32. REGWA Energiesymposium Stralsund, 05. – 07. November 2025, S. 136 - 146

Von der Datenerfassung zur Automatisierung: Praxisleitfaden zur Digitalisierung von Energiesystemen in Gewerbebetrieben

Nicole Meyer, Christian Gebhardt-Scholz, Kaspar Schmädicke, Artjom Kolwa, Benjamin Breuer, Sebastian Büttner, Mark F. Jentsch

Professur Energiesysteme, Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften,

Bauhaus-Universität Weimar, Schwanseestraße 1a, 99423 Weimar

ABSTRACT

Gewerbebetriebe stehen zunehmend unter dem Druck, die Energieversorgung ihrer Liegenschaften effizient, flexibel und klimaneutral zu gestalten. Die Herausforderungen liegen dabei nicht nur in der Auswahl geeigneter Technologien, sondern vor allem in der digitalen Vernetzung bestehender Systeme. In diesem Beitrag wird am Beispiel eines hybriden Energiesystems die Digitalisierung von Energieinfrastrukturen – von der Datenerfassung bis zur Steuerung – beschrieben. Mithilfe der offenen Plattform *Home Assistant* und modularer IoT-Komponenten wird anhand eines Forschungsdemonstrators aufgezeigt, wie verschiedene Anlagenkomponenten (z. B. Photovoltaikanlagen, Blockheizkraftwerke, Wärmepumpen oder Strom- und Wärmespeicher) über unterschiedliche Kommunikationsprotokolle integriert und durch automatisierte Logiken verknüpft werden können. Auf dieser Grundlage werden praxisnahe Handlungsempfehlungen entwickelt, die die notwendigen Schritte, technischen Lösungen und Erfahrungen beschreiben, um bestehende Anlagen in Gewerbebetrieben schrittweise zu digitalisieren und in Richtung einer energieeffizienten, emissionsarmen Betriebsführung zu entwickeln.

1. EINLEITUNG, MOTIVATION UND UMSETZUNG IN EINEM FORSCHUNGSDEMONSTRATOR

Die Energieversorgung von Gewerbebetrieben steht vor einem tiefgreifenden Wandel. Steigende Energiepreise, ambitionierte Klimaschutzziele sowie die zunehmende Elektrifizierung der Wärmeversorgung und von Mobilitätsanwendungen führen zu neuen Anforderungen an die Digitalisierung, Flexibilität, Effizienz und Klimaneutralität der innerbetrieblichen Energiesysteme [1]. Sie müssen zunehmend in der Lage sein, Schwankungen in Erzeugung und Last auszugleichen, um Netz- bzw. Versorgungsstabilität sicherzustellen – ein Trend, der auch in Berichten der International Energy Agency (IEA) als zentrale Herausforderung digitalisierter Energiesysteme hervorgehoben wird. Ein zentrales Instrument für die erforderliche Flexibilisierung ist daher die Anpassung von Erzeugung und/oder Verbrauch in Reaktion auf Netzsignale, Preise oder Prognosen [2].

Besonders in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zeigt sich deutlich die Komplexität der Umsetzung von flexibel steuerbaren Energiesystemen. Diese Betriebe verfügen häufig über eigene Energieanlagen – etwa Photovoltaikanlagen, Blockheizkraftwerke oder Wärmepumpen –, sowie Produktionsanlagen, die aus unterschiedlichen Gerätegenerationen und von verschiedenen Anbietern stammen. Diese Systeme nutzen häufig proprietäre Schnittstellen, verschiedene Kommunikationsprotokolle und sind, sofern überhaupt digital erfasst, meist nicht miteinander vernetzt oder intelligent gesteuert. In EU-Berichten wird genau diese Heterogenität als Hindernis für effizientere Energieflüsse und eine flexiblere Anlagennutzung beschrieben [3], wodurch Potenziale zur Effizienzsteigerung und Flexibilisierung ungenutzt bleiben.

Während Forschungsinitiativen wie SynErgie [4] untersuchen, wie industrielle und gewerbliche Verbraucher durch Lastmanagement und Flexibilisierung u. a. zur elektrischen Netzstabilität beitragen können, zeigt sich in der Praxis, dass viele Unternehmen bislang nur begrenztes Wissen über ihre Lastprofile besitzen und sich Flexibilitätsoptionen kaum systematisch erschließen [5]. Parallel dazu wächst das Interesse an digital gestützten Energiemanagementsystemen als Schlüsseltechnologie, um

Effizienzpotenziale zu heben und dezentrale Erzeuger, Speicher und Verbraucher intelligent zu vernetzen [6]. Die Digitalisierung gilt in diesem Zusammenhang als zentraler Enabler der Energiewende. Allerdings ist ihr Nettoeffekt auf die Energieeffizienz nicht unumstritten: Neben Einsparpotenzialen bestehen Herausforderungen wie ein zusätzlicher IT-Energiebedarf oder aber Risken von Rebound-Effekten und Interoperabilitätsproblemen zwischen einzelnen Systemen [7].

Vor diesem Hintergrund wurde in Dessau-Roßlau ein technischer Forschungsdemonstrator, die sogenannte *„energy-Station“* aufgebaut. Diese zeigt exemplarisch, wie bestehende Energieanlagen durch offene Softwarelösungen miteinander vernetzt werden können. Zum System gehören unter anderem eine Photovoltaikanlage, ein Batteriespeicher, ein Blockheizkraftwerk (BHKW), eine Wärmepumpe, verschiedene thermische Speicher, ein Rückkühler sowie ein Elektrolysesystem. Ziel war es hierbei, diese Komponenten über eine gemeinsame Plattform zu erfassen, zu steuern und langfristig zu automatisieren, um ein Gebäude oder einen Gebäudekomplex möglichst effizient und verlustfrei mit Strom und Wärme zu versorgen. Mit der Umsetzung des integrierten Gesamtsystems in der *energy-Station*, das in Abbildung 1 schematisch mit den verbundenen Geräten und Kommunikationspfaden gezeigt wird, wurde praktisch demonstriert, dass sich ein solches System mit überschaubarem Aufwand, unter Nutzung offener Standards und ohne proprietäre Großlösungen nach und nach digitalisieren lässt.

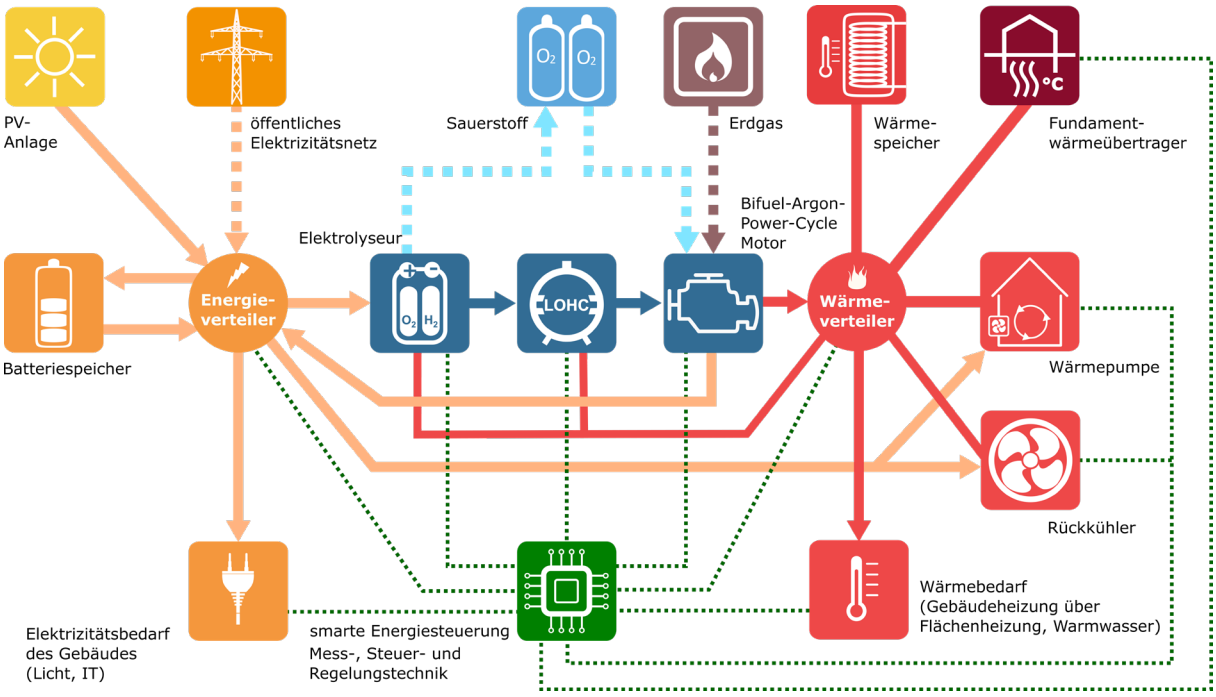

Abbildung 1: Schaubild des integrierten Gesamtsystems, das über eine smarte MSR-Technik gesteuert wird (grün / gestrichelter Teil)

2. Implementierung der MSR-Technik und Systemarchitektur

2.1 Ausgangsüberlegungen und Zielsetzung

Ziel der Untersuchungen war die Entwicklung und exemplarische Umsetzung einer modularen, offenen Systemarchitektur zur digitalen Ansteuerung und Systemintegration bestehender und neuer Energieerzeuger, -verbraucher und -speicher in einem Gesamtsystem. Im Mittelpunkt stand die Frage, wie Geräte verschiedener Hersteller – mit jeweils eigenen Kommunikationsprotokollen und Schutzroutinen – in eine gemeinsame digitale Betriebsführung integriert werden können, ohne tief in deren werkseitige Steuerungen einzugreifen.

Zu Beginn der Umsetzung wurden folgende Kernfragen definiert:

- Was soll erfasst werden? (Energieflüsse, Betriebszustände, Schaltvorgänge)
- Wie werden diese Informationen bereitgestellt? (Schnittstellen, Protokolle, Datenformate)
- Welche Funktionalitäten sind erforderlich? (Monitoring, Steuerung, Automatisierung)
- Welche Zusatzinformationen sind relevant? (Wetterdaten, Energiepreise, externe IoT-Quellen)
- Welche Sicherheitsanforderungen bestehen? (Zugriffsschutz, Netzsegmentierung, Dateninteg rität)
- Welche Erweiterungen sollen perspektivisch ermöglicht werden? (Visualisierung, Datenanalyse, Prognosen)

Diese Überlegungen bildeten die Grundlage für die Auswahl einer geeigneten technischen Plattform. Auf Basis eines Kosten-Nutzen-Vergleichs und der Anforderungen an Offenheit, Erweiterbarkeit und Community-Support fiel die Entscheidung hierbei auf *Home Assistant* [8] als zentrale Steuerungs- und Integrationsplattform.

2.2 Methodisches Vorgehen zur Digitalisierung der Anlagensteuerung

Die gewählte Methodik folgt einem stufenweisen Vorgehen mit einer schrittweisen Digitalisierung der Anlagensteuerung der *energy-Station* mit dem Ziel, ein Energiemanagement zu etablieren. Die einzelnen Stufen sind hierbei wie folgt:

1. Datenerfassung und Monitoring – Schaffung von Transparenz über Energieflüsse und Betriebszustände.
2. Analyse und Priorisierung relevanter Schnittstellen und Integrationspfade.
3. Integration von Steuerungslogiken und Automatisierungen mittels *Node-RED* [9].
4. Evaluation der Betriebsstrategien anhand realer Messdaten aus dem Demonstrationsbetrieb.

Durch ihren modularen Aufbau sind sowohl das technische Anlagensystem der *energy-Station* sowie auch die dazugehörige MSR-Steuerung anpassungsfähig und erweiterbar, so dass neue Geräte oder Funktionen schrittweise ergänzt werden können, ohne die bestehende Systemarchitektur zu beeinträchtigen. Obwohl der seit Juni 2025 laufende Demonstrationsbetrieb der *energy-Station* zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrages im Oktober 2025 noch primär auf die technische Integration und Funktionsfähigkeit der Steuerungsarchitektur ausgerichtet war, wurde mit der Digitalisierung jedoch bereits eine wesentliche Voraussetzung dafür geschaffen, um künftig detaillierte Effizienzanalysen durchführen zu können. Durch die nun realisierte, datenbasierte Steuerungsfähigkeit der einzelnen technischen Komponenten der *energy-Station* können nämlich künftig Betriebsstrategien, Energieflüsse und Einsparpotenziale quantifiziert und in der Folge automatisiert optimiert werden.

2.3 Systemarchitektur

Die Systemarchitektur des digitalen Energiemanagements der *energy-Station* besteht aus drei Ebenen:

a) Physikalische Ebene (Geräteebene): Diese Ebene beinhaltet sämtliche Energieerzeuger, -verbraucher und -speicher, u. a. ein Bifuel-Blockheizkraftwerk (für den Erdgas-/H_2-Betrieb), eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, einen Rückkühler, einen Elektrolyseur, einen LOHC-Reaktor, zwei thermische Speicher (Pufferspeicher, Fundamentwärmeübertrager), einen Batteriespeicher, elektrische Lasten und eine Photovoltaikanlage sowie eine Wetterstation und einen neuentwickelten thermischen Energieverteiler („thermodynamische Weiche“ mit eigener Speicherprogrammierbaren Steuerung - SPS).

b) Kommunikationsebene (Protokollebene): Diese Ebene beschreibt die Datenschnittstellen und Übertragungsprotokolle zwischen den Geräten und der zentralen Steuerung. Eingesetzt werden:

- MQTT für IoT-fähige Geräte (z. B. Wärmepumpe, Rückkühler, thermodynamische Weiche),
- Modbus TCP/RTU für industrielle Komponenten (BHKW, Elektrolyseur),

- TCP/IP für netzwerkfähige Sensoren (Wetterstation),
- LoRa für Messpunkte, an denen keine leitungsgebundene Kommunikation möglich ist. (Wärmemengen-, Durchfluss- und Stromzähler)

c) Applikationsebene (Steuerungs- und Visualisierungsebene): Diese Ebene besteht aus den folgenden zentralen Systemen zur Steuerung und Visualisierung des Energiemanagementsystems:

- *Home Assistant* zur Koordination und Visualisierung,
- *Node-RED* zur Implementierung von Steuerungslogiken,
- *InfluxDB* zur Speicherung von Zeitreihendaten [10],
- *Grafana* zur Analyse und Darstellung der Energie- und Betriebsdaten [11].

Abbildung 2 fasst die Abhängigkeiten dieser drei Ebenen für sämtliche Anlagenkomponenten der *energy-Station* in einer grafischen Übersicht zusammen und zeigt auf, wie die Systemarchitektur konkret ausgestaltet wurde.

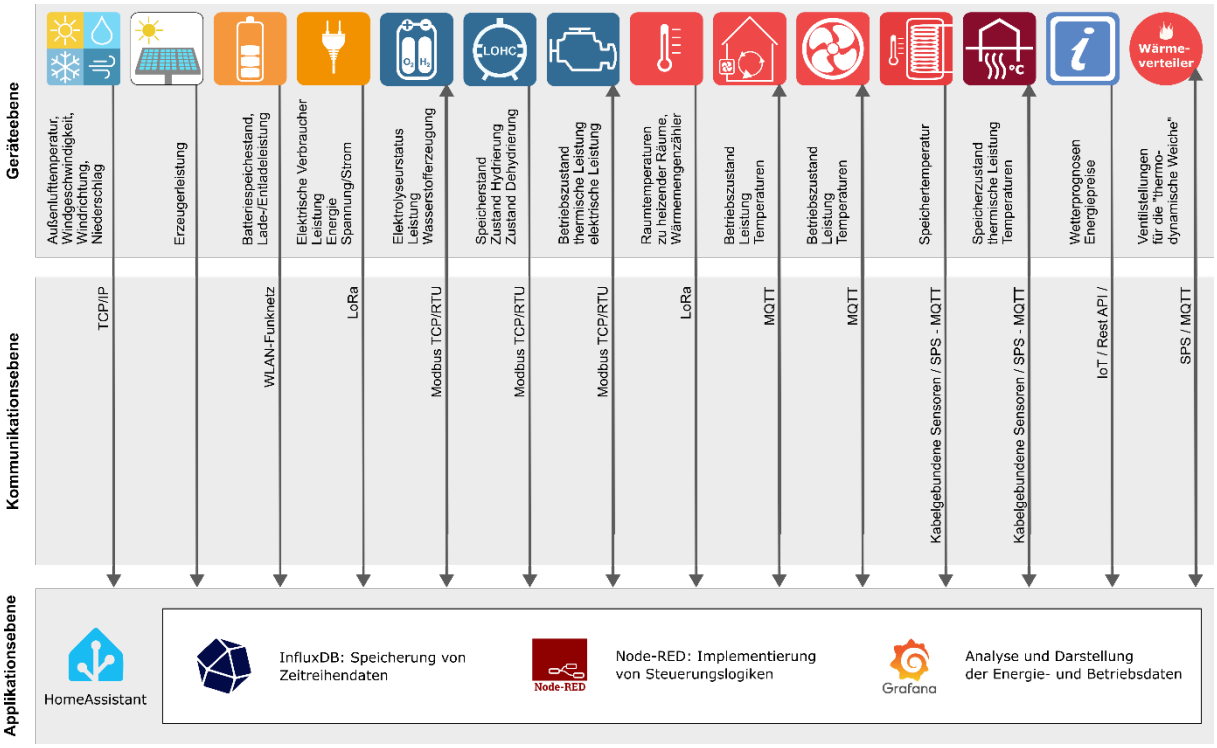

Abbildung 2: Schaubild zur Darstellung der auf drei Ebenen beruhenden Systemarchitektur des digitalen Energiemanagements der *energy-Station*

2.4 Hardwareplattform und Softwareintegration

Die Umsetzung des Energiemanagementsystems erfolgt auf einer energieeffizienten, kostengünstigen Hardwareplattform. Zentrales Element ist ein *Raspberry Pi 4*, welcher die Softwareapplikationen *Home Assistant*, *Node-RED*, *InfluxDB* und *Grafana* lokal hostet. Vorteile dieser Lösung sind der geringe Energiebedarf (< 10 W), niedrige Kosten und die breite Unterstützung durch Open-Source-Communities.

Ein separater Router trennt das interne IoT-Netzwerk vom Unternehmensnetz und ermöglicht durch VPN-Dienste (z. B. *WireGuard*) einen sicheren Fernzugriff. Damit wird ein „Encapsulated IoT Network“ geschaffen, das unautorisierte Zugriffe verhindert und dennoch eine flexible Erweiterbarkeit gewährleistet.

Wie in Abbildung 3 dargestellt wird, dient *Home Assistant* als zentrales „Dashboard“ und als Integrationsknoten, auf dem sowohl Visualisierungen mit *Grafana* als auch Automatisierungsroutinen über *Node-RED* eingebunden sind. Über die Darstellungsplattform *Grafana* können hierbei Energieflüsse, Temperaturen, Schaltzustände und Kennzahlen in Echtzeit oder über definierte Zeiträume visualisiert werden. Zum Datenabruf greift *Home Assistant* hierbei auf die Datenbankplattform *InfluxDB* zurück. Durch seine Gestaltung als offene, quellbasierte Automatisierungsplattform, die ursprünglich für Smart-Home-Anwendungen entwickelt wurde, bietet *Home Assistant* mittlerweile umfangreiche Funktionen zur Integration von IoT-Geräten und industriellen Systemen. Zudem lassen sich durch die modulare Architektur und die grafische Oberfläche komplexe Steuerungslogiken ohne tiefgreifende Programmierkenntnisse umsetzen. Abbildung 4 zeigt einen exemplarischen Screenshot der Home Assistant Benutzeroberfläche mit durch den Nutzer flexibel integrierten Darstellungen.

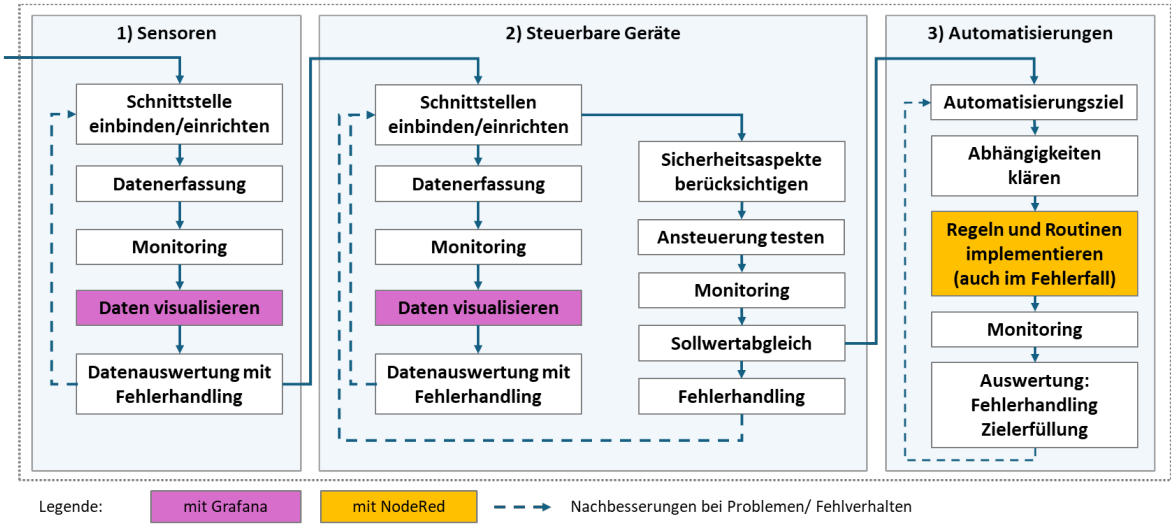

Abbildung 3: Struktur der Softwareintegration mit *Home Assistant* als Integrationsknoten

Abbildung 4: Exemplarischer Screenshot aus der *Home Assistant* Benutzeroberfläche mit integrierten Diagrammen aus *Grafana* zur Darstellung von Temperaturverläufen verschiedener Anlagen der *energy-Station*

2.5 Datenmanagement und Sicherheit

Alle Betriebsdaten werden über die in Abschnitt 2.3 unter Punkt b) genannten Schnittstellen erfasst, ggf. mittels *NodeRed* oder YAML-Code aufbereitet und in eine *InfluxDB* Datenbank gespeist und gespeichert. Die zeitaufgelöste Speicherung ermöglicht hierbei, wie bereits in Abschnitt 2.4 beschrieben wurde, detaillierte Analysen von z.B. Geräteeffizienz, Laufzeiten und Lastprofilen über *Grafana*.

Durch die Netzsegmentierung und die kontrollierte Freigabe einzelner Ports wird eine hohe Datensicherheit und Datenintegrität sichergestellt.

2.6 Integrationsstrategie am Beispiel der „*energy-Station*“

Die Integration der Systemkomponenten für das Energiemanagement der *energy-Station* erfolgte schrittweise nach einem priorisierten Stufenplan und orientierte sich am tatsächlichen Ausbau der in Abbildung 1 gezeigten technischen Anlagen. Das Vorgehen zielte zunächst auf die Erfassung und Visualisierung relevanter Messdaten ab, bevor in einem zweiten Schritt aktive Steuerungsfunktionen umgesetzt wurden. Diese basieren auf den folgenden Informationen:

1. Eine Wetterstation (mittels TCP) und externe Wetterprognosen (mittels IoT) bilden die Grundlage für Betriebsprognosen und zur Einbindung witterungsabhängiger Regelstrategien.
2. Die Wärmepumpe und der Rückkühler (mittels MQTT) wurden als zentrale thermische Quellen und Senken integriert, um eine flexible Lastverschiebung und Effizienzoptimierung zu ermöglichen. Ergänzend erfolgte die Anbindung der thermischen Speicher (mittels MQTT) zur Untersuchung von Lade- und Entladeprozessen und zur Abstimmung mit den Wärmeerzeugern.
3. LoRa-Funkstrecken kommen zum Einsatz, um Messpunkte in schwer zugänglichen Bereichen zu realisieren, beispielsweise zur Erfassung von Volumenströmen und Temperaturdifferenzen in Rohrleitungen, sowie zur Ermittlung von Gas- und Stromverbräuchen.
4. Der Elektrolyseur und das Blockheizkraftwerk (Modbus) wurden als letzte Systeme eingebunden. Diese verfügen aus Sicherheitsgründen über eigene Steuerungen, weshalb ihre Integration ausschließlich über definierte Sollwertvorgaben und Statusabfragen erfolgt.

Während der Integration der Systeme in das Energiemanagement wurden die betrieblichen Restriktionen der Hersteller strikt eingehalten, um Garantie- und Sicherheitsaspekte zu wahren. So berücksichtigt die Steuerung beispielsweise die Mindestlaufzeiten der Wärmepumpe (max. drei Starts pro Stunde) sowie die bevorzugten Dauerbetriebszeiten des Elektrolyseurs, der auf eine geringe Schalthäufigkeit ausgelegt ist. Die entwickelten übergeordneten Steuerungslogiken greifen daher nicht direkt in die werkseitigen Schutzroutinen der Geräte ein, sondern arbeiten über Sollwertvorgaben, Zeitsteuerungen und Prioritätsregeln. Dieses Vorgehen gewährleistet sowohl die Systemsicherheit als auch die Herstellerkonformität der Betriebsführung.

3. LESSONS LEARNED – HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DIE PRAXIS

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags im Oktober 2025 befand sich der Demonstrator im laufenden Testbetrieb. Die bisherigen Arbeiten konzentrierten sich auf die Inbetriebnahme, Validierung und Stabilisierung der Steuerungssysteme sowie auf den Aufbau einer funktionierenden digitalen Infrastruktur. Auf Basis dieser Vorarbeiten konnten bereits wesentliche Erkenntnisse gewonnen werden, die als Grundlage für die im Folgenden dargestellten Inhalte dienen.

Ziel dieses Abschnitts ist es, diese Erfahrungen aus der praktischen Umsetzung der beschriebenen Digitalisierungsarchitektur am Standort des Forschungsdemonstrators bei der *WTZ Roßlau gGmbH* in Dessau-Roßlau in praxisorientierten Handlungsempfehlungen zusammenzufassen. Der Fokus liegt dabei nicht auf der quantitativen Bewertung von Energieeinsparungen, sondern auf der Entwicklung und Erprobung der technischen und organisatorischen Systeme des Energiemanagements, die eine smarte und datenbasierte Betriebsführung erst ermöglichen.

3.1 Vorgehensweise zur Integration verschiedener Systeme

Ein stufenweises Vorgehen ist der effizienteste Weg, um den Betrieb verschiedener, steuerungstechnisch bisher nicht miteinander verbundener Energiesysteme zu digitalisieren. Zunächst sollten Mess- und Monitoringfunktionen etabliert werden, bevor aktive Steuerungsaufgaben implementiert werden. So kann die Datengrundlage validiert und ein Überblick über die Systemfunktionen hergestellt werden.

Die Vorgehensweise, die sich im Rahmen des Aufbaus der *energy-Station* bewährt hat, ist wie folgt:

1. zunächst eine Integration von passiven Sensoren (z. B. Wetterstation, Wärmemengen- und Stromzähler) zur Datenerfassung,
2. anschließend die Einbindung von steuerbaren Geräten (z. B. Wärmepumpe, BHKW) und
3. zuletzt die schrittweise Erweiterung um Prognosedaten und Automatisierungsfunktionen.

Praxiserfahrungen mit der *energy-Station*: Die Offenheit der Geräteschnittstellen bestimmt maßgeblich den Integrationsaufwand. Systeme mit dokumentierten Protokollen lassen sich schnell einbinden, während proprietäre Lösungen einen erheblichen Mehraufwand verursachen. Eine frühe Schnittstellenanalyse und Herstellerabstimmung reduziert die Integrationsrisiken erheblich.

3.2 Selektion der Hardwareplattform

Die Hardwareplattform sollte auf Basis von Skalierbarkeit und Performance selektiert werden. Für kleinere bis mittlere Systeme eignen sich Einplatinenrechner wie z. B. ein *Raspberry Pi* 4 bzw. 5 oder vergleichbare Systeme als kostengünstige Serverlösung. Solche Plattformen bieten eine ausreichende Rechenleistung für die Datenerfassung, Speicherung und Visualisierung bei gleichzeitig niedrigem Energiebedarf (< 10 W).

Lessons learned:

- Eine Trennung von „schnellen“ und „langsamen“ Datenkanälen (z. B. über unterschiedliche MQTT-Topics oder zeitlich entkoppelte Modbus-Abfragen) erhöht die Systemstabilität.
- Bei steigenden Datenraten sollte von einem Einplatinenrechner auf Industrie-Mini-Server mit SSD-Speicher migriert werden, die dieselbe Softwarearchitektur (*Home Assistan*t, *Node-RED*, *InfluxDB*, *Grafana*) weiterführen.
- Prioritätsmanagement für Kommunikationsabfragen reduziert die Netzlast im Datennetz und sorgt für stabile Laufzeiten.

Praxiserfahrungen mit der *energy-Station*: Bevor die Steuerung erweitert wird, sollte das Kommunikationsverhalten des bereits bestehenden Gesamtsystems über mehrere Tage beobachtet und feinjustiert werden. Dies verhindert Latenzprobleme und unklare Datenzustände.

3.3 Auswahl der Kommunikationsprotokolle und Protokollmanagement

Eine einheitliche Kommunikationslogik mit MQTT als Hauptprotokoll ist der effizienteste Weg, um eine stabile Datenkommunikation zu gewährleisten. Modbus oder TCP/IP sollten nur dort ergänzt werden, wo es notwendig ist. MQTT-Gateways haben sich als wirksames Instrument erwiesen, um unterschiedliche Systeme zu harmonisieren.

Lessons learned:

- MQTT bietet eine hohe Zuverlässigkeit, geringe Latenz und einfache Skalierbarkeit.
- Modbus ist robust, kann aber Synchronisationsprobleme verursachen. – Eine galvanische Trennung an Sendern und stabile Baudraten sind Pflicht.
- LoRa eignet sich hervorragend für abgelegene oder autarke Messpunkte, sollte aber auf trendbasierte oder abrechnungsrelevante Daten beschränkt bleiben (1–2 Messpunkte pro Minute).

Praxiserfahrungen mit der *energy-Station*: Eine Kombination aus leitungsgebundenen (MQTT/Modbus) und drahtlosen (LoRa) Übertragungswegen bietet ein gutes Gleichgewicht zwischen Reichweite, Datenrate und Ausfallsicherheit.

3.4 Festlegen von Steuerungslogiken und Betriebsstrategien

Die Steuerungslogik sollte modular, transparent und anpassbar aufgebaut werden. *Node-RED* hat sich als flexible Plattform bewährt, um Automatisierungen, Schwellenwertsteuerungen und Prioritäten ohne tiefen Eingriff in die Gerätesteuerung umzusetzen.

Lessons learned:
- Übergeordnete Logiken sollten werkseitige Schutzroutinen nicht überschreiben, sondern mit Sollwertvorgaben und Zeitsteuerungen arbeiten.
- Vorausschauende Steuerungen (auf Basis von Wetter- oder Lastprognosen) sind erfolgversprechend, erfordern jedoch stabile Prognosedaten. Daher sind „Rückfall-Routinen“ zu berücksichtigen, die bei Datenproblemen greifen.
- Eine Kombination aus lokalen Messwerten und Online-Prognosen verbessert die Regelgüte erheblich.

Praxiserfahrungen mit der *energy-Station*: Tabelle 1 zeigt Herausforderungen auf, die bei der Umsetzung des Energiemanagements der *energy-Station* aufgetreten sind und welche Handlungsempfehlungen bzw. Lösungen daraus abgeleitet wurden.

Tabelle 1: Im Rahmen des Energiemanagements ermittelte Herausforderungen und Lösungen

Herausforderung	Lösung/Handlungsempfehlung
Uneinheitliche Modbus-Registerstrukturen	Aufbau einer internen Dokumentation und Zwischenschicht in *Node-RED* zur Registerzuordnung.
Komplexe VPN- und IoT-Netzwerksicherheit	Verwendung eines encapsulated IoT-Netzes mit *WireGuard*; langfristig automatisiertes Setup-Skript einführen.
Unterschiedliche Laufzeiten von Geräten (z. B. Wärmepumpe vs. Elektrolyseur)	Einführung einer Prioritätslogik mit Zwischenspeicherung in Pufferspeichern.
Sensorfehler und Datenprobleme Während der Implementierung der Digitalisierung traten z. B. Ausfälle durch leere Batterien, fehlende Datenaktualisierungen oder durch Werte außerhalb plausibler Bereiche durch defekte Messtechnik auf.	Aufbau eines strukturierten Daten- und Fehlerhandlings inklusive: • automatischer Plausibilitätsprüfung und Ersatzwertbildung, • Benachrichtigungssystem bei Ausfall oder Stillstand von Sensoren, • regelmäßige Backups und Datenintegritätsprüfung, • klar definierte Debugging-Routinen zur schnellen Wiederherstellung. Nur durch ein aktives Monitoring und robuste Datenpflege kann eine Steuerung dauerhaft zuverlässig arbeiten.
Zentrale Empfehlung: Ein resilientes Datenmanagement ist ebenso wichtig wie die Steuerung selbst. Ohne Datenqualität, Überwachung und Backup-Strategien verliert ein digitales Energiesystem seine Funktionsfähigkeit. Deshalb sollten Plausibilitätsprüfungen, Alarmierungen und regelmäßige Wartungsintervalle von Anfang an in das Systemdesign integriert werden.	

4. Übertragbarkeit und Anwendung in anderen Betrieben

Die am Demonstrationsstandort in Dessau-Roßlau entwickelte Systemarchitektur bzw. der methodische Ansatz für deren Implementierung lassen sich grundsätzlich auch auf andere Gewerbebetriebe übertragen, sofern eine Basisinfrastruktur zur Netzwerk- und Schnittstelleneinbindung vorhanden ist. Die Kombination aus offenen Softwarelösungen (*Home Assistant*, *Node-RED*, *InfluxDB*, *Grafana*) und standardisierten Protokollen (MQTT, Modbus, LoRa, TCP/IP) ermöglicht eine flexible Anpassung an unterschiedliche Betriebsgrößen und Anwendungsfälle.

Die aus den Erfahrungen mit der hier beschriebenen *energy-Station* abgeleiteten Empfehlungen für die praktische Umsetzung eines Energiemanagements sind wie folgt:

1. Mit einem Monitoring beginnen: Der Einstieg über eine einfache Datenerfassung und Visualisierung schafft Transparenz und kann dazu genutzt werden, um Sensorik und Kommunikation zu überprüfen.
2. Erweiterungen schrittweise vornehmen: Nach erfolgreicher Datenerfassung können Automatisierungen modular ergänzt werden (z. B. Zeitsteuerungen, Sollwerte, Prioritäten).
3. Offene Schnittstellen bevorzugen: Dokumentierte Protokolle (z. B. Modbus, MQTT) erleichtern Datenintegration und Fehlerbehebung.
4. IT-Sicherheit und Zugriffsmöglichkeiten bedenken: Eine Netzwerksegmentierung und VPN-basierte Fernwartung sind unerlässlich.
5. IT-Hardwareressourcen korrekt planen: Wachsende Anlagen sollten frühzeitig auf energieeffiziente Industrie-Server migriert werden.

Fazit aus den Praxiserfahrungen mit der *energy-Station*: Die vorgestellte Systemarchitektur ermöglicht eine Digitalisierung des Energiemanagements von Gewerbebetrieben mit einem begrenzten Budget. Sie erlaubt zudem den Einstieg in die Digitalisierung auf niedrigem Komplexitätsniveau und lässt sich modular erweitern – als skalierbares Referenzmodell für offene, modulare Energieplattformen. Die in Abschnitt 3 vorgestellten Handlungsempfehlungen richten sich hierbei an Gewerbebetriebe mit verschiedenartigen Anlagen, die sich von industriellen Produktionssystemen mit standardisierten SCADA- oder EMS-Lösungen deutlich unterscheiden. Das hier vorgestellte System zielt daher nicht auf den Ersatz bestehender Industrieplattformen ab, sondern stellt eine kostengünstige, nachrüstbare und schnittstellenoffene Lösung zur Vernetzung vorhandener Geräte dar. Der Ansatz kombiniert bewusst Open-Source mit industriellen Komponenten und zeigt auf, wie auch nicht-kommunikationsfähige Anlagen schrittweise in ein digitales Gesamtsystem für ein Energiemanagement integriert werden können. Grenzen ergeben sich jedoch durch:

- den spezifischen Standortkontext,
- uneinheitliche Standardisierung der Kommunikationsroutinen vieler bestehender Anlagen,
- mögliche Herausforderungen in IT-Sicherheit und Normkonformität.

Der in diesem Beitrag aufgezeigte Ansatz zur Digitalisierung zeigt praxisnah, wie unter realistischen Randbedingungen – begrenztes Budget, bestehende Anlagen, fehlende Kommunikationsinfrastruktur – eine funktionale Digitalisierung gelingen und damit die Lücke zwischen Industrieplattformen und kleinteiligen Systemen geschlossen werden kann.

5. Danksagung

Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Teilvorhaben des Verbundvorhabens „*CO_2-neutrale Energieversorgung in energieintensiven Gewerbebetrieben – Wasserstoffbasierte Sektorenintegration in der Wärme- und Strombereitstellung (energy4CHP)*“ wird mit Mitteln des *Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR)* im Rahmen des Förderprogramms „WIR! – Wandel durch

Innovation in der Region“ unter dem Förderkennzeichen 03WIR1809A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Die geförderten Forschungspartner im Verbundvorhaben *energy4CHP* sind die *Bauhaus-Universität Weimar* (Koordination) sowie die *Wissenschaftlich-Technisches Zentrum für Motoren- und Maschinenforschung Roßlau gGmbH*. Die *Hyrican Informationssysteme AG* ist als assoziierter Partner beteiligt.

6. LITERATURVERZEICHNIS

[1] European Environment Agency (EEA), Renewables, electrification and flexibility – for a competitive EU energy system transformation by 2030, EEA Report 16/2024, 2024, Verfügbar unter: *https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/renewables-electrification-and-flexibility-for-a-competitive-eu-energy-system*

[2] International Energy Agency (IEA), Digitalisation and Energy, IEA PUBLICATIONS, 2017, Verfügbar unter: *https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf*

[3] Digital4Grids for the European Commission, Landscape report on energy and flexibility data models and interoperability across the sectors of energy, mobility and buildings, European Commission (2023), Verfügbar unter: *https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/landscape-report-energy-and-flexibility-data-models-and-interoperability-across-sectors-energy*?

[4] A. Sauer, E. Abele, H. U. Buhl, Energieflexibilität in der deutschen Industrie - Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt - Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung (SynErgie), Fraunhofer IPA, Stuttgart 2019, Verfügbar unter: *https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/08/urn_nbn_de_0011-n-5659211.pdf*

[5] F. Mohaupt, A. Oels, K. Schmidt, A. Folz, S. Gährs, F. Zollner, P. Eckerle, Die Perspektive der Nutzergruppen auf die Flexibilisierung des Energiesystems, Schaufenster Designetz, Bericht zum Arbeitspaket 8, Berlin 2020, Verfügbar unter: *https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/Mohaupt_et_al_2020_Die_Perspektive_der_Nutzerguppen_auf_die_Flexibilisierung_des_Energiesystems_Designetz-AP8.pdf*

[6] A. Corusa, G. Erdmann, E. Timofeeva, J. N. Predel, F. Ritschel, C. Sprengel, A. Walther, D. Kaufmann, S. Brühl, V. Stocker, C. Rosinger, M. Uslar, S. Schäfer-Stradowsky, Digitalisierung in der Energiewirtschaft, Digitalisierung, Daten und Sicherheit: Herausforderungen für Unternehmen in der Energiewirtschaft, Technische Universität Berlin, Berlin 2021, Verfügbar unter: *https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Sinteg/windnode-digitalisierung-energiewirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=1*

[7] I. Bertschek, D. Erdsiek, T. Niebel, B. Schuck, M. Seifried, J. Ewald, T. Lang, J. Hicking, L. Wenger, T. Walter, Schwerpunktstudie Digitalisierung und Energieeffizienz – Erkenntnisse aus Forschung und Praxis 2020, Bundeministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020, Verfügbar unter: *https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/schwerpunktstudie-digitalisierung-energieeffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=1*

[8] Open Source Home Automation Community: Home Assistant Documentation 2025. Verfügbar unter: *https://www.home-assistant.io*

[9] Node-RED Foundation: Node-RED – Flow-based Programming for the Internet of Things. Version 4.0.9, 2025. Verfügbar unter: *https://nodered.org*

[10] InfluxData: InfluxDB – Time Series Database. Version 1.8, 2025. Verfügbar unter: *https://docs.influxdata.com/*

[11] Grafana Labs: Grafana - Dashboard anything. Observe everything, 2025. Verfügbar unter: *https://grafana.com/docs/*