

# Ein multienergetischer Systemregler für die bidirektionale Anbindung an Wärmenetze der Zukunft

Paul Seidel<sup>1</sup>, Martin Altenburger<sup>2</sup>, Joachim Seifert<sup>3</sup>

<sup>1</sup>TU Dresden/Institut für Energietechnik/Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung, Helmholtzstr.14, D-01062 Dresden, +49 (0)351 / 463 34639, [paul.seidel@tu-dresden.de](mailto:paul.seidel@tu-dresden.de), <https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/>

<sup>2</sup>TU Berlin/Hermann Rietschel Institut/ Energie, Komfort und Gesundheit in Gebäuden, Marchstr. 4, D-10587 Berlin, +49 30 314-77059, [martin.altenburger@tu-berlin.de](mailto:martin.altenburger@tu-berlin.de), <https://www.tu.berlin/hri>

<sup>3</sup>TU Berlin / Hermann Rietschel Institut & TU Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung, Helmholtzstr.14, D-01062 Dresden, +49 (0)351 / 463 34909, [joachim.seifert@tu-dresden.de](mailto:joachim.seifert@tu-dresden.de), <https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/>

**Kurzfassung:** Im urbanen Raum stellen hydraulische Netze zur Wärme- und Kälteversorgung mit einer zentralen energetischen Wandlungseinheit eine erprobte Technologie dar. Die verstärkte dezentrale Einbindung von regenerativen Quellen in diese zentralen Systeme wird angestrebt, ist jedoch technisch anspruchsvoll und erfordert neue Lösungen in Bezug auf eine ganzheitlich optimierte und skalierbare Steuerbarkeit der dezentralen Anlagen. In diesem thematischen Kontext steht die Entwicklung des multienergetischen Systemreglers für die bidirektionale Anbindung von dezentralen Anlagen an Wärmenetze der Zukunft. Dies beinhaltet digitale Lösungen, die es ermöglichen, mit geringem Aufwand ein lokales Energiemanagementsystem zu realisieren. Das multienergetische System besteht hierbei aus einem Wärmenetz (als Ziel ein Wärmenetz der 5. Generation) und vielen dezentralen, möglichst regenerativen, Energiewandlungseinheiten. Das Wärmenetz dient hierbei als ein thermischer Ringspeicher innerhalb des urbanen Raums. Im vorliegenden Beitrag wird hierzu die entwickelte Kommunikationsstruktur unter Verwendung eines eindeutigen sowie flexiblen Datenmodells, welches die Übertragung und Verarbeitung von Messdaten sowie Steuersignalen unterschiedlicher energetischer Wandlungseinheiten ermöglicht, vorgestellt. Des Weiteren werden der Entwicklungsstand des multienergetischen Systemreglers aufgezeigt und am Beispiel einer Fahrplanermittlung das gebäudespezifische Flexibilitätspotential erläutert. Abschließend werden erste Ergebnisse aus den Laboruntersuchungen eines Prototyps in einem Hardware-in-the-Loop(HiL)-Versuchsstand vorgestellt.

**Keywords:** Wärmenetze, dezentrale Einspeisung, Systemregler, bidirektionale Wärmeübergabestation, Datenmodelle, Flexibilitätspotential, N5GEH

## 1 Einleitung

Besonders im städtischen Kontext stellen hydraulische Netze zur Wärme- und Kälteversorgung mit einer zentralen energetischen Wandlungseinheit eine erprobte Technologie dar. Die Einbindung von regenerativen Quellen in diese zentralen Systeme wird angestrebt, ist jedoch technisch anspruchsvoll<sup>1</sup>. Gleichzeitig existieren bei Photovoltaik (PV)-Systemen Hemmnisse in Bezug auf die Auslastung der elektrischen Verteilnetze, obwohl im urbanen Raum ausreichend Dach- und theoretisch auch Fassadenflächen zur Verfügung stehen. Des Weiteren fehlen Anreize für den Ausbau dieser Systeme, sowie deren wirtschaftliche und sektorenübergreifende Nutzung. Mit dem in Deutschland im November 2023 verabschiedeten „Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze“ soll eine Klimaneutralität der deutschen Wärmenetze bis zum Jahre 2045 erreicht und damit die Einbindung alternativer Wärmequellen in Wärmenetze forciert werden. Die genannte Kombination der beiden Technologien Wärmenetz und PV sowie deren ganzheitliche Betrachtung weist in diesem Kontext ein hohes Potential zur Ressourcenschonung sowie sektorenübergreifenden Energiebereitstellung und -nutzung auf. Hierdurch würde ein höherer Mehrwert für die ganzheitliche Energieversorgung und -wende hin zu einem Energiesystem der Zukunft geschaffen werden.

In diesem Zusammenhang werden im Forschungsprojekt N5GEH:E<sup>3</sup> [1] anlagentechnische sowie digitale Lösungen entwickelt, die es ermöglichen, ein lokales Energiemanagementsystem zu realisieren, mit dem die energetische Versorgung über ein multienergetisches System und geringem Aufwand umsetzbar ist. Das multienergetische System besteht hierbei aus einem Wärmenetz, vielen dezentralen Energiewandlungseinheiten unter Berücksichtigung einer hohen Einbindung von regenerativen Energien. Das Wärmenetz dient hierbei als ein thermischer Ringspeicher innerhalb des urbanen Raums.

## 2 Methodik

Den zentralen Bestandteil des multienergetischen Systemkonzepts stellt eine bidirektionale Wärmeübergabestation dar. Diese dient als Schnittstelle zwischen Liegenschaft und Ringspeicher, in dem sie den Ein- und Ausspeisepunkt von Wärme darstellt. Die Station muss dabei kommunikations- und informationstechnisch so ausgestattet sein, dass sie eine Verknüpfung der Energiemanagementsysteme (EMS) des Gebäudes und des übergeordneten regionalen hydraulischen Netzbetreibers ermöglicht. Das System wird möglichst offen für die Einbindung sekundärer Energiequellen und Anlagenkomponenten aufgebaut und am Beispiel von drei Anwendungsfällen erprobt. Diese sind die Kombination eines zentralen Wärmenetzes (als rotierender Ringspeicher) mit den dezentralen Erzeugungssystemen PV, Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)/ Brennstoffzellen und Wärmepumpen.

Neben dem Bau eines Prototyps der bidirektionalen Wärmeübergabestation für die drei Anwendungsfälle, sowie der Erstellung der zugehörigen Hydraulikschemas (R&I), lag der

---

<sup>1</sup> Neben den techn. Herausforderungen existieren regulatorische Hürden, die jedoch nicht Gegenstand dieses Beitrages sein sollen.

Schwerpunkt der Entwicklung auf einem allgemeingültigen Datenmodell sowie den notwendigen Schnittstellen der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), siehe Abb. 1. Hierbei wird auf der open-source zugänglichen N5GEH-Plattform aufgesetzt, indem die jeweiligen Algorithmen zur Prognose und Fahrplanerstellung als Services entwickelt werden.

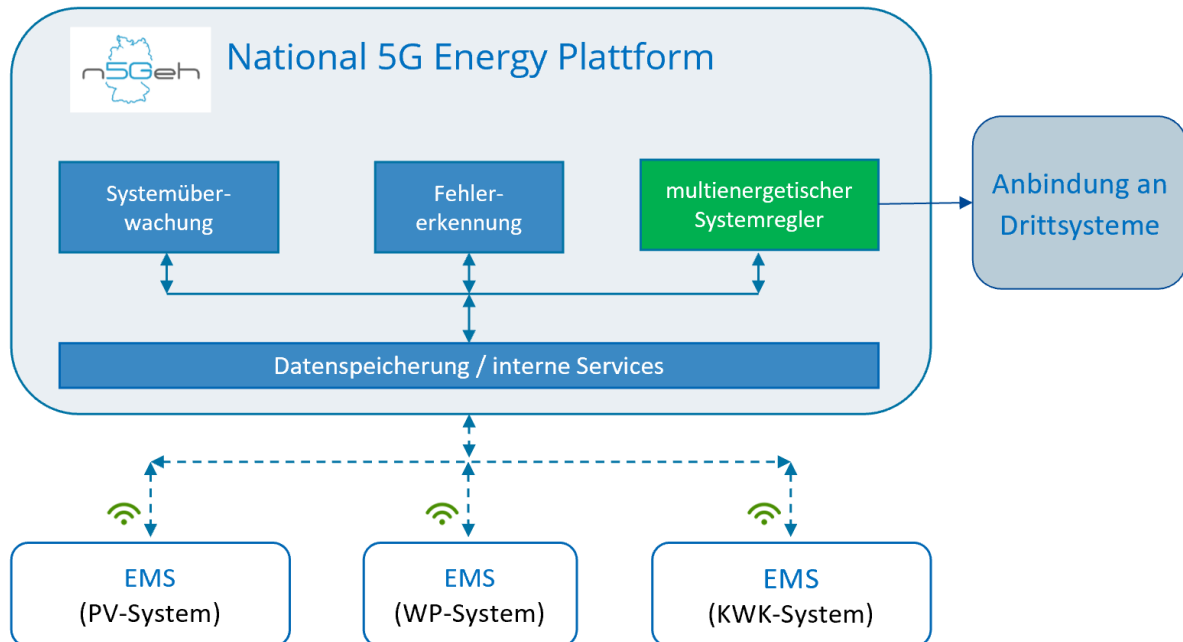


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kommunikationsstruktur mit der N5GEH-Plattform [1]

Kernstück des multienergetischen Systemreglers ist hierbei die Ermittlung des jeweiligen Flexibilitätspotentials [2, 3] der dezentralen energetischen Wandlungseinheiten. Dieses beschreibt für einen bestimmten Prognosehorizont den in Bezug auf die Wärmebereitstellung minimal und maximal möglichen Betrieb der Anlage als Grundlage für die Fahrplanermittlung. Auf diese Weise ist es möglich, den Betrieb einer energetischen Wandlungseinheit so zu planen, dass dezentral möglichst viel regenerative Energie genutzt bzw. in das Wärmenetz eingespeist und dabei die Auslastung der energetischen Netze berücksichtigt werden kann. Im Nachfolgenden werden die genannten Teilaspekte zur Entwicklung des multienergetischen Systemreglers erläutert.

### 3 Der multienergetische Systemregler

Das Konzept des multienergetischen Systemreglers basiert auf einem modularen Aufbau, sodass sich die Einbindung von unterschiedlichen Anwendungsfällen, wie z.B. Wärmepumpen oder KWK-Anlagen, innerhalb der N5GEH-Plattform möglichst einfach und in ihrem Umfang skalierbar umsetzen lassen. Hierbei sieht das entwickelte Konzept eine einheitliche Basisstruktur für den Systemregler vor. Folgende Aufgaben werden in der Grundvariante umgesetzt:

- Datenerfassung
- Datenspeicherung in einer Datenbank

- Prognose von Bedarfen und Verbräuchen
- Betriebsoptimierung und Fahrplanerstellung
- Ansteuerung der jeweiligen Anlage

Ergänzt wird dies durch zusätzliche Funktionen zur Konfiguration und Handhabung sowie zum Update des Systemreglers mit dem Modul Service Manager.

Für die Umsetzung dieses Konzeptes sind die Erstellung einer Kommunikationsstruktur sowie eines Datenmodells, inklusive der notwendigen Software notwendig. Die Software umfasst Algorithmen zur Betriebsoptimierung und Prognose sowie Services zur Datenerfassung und Ansteuerung von Erzeugern, siehe Abb. 2.

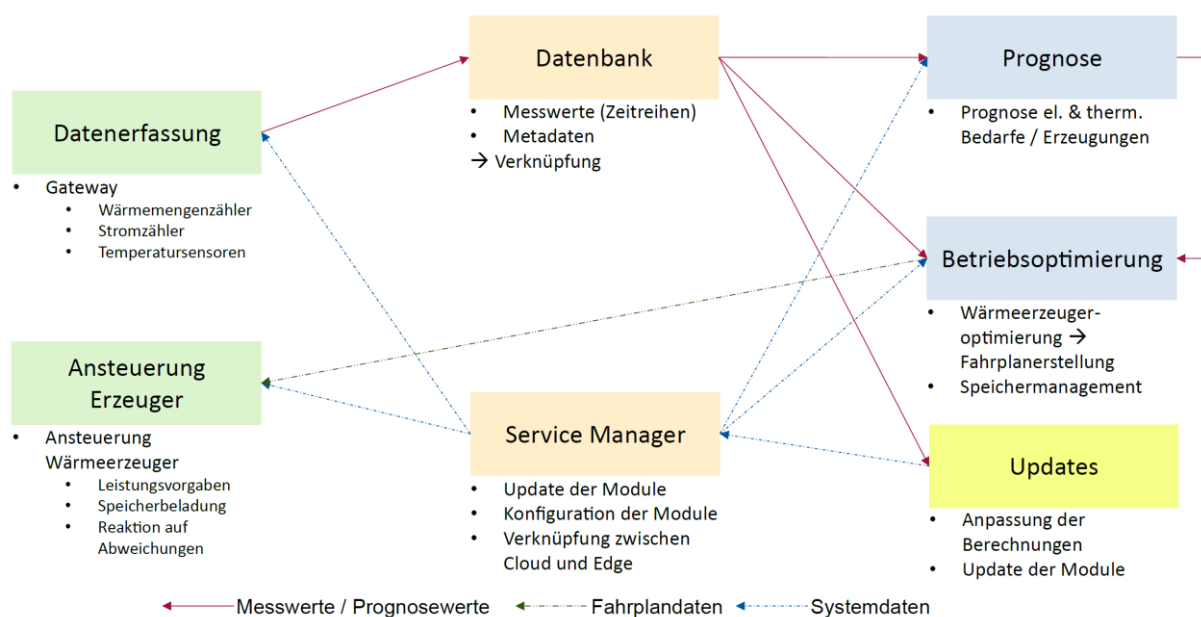


Abbildung 2: Überblick der einzelnen Funktionen und des Informationsaustauschs innerhalb des Systemreglers

### 3.1 Kommunikationsstruktur

Das Kommunikationskonzept beschreibt die Interaktion der einzelnen Komponenten, welche zur Steuerung der digitalen Wärmeübergabestation benötigt werden. Grundlegend wird hierbei auf den Strukturen und Basiselementen der N5GEH-Plattform [4] aufgebaut, welches das Framework FIWARE [5] verwendet. Das Framework ermöglicht grundlegend, dass neben Messdaten und Steuersignalen auch Datenreihen, wie Fahrpläne oder Prognosen zwischen der eigentlichen Anlage und der möglichen Steuerung über Komponenten in der Cloud (sogenannte IoT-Agents) der N5GEH-Plattform ausgetauscht werden können. Hierzu wird ein Datenmodell unter Berücksichtigung der Anforderungen seitens FIWARE genutzt. Das Datenmodell dient hierbei dem zielgerichteten Abspeichern bzw. Abrufen von Mess- und Steuerdaten, inklusive einer eindeutigen Zuordnung der jeweiligen Datenpunkte bei einer Übertragung zwischen mehreren Komponenten. In diesem Zusammenhang ist es notwendig festzulegen, wie die Daten erfasst, übertragen und gespeichert werden. Somit steht die

Entwicklung eines geeigneten skalierbaren Datenmodells in direktem Zusammenhang mit dem Aufbau sowie den Akteuren in der Kommunikationsstruktur.

Das gewählte Konzept zur Kommunikation und Steuerung gliedert sich in drei Ebenen, mit jeweils unterschiedlichen Funktionen, siehe Abb. 3:

- Geräteebene
- Gebäudeebene
- Quartiersebene

Auf der Geräteebene erfolgt die Kommunikation zwischen der lokalen Gebäudetechnik (Erzeuger, Verbraucher bzw. Gebäudeleittechnik) und einer lokalen Steuerbox mittels proprietärer Protokolle (digital, wie z.B. Modbus-RTU/TCP, M-Bus oder analog, wie z.B. 0-10 V). Die jeweiligen Datenpunkte beinhalten die Messgrößen hinsichtlich Temperatur, Volumenstrom und elektrischer Leistungsgrößen sowie Steuersignale.

Auf Gebäudeebene erfolgt die Kommunikation zwischen der lokalen Steuerbox und der N5GEH-Plattform mit den implementierten und modular erweiterbaren Funktionen zur lokalen Betriebsführung inklusive notwendiger Prognosen. Die N5GEH-Plattform fungiert hierbei als Schnittstelle für die Kommunikation zwischen der Betriebsführung und der Steuerbox im Gebäude. Darüber hinaus beinhaltet die Plattform eine Zeitreihendatenbank zur Datenspeicherung als zentrale Instanz zwischen den einzelnen Modulen. Der zu entwickelnde Service der lokalen Betriebsführung bezieht somit die Sensordaten über die N5GEH-Plattform und sendet ermittelte Steuersignale auch über diese an die jeweilige lokale Steuerbox. Auf diese Weise ist die Kommunikationsstruktur skalierbar und für eine große Anzahl an Gebäuden bzw. Anlagen einsetzbar.

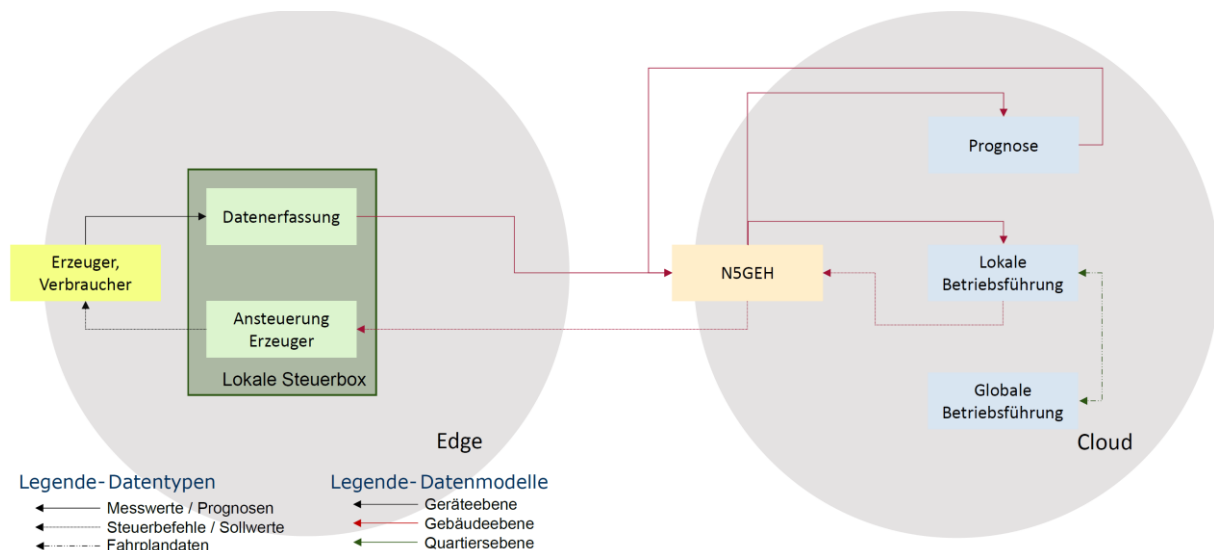


Abbildung 3: Darstellung des IoT-Systemkonzeptes unter Berücksichtigung des N5GEH-Plattform-Standards

Auf der Quartiersebene, welche auch als übergeordneten Steuerungsebene bezeichnet werden kann, erfolgt die Kommunikation zwischen der lokalen Betriebsführung der Gebäude mit dem Service für die globale Betriebsführung auf Quartiersebene. Diese Schnittstelle ist vergleichbar mit der Steuerung in einem virtuellen Kraftwerk, vgl. [2, 3]. Als Kriterium für die

mögliche Steuerung der jeweiligen Anlagen wird hierbei das jeweilige Flexibilitätspotential aus der lokalen Betriebsführung übermittelt. Dieses beinhaltet den aktuellen energetischen Gebäudeversorgungszustand sowie dessen Bereitstellungspotential der Betriebsflexibilität (Trendband als Fahrplankorridor). Auf Grundlage dieser Information ist es für die globale Betriebsführung möglich einen Fahrplan zu ermitteln, bzw. diesen zu vermarkten. Anschließend wird der Fahrplan in Steuersignale für die einzelnen lokalen Betriebsführungen und die lokalen Steuerboxen umgesetzt. Für die Umsetzung dieses beschriebenen Konzeptes für den multienergetischen Systemregler sind viele verschiedene Komponenten notwendig. Nachfolgend werden in Tab. 1 die Haupt-komponenten und deren Funktionen kurz dargestellt:

Tabelle 1: Darstellung der Hauptkomponenten des Systemkonzeptes

|   |  |
|---|--|
| Geräte der technischen Gebäude-ausrüstung | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Steuerbare Wärmeerzeuger bzw. -verbraucher inkl. der notwendigen Anlagentechnik zur Wärmeverteilung und speicherung</li> <li>• Kommunikation erfolgt über proprietäre Protokolle und Geräteschnittstellen mit der lokalen Steuerbox</li> </ul>  |
| Lokale Steuerbox                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellung der lokalen Kommunikationspfade in der Gebäudeebene mit einheitlicher Struktur</li> <li>• Datenaggregation vom Datenmodell auf Geräteebene zur Gebäudeebene,</li> <li>• Umsetzung der Steuerbefehle aus der Betriebsführung</li> <li>• Sicherstellung einer Betriebsführung bei Kommunikationsausfall</li> </ul>   |
| N5GEH-Plattform-Services für:             |  |
| Prognosen                                 | <p>Automatisierte kontinuierliche Ermittlung von Bedarfsprognosen für:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• den thermischen Bedarf für die Heizung</li> <li>• den thermischen Bedarf für Trinkwarmwasser</li> <li>• die Bereitstellung elektrischer Energie aus PV</li> <li>• den elektrischen Bedarf (Haushaltsstrom)</li> </ul> <p>Hierfür werden Regressionsverfahren, sowie Simulationsergebnisse von digitalen Gebäudezwillingen genutzt (Prognosehorizont <math>\tau = 24</math> h).</p>   |
| lokale Betriebsführung                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kernelement multienergetischen Systemreglers</li> <li>• Verknüpfung der lokalen Betriebsoptimierung mit Einbindung externer Steuersignale einer übergeordneten Steuerung</li> <li>• Berücksichtigung unterschiedliche Zielgrößen (abhängig vom Anwendungsfall) wie z.B.:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Elektrische Eigenbedarfsoptimierung möglicher PV-Erträge bzw. der KWK</li> <li>○ Minimierung der thermischen Verluste</li> <li>○ Minimierung von elektrischen &amp; thermischen Lastspitzen bei der Einspeisung bzw. dem Bezug</li> </ul> </li> </ul> |

|                         |   |
|-------------------------|---|
|                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung eines lokalen Flexibilitätpotentials für eine übergeordnete Betriebsführung auf Quartiersebene (Trendband als Fahrplankorridor) [2, 3]</li> </ul>   |
| globale Betriebsführung | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermöglicht übergeordnete Sektorenkopplung zwischen Strom-, Wärme- und ggf. Gasmarkt</li> <li>• Datenaggregation der jeweiligen lokalen Informationen für zentrale Betriebsführung zur Erschließung neuer Anwendungsfälle auf regionaler Ebene wie z.B.:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verstärkte Einbindung regenerativer Energien in Wärmenetze im Kontext einer sicheren planbaren Betriebsführung</li> <li>○ Stabilisierung elektrischer Netze durch lokale Nutzung der Erzeugungs- und Verbrauchskapazitäten</li> </ul> </li> </ul> |

### 3.2 Funktionsschema

Der Systemregler setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen, deren Funktionen bzw. Ergebnisse aufeinander aufbauen. Hierdurch wird eine optimierte Betriebsweise der zu steuernden Anlage zu ermöglicht. Grundsätzlich erfolgt die Regelung zyklisch, sodass fortlaufend neue Sollwerte der Stellgrößen ermittelt werden. Zu Beginn erfolgt hierbei die Erfassung der jeweils benötigten Daten (wie u.a. Messwerte aus der Anlage, Prognosedaten für zukünftige Systemzustände oder Steuersignale aus einer übergeordneten Steuerung<sup>2</sup>) und anschließend die Datenaggregation des Energietrendbandes der jeweiligen energetischen Bedarfe. Dies stellt hinsichtlich der nachfolgenden Algorithmen die initialen Randbedingungen zur Betriebsflexibilität dar. Auf Basis dieser Daten kann daraufhin mit einem Steuerungsalgorithmus ein anwendungsbezogener optimaler Fahrplan ermittelt werden. In der Abb. 4 ist dieser beschriebene Ablaufplan mit unterschiedlichen Eingangs- und Ausgangsparameter schematisch dargestellt.

Dieser beschriebenen Ablauf ist das zentrale Element des Systemreglers für die lokale Optimierung des angebundenen Energiesystems. Die Ausgangsdaten werden an eine übergeordnete Instanz, wie z.B. die N5GEH-Plattform, weitergeleitet. Dort werden sie für die Umsetzung der notwendigen Berechnungen herangezogen, wobei die Daten Informationen hinsichtlich des möglichen Energieaustausches mit dem vorgelagerten Bilanzbereich sowie aktueller Istwerte enthalten. Nach Abschluss werden die Sollwerte wieder an den lokalen Controller übergeben und dort umgesetzt. Insgesamt verbindet diese Struktur die Ansätze einer zentralen Regelung mit einem dezentralen Ansatz, sodass der Systemregler somit ein hybrides System darstellt.

---

<sup>2</sup> Die übergeordnete Steuerung ist hierbei beliebig und kann, je nach Einsatzgebiet des Systemreglers, eine elektrische Netz- bzw. Quartierssteuerung oder die Steuerung eines Wärmenetzes sein.

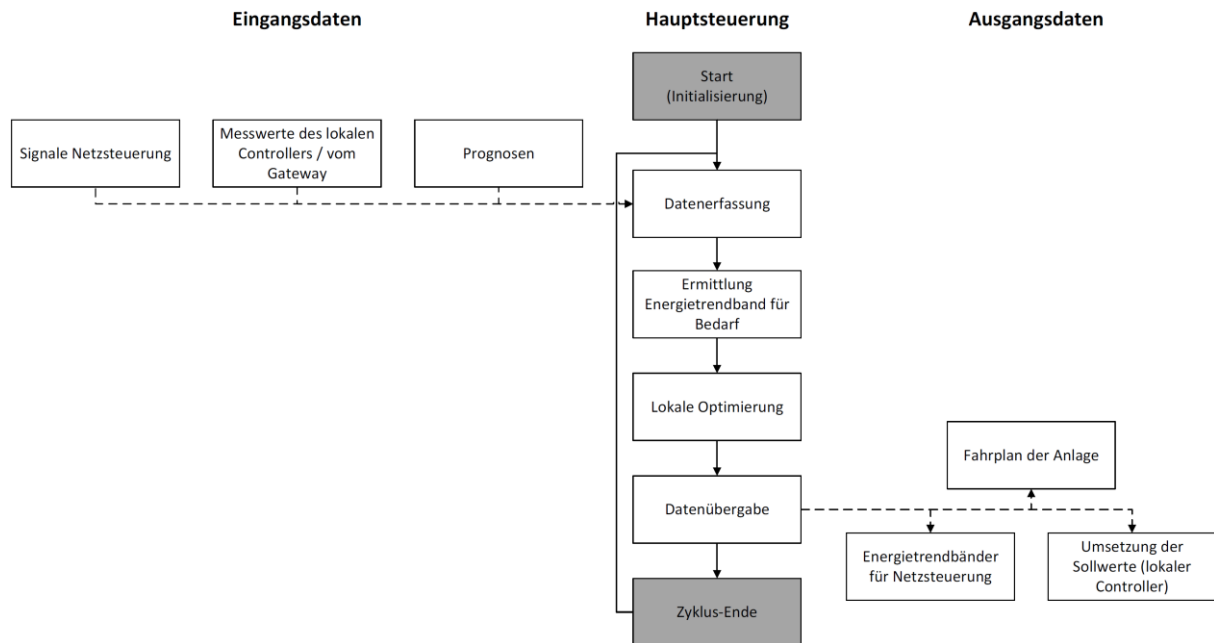


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Ablaufplan des lokalen Regelalgorithmus

In Zusammenhang mit einem Prototyp einer digitalen Wärmeübergabestation und der Verknüpfung des entwickelten Reglers mit einer Simulationsumgebung werden die einzelnen Komponenten im Software-in-the-Loop(SiL)- sowie im Hardware-in-the-Loop(HiL)-Verfahren stetig weiterentwickelt.

### 3.3 Lokale Betriebsführung

Im nachfolgenden wird die lokale Optimierung des Energiesystems und die Ermittlung des Energietrendbands näher vorgestellt. Das Ziel der Betriebsführung ist eine energetisch, ökonomisch und ökologisch sinnvolle Versorgung der Liegenschaft unter Berücksichtigung der jeweils notwendigen Randbedingungen, wie energetischen Bilanzen oder technischen Randbedingungen der Anlagen. Zentrale Rahmenbedingung bei Fahrplanerstellung sowie dessen Optimierung ist die vorhandene Betriebsflexibilität, welche den aktuellen Versorgungszustand der Liegenschaft sowie den Verlauf des prognostizierten thermischen Bedarfs berücksichtigt. Diese wird mittels eines Energietrendbandes charakterisiert, dessen Herleitung inklusive der Berücksichtigung unterschiedlicher Restriktionen umfangreich durch Seidel [2] dokumentiert wurde. In der Abb. 5 ist das Vorgehen bei der Ermittlung des Energietrendbandes schematisch in vier Schritten dargestellt.



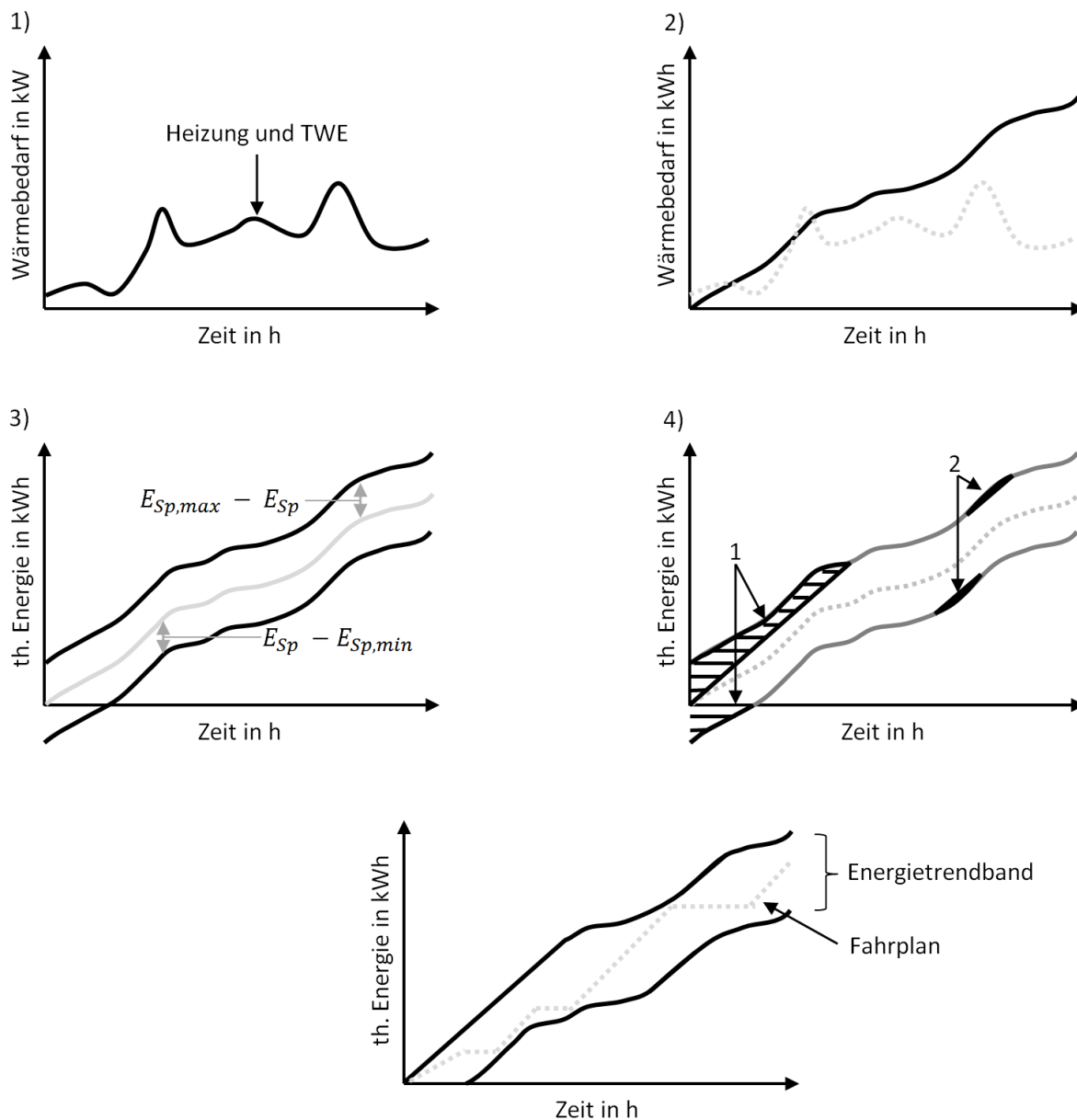


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Ermittlung des Energietrendbandes, nach [3]

Je nach Steuergröße kann ein Energietrendband für unterschiedliche thermische oder elektrische Kenngrößen erstellt werden. Im ersten Schritt erfolgt die Wärmebedarfsprognose im zeitlichen Verlauf für einen definierten Zeitraum. Daraufhin wird der Tagesbedarf als Integral über der Zeit des Prognosehorizonts ermittelt. Im dritten Schritt erfolgt mit der Berücksichtigung des aktuellen Speicherladezustandes  $E_{Sp}$  die Ermittlung des theoretischen Flexibilitätspotentials durch die zusätzlichen Grenzwerte zum maximalen/minimalen Speicher-

energiegehalt<sup>3</sup>  $E_{Sp,max}/E_{Sp,min}$ . Im vierten Schritt erfolgt die Berücksichtigung der Restriktion seitens der technischen Anlage zur Wärmebereitstellung, wie z.B. zulässiges Taktverhalten, Anfahrgradienten (1) oder die maximale thermische Leistung (2) des Wärmeerzeugers. Auf diese Weise wird durch das Energietrendband die Flexibilität einer Anlage im Betrieb charakterisiert, welche für die Erstellung eines Fahrplans je nach Optimierungsgröße als einzuhaltende Randbedingung notwendig ist. Auf Basis dieser Optimierung repräsentiert das Energietrendband somit eine Flexibilität der Anlage gegenüber einer übergeordneten Netz- bzw. Quartierssteuerung und damit z.B. den geplanten, minimalen und maximalen Energiebezug von der übergeordneten Ebene. Diese können jeweils aus dem Systemzustand der geplanten Betriebsführung abgeleitet werden.

Die Fahrplanerstellung kann mittels unterschiedlicher mathematischer Verfahren erfolgen. In der aktuellen Entwicklungsphase werden folgende Ansätze erprobt:

- Regelbasierter Ansatz  
Die Ermittlung eines Fahrplans erfolgt auf Basis von definierten Regeln und Einsatzbedingungen. Dieser Ansatz ist leicht umsetzbar und es können schnell Ergebnisse ermittelt werden. Er bietet jedoch nur eine geringe Flexibilität und ist anfällig für Fehler.
- Modellprädiktive Ansatz  
Bei diesem Verfahren erfolgt die Ermittlung eines Fahrplans mit dem Ansatz der modellprädiktiven Regelung (MPC) zur kontinuierlichen Optimierung des Anlageneinsatzes für einen bestimmten zeitlichen Horizont. Dabei ist es zusätzlich möglich verschiedene Optimierungsziele mit Hilfe einer Kostenfunktion einer mathematischen Optimierung flexibel einzubeziehen.

Aufgrund der Variabilität der verschiedenen Anwendungsfälle sowie deren Anforderungen an den Systemregler empfiehlt sich der Einsatz einer flexiblen erfahrungsorientierten Steuerung, sodass der modellprädiktive Ansatz angewendet wird.

## 4 Prototyp und Erprobung im Labor

Für die Entwicklung des multienergetischen Systemreglers sowie um einen ganzheitlichen Test des Systems zu ermöglichen ist eine praktische Erprobung im Labor sowie in einem Feldtest notwendig. Auf Grundlage der im Projekt betrachteten Anwendungsfälle und deren technischen Anforderungen wurde hierzu eine bidirektionale Wärmeübergabestation für die Erprobung im Labor konzipiert. Hydraulisch ist die Übergabestation mit allen notwendigen Systemkomponenten, Sensoren und Aktoren ausgestattet. Um möglichst alle regelungstechnischen Randbedingungen erproben zu können, wurde diese Station auf eine thermische Leistung von  $\dot{Q}_{th} = 10 \text{ kW}$  ausgelegt. Hierdurch wird gewährleistet, dass unterschiedliche Wärmequellen und -senken angebunden werden können. Die stetige Entwicklung der Regler-Software bezieht sich dabei zum einen auf die interne Steuerung der

---

<sup>3</sup> Der maximale bzw. minimale Speicherenergiegehalt repräsentieren den Energiegehalt des Speichers bei maximaler Belade- bzw. minimaler Entladetemperatur in Bezug zu einer Referenztemperatur.

Übergabestation und zum anderen auf die Algorithmen der lokalen Betriebsführung. Die Kommunikation zwischen der lokalen Steuerbox und dem Regler erfolgt über Modbus. Parallel dazu wird während der Laboruntersuchungen die Kommunikation zwischen der Übergabestation und dem Wärmenetzbetreiber aufgebaut sowie auf Sicherheit und Zuverlässigkeit getestet.

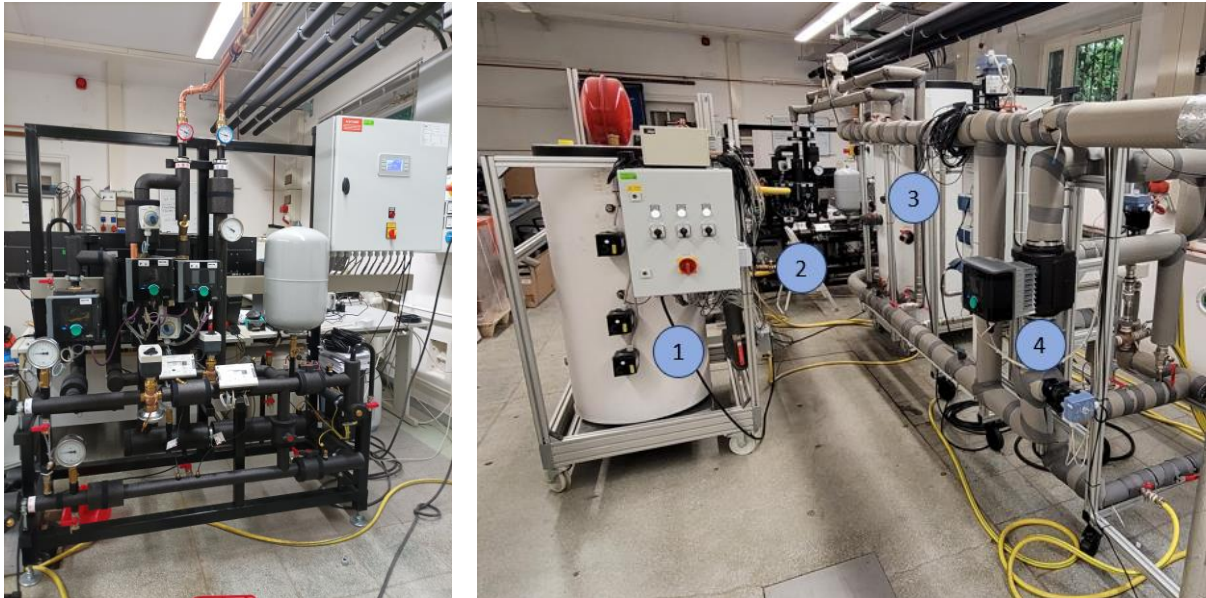


Abbildung 6: links: Prototyp der bidirektionalen Wärmeübergabestation; rechts: Versuchsstand bestehend aus Wärmenetz-Emulator (1), bidirektionaler Wärmeübergabestation (2), Pufferspeicher (3) und Gebäude-Emulator (4)

Die Abb. 6 zeigt den umgesetzten Versuchsstand zur Erprobung des Systems. Dargestellt sind die bidirektionale Wärmeübergabestation sowie der modulare Versuchsstand, mit welchem ein Wärmenetz mit einer maximalen Vorlauftemperatur von  $\vartheta_{VL,max} = 80\text{ °C}$  abgebildet werden kann. Gebäudeseitig ist ein thermischer Pufferspeicher mit einem Volumen von  $V = 200\text{ l}$  und ein Hydraulikmodul für die Emulation des thermischen Verbrauchs eines Gebäudes installiert. Mit dem umgesetzten Labor- und Kommunikationskonzept ist es möglich den multienergetischen Systemregler in Kombination mit der bidirektionalen Wärmeübergabestation im HiL- sowie SiL-Verfahren umfangreich zu erproben und weiterzuentwickeln.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Ein wesentliches Ergebnis des derzeitigen Projektstand ist die entwickelte und umgesetzte Kommunikationsstruktur unter Verwendung eines eindeutigen und skalierbaren Datenmodells, welches die Übertragung und Verarbeitung von Messdaten sowie Steuersignalen unterschiedlicher energetischer Wandlungseinheiten ermöglicht. Des Weiteren wurde die für den multienergetischen Systemreglers notwendige Fahrplanermittlung auf Basis des Flexibilitätspotentials erarbeitet, welche anhand eines Anwendungsfalles (Energietrendband), inklusive der jeweiligen Randbedingungen des betrachteten Gebäudes vorgestellt wurde.

Der multienergetische Systemregler nutzt einen modularen Ansatz, sodass verschiedene Algorithmen für die energetischen Bedarfs- und Erzeugungsprognosen in Abhängigkeit des jeweiligen Einsatzfalles nutzbar sind. Grundsätzliche Randbedingung bleibt dabei die hybride Lösung aus dezentraler Regelung an den Wandlungseinheiten sowie zentraler Optimierung in der übergeordneten Steuerungseinheit.

Parallel zur theoretischen Entwicklung des Systemreglers sowie der Kommunikationsstruktur erfolgte der Aufbau eines modularen Laborversuchsstandes. Zum aktuellen Zeitpunkt konnte der Versuchsstand in Betrieb genommen und erste Funktionstests durchgeführt werden. Die nächsten Schritte sehen eine Verknüpfung der lokalen Betriebsführung mit der internen Regelung der Übergabestation und weitere messtechnischen Untersuchungen der einzelnen Betriebsszenarien bei unterschiedlichen Randbedingungen vor. Des Weiteren erfolgt der Test der bisher erstellten Kommunikationsinfrastruktur. In diesem Zusammenhang liegt ein Schwerpunkt der Arbeiten auf der Umsetzung und dem Test der einzelnen Services zum multienergetischen Systemregler, indem der dieser mit einer Simulation und der realen Übergabestation gekoppelt wird.

## 6 Referenzen

- [1] N5GEH, "E3 - Emissionsarme und energieeffiziente Energiebereitstellung im urbanen Raum unter Nutzung neuester, intelligenter IKT-Strukturen", <https://n5geh.de/e3/> (Aufgerufen 24.Oktober 2023).
- [2] Seifert J., Werner J., Seidel P. et.al., Praxiserprobung des Regionalen virtuellen Kraftwerks auf Basis der Mikro-KWK-Technologie, ISBN: 978-3-8007-4630-9, TU Dresden, 2018.
- [3] Seidel P., Ein Beitrag zur energetischen Analyse von vernetzten Energiesystemen am Beispiel von Klein-KWK-Anlagen (virtueller Verbund). Dissertation. 2018. TU Dresden, ISBN: 978-3-96143-087-1
- [4] N5GEH: N5GEH - National 5G Energy Hub. Internet, 06 2023. – <https://n5geh.de/>
- [5] FIWARE Foundation e.V.: FIWARE/tutorials.Linked-Data. <https://github.com/Fiware/tutorials.Linked-Data>
- [6] RWTH Aachen University, E.ON Energy Research Center, Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate: *N5GEH/n5geh.services.controller*. <https://github.com/N5GEH/n5geh.services.controller>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03EN3058C gefördert.