

Das Demonstrationsprojekt Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb

The Demonstration Project Virtual Power Plant Neckar-Alb

F. Heimgärtner¹, M. Höfling¹, Prof. Dr. M. Menth¹, E. Schur², Prof. Dr.-Ing. F. Truckenmüller², H. Hagenlocher³, J. Zunke³, Dr. A. Frey⁴, D. Ebinger⁵, S. Jägers⁶, L. Dürr⁷, T. Röger⁸, K. Lindner⁹ und Prof. Dr. C. Kahlert¹⁰

¹Universität Tübingen, Tübingen, florian.heimgaertner@uni-tuebingen.de

²Hochschule Reutlingen, Reutlingen, ellen.schur@reutlingen-university.de

³AVAT Automation GmbH, Tübingen, heinz.hagenlocher@avat.de

⁴ENERGIEFREY GmbH, Stuttgart, frey@energiefrey.de

⁵enisyst GmbH, Pliezhausen, d.ebinger@enisyst.de

⁶GridSystronic Energy GmbH, Albstadt, stj@gridsystronic-energy.com

⁷Mack Electronic Systems GmbH, Reutlingen, lothar.duerr@mack-electronics.de

⁸PATAVO GmbH, Pliezhausen, thomas.roeger@patavo.de

⁹Ruoff Energietechnik GmbH, Riederich, k.lindner@ruoff-solar.de

¹⁰ebök Institut für angewandte Effizienzforschung GmbH, Tübingen, claus.kahlert@eboek-institut.de

Kurzfassung

Dezentrale Stromerzeugungsanlagen, Energiespeicher und Steuerungseinrichtungen für Erzeuger und Verbraucher sind die Grundbausteine eines virtuellen Kraftwerks, welches im Stromnetz der Zukunft, dem Smart Grid, eine wichtige Rolle spielt. Im Rahmen des Demonstrationsprojekts Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb soll an der Hochschule Reutlingen eine Demonstrationsanlage aufgebaut werden, die diese Grundbausteine vernetzt und funktional integriert. Damit entsteht eine flexible Testumgebung für Forschung und Lehre, in der sich das Zusammenspiel der Komponenten untersuchen lässt. Zudem wird eine Besichtigungsmöglichkeit für interessierte Unternehmen geschaffen. Damit sollen Akzeptanz und Verständnis für die Thematik gefördert werden.

Abstract

Distributed power generation, energy storage and control systems for producers and consumers of electrical energy are the building blocks of a *Virtual Power Plant* (VPP) which is a central component of the future smart grid. The Demonstration Project Virtual Power Plant Neckar-Alb aims at building a demonstration site connecting and integrating those building blocks at the Reutlingen University campus. The VPP demonstrator provides a flexible environment for research and teaching to investigate interactions between the components. Additionally, the demonstrator's premises will be open to interested companies to increase acceptance for and improve understanding of VPP technology.

1 Einleitung

Der Ausbau erneuerbarer Energien durch eine Vielzahl kleinerer Anlagen, den sogenannten *Distributed Energy Resources* (DER), stellt Stromnetze und Energiemärkte vor neue Aufgaben. Um mögliche Lücken zwischen der wetterabhängigen Stromerzeugung und der Leistungsnachfrage zu schließen, müssen technische Einheiten und die Energiewirtschaft flexibel zusammenwirken.

DER mit geringer Leistung stellen für die netzdienliche Integration in den Strommarkt eine besondere Herausforderung dar. Die im Verhältnis zur Nutzleistung hohen Investitionen für Vernetzung und Automatisierung bremsen die Markteinbindung, da bei den heute erzielbaren Erträgen die Integration wirtschaftlich noch nicht abbildbar ist. Ein Lösungsansatz für die Einbindung von Kleinanlagen in den Energiemarkt besteht in der Aggregation. Die zu aggregierenden DER werden zentral erfasst, durch heuris-

tische Algorithmen wird ein optimaler Fahrplan berechnet und die DER werden entsprechend angesteuert. Dadurch können die DER gemeinsam als ein Teilnehmer auf dem Markt auftreten. Ein solcher Anlagenverbund wird als *Virtuelles Kraftwerk* bezeichnet.

Im Rahmen des Demonstrationsprojekts Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb [1] soll ein Demonstrator mit Anlagen auf dem Campus der Hochschule Reutlingen sowie mit Anlagen teilnehmender Industrie- und Gewerbebetriebe der Region errichtet werden.

2 Microgrids und Virtuelle Kraftwerke

Im Demonstrationsprojekt Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb entsteht eine Verbundanlage, die ein lokales Microgrid und weitere Anlagen zu einem Virtuellen Kraftwerk inte-

griert. Im Folgenden werden die Begriffe erklärt und die Infrastruktur sowie Strategien zum Betrieb eines solchen Verbunds vorgestellt.

2.1 Begriffe und Definitionen

Definitionen eines *Microgrids* und seiner Komponenten bietet die Arbeitsgruppe C6.22 (WG6.22) [2] des Conseil International des Grands Réseaux Électriques (CIGRÉ) in ihrer *Microgrid Evolution Roadmap* [10]. Im Folgenden werden diese Definitionen vorgestellt und gegenüber *Virtuellen Kraftwerken* abgegrenzt.

2.1.1 Distributed Energy Resources

Distributed Energy Resources (DER) umfassen sowohl verteilte Energieerzeuger und -speicher als auch steuerbare Lasten*.

Als Energieerzeuger (Generator) bezeichnet die WG6.22 alle Energiequellen im Kontext eines Microgrids. Dies umfasst mit fossilen Brennstoffen oder Biomasse betriebene Anlagen aus dem Bereich Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), Photovoltaikanlagen (PV) sowie kleinere Wind- und Wasserkraftanlagen.

Als Energiespeicher (Storage Devices) werden elektrochemische Speicher (z.B. Batteriespeicher), mechanische Speicher (z.B. Druckspeicher, Schwungräder oder Pumpspeicher) sowie Wärmespeicher genannt.

Steuerbare Lasten (Controlled Loads) sind Energieverbraucher, die Freiheitsgrade hinsichtlich ihrer Betriebszeiten oder Leistung aufweisen und jene durch Steuerungsmöglichkeiten nutzbar machen.

2.1.2 (Virtuelle) Microgrids

Nach Definition der WG6.22 ist ein Microgrid ein elektrisches Verteilnetz, welches DER wie Energieerzeuger, Energiespeicher und steuerbare Lasten sowie nicht steuerbare Lasten enthält. Die DER eines Microgrids können in koordinierter und kontrollierter Weise betrieben werden und sollen den Betrieb sowohl als Inselnetz als auch verbunden mit angekoppelten Netzbereichen ermöglichen.

Besonders häufig finden Microgrids Einsatz, wenn sie zur Optimierung des Eigenstrombedarfs und zur Koppelung der Strom- und Wärmeerzeugung im eigenen Verbund eingesetzt werden. Obwohl Microgrids in erster Linie die elektrische Seite betrachten, können Wärmespeicher von großer Bedeutung sein. So kann ein Wärmespeicher die Erzeugung elektrischer Energie bei einer KWK-Anlage zeitlich von der Wärmenachfrage entkoppeln.

Im Gegensatz zu einem physischen Microgrid bildet ein *virtuelles Microgrid* [5] kein geschlossenes Verteilnetz. Entweder umfasst ein virtuelles Microgrid nur einen Teil eines Verteilnetzes oder die Anlagen sind sogar an verschiedene Verteilnetze angeschlossen. Virtuelle Microgrids unterscheiden sich hinsichtlich der eingesetzten Anlagen, Infrastruktur und Steuerungseinrichtungen nicht von

*In dieser Arbeit wird die Bezeichnung DER in Anlehnung an die CIGRÉ *Microgrid Evolution Roadmap* [10] verwendet. Abweichende Definitionen, die steuerbare Lasten nicht umfassen sind jedoch ebenfalls verbreitet.

den physischen Microgrids. Ein solches virtuelles Microgrid kann technisch und strategisch betrieben werden wie ein physisches Microgrid, ein Betrieb als Inselnetz ist jedoch nicht möglich.

2.1.3 Virtuelle Kraftwerke

Ein *Virtuelles Kraftwerk* (VK) baut auf den gleichen Arten von Anlagen auf wie ein Microgrid. Microgrids definieren sich über das Stromnetz, wodurch deren Anlagen sich in eingegrenzten Gebieten befinden. Bei einem VK steht dagegen die Produktionsseite im Vordergrund und die Anlagen, die auch über größere Distanzen verteilt sein können, werden aggregiert um gemeinsam als ein großer Akteur aufzutreten.

Das Ziel eines VK besteht in der Bewirtschaftung eines Anlagenverbunds. Oftmals ist darin ein hoher Anteil aus zeitlich variierenden *Renewable Energy Sources* (RES) enthalten, deren Produktion nicht steuerbar ist. Für die Bewirtschaftung müssen daher außerdem steuerbare Einheiten im Anlagenverbund enthalten sein.

2.2 Informationstechnische Infrastruktur

Neben den DER benötigt ein Microgrid oder VK für den Betrieb auch eine informationstechnische Infrastruktur.

Zum Erreichen wirtschaftlicher Betriebsziele sind Optimierungsmechanismen erforderlich, die geeignete Anlagenfahrpläne bestimmen. Um die Fahrpläne umzusetzen und die Anlagen zu überwachen, wird ein Leitsystem benötigt. Und schließlich muss eine sichere Kommunikationsinfrastruktur mit geeigneten Fernwirkprotokollen verfügbar sein, um die verteilten Anlagen und deren Steuerungseinrichtungen mit dem Leitsystem zu verbinden.

2.2.1 Informationsmanagementsystem

Das Kernstück des Informationsmanagementsystems bildet das zentrale Leitsystem, das die Aufgaben eines SCADA-Systems erfüllt und alle Mess-, Steuer- und Regelungsinformationen der angebundenen Anlagen verarbeitet. Die DER sind entweder direkt oder über dezentrale Anlagensteuerungen mit dem Leitsystem verbunden. Erweitert wird das System um die Kommunikation mit dem Energiemarkt und die Integration standortbezogener Wetterprognosen.

Im System erfolgt auf dieser Datenbasis eine zentrale Optimierung; die Einzelanlagen werden entsprechend angesteuert oder erhalten einen detaillierten Fahrplan. Beispiele für Optimierungsziele eines VK werden in Abschnitt 2.3 vorgestellt.

2.2.2 Kommunikation

Bisher existiert noch kein etabliertes Steuerprotokoll für alle Aspekte eines VK. Die Norm IEC 61850-7-420 [8, 3] definiert ein Objektmodell zur Beschreibung von DER und kommt auch in der Anforderungsspezifikation VHPReady [9] zum Einsatz. Da die Unterstützung von IEC 61850-basierter Kommunikation auf Geräteseite noch nicht weit verbreitet ist, sind weiterhin auch klassische

Steuerungs- und Fernwirkprotokolle wie Modbus [12, 11] oder IEC 60870-5-104 [6] in Verwendung.

Eine weitere Alternative ist der Einsatz von sogenannten RESTful Webservices, HTTP-basierten Schnittstellen nach dem Prinzip des *Representational State Transfer* [4]. Hierbei existieren auch Ansätze für die Abbildung von IEC 61850 und anderen Fernwirkprotokollen [14, 7].

Da die Fernwirktechnik ursprünglich für den Einsatz in geschützten Betreiberetzen oder auf dedizierten Punkt-zu-Punkt-Verbindungen konzipiert war, fehlen häufig Sicherheitsmechanismen auf der Kommunikationsebene. Hier werden häufig *Virtual Private Networks* (VPN) auf Basis von IPsec oder OpenVPN eingesetzt, da diese für die Anwendungsschicht transparent sind.

2.2.3 Anlagensteuerung

Manche Anlagen sind mit integrierten netzwerkfähigen Steuerungsmodulen ausgestattet. Diese können direkt mit dem Leitsystem verbunden werden, falls die entsprechenden Sicherheitsanforderungen erfüllt sind, und gemeinsame Kommunikationsprotokolle und Datenformate verwendet werden können.

Falls solche Steuerungseinrichtungen nicht vorhanden sind, die Sicherheitsanforderungen auf der Kommunikationsseite nicht erfüllt werden oder abweichende Protokolle und Formate eingesetzt werden, müssen die Anlagen über externe Anlagensteuerungsgeräte angeschlossen werden. Diese Anlagensteuerung muss sowohl die Protokolle und Datenformate des Informationsmanagementsystems implementieren, als auch die Steuerungsschnittstelle zu den Anlagen.

2.3 Betriebs- und Optimierungsstrategien

Microgrids und VK können mit unterschiedlichen Zielsetzungen betrieben werden. Im Folgenden wird eine Auswahl an Betriebsstrategien und damit verbundenen Optimierungsansätzen vorgestellt.

2.3.1 Eigenstromoptimierung

Bei der Eigenstromoptimierung werden einerseits der Betrieb lokaler Erzeuger auf den lokalen Energiebedarf hin optimiert, andererseits werden die Betriebszeiten steuerbarer Lasten an die erwarteten Leistungsangebote nicht steuerbarer Erzeuger wie beispielsweise PV- oder Windkraftanlagen angepasst. Das Ziel der Optimierung ist, das Verhältnis der selbst erzeugten und genutzten Strommenge gegenüber der aus dem öffentlichen Netz bezogenen Strommenge zu maximieren. Auf diese Weise sollen Netzentgelte, Umlagen und Steuern vermieden werden.

2.3.2 Direktvermarktung und Strombörsen

Kleinere Anlagen geben erzeugten Strom überwiegend gegen eine Einspeisevergütung an den Netzbetreiber ab. Bei erneuerbaren Energien handelt es sich dabei um feste Vergütungssätze, während sich die Vergütung bei KWK-Anlagen nach dem durchschnittlichen Börsenpreis für Grundlaststrom richtet. Im Zuge der Marktintegration der erneuerbaren Energien steht die erste Option größeren An-

lagen und Anlagenverbänden nicht mehr zur Verfügung, stattdessen gibt es für diese die Möglichkeiten der Direktvermarktung und des Börsenhandels. Hierbei wird die erzeugte elektrische Energie durch das öffentliche Stromnetz zum Verkauf an Abnehmer oder zum Handel an einer Strombörse geleitet.

Je nach Marktpreis können hier höhere Erlöse erzielt werden als durch die Einspeisevergütung. Der Betrieb mit dem Ziel der Direktvermarktung wird somit dahingehend optimiert, dass die Erzeugung der Nachfrage des Abnehmers oder dem Börsenpreis angepasst wird.

Im heutigen Strommarktdesign ist zwischen Großhandel/Energie-Only-Markt, Systemdienstleistungen und Eingriffen durch Netzbetreiber/Bundesnetzagentur zu unterscheiden. Die erneuerbaren Energien nehmen immer stärker in allen Bereichen des Strommarktdesigns teil. Neben der Day-Ahead Börse stellt die Intraday Börse eine interessante Option für die Vermarktung durch VK dar.

2.3.3 Sektorkopplung

Die Sektorkopplung dient dazu, lokalen Bedarf für elektrische Energie und Wärme zu verknüpfen. Hierzu werden Marktpreise für Strom, (Fern-)Wärme und chemische Energieträger (z.B. Gas) einbezogen, was ein größeres Optimierungspotential ermöglicht, jedoch auch einen höheren Bilanzierungsaufwand erfordert.

Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen werden Betriebszeiten von KWK-Anlagen und die Ausnutzung von Speichern durch mathematische Verfahren mit dem Ziel optimiert, das wirtschaftlichste Gesamtergebnis zu erzielen [15, 13].

2.3.4 Bereitstellung von Regelennergie

Um die Netzfrequenz im Sollbereich zu halten, muss im Stromnetz die Abweichung der erzeugten elektrische Leistung vom Verbrauch minimiert werden. Zu diesem Zweck werden sowohl für die Produktionsseite als auch für die Bedarfsseite Prognosen erstellt und Anlagen entsprechend betrieben.

Durch unvorgesehene Ereignisse kann es jedoch auf beiden Seiten zu deutlichen Abweichungen von den erstellten Prognosen kommen. Um die Differenz zwischen Prognose und Realität auszugleichen wird Regelennergie als Netzdienstleistung benötigt.

Bei der Regelennergie wird unterschieden zwischen Primärregelleistung, Sekundärregelleistung und Minutenreserve. Während die Primärregelung direkt und automatisch in beide Richtungen eingreift um kurzfristig die Zielfrequenz des Wechselstromnetzes zu halten, werden Sekundärregelleistung und Minutenreserve explizit vom Netzbetreiber angefordert.

Für die Regelennergie existiert ein von den normalen Strombörsen getrennter Markt. Vergütet wird hierbei die Bereitstellung der Reserve (Leistungspreis) und bei Sekundärregelleistung und Minutenreserve zusätzlich die Lieferung bei eingetretenem Regelbedarf (Arbeitspreis). Im Bereich der Sekundärregelung und Minutenreserve ist auch die Marktteilnahme eines Verbunds aus kleineren Anlagen

denkbar und wird in Zukunft auch für den Bereich der Primärregelung ermöglicht werden.

Besondere Anforderungen ergeben sich hierbei hinsichtlich Zuverlässigkeit, Reaktionszeiten und Absicherung der Kommunikationskanäle. Die Herausforderungen für die Optimierung des Betriebs sind hingegen gering. Freiheiten bestehen bezüglich der Auswahl der eingesetzten Anlagen. Den Zeitpunkt des Abrufs und die bezogene Regelleistung bestimmt jedoch ausschließlich der Übertragungsnetzbetreiber.

2.3.5 Der „Business Case“ für Virtuelle Kraftwerke

Für jedes VK mit dem jeweiligen vorhandenen Anlagenportfolio ermöglicht eine individuell zugeschnittene Optimierungsstrategie, ökonomisch bzw. ökologisch erfolgreich zu sein. Anhand des vorhandenen Anlagenpools muss ein Geschäftsmodell entwickelt werden, das eine optimale Verwendung der eingesetzten Ressourcen erlaubt. Dazu gehört unter Umständen auch die Teilnahme an mehreren Strommärkten.

3 Der Demonstrator

Das Demonstrationsprojekt Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb, im Folgenden *Demonstrator* genannt, wird vom Projektkonsortium, das aus sieben klein- und mittelständischen Unternehmen und zwei Hochschulen besteht, umgesetzt und vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gefördert.

Im Folgenden werden die Ziele des Demonstrators erläutert und die geplanten Anlagen in den verschiedenen Ausbaustufen vorgestellt.

3.1 Zielsetzung und Konzept

Das Ziel des Projekts ist die Demonstration von Aufbau und Betrieb eines VK am Standort der Hochschule Reutlingen. Den Kern bildet ein virtuelles Microgrid am Hochschulcampus, das mithilfe verschiedener Optimierungsstrategien die Versorgung der Elektromobilität durch im Projekt erzeugte elektrische Energie sicherstellt. Die Informationen weiterer Prosumer aus der Hochschule, der Stadt, von Firmen und weiterer Liegenschaften werden im Demonstrator erfasst und verarbeitet. Ergänzt wird das VK um eine Simulation, um Funktionen wie Schwarmregelverhalten, Potentialanalysen interessierter Firmen und die erweiterte Teilnahme am Energiemarkt zu ergänzen.

Als Informationsplattform soll mit dem Demonstrator allen Besuchern, Interessierten und Studierenden das Verständnis für die Energieversorgung und Smart Grids an einem anfassbaren Beispiel vertieft werden. Interaktive Spiele, Vorträge und Auskünfte auf der Homepage sind ebenfalls wichtige Bestandteile der Öffentlichkeitsarbeit.

Als Lehr- und Forschungsplattform des Reutlinger Energiezentrums sollen mit dem Demonstrator den Studierenden Forschungsthemen zur Verfügung gestellt werden. Zu diesem Zweck wird ein bestehendes Steuerungslabor um das Informationsmanagementsystem des VK erweitert und ein Anlagenpark mit innovativen DER geschaffen. Die

gewählten DER ermöglichen die Untersuchung der Sektorkopplung und können sowohl einzeln als auch im Verbund getestet werden. Im Rahmen des Projekts werden die Kommunikationsanforderungen eines VK untersucht und Vorschläge zur Vereinheitlichung von Steuerungs- und Sicherheitsprotokollen erarbeitet. Über die Anbindung an ein zentrales Leitsystem soll der netzdienliche Betrieb des Anlagenverbunds mit der Perspektive einer späteren Anbindung an einen Energiemarkt erprobt werden.

3.2 Zeitplan

Das Projekt startete am 16. Oktober 2015 und hat eine Projektlaufzeit von drei Jahren. Das erste Jahr beinhaltet die Planung des VK und den Aufbau der Anlagen des Microgrids. Sobald die ersten Maschinen und Anlagen angeschafft worden sind, werden sie an das Informationsmanagementsystem angeschlossen. Nach einer Testphase zur Integration der Einzelanlagen schließt sich der Live-Betrieb bis Projektende an. Nach dem Förderzeitraum ist eine Weiterentwicklung durch die Hochschule Reutlingen vorgesehen.

3.3 Anlagen und Ausbaustufen

Der Demonstrator umfasst Anlagen der Hochschule Reutlingen sowie externe Anlagen von Kooperationspartnern und weiteren Teilnehmern. Der mehrstufige Aufbau des Demonstrators in den verschiedenen Ausbaustufen ist in **Abbildung 1** schematisch dargestellt.

3.3.1 Projektlabor und Demonstrationsleitwarte

In der ersten Ausbaustufe werden ein Projektlabor in der Maschinenhalle und eine Leitwarte auf dem Campus der Hochschule aufgebaut.

Im Projektlabor werden ein erdgasbetriebenes Mini-Blockheizkraftwerk, eine Absorptionskälteanlage, ein Wärmepufferspeicher sowie eine Solarwärmepumpe mit Latentspeicher und Hybridkollektoren („Eisspeicherheizung“) installiert. Die ausgewählten Maschinen weisen eine hohe Flexibilität auf, da sie im Verbund als steuerbare Erzeuger und Verbraucher elektrischer Energie dienen und Kraft-Wärme-Kälte koppeln. Die Anlagen im Projektlabor sind mit Anlagensteuerungen ausgestattet, die als Kommunikationsmodule auch die Anbindung an die Leittechnik gewährleisten. Die Demonstrationsleitwarte wird in einem Steuerungslabor untergebracht. Dort werden Bedienplätze für das Informationsmanagementsystem des VK installiert, mit denen Studierende die Möglichkeit für eingehende Untersuchungen erhalten. Der Anlagenzustand wird außerdem auf großen Bildschirmen aufgezeigt. Die Visualisierung dient außerdem zur Vorstellung des Demonstrators für interessierte Besucher und wird auch von Studierenden für Präsentationen genutzt.

3.3.2 Elektroladestation

In der zweiten Ausbaustufe wird auf dem Campus ein virtuelles Microgrid errichtet, welches das Projektlabor mit einer Ladestation für Elektrofahrzeuge verbindet. Die Ladestation ist mit einer Photovoltaikanlage und einem Batteriespeicher ausgestattet und mit einer Anlagensteuerung

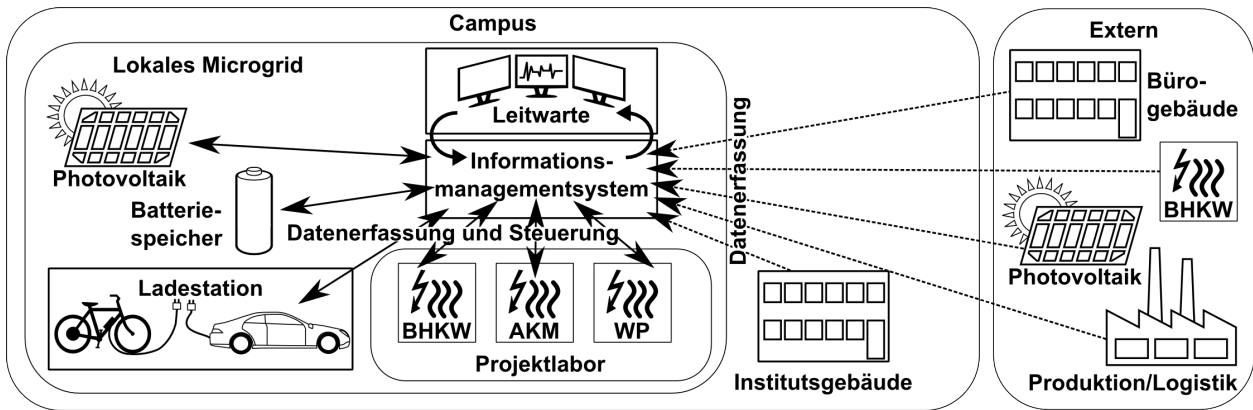


Abbildung 1 Demonstrator mit Projektlabor und Ladestation im lokalen Microgrid, sowie Institutsgebäuden auf dem Campus der Hochschule und Anbindung externer Teilnehmer.

an das zentrale Leitsystem angebunden. Die erforderliche elektrische Energie zur Versorgung der Elektrofahrzeuge soll vollständig durch die installierten DER bereitgestellt werden.

Das Microgrid besteht somit aus nicht-steuerbaren sowie steuerbaren Erzeugern, nicht-steuerbaren sowie steuerbaren Verbrauchern und einem Speicher für elektrische Energie und deckt dadurch alle wesentlichen DER eines Microgrids ab.

3.3.3 Gebäudetechnik

In einer dritten Ausbaustufe sollen die Messdaten aus der Gebäudeleittechnik weiterer Hochschulgebäude an das Informationsmanagementsystem des Demonstrators angebunden werden. Daten über Verbrauch und Erzeugung von Energie in anderen Teilen des Campus stehen somit im Leitsystem zur Verfügung und können in Planspiele und Simulationen einbezogen werden.

3.3.4 Externe Anlagen

In der letzten Ausbaustufe werden Anlagen von externen Teilnehmern zur Datenerfassung und ggf. Steuerung angebunden. Als externe Anlagen sind Maschinen aus Industrie- und Gewerbebetrieben sowie Photovoltaikanlagen und Blockheizkraftwerke vorgesehen.

Eine Option ist die Modellierung der Anlagen des Teilnehmers und deren Simulation im Leitsystem des Demonstrators, um das Potential für die Anbindung an ein VK zu ermitteln.

Jeder Teilnehmer wird anschließend an das VK angebunden, wobei entweder direkte Datenlieferungen der Betreiber genutzt oder zusätzliche Messsysteme installiert werden. Die Unternehmen erhalten für die Teilnahme eine Beratung und die informationstechnische Anbindung an das Leitsystem. Mit den erfassten Messdaten können Flexibilitäten im Energiebedarf der Unternehmen identifiziert und analysiert werden.

3.4 Informationstechnischer Aufbau

Das zentrale Informationsmanagementsystem wird auf einem Server im Rechenzentrum betrieben und von der Demonstrationsleitwarte aus über Fernzugriff gesteuert.

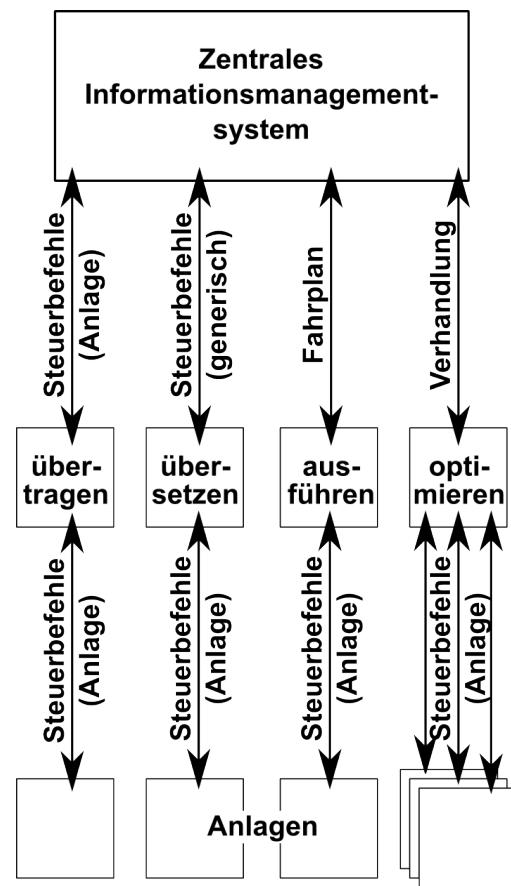


Abbildung 2 Designalternativen für Anlagensteuerungen und Kommunikation mit einem zentralen Informationsmanagementsystem.

Für die Anlagensteuerung werden verschiedene Konzepte eingesetzt, die in **Abbildung 2** dargestellt sind.

Steuerungsgeräte können als reine Kommunikationsgateways ausgeführt sein und Steuerprotokolle der Anlagen über sichere Kanäle vom und zum Informationsmanagementsystem transportieren. Andere Anlagensteuerungen übersetzen anlagenspezifische Protokolle und Datenformate in das Format des Informationsmanagementsystems und umgekehrt. Durch Übertragung und Speicherung von Anlagenfahrplänen für längere Zeiträume kann die Kommunikation mit dem Leitsystem effizienter gestaltet werden.

Die Anlagensteuerung übersetzt hierbei die Zielvorgaben des Fahrplans in Steuerbefehle für die Anlage.

Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von optimierenden Anlagensteuerungen. Hierbei wird zwischen dem Leitsystem und den Anlagen eine zusätzliche Optimierungsebene eingeschoben. Intelligente Steuergeräte erfassen Daten und Prognosen der Anlagen in ihrem jeweiligen Verantwortungsbereich. Damit können lokale Optimierungen durchgeführt werden und die wirtschaftlichen und technischen Details der Anlage müssen beim zentralen System nicht mehr bekannt sein. Auf diese Weise können anlagenspezifische Rahmenbedingungen gezielter eingehalten werden.

Für den Datenaustausch des Informationsmanagementsystems mit den verschiedenen Anlagensteuerungsgeräten wird eine HTTP-Schnittstelle verwendet. Die Basis für die IP-Kommunikation mit dem Informationsmanagementsystem bilden verschiedene Technologien. Die Anlagen im Projektlabor und im lokalen Microgrid werden über die Ethernet-Infrastruktur der Hochschule oder über WLAN angebunden. Externe Anlagen werden je nach Verfügbarkeit über den Internetzugang der Unternehmen (z.B. über DSL) oder Mobilfunk angebunden.

3.5 Öffentlichkeitsarbeit

Ein zentrales Ziel des Demonstrators ist es, Besucher über VK zu informieren. Studienarbeiten werden dazu eingesetzt, Informationen für das VK herauszuarbeiten und anschaulich darzustellen. Außerdem tragen eine Internetseite und ein Flyer dazu bei, über den Demonstrator zu informieren. Aufbau und Betrieb des Demonstrators sollen als Grundlage für wissenschaftliche Veröffentlichungen und Teilnahme an Fachkonferenzen dienen.

Viele Untersuchungen des Demonstrators beschäftigen sich mit der Energiewirtschaft, insbesondere mit der zukünftigen Entwicklung der Energiebörse. Ein wichtiges Ergebnis des Projekts ist daher die Erstellung von Handlungsempfehlungen an das Land Baden-Württemberg. Ein weiterer zentraler Punkt bildet die Entwicklung von Geschäftsmodellen für VK.

4 Ausblick

In den nächsten Monaten werden die energietechnischen Anlagen sowie die Software des Demonstrator VK Neckar-Alb bestellt und installiert. Weitere Teilnehmer müssen für das Projekt gewonnen werden, um die Funktionen eines VK in der ganzen Bandbreite aufzeigen zu können und um die Reaktion auf realistische Herausforderungen für VK-Betreiber zu untersuchen.

Danksagung

Das Demonstrationsprojekt Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb wird von 16.10.2015 bis 15.10.2018 über das Programm „Smart Grids und Speicher Baden-Württemberg“ des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg mit Mitteln des Landes durch

den Projektträger Karlsruhe (PTKA) am Karlsruher Institut für Technologie gefördert. Für den Inhalt dieses Beitrags sind ausschließlich die Autoren verantwortlich.

Literatur

- [1] *Virtuelles Kraftwerk Neckar-Alb: Demonstrator*. <http://www.virtuelles-kraftwerk-neckar-alb.de/demonstrator/>, abgerufen am 22.8.2016.
- [2] CIGRÉ: *Working Group C6.22: Microgrids*. <http://c6.cigre.org/WG-Area/WG-C6.22-Microgrids>.
- [3] N. Etherden, V. Vyatkin und M. Bollen: *Virtual Power Plant for Grid Services using IEC 61850*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 12(1):437–447, 2016.
- [4] R. T. Fielding: *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. Dissertation, University of California, 2000.
- [5] E. Ibaragi, T. Suzuki und S. Nii: *Technology for Distributed Energy Systems*. Fuji Electric Journal, 78(6):423–430, 2005.
- [6] IEC: *IEC 60870-5-104: Network Access for IEC 60870-5-101 Using Standard Transport Profiles*, 2000.
- [7] IEC: *IEC 61400-25-4: Communications for Monitoring and Control of Wind Power Plants - Mapping to Communication Profile*, 2008.
- [8] IEC: *IEC 61850-7-420: Communication Networks and Systems for Power Utility Automation - Distributed Energy Resources Logical Nodes*, 2009.
- [9] IndustrieForum VHPready: *VHPready Anforderungsspezifikationen 3.0*. <http://www.vhpready.de/>, 2012.
- [10] C. Marnay, S. Chatzivasileiadis, C. Abbey, R. Iravani, G. Joos, P. Lombardi, P. Mancarella und J. von Appen: *Microgrid Evolution Roadmap*. In: *International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST)*, 2015.
- [11] Modbus IDA: *Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b*, 2006.
- [12] Modbus IDA: *Modbus Application Protocol Specification v1.1b3*, 2012.
- [13] W. Mollenkopf: *Intelligentes Energiemanagement für Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen*. In: *VDE-Kongress 2010*. VDE VERLAG GmbH, 2010.
- [14] A. B. Pedersen, E. B. Hauksson, P. B. Andersen, B. Poulsen, C. Traeholt und D. Gantenbein: *Facilitating a Generic Communication Interface to Distributed Energy Resources: Mapping IEC 61850 to RESTful Services*. In: *IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 2010.
- [15] S. Ritter und P. Bretschneider: *Optimale Planung und Betriebsführung im liberalisierten Energiemarkt*. In: *Proceedings 17. Workshop Computational Intelligence*, 2007.