information Processing), pp. 169–194.

van der Aalst, Wil M. P.; Reijers, Hajo A.; Song, Minseok (2005): Discovering Social Networks from Event Logs. In *Comput Supported Coop Work* 14 (6), pp. 549–593. DOI: 10.1007/s10606-005-9005-9.

van Dongen, B. F.; Alves de Medeiros, A. K.; Wen, L. (2009): Process Mining: Overview and Outlook of Petri Net Discovery Algorithms. In Kurt Jensen, Wil M. P. van der Aalst (Eds.): *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency II*, vol. 5460. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Computer Science), pp. 225–242.

van Oevelen, Tijs; Vanhoudt, Dirk; Salenbien, Robbe (2018): Evaluation of the return temperature reduction potential of optimized substation control. In *Energy Procedia* 149, pp. 206–215. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.08.185.

VDI-Richtlinie 3807, 2013: Verbrauchskennwerte für Gebäude.

Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2012): Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen: Grundlagen und Kostenberechnung. Düsseldorf, Deutschland: VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG) (91.040.01) (2067).



- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2013): Verbrauchskennwerte für Gebäude: Grundlagen. Düsseldorf, Deutschland: VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG) (91.140.01) (3807).
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2017): VDI-Berichte 2303. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2021): Referenzlastprofile von Wohngebäuden für Strom, Heizung und Trinkwarmwasser sowie Referenzerzeugungsprofile für Fotovoltaikanlagen. Düsseldorf, Deutschland: VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU) (27.010, 91.120.10) (4655).
- Wendel, Frank; Blesl, Markus (2020): Die Transformation von Wärmenetzen im Fokus von Wissenschaft und Wirtschaft. In *EuroHeat & Power 2020* (4-5), pp. 40–45.
- Wendel, Frank; Blesl, Markus; Brodecki, Lukasz; Hufendiek, Kai (2022a): Expansion or de-commission? - Transformation of existing district heating networks by reducing temperature levels in a cost-optimum network design. In *Applied Energy* 310, p. 118494. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.118494.
- Wendel, Frank; Blesl, Markus; Huther, Heiko (2022b): Ausgangsbasis und Ziele der Transformation von Wärmenetzen. In *EuroHeat & Power 2022* (9), pp. 46–50.
- Wendel, Frank; Hurst, Georg; Blesl, Markus (2021): Ein modularer Ansatz zur Bestimmung von DSM-Potentialen für Raumwärme und Trinkwarmwasser von Wohngebäuden auf der Grundlage von Gebäudetypologien. In : 12. Internationale Energiewirtschaftstagung (IEWT). 12. Internationale Energiewirtschaftstagung (IEWT). Wien, Österreich, 08.09.2021-10.09.2021. Technische Universität Wien. Available online at [https://www.ier.uni-stuttgart.de/institut/aktuelles/downloads/Ein-modularer-Ansatz-zur-Bestimmung-von-DSM-Potentialen\\_paper.pdf](https://www.ier.uni-stuttgart.de/institut/aktuelles/downloads/Ein-modularer-Ansatz-zur-Bestimmung-von-DSM-Potentialen_paper.pdf), checked on 3/25/2024.
- Wiltshire, Robin (Ed.) (2015): Advanced district heating and cooling (dhc) systems. 1st edition. Waltham MA: Elsevier.
- Wolff, Dieter; Jagnow, Kati: Untersuchung von Nah- und Fernwärmenetzen: Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung. Braunschweig, Deutschland. Available online at <https://www.freie-waerme.de/fileadmin/Freie-Waerme-DE/Downloads/Studie-Untersuchung-Nah-und-Fernwaerme.pdf>, checked on 3/6/2024.
- Wolisz, Henryk Stefan (2018): Transient Thermal Comfort Constraints for Model Predictive Heating Control. 1. Auflage. Aachen, Deutschland: RWTH Aachen University. Available online at <https://publications.rwth-aachen.de/record/749727/files/749727.pdf>.

Womack, James P. (2007): *The Machine That Changed the World. The Story of Lean Production*. With assistance of Daniel T. Jones, Daniel Roos. New York: Free Press. Available online at <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=4935061>.