

Ein multienergetischer Systemregler für die bidirektionale Anbindung an Wärmenetze der Zukunft

Paul Seidel / Martin Altenburger / Joachim Seifert

TU Dresden / Institut für Energietechnik / Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung

Graz, 15.02.2024

Einleitung und Hintergrund

Hintergrund:

- zentral versorgte hydraulische Netze zur Wärme- und Kälteversorgung stellen erprobte Technologie dar
- Einbindung regenerativer Systeme bisher nur unzureichend möglich
- parallel existieren Hemmnisse bei Photovoltaik (PV) – Problem: Auslastung der elektrischen Verteilnetze
- kaum Anreize zum Ausbau von sektorenübergreifenden Systemen

- November 2023: „Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze“
 - Klimaneutralität der deutschen Wärmenetze bis 2045
 - forcierte Einbindung alternativer Wärmequellen in Wärmenetze

Forschungsgegenstand:

- multienergetisches System bestehend aus
 - einem Wärmenetz als thermischer Ringspeicher (als Ziel ein Wärmenetz der 5. Generation) und
 - vielen dezentralen, möglichst regenerativen, Energiewandlungseinheiten
- Fokus: dezentrale Gebäudetechnik

Einleitung und Hintergrund

Idee / Innovation:

- Schaffung eines modularen Regelungskonzeptes für digitalisierte Wärmeübergabestation (**bidirektionaler Betrieb**)
- IKT-System zur **flexiblen Anbindung** von Wärmepumpen, BHKW und Brennstoffzellen
- Verbindung von PV-Systemen im Gebäude mit Fernwärmesystemen – **lokale CO₂ Neutralität**

Ziel:

- Erstellung eines multienergetischen Systemreglers
- skalierbares, einheitliches Datenmodell für Anwendungen in der Energietechnik
- Test im Labor / Feldtest
- offene Schnittstellen zur Servicenutzung für Drittanbieter (Energiedienstleister)
- Erweiterung N5GEH-Plattform

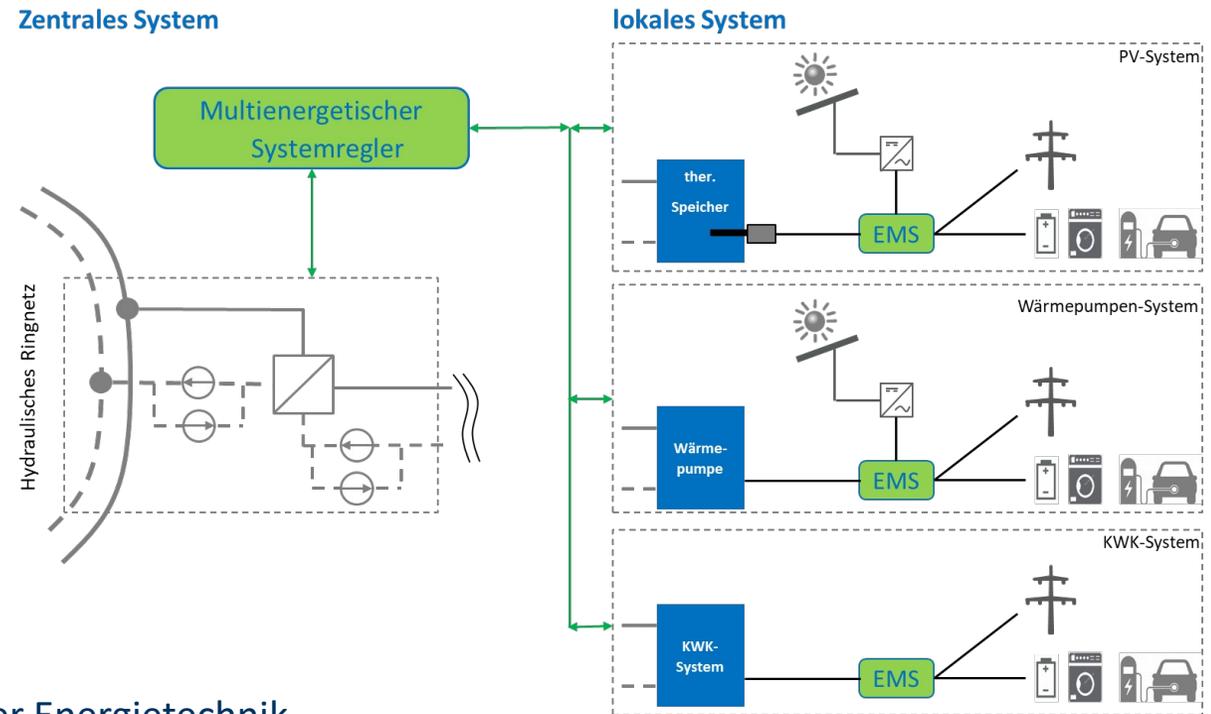


Abb.: Multienergetischer Systemregler zur Anbindung verschiedener dezentraler Energietechnik

Einleitung und Hintergrund

Angliederung an die N5GEH-Plattform:

- **National 5G Energy Hub**
Initiative zur Einführung moderner Kommunikationsstrukturen in der Energietechnik
- open-source Cloud-Plattform
„Baukastensystem“ für unterschiedlichste Anwendungen in der Energietechnik
- Module für z.B.:
 - Datenerfassung, -verarbeitung, -speicherung
 - Schnittstellen zu gängigen Feldsystemen
 - Nutzerverwaltung
 - Grundstrukturen für energetische Services

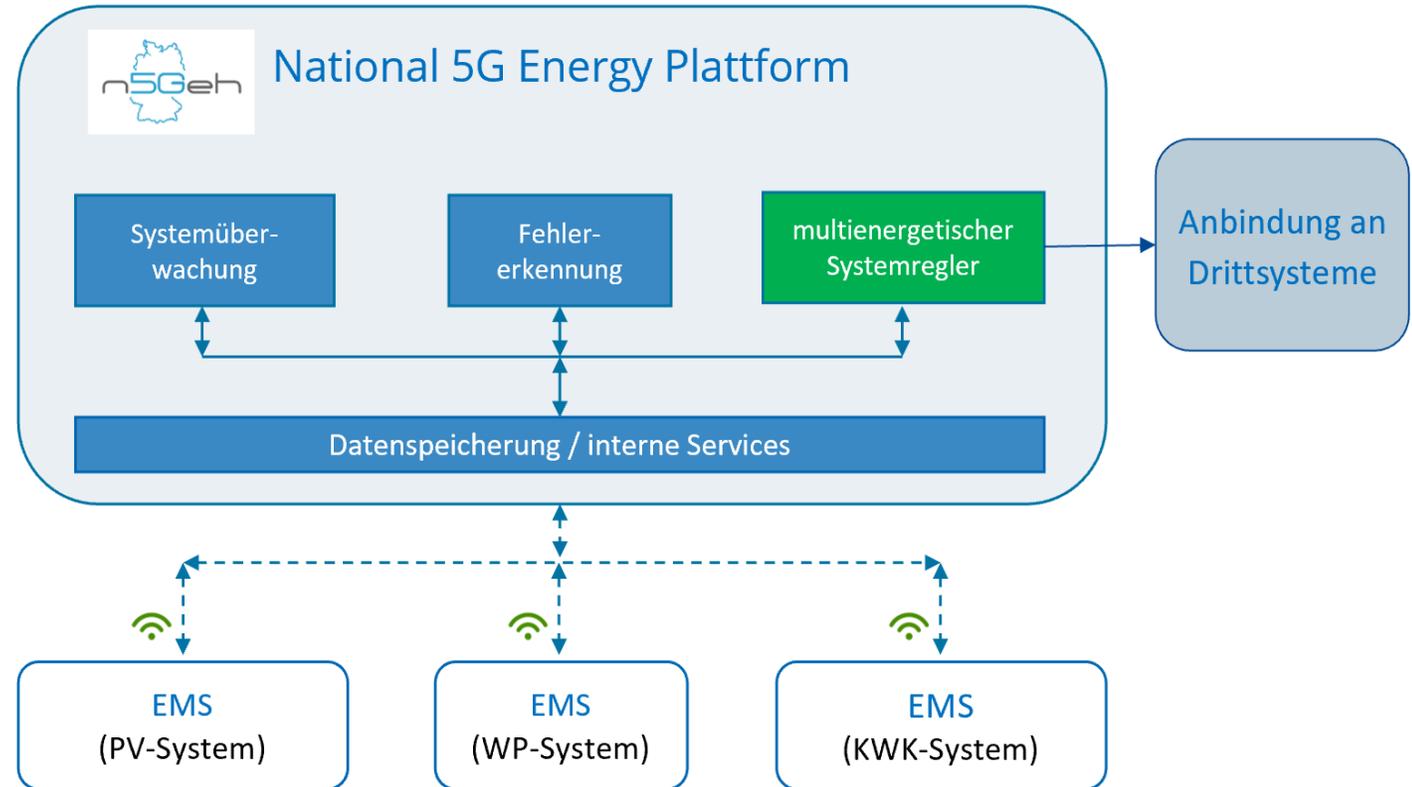


Abb.: Schematische Darstellung der Kommunikationsstruktur innerhalb N5GEH-Plattform (Clustersystem)

Einleitung und Hintergrund

Anwendungsfälle für den multienergetischen Systemregler:

Ausgangssituation :

- hydraulisches Ringnetz mit variablem Temperaturniveau → Ziel: Wärmenetz 5. Generation
- Temperaturniveau für Gebäudeseite muss durch Sekundärtechnologie bereitgestellt werden

Sekundärtechnologie, Integration von:

- PV + Heizstab
- PV + Wärmepumpe
- KWK-System (BHKW / Brennstoffzelle)

Szenarien:

- Consumer (Referenz)
„Bezug“ aus Ringnetz
- Prosumer
„Bezug und Einspeisung“ aus/in Ringnetz

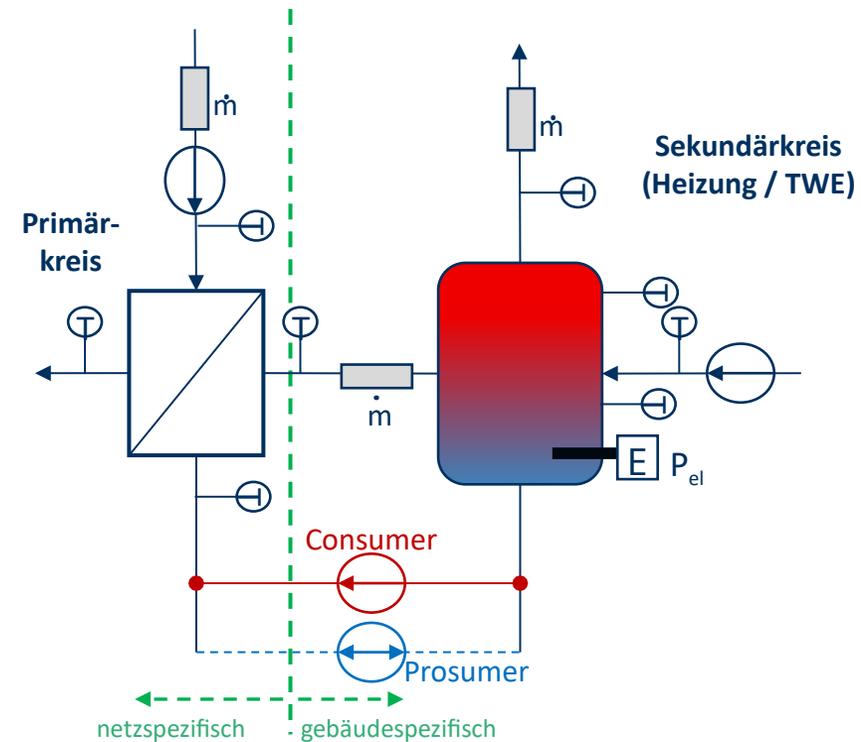


Abb.: Hydraulikschema Anwendungsfall 1 (PV+Heizstab)

Aufbau des Systemreglers

Anforderungen

- Einbindung unterschiedlicher Anwendungsfälle (Wärmepumpen, KWK, PV)
- im Umfang skalier- und erweiterbar
- Softwaremanagementfunktionen: Konfiguration und Handhabung Updates des Systemreglers

Entwicklung umfasst:

- einheitliches Datenmodell
- Software/Services
 - Algorithmen zur Betriebsoptimierung
 - Datenmanagement
 - Steuerung

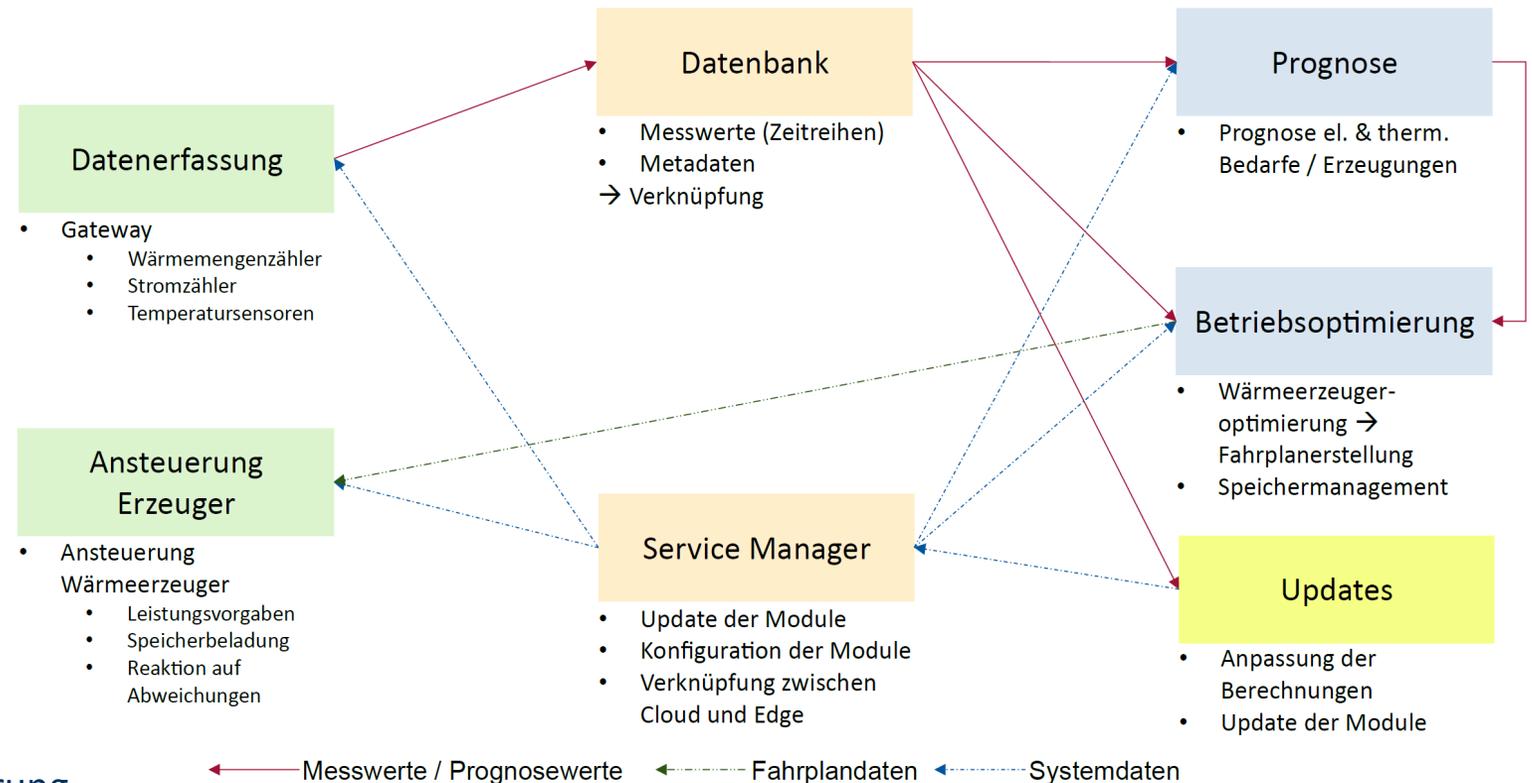


Abb.: Überblick der einzelnen Funktionen und des Informationsaustauschs innerhalb des Systemreglers

Aufbau des Systemreglers - Kommunikationsstruktur

Umsetzung

- Konzept des **Ebenen-Ansatzes** zur Kommunikation und Steuerung
- Basiskomponente: N5GEH-Plattform mit FIWARE-Framework
- Einteilung abhängig von Bilanzgrenzen & Schnittstellen
- Geräteebene:
 - Kommunikation zw. Gebäudetechnik und lokaler Steuerbox
 - proprietäre Protokolle (Modbus, M-Bus..)
- Gebäudeebene
 - Kommunikation zw. lokaler Steuerbox und N5GEH-Plattform
 - Datenspeicherung, Prognosen, Betriebsoptimierung
- Quartiersebene/übergeordnete Steuerung
 - Vergleichbar mit Steuerung in virtuellem Kraftwerk

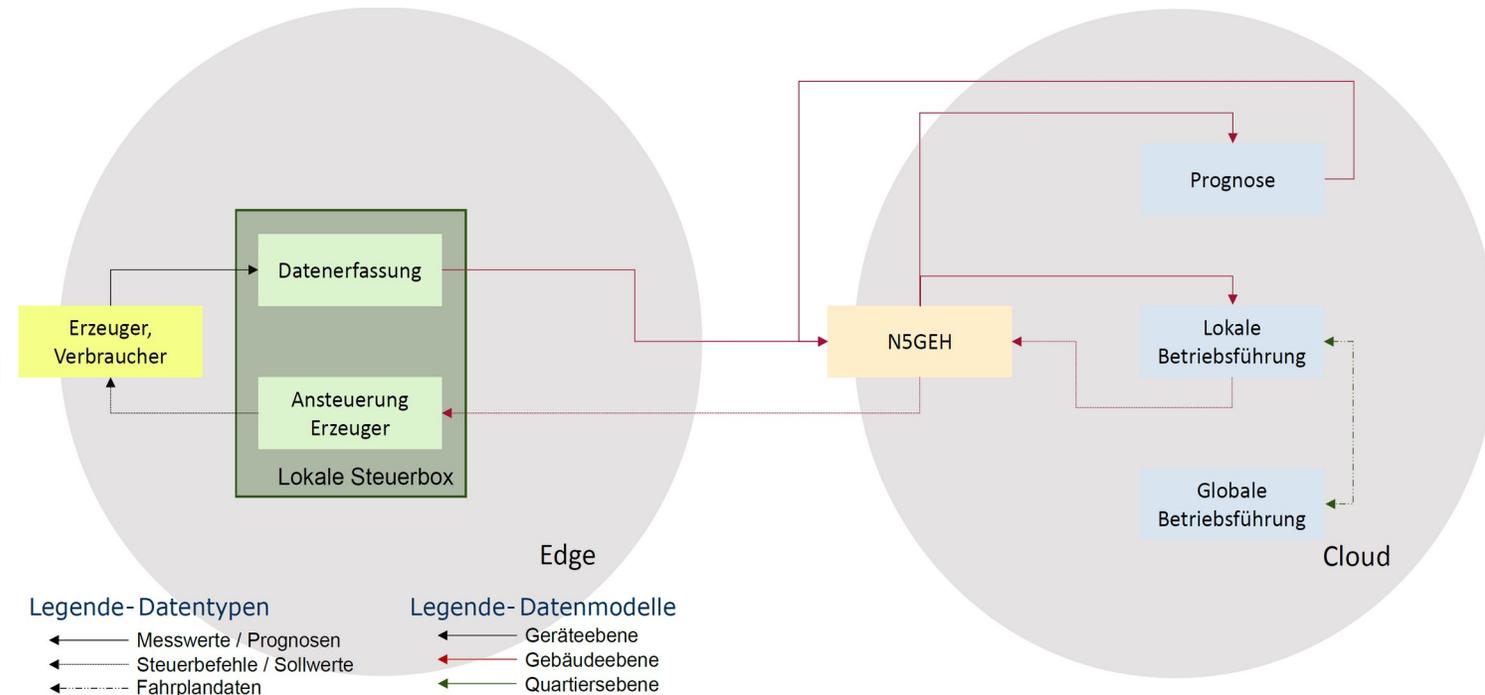


Abb.: Darstellung des IoT-Systemkonzeptes (Basis: N5GEH-Plattform)

Algorithmen des Systemreglers - Funktionsschema

Aufbau und Ablauf

- modularer Aufbau des Systemreglers
- Einzelkomponenten, je nach Anwendungsfall, beliebig kombinierbar
- Datenaggregation als einheitliches Datenmodell
- zentrales Element ist lokale Optimierung
- lokale Optimierung wird zyklisch ausgeführt
- Ergebnisse werden an übergeordnete Instanz weitergeleitet (z.B. N5GEH-Plattform)

- Konzept verbindet Ansätze einer zentralen Regelung mit dezentralem Ansatz (Edge- und Cloud-Steuerung)
 - hybrides System

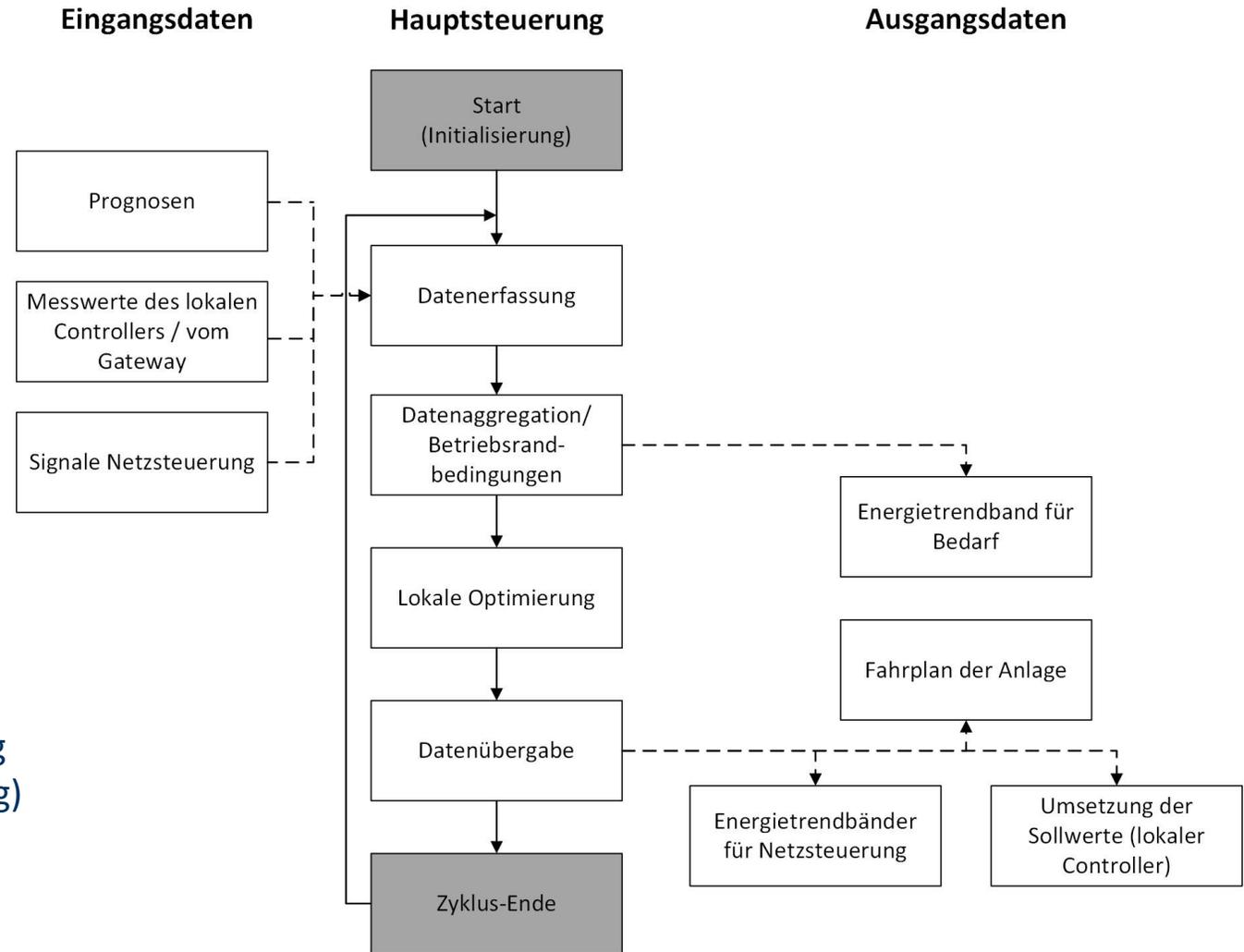


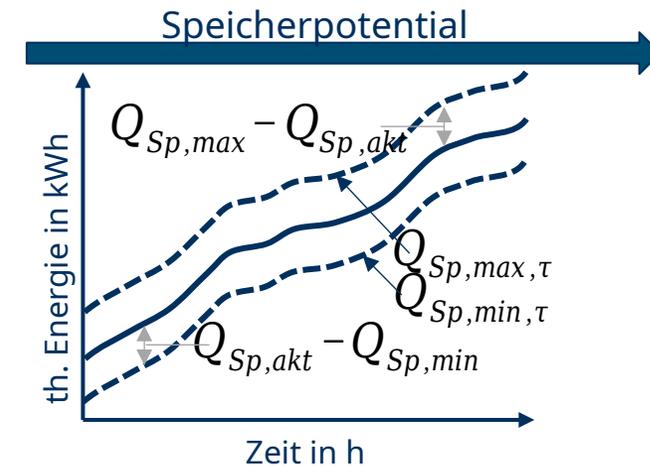
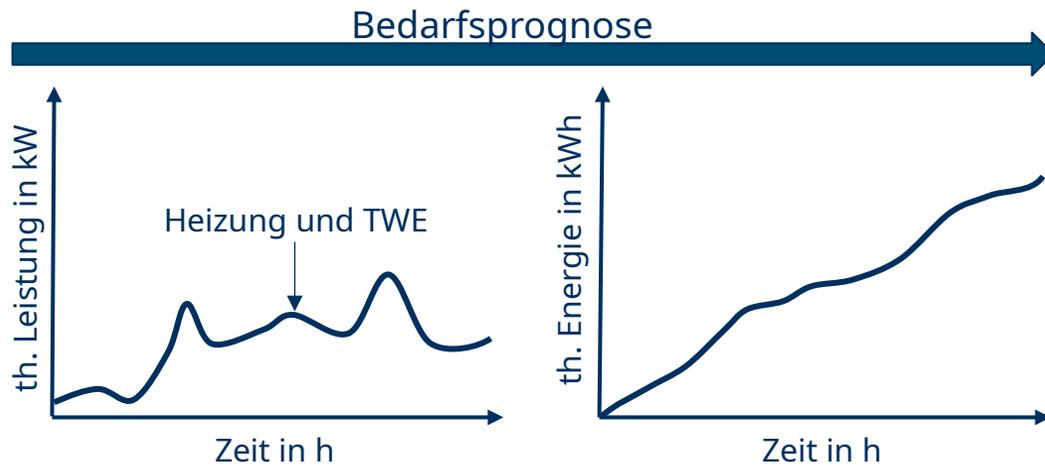
Abb.: Schematischer Ablauf der lokalen Optimierung

Algorithmen des Systemreglers - Energietrendband

Datenaggregation

1. Datenermittlung:
 - Leistungswerte
 - Speicherenergiegehalts / Speicherladezustand
 - prognostizierte Wetterdaten
2. Berechnung der thermischen Bedarfsprognose
 - historische Verbrauchs- und Wetterdaten
 - rollierend alle 3 Stunden (Zeitraumen 24 / ... / 96 Stunden)

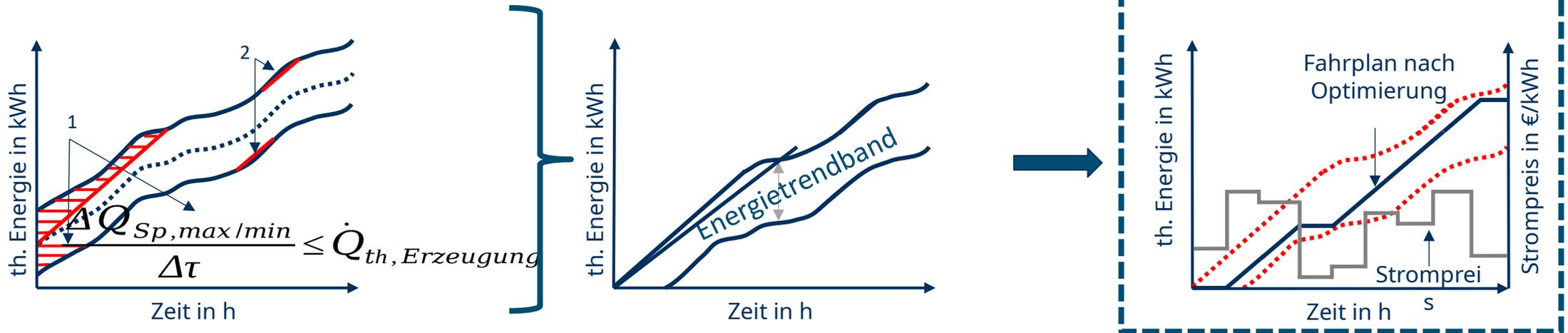
3. Ermittlung eines thermischen Energietrendbandes (Flexibilität der Anlage durch den Speicher)



Algorithmen des Systemreglers - Energietrendband

Datenaggregation

4. Berücksichtigung von Anlagenrestriktionen (Leistung, Anfahrzeiten etc.)
 - mögliches Flexibilitätspotential der Anlage
5. Erstellung eines Fahrplans gemäß Betriebsart
 - Einbindung reg. Energien
 - Eigenbedarfsdeckung
 - Speicherlademanagement
 - Börsenstrompreis
6. Überführung in ein Energietrendband für übergeordnete Steuerung



Praxiserprobung - Prototyp

Laboruntersuchung

- Entwicklung und Erprobung im Hardware-in-the-Loop und Software-in-the-Loop-Verfahren
- Einbindung der Station in einen Emulationsversuchsstand für Wärmenetz und Gebäude
- Funktionstest und Entwicklung des Systemreglers sind Hauptuntersuchungsgegenstand*
 - interne Steuerung der Übergabestation
 - die Algorithmen der lokalen Betriebsführung / Datenaggregation
 - Kommunikationskonzept
Datentransfer und –verarbeitung
übergeordnete Steuerung
- Test unterschiedlicher Kommunikationsgateways

*keine technische Entwicklung der bidirektionalen Übergabestation

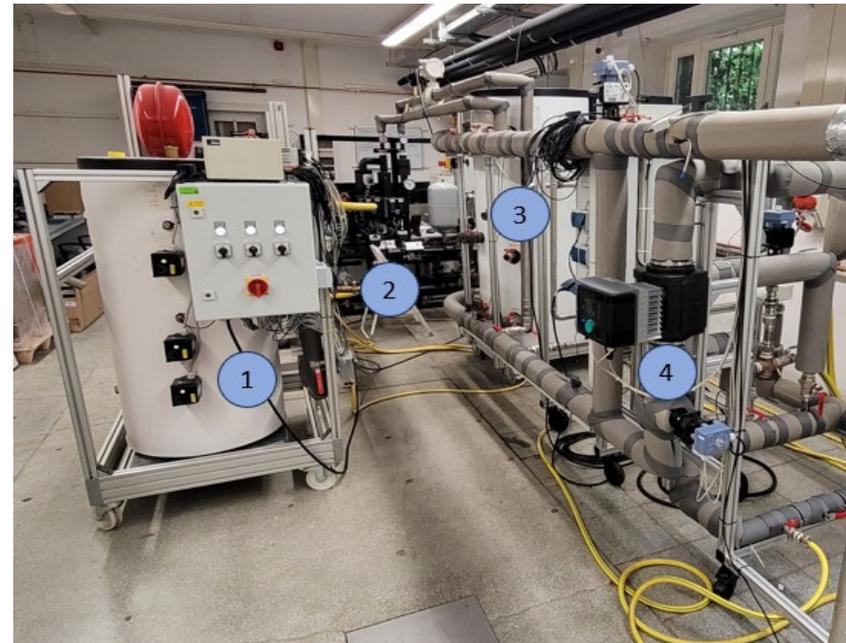


Abb.: links: Versuchsstand bestehend aus Wärmenetz-Emulator (1), bidirektionaler Wärmeübergabestation (2), Pufferspeicher (3) und Gebäude-Emulator (4); rechts: bidirektionale Wärmeübergabestation

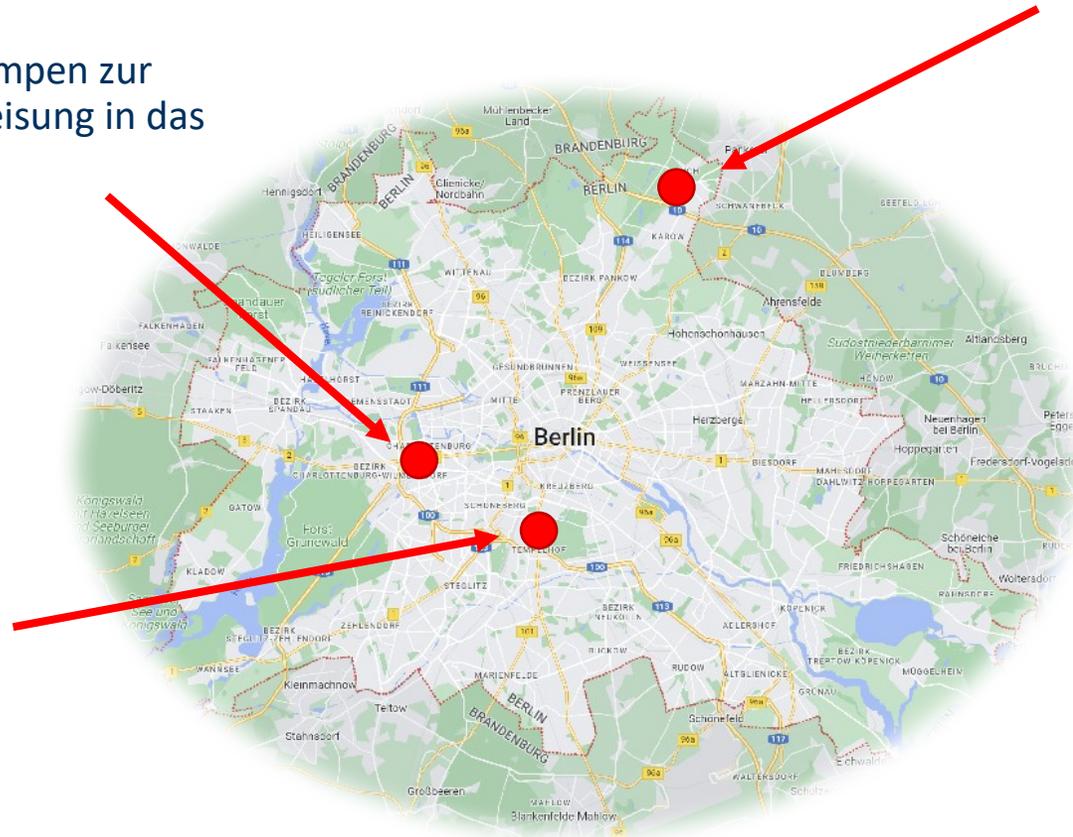
Praxiserprobung - Feldtest

1.Pilot

- Bürogebäudekomplex
- 2 Hochtemperatur-Wärmepumpen zur Gebäudekühlung mit Rückspeisung in das Wärmenetz
Kühlleistung 652 kW
Einspeiseleistung 970 kW
- Heizleistung (Fernwärme) 650 kW

2.Pilot

- Wohngebäudekomplex
- Heizleistung 3,4 MW
- BHKW + PV
- 3 dez. Wärmepumpen zur Temperaturerhöhung



3.Pilot

- Quartier mit:
 - ca. 1000 Wohneinheiten
- 2 Schulen
- Gewerbe
- dezentrales Nahwärmenetz
- BHKW und Fernwärme

Kartendaten ©2023 GeoBasis-DE/BKG (© 2009), Google

Fazit / Ausblick

Fazit

- Systemkonzept und Anwendungsfälle sind erstellt und werden stetig weiterentwickelt (<https://n5geh.de/e3/>)
 - Kommunikationsstruktur und Datenmodell
 - Sensorik – Aktorik
 - Schnittstellen
 - Protokolle
- Prototyp der bidirektionalen Wärmeübergabestation fertiggestellt und in Erprobungsphase
- Entwicklung des multienergetischen Systemreglers erfolgt im „Software in the Loop & Hardware in the Loop“ – Verfahren
- Multienergetische Systemregler stellt Mehrwert für die ganzheitliche Energieversorgung und -wende hin zu einem Energiesystem der Zukunft dar

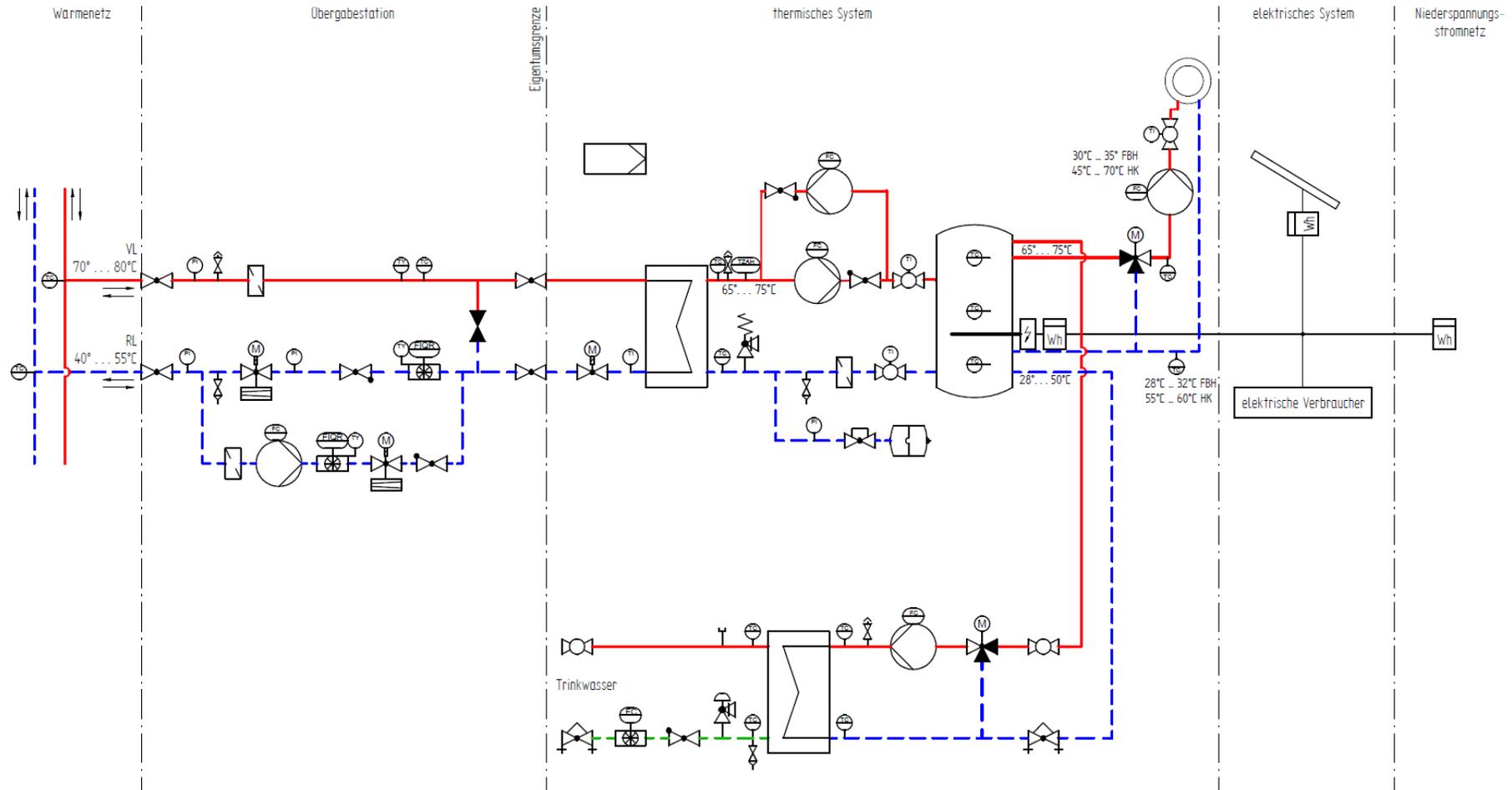
Ausblick

- Entwicklung von Algorithmen und Logiken zur Fahrplanerstellung sowie Priorisierung
- neben den techn. Herausforderungen existieren regulatorische Hürden (nicht Gegenstand der Betrachtung)
 - Überarbeitung und Erweiterung von Gesetzen und Verordnungen notwendig

**Herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

Backup

E³ - R&I-Schema Anwendungsfall 1



Umsetzung des Systemreglers

Technische Anforderungen und Datenmodell:

- hohe Anzahl an Datenpunkten erfordert Aggregation als einheitliches Datenmodell
- hierarchischer Ansatz als Grundlage für zellulares Energiesystem
 - Geräteebene
 - Gebäudeebene
 - Quartiersebene
- Entwicklung des Systemkonzepts erfolgt 2-stufig für
 - Edge - Steuerung
 - Cloud - Steuerung
- Entwicklung von Services zur Anwendung auf N5GEH-Plattform basierend auf FIWARE-Framework
- Umsetzung erfolgt in Programmiersprache Python
- Datenübertragung erfolgt mittels MQTT

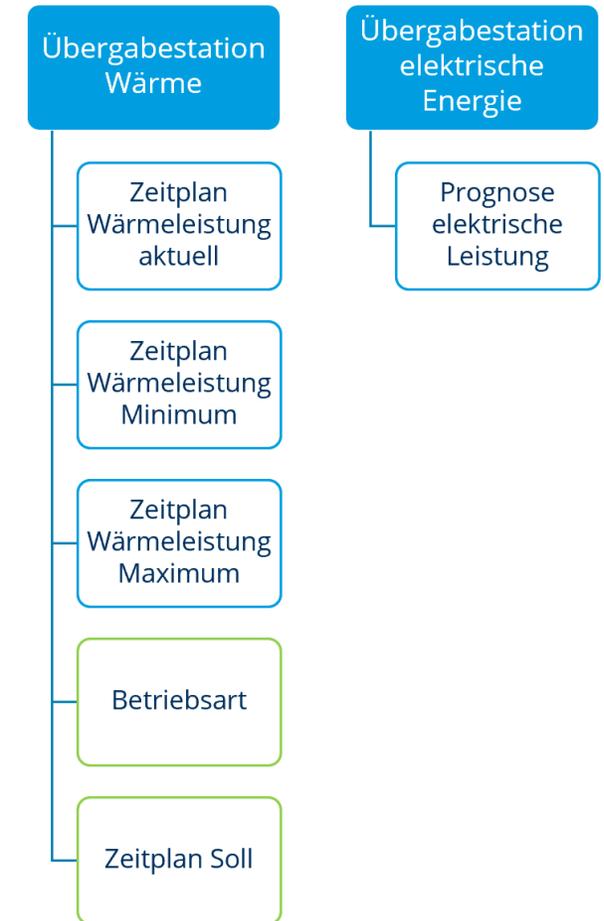
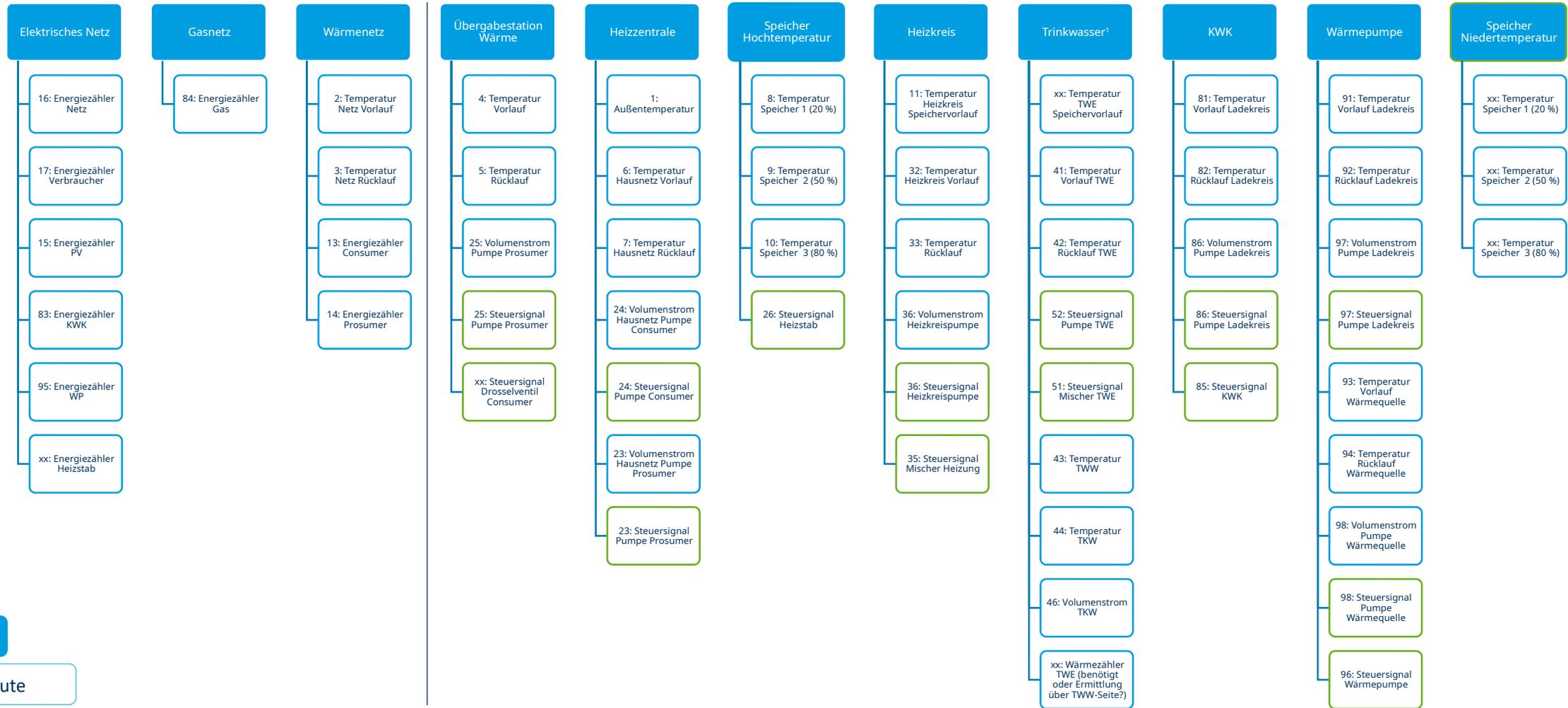


Abb.: Ausschnitt Datenmodell auf Gebäudeebene

E³ - Datenmodell



Legende

Device

ID: Attribute

ID: Command

Algorithmen des Systemreglers - Fahrplanermittlung

Lokale Betriebsführung

-
- Erprobung folgender Ansätze zur Fahrplanerstellung:
 - Regelbasierter Ansatz
 - auf Basis von definierten Regeln und Einsatzbedingungen
 - Vorteil: Ansatz leicht umsetzbar, schnelle Ermittlung von Ergebnissen
 - Nachteil: geringe Flexibilität
 - Modellprädiktive Ansatz (modellprädiktiven Regelung - MPC)
 - kontinuierliche Optimierung des Anlageneinsatzes für definierten zeitlichen Horizont
 - Vorteil: flexible Kombination verschiedener Optimierungsziele
 - Nachteil: je nach Umfang sehr rechenintensiv

Umsetzung:

-
- Multienergetische Systemregler soll flexibel für verschiedene Anwendungsfälle einsetzbar sein
 - Verwendung des Modellprädiktiven Ansatzes (flexiblen erfahrungsorientierte Steuerung)
 - Regelbasierter Ansatz als Backup, bei Kommunikationsausfall