

Energienetzmanagement dezentraler, wärmegeführter Blockheizkraftwerke im speichergestützten KWKK-Betrieb diverser Verbraucherstrukturen

Abschlußbericht zum Projekt 2012-09
www.badenova.de/innovationsfonds



Verfasser:

Jesus da Costa Fernandes¹

Günter Zapf²

Hans-Jürgen Schneble³

Elmar Bollin¹

¹Forschungsgruppe NET - Nachhaltige Energietechnik,
INES - Institut für Energiesystemtechnik der Hochschule
Offenburg

²Günter und Martin Zapf Energie GbR mbH,
Gengenbach-Schönberg

³Stadt Offenburg, Offenburg

Erstelldatum: 30.04.2017

Summary

Authors: ¹Jesus da Costa Fernandes, ²Günter Zapf, ³Hans-Jürgen Schneble, ⁴Elmar Bollin
Project title: Energy grid management of decentralized combined heat and power systems with diverse energy consumption profiles
Project-ID: 2012-09

Starting in May 2012 the Hochschule Offenburg - University of Applied Sciences as research institution and coordinator worked on a bundle of work packages to upgrade low voltage energy distributions to smart subnets. With the partners Municipality of Offenburg and the company Günter and Martin Zapf Energie GbR mbH in Schönberg, close to Gengenbach, the project team has led the project to a full success in July 2016.

Four power distributions were transformed to real labs getting very close to smart subnets or micro grids. The supply systems or local energy grids were built up with energy sources, energy storages and energy sinks realizing typical features of a micro grid interacting with the public utility grid. All systems were extended with additional meters, sensors and actors to realize an energy management based on monitoring data.

A special research aspect was given to the potential analysis of trigeneration as a variant of local power distributions. Combining cooling power with heat and power of CHP-units the modelling of a trigeneration supply any complex grid configuration can be described on the local extent and optimized afterwards within further scientific R&D-tasks.

After upgrading the selected subnets the energy monitoring was commissioned with specific data points archived in local SQL-type databases. The databases mostly realized were then used for the development of an energy management allowing automatic evaluation of historical data and finally lead to manual decisions in the first step and automated actions in a latter sophisticated version. A high importance was given to survey and safety functions realized within the PLC-concept allowing actions initiated by thresholds, work ranges and defined limits. The PLC-based automation interacts with the visualization and offers a local overview of the system performance to the operator on site and via remote access.

In the case of remote power supply systems the evaluation of battery states-of-charge, solar and wind contributions are subjects of R&D for at least two decades. Therefore a lot of experience can be applied to set up an energy management based on logic control using simple algorithms. Introducing grid parameters, significant states and trends of a smart grid new challenges emerge together with new topologies of a combined grid including CHP units, lignite gasifiers or an ice storage.

The project offered excellent conditions to meet the challenges of smart subnets to researchers, operators, investors and energy providers. Performance checks with the analysis of databases to prepare adequate conditions for new business models. Other research activities at the Offenburg University of Applied Sciences had an important impact on the project as further works were initiated to explore specific details and subtasks. The INES Smart Grid (ISG) at the Institute of Energy Systems Technology (INES) was newly designed and assembled to have a test and validation environment for complex control and management algorithms. Stress tests should lead to optimization of already developed routines and improve the energy efficiency of decentralized energy distributions.

In details the project extended the following lab infrastructures with an energy monitoring, process automation infrastructure and data communication features.

¹ Hochschule Offenburg

² Günter und Martin Zapf Energie GbR mbH

³ Stadt Offenburg

⁴ Hochschule Offenburg

The new features allow interactions with external data and energy management systems which help to automatically change the operation strategy or to manage energy flows:

- **Real Lab “Energieinsel mit Lernecke”, remote area power supply with students’ corner**, single phase micro grid (part of the Lab installations in Building B at the Offenburg University of Applied Sciences).
- **Real Lab “INES Smart Grid - ISG”** (grid setup with micro grid with PV, Wind, hydrogen, e-vehicle and combined heat and power unit), a tri-phase micro grid designed for scientific development of operation strategies and algorithms.
- **Real Lab “Energienetz Gefügelhof Zapf” noodle manufactory of a poultry farm** (CO₂-neutral, innovative energy grid with biomass/lignite gasification and regional value added concept), sustainable energy concept for a company using mainly local resources.
- **Real Lab “Southern School Campus Northwest”** (municipal, local energy distribution with high own consumption coefficient and significant saving of CO₂ emissions), a municipal way to define a local energy grid for building pools and campuses.

Within the project different functions of the real labs were chosen according to their specific request to become smart. Therefore the following results can be stated as main findings of the work packages:

External partners ask for a secured remote access to their energy systems. Communication structures as typical market solutions cannot be considered as sufficiently developed to realize safety levels with necessary authentication procedures for secured access. Operators and Investors mostly insist on running energy supplies being up-to-date but also safe. Finally not all systems are accessible by remote control by lack of permission.

Modelling complex energy grids requires high efforts and takes a lot of time. To analyze historical data and adopt existing models of the simulation environments TRNSYS and Matlab two thesis works led to the conclusion that models should be simplified and reduced to essential characteristics. The concept therefore elaborated is to develop a model based on energy meters and states including calendar evaluation and time schedules as well as weather forecasts. Works here are ongoing.

The municipality of Offenburg running a school campus proved that at high share the energy produced by the CHP units is consumed on site. As the energy management concept here was mainly concentrated on an analytical energy monitoring the aim was fulfilled with continuously monitored energy data in a widely common database format. Future tasks will extend the achieved communication infrastructure to further objects managed by the municipality.

The two real labs of the Hochschule Offenburg are objects of further analysis and ongoing research activities. At least three ongoing doctoral theses are handling aspects of optimization. As the “Energieinsel” is a quite old system the future focus will be set on tasks with the INES Smart Grid with its PV, wind, hydrogen system and e-vehicle. Within the project itself a weather station and electronic loads were added. To profit of hydrogen as storage medium for power supplies also a grid feeding of power was realized using the PEM fuel cell with 1,7 kW nominal DC power. Actually the ISG is extended with a Combined CHP (CCHP) sequence and will finally offer a highly variable hybrid infrastructure. Details can be taken of the related publications and contributions to scientific conferences and journals.

All real labs cannot be considered as completed and will be objects of further research activities. The integration of external signals and information as well as the use of historical data for supply or load profiles are in progress. Together with energy providers and energy market players a networking of local energy grids is only one of the following steps.

Acknowledgements

The Project was supported by the “Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co KG” under the project-ID 2012-09. The shortly called badenova innovation fund was founded by the regional energy supplier badenova AG & CO. KG to further a wide range of measures, facilitate investment and push developments to protect the climate and secure a clean and save water access.

Inhalt

Summary	3
1 Projektüberblick.....	7
1.1 Wissenschaftliche und technische Ziele	8
1.2 Aufgaben und Ziele im Projekt	9
1.3 Herausforderungen // Chancen und Risiken des Vorhabens.....	9
2 Projektbeschreibung	10
2.1 Projekttablauf	10
2.1.1 Projektidee	10
2.1.2 Ausführungsplanung	10
2.1.3 Kenndaten der Zeitplanung.....	11
Budgetplanung und Förderung	13
2.1.4 Abschätzung der Kosten/Investitionsrahmen (Projektlaufzeit 4.2012 – 07.2016)	13
2.2 Projektplanung	14
2.2.1 Energiekonzepte und Studien	14
2.2.2 Methodik zur Realisierung eines Energienetzmanagement.....	15
2.2.3 Meßkonzept zur Erfassung von Energiemengen.....	16
2.2.4 Prognosen zur Unterstützung der Betriebsführung	17
2.2.5 Kenndaten für die Modellierung der Demosysteme.....	21
2.3 Technische Umsetzung.....	23
2.3.1 Energiegewinnung und Energieverteilung bei den Reallaboren	23
2.4 Reallabor Energieinsel.....	24
2.4.1 Mikrogrid mit Lernecke für Studierende.....	25
2.4.2 Ansatz einer automationsgestützten Optimierung.....	28
2.4.3 Lastanalyse und Auswertung von Lastgängen	28
2.5 Reallabor Geflügelhof Zapf.....	31
2.5.1 Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung für einen Produktionsbetrieb	33
2.5.2 Datenanalyse und Modellierung	35
2.5.3 Meß- und Energiekonzepte am Geflügelhof Zapf	40
2.6 Reallabor Schulenzentrum Nordwest.....	42
2.6.1 Kraft-Wärme-Kopplung für das Schulenzentrum.....	45
2.7 Reallabor INES Smart Grid	48
2.7.1 Labornetz für Forschung und Entwicklung zur Energiewende	48
2.7.2 Technische Daten des INES Smart Grid	49
2.7.3 Versorgungsszenarien am ISG	50
2.7.4 Netzbetriebsarten	50
2.7.5 Arbeitspakete im Teilprojekt INES Smart Grid	52
2.8 Weitere Projektergebnisse und Besonderheiten	57
2.8.1 Lösungsansätze im Projekt	58
2.9 Ökologischer Nutzen	59
2.9.1 Einsparung an Primärenergie und Berücksichtigung von Primärenergiefaktoren	59
2.9.2 Reduktion der CO ₂ -Emissionen	59
3 Betrachtung zu Wirtschaftlichkeit und Umsetzung.....	61

3.1	Investitions- und Betriebskosten	61
3.2	Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.....	61
3.3	Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb	61
3.4	Weiterführende, resultierende Maßnahmen	62
3.5	Übertragbarkeit der Projektergebnisse.....	62
4	Öffentlichkeitsarbeit	63
4.1	Führungen und Vorträge	63
4.2	Flyer, Presse, Veröffentlichungen, Abschlußarbeiten, Dokumentation	64
5	Zusammenfassung/Fazit	65
6	Ausblick	67
7	Quellen/Referenzen	69

1 Projektüberblick

Die starke Nachfrage für technische und wirtschaftliche Lösungen bei der Umsetzung der Energiewende wirkt sich stark auf laufende Forschungsaktivitäten am Institut für Energiesystemtechnik INES der Hochschule Offenburg aus. Die Forschungsgruppe Nachhaltige Energietechnik (NET) unter der Leitung von Prof. Elmar Bollin bearbeitet bereits seit 15 Jahren die Integration erneuerbarer Energien in dezentrale Versorgungsstrukturen und Niederspannungsverteilnetze von Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie Siedlungsgebieten und Stadtvierteln.

Seit 2010 werden verstärkt dezentrale Energieverteilnetze als Komponenten eines Smart Grid intensiv untersucht und Energienetzmanagement-Lösungen für Betreiber dieser Lokalnetze im Rahmen von Promotionsvorhaben und Abschlußarbeiten entwickelt, verfeinert und ergänzt. Zusammen mit Partnern aus der Wirtschaft sollen Reallabore entstehen, die eine umfassende analytische Untersuchung erlauben und den Einsatz von Optimierungsverfahren, Betriebsalgorithmen und Regelstrategien vorbereiten.

Unter einem Verteilnetz werden dabei ausschließlich Niederspannungsnetze nach einem Ortsnetztransformator verstanden, die über ein Drehstromnetz bei 400-V die Stromversorgung dreiphasig bereitstellen. Ein Energienetz setzt sich im Projektverständnis aus einem Verteilnetz für Strom und einem Verteilnetz für Wärme und/oder Kälte zusammen. Der Begriff Trigeneration geht dabei davon aus, daß von einer oder mehreren Energieversorgungseinheiten sowohl Strom, Wärme als auch Kälte bereitgestellt wird. Mit der verstärkten und naturgemäß un stetigen Einspeisung von Solar- und Windbeiträgen, die im Energienetz der Bundesrepublik Deutschland vorwiegend auf der vorgenannten Verteilnetzebene erfolgen, können Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen (KWKK) sowie elektrische und thermische Speicher eine besondere Rolle übernehmen. Die so entstehenden lokalen Netze mit Gewinnung und Bereitstellung, Speicherung und Verbrauchsstruktur in Form einer Energieverteilung verfügen über alle Eigenschaften eines Energienetzes auf kleinster Ausdehnung. Als Mikronetze machen sie somit die kleinste Struktur aus, die für Effizienzsteigerung, Netzstabilisierung oder Kompensation in Frage kommt.

Das Forschungsvorhaben zielt darauf einen Beitrag zu leisten, der es Betreibern von dezentralen Energieversorgungsstrukturen erlaubt, unter Berücksichtigung des eigenen Bedarfs gezielt auf die Entwicklungen im Stromnetz zu reagieren. Neue Werkzeuge sollen nicht nur wie bisher einen Überblick zu den energierelevanten Zuständen und Flüssen geben, sondern auch helfen manuell und idealerweise automatisiert in die Lokalnetzbedingungen einzugreifen. Umfangreiche technische Vorbereitungen sind zum Erreichen günstiger Bedingungen erforderlich und fußen in nahezu allen Fällen auf der Einrichtung eines analytischen Energiemonitoring. Ergänzt wird das Monitoring mit Automations- und IT-Strukturen, die einen angemessenen Informationsaustausch für Steuerung und Regelung gewährleisten. Bereits ein zuverlässiges Monitoring des Energieumsatzes und eine Visualisierung der Vorgänge im Netz sind dem Betreiber große Hilfen, um Einblicke zur Effizienz zu erhalten und bei Bedarf Maßnahmen einzuleiten. Erst wenn die umfangreichen Vorarbeiten geleistet sind, kann mit Hilfe eines Online-Netzmodells eine Optimierung des Betriebs angegangen werden, die zu Empfehlungen oder gar automatisierten Einflußnahmen führt.

Die kontinuierliche Erfassung von Energieflüssen zu Strom-, Wärme- und Kältebereitstellung wird mit Hilfe von Datenbanken für die Entwicklung komplexer Betriebsstrategien genutzt. Betreiber der Verteilnetze (Produktionsbetriebe, Kommunen oder das INES selbst) können für die Umsetzung eines nachhaltigen Betriebs externe Einflüsse berücksichtigen. Dabei wird unter anderem auf die Hilfe von Wettermeßtechnik und Wetterprognosen zurückgegriffen, wenn es um Auswirkungen der Wetterlage auf die Betriebsumgebung geht. Variable Tarife der Netzbetreiber oder Indikatoren und Trends zur Netzqualität sind weitere Parameter, die es künftig einzukoppeln gilt.

Methodisch werden verschiedene Verfahren wie Auswertungen historischer Energie- und Betriebsdaten, Einbindung von Expertenwissen, prädiktive Algorithmen oder hybride Formen der Optimierung eingesetzt. Bezüglich realistischer Ziele im Projekt dient das Vorhaben der Vorbereitung von Umgebungen, die den Einsatz von automatisierten Optimierungsverfahren erlauben. Die Umsetzung und Untersuchung einzelner Optimierungsansätze sollte deshalb im Projekt angestrebt werden.

1.1 Wissenschaftliche und technische Ziele

Die Hochschule Offenburg arbeitet im Projektvorhaben „Energienetzmanagement“ mit den Energiemanagern des Produktionsbetriebs „Geflügelhof Zapf“ und der Stadt Offenburg an der Entwicklung eines Energiemanagements für dezentrale Energieverteilnetze. Als Reallabore stehen neben dem Geflügelhof, ein Verteilnetz im Schulenzentrum Nordwest in Offenburg, die hochschuleigene Energieinsel und das Labor-Energienetz INES Smart Grid (ISG) am Campus Nord zur Verfügung. Das Subnetz ISG befindet sich im Aufbau und sollte im Laufe des Projekts als dreiphasiges Hybridnetz weiter ausgebaut und vervollständigt werden.

In Verbindung mit dem Einsatz stationärer, elektrischer und thermischer Speicher wird auf eine gezielte Einspeisung der elektrischen Leistung Wert gelegt. Der Ansatz der kontrollierten Einspeisung bringt den wesentlichen Vorteil eine definierte, bilanzierbare Energiemenge mit dem Verteilnetz in einer Vorzugsrichtung auszutauschen bzw. auf Ereignisse im Netz zu reagieren.

Optimierungsverfahren, die vorwiegend in Simulationsumgebungen entwickelt werden, lassen sich mangels Systemen mit geeigneten Schnittstellen zum Realsystem nur eingeschränkt validieren. Mit Reallaboren können künftig Sachverhalte, die im Betrieb der Lokalnetze auftreten, nur teilweise in Modellen abgebildet bzw. berücksichtigt werden. Hier dient vor allem das Monitoring zur Modellanpassung, Validierung oder Entwicklung von Korrekturalgorithmen für bereits entwickelte Simulationsmodelle oder Regelalgorithmen.

Die Reallabore des Projekts stehen der Wissenschaft in erster Linie als Testumgebungen für neue Verfahren, Optimierungen und zur Validierung von Simulationsmodellen zur Verfügung. Am Institut für Energiesystemtechnik INES werden verschiedene Ansätze für den optimierten Betrieb von Niederspannungsverteilnetzen verfolgt und untersucht. Im Bereich KWK-Anlagen steht der Forschungsgruppe NET seit der Inbetriebnahme der PV-versorgten Lernecke der Hochschule Offenburg im Jahr 2011 eine vollständige einphasige Verteilnetzstruktur mit einer hybriden Energieversorgung, einem elektrischen und einem thermischen Speicher und einer komplexen Verbrauchstruktur (Lernecke mit Beleuchtung und Kleinverbraucher-Stromversorgung) zur Verfügung. Ergänzt durch die Verteilnetze des Produktionsbetriebs Geflügelhof Zapf und dem kommunalen Verteilnetz für einen Pool von Schulgebäuden in Offenburg werden Bedingungen geschaffen, die zu Erkenntnissen für dreiphasig ausgelegte Niederspannungsnetze führen. Diese sollten in die Auslegung und den Aufbau des INES Smart Grid am Hochschulstandort Campus Nord in Offenburg/Bohlsbach einfließen. Schritt für Schritt sollen dann die Schnittstellen für wissenschaftliche Programmier- und Simulationsumgebungen eingerichtet und bereitgestellt werden, die komplexere Datenbank- und Rechnergestützte Optimierungskonzepte erlauben. Zudem werden Aspekte untersucht, die eine Effizienzsteigerung und Umweltentlastung nach sich ziehen, wenn strategische Investitionen in Verbindung mit einem hohen Automationsgrad zu einem optimierten Einsatz von Energieressourcen führen sollen.

Unternehmen und öffentliche Einrichtungen sollen neben der Entlastung der Umwelt und dem Erreichen von Klimaschutzziele auch den wirtschaftlichen Aspekt im Auge behalten, um die Wahl der ausgearbeiteten Lösungen und Konzepte vor Bürgern und Finanzträgern hinreichend gut vertreten zu können. Hier liegt insbesondere das Augenmerk kommunaler Projektpartner wie der Stadt Offenburg. Verstärkt wird der wissenschaftliche Charakter durch die Einbindung von Studierenden in ihren Abschlußsemestern und die Integration des Projekts in Promotionsvorhaben am Institut, die der Verbreitung der Arbeitsergebnisse dienen und die Diskussion im Fachpublikum eröffnen.

Projektvorstellungen und öffentliche Veranstaltungen in der Region dienen dem Zugang zu einer breiten Öffentlichkeit, die sich über neue Entwicklungen im Bereich des Klimaschutzes informieren kann. Dies erfolgt im Projekt durch Beiträge zu internationalen Konferenzen und im Austausch mit Hochschulen. Durch Maßnahmen wie dem Hoffest auf dem Geflügelhof Zapf oder Führungen durch die Labore an der Hochschule Offenburg und über die Präsenz der Forschungsgruppe NET in hochschulinternen und lokalen Medien wie dem Campus-Magazin, dem Offenburger Tagblatt oder der Badischen Zeitung wird zudem eine breite Öffentlichkeit erreicht. Einzelmaßnahmen sind in Kapitel 4 Öffentlichkeitsarbeit beschrieben bzw. gelistet.

1.2 Aufgaben und Ziele im Projekt

Ziele des Vorhabens sind die Erweiterung des Managements energietechnischer Infrastrukturen im kommunalen Umfeld der Stadt Offenburg mit dem Aufbau eines zentralisierten Managements für Gebäude und Energieanlagen. Laststrukturen und dezentrale Einspeisepunkte stellen nach wie vor große Herausforderungen an die Neugestaltung der künftigen Energieverteilnetze dar. Dies gilt insbesondere wenn thermische und elektrische Energiespeicher hinzukommen. Mit dem Einsatz prädiktiver Verfahren im Netzmanagement erarbeitet sich die Forschungsgruppe NET an der Hochschule Offenburg neue Einsatzgebiete im Bereich moderner Energienetze mit fluktuierenden Beiträgen aus erneuerbaren Energiequellen. In Verbindung mit den bereits realisierten Forschungsarbeiten im Bereich der prädiktiven Verfahren zur Optimierung des Gebäudebetriebs, beabsichtigen die Forscher die Ausweitung von Kompetenzen auf die komplexere Struktur eines Energienetzverbunds unter Einbindung elektrischer als auch thermischer Speicher sowie bei der Bereitstellung von Kühlleistung.

Erwartet werden wichtige Erkenntnisse im Bereich Smart Grids, Anforderungen für „smarte Produkte und Anwendungen“ und die benötigten energiewirtschaftlichen Randbedingungen für die Absprachen zwischen Wirtschaftsakteuren und kommunalen Liegenschaftsbetreibern. Als gezielt formulierte Schwerpunkte im Projekt sind zu nennen:

- Analyse von Betriebsarten und Funktionen der Kraft-Wärme-Kopplung in Lokalnetzen,
- Übertragung auf Energieversorgungen kommunaler Liegenschaften und weitere Hybridnetze,
- Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zur prädiktiven Regelung in KWKK-Netzen,
- Entwicklung und Berücksichtigung unterschiedlicher Betriebsweisen unterstützt durch prädiktive Automationsverfahren,
- Test, Validierung und Optimierung von Modellen und Werkzeugen sowie Methodik,
- Umsetzung der Forschungsaktivitäten im Rahmen einer Promotion, Studien- bzw. Abschlusarbeiten von Studierenden,
- Kommunikation der Inhalte in Form von Veröffentlichungen und die Verbreitung im wissenschaftlichen Umfeld.

1.3 Herausforderungen // Chancen und Risiken des Vorhabens

Die Herausforderungen des Projekts liegen in der hohen Komplexität, dem stark innovativen Charakter auf sehr vielen Ebenen und bei den eingesetzten Techniken und Konzepten. Zudem handelt es sich bei Demoobjekten wie dem Geflügelhof Zapf um einen gewerblichen Betrieb, der im laufenden Betrieb modernisiert wurde/wird. Aus Vorprojekten wie dem Schulklimatisierungsprojekt 2008-1 des Innovationsfonds der badenova ist auch bei den kommunalen Partnern bekannt, daß signifikante Umbauarbeiten nur während der Schulferien in Angriff genommen werden können. Bei den KWK-Anlagen handelt es sich um Einheiten in Schulen oder Sporthallen. Damit sind Umbauarbeiten während des Winterhalbjahrs nahezu ausgeschlossen.

Um die Auswirkungen hinsichtlich der Entwicklungsarbeiten zu begrenzen, wurden in der Projektplanung die Energieinsel und das INES Smart Grid am Campus Nord der Hochschule Offenburg als Testumgebungen für Software, Verfahren und neue Funktionen aufgenommen. Dieser Schritt sichert die Möglichkeit im Laborbereich neue Algorithmen, Strategien und Konzepte zu untersuchen, die anschließend auf die mit externen Partnern aufzubauenden Reallabore übertragen werden.

Ausfälle, Verzögerungen, Randbedingungen und technische Mängel haben dennoch das Projekt stärker beeinflusst als erwartet und deshalb zu Laufzeitverlängerungen geführt, die von den Partnern weitgehend kostenneutral oder durch Co-Finanzierung und Eigenleistungen gestaltet und kompensiert wurden. Die Hochschule konnte durch Einsatz von weiterem Personal und durch die Einbindung des Projekts in laufende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Institut für Energiesystemtechnik einen erfolgreichen Projektverlauf sicherstellen.

Auch konnten weitere Projekte und Entwicklungsvorhaben auf den laufenden Arbeiten aufsetzen und in Angriff genommen werden. Dies gilt insbesondere für die Nutzung der Reallabore an der Hochschule Offenburg im Rahmen der Promotionskollegs KleE (Kleinskalige erneuerbare Energiesysteme) und DENE (Dezentrale Energienetze mit erneuerbaren Energien) mit der Universität Freiburg, weiterer Industriepartner und Hochschulen sowie assoziierten Forschungseinrichtungen.

2 Projektbeschreibung

Um die Auswirkungen hinsichtlich der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu begrenzen, wurden in der Projektplanung die Energieinsel und das INES Smart Grid am Campus Nord der Hochschule Offenburg als vorhandene Testumgebungen für Software, Verfahren und neue Funktionen aufgenommen. Im wesentlichen werden auf der Basis eines analytischen Monitorings die Möglichkeiten der Einrichtung von Betriebsstrategien auf der Basis prädiktiver Verfahren zur Effizienzsteigerung sichergestellt. Investitionen sorgen für Modernisierung und strategische Ergänzungen hin zu einer neuartigen Energieversorgungsstruktur. Inwieweit die Veränderungen bei dezentralen Energieversorgungen zu einer Kompatibilität zum Smart Grid - Gedanken beitragen, soll ebenfalls untersucht und soweit als möglich begünstigt werden.

2.1 Projektablauf

2.1.1 Projektidee

Das F&E-Vorhaben zielt darauf ab, mehrere Umgebungen als Reallabore für Lokalnetze bzw. dezentrale Energienetze der Verteilnetzebene weiterzuentwickeln. Alle Beispiele/Demosysteme verfügen über mindestens ein BHKW als lokale Energiequelle und einen Netzanschluß an das Niederspannungsverteilnetz des jeweiligen Netzbetreibers. Die Energieverteilung verfügt zudem neben reinen Verbrauchern auch über elektrische und thermische Energiespeicher zur Verzögerung von Energieflüssen.

Untersuchungsgegenstand im Projekt sind Verfahren, die aus historischen Betriebsdaten eine Möglichkeit für eine prädiktive Betriebsweise erschließen. Das Monitoring des Energiesystems liefert wichtige Beiträge zur Erstellung eines Prognosemodells für das jeweilige Energienetz oder einen Energiezweig bestehend aus einer Quelle, einem Speicher und einem Verbraucher. Der Prognoseansatz basiert auf der Korrektur einer Lastprognose, die aus historischen Meßdaten zum Betrieb gewonnen wird. Unter Hinzunahme von Tagauswertung, Wetterprognose und Nutzungsplan werden Gewichtungsfaktoren gewonnen, die auf das historische Lastprofil angewandt werden.

2.1.2 Ausführungsplanung

Der volle Umfang des erforderlichen Ausbaus war zu Beginn des Projekts unmöglich abzuschätzen und konnte unter den Prämissen der Betreiber unterschiedlich weit umgesetzt werden. Die Planung im Projekt sah folgende Arbeitsschritte vor, die als Vorgänge zum Erreichen der Ziele erforderlich sind:

- 1) **MONITORING** - Bestehende mit Monitoring ausgestattete Teilprojekte mit Zählermeßtechnik und Aktoren ergänzen und Meßdaten für Modelle bereitstellen.
- 2) Meßkampagnen **LASTGÄNGE** - Ausgangs-Lastgänge aufzeichnen und als historische Verläufe auswerten.
- 3) **STRATEGIE** - Ausarbeitung einer Strategie zur Bewertung der Teilprojekte hinsichtlich ihrer Eignung im Projekt.
- 4) **MASSNAHMENVORSCHLÄGE** - Maßnahmen zur Effizienzsteigerung, Anlagentechnik, Meßtechnik und Erweiterung insbesondere der Kommunikation bei allen Teilprojekten umsetzen.

- 5) **PROJEKTVORSTELLUNG/-DISKUSSION** - Präsentation erster Ergebnisse und des Gesamtvorhabens auf einschlägigen Fachveranstaltungen.
- 6) **MODELLIERUNG** - Auf der Basis erster Meßdaten Auswertungen zu Netzverhalten vornehmen und Offlinemodelle vorbereiten und umsetzen.
- 7) **SIMULATION** - Simulationsläufe auswerten und für Lastgangauswertung nutzen.
- 8) **BEWERTUNG UND ANPASSUNGEN** - Lastgangauswertung in die Betriebsführung des Netzes einarbeiten.

2.1.3 Kenndaten der Zeitplanung

Für die zeitliche Planung des Projekts ergibt sich aus den Arbeitspaketen heraus ein Verlauf der in vier Projektphasen gegliedert werden kann. Phasenabweichungen traten in der Abstimmung zwischen den Teilprojekten durch individuelle Randbedingungen auf und sollten bei der Verarbeitung der Gesamtergebnisse in der Projektphase vier akkumuliert bewertet werden. Hier sollten vor allem die Anschlußfähigkeit in der F&E-Arbeit und die Verstetigung und Weiterentwicklung der Projektergebnisse zum Mehrwert des Vorhabens beitragen.

Projektphasen 0 und 1 (2011 bis 2013): Vorbereitung und Aufbau Meßwerterfassung

Mit der Projektphase 0 sind Zeiträume im Projekt eingeordnet, die zur Vorbereitung der technischen Infrastruktur dienen, die als Voraussetzung für die Schaffung einer kontinuierlichen Datenbasis zur Modellierung und Entwicklung von Energiemanagementfunktionen dienen. Diese Phase gestaltete sich bei den Teilprojekten unterschiedlich lang und aufwendig. Individuelle Randbedingungen, Priorisierung von Zeiteinsatz und Investitionen durch den Betreiber/Projektpartner führten so zu unterschiedlichen Konzepten, die schließlich umgesetzt wurden.

Die Phase 1 im Projekt ist geprägt von Erfassung, Definition und anschließender Einrichtung der Datenpunkte für das Monitoring. Insbesondere die Datenpunkte für das Energiemonitoring sollen so früh wie möglich zur Verfügung stehen und sehr früh Analysen für die Modellierung gestatten. Bei den Teilprojekten liegen bei Projektstart unterschiedliche Stadien des Ausbau bzw. der Verfügbarkeit von Meßpunkten vor. Unterstützt wird die Erfassung von netzrelevanten Größen durch die Dokumentation vorhandener Verbraucher und Kurzzeitmessungen bei signifikanten Einzelverbrauchern. Dies gilt insbesondere für das umfangreiche Teilprojekt Energienetz des Geflügelhofs Zapf, da der Hof in seinem Energiebedarf stark vom Einsatz von Produktionsmaschinen geprägt wird. Die Arbeitspakete in dieser Projektphase werden durch die folgenden drei Schwerpunkte definiert:

- P1.1) Einrichtung eines Energiemonitoring für Strom, Wärme, Kältebereitstellung und Verbrauch.
- P1.2) Erfassung der energetischen Ausgangskonfiguration zur Modellbildung und Betriebsführung.
- P1.3) Maßnahmen und Kurzzeitmeßkampagnen zur Erfassung von Verbräuchen und Charakteristiken signifikanter Komponenten im Energienetz.

Projektphase 2 (2013-2014): Monitoring und Datenauswertung

Die Projektphase 2 zielt darauf die Ausgangsbasis im Projekt zu erfassen und zu bewerten, um den Rahmen von Erweiterungen und Optimierungen abzuschätzen. Mit den bis zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Daten wurden insbesondere Performancechecks durchgeführt (Energieinsel mit Lernecke) und Verfahren zur Gewinnung von Lastprognosen auf ihre Eignung geprüft. Zudem wurde mit den Projektpartnern geklärt, welche Maßnahmen im vorgegebenen Zeitraum zu realisieren sind und wie das Energienetz abgebildet werden sollte. Hier zeigte sich beispielsweise, daß die Projektpartner den Begriff des Energienetzmanagements unterschiedlich auffassen und im Projekt umgesetzt sehen. Die Hochschule als Projektkoordinator im Projekt hatte dadurch neben der Verfolgung des eigenen F&E-Ansatzes auch die Interessen der Partner zu berücksichtigen. Mit den Aufzeichnungen der ersten Projektphasen wurden die Reallabore im Projekt konkretisiert und für das zu erstellende Netzmodell abgegrenzt.

- P2.1) Erste Bewertung der Energiebereitstellung und Modellansatz für Energiebereitstellung.

- P2.2) Automationsrelevante Optimierung für Betriebsführung und Kopplung der Komponenten und Unterkreise.
- P2.3) Identifikation signifikanter Modifikationen der Energieversorgungsstruktur durch Investitionen und durch die Verbesserung der IT-Infrastruktur.
- P2.4) Erhebung der physikalischen Parameter für die Netzabbildung aus technischen Daten und Meßdaten des Monitoring.

Projektphase 3 (2014 -2015): Modellierung und Simulation

In der Projektphase 3 zeigte sich, daß das Netzmodell allein zur Beschreibung der Energiesysteme nicht ausreicht. Unter Nutzung der Simulationsumgebung TRNSYS wurde im Rahmen einer Masterarbeit ein analytisches Modell zur Untersuchung der Speicherbelastung auf dem Zapfhof erstellt. Das Modell dient zum einen zur Abbildung der Wärmeströme zu den Speichern und zur Untersuchung erster Lastprofile. Hier wurde ein beachtlicher Entwicklungsbedarf identifiziert der die Generierung von Lastprognosen aus historischen Daten ermöglicht, um anschließend eine Methodik für die Gewichtung auszuarbeiten.

- P3.1) Modellierung des Speicherverhaltens und der Verbrauchsstruktur als empirisches Netzmodell für die Strom-, Wärme- und Kälteströme. Clusterbildung bzw. netzrelevante Knotenpunkte.
- P3.2) Abbildung des Wärmenetzes in der Simulationssoftware TRNSYS.
- P3.3) Modellierung des Lastverhaltens zur Gewinnung eines allgemeingültigen Lastprognosemodells für Kraft-Wärme-Kältenetze.
- P3.4) Abschließende Untersuchungen zum Lastprognosemodell zum Energiebedarf in signifikanten Zeiträumen und über den Tagesverlauf.

Projektphase 4 (2014 -2017): Veröffentlichung und Herstellung einer Anschlußfähigkeit

Neu eingeführt wurde im Projektverlauf die Projektphase 4, die Bezug nimmt auf die Verankerung des Projekts in die Publikationsaktivität des Instituts für Energiesystemtechnik als Forschungseinrichtung der Hochschule Offenburg. Wechselwirkungen mit anderen F&E-Arbeiten sind auch nach dem Projektabschluß gegeben und Teilergebnisse, die im Projekt ausgearbeitet wurden führen zusammen mit ergänzenden Arbeitspaketen aus anderen Projekten erst zu einer Publikation im wissenschaftlichen Kontext. Dies wird an mehreren Stellen durch die Realisierung der Reallabore erwartet und ist als wichtiger Erfahrungswert des Vorhabens festzuhalten.

- 4.1) Publikationen.
- 4.2) Sicherung der Anschlußfähigkeit der Projekterkenntnisse.
- 4.3) Überleitung zu Folgeprojekten und F&E-Arbeiten.
- 4.4) Erstellen eines Abschlußberichts für den Projektträger.

Budgetplanung und Förderung

Die Budgetplanung im Projekt 2012-09 war durch mehrere Unterprojekte unterschiedlicher Ausprägung nur schwer zu erfassen. Dennoch konnte ein realistischer Entwurf für die Beantragung im Herbst 2011 vorgelegt werden. Insbesondere erwartete die Hochschule Verzögerungen durch den laufenden Betrieb bei den Projektpartnern Stadt Offenburg und Geflügelhof Zapf. Die nachfolgende Aufstellung ist als Ausgangsbasis für die Projektabwicklung zu sehen und war für die Beantragung einer Förderung durch den badenova Innovationsfonds notwendig. Förderrelevant sind lediglich die tatsächlich erwarteten Ausgaben, die zu 50 % bezuschußt werden.

Kostenaufstellung im Projekt bei Antragsstellung zum 31.10.2011 (Beträge in Euro)

Personalkosten gesamt	176.000,-
Sach- und Verwaltungsausgaben	13.000,-
Kommunikation	6.000,-
Investitionen	35.600,-
Anpassungen und Programmierung	19.000,-
F&E-Auftrag an Hochschule	22.000,-
Bereits getätigte Investitionen Hochschule (zuschußrelevant)	102.000,-
Bereits getätigte Investitionen Stadt Offenburg (2011)	82.000,-
Zzgl. Zuschüsse Dritter	106.000,-
Investitionen Zapf (k.A.)	--
Zzgl. Zuschüsse Dritter	--
Gesamtprojektsumme	561.600,-
Zuschußfähige Ausgaben im Projekt	373.600,-
<u>Zuschuß als 50 % der zuschußfähigen Ausgaben</u>	<u>186.800,-</u>

2.1.4 Abschätzung der Kosten/Investitionsrahmen (Projektlaufzeit 4.2012 - 07.2016)

Für die Abschätzung des Finanzierungsbedarfs war mit signifikanten Verschiebungen zu rechnen. Zusätzlich kamen außerordentliche Änderungen vor, die sich insbesondere auf die Positionen Investitionen, Kommunikation und Personaleinsatz auswirkten. Zum Projektabschluß konnte dank Synergieeffekte mit F&E-Arbeiten und Eigenleistungen am Institut für Energiesystemtechnik der Hochschule Offenburg der für die Fördermittel relevante Kostenrahmen sehr gut eingehalten werden. Synergieeffekte wurden auch von den beiden Projektpartnern G. und M. Zapf Energie GbR mbH und der Stadt Offenburg bestätigt, da beide Partner in Verbindung mit dem Thema „Energienetz“ weitere Projekte akquirieren konnten.

Kostenaufstellung im Projekt nach Beendigung zum 31.07.2016 (Beträge in Euro)

Personalkosten gesamt	212.104,44
Sach- und Verwaltungsausgaben, Kommunikation	9408,67
Investitionen	16.703,11
Anpassungen und Programmierung	15.392,16
F&E-Auftrag der Stadt Offenburg an Hochschule	22.000,00
Bereits getätigte Investitionen Hochschule (zuschußrelevant)	100.433,66
Bereits getätigte Investitionen Stadt Offenburg (2011)	82.000,00
Zzgl. Zuschüsse Dritter	106.028,56
Investitionen Zapf	89.389,51
Zzgl. Zuschüsse Dritter Zapf	9.016,05
Gesamtprojektsumme	633.976,16
Zuschußfähige Ausgaben im Projekt zum Projektende	436.931,55
Fiktiver Zuschuß bei Projektabschluß	218.465,78
<u>Gewährter Zuschuß zur Projektunterstützung bei Antragsstellung</u>	<u>186.800,00</u>

2.2 Projektplanung

2.2.1 Energiekonzepte und Studien

Aufbauend auf bereits abgeschlossene Projekte zum Gebäude- und Energiemonitoring der Forschungsgruppe nachhaltige Energietechnik (FGnet) wie Langzeitmonitoring des Neubauvorhaben SIC Freiburg [SIC2008], das Innovationsfonds-Projekt 2008-09 „Feldtest Kraft-Wärme-Kopplung“ der badenova AG & Co.KG [EnPio2010] oder das Projekt 2008-1 “Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ [Schulklima2012] mit der Stadt Offenburg wurde ein Energiekonzept ausgearbeitet, das sich aus drei Teilkonzepten für die Strom-, Wärme- und Kälteverteilung zusammensetzt. Vorbild für die Energieerfassung waren insbesondere das BMBF/BMWi-Projekt Langzeitmonitoring des SIC und das Projekt „Energiepioniere - Feldtest Kraft-Wärme-Kopplung“ der Badenova AG & Co. KG. Während das Langzeitmonitoring zu einem Energiemonitoring diverser Verbrauchsstrukturen und Energieverteilungen unter Nutzung der Gebäudeautomation führte, konnten aus dem Projekt Energiepioniere wichtige Aspekte zur analytischen Vermessung von BHKW-Anlagen eingearbeitet werden. Ergänzt wurden die Planungen durch Erfahrungswerte aus dem langjährigen Betrieb und Monitoring der Energieinsel als PV-Wind-BHKW-Hybridsystem an der Hochschule Offenburg. Erst im Juni 2011 wurde für die Untersuchung von Energieverbrauchsstrukturen im Nichtwohnbereich eine Bachelorarbeit in Verbindung mit der Energieinsel abgeschlossen. Hierbei ging es um die erforderliche Raumautomation eines Lernbereiches für Studierende, die ihren Arbeitsbereich nach ihren Bedürfnissen einstellen sollten. Der Lernbereich stellt dabei eine typische Laststruktur dar, die auf Büro- und Verwaltungsräume übertragbar ist. Zählertechnisch getrennt behandelt werden dabei die erforderliche Energie zum Betreiben der Gebäudetechnik und die erforderliche Energie für die nutzungsspezifisch anfallenden Verbräuche im Gebäude.

Der Ansatz des Energiekonzepts basiert auf dem Grundprinzip der optimierten Anpassung eines Quelle-Speicher-Senke-Systems, das durch verschiedene Einflußgrößen gestört wird. Die vereinfachte Beschreibung der Einzelmodelle führt in der Regel zu Ungenauigkeiten im Gesamtsystem. Diese Unschärfe soll mit Hilfe des Monitoring zu einer engeren Führung der Energieströme führen. Weitere signifikante Elemente der Modellierung sind Systembeschränkungen, die als empfohlene Betriebsweisen, Grenzwertvorgaben und definierte Arbeitsbereiche beschrieben werden und beim Realsystem entscheidend ein theoretisch erreichbares Optimum begrenzen.

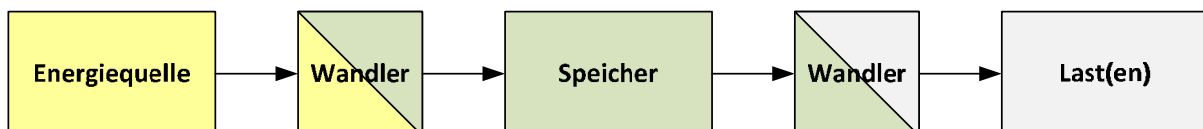


Abbildung 2-1: Prinzipielle Reihenfolge einer Basisanordnung für ein Microgrid mit Speicher.

Das regelbasierte Energiemanagementsystem (rEM) dient dem nachhaltigen Betrieb von Verbrauchsstrukturen im Nicht-Wohnbereich wie Verwaltungsbereichen, Schulen, Gewerbe und -Produktionsbetrieben. Ausgehend von bestehenden Vertragskonditionen konventioneller Versorgungsverträge mit Energieversorgern zielt das rEM auf eine hohe Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Betreibers. In der maximalen Ausführung entsteht ein Microgrid mit Eigenschaften eines Trigeneration Smart Subnet (TSS). Hinsichtlich der Betriebsführung wird lokal optimiert und dennoch auf Anforderungen und Trends des Verteilnetzes eingegangen. Das heißt sowohl Strom als auch Wärme und Kälte werden durch lokale von Speichersystemen gestützte Energiewandler bereitgestellt.

Das Funktionsprinzip des rEM basiert auf der Grundversorgung der Verbraucher durch primäre Energiewandler, die den Bedarf bis zur Höhe der Anschlußleistung bestreiten können. Durch starke Nutzungsunterschiede bei diversen Verbrauchsstrukturen im Nicht-Wohnbereich, die von Nichtnutzung bis zur massiven Überbeanspruchung der Leistungsreserven variieren können, führen Lastprognosen zur effizienteren Nutzung vorhandener Energiequellen und der verfügbaren Speicher bis zur maximal erreichbaren Belastungsgrenze der Energieverteilung.

Ein kontinuierliches Monitoring dient der Anlagenanalyse, hilft bei der Bilanzierung von Energiedaten schon auf der Feldebene und stellt historische Daten für Lastprognosen bereit. Verfeinert und korrigiert werden die Lastprognosen durch weitere Analysen und Informationen. Der Entscheidungsalgorithmus der zentralen Steuereinheit gibt schließlich Steuerparameter und Befehle heraus um die erforderlichen Energiewandler und gewünschten Speicherladezustände einzustellen. Gleiches gilt für Freigaben und für die Zuschaltung von Lasten bzw. Lastkreisen.

Die Erfassung der signifikanten Lasten, der Energieverteilstränge sowie der Hauptenergiewandler und Speicher erfolgt zählerbasiert. Für den Modellansatz kann von Clustern gesprochen werden, da jedes Cluster für sich gewichtet/bewertet wird und entsprechend dem Netzansatz in eine Summe oder Masche eingeht.

Die Bilanzierung erfolgt bereits auf der Automationsebene, um eine erste, unmittelbare Reaktionsebene des Energiemanagement zu realisieren. Verknüpft ist diese Ebene mit deutlich schneller arbeitenden Reglern, die im einfachsten Fall als Zwei-Punktregler die Beladung eines Speichers oder die Bedienung eines Wärme- oder Kältekreis übernehme. Das sekundäre Energiemanagement nutzt lokale Bilanzgrößen wie Ladezustände, akkumulierte und aus Prognosen verfügbare Energiemengen (z.B. aus Wetterprognosen) und Trends. Ergänzend kann die Eingabe eines Nutzerprofils die Lastprognose um eine weitere Stufe anpassen. Liegt keine Nutzereingabe vor wird von einem Default-Wert mit typischer Intensität ausgegangen.

Schaltbare Energiewandler für Strom, Wärme und Kälte werden als Backup-Wandler eingebunden und können die Versorgung einer als Minimalkonfiguration definierten Anforderung sicher stellen. Ist ein Überbedarf gegeben können Backup-Wandler ergänzend Energie beitragen bis die maximal zulässige/abgesicherte Leistungsgrenze des Verteilnetzes erreicht ist.

2.2.2 Methodik zur Realisierung eines Energienetzmanagement

Die Realisierung eines Energiemanagements für ein komplexes Energienetz erfordert in der ersten Stufe die analytische Erfassung von Zuständen und Ströme im Gesamtsystem. Erst wenn der Umsatz als IST-Aufnahme vorliegt, kann eine Bewertung vorgenommen werden, die schließlich zu Maßnahmen/Schritten der Steuerung in eine gewünschte Richtung führen. Bei den vorliegenden Demosystemen im Projekt wurde wie folgt vorgegangen, um die Basis eines Energiemanagements vorzubereiten.

- 1) Auswahl eines geeigneten Demosystems, bevorzugt mit einem BHKW, PV und/oder Windkomponente. Die Schemata der Abbildung 2-2 veranschaulichen Meßpunkte, die als Datenpunkte zur Bilanzierung der Energieflüsse vorliegen müssen. Ähnlich wie bei Sonne und Wind gestaltet sich das Erfassungsszenario für die Bilanzierung von BHKW-Energien gemäß Abbildung 2-3.
- 2) Festlegung der notwendigen Datenpunkte zur Bilanzierung von Energieströmen und von Hilfsmessungen wie der Wettermeßstation,
→ Datenpunkte Energiebereitstellung durch:
 - a. Einbau von Zählern und Sensorik zur Energiestromerfassung.
 - b. Cluster-Bildung nach Energietyp bzw. Hauptstrang für Gewinnung oder Verteilung.
- 3) Festlegung von Zustandsgrößen zur Erfassung eines Speicherladezustands oder einer Stauseigenschaft wie es die Raumtemperatur ist. Bei elektrischen Speichern wird häufig der aktuelle Ladezustand SOC (State-of-Charge) bestimmt und damit die Kapazität als Entscheidungshilfe gewählt → Datenpunkte Energiespeicher/Kapazitäten
- 4) Erhebung klar definierter Verbrauchskreise oder Einzelverbraucher, die einem Nutzungskontext unterliegen oder eine Gruppe darstellen. Eine grobe Klassierung von Verbrauchern läßt sich durch die Trennung zwischen nutzungsabhängigen Verbrauchern und Verbrauchern der Gebäudetechnik machen. Bei Bestandsystemen liegt diese Trennung oftmals nicht vor und bereitet einen beachtlichen Umrüstungsaufwand. Klassierungen sind bei der Zählerdefinition für thermische und elektrische Verbraucher gleichermaßen empfohlen und vereinfachen die Erstellung eines Energienetzmodells.
→ Datenpunkte Energieverteilung/Energie zu Verbrauchern
- 5) Umsetzung eines analytischen Monitoring zur Bewertung der Performance im System mit dem Ziel der Realisierung eines Energiemanagement unter Auswertung historischer Meßdaten, Gewinnung und Nutzung von Prognosen und Berücksichtigung von Einsatzplänen

und Kostenmodellen. Die Visualisierung versorgungsrelevanter Zustände, sicherheitsrelevanter Grenzwertverletzungen und Trends sollen dem Betreiber jederzeit einen Überblick des Systems geben.

- 6) Identifikation von Einflußgrößen, die Energieströme signifikant beeinflussen.
- 7) Modellierung eines Energiestromschemas für weiterführende Analysen
- 8) Regelungsrelevante Untersuchung externer Einflußgrößen wie Witterung, Netzzustand, Brennstoffqualität, Solargewinne oder Windauskühleffekte. Zusätzlich Dokumentation signifikant beeinflussender Nutzungsarten und Zeiträume.
- 9) Prüfung auf Gesetzmäßigkeiten, die sich in einen Algorithmus fassen lassen, um Entscheidungen für Einflußnahmen zu treffen. Umsetzen der Algorithmen in ein Entscheidungsmodell für energierelevante Schaltvorgänge oder Betriebsarten.

Im Folgenden sind Schemata und Basiskonzepte kurz beschrieben, die zum Gesamtkonzept für das Vorhaben führen. Die einzelnen Ansätze können als Stand der Technik angenommen werden, da sie hinreichend genau in Wissenschaft und Technik beschrieben sind und von der Forschungsgruppe NET in vorangegangenen Projekten umgesetzt wurden.

Die Herausforderung ist es einen Ansatz auszuarbeiten, die wissenschaftlich-technischen Sachverhalte im Kontext von Trigeneration und Smart Grids zu verknüpfen und unter Verwendung von Online-Modellen für ein Energienetzmanagement zu verwerten. Als Ergebnis ist auch denkbar, daß ein erweiterter Ansatz zur Meß-, Steuer- und Regelungstechnik notwendig wird, der die nachstehend aufgeführten Maßnahmen zur Optimierung der Infrastruktur erfordert:

- Substitution durch weitere Investitionen.
- Bei Bedarf Investition für Ergänzung/Erweiterung.
- Aufwertung der Kommunikationseigenschaften durch IT-Unterstützung.
- Umsetzung einer Betriebsführungsstrategie mit automatisierten und manuellen Schaltbefehlen zur Einhaltung von Grenzwerten, Betriebsplänen bzw. Zielfunktionen.

2.2.3 Meßkonzept zur Erfassung von Energiemengen

Die Ausarbeitung eines Meßkonzeptes für ein Trigeneration-Energienetz forderte sehr viele Einzelschritte bis der Netzverbund als gesamtes abgebildet werden konnte. Die ersten Schritte im Projekt wurden mit der Beschreibung und Vermessung der energietechnischen Anlagen gemacht.

Die Arbeiten gingen dabei von einer bereits vorhandenen Prozeßautomation voraus zu der Elemente des Energiemonitoring ergänzt werden sollten. Leider führten Verzögerungen beim Projekt 2012-07 zu Überschneidungen und einer umfangreicheren Planungsaufwand.

Die Teilkonzepte, die zum Einsatz kommen haben sich in vielen vorangegangenen F&E-Projekten der Forschungsgruppe NET bewährt und sollen mit Hilfe einer Industrieautomation zusammengeführt werden. Die folgenden Abbildung und Schemata zeigen den Umfang der zu erfassenden Datenpunkte, die für das Monitoring erforderlich sind. Das ausgearbeitete Konzept sieht eine Klassierung von Datenpunkten vor, die in drei Gruppen erfolgen kann:

- Energiemonitoring
- Prozeßautomation
- Visualisierung

Um die Aufzeichnung mit vorhandenen Werkzeugen der Prozeßautomation bewerkstelligen zu können, wurden die Datenpunkte in 5-Minuten-Intervallen in eine Datei vom Format CSV geschrieben. Als zweite Stufe der Datenarchivierung ist die Einrichtung einer SQL-Datenbank vorgesehen, die es gestattet Bilanzen zu erstellen, Berechnungen vorzunehmen und Entscheidungsverfahren für das Energiemanagement anzuwenden.

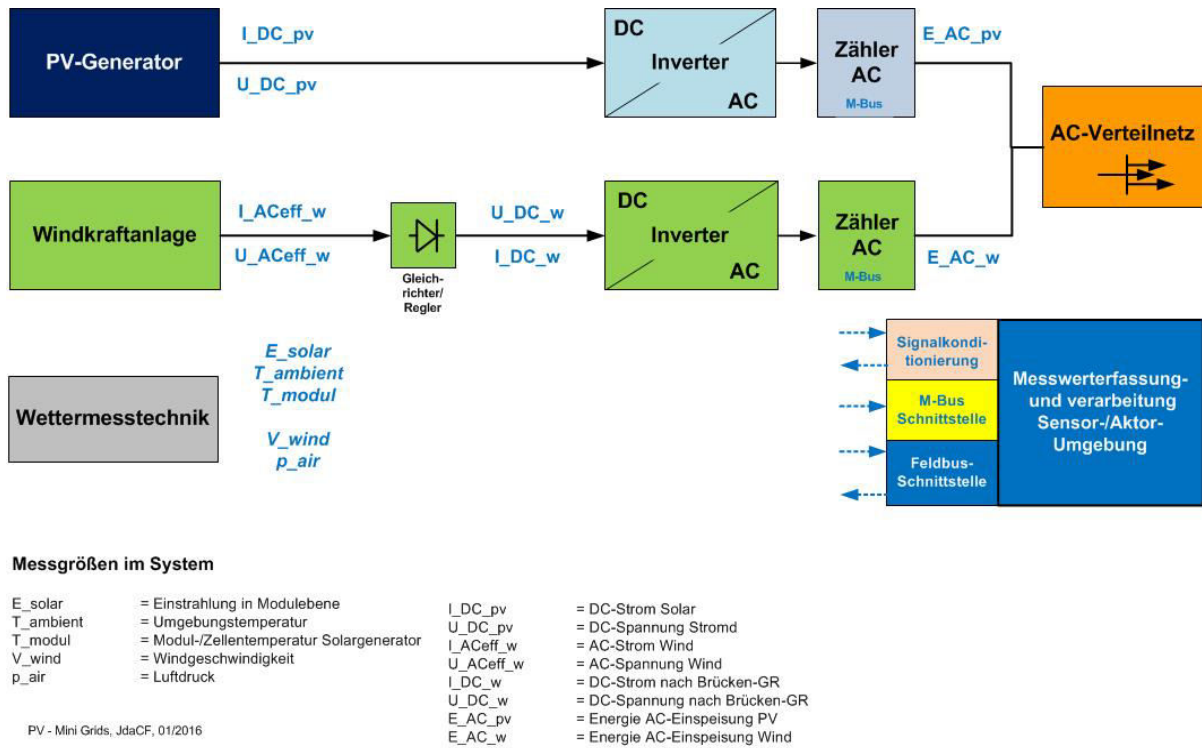


Abbildung 2-2: Meß- und Datenpunkteschema zur Erfassung von Solar- und Windgrößen bei Anlagen mit Netzeinspeisung

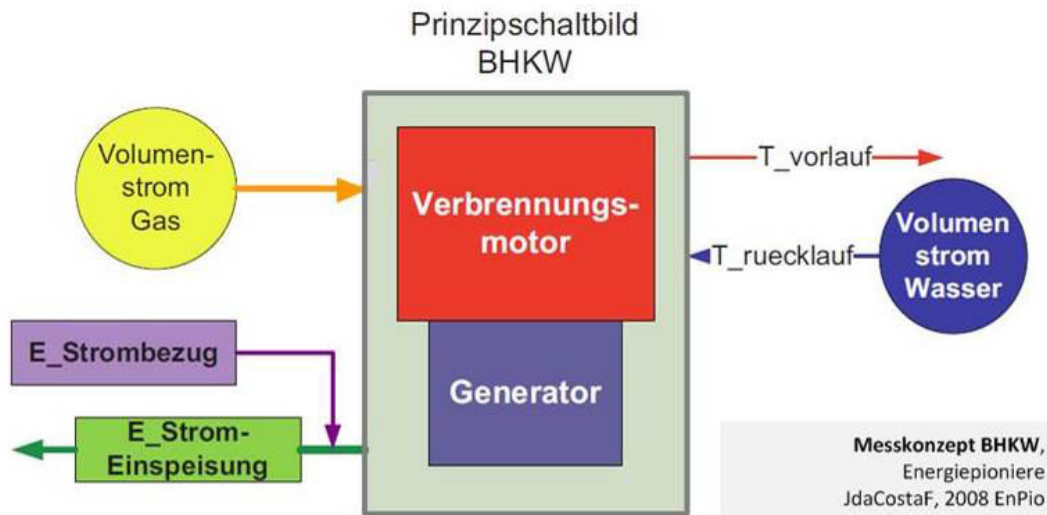


Abbildung 2-3: Schema zur Energiedatenerfassung eines Micro-BHKW aus dem Projekt „Energiepioniere - Feldtest Kraft-Wärme-Kopplung“

2.2.4 Prognosen zur Unterstützung der Betriebsführung

Im Rahmen von Kurzzeitmessungen wurden Lastprofile in der Teilprojekten Zapf, Energieinsel und INES Smart Grid aufgenommen. Während die Verbrauchsstruktur der Energieinsel auf der Versorgung der gesamten Meß- und Steuertechnik auf dem Dach und der Stromversorgung der Lerneck

entsprechen *Tabelle 1* aufbaut, werden für den Geflügelhof Zapf auch Lastprofile für die Wärmeversorgung benötigt.

Tabelle 1: Nutzungsgewichtete Verbrauchsabschätzung der Lernecke für Studierende (Stand 04/2013)

Anzahl Verbraucher		Leistung, ges.	Nutzungsgrad	Nutzung/Tag	Tagesverbrauch
2	Philips Savio Leuchte	2x28 W, 112 W	80 %	13 h	1456 Wh
1	Philips Savio Leuchte	4x14 W, 56 W	50 %	13 h	364 Wh
6	Notebookladestation	40 W, 240 W	50 %	8 h	960 Wh
1	Beckhoff I-PC, 1.6 GHz	15 W	90 %	24 h	324 Wh
1	Farb-Touchpanel	25 W	70 %	24 h	420 Wh
Gesamtverbrauch/Tag					3,524 kWh

Die folgende *Tabelle 2* zeigt eine Aufstellung wichtiger thermischer Verbraucher und *Tabelle 3* eine Aufstellung wichtiger elektrischer Verbraucher auf dem Geflügelhof Zapf.

Tabelle 2: Erhebung thermische Verbraucher am Geflügelhof Zapf, [SScheffler2013]

Thermische Verbraucher		
Name	Vorlauftemperaturen in °C	Nennlast im Winter in kW_{th}
Halle Bodenheizung	70	40
Boiler Heizung	70	25
Werkstatt Bodenheizung	70	15
Holztrocknung	70 - 90 (momentan 70)	185
Puffer Bestand	90	120 - 160
Vortrockner	90	90
Trockner	90	70
Resorptionskälteanlage	95	30
Spätzlekocher	110	45

Tabelle 3: Beispiele für elektrische Verbraucher am Geflügelhof Zapf

Auswahl signifikanter elektrischer Verbraucher mit Leistungsaufnahmen > 10 kW

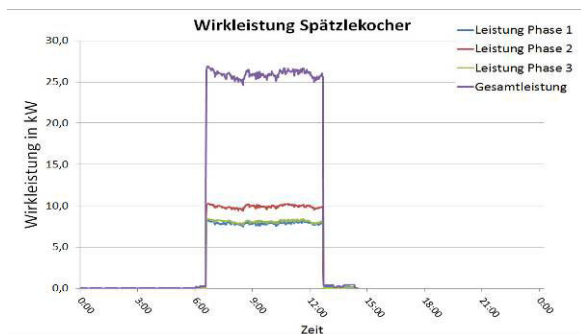
Bezeichnung	Nennleistung / kW
Teigmaschine	10
Nudeltrockner	15
Prozeßkühler	15
Spülmaschine	20
Beschickungs- und Kraftwerkstechnik	25
Kompressionskältemaschine	37
Spätzlekocher	45

Zur Sicherung der Produktionsleistung bei Ausfall der Wärmeversorgung wurden die vorhandenen elektrisch versorgten thermischen Einheiten wichtiger Prozeßgeräte wie Spätzlekocher oder Nudeltrocknung beibehalten. Die Regelung der Geräte arbeitet in der Regel mit einem

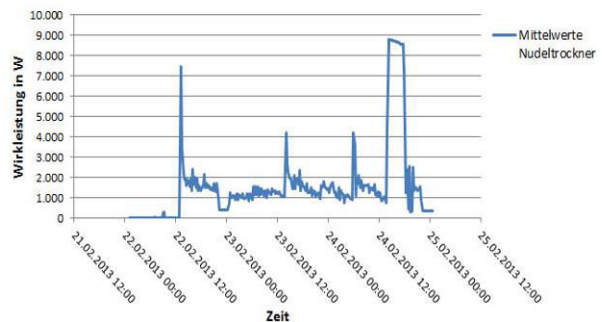
Thermostaten, der die Einhaltung der Sollwerte sichert und fehlende Leistungen über eine elektrische Leistungsaufnahme beisteuert.

Lastprofile der Verbrauchsstrukturen

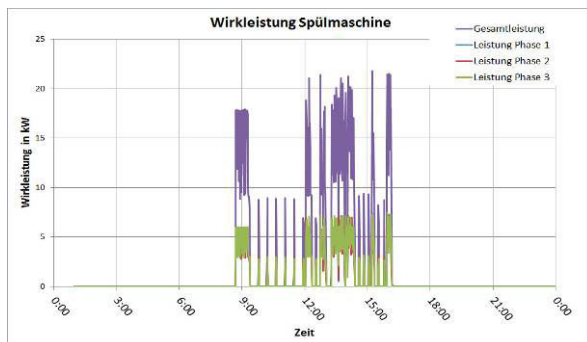
Zur Erfassung signifikanter Einzelverbraucher wurden im Industrieprojekt von Scheffler [SScheffler2013] Lastprofile großer Stromverbraucher auf dem Geflügelhof Zapf mit Hilfe eines mobilen Netzanalyators aufgezeichnet. Beispiele für Tagesprofile von Einzelverbrauchern sind in *Abbildung 2-4* dargestellt. Aus den Beispielen wird deutlich, daß der größte Energiebedarf bei Verbrauchern anfällt, die thermische Leistung bereitstellen müssen.



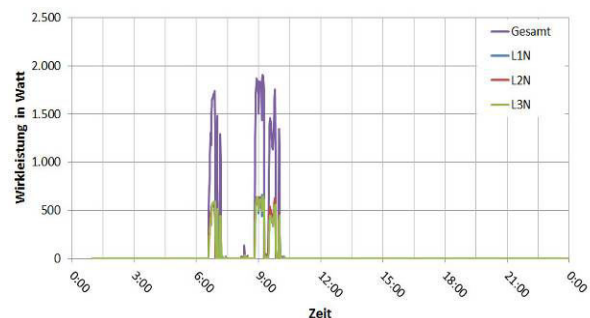
a) Tagesprofil: Spätzlekocher



b) Tagesprofil: Nudeltrocknung (über drei Tage)



c) Tagesprofil: Spülmaschine



d) Tagesprofile: Mahl- und Mischanlage (Futter)

Abbildung 2-4: Die Tagesprofile a) bis d) zeigen die charakteristischen Lastgänge großer Einzelverbraucher, die signifikant das Gesamtlastprofil des Produktionsbetriebs beeinflussen.

Die Stromaufnahme der Abbildung 2-5 zeigt den prognostizierten Strombedarf der Produktion auf dem Geflügelhof Zapf bevor die KWK-Energieversorgung ihre Aufgaben übernehmen konnte. Die nahezu vollständige Substitution der Wärmenutzung und die damit erreichte nahezu CO₂-neutrale Energieversorgung mit einem KWKK-System verändert stark die Leistungsaufnahme der signifikanten Einzelverbraucher, die nun nur noch den nichtthermischen Stromanteil zum Lastprofil der Nudelproduktion beitragen. Zusätzlich muß folglich das Wärmeprofil des Betriebs für das Energiemanagement modelliert und prognostizierbar gemacht werden.

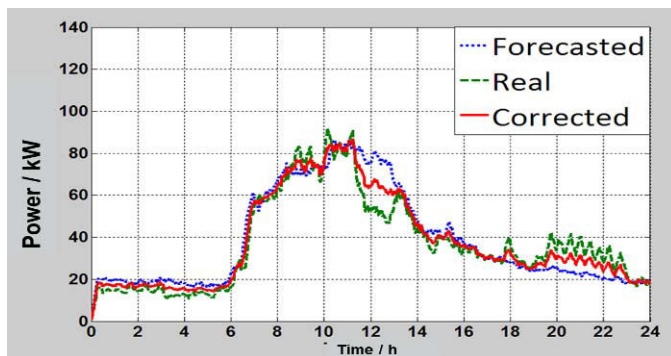


Abbildung 2-5: Leistungsprognose für den Produktionsgang nach dem ARMA-Verfahren (autoregressive moving average) für einen Produktionstag, berechnet aus historischen Meßdaten.

Lastanalysen und Lastprognosen

Verfahren zur Generierung von Lastprognosen sind vielfältig und bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit hinreichend bekannt. Das in der Masterarbeit von M. Eid [MEid2014] untersuchte Verfahren zur automatisierten Auswertung von historischen Daten zur Lastprofilgenerierung basierte vorwiegend auf elektrisch geprägten Lastprofilen und ließ sich nach der Umstellung nicht mehr erfolgversprechend einsetzen.

Die Kältebereitstellung gestaltet sich als Kombination aus Wärme- und Stromverbrauchsprofil. Für das INES Smart Grid wurden Stromverbrauchsprofile aufgezeichnet, die für umfangreichere Auswertungen genutzt werden sollen. Auch hier wurden im Projektverlauf Aktualisierungen erforderlich, da das Nutzungsprofil ca. vier Jahre nach Einzug in die Räumlichkeiten am Campus Nord der Hochschule Offenburg seine Belegungsgrenze erreicht hat. Für das Energienetzmanagement zeigte sich die Notwendigkeit ein Lastprognoseverfahren zu entwickeln, das Nutzungsänderungen in einem vertretbaren Rahmen verarbeiten kann. Hierzu wird von einer Basis-Lastprognose ausgegangen, die aus der automatisierten Auswertung von historischen Meßdaten gewonnen wird. Die Arbeiten hierzu wurden im Verlauf dieses Projekts begonnen und sind durch die Arbeiten von Scheffler, Wanitschke, Eid und Murali dokumentiert. Das Verfahren selbst kann nicht als abgeschlossen betrachtet werden, da der Part einer komplexen Gewichtungsfunktion sich noch in der Bearbeitung befindet. Für die ausstehenden Arbeiten sind die nachstehend beschriebenen Funktionen einzubinden, die wichtige Indikatoren der Gewichtung liefern können:

Wetterprognosen

Informationen zu den erwarteten Solar- und Windbeiträgen sowie die Wechselwirkungen mit Feuchtigkeit und Niederschlag sind die wichtigsten Hilfsmittel für eine phänomenologisch angesetzte Optimierung. Sofern Prozesse signifikant mit Witterungsänderungen korrelieren, stehen auch Führungsgrößen zur Gewichtung von Lastverläufen zur Verfügung. Die Auswirkungen gehen über eine Ertragsprognose für Solar- und/oder Windertrag oder Auskühleffekte durch Wind deutlich hinaus.

Nutzungsplan

Die Eingabe eines Nutzungsplans oder die Wochenplanung der Produktionsauslastung kann als Indikator für die Gewichtung einer Basis-Lastprognose dienen. Erfahrungswerte zeigten bisher, daß bei sorgfältiger Aktualisierung auch eine hohe Zuverlässigkeit bei der Gewichtung erreicht wird.

Externe Steuersignale

Mit externen Steuersignalen werden Schaltinformationen definiert, die beispielsweise vom Lokalnetzbetreiber ausgehen und als Maßnahme zur Netzstabilisierung dienen oder den Wechsel eines Tarifs einleiten. Beim Geflügelhof Zapf wurde durch den Lokalnetzbetreiber E-Werk Mittelbaden ein fernsteuerbares Modul eingebaut, das in mehreren Stufen die BHKW-Einheiten nacheinander abschalten kann. Das Energiemanagement sollte somit die Signale berücksichtigen um ihre Auswirkung kompensieren zu können, sodaß keine negativen Effekte für den Betreiber

entstehen. Während der Projektlaufzeit wurde noch kein Abschaltsignal des Netzbetreibers registriert.

2.2.5 Kenndaten für die Modellierung der Demosysteme

Der Zusammenstellung der Modelle, die im Gesamtnetz verwendet werden, ging eine umfangreiche Recherche voraus, die eine Sichtung der Fachliteratur speziell im Bereich Holzhackschnitzel und Klein-BHKW's voraussetzte und die bei bestehenden Modellblöcken aus Simulationsumgebungen eine Parametrierung mit Hilfe von Angaben aus Datenblättern und Messungen ermöglicht.

Die Modelle der vorhandenen Simulationsumgebungen liegen vorwiegend als systemintern definierte Modelle vor. Der Aufwand ein gesamtes Trigeneration-System simulationstechnisch abzubilden ist daher zeitlich sehr aufwendig und wurde deshalb im Rahmen des Projektes nur teilweise und in zwei Schwerpunkten bearbeitet. Zum einen, um die Energiebereitstellung durch die Holzvergaser und BHKW's zu beschreiben und zum anderen um die Energieströme zur Beladung der Wärmespeicher zu analysieren. Die Modelle wurden schließlich mit Daten des Energiemonitoring abgeglichen.

Für eine energietechnische Betriebsführung des Versorgungsnetzes ist jedoch ein Online-Modell erforderlich, das mit einem vertretbaren Rechenaufwand die Parameter für die Steuerung der Energieströme generiert. Als grundsätzliche erforderliche Modellelemente können die folgenden Komponenten genannt werden:

Gruppe 1:

Energiequellen - und ihre Arbeitskennlinien zur Bereitstellung von Strom und Wärme

- Energieinsel: Stromnetz, Erdgas-Motor-BHKW, PV-Generator, Wind-Generator
- INES Smart Grid: Stromnetz, PV-Generator, Wind-Generator
- Stadt Offenburg /ext. Betreiber: Stromnetz, Erdgas-Motor-BHKW, PV-Generator
- Geflügelhof Zapf: Stromnetz, Holzhackschnitzel-Brennwertkessel, Holzhackschnitzel-Holzvergaser, Holzgas-Motor-BHKW, PV-Generator

Gruppe 2:

Energiewandler Typ 1 - Änderung/Anpassung des Bereitstellungsniveaus oder zur Einstellung der Speicher - Konditionen für Speichersysteme

Energiewandler Typ 2 - Anpassung des Bereitstellungsniveaus an Verbraucher-Eingangsbedingungen:

- Wärmetauscher
- Mischer
- Netzteile
- Wärmeplatten

Gruppe 3:

Verteilung - Nutzung der Energie über Leitungen und verteilte Strukturen zur Energiezufuhr an Endverbraucher oder Energiewandler.

Gruppe 4:

Speicher - Kapazitätsverhalten entsprechend Lade- und Entladeprozesse

Typ1: Elektrische Speicher

- Bleisäure-Akku(bidirektional),
- Li-Ion-Akku 1 (MUVER, bidirektional),
- Li-Ion-Akku 2 (PKW, Nur-Laden)

Typ2: Thermische Speicher

- Eisspeicher,
- Wasserspeicher
- Thermische Massen der Gebäude

Typ 3: Chemische Speicher

- Wasserstoffspeicher 30 Bar

Gruppe 5:

Endverbraucher oder Lasten - Bei den Laststrukturen handelt es sich in allen Teilprojekten um Konfigurationen im Nicht-Wohnbereich. Hier ergeben sich gute Voraussetzungen für ein Verfahren, das speziell im Bereich Produktions- und Verwaltungs- und Schulungsgebäude zum Einsatz kommt. Verhaltensmuster wie der Unterschied zwischen Werktags- und Wochenendprofil erlauben bei allen Nutzungstypen eine aussagekräftige Kalender- und Feiertagsauswertung.

2.3 Technische Umsetzung

Bezüglich der Ausstattung bzw. Leistungsfähigkeit der Demosysteme für das Projekt mußten bei vier Subnetzen auch von vier Systemvarianten ausgegangen werden.

Während die Energieinsel als langjährig betriebenes und in der Hochschule genutztes Testlabor im Jahr 2011 um eine Verbrauchsstruktur „Lernecke“ erweitert wurde, entsteht am Institutsstandort Campus Nord ein vielseitig für Forschungs- und Entwicklungsaufgaben nutzbares Labornetz.

Als Subnetze externer Partner entsteht beim Produktionsbetrieb Geflügelhof Zapf eine moderne Energiezentrale mit dezentraler Energiegewinnung und der zugehörigen Energieverteilung, die mit Investitionskosten von über 1,5 Mio. Euro zu Buche schlägt. Die Kopplung des Subnetzes erfolgt direkt an die nächstgelegene Trafo-Station des lokalen Elektrizitätswerks. Das Energienetzmanagement am Geflügelhof Zapf kann als On-Top-Eigenschaft bewertet werden, das erst nach Fertigstellung des neu aufgebauten, sehr komplexen Kraft-Wärme-Kälte-Energienetzes zur Geltung kommt.

Beim Schulenzentrum Nordwest sind die technischen Umbauten bei den Energieanlagen weitgehend abgeschlossen. Für die Abrechnung mit dem lokalen Energieversorger und für ein Energiemanagement der kommunalen Träger wird ein analytisches Energiemonitoring benötigt, das unterjährig umfangreiche Analysen zur Energieversorgung und zu Lastprofilen erlaubt sowie weiterführende Schritte zur Steigerung der Effizienz gestattet. Die Ansprüche und Randbedingungen sind in jedem Teilprojekt anders und nicht zuletzt durch die Interessen und Erfordernisse der Betreiber geprägt.

Das Subnetz INES Smart Grid (ISG) am Campus Nord wurde mit Mitteln der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) für eine Wasserstoffsystemeinheit bereits 2011 grundlegend initialisiert und hat sich im Verlauf des Projekt zu einem Objekt entwickelt, in das viele Erkenntnisse und Erfahrungswerte der anderen Subnetze und weiterer F&E-Vorhaben der Forschungsgruppen am INES einfließen konnten. Zum Projektabschluß 2016 steht mit dem ISG ein Reallabor zur Verfügung, das beste Voraussetzungen zur Kopplung wissenschaftlicher Modelle und Optimierungsansätze an die Realität von dezentralen Verteilnetzstrukturen mitbringt. Fortlaufend werden neue Projekte, Managementlösungen und Forschungsthemen mit Hilfe des Netzes entworfen, untersucht und weiterentwickelt.

2.3.1 Energiegewinnung und Energieverteilung bei den Reallaboren

Bei den nachfolgend beschriebenen Reallaboren im Projekt werden vereinfachte Schemata für den methodischen Ansatz für die Energieversorgung gewählt. Die Varianten können als sehr häufig auftretende Konfigurationen im künftigen Smart Grid gesehen werden und eröffnen eine gute Grundlage, um eine allgemeingültige Methode für ein Betreiber-orientiertes dezentrales Energienetzmanagement zu entwickeln. Die Energieverteilung sieht die Bereitstellung von Strom, Wärme und Kälte vor. Es wird davon ausgegangen, daß mindestens zwei Energiequellentypen zur Verfügung stehen, die über Wandler die drei Energiearten Kraft, Wärme und Kälte bereitstellen können. Welche Backup-Systeme zum Einsatz kommen, unterliegt oft individuellen Entscheidungen der Betreiber, da diese stark von Investitionsumfang und -bereitschaft, Prioritäten für Versorgungssicherheit und Qualitätsmaßstäben oder dem gewährten Ausfallrisiko dominiert werden.

Da die Reallabore stark unterschiedlich ausgeprägt sind, werden sie als Nutzungstyp definierende Objekte behandelt. In den Abschlußbericht werden in Verbindung mit der Beschreibung der Reallabore nur wesentliche oder exemplarische Diagramme, Simulations- und Monitoringergebnisse aufgenommen. Auf umfangreiche Auswertegrafiken und Diagramme wird bewußt auf die projektbezogenen Publikationen, Konferenzbeiträge und Abschlußarbeiten verwiesen.

2.4 Reallabor Energieinsel

Mit der Energieinsel wurden an der Hochschule Offenburg bereits im Jahr 1997 die Grundlagen für die Forschung und Ingenieurausbildung im Bereich Systemtechnik von Solarstromanlagen geschaffen. Das Hybrid-Energiesystem bestehend aus einem Solargenerator mit 1.200 W Peakleistung, einem 750 W (neu: 600 W) Windgenerator und einem Gas-BHKW als Backup-Generator wird bei einer Systemgleichspannung von 48 V betrieben und verfügt zur Pufferung überschüssiger Energiemengen über einen Akkumulator mit 546 Ah (bei C20) und einen 750 Liter-Warmwasserspeicher. Die elektrische Energieverteilung erfolgt über einen Inselwechselrichter als Einphasen-Wechselstromnetz mit ca. 100 W Dauerlast (seit 2010: 230 W) und bis zu 2.200 W Spitzenlast.

Im Jahr 2001 erfolgten umfangreiche Überarbeitungen zur Anlagen- und Steuertechnik in Verbindung mit einer Erweiterung um einen Teststand für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen. Der bestehende monokristalline Solargenerator wurde ergänzt durch eine amorphe Netzparallelanlage mit 640 W Peakleistung und eine weitere polykristalline Anlage mit einer Peakleistung von 720 W. Zur Erfassung der Witterungsbedingungen für den Betrieb der Testanlagen wurde die Meßtechnik um eine meteorologische Station erweitert.



Abbildung 2-6: Die Außenanlagen der Energieinsel als Teil des Testfelds für erneuerbare Energietechnik und Wettermeßtechnik am Hauptcampus der Hochschule Offenburg. Rechts: Windgenerator seit 2015

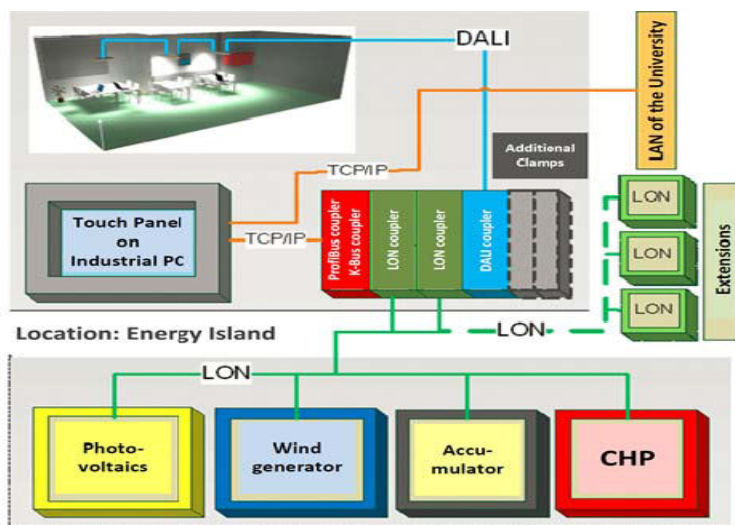


Abbildung 2-7: Raumautomationskonzept der Energieinsel mit Lernecke

2.4.1 Mikrogrid mit Lernecke für Studierende

Energiebeiträge aus einem PV-Generator und einer Kleinwindkraftanlage versorgen die vorwiegend am Wechselrichter angeschlossenen Verbraucher (AC Loads) der Energieinsel. Für Zeiten ohne Sonne und Wind beziehungsweise bei schwachen Einträgen aus erneuerbaren Energiequellen sorgt ein 48 V-Bleisäure-Akku mit einer Gesamtkapazität von 26 kWh für die Versorgung der angeschlossenen Verbraucher. Fällt der Akku unter einen definierten Grenzwert von 48 V gerät der Akku in einen Ladezustand, der zu deutlichen Einbußen bei der Lebensdauer führen kann. Ein gasbetriebenes BHKW startet bei Unterschreiten des Grenzwerts, um den Akkuladezustand um ca. 30 % anzuheben. Dadurch, daß kein Lastabwurf erfolgt, bleiben Verbraucher in der Regel angeschlossen, lediglich der vorgesehene Ladezustand des Akkus wird wegen der auf ca. 1.200 W begrenzten Ladeleistung des Netzteils später erreicht. Hält bei hohem Verbrauchsniveau die geringe Beitragslage der Quellen Sonne und Wind an, sinkt der Ladezustand des Akkus wieder stark ab und das BHKW muß immer häufiger starten, um eine Ausgleichladung vorzunehmen. In Fällen wie Startschwierigkeiten des BHKW oder bei gleichzeitig schwacher Batterie wird Energie zur Versorgung der Lasten aus dem Stromnetz der Hochschule bezogen. Die Lernecke springt bei Ausfall der Inselversorgung auf Netzbetrieb um, behält jedoch ihre Funktion als automatisierter Aufenthalts- und Arbeitsbereich.

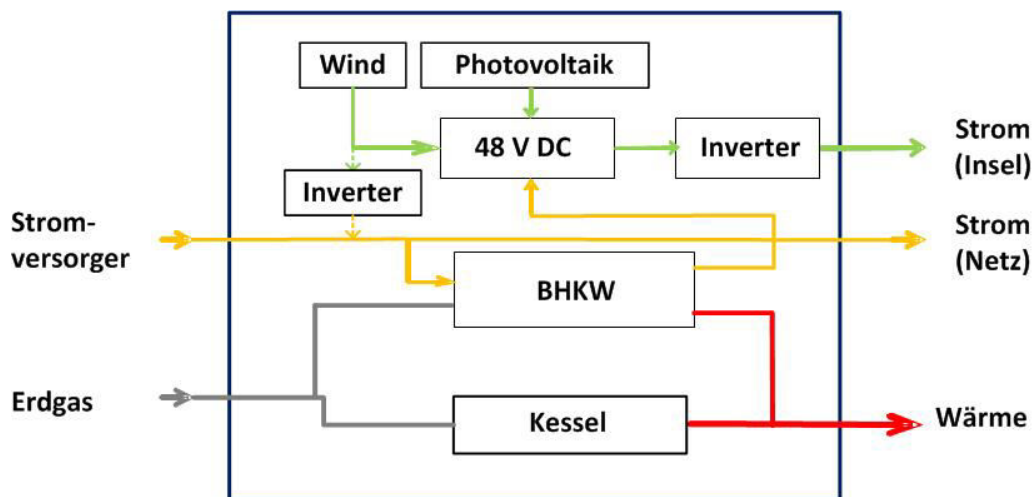


Abbildung 2-8: Energieversorgungskonzept der Energieinsel

Die Erfassung und Steuerung der Anlagen erfolgt über ein LON-Gebäudeautomationsnetz, dessen Netzvariablen über einen OPC-Server (Open Process Control) im Rechnernetz der Hochschule zur Überwachung, Archivierung und Auswertung verfügbar sind.

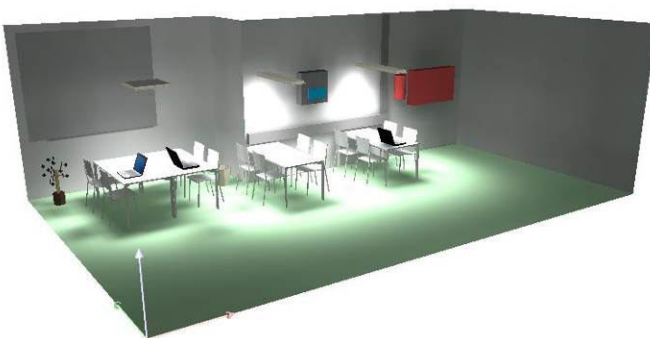


Abbildung 2-9: Lernecke Ausleuchtungssimulation der Studierendenarbeitsplätze (links, Planung) und umgesetzte Lernecke (rechts, seit 2011)

Die Einbindung der energietechnischen Anlagen erfolgte durch die Forschungsgruppe NET überwiegend im Rahmen von Laborversuchen, Seminaren und Studienarbeiten zur Solarstromgewinnung im Gebäudebereich und Smart Grids. Im Jahr 2010 wurde der Lernbereich für Studierende aus Abbildung 2-9 hinsichtlich Beleuchtung und Energieversorgung von Notebookarbeitsplätzen neu konzipiert, anschließend als Bachelorarbeit im Studiengang Mechatronik Plus [GHinrichsen2011] auslegungstechnisch umgesetzt und in eine Raumautomationsumgebung programmiert. Im Rahmen der INES-Aktivitäten wurde diese Lernumgebung im WS 2012/2013 als Demonstrations- und Laborsystem neu eingebunden.

Die Betriebsanalyse der neuen Konfiguration erfolgte in einer weiteren Bachelorarbeit [MWanitschke2014], um die Grundlagen für die weitere Optimierung des Mikronetzes zu legen. Verzögert wurden die Arbeiten durch die Folgen eines Frühlingsturms im April 2015. Dabei wurde der Windgenerator der Energieinsel so beschädigt, daß er Ende Dezember 2015 ersetzt werden mußte. Der neue, etwas kleinere Generator sollte weitere Funktionen erfüllen. Er sollte dauerhaft als Hilfsgenerator für das Mikronetz Energieinsel eingesetzt werden und eventuelle anfallende Überschüsse ins lokale Stromnetz einspeisen.

Im Rahmen des Projekts 2012-09 sollte vorwiegend die verbesserte Nutzung der thermischen Abwärme durch den stromgeführten Betrieb des BHKW behandelt werden. Die Vorstellung des neuen Verfahrens für eine verbesserte Batterienutzung und die Nutzung der Abwärme in den Räumen des Heizungstechnik-Labors erfolgte auf der europäischen Konferenz PVSEC in Amsterdam im September 2014 [daCosta2014].

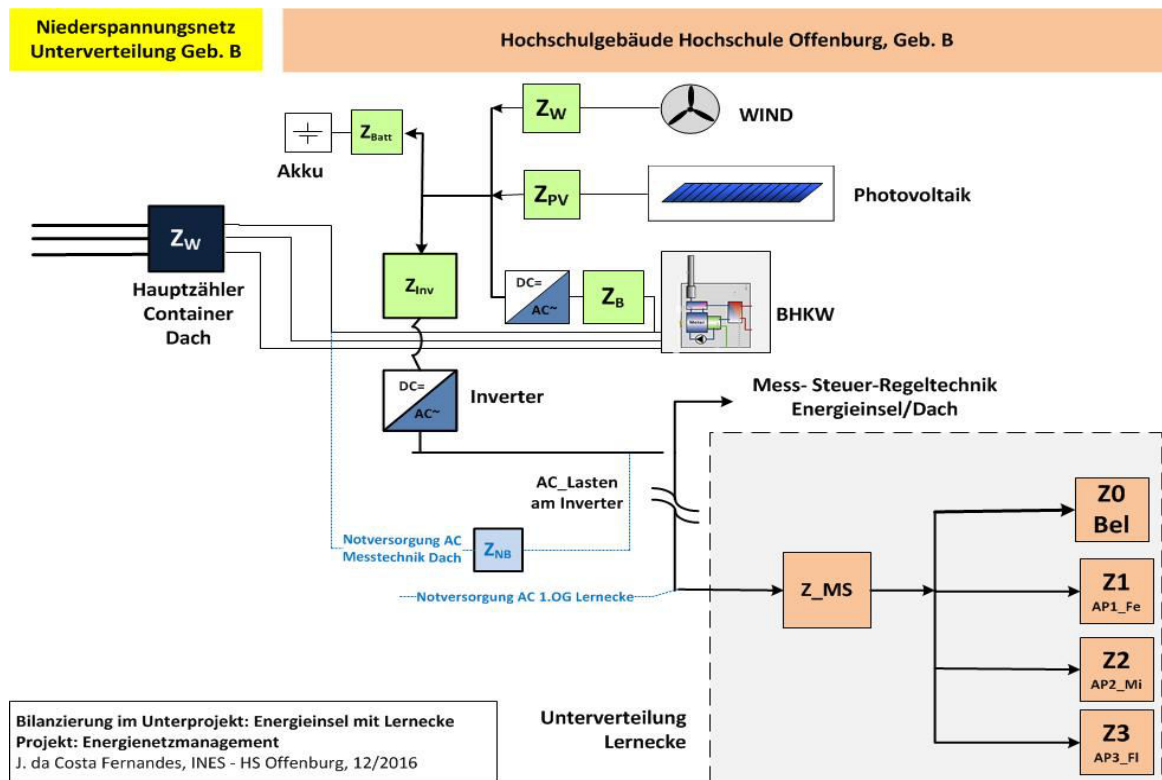


Abbildung 2-10: Elektrische Energiebereitstellung und Bilanzierungsansatz zur Energieinsel mit Lernecke

Im oberen Bereich der Abbildung 2-10 ist die Energiebereitstellung dargestellt, die elektrisch über den Wechselrichter (Inverter) mit den Wechselstromlasten gekoppelt ist. Der mit Erdgas betriebene und fremderregte, dreiphasige Asynchrongenerator des BHKW vom Typ Senertec Dachs fordert einen dreiphasigen Anschluß an die Unterverteilung des Gebäude B. Lediglich eine Phase wird bei BHKW-

Betrieb ausgekoppelt und die Energie über ein Ladegerät zur Akkuladung oder bis zu 1200 W DC für die direkte Bereitstellung genutzt.

Die im unteren Teil der Abbildung 2-10 dargestellte Verteilstruktur unterscheidet zwischen Verbräuchen zum Betrieb der MSR-Technik auf dem Dach und der definierten Laststruktur der Lernecke. Der Gesamtzähler Z_MS am Schaltschrank mit dem Bedienpanel entspricht dabei einem Hauptanschlußzähler während die weiteren Zähler die Nutzeinheiten Arbeitsplatz AP1 bis AP3 einzeln und die Beleuchtung gesammelt erfassen. Der gewählte Ansatz entspricht Erfahrungen aus dem Langzeitmonitoring des SIC in Freiburg [SIC2008] und hat sich in verschiedenen Demo-Projekten des bundesweiten EnOB-Förderprogramms bewährt. Das Zählerkonzept sieht die getrennte Bilanzierung von Energiemengen vor, die einerseits für den Betrieb des Gebäudes mit seiner TGA bestimmt sind und andererseits den nutzungsabhängigen Verbrauch ausmachen.

Der thermische Verbrauch kann nicht detailliert beziffert werden, da die Energie des Wärmespeichers gemäß Abbildung an die Unterverteilung des Kesselsystems im Heizungstechnik-Labor der Hochschule gekoppelt ist und mehrere Räume bedient. Die Ansteuerung des BHKW erfolgt stromgeführt über den Laderegler des Bleisäure-Akku der Energieinsel. Sobald ein Unterschreiten der Spannungsschwelle von 48 V erfolgt, wird das BHKW gestartet. Verhindert wird der Start vorwiegend durch zwei Bedingungen. Zum einen kann der Warmwasserspeicher geladen sein (hoher Sollwert) oder die Umgebung ist zu kalt, d.h. eine niedrige Starttemperatur (Raumtemperatur und Gastemperatur im Bereich von ca. 15 °C bis 18 °C wie sie typischerweise in Kellerräumen vorherrschen) erschwert die Zündung des Gasgemisches.

Die Entladung des Wärmespeichers erfolgt über die manuelle Zuschaltung der Abwärmenutzung und eines geeigneten Heizverteilkreises. Eine automatisierte Funktion wurde im Rahmen der Bachelorthesis von M. Wanitschke [MWanitschke2014] entworfen. Nach Überprüfung der Automationsanforderungen im Labor für Heizungstechnik wurde die Umsetzung im Projektrahmen nicht angegangen, da anderweitige Prüfstände eine Raumtemperatur von bis zu 26 °C verursachen. Die Abschaltung des Heizkessels erfolgt jedoch bei einem Grenztemperaturwert von 24 °C, d.h. eine Abnahme der Wärmeleistung wird verhindert und die im Wärmespeicher aufgestaute thermische Energie müßte unter erheblichen Installationsaufwand über einen Rückkühler an die Umgebung nach Außen abgeführt werden.

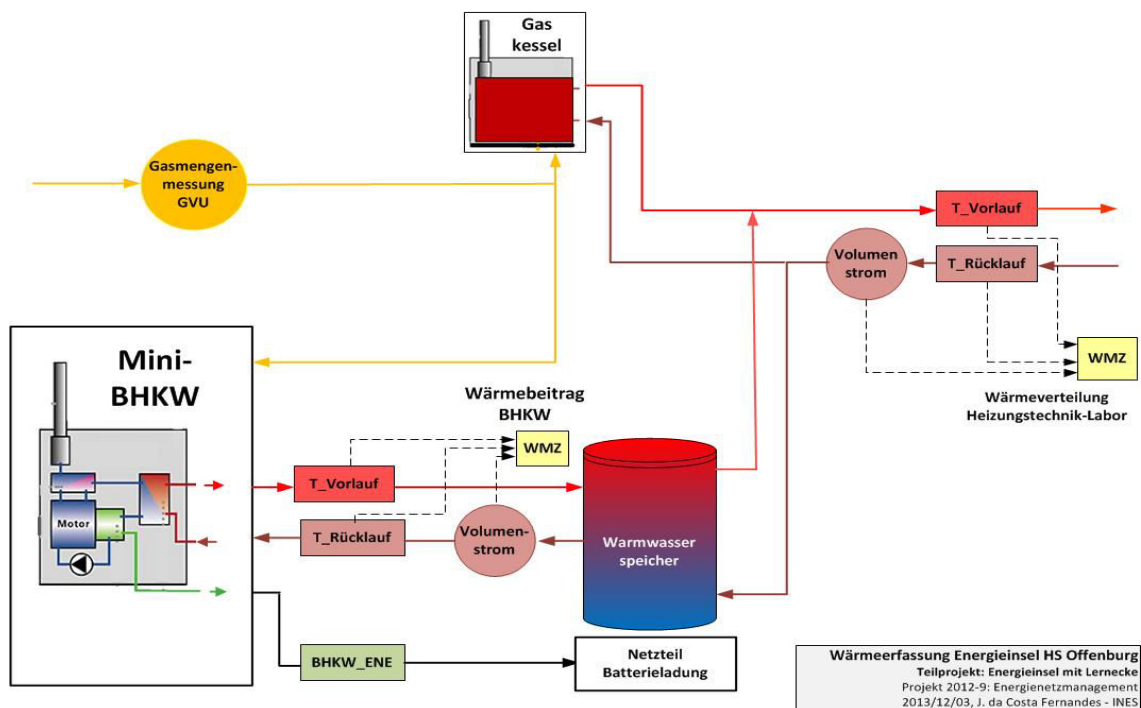


Abbildung 2-11: Konzept der thermischen Ankopplung der Energieinsel an die Wärmeverteilung des Heizungstechnik-Labor der Hochschule. Der Wärmespeicher des BHKW wird über die Abwärmenutzung entladen und unterstützt den Brennwertkessel der Heizwärmeverteilung.

2.4.2 Ansatz einer automationsgestützten Optimierung

Ein starkes Zyklieren der Bleisäurebatterie bis zu sehr niedrigen Ladezuständen trägt stark zur Lebensdauerverringerung des Akkumulators bei. Um diesen Effekt zu verringern wurde ein Algorithmus programmiert, der dafür sorgt, daß die Ladeschlussspannung deutlich häufiger erreicht wird als es der bestehende Algorithmus des Ladereglers vorsieht. Der Effekt verstärkt sich weiter bei Bestandsanlagen wenn eine Degradation der Generatoren und Kapazitätsverluste der elektrischen Speicher hinzukommen. Der im Vorhaben untersuchter Algorithmus sieht einen kombinierten Batterieladebetrieb durch konsekutive Schaltung verfügbarer Energiequellen vor. Die intelligente Zuschaltung von Energiequellen kann eine starke bzw. tiefe Zyklierung des Akkus verhindern, wenn Energiequellen bei niedrigem Ladezustands akkumulierend zugeschaltet werden und so regelmäßig zu einer deutlichen Ladezustandsanhebung beitragen. Insbesondere beim Einsatz von erneuerbaren Quellen, können Prognosen zu Energiebeiträgen aus Wind und Sonne als Entscheidungshilfe dienen.

2.4.3 Lastanalyse und Auswertung von Lastgängen

Als Laststruktur steht eine Lernecke für Studierende mit drei Arbeitstischen zur Verfügung. An jedem Arbeitstisch, der für zwei Notebookarbeitsplätze ausgelegt wurde, sind zwei Steckdosen angeordnet, die zum Anschluß von Elektrokleingeräten oder eines Notebooks genutzt werden können. Die Steckdosen sind tischweise jeweils mit 16 A-FI-Automaten abgesichert und die maximale Leistungsaufnahme der Unterverteilung ist begrenzt durch den Wechselrichter der Energieinsel bei ca. 2 kW. Die Verbrauchsstruktur ist in *Tabelle 1* und *Abbildung 2-10* detaillierter beschrieben und aufgeschlüsselt.

Die PV-Anlagen tragen nach *Abbildung 2-12* die höchsten Beiträge zur Versorgung bei, in hellgrün sichert der Betrieb des BHKW die Batterie vor Tiefentladung ab. Die Windbeiträge (rot) können als bescheidene Hilfsbeiträge beschrieben werden. Die Leistung, die am Inverter abgerufen wird entspricht dem typischen Verlauf außerhalb des Vorlesungsbetriebs bei geringer Auslastung.

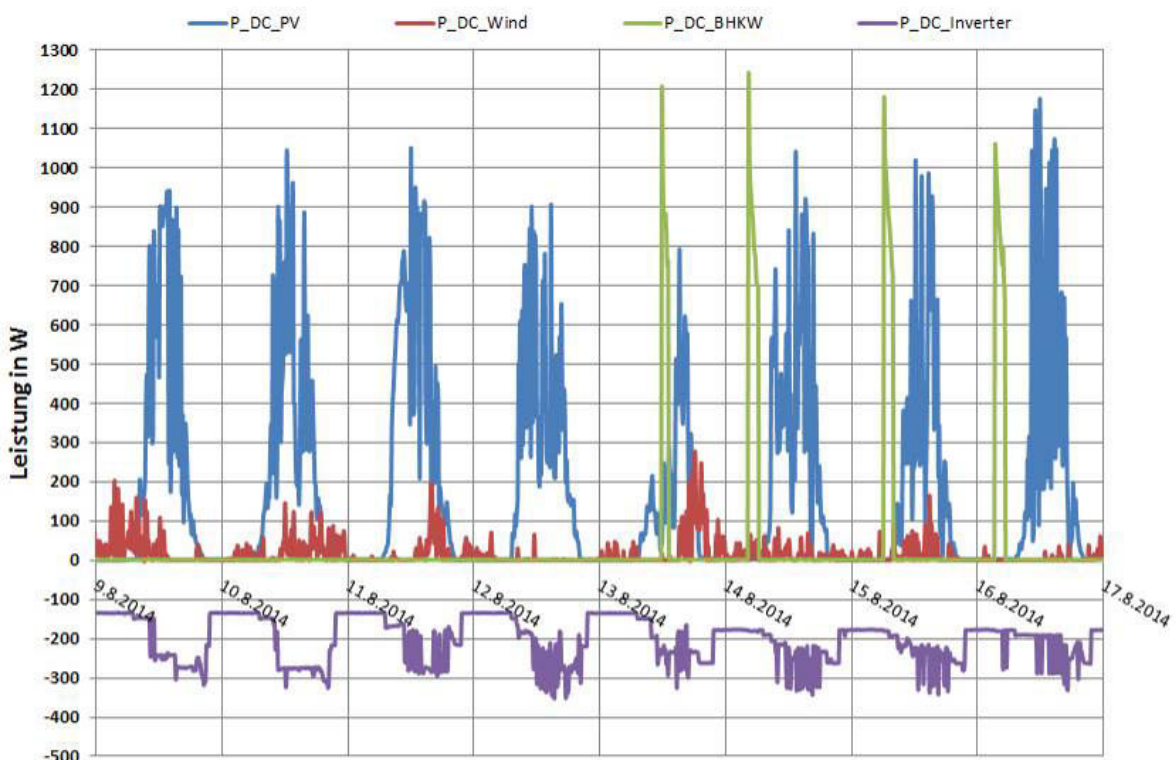


Abbildung 2-12: Bilanzbeiträge bei der Energieinsel mit Lernecke in der vorlesungsfreien Zeit (August 2014)

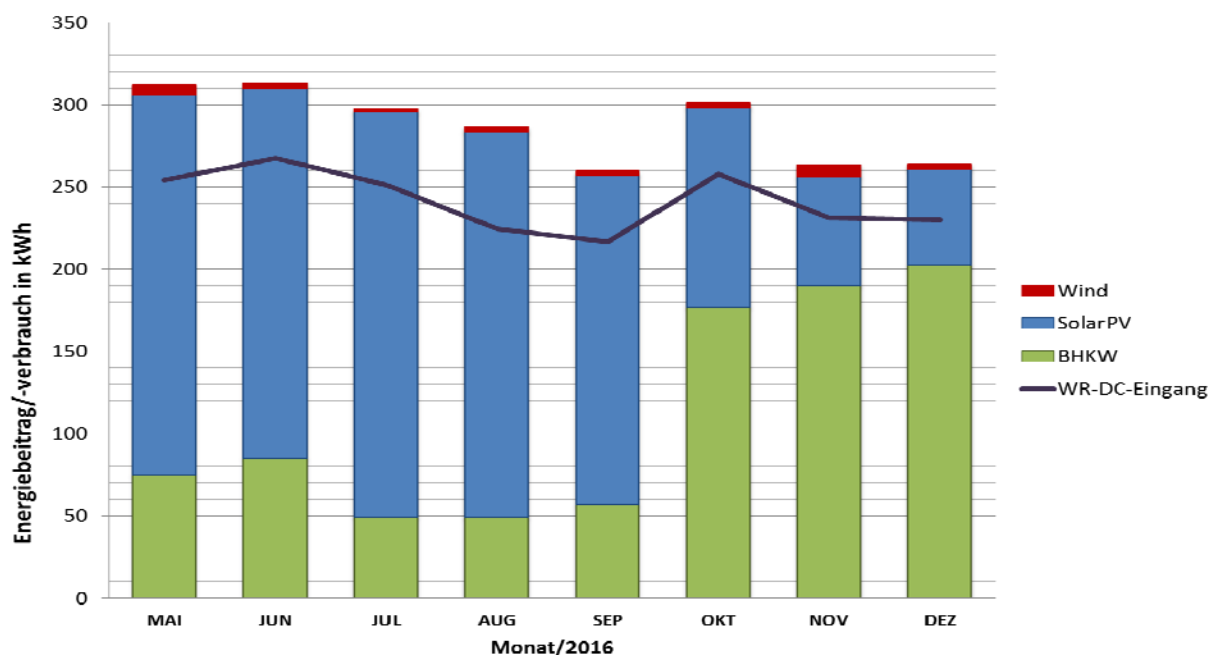


Abbildung 2-13: Bilanzanteile Wind, Solar und BHKW im Jahr 2016, sehr deutlich wird der geringe Beitrag durch die Kleinwindkraftanlage, die als Zusatzgenerator auf den Batterieknoten oder ins Niederspannungsnetz der Hochschule einspeist. Hohe BHKW-Beiträge prägen die Herbst- und Wintermonate.

Zur Analyse des Lastverhaltens wurden in allen Teilprojekten Aufzeichnungen zum Lastverhalten durchgeführt. Zum Teil erfolgten die Aufzeichnungen über das Monitoring der Anlage und wurde durch Kurzzeitmeßkampagnen mit einem Netzanalysator unterstützt. Beispielshaft sind für die Lastanalyse das Lastprofil einer Woche in Abbildung 2-14 und Lastprofile über zwei wiederkehrende typische Nutzungsphasen unterschiedlicher Auslastung dargestellt. Lastprofile für typische Nutzungsphasen werden für automatisierte Entscheidungsprozesse genutzt, die eine Anpassung der Energieflüsse an den Speicherstatus und den verfügbaren erneuerbaren Energiequellen gestatten.

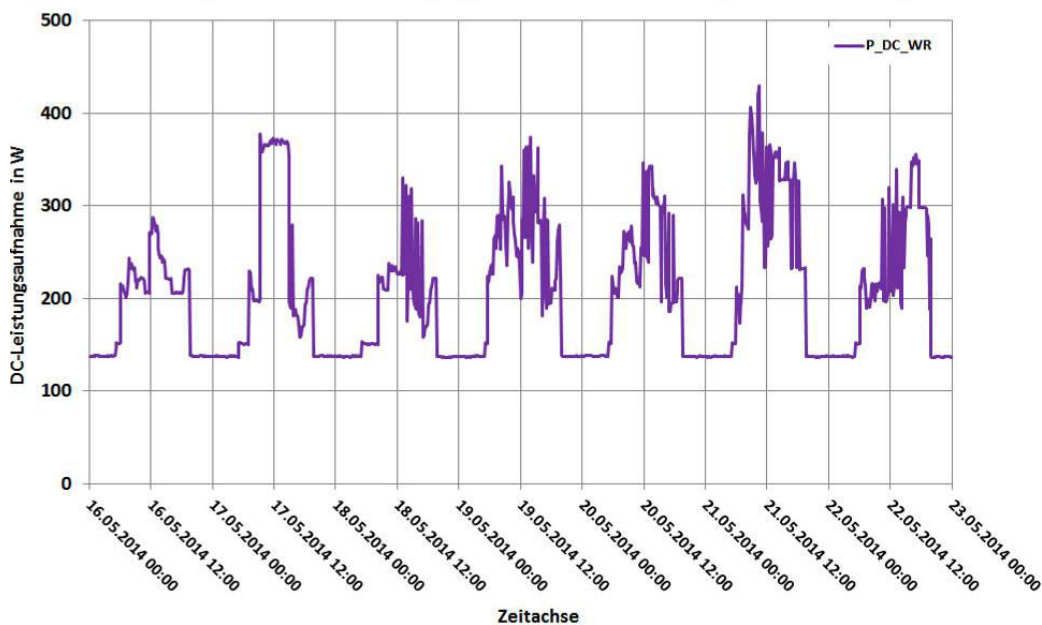


Abbildung 2-14: Lastprofil einer Woche im Semester mit durchschnittlicher Nutzung

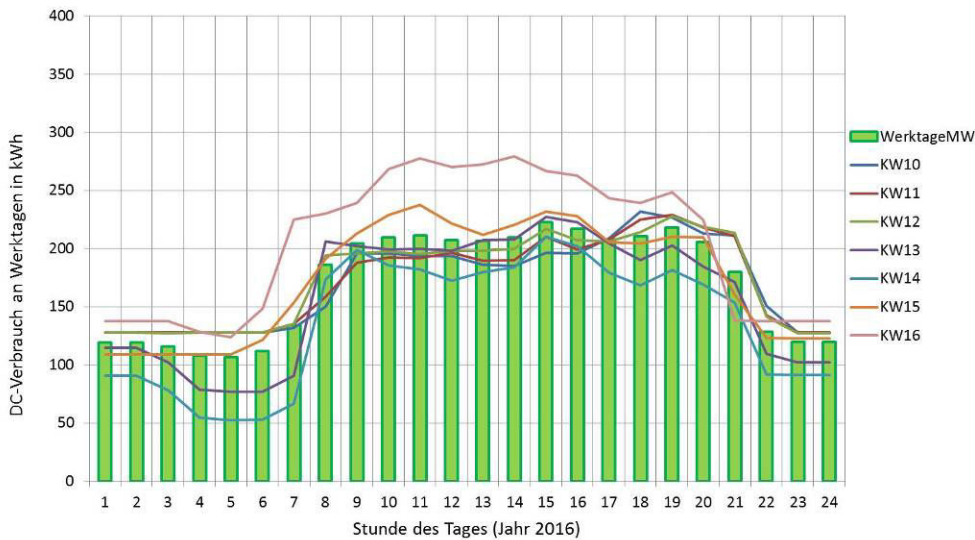


Abbildung 2-15: Werktags-Lastprofile aufeinanderfolgender Wochen mit schwacher Auslastung und das zugehörige Lastprofil der Stundenmittelwerte über eine 7-wöchige Tieflastphase.

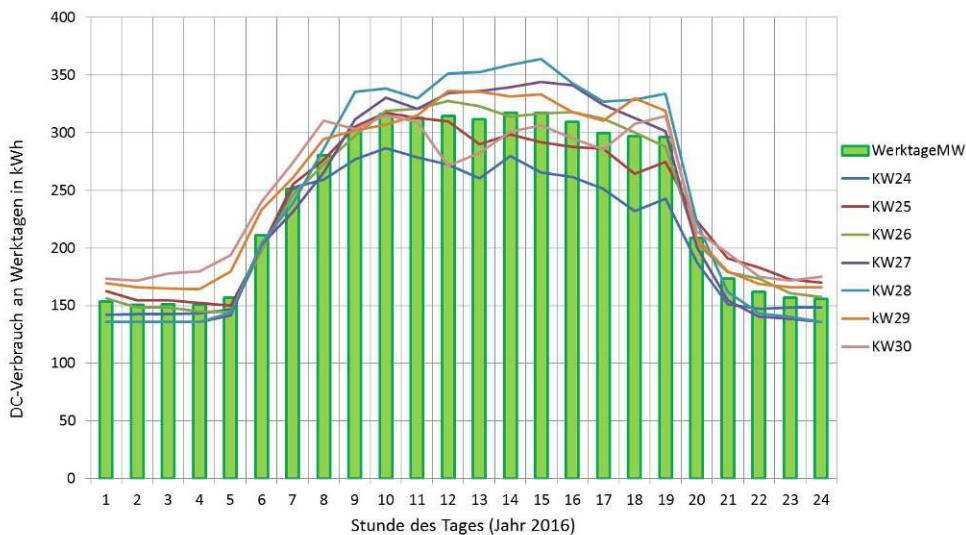


Abbildung 2-16: Lastprofile aufeinanderfolgender Wochen mit starker Auslastung und das zugehörige Lastprofil der Stundenmittelwerte über eine 7-wöchige Hochlastphase.

Entwicklungsziel im Projekt ist es mit Hilfe der Lastverteilung und anhand der aufgezeichneten Meßdaten ein allgemein einsetzbares Verfahren zur Lastprognose zu entwerfen, das in Folgeprojekten weiterentwickelt und validiert wird. Die Analyse der Lastprofile zeigte im Projektverlauf, daß unterschiedlich starke Nutzungsintensitäten (vorlesungsfreie Zeit, typische Vorlesungsphase, intensive Lernzeit vor und während der Prüfungszeiten zum Semesterende) für Prognosen genutzt werden können. Weitere Entscheidungskriterien liegen beim Einsatz von Gewichtungsfaktoren und Extremwerte, die in der jeweiligen Aktivitätsperiode prognostizierbare Arbeitsfenster für Leistungsaufnahmen definieren. Dadurch werden Grenzen für die Betriebsführung definiert, die vermeiden, daß das Gesamtnetz stark belastet wird oder die erforderliche Energie ausreichend bereitgestellt.

2.5 Reallabor Geflügelhof Zapf

Der Geflügelhof Zapf in Schönberg bei Gengenbach verpflichtet sich als familiengeführter Wirtschaftsbetrieb der nachhaltigen Einhaltung von Kriterien der regionalen Wertschöpfung und der effizienten Ausschöpfung lokal verfügbarer Ressourcen. Die Lebensmittelproduktion des Betriebs reicht von der Boden- und Freilandhaltung von Hühnern zur Eiergewinnung, über die Eiernudelproduktion bis zum Verkauf von Hühnern, Gänsen und Perlhühnern je nach Kundenanfrage. Die Pflanzen für die Fütterung der Hühnervögel werden weitgehend auf den eigenen Äckern angebaut. Der Kot der Hühnervögel wird der Naturdüngerherstellung zugeführt.



Abbildung 2-17: Übersicht zum Demoprojekt Geflügelhof Zapf

Mit der Nutzung von Holzhackschnitzeln, die überwiegend aus der Waldpflege der näheren Umgebung kommen, entsteht derzeit ein lokales, auf Biomasse basierendes Kraft-Wärme-Kälte-Energienetz. Die Holzhackschnitzel kommen zu 25 % aus dem eigenen Waldbestand und werden zu 75 % von Nachbarn und Waldbesitzern der Umgebung bezogen. Je nach Qualität und Feuchtegrad ist eine Einstellung des Feuchtegehalts erforderlich bevor sie über zwei große Silos drei Holzvergassern zugeführt werden.



Abbildung 2-18: Vortrocknungsmulden und Hauptsilo für Holzhackschnitzel des Geflügelhofs. Die Hackschnitzel werden mit einem Feuchtegehalt bis zu 50 % angeliefert und mit den Mulden bis ca. 15 % entfeuchtet.

Das über die Holzvergaser im Gleichstromverfahren gewonnene Holzgas wird drei BHKWs zugeführt und stellt die Wärme und den Strom für den Wirtschafts- und Produktionsbetrieb sowie für angeschlossene Wohnbereiche der Familie Zapf und einigen Mitarbeitern bereit. Ein großer Teil der Wärme wird über eine Resorptionskältemaschine zur Gewinnung von 80 kW Kühlleistung genutzt. Damit steht für die Lagerung der frischen Nudelwaren als auch für die Lagerung von Eiern die Kühlleistung sowohl im Winter als auch im Sommer zur Verfügung. Zur Versorgungssicherheit im Lebensmittelbereich wurde die vorgesehene wärmebetriebene Resorptions-Kälteanlage mit einer konventionellen Kältemaschine mit einer Nennleistungsaufnahme von 37 kW ergänzt.



Abbildung 2-19: Gleichstrom-Holzvergaser



Abbildung 2-20: BHKW für Holzgas

Je nach Wärmebedarf wird ergänzend die Befuerung eines Holzhackschnitzelkessels zugeschaltet. Als effiziente, weitere Maßnahme der Energiegewinnung wird die Abwärme der BHKWs mit Hilfe einer Wärmerückgewinnung genutzt.

Die Gesamtwärmeleistung der installierten Wärmeerzeuger liegt bei ca. 500 kW während der aus dem Betrieb der drei BHKWs gewonnene Strom mit einer Maximalleistung von ca. 135 kW im Rahmen der KWK-Vereinbarung vollständig ins Stromnetz eingespeist wird. Zusätzlich kommen Beiträge einer 18 kW großen Photovoltaikanlage als Bestandsanlage zur Netzeinspeisung hinzu.

Eine Herausforderung stellt das Energiemanagement des auf eine Strom- Wärme- und Kälteverteilung setzenden Verbundnetzes dar. Nach umfangreichen Erweiterungen im Bereich der Automation der Betriebseinheiten und der Energieanlagentechnik bedarf es einer intelligenten Steuerung der Energieflüsse. Unter Berücksichtigung der geplanten Produktion sind die Lade- und Entladevorgänge der insgesamt ca. 27.000 Liter fassenden Warmwasserspeicher auf mehreren Temperaturniveaus und die des Kältespeichers mit ca. 700 kWh Kapazität effizient zu steuern. Faktoren wie die Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen, Randbedingungen zur Netzeinspeisung nach dem KWK-Gesetz oder der VDE-Richtlinie 4105 AR-N spielen genauso eine Rolle wie die Bedarfsprognose für den Energieverbrauch des Produktionsbetriebs mit seinen angeschlossenen Gebäuden.

Die Forschungsgruppe NET begleitet das Vorhaben mit der Entwicklung und Umsetzung eines automationsgestützten Energiemanagements, das auf drei Vorhersagemodulen basiert. Diese Module erstellen Prognosen für Lastprofile, führen eine Einschätzung der Witterungseinflüsse auf den Wärme und Kältebedarf durch und dienen der Bewertung der Netzqualität hinsichtlich der Einspeisebedingungen für die Photovoltaik und die Kraftwärmekältekopplung (KWKK). Sie erlauben so automatisierte Entscheidungen hinsichtlich der Energiebereitstellung sowie Energiespeicherung. Im Rahmen von Studien und Abschlußarbeiten bearbeiten Studierende der Hochschule Offenburg Teilaspekte der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

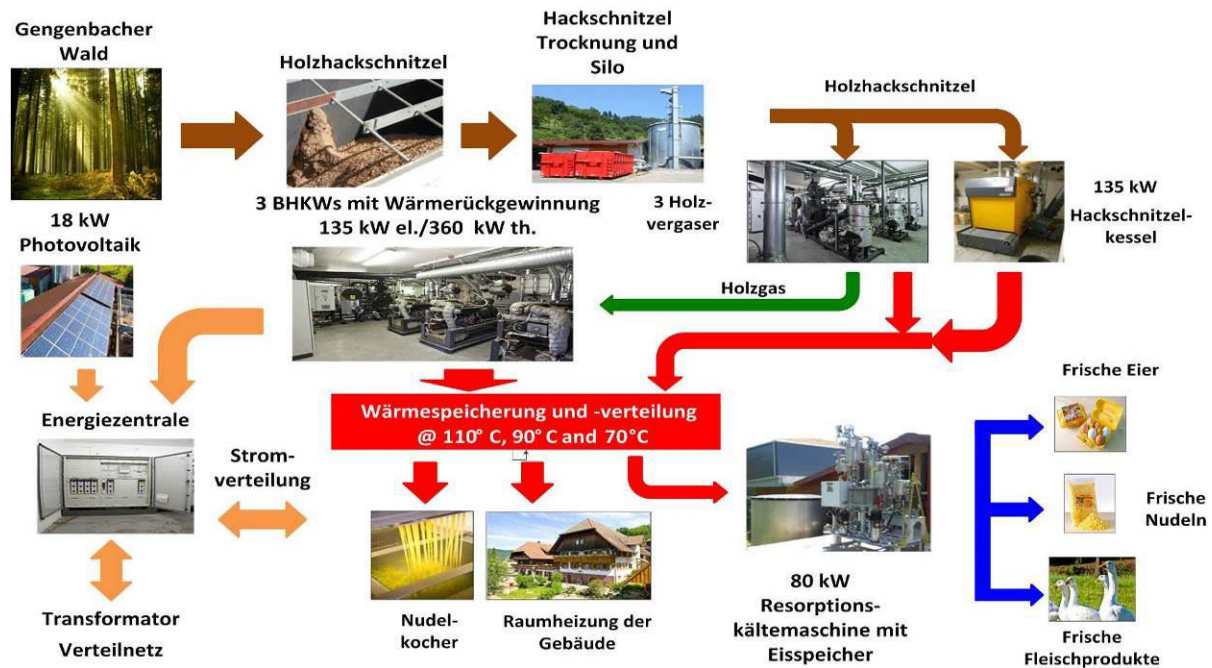


Abbildung 2-21: Schematische Übersicht der Energieverteilung am Geflügelhof Zapf

2.5.1 Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung für einen Produktionsbetrieb

Die Energieversorgung des Geflügelhofs Zapf gestaltete sich ausschließlich über den Strom, der vom Energieversorger bezogen wurde. D.h. auch thermische Leistungen wurden über Heizplatten bzw. konventionelle Kompressionskältemaschinen bereitgestellt.

Mit dem Wechsel zu Holzhackschnitzeln als Primärenergiequelle ist die Substitution des gesamten thermischen Bedarfs über das neue Wärmenetz vorgesehen. Der Strombedarf des Energienetzes wird vollständig vom Energieversorger bezogen. Hingegen werden die BHKW-Strommengen nach KWK-Einspeivevertrag ins Netz des Energieversorgers eingespeist. Die Kältebereitstellung sollte laut ursprünglicher Planung vollständig über eine neue Resorptionskälteanlage gedeckt werden. Leider führten Lieferverzögerungen, die Insolvenz des Kältemaschinenherstellers und eine nicht zufriedenstellend arbeitende Steuerung der Kälteanlage zu erheblichen Störungen und signifikanten Minderleistungen bei der Deckung des Kühlbedarfs. Notwendig wurde so die Überarbeitung des Kühlkonzepts und Umsetzung eines Backupsystems, das zu erheblichen Mehrkosten bei Investition und laufenden Betriebskosten führte. Abbildung 2-22 veranschaulicht das Energieversorgungskonzept, das insbesondere um die konventionelle Kältemaschine erweitert wurde.

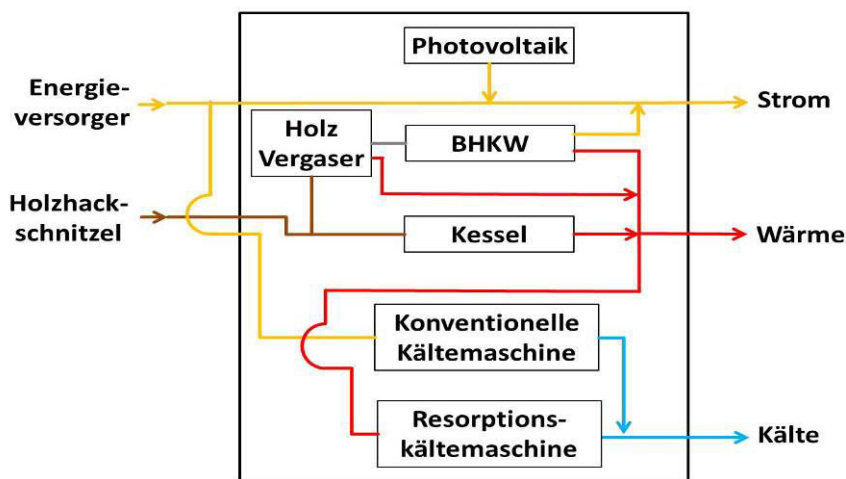


Abbildung 2-22: KWKK-Energieversorgungskonzept des Geflügelhof Zapf

Der Betrieb des Energienetzes mit Einbindung des Wärmeverteilnetzes wurde erstmals zum Beginn des Jahres 2014 dokumentiert. Durch den Betrieb im Winterhalbjahr spielen Beiträge für Kühlleistung keine signifikante Rolle. Bedeutend in dieser Projektphase ist jedoch die Zuverlässigkeit der BHKWs, die sich durch den gestuften Einspeiseverlauf der blauen Kurve der Abbildung 2-23 feststellen läßt. Angestrebt war der Betrieb aller drei BHKW-Einheiten, der sich jedoch nur mit starken Schwankungen realisieren ließ. Kurzzeitig traten auch Ausfälle aller BHKWs auf. Die Verbesserung der Verfügbarkeit wurde fortan auch ein besonderes Anliegen des Projektpartners Zapf, das die Motivation für den Ausbau der Vernetzung hemmte.

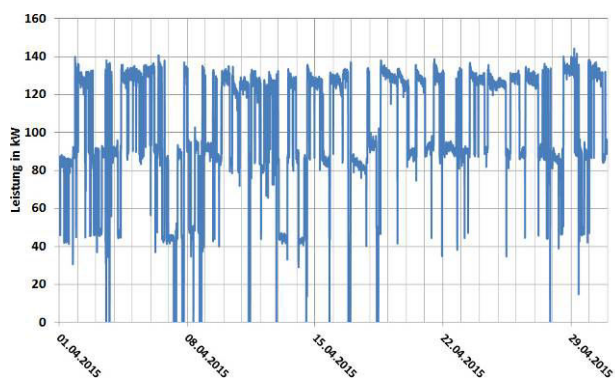


Abbildung 2-23: Leistungsprofil zum eingespeistem Strom der BHKW's auf dem Geflügelhof Zapf

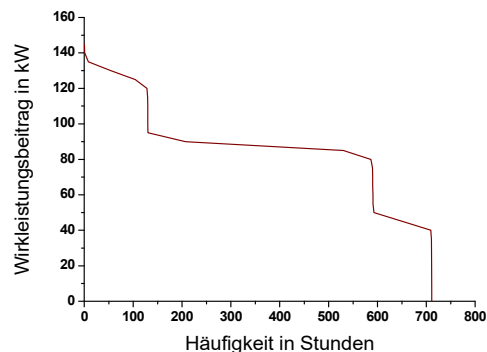


Abbildung 2-24: Verfügbarkeit der BHKW-Leistung in Stunden für Leistungswerte der Abbildung 2-23

Die Aufzeichnung der Verfügbarkeit der BHKW-Leistung aus Abbildung 2-24 schließt auf beachtlich lange Zeiten ohne die maximal verfügbare Einspeiseleistung. Nahezu 70 % der Betriebszeit laufen zwei der BHKW's während die Maximalleistung aller drei BHKW's nur 15 % ausmachen. Insbesondere durch den Trigeneration-Ansatz kann ein Ganzjahresbetrieb angestrebt werden, da die Wärme über die Resorptionskältemaschine und die Holz Trocknung auch im Sommer abgenommen wird.

Für den Lastverlauf des Produktionsbetriebs ergibt sich das Profil der Abbildung 2-25, das die unterschiedlichen Intensitäten erkennen läßt. Die Wochenenden heben sich deutlich von den Werktagen ab.

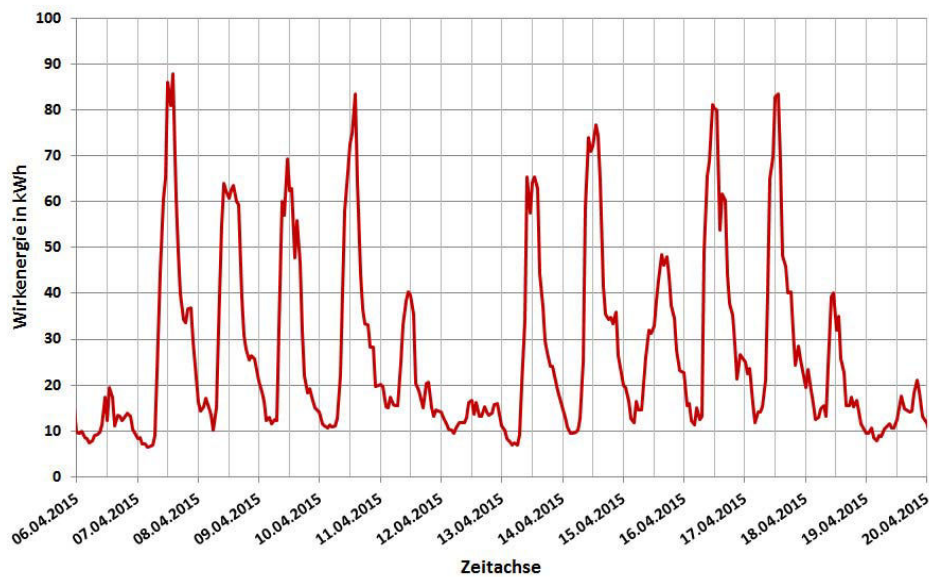


Abbildung 2-25: 14-Tage- Lastprofil für den Produktionsbetrieb Nudelproduktion

2.5.2 Datenanalyse und Modellierung

Im Verlauf des Projekts sollte mit der Einrichtung des Meßkonzepts, den Kurzzeitmeßkampagnen und den Auswertungen erster Messungen das Verbrauchsprofil der Demosysteme erfaßt und in seinen Eigenheiten dokumentiert werden. Gleiches gilt für Nutzungsprofile, Produktionsintensitäten und die erste Bewertung von witterungsbedingten Einflußfaktoren sowie wochentags- und saisonabhängigen Besonderheiten.

Während in der Masterarbeit von M. Eid [MEid2014] insbesondere mathematische Verfahren zur Analyse historischer Energiedaten untersucht wurden, beschäftigte sich H. Murali [HMurali2015] mit der Modellierung eines Wärmenetzes in der Simulationsumgebung TRNSYS. Ziel war es dabei nicht eigene Modelle zu entwickeln sondern vorhandene Modelle und Werkzeuge für die Entwicklung eines Energienetzmanagements zu nutzen. Im Verlauf des Projekts zeigte sich jedoch die Notwendigkeit eigene, vereinfachte Modelle zu definieren, die mit den Meßdaten des Zählernetzes sowie den Eingangskenndaten der Anlagen und Komponenten abgestimmt werden. Dieser sehr umfangreiche Teil der Entwicklungsarbeit konnte mit dem gegebenen Kostenrahmen und der Ausrichtung des Projekts unmöglich vollständig bearbeitet werden.

Während die drei BHKW thermische und elektrische Leistung unter nahezu gleichen Konditionen im Netz bereitstellen, zeichnen sich die Speicher durch unterschiedliche Temperaturniveaus aus. Verfolgt wird hier das Ziel einer temperaturangepaßten Wärmeverteilung mit der Anpassungsverluste reduziert werden. Zudem stehen der Produktion Energiemengen zur Verfügung, die ohne weitere Regler sofort über Verbraucher genutzt werden können. Dies gilt insbesondere für Hochtemperatureinheiten wie dem Spätzlekocher, der Zulauftemperaturen größer 95 °C benötigt.

In der Summe stehen über alle Wärmespeicher hinweg ca. 700 kWh Wärme für die Verteilung zur Verfügung. Für die Kälteversorgung stehen mit dem Eisspeicher ca. 680 kWh zur Verfügung.

Wichtige Verbraucher des Verteilnetzes sind das Spätzle-Kochbad, die Pasteurisiereinheit, die Nudeltrocknung, die Hackschnitzeltrocknung und die Resorptionskältemaschine. Alle anderen Verbraucher können als nachrangig einzustufende Verbraucher berücksichtigt werden, da sie höchstens eine thermische Leistungsaufnahme von ca. 15 kW aufweisen. Die Erfassung der Verbrauchereinheiten erfolgt im Projekt im Rahmen eines Industrieprojekts von S. Scheffler [SScheffler2013] dem eine umfangreiche Kurzzeitmeßkampagne folgte. Beispielhaft sind der *Tabelle 3 a) bis d)* die aufgezeichneten Lastprofile einiger wichtiger Einzelverbraucher des Projekts Geflügelhof Zapf aufgeführt.

Für die Umstellung auf die thermische Versorgung mit BHKW-Wärme aus den drei großen Wärmespeichern wurde das Hydraulikschema der Abbildung 2-27 ausgearbeitet in dem sich die Wärmequellen-, -Speicher und wichtigsten Verbraucher wiederfinden.

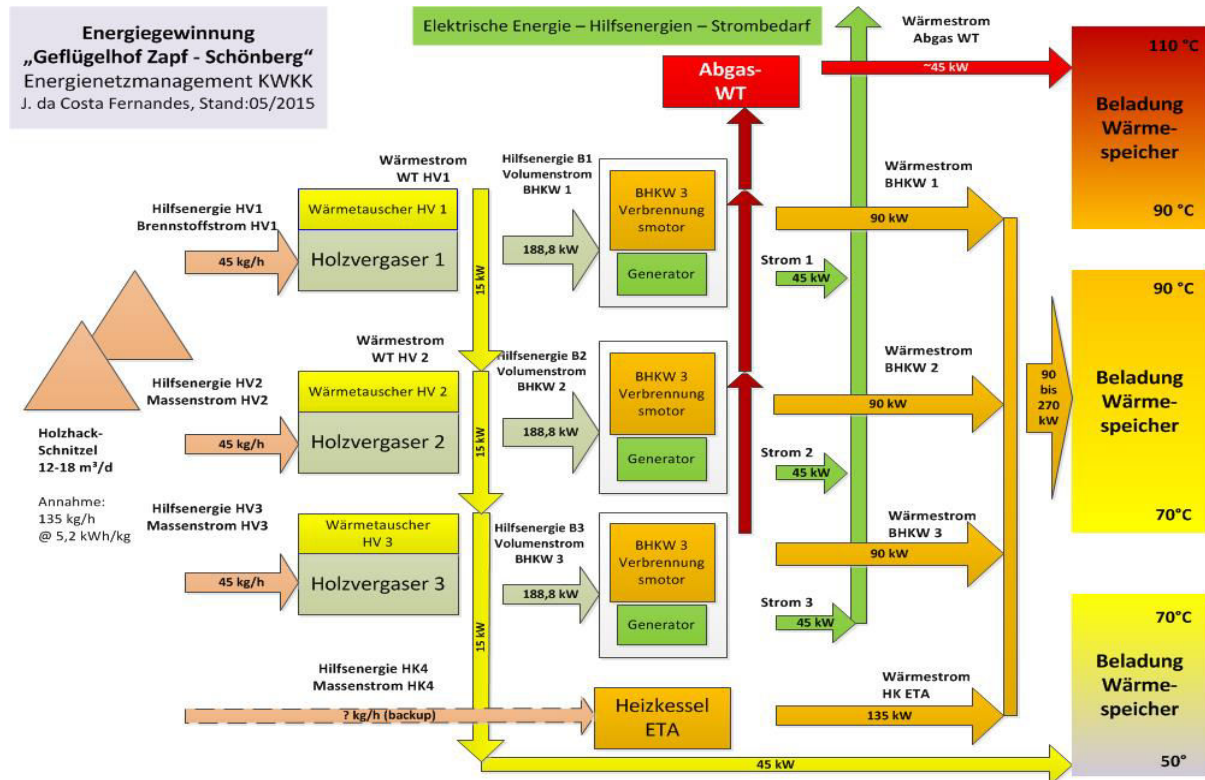


Abbildung 2-26: Energiestrombild der Energiegewinnung bis zur Wärmespeicherbeladung.

Die Wärmespeicher der Abbildung 2-27 werden auf drei Temperaturniveaus geregelt. Die folgenden Abbildungen 2.28, 2.29 und 2.30 zeigen die Ausprägung der Schichtung bei den Wärmespeichern, die eine Entnahme des Warmwassers bei unterschiedlichen Temperaturniveaus gestatten.

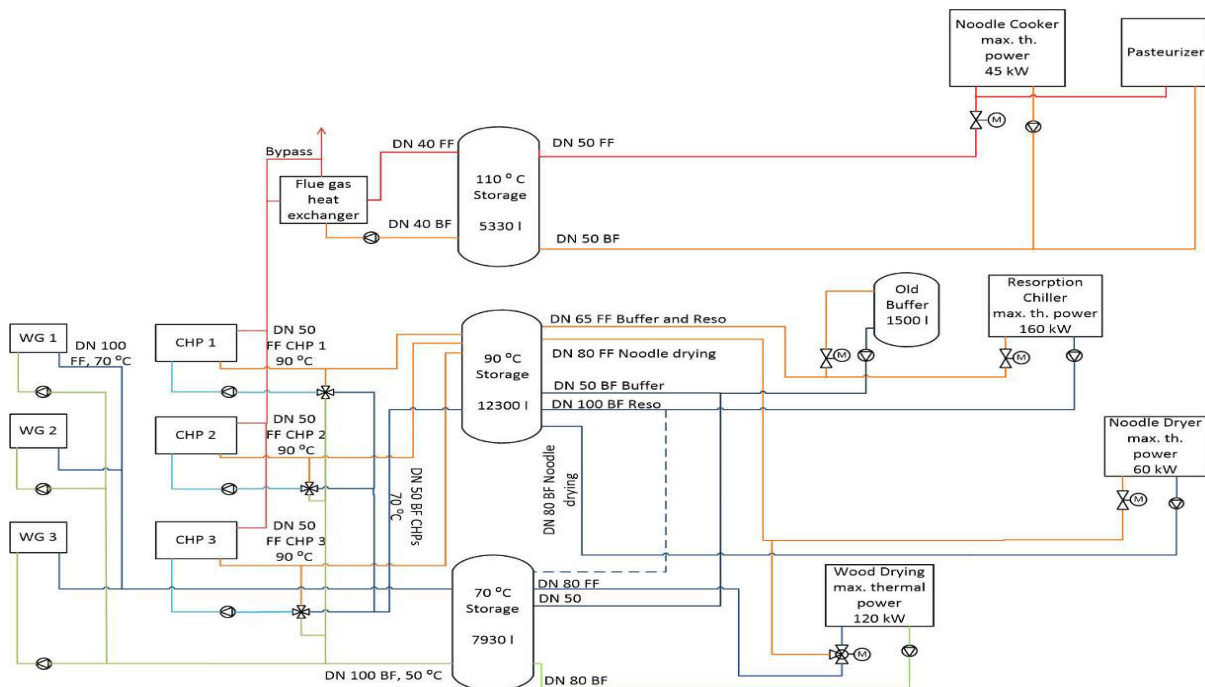


Abbildung 2-27: Hydraulik-Schema des Geflügelhofs Zapf mit BHKWs und thermischen Speichern. Bei den Lasten der Verteilniveaus sind nur Verbraucher mit signifikanten Anteilen aufgeführt.

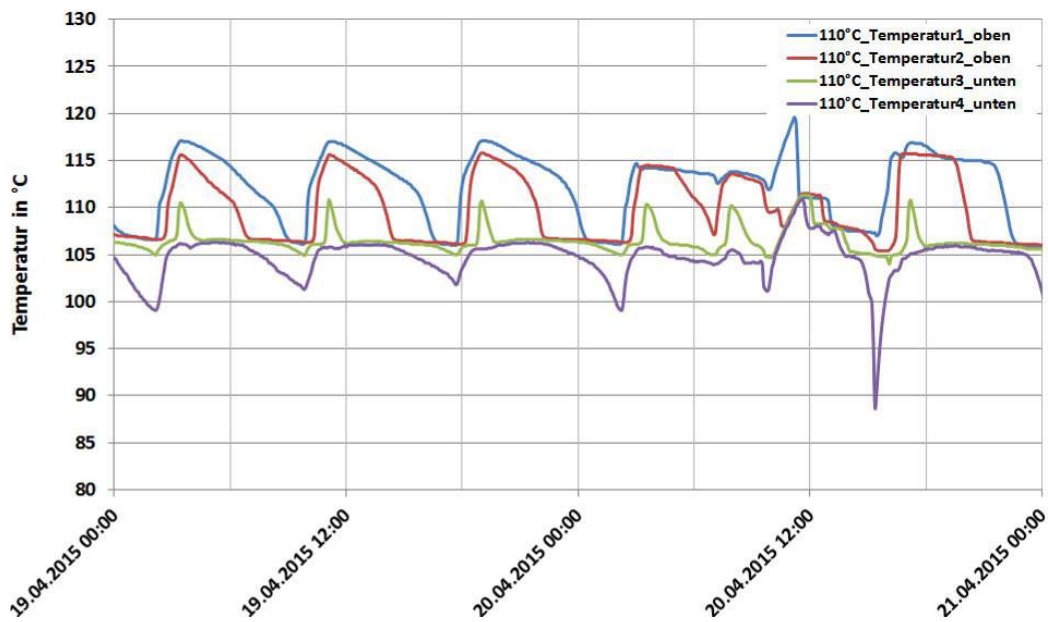


Abbildung 2-28: Gemessene Schichtung beim 110 °C-Speicher, der im Verlauf des Projekts noch wenig beansprucht wurde.

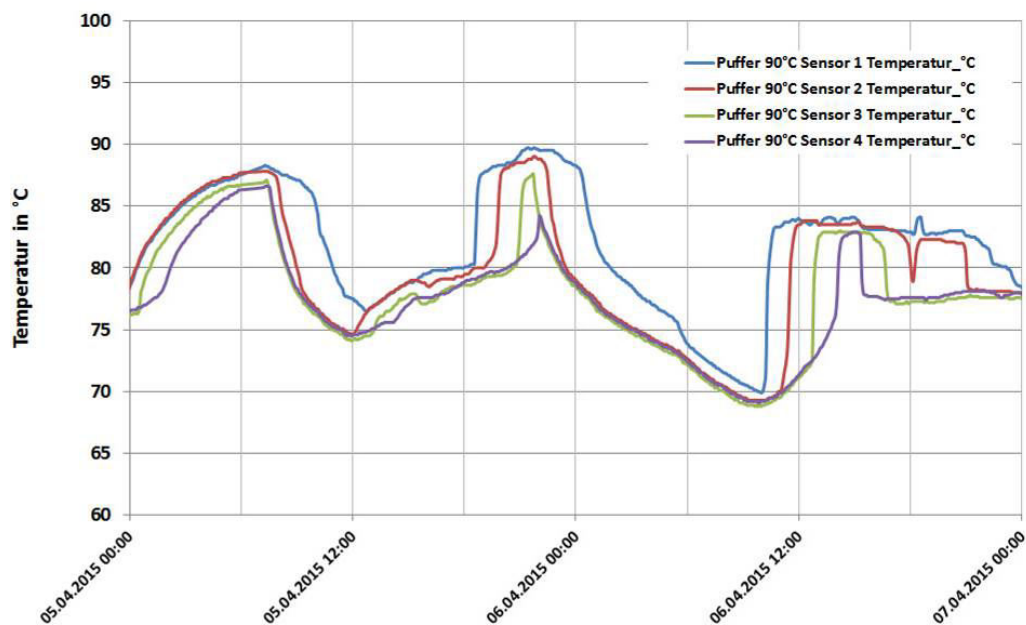


Abbildung 2-29: Aufzeichnung der Schichtenausbildung beim 90 °C-Speicher, der insbesondere die Kältemaschine bedient und zur Holzrocknung beiträgt.

Die hohen Entnahmemengen für die Produktion und Holzrocknung führten insbesondere beim 70 °C-Speicher zu einer Durchleitung des Warmwassers ohne die Vorteile der Schichtung nutzen zu können. Es zeigt sich auch, daß zeitweise die bereitgestellte thermische Leistung nicht ausreicht und bereits größere Kapazitäten eingeplant werden sollten.

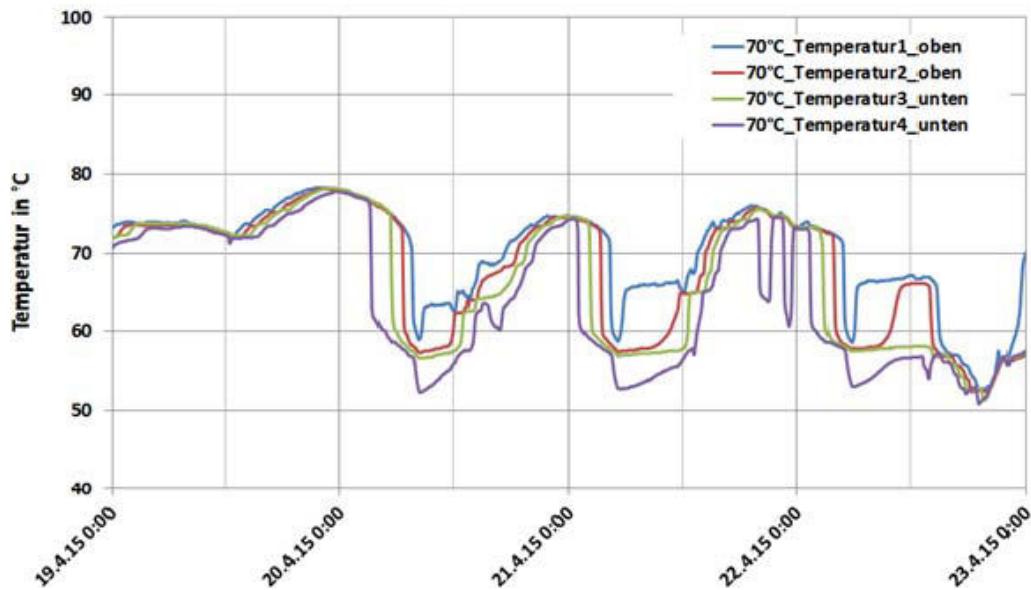


Abbildung 2-30: Die Meßdaten zum 70 °C-Speicher zeigen, dass der Speicher sehr stark beansprucht. Nahezu der gesamte Energiebeitrag wird zur Holz Trocknung über die Vortrocknungsmulden eingesetzt. Die Regelung erfolgt noch nicht optimal, da die Temperaturgrenzen erst spät mit Hilfe erster Simulationen festgelegt wurden.

Ein im Jahr 2011 von der G. und M. Zapf Energie GbR mbH beauftragtes Umweltgutachten wurde durch die EVIT GmbH in München erstellt und wies mit einer thermischen BHKW-Nennleistung von 83 kW kleinere Abweichungen insbesondere bei der Wärmeleistung auf. Mit einer Brennstoffleistung von 197 kW bei der Holzgaszerzeugung steht eine Holzgasleistung von 168 kW zur Verfügung. Die resultierende Stromkennzahl von 0,542 stellt sich bei einem Gesamtwirkungsgrad von 93 % ein.

Die Energiebereitstellung orientiert sich an Versorgungsstrukturen kleiner mittelständischer Betriebe oder kommunaler Energienetze, die aufbauend auf einem Niederspannungsverteilnetz für Nichtwohngebäude häufig durch dezentrale Einspeiseanlagen wie Kleinwindkraftanlagen, Photovoltaikanlagen im Netzparallelbetrieb und KWK-Anlagen erweitert werden.

Abbildung 2-33 veranschaulicht schematisch den grundsätzlichen Aufbau eines derartigen Subnetzes als Teil eines Niederspannungsverteilnetzes lokaler Energieversorger. Die zentrale Fragestellung im Projekt ist es, die vorhandenen Subnetze so auszustatten, daß sie dem Betreiber und dem Verteilnetzbetreiber als schaltbare/regelbare Komponenten eines Smart Grid zur Verfügung gestellt werden können. Basis für die Umsetzung ist ein zählerbasiertes Monitoring der wichtigsten Energieflüsse, energetisch signifikanten Netzkomponenten und beschreibenden Zustandsgrößen wie Temperaturen und Kapazitäten. Zudem sollen Informationen zu Betriebsbedingungen erfaßt und für die optimierte Betriebsführung genutzt werden. Die kontinuierliche Zufuhr von zusätzlichen Informationen dient der Aktualisierung der Betriebsbedingungen und triggert den erforderlichen Korrekturprozeß im engen Regelkreis der Automationsfunktionen und im weiteren Steuerkreis des Energiemanagement. Primäres Ziel im Projekt ist jedoch für die wichtigsten energierelevanten Entscheidungen ein Monitoring zuverlässig zu betreiben und dem Betreiber eine Visualisierung wichtiger Parameter und Energieflüsse für Entscheidungen bereitzustellen.

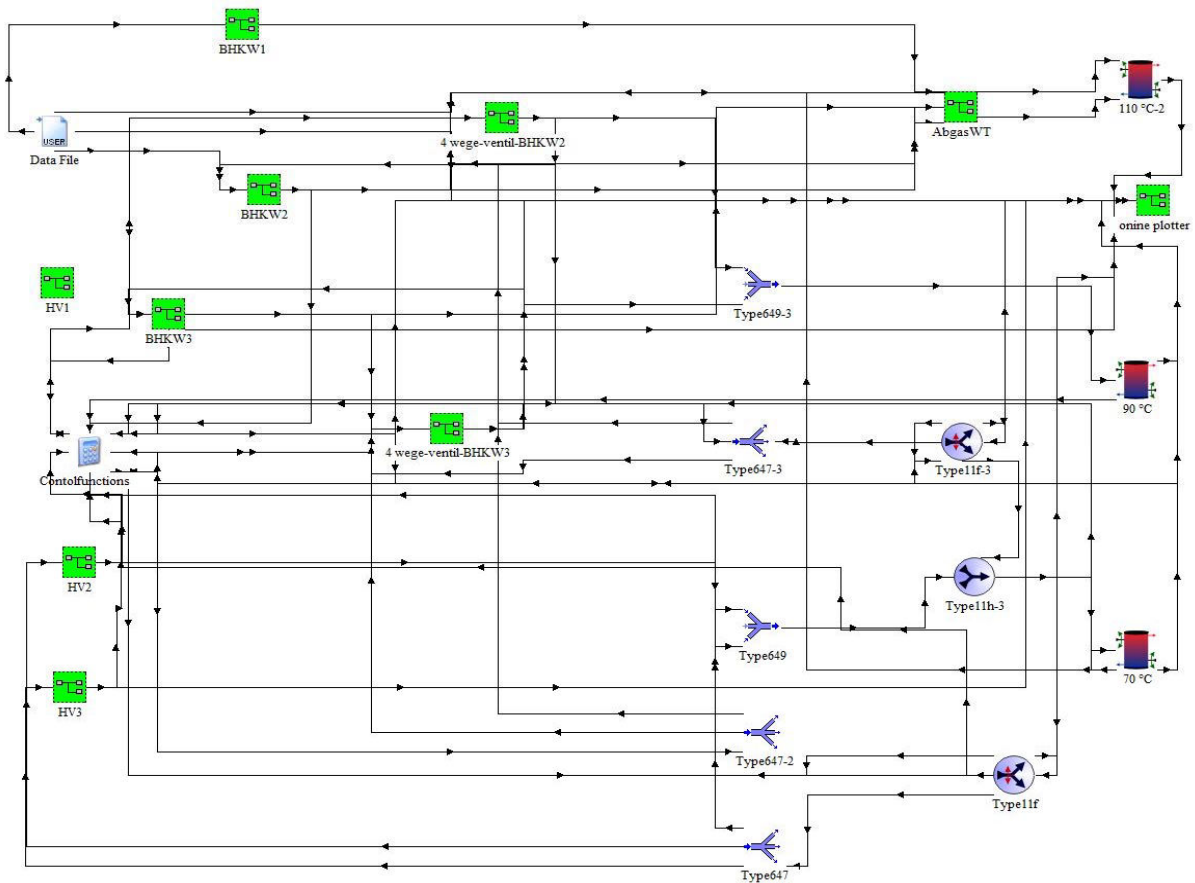


Abbildung 2-31: TRNSYS-Modell der Wärmebereitstellung und -Speicherung bei 110 °C, 90 °C und 70 °C [HMurali2015]

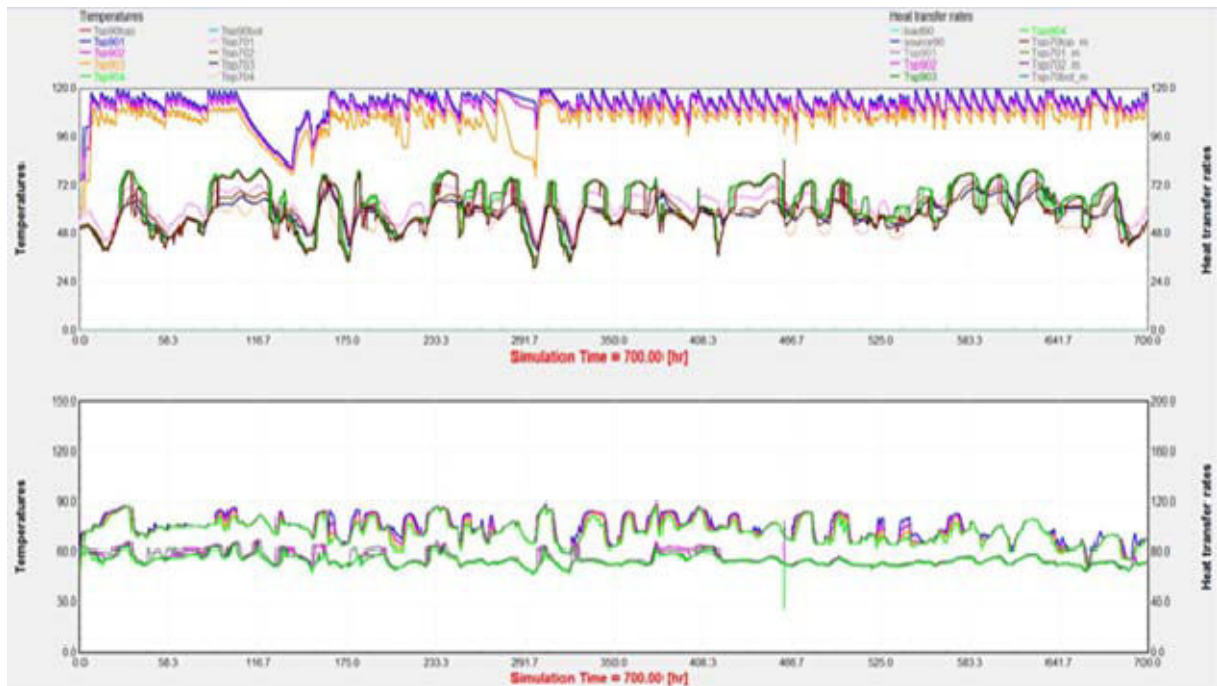


Abbildung 2-32: Simulationsläufe zur Analyse des Lade-/Entladeverhaltens für die Wärmespeicher 110 °C (oben), 90 °C (unten) und 70 °C (Mitte) -Speicherprofil im Vergleich zu Monitoring-Daten. Bei

70 °C-Speicher ist mehrfach erkennbar, daß der Wärmestrom durchgereicht wird, da es nicht zur einer Beladung bis zur Maximaltemperatur kommt.

2.5.3 Meß- und Energiekonzepte am Geflügelhof Zapf

Die Stromzähler Z1 bis Z3 der Abbildung 2-33 dienen der Erfassung der PV und BHKW Beiträge sowie dem Strom, der von der Produktion bezogen bzw. mit dem Versorgernetz ausgetauscht wird. Zähler Z4 rührt aus der Zeit in der der Geflügelhof über einen Hausständer-Anschluß versorgt wurde und bilanziert künftig den Verbrauch, den Nebenanlagen verursachen. Hierzu gehören die Verwaltungsräume, die Gebäude in denen Mitarbeiter wohnen und die privaten Bereiche der Familie Zapf.

Bei den Wärme- und Kältemengenzählern wird wie in Abbildung 2-34 und Abbildung 2-35 dargestellt eine Trennung zwischen der Gewinnung vor und der Energieverteilung nach der Speichern umgesetzt. Dieser Ansatz begünstigt die Bilanzierung und erlaubt eine Aufteilung der Netzstruktur in Unterkreise, von denen jeder für sich analysiert werden kann.

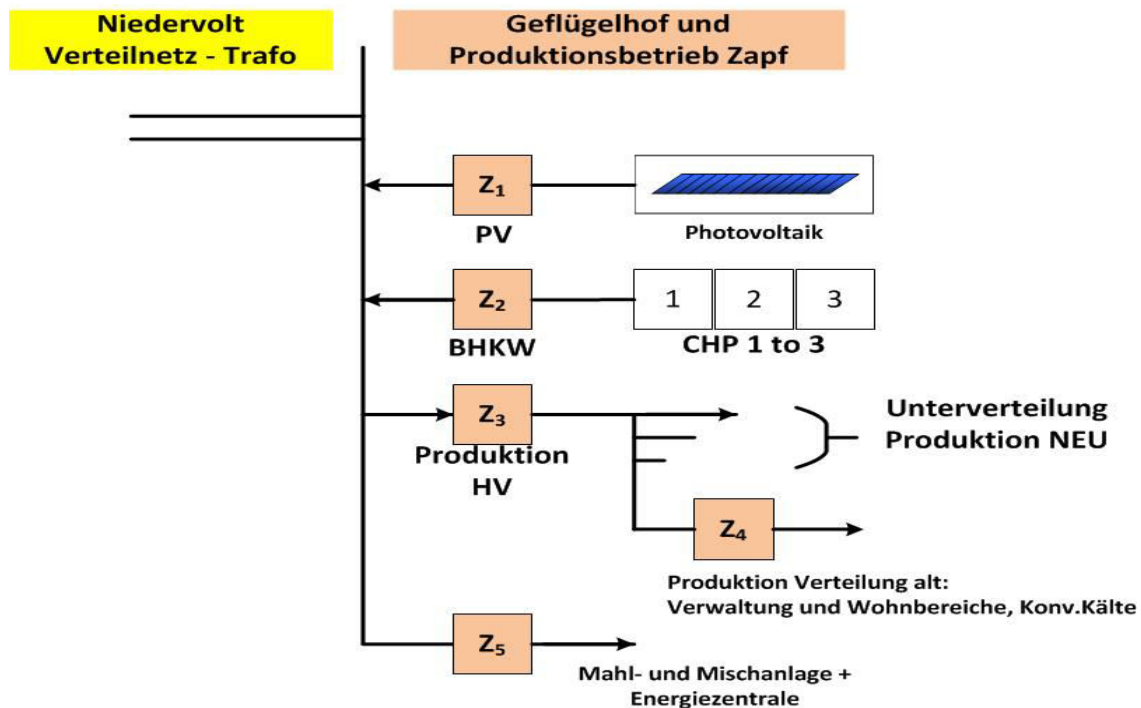


Abbildung 2-33: Stromverteilung auf dem Geflügelhof Zapf mit Unterteilung in Cluster

Die Wärme gelangt abgemischt auf drei Temperaturniveaus in die Wärmespeicher und wird anschließend als Prozeßwärme für unterschiedliche Anwendungen genutzt. Wichtige Teilströme gehen dabei an die Resorptionskältemaschine und zur Trocknung der Holzhackschnitzel. Oberste Priorität hat jedoch der Produktionsbetrieb Eier und Teigwaren, der die Wärme und Kälte zu Koch-, Kühl-, Konditionier- und Lagerzwecke nutzt.

Die zentral geplante Kältegewinnung über die Resorptionskältemaschine mußte im Verlauf des Projekts überarbeitet und ergänzt werden. Nun liefert die Resorption einen Kälteanteil aus der Wärme der BHKWs und wird durch einen Eisspeicher gepuffert. Reicht auch diese Kälte nicht zur Deckung des Bedarfs aus, schaltet die konventionelle Maschine automatisch zu und steuert den fehlenden Anteil bei. Die Kälteleistung selbst wird über zwei Unterkreise verteilt, die hintereinandergeschaltet sind. Entsprechend Abbildung 2-35 arbeiten der erste Kälteverteilkreis mit einem Vorlauftemperaturwert von -5 °C bis -1 °C und der nachfolgende mit einem Vorlauftemperaturwert von 6 °C bis 12 °C. Die Sollwerte der Temperaturen liegen beim ersten Verbraucherkreis zwischen 0 °C und 4 °C und beim zweiten zwischen 12 °C und 20 °C.

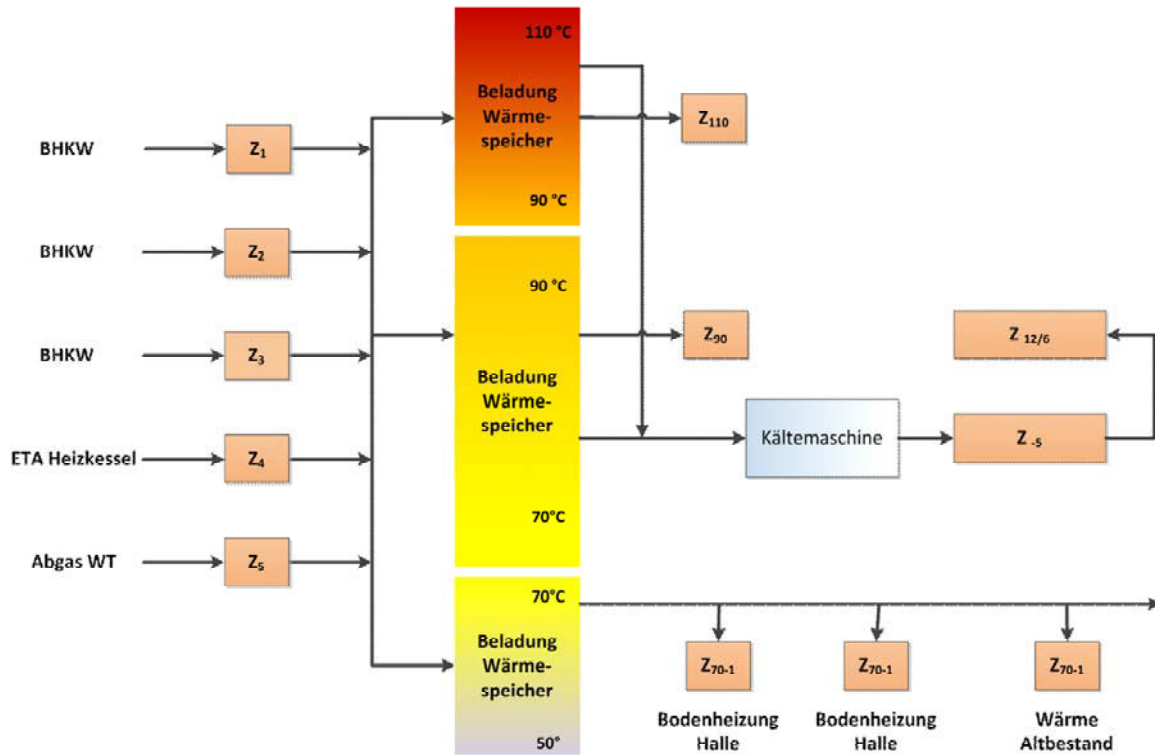


Abbildung 2-34: Wärmeverteilung als Teilnetz des Energienetzes am Zapf-Hof

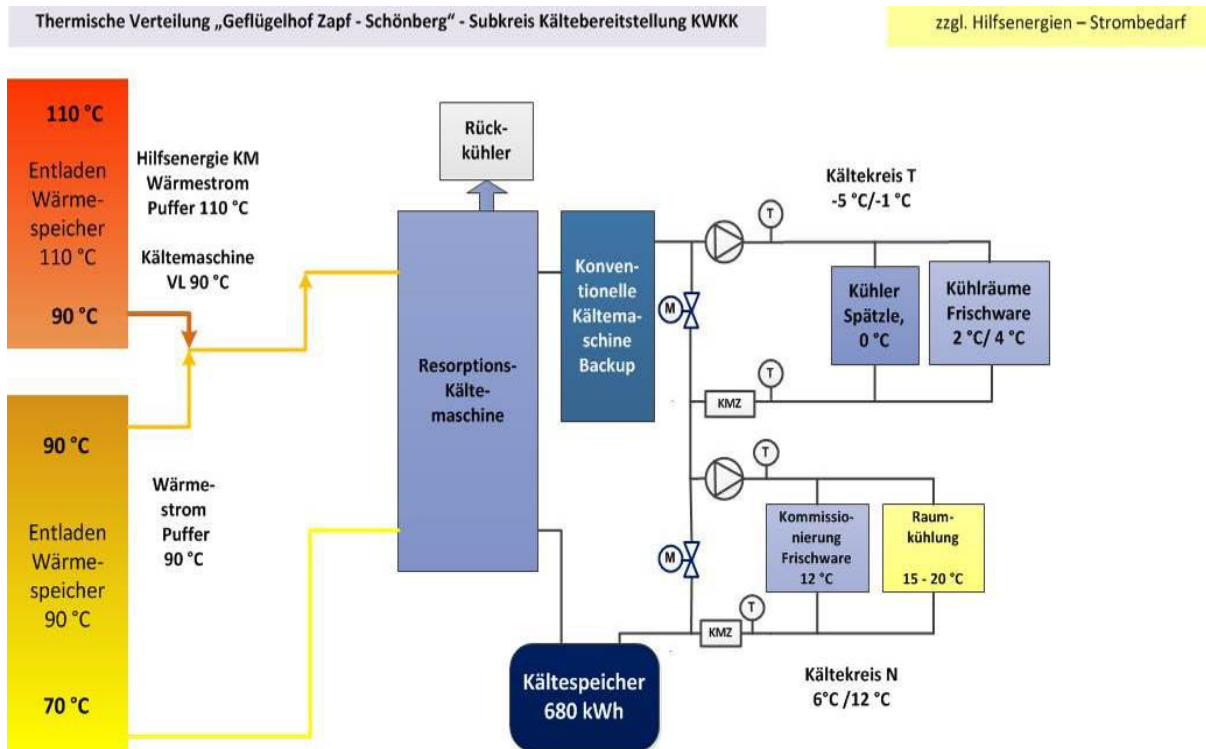


Abbildung 2-35: Schema zur Kälteverteilung ab Schnittstelle Resorptionskältemaschine Zapf-Hof

2.6 Reallabor Schulenzentrum Nordwest

Die Stadt Offenburg gilt als sehr ambitioniert bei der kommunikationstechnischen Ausrüstung und Digitalisierung der verwalteten Liegenschaften im kommunalen Gebäudemanagement. Fast alle Gebäude sind bereits energetisch saniert und weisen im Projektzeitraum flächenbezogene, witterungsbereinigte Wärmeenergieverbräuche von im Mittel 46 kWh/m²a (BGF) auf. Ziele sind neben einem energieeffizienten Betrieb der Gebäude und Objekte auch die Möglichkeit unterjährig auf die Performance Einfluß zu nehmen oder jahreszeitliche Voreinstellungen vorzunehmen. Zudem ist das kommunale Energienetz stark auf einheitliche Lösungen angewiesen um auch kosteneffizient arbeiten zu können. Beim Lokalnetz „Schulenzentrum Nordwest“ liegt nun ein Lokalnetz im Sinne eines Smart Subnet vor, das sowohl einspeisende Energieanlagen wie PV-Stromeinspeisung und Micro-BHKW's als auch elektrische und thermische Verbraucher in Sporthallen und Schulgebäuden als Komponenten aufweist.

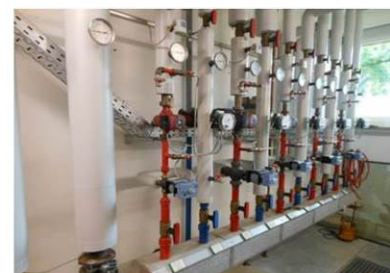
Beste Bedingungen, um die lokalen Energieflüsse zu bilanzieren und bei eventuellen Schief lagen auszugleichen. Aus dem Forschungsvorhaben sollten Konzepte entwickelt werden, die Standards für die Ausrüstung vorbereiten und mit geringem Aufwand auf weitere Objekte übertragbar sind.



Micro-BHKW 15 kW th.



Schulgebäude Oken-Gymnasium



Wärmeverteilung



Heizkessel 285 kW th.



Sporthalle Oken-Gymnasium



Transformatorstation

Abbildung 2-36: Komponenten des virtuellen Subnetzes am Schulenzentrum Nordwest

Zum Erreichen der Projektziele wurde von der Hochschule Offenburg ein Energiemeßkonzept ausgearbeitet, das ein analytisches Energiemonitoring für die jährlichen Energieberichte gestattet und künftig Betriebsdaten zur Optimierung und für manuelle oder automatisierte Eingriffe liefert. Das in 2013 ausgearbeitete Konzept geht von einem Smart Subnet aus und wurde in Zusammenarbeit mit der Stadt Offenburg und dem Energieversorger Elektrizitätswerk Mittelbaden an die Bedingungen des Energieversorgers angepaßt. Entsprechend dem Zähler- und Kommunikationsschema der Abbildung 2-38 erfolgte dann die Umsetzung.

Da der nachträgliche Einbau von Wärmemengenzählern in die Bauobjekte einen erheblichen Investitionsaufwand nach sich gezogen hätte, wurde mit der Erfassung des Gasmengenumsatzes ein Näherungsweg gewählt, der die Energiebilanz für den kommunalen Träger hinreichend genau abbildet. Dies gilt insbesondere durch den unmittelbaren Vergleich des Gasbedarfs des Brennwertkessels als Spitzenkessel hoher Leistung zum Bedarf des Micro-BHKW mit kleiner Leistung. Der Betrieb des Micro-BHKW kann zur Grundlastdeckung bis weit in die Übergangsphasen Frühling und Herbst aufrechterhalten werden. In der Regel wird durch die lange Betriebsdauer eine hohe wirtschaftliche Effizienz über die KWK-Vergütung erreicht, der Betrieb erfolgt dabei wärmegeführt und in den Sommermonaten werden zwei der drei BHKW komplett ausgeschaltet. Trotzdem konnten

im Projektzeitraum an allen BHKW ca. 3500 bis 4000 Betriebsstunden jährlich erreicht werden. Da der gewonnene Eigenstrom nahezu vollständig selbst verbraucht werden kann (die Netzeinspeisung betrug jeweils unter 350 kWh/a), ist der Betrieb der BHKW für die Kommune trotzdem wirtschaftlich. Ohne das kontinuierliche Zählen der Produktions- und Verbrauchsmengen und die Datenerfassung über das entwickelte Meßkonzept ist dieser positive wirtschaftliche Effekt, der ja auch mit einem hohen ökologischen Nutzen einhergeht, nicht abzubilden, da die Mengen sonst im Gesamtverbund untergehen.

Die Erkenntnisse sind für Kommunen insofern besonders relevant, als sie oft beim Austausch von Wärmeerzeugern zur Erfüllung des EEWärmeG verpflichtet sind. Zwar erfüllen die im Projekt installierten Mini-BHKW (die vorhandenen Wärmeerzeuger wurden nicht ausgetauscht) die Ersatz Erfüllung von 50% Wärme aus KWK an den Schulen noch nicht, trotzdem werden in den Schulen bereits mit den kleinen Mini-BHKW 20 % der Wärme aus KWK bereitgestellt. Bei der Sporthalle liegt durch die ganzjährige Wärmeproduktion für die Bereitstellung von Warmwasser der Anteil um die 50 %-Marke. In Verbindung mit weiteren Erfüllungsoptionen oder entsprechend größeren BHKW kann die Kommune der Vorbildfunktion des EEWärmeG gerecht werden. Gleichzeitig werden relevant Kosten (ca. 15.000 €/a im NW-Schulzentrum) beim Strombezug eingespart. Der Bezug von Öko-Gas hätte neben dem positiven ökologischen jedoch keinen positiven ökonomischen Effekt sondern würde im Gegenteil zu erhöhten Gasbezugskosten führen.

Im Fall der Stadt Offenburg soll durch hohe Eigenverbrauchsanteile bei Strom und Wärme hohe Ausnutzungsrate erreicht werden, die nach Vorgabe des Stadtrates die Investition in die BHKWs begründen und untermauern.

Das Konzept zur Bilanzierung der BHKW-Anteile wurde in Abstimmung mit der Stadt Offenburg so gestaltet, daß auf größere Investitionen für die Umrüstung mit Gas- und Wärmezählern verzichtet werden konnte. Aus dem Gesamtgasverbrauch und der Betriebsstundenerfassung für die Einheiten Kessel und BHKW sollten die jeweils relevanten Gasvolumina ins Verhältnis gesetzt werden. Abbildung 2-37 zeigt das ausgearbeitete Schema für die Erfassung sämtlicher für die Bilanzierung erforderlicher Meßgrößen am Beispiel der Sporthalle des Oken-Gymnasium. Die Erfassung der Strommengen erfolgt mit fernauslesbaren Zählern des lokalen Netzbetreibers, der auch die Serverstruktur lieferte. Der Zugriff auf die Server erfolgt über TCP/IP-Verbindungen zum zentralen DSL-Router im Oken-Gymnasium.

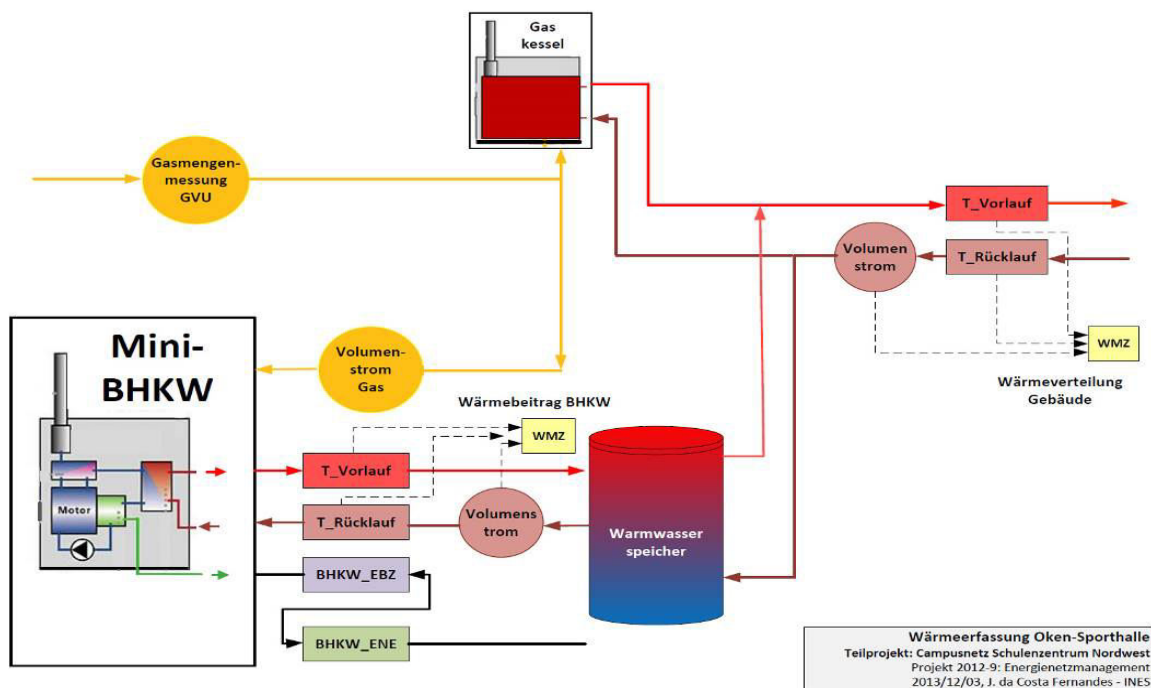


Abbildung 2-37: Energieerfassung der Oken-Halle im Schulzentrum Nordwest als Beispielschema für ein Einzelobjekt im Netz

Auf dem Gelände des Nordwest-Schulzentrums in Offenburg befinden sich zwei Trafostationen und ein eigenes Stromnetz zur Versorgung der städtischen Gebäude auf dem Campus. Von der südlichen

Trafostation werden insgesamt fünf Gebäudekomplexe, davon drei Schulen, versorgt. In diesem Netz befinden sich neben einer seit Anfang 2016 installierten PV-Anlage von ca. 30 kW Peakleistung noch drei Mini-BHKW mit einer elektrischen Leistung von je 5 kW zur Eigenstromproduktion und Überschubeinspeisung in das Netz des Netzbetreibers E-Werk Mittelbaden.

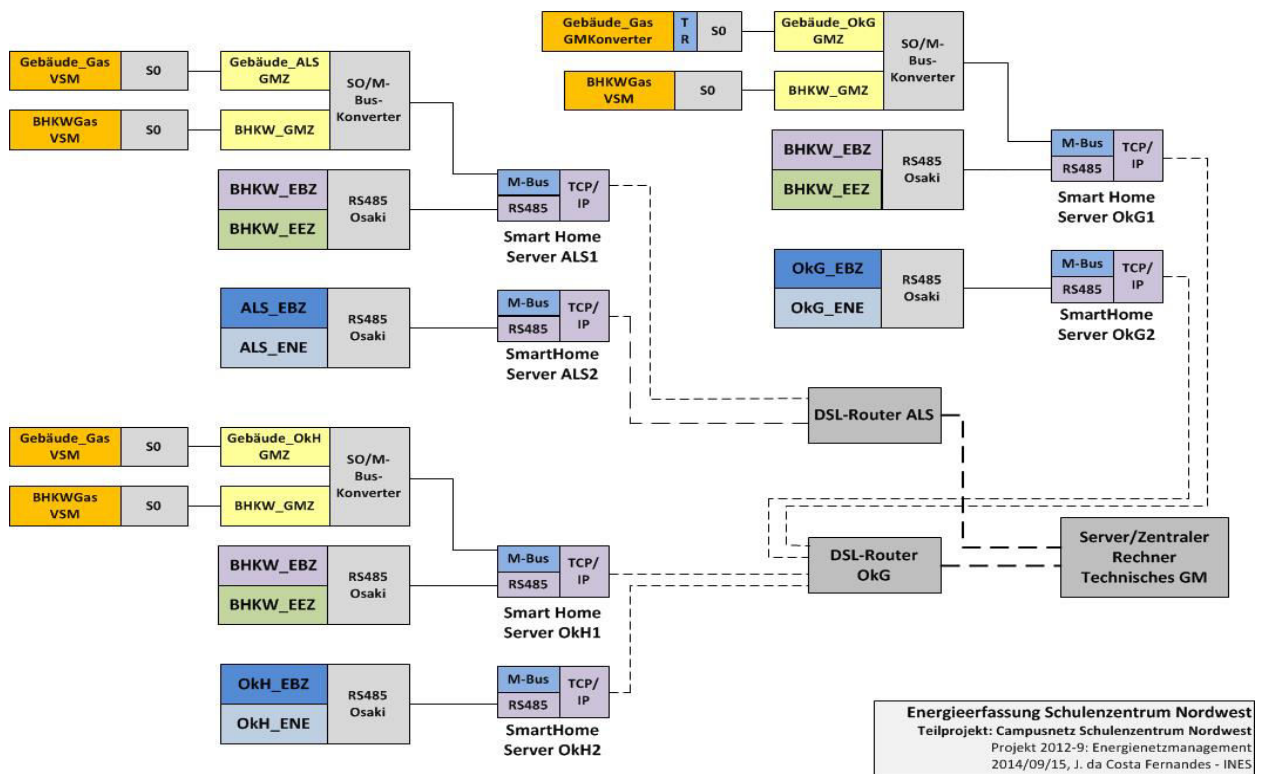


Abbildung 2-38: Energieerfassungsschema des KWK-Verbunds mit der Vermessung der drei BHKW's im Schulenzentrum Nordwest als Subnetz. Gesamtstromzähler und Wärmemengenzähler der Gebäude sind hier nicht aufgenommen.

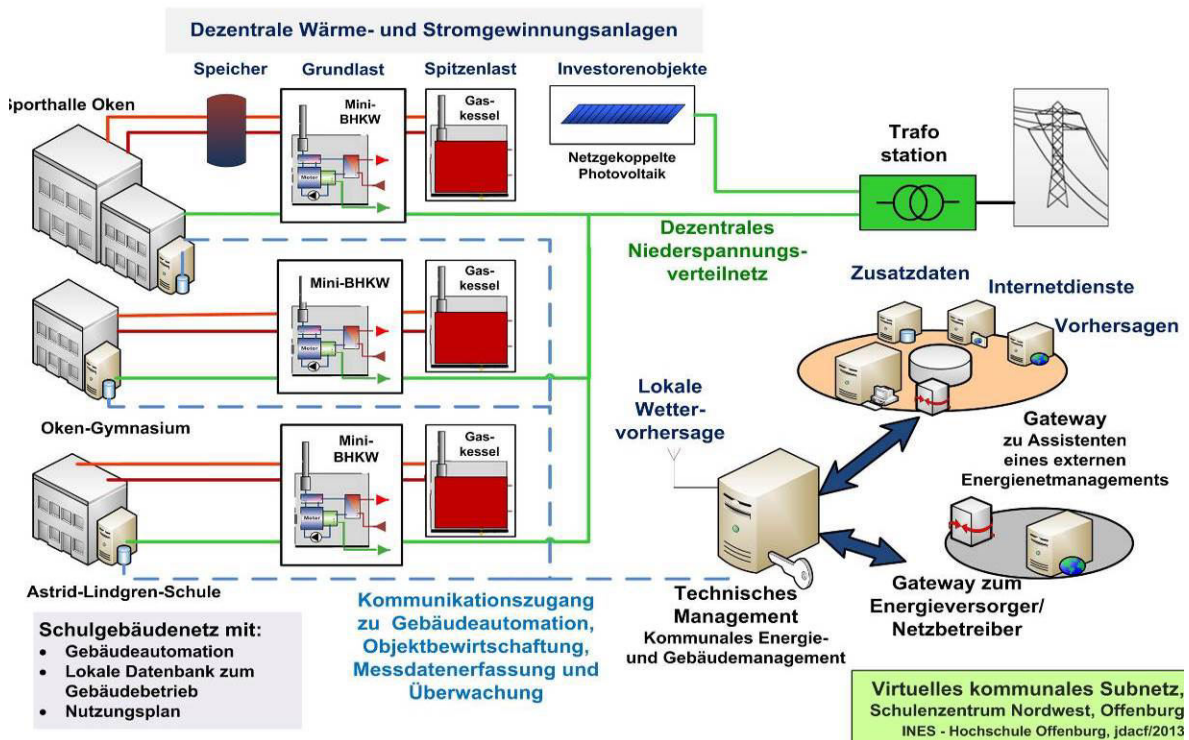


Abbildung 2-39: Kommunales Energieverteilnetz als virtuelles Subnetz mit Energieanlagen und Kommunikationselementen im Schulenzentrum. Während die Wärme innerhalb der einzelnen Gebäude verteilt wird, wird der Strom auch über das Niederspannungsverteilnetz ausgetauscht.

Darüber hinaus sind auf den Gebäuden noch von privaten Investoren betriebene PV-Anlagen mit einer Gesamtpeakleistung von ca. 116 kW installiert, die wegen der Volleinspeisung nach EEG in das Netz des Netzbetreibers einspeisen und nicht für Stromlieferungen und Betrachtungen innerhalb des Projekts zur Verfügung stehen. Die städtische Investition in die drei BHKWs im Jahr 2011 wandelte das Verteilnetz in ein multipunkteinspeisendes Subnetz um und ließ für die Zukunft auf Asymmetrien und mögliche Überlastsituationen schließen.

2.6.1 Kraft-Wärme-Kopplung für das Schulenzentrum

Um die Bilanzierung auf dem Gelände korrekt überblicken zu können, strebt die Stadt Offenburg ein Monitoringsystem an, das später die Möglichkeit zum weiteren Ausbau bietet. Mit Aktoren und einem geländeübergreifenden Energiemanagement kann dann ein intelligentes Subnetz (smart subnet) aufgespannt werden. Die primären Vorgaben im kommunalen Kontext können wie folgt beschrieben werden:

- **Monitoring** - Erfassung sämtlicher relevanten Energieflüsse - Basis zur Erstellung der regelmäßig/jährlich anfallenden Energieberichte mit unterjährigen Bilanzwerten, die vor allem eine gebäudescharfe Energiebilanzierung ermöglicht.
- **Substitution** - Möglichst effizienter Betrieb der BHKWs, die aufgrund ihrer Energieeffizienz zur Emissionsminderung dienen und weiterhin zügig zu einer Amortisierung der Investitionskosten führen und einen möglichst großen Teil der Wärmeproduktion übernehmen sollten.
- **Eigenverbrauchsanhebung** - Sowohl Wärme als auch Strom sollten überwiegend auf dem Campusgelände genutzt werden.
- **Umwelteffizienz** - Wieviel CO₂-Ausstoß kann vermieden werden? Welche Änderungen wurden beim Primärenergieeinsatz erreicht?

Ergänzt wird die Wärmelieferung der BHKW durch Spitzenlastheizkessel aus dem Bestand, die sich in der Heizperiode zuschalten, wenn die BHKW nicht ausreichend Heizwärme für den Schulbetrieb zur Verfügung stellen. Ziel im Projekt war es eine hohe Auslastung der BHKWs zu erreichen, den gewonnenen gesamten Strom auf dem Gelände zu verbrauchen, einen höheren Gesamtnutzungsgrad zu erreichen indem die Abwärme der Stromgewinnung direkt am Ort der Entstehung genutzt wird und die Betriebszeiten der Spitzenlast-Heizkessel in der Heizperiode zu reduzieren.

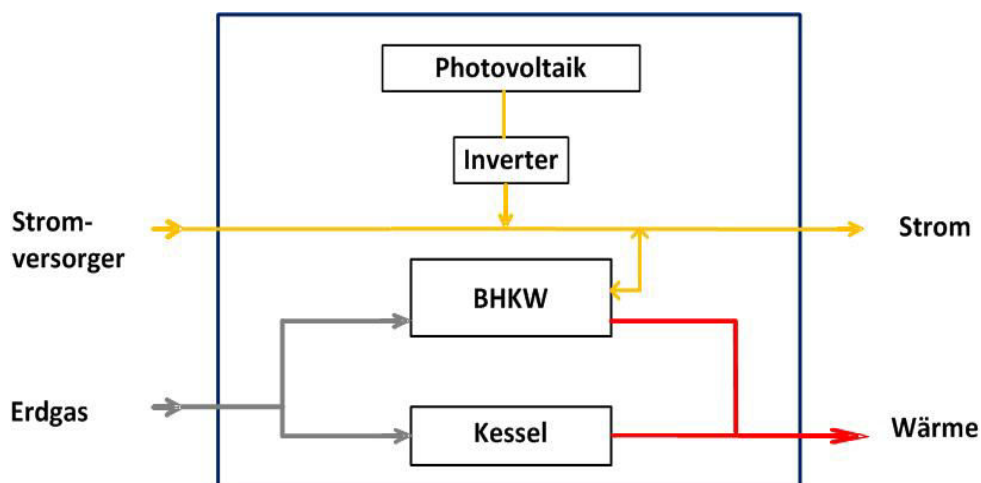


Abbildung 2-40: Energieversorgungskonzept für das Schulenzentrum Nordwest in Offenburg

Im Verlauf des Projekts 2012-09 konnten alle definierten Vorgaben erfüllt werden. In Fällen, die einen zu hohen Aufwand zur Erfassung nach sich zogen, wurde teils auf die Inanspruchnahme einer

Einspeisevergütung verzichtet. Das Konzept selbst erwies sich als vielversprechend und ermöglichte erstmals eine detaillierte Übersicht und Dokumentation der Energieströme auf dem Areal.

In der Vergangenheit wurde in Unkenntnis der tatsächlichen Verbräuche der Gesamtverbrauch der bezogenen Energie im Verhältnis der Flächen auf die einzelnen Gebäude verteilt. Damit war aber natürlich keine realistische Betrachtung der Gebäudeenergieeffizienz und der Effizienz der eingesetzten Haustechnik möglich. Es ergaben sich vielmehr sogar Fehleinschätzungen, da die wirklichen Energiefresser nicht identifiziert werden konnten.

So konnte im Projektverlauf festgestellt werden, daß die gebäudebezogenen Wärmenetze, die aufgrund der wärmegeführten Betriebsweise der installierten BHKW, die Laufzeiten der BHKW bedingen, dazu führen, daß stromseitig erhebliche Liefer- Bezugs-Beziehungen zwischen den Gebäuden entstehen, über die die bisherige Betrachtungsweise keinerlei Informationen bereitgestellt hat.

Diese Erkenntnis, die durchaus auch zu Neubewertungen im Maßnahmenportfolio des Gebäude- und Energiemanagements führte, hat zur Beantragung eines weiteren Fördervorhabens im badenova Innovationsfonds [AuDatOG2015] geführt. Das Ziel im Vorhaben ist, die Anwendung des Energienetzkonzepts auf weitere Liegenschaften der Stadt Offenburg auszuweiten und alternativ die Erfassung auf der Objektebene detaillierter gestalten.

Die nachfolgenden Auswertungen dokumentieren am Beispiel des Oken-Gymnasiums die Durchführung des Energienetzmanagements aus kommunaler Sicht und bedienen die Notwendigkeit der wiederkehrenden Erstellung eines Energieberichts. Der Bericht dient dem Nachweis von Energieeffizienz- und Einsparmaßnahmen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung und des Klimaschutzes. Die Daten wurden von der Stadt Offenburg aufbereitet und mit der Software San Reno der COMTEOS Informatik GmbH für den Abschlußbericht zur Verfügung gestellt.

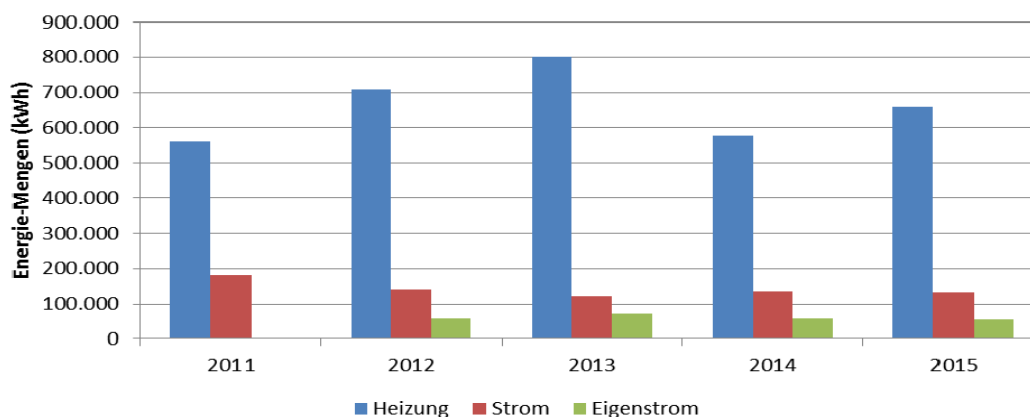


Abbildung 2-41: Energiemengen im Schulenzentrum Nordwest(Süd). Quelle: Stadt Offenburg

Der Energiemengen-Vergleich der Abbildung 2-41 zeigt die Verbrauchsentwicklung im Laufe des Projekts. Während der Heizwärmebedarf im Wesentlichen witterungsbeeinflusst scheint, ist der Strombezug deutlich zurückgegangen und wird von der Eigenstromproduktion kompensiert. Größere Anteile werden als Eigenstrom im Gebäude selbst oder auf dem Gelände des Verteilnetzes Schulenzentrum Nordwest verbraucht. Der vorwiegende Gasbedarf wird für den BHKW-Betrieb benötigt und läßt die Laufzeit der vorhandenen Spitzlastkessel zurückgehen.

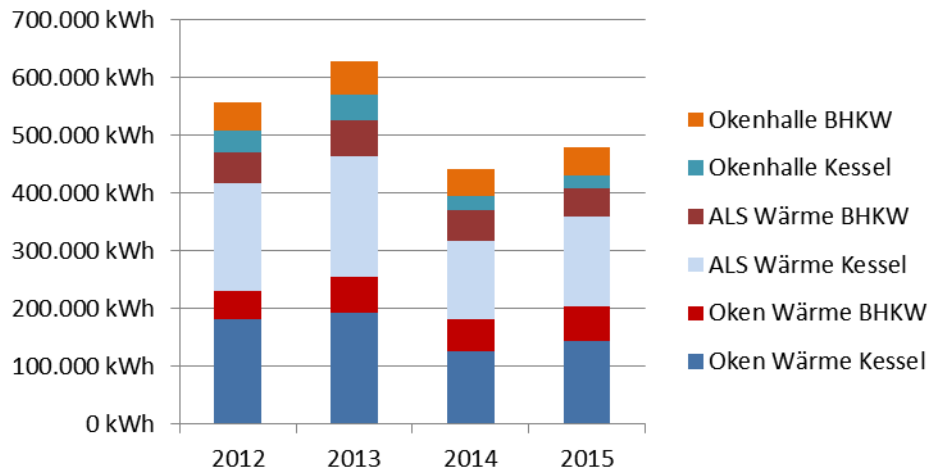


Abbildung 2-42: Wärmeproduktion der Wärmeerzeuger nach der Installation der BHKW.

2.7 Reallabor INES Smart Grid

Als Labor-Energienetz im Aufbau steht das INES Smart Grid (ISG) am Campus Nord der Hochschule Offenburg als Beispiel für „smarte Subnetze“ oder intelligent gemanagte Verteilnetze. Im Oktober 2015 hat pünktlich zur ICSGCE-IEEE-Konferenz der 4,5 kW-Windgenerator seine Arbeit aufgenommen.



Abbildung 2-43: Außenanlagen und Institutsgebäude am Campus Nord der Hochschule Offenburg.

Derzeit liegt der Schwerpunkt der Entwicklungsarbeiten an der Vernetzung der einzelnen, ankoppelbaren Energiewandler, Energiespeicher oder -verbraucher. Der Energieverbund kann mit dieser Konfiguration auch als Prosumer oder lokales Microgrid bezeichnet werden, da er als Teilnehmer im Smart Grid sowohl Energie bereitstellen (Producer), für die spätere Nutzung zwischenspeichern oder als Verbraucher (Consumer) beziehen kann. Forschungsarbeiten, die das Prosumerverhalten von dezentralen Energienetzen genauer untersuchen und Entwicklungsmöglichkeiten für netzstabilisierende bzw. netzreaktive Maßnahmen bieten, erhalten mit diesem Konzept am INES eine ideale Basis.

2.7.1 Labornetz für Forschung und Entwicklung zur Energiewende

Das Smart Grid am Campus Nord kann mit dem Ende des Projekts nicht als fertiggestellt bezeichnet werden. Im Verlauf des Jahres 2017 soll noch eine Trigeneration-Einheit integriert werden, die u.a. aus einem BHKW, einer konventionellen Kältemaschine und einer Absorptionskältemaschine besteht. Im Rahmen eines weiteren Forschungsvorhabens folgt zudem die Integration zweier Einheiten mit Li-Ion-Batteriesystemen unterschiedlicher Technologie, die auf Ihre Langzeit-Performance untersucht werden.

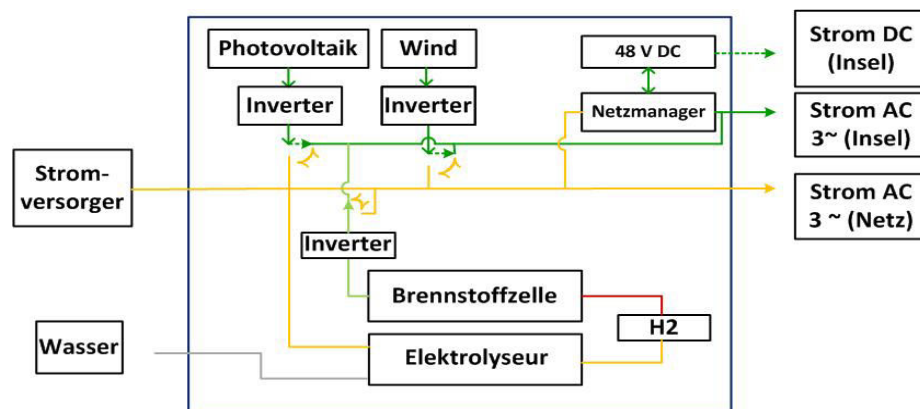


Abbildung 2-44: Energieversorgungsschema INES Smart Grid.

Mit dem INES Smart Grid, kurz: ISG, wird von der Hochschule Offenburg ein Labornetz betrieben, das zum Projektabschluß als Reallabor für viele F&E-Vorhaben zur Energiewende dient. Mit den Anfangsinvestitionen in eine Wasserstoffsysteemeinheit mit Elektrolyseur und Brennstoffzelle und dem Aufbau eines dreiphasig einspeisenden PV-Generators wurden bereits 2011 die Grundsteine für ein dreiphasiges Labornetz gelegt. Die Entscheidung ein Niederspannungsnetz als lokales Inselnetz auszulegen und dennoch an der Erforschung dezentraler Subnetze auf der Niederspannungsebene zu arbeiten, zeigte sich als intelligenter Zug des erst 2011 gegründeten Forschungsinstituts für Energiesystemtechnik INES. Das ISG entwickelte sich im Projektverlauf zum idealen Labornetz für unterschiedlichste Forschungsinitiativen, die die Integration verschiedener Energiesysteme und Speicher sowie zur Untersuchung von Auswirkungen verschiedener Lastprofile auf die Energiebereitstellung erlauben. Neben einem Bürotrakt im Erdgeschoß des Georg-Dietrich-Gebäudes, der als reales Verbrauchernetz aus dem Nichtwohnbereich betrieben wird, erfolgte seit Ende 2016 die Erweiterung um den Teststand mit elektronischen Lasten für die Untersuchung beliebiger 3-phasiger RLC-Lastprofile.



Abbildung 2-45: Komponenten des INES Smart Grid am Campus Nord der Hochschule Offenburg (PV-Generatoren, Klein-Windkraftanlage, Wetterstation, E-Fahrzeug Nissan Leaf mit Ladestation und Wechselrichtergruppe zur PV, Elektrolyseur, Brennstoffzelle).

2.7.2 Technische Daten des INES Smart Grid

In der derzeitigen Ausbaustufe des ISG können die nachstehend aufgeführten Komponenten als Netzakteure eingesetzt werden. Eine Zuschaltung bzw. Einstellung der Netzkonfiguration ist aus Sicherheitsaspekten manuell und bei einigen ausgewählten Einheiten auch fernsteuerbar möglich.

- **3 PV-Stränge** à 2,16 kW Peakleistung mit Wechselrichtern für den Netzparallelbetrieb.
- **1 Windgenerator** mit 4,5 kW Nennleistung und Wechselrichter für Netzparallelbetrieb.
- **1 Elektrolyseur**, 3-phasig mit max. 6 kW Nennleistung, regelbar on 1 bis 6 kW.
- **1 PEM-Brennstoffzelle**, 1-phasig einspeisend über 4 parallel schaltbare Wechselrichter, Nennleistung der Brennstoffzelle ca. 1,7 kW, Arbeitspunkt bedingte Einspeiseleistung AC ca. 1100 W mit ca. 300 W je Wechselrichter.
- **Elektro-Fahrzeug** mit ca. 30 kWh Li-Ionen-Akku.

- Netzmanager mit 48 V-Batterieladeregler mit ca. 3,5 kW maximaler Leistung je Strang und einem 26 kWh Bleisäure-Akku
- 2 einphasige Stromaustauschregler Typ **MUVER** zum kontrollierten Austausch von Strommengen mit dem Stromnetz und zur Eigenverbrauchsoptimierung mit einem **Li-Ionen-Akku** und 3 kWh Kapazität
- **Elektronische Lasten** mit Einstellung/Profilvorgabe von R-, L- und C-Anteil und Leistungsaufnahme bis ca. 3,5 kW je Phase.

2.7.3 Versorgungsszenarien am ISG

Das Netzkonzept sieht sowohl einen Inselbetrieb als auch einen mit dem Verteilnetz interaktiven Betrieb vor. Die zulässige Betriebsart wird zu jeder Zeit über eine automatisierte Überwachung übersteuert, wenn Vorgaben zu Schwellwerten über- bzw. unterschritten werden.

Ein Beispiel für ein typisches Szenario am ISG läßt sich wie folgt beschreiben:

Der 48V-Akku ist voll und der Wasserstoffspeicher steht bei einem Druck von 30 bar und ist damit auch voll. Das E-Fahrzeug ist unterwegs und der Bürobereich im Erdgeschoß von drei Mitarbeitern genutzt. Beste Bedingungen also das Microgrid als Insel zu betreiben. Die Wettervorhersage sieht für die Jahreszeit Herbst maximale Erträge vor mit zeitweiser Windunterstützung und einem anstehenden Wochenende. D.h. ideale Bedingungen die Belastung des Lokalnetzes gering zu halten und die einzelnen Beiträge der angeschlossenen Wandler zu analysieren und die vorhandenen Speicher für gezielte Einspeisevorgänge zu nutzen.

Welche Maßnahmen könnten hier zu mehr Effizienz führen und welche Angaben entscheiden über Schaltvorgänge? Wie kann die Effizienz des Betriebs mit Algorithmen gesteigert werden? Im Folgenden werden hierfür Lösungsmöglichkeiten aufgeführt:

- 1) Bei einer positiven Ertragsprognose könnten die Speicher soweit abgefahren werden, daß sie jederzeit überschüssige Energiemengen aufnehmen können.
- 2) Je nach Ladezustand des E-Fahrzeugs bei Rückkehr könnten Speicher noch weiter runtergefahren werden, um einen Kostenvorteil bei der Einspeisung abzuschöpfen.
- 3) In beiden oben genannten Fällen ist eine untere, zulässige Entladegrenze zu definieren, die nicht unterschritten werden darf und den Einspeisevorgang stoppt.
- 4) Ein weiteres Zeitfenster zur Überprüfung günstiger Einspeisebedingungen ist die Einspeisung, wenn die Nutzung irrelevant wird, also kein Mitarbeiter sich mehr im Büro aufhält.
- 5) Ist eine Windaktivität nicht erkennbar und eine nächtliche Raumkonditionierung vorgesehen, können bei Punkt 4) die letzten Mengen des Tages zu Einspeisung abgeschöpft werden.
- 6) Verbraucht werden dann die prognostizierten Energiemengen für den Standby-Betrieb über Nacht, die aus historischen Daten in der Regel recht gut berechenbar sind.

Das oben beschriebene Beispiel ist nur ein Szenario mit dem sich die Wissenschaftler am INES befassen. Insbesondere das Herangehen an diese Optimierungsanforderung setzt auch die Überprüfbarkeit voraus und kann nur mit entsprechend ausgerüsteten Demonetzen erreicht werden. Das Schaltschema der Abbildung 2-46 veranschaulicht das dreiphasige Netz mit den Varianten netzparallel und netzautark.

2.7.4 Netzbetriebsarten

Das ISG kann bezüglich der Netzanbindung in unterschiedlichen Betriebsarten gefahren werden:

- **Netzparallel** - In der Betriebsweise netzparallel sind die Netzmanager und der Bleisäure-Akku ohne Funktion. Sämtliche Quellen wie PV, Wind oder Brennstoffzelle arbeiten als Netzeinspeiseanlagen und speisen die verfügbare Energie ins öffentliche Stromnetz ein. Die Mover wählen den Betrieb (Laden oder Entladen) entsprechend den Vorgaben für den Batterieladezustand der Li-Ionen-Batterie. Verbraucher werden als normale Wechsel- oder Drehstromverbraucher betrieben.

- **Netzautark/Inselbetrieb** - Im netzautarken Betrieb wird der Betrieb von Lasten ausschließlich über vorhandene Quellen und Speicher sichergestellt. Managementmöglichkeiten bestehen dann je nach Priorisierung beispielsweise über einen selektiven Lastabwurf.

Das Labornetz am INES ist automationstechnisch so verschaltet, daß bei Überlastung, nicht ausreichende Leistung der Ressourcen oder anderweitige kritische Zustände ein Wechsel zwischen den Modi erfolgen kann. Hier wurde die Ausarbeitung eines umfangreichen Automationskonzepts erforderlich, das mit Schutzelementen, Überstrom- und Überspannungsüberwachung sowie die für den Netzparallelbetrieb vorgeschriebene Netzüberwachung arbeitet. Ziel ist es, ein Lokalnnetz zu erhalten, das jederzeit in einen betriebssicheren Modus gebracht werden kann. Dies gilt insbesondere dann, wenn externe Eingriffe über das LAN für Tests von Analyse- und Optimierungsverfahren zugelassen werden.

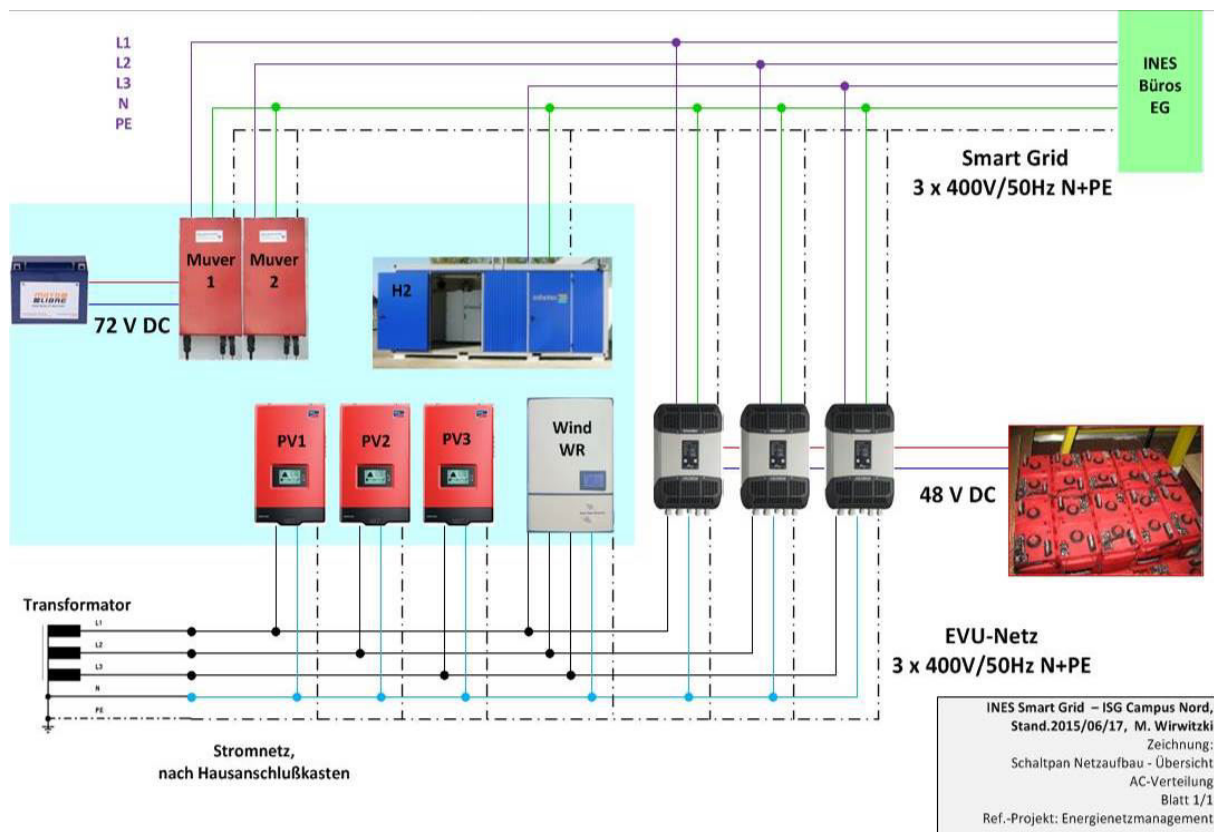


Abbildung 2-46: Netzschema zum Niederspannungslabornetz INES Smart Grid der Hochschule Offenburg.

Die DC-Seite des ISG zeigt sich an mehreren Wandlern, die zur Kopplung von Quellen und Speichern an die Niederspannungsverteilung dienen. Beispielsweise erzeugt der Asynchrongenerator des Windgenerators ein Drehfeld, das über einen Gleichrichter an einen 3-phasigen Wechselrichter geschaltet ist. Ein zweites Beispiel ist die PEM-Brennstoffzelle, die bei einer Nenngleichspannung von 48 V DC betrieben wird und den aus dem Wasserstoff gewonnenen Strom über Wechselrichter einspeist. Die Kennlinie der 4 Wechselrichter kann in einem bestimmten Bereich angepaßt werden, damit eine möglichst große Strommenge umgesetzt werden.

Kernelemente des autarken Ansatzes sind die drei Netz- oder Energiemanager auf der rechten Seite der Abbildung 2-47, die ein dreiphasiges Stromnetz aufspannen. Eines der Geräte arbeitet dabei als Master und gibt den anderen beiden Geräten die jeweils erforderliche Phasendifferenz vor. Integriert in die Energiemanager wurde auch ein Batterieladeregler für 48 V-Akkus, der die erforderliche Energie aus angeschlossenen Akkus bezieht, falls keine aktiven Energiequellen

verfügbar sind. Die Leistung ist im vorliegenden von den Energiemanagern aufgespannten System auf ca. 3,5 kW je Phase beschränkt.



Abbildung 2-47: DC- Verteilung Microgrid mit 48 V-Bleiakkukopplung und drei Netzmanagern zum Aufbau eines dreiphasigen Inselnetzes.

2.7.5 Arbeitspakete im Teilprojekt INES Smart Grid

Im Rahmen des Projektes zur Entwicklung eines Energienetzmanagements wurden folgende Entwicklungsarbeiten in Verbindung mit der Weiterentwicklung für das Reallabor eines lokalen Niederspannungsverteilnetzes durchgeführt:

1) Rückspeisung von Wasserstoff in das lokale Energienetz

Die Nutzung von chemischen Speichern als Puffer in Verteilnetzen wird stark unter dem Überbegriff „Power2Grid“ behandelt. Am INES läuft hierzu das Projekt „Kommunale Energieversorgung“ mit dem Förderkennzeichen BWE 13032, das den Fokus auf die Nutzung überschüssiger Strommengen zur die Gewinnung von Wasserstoff über einen Elektrolyseur setzt. Der 1 bis 6 kW regelbare Elektrolyseur gewinnt dabei Wasserstoff aus Wasser und speichert diesen in einem Wasserstoff-Druckbehälter.

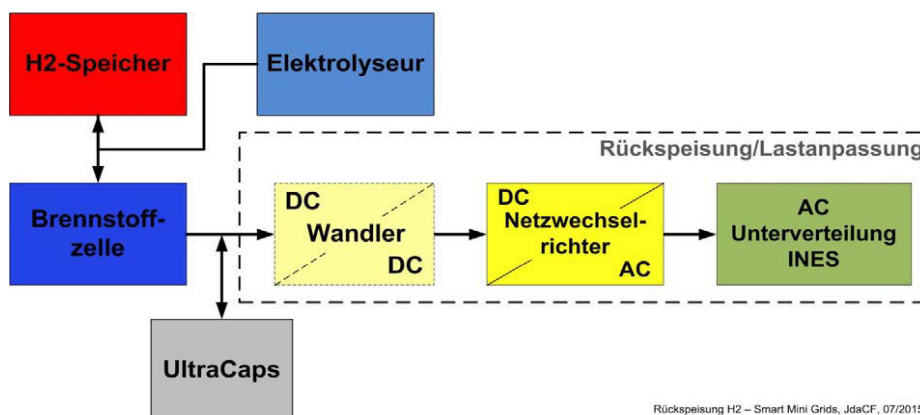


Abbildung 2-48: Schaltschema der Rückspeisung mit UltraCaps als Zwischenspeicher und DC/AC-Wandlung (gestrichelt eingerahmt).

Im Projekt selbst wurden zum Schwerpunkt Rückspeisung aus chemischen Speichern eine Brennstoffzellen-Einheit soweit eingerichtet und in das Smart Grid automationstechnisch integriert, daß die Leistung der Brennstoffzelle über vier kleine Wechselrichter mit je ca. 300 W Leistung nach Vorgabe für Dauer und Gesamtleistung in das Netz einspeisen. Bedingt durch den Arbeitspunkt, der bei der Brennstoffzelle herstellerseitig eingestellt wurde, kann nicht die volle Leistung der Brennstoffzelle ausgeschöpft werden. Abbildung 2-49 zeigt den Wasserstoff-Container am INES mit dem Elektrolyseur und der Brennstoffzelle im linken Bereich und der Steuer- und Schaltungstechnik im rechten Bereich.



Abbildung 2-49: Wasserstoff-Systemeinheit im Normcontainer mit Blick auf den Elektrolyseur (links) und Steuerschranke (rechts).

Tabelle 2: Kenndaten der INES-Wasserstoffsystemeinheit, [JMeßmer2015]

Alkalischer Druck-Elektrolyseur

Leistung AC/DC	5,8 kW / 5,4 kW
Leistungsbereich (regelbar)	20 bis 100 %
DC Spannung, Max. Stromstärke	32 V, 200 A
Stromdichte	4000 A/m ²
Elektrolyt-Konzentration (KOH-Lösung)	25 bis 30 %
Reinheit Wasserstoff	99,99 Vol.-%
Max. Systemdruck	30 bar
Max. Temperatur	80 °C
Nennvolumenstrom H ₂	1,0 m ³ /h i.N.
Nennvolumenstrom, O ₂	0,5 m ³ /h i.N.

PEM-Brennstoffzelle

Elektrische Leistung (max.)	1,676 kW
Nennspannung DC	48 V
Volumenstrom H ₂ bei P _{max}	1,46 m ³ /h i.N.

Wasserstoffspeicher

Geometrisches Volumen	0,6 m ³
Aufnahmekapazität bei 30 bar	18 m ³ i.N.
Energiemenge bei 30 bar	54 kWh

Aus dem Schaltschema der Abbildung 2-48 ist das Prinzip der Rückspeisung zu entnehmen. Überschüsse aus dem Stromnetz werden über den Elektrolyseur zu Wasserstoff gewandelt und in einem Wasserstoff-Flaschenbündel bei max. 30 bar gespeichert. In Zeiten, die eine Rückspeisung

begünstigen wie Backup, günstiger Einspeisetarif oder Unterstützung des Bleisäure-Akku im Inselbetrieb des Netzes, werden zuerst die 48 V-UltraCaps bis zu einem unteren Grenzwert (Untere Schaltspannung) von 48 V entladen. Sobald 48 V unterschritten wurden, wird die Brennstoffzelle zugeschaltet, die eine DC-Leistung liefert und die UltraCaps in ihrer Spannung wieder anhebt bis ein Betriebswert für die DC-Spannung bei etwa 52 Volt erreicht ist. Bei zugeschalteten Wechselrichtern (1 bis 4 möglich) wird ein Teil der Energie eingespeist, der andere zur Ladung der UltraCaps genutzt. Werden die Wechselrichter abgeschaltet, läuft die Ladung der UltraCaps so lange weiter bis die UltraCaps die eingestellte Ladeschlußspannung erreichen, die herstellerseitig für die Backup-Funktion vorgesehen ist. Ist diese erreicht wird die Brennstoffzelle abgeschaltet. Weitere Beschreibungen und Daten sind der Dokumentation zur Rückspeisung [daCosta2015R] zu entnehmen. Aufzeichnung waren zur Erstellung des Abschlußberichts nicht verfügbar und werden in fortlaufenden Projekten wie [KomEnV2013] verwertet.

2) Aufbau und Einrichtung einer Wetterstation am Standort Campus Nord

Zur Erfassung von Solar- und Windbeiträgen mit Referenzmeßeinheiten und zur Einschätzung der klimatischen Randbedingungen beim Betrieb eines Smart Grid bzw. einer dezentralen Netzzelle als Teilnehmer in einem Smart Grid werden kontinuierliche Wettermessungen benötigt.

Neben der Einstrahlung, der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung kommen bei der Wetterstation des INES zusätzlich die Umgebungstemperatur, die relative Luftfeuchte und der Luftdruck hinzu. Die gemessenen Parameter werden erfaßt und über das lokale Automationsnetz dem INES Smart Grid als Datenpunkte bereitgestellt und in eine Datenbank geschrieben. Die Automation des INES Smart Grid nutzt die Datenpunkte der Wetterstation zur Reaktion bei Überschreitung von Grenzwerte oder andere Auswertungen, die zu Schaltbefehlen führen können.

Aus der Datenbank heraus dienen die Meßdaten den Entwicklern und Forschern zur Bildung und Validierung von Modellen und für die Untersuchung neuer Algorithmen im Entwicklungsschwerpunkt prädiktives Energiemanagement für Smart Grids. Auch werden Energiebilanzen mit Hilfe von energetisch relevanten Wetterdaten wie Solarstrahlung, Windaktivität oder Umgebungstemperatur erstellt.

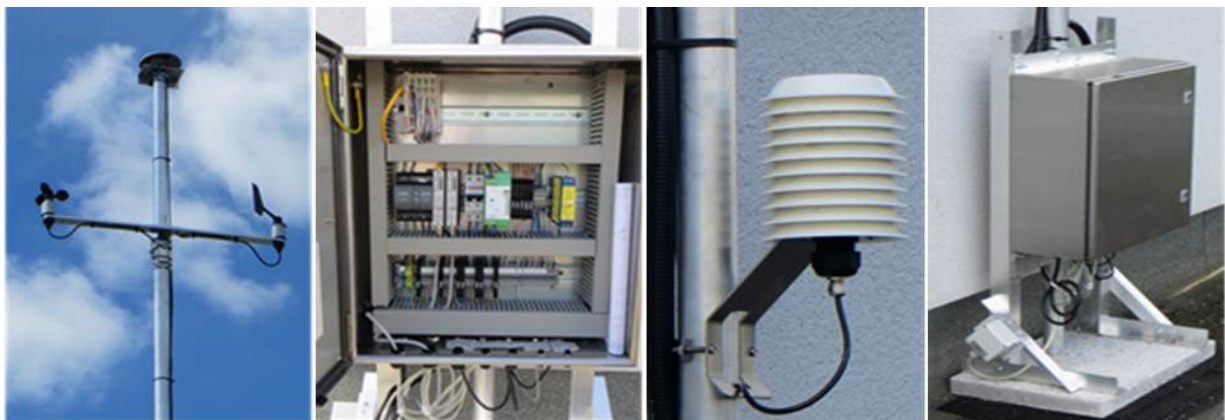


Abbildung 2-50: Wetterstation des INES auf dem Dach des Georg-Dietrich-Kollegengebäude am Campus Nord

Mit der Wetterstation am Campus Nord in Offenburg werden folgende physikalische Meßgrößen aufgezeichnet:

- Globalstrahlung W/m²
- Außentemperatur °C
- Relative Luftfeuchtigkeit % rel_F
- Luftdruck mbar
- Windgeschwindigkeit m/s
- Windrichtung ° (0 ° max. 360 °)

Die Meßdaten werden in die zentrale SQL-Datenbank am INES geschrieben und stehen dann für Auswertungen und Managementfunktionen zur Verfügung. Die Abbildung 2-51 und Abbildung 2-52

veranschaulichen beispielhaft die Notwendigkeit von Wettermeßdaten zur Bewertung von Mikronetzen und prädiktiven Verfahren zur Betriebsoptimierung.

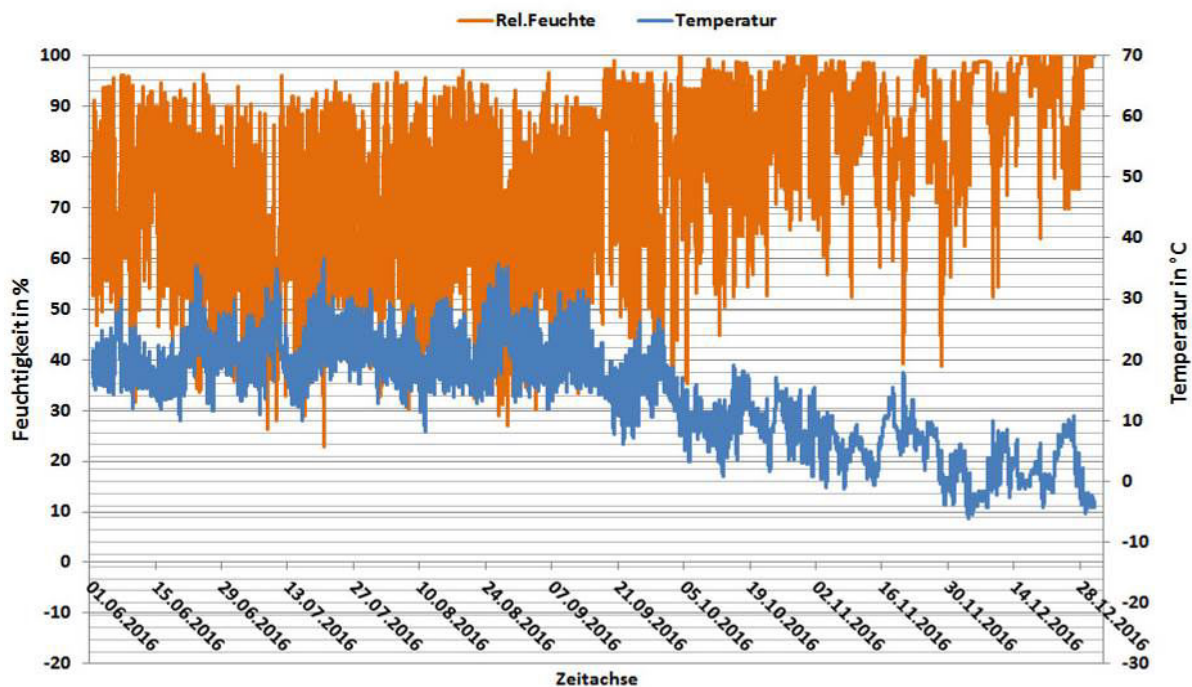


Abbildung 2-51: Aufzeichnung von Umgebungstemperatur und relativer Feuchte in einer SQL-Datenbank zwecks Berücksichtigung von Einflußfaktoren zur Prognose von Energiebedarf und für Managementeingriffe.

Mehrere prädiktive Verfahren zur Betriebsoptimierung basieren auf der Nutzung von Vorhersagen der Umgebungstemperatur. Die relative Feuchtigkeit hatte Auswirkungen auf den Bedarf an Wärmeenergie für die Trocknung der Holzhackschnitzel beim Projekt Zapf. Der Einfluß soll in folgenden Arbeiten näher untersucht werden.

In Abbildung 2-52 sind erste Verfügbarkeitsdaten der neuen Wetterstation für Windverhältnisse am Standort Campus Nord aufgezeichnet. Sie bestätigen die für das Offenburger Stadtgebiet anzunehmende Schwäche als Standort für Kleinwindkraftanlagen. Bereits am Hauptcampus der Hochschule hatte die Bewertung der Performance der seit ca. 2001 betriebenen Kleinwindkraftanlage der Energieinsel einen entsprechenden Trend aufgezeigt.

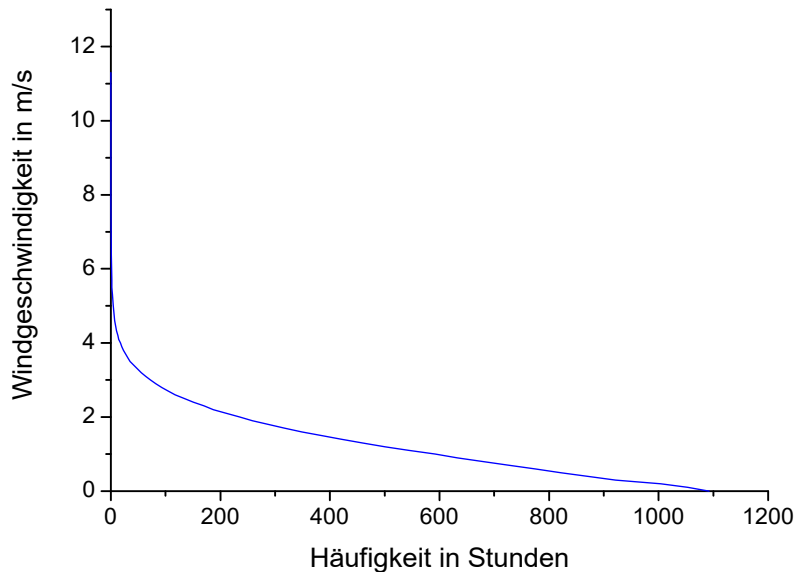


Abbildung 2-52: Die Aufzeichnung der Winddaten zeigt die Häufigkeit der jeweiligen Windgeschwindigkeit in Stunden. Mit Einspeisegeschwindigkeiten des Windgenerators ab 3 m/s ist ein signifikanter Ertrag kaum zu erreichen.

3) Teststand elektronische Lasten für die Abbildung dreiphasiger Lastprofile als Varianten für Laststrukturen in Energieverteilnetzen

Die Vermessung und Auswertung von elektrischen Lastprofilen zur Entwicklung von Bedarfsprognosen ist ein wesentlicher Bestandteil der Forschungsarbeit am INES.

Aus den Lastanalysen im Projekt ist als Ergebnis der Vorteil von elektronischen Lasten klarer geworden. Am Smart Grid INES können, die Lastprofile der Teilprojekte in einem kleinen Labornetz bei gleichen Bereitstellungsbedingungen untersucht werden und so Prognosefehler besser analysiert und bewertet werden. Abbildung 2-53 zeigt die für jede Phase des Drehstromnetzes zugeordneten programmierbaren, elektronischen Lasten mit je ca. 3,5 kW Leistung.



Abbildung 2-53: Testaufbau mit elektronischen Lasten zur Abbildung eines RLC-Lastprofils für ein dreiphasiges Drehstromnetz

Der Testaufbau zu den elektronischen Lasten konnte im Rahmen des laufenden Projekts STABIL [STABIL2015] am INES fertiggestellt werden und werden für Folgeentwicklungen und Optimierungen bei Lastprognosen in Verteilnetzen zum Einsatz kommen.

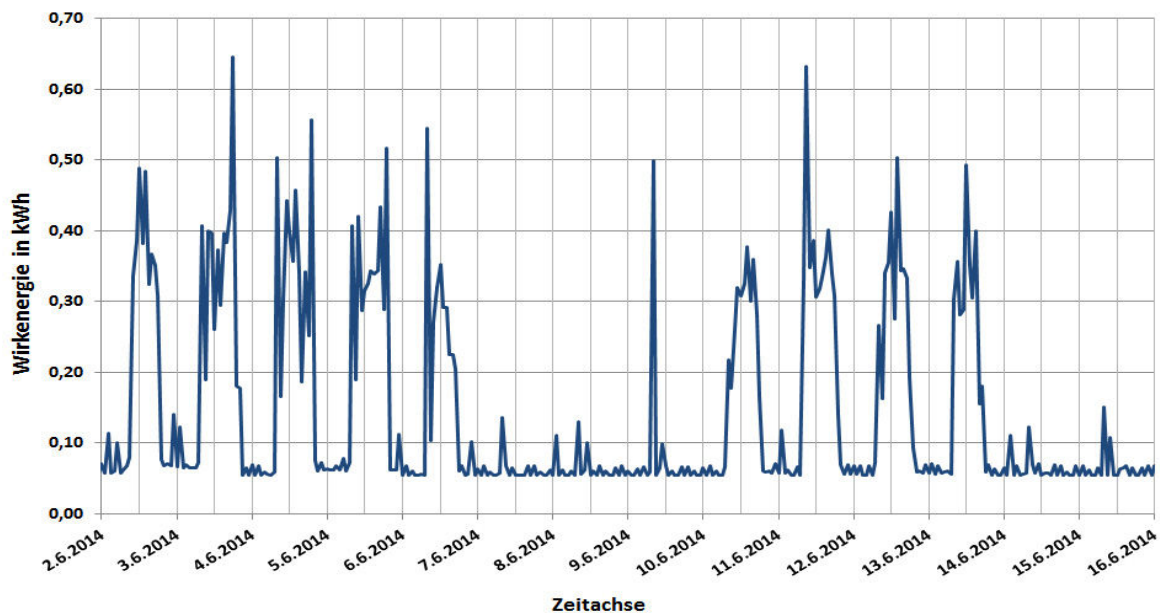


Abbildung 2-54: Messung zum Wirkenergieverlauf im Bürobereich des Erdgeschoß am Campus Nord als Lastprofil.

2.8 Weitere Projektergebnisse und Besonderheiten

Im Folgenden werden einige der Störungen im Projektverlauf stichwortartig für das Teilprojekt Geflügelhof Zapf aufgelistet. Auch die anderen Teilprojekte waren nicht unbeeinflusst von Störeffekten und konnten nur mit Verzögerungen den Arbeitsplan einhalten. Das INES Smart Grid befand sich zum Projektstart noch in einem Zustand ohne Betriebskonzept und wurde als institutsinternes Projekt durchgeführt. Eine Planungsaussage lag somit für den Projektverlauf nicht vor weshalb auch die Energieinsel mit der Lernecke als Testsystem aufgenommen wurde. Synergieeffekte konnten hinsichtlich der Energieinsel mit dem Automationssystem, das als Variante auch beim Projekt Geflügelhof Zapf zum Einsatz kommt, erzielt werden.

- Verzögerungen bei der Umsetzung des Automationskonzepts im Projekt 2012-7.
- Lieferverzögerungen bei der Kältemaschine und anschließender Insolvenz des Herstellers.
- Fehlfunktionen bei Wärme- und Kältemengenzählern.
- Unzureichende Wärmeregulung über 4-Wege-Ventile zur Beladung der Wärmespeicher.
- Eingeschränkte Zuverlässigkeit der BHKW-Motoren im Langzeitbetrieb.
- Nicht ausreichende Qualität des Holzgases durch zu feuchte Hackschnitzel.
- Kälteversorgung unzureichend durch zu geringen Wirkungsgrad bei der Resorptions-kältemaschine.
- Weggang von Mitarbeitern/Programmierern bei Fremddienstleister und Systemlieferant.

Die oben genannten Störungen sind ein Auswahl wichtiger Effekte, die den Projektverlauf nachhaltig verzögert haben und unbedingt Gegenmaßnahmen erfordert haben. Sie sind nicht als vollständig zu sehen und Teil des Projektcharakters. Die Erfahrungen aus der Projektabwicklung sollten zum

Projektabschluss mit dem Projektträger bewertet werden, da einige der Auswirkungen wesentlich den Verlauf und die Finanzierung eines bewilligten Projekts gefährden.

2.8.1 Lösungsansätze im Projekt

Als unmittelbare Antworten auf die aufgetretenen Störeffekte konnten die nachfolgenden Ansätze und Lösungsvorschläge unmittelbar aufgegriffen und im Projektverlauf umgesetzt werden.

- Verstärkte Nutzung von Kurzzeitmeßkampagnen zur Erfassung typischer Verbrauchsprofile.
- Die Kältemaschine wurde vom Projektpartner Zapf Energie in Eigenregie beim Hersteller abgeholt und auf dem Zapfhof in Betrieb genommen.
- Die Wärme- und Kältemengenzähler wurden im Rahmen einer Kurzzeitmessung mit einem Ultraschallmeßgerät geprüft und nahezu alle als hinreichend genau eingestuft. Die Kältemengenzähler hatte bereits bei Auslieferung eine Fehlfunktion beim Rechenwerk und bei der M-Bus-Kommunikation. Die Rechenwerke wurden daraufhin getauscht. Funktionieren jedoch auch weiter nicht voll zufriedenstellend. Hier ist ein Ersatz erforderlich, der aus dem Investitionsplan des Projektpartners nicht zu decken war.
- Die Wärmeregulung der 4-Wege-Ventile wurde ersetzt, soll jedoch künftig von der Automation übernommen werden.
- Die BHKW-Motoren zeigen unerwartete Schwächen im Dauerbetrieb mit dem in der Zusammensetzung stark schwankenden Holzgas. Unter anderem verschob sich der Zündzeitpunkt für das Brenngasgemisch und führte zu Zündungen außerhalb des Brennraums. Das Projekt 2016-02 im Förderprogramm des Innovationsfonds der badenova wurde auf der Basis der erzielten Ergebnisse genehmigt und soll die Verfügbarkeit, Umwelt- und Energieeffizienz der BHKW-Motoren deutlich verbessern.
- Die Holzhackschnitzelqualität kann bei Anlieferung nur mit erheblichen Mehrkosten verbessert werden. Die Zapf Energie entschied sich zur Investition in zwei mobile Trocknungsmulden für Hackschnitzel um die Feuchte der angelieferten Holzhackschnitzel auf unter 20 % zu senken. Erst anschließend werden die Hackschnitzel den Silos zugeführt.
- Zur Sicherung der Kälteversorgung wurde in eine konventionelle Kältemaschine mit einer Leistungsaufnahme bis zu 35 kW investiert. Das Konzept sieht entsprechend Abbildung 2-35 eine Hintereinanderschaltung mit der Resorptionskältemaschine und dem Eisspeicher vor. Die konventionelle Kälteanlage kommt erst bei Versiegen von Speicher und nicht ausreichender Leistung der regulären Kältequelle zum Einsatz.
- Der Weggang gleich zweier Programmierer beim Systemlieferanten der Automation wirkte sich am stärksten auf den Projektverlauf aus. Erst stark verzögert konnten deshalb die Funktionen vervollständigt bzw. überarbeitet werden. Ein erst im Herbst 2013 an die Hochschule gewechselter Techniker mit Automationskenntnissen eröffnete dem INES die Option die Entwicklungen im Bereich der Automation über hauseigene Ressourcen fortzusetzen. Die Leistungspakete, die in diesem Fall für Fremdleistungen des Systemlieferanten eingeplant waren, konnten somit für die Hochschule umgewidmet werden. Da wegen Gewährleistungsbestimmungen eine Absprache mit dem Projektpartner Zapf Energie erforderlich war, wurde zuerst eine Lösung über den Systemlieferanten angestrebt. Da dieser sich jedoch außerstande sah, die Leistungen zu erbringen, konnten die notwendigen Schritte und Maßnahmen erst mit weiteren Verzögerungen angegangen werden.

2.9 Ökologischer Nutzen

Das in vier Teilprojekten umgesetzte Vorhaben zeigt bei mehreren Punkten einen klaren ökologischen Nutzen auf. Während beim Geflügelhof Zapf die Planung auf einer vollständigen Umstellung auf eine CO₂-neutrale Energieversorgung lag, sollte bei der Stadt Offenburg durch die Nutzung/Eigenverbrauch des aus dem BHKW-Betrieb gewonnenen Stroms die Energie- und Umwelteffizienz signifikant gesteigert werden. Beide Ziele konnten im Vorhaben gut angegangen und umgesetzt werden.

Der Geflügelhof Zapf nutzt im Sommer wie im Winter nahezu vollständig die aus dem BHKW-Betrieb gewonnene Wärme insbesondere für den Produktionsbetrieb und die Bereitstellung von Wärme und Kälte. Der überschüssige Strom wird ins Netz eingespeist und trägt zur Refinanzierung der Investitionskosten bei. Ein beachtliches Potenzial zur Optimierung ist vor allem im weiteren Ausbau der Automation und bei der Erhöhung der Performance von BHKW-Motoren und Holzvergäsern zu sehen.

Die Stadt Offenburg konnte durch den Betrieb der drei BHKW eine deutliche Effizienzsteigerung auf dem Schulenzentrum Nordwest erreichen. Der Betrieb der großen Brennwertkessel konnten auf ein Minimum reduziert werden, die Wärme der BHKW wird nahezu vollständig auf dem Campus genutzt und der Stromanteil der BHKW's wird nahezu vollständig auf dem Campusgelände als Eigenverbrauch genutzt, sodaß an der Bilanzierungsgrenze Trafostation vergleichbar geringe Mengen ins Stromnetz eingespeist werden.

Die beiden Teilprojekte Energieinsel mit Lernecke und INES Smart Grid ISG wurden intensiv für die Entwicklung und Analyse neuer Verfahren und zum Betrieb von Microgrids genutzt und weiter ausgebaut. Mehrere Forschungs- und Entwicklungsvorhaben stehen im direkten Kontext und werden über die wissenschaftlichen Aktivitäten des Instituts INES fortgeführt und abgeschlossen. Nahezu alle Vorhaben beschäftigen sich mit der Verbesserung der Effizienz bei der Energiebereitstellung unter Verwendung von Konzepten zum Smart Grid und tragen zu einer verstärkten und effizienteren Nutzung erneuerbarer Energiequellen bei.

2.9.1 Einsparung an Primärenergie und Berücksichtigung von Primärenergiefaktoren

Im Folgenden werden die Primärenergieeinsparfaktoren PEF einzelnen Anlagenkomponenten aufgeführt (Referenz: BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Grundlagenpapier Primärenergiefaktoren vom 22.04.2015):

- KWK-Einspeisung mit Holzhackschnitzel: Hier beträgt der PEF 1,2 wobei 0,2 für den nicht erneuerbaren Anteil für Hackarbeiten, Aufbereitung und Transport anfallen. Die Energiebilanz für den Transport der Hackschnitzel kann beim Projekt Geflügelhof Zapf als günstiger angenommen werden, da die Holzhackschnitzel aus eigenem Waldbesitz oder von Nachbarn bezogen werden und die Transportwege größtenteils unter 20 km liegen.
- Die Wärme, die lokal über KWK aus Holz oder Erdgas bereitgestellt wird, wird mit einem PEF von 0,7 berücksichtigt.
- Die KWK-Einspeisung von Strom über Erdgas wird mit einem PEF von 1,1 berücksichtigt.
- Für den Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz wird ein PEF von 2,8 für den allgemeinen Strom-Mix angesetzt. Neuere Zahlen zum Ende des Projekts greifen den weiter vorangeschrittenen Ausbau der erneuerbaren Anteile am Strom-Mix aus und gehen ab 2016 von einem PEF-Wert von 1,8 statt 2,4 für den nichterneuerbaren Anteil der ENEV 2014 aus.

2.9.2 Reduktion der CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen konnten in allen Teilprojekten deutlich reduziert werden. Beim Geflügelhof Zapf kann sogar von einer nahezu vollständig CO₂-freien Energieversorgung gesprochen werden. Die Erfolge bei den Einsparungen belegt ein weiteres Umweltgutachten der EVIT GmbH [EVIT2016] für das Jahr 2015.

Auch das Schulenzentrum Nordwest erreicht hohe Einsparungswerte durch die Nutzung von Strom und Wärme auf dem Campus. Belegt wird dies durch die von der Stadt Offenburg bereitgestellten

Zahlen zu Gasverbrauch und Strombezug der Abbildung 2-41 für das Oken-Gymnasium. Durch den deutlich erhöhten Eigenstromverbrauch und den dadurch reduzierten Bezug von Netzstrom konnten wie in Abbildung 2-55 am Beispiel des Oken-Gymnasium dargestellt, deutliche Emissionsminderungen erzielt werden.

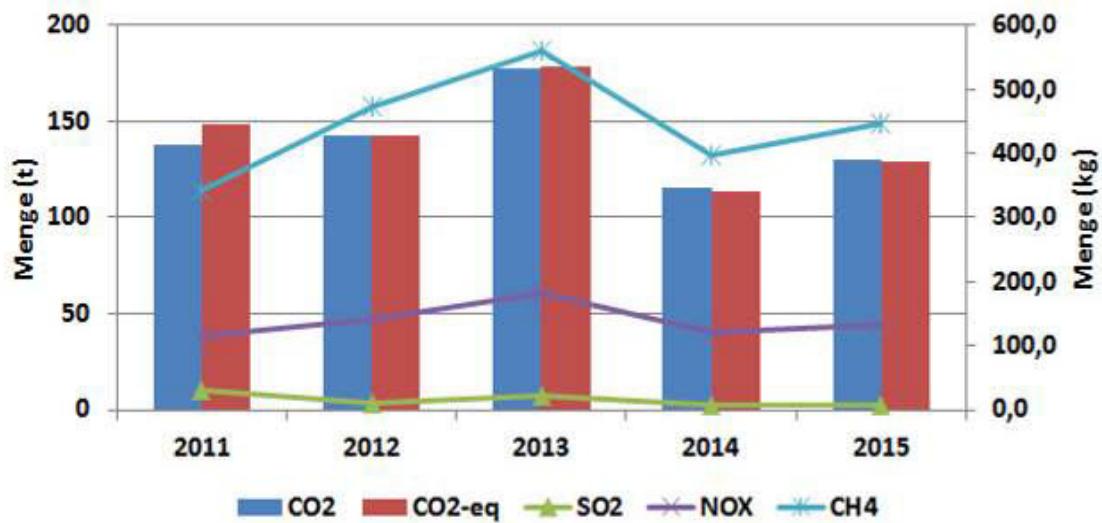


Abbildung 2-55: Jahresemissionen zum Betrieb des Oken-Gymnasium Offenburg im Schulzentrum Nordwest, Quelle: Stadt Offenburg.

3 Betrachtung zu Wirtschaftlichkeit und Umsetzung

3.1 Investitions- und Betriebskosten

Das Monitoring im Projekt Geflügelhof Zapf konnte sehr gut die Verfügbarkeit von Maschinenteilen genau aufzeigen. Es stellte sich heraus, daß die ursprüngliche Angaben der Hersteller nur sehr schwer oder nur mit erhöhtem Personalaufwand erreicht werden können. Eine Folge ist, daß die ursprünglich vorausgesetzte Wirtschaftlichkeitsberechnung korrigiert werden mußte. Um diesem entgegenzutreten, wurde ein Projekt gestartet, das die Verfügbarkeit und Effizienz der BHKW-Motoren steigern sollte. Erste Ergebnisse liegen bereits vor und zeigen ein enormes Verbesserungspotential zur deutlichen Effizienzsteigerung.

3.2 Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

Die Maßnahmen können noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden, da zum Einen die Zuverlässigkeit der am Markt verfügbaren, innovativen Komponenten nicht allseits zufriedenstellen konnten und zum Anderen Potenziale durch eine automatisierte Betriebsoptimierung oder Betriebsartenwahl nicht ausgeschöpft wurden. Ohne Auswirkungen bleibt die Feststellung zur automatisierten Betriebsoptimierung zum Projektende, da der Arbeitspunkt akuter Forschungsgegenstand der Hochschule Offenburg und vieler deutscher und internationaler Forschungseinrichtungen ist. Hier wird der Charakter des Reallabors auch in künftigen Vorhaben genutzt.

Beim Projekt Energienetz des Geflügelhofs Zapf konnten durch Messung Fehlzirkulationen im hydraulischen System ermittelt werden. Dies rührt aus der geringen Temperaturspreizung und dem hohen Volumenstrom der Resorptionsanlage. Ausbaumaßnahmen konnten zu 50 % umgesetzt werden. Die restlichen Maßnahmen werden im Zuge der Optimierung der Kälteanlage verwirklicht. Auch konnten durch das Monitoring Probleme bei der Kältemaschine erfaßt werden, welche in Zusammenarbeit mit der TU Dresden und der Firma Resotek durch ein neues Regelungskonzept behoben werden sollen.

Eine Fortsetzung der Verbesserungen im Teilprojekt Schulenzentrum Nordwest steht stark in der Verantwortung des Partners Stadt Offenburg. Hier wurde im Verlauf des Projekts in kommerzielle Auswertelösungen für die Bereitstellung von Energiedaten investiert sodaß eine Kompatibilität mit den Konzepten der Hochschule erörtert werden müßte. Allein die Ausweitung des im Projekt umgesetzten Konzepts auf weitere Liegenschaften der Stadt würde weitere Einsparungen bewirken und die Effizienzsteigerung erhöhen.

Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von entwickelten Verfahren zur Betriebsoptimierung können noch nicht belastbar gemacht werden, da mehrere Ansätze und Technologien zum Einsatz kamen und die Verfahren noch Gegenstand der Forschungsaktivität an der Hochschule Offenburg sind.

3.3 Auswirkungen auf den zukünftigen Betrieb

Die Investitionen beim Projekt Geflügelhof Zapf führen zu einer Emissionsreduktion auf fast Null und steigern die Effizienz der Energiebereitstellung auch durch die Wahl der Energieanlagentechnik KWK und Photovoltaik. Im Sekundärkreis steigert die Nutzung einer Resorptionskältemaschine ein weiteres Mal die Effizienz, da Wärmebeiträge auch im Sommer in großen Mengen genutzt werden.

Die Stadt Offenburg konnte eindrucksvoll nachweisen, daß sich die Investition in KWK-Anlagen in Liegenschaftsverbänden auszahlt und sich sowohl Einsparungen als auch Emissionsminderungen wirksam erzielen lassen. Zur Sicherung eines nachhaltigen Effekts durch diese Maßnahmen ist eine Verstetigung der Vernetzung und des Remotезugangs auf Daten und Anlagen angestrebt, damit ein kontinuierliches Monitoring erreicht wird.

Die Hochschule Offenburg setzt den Betrieb der Demosysteme Energieinsel mit Lerneck und INES Smart Grid als Reallabore in verschiedenen Forschungsinitiativen fort. Der zukünftige Betrieb wird mit Optimierungen im Bereich Trigeneration verbunden sein und weitere Erkenntnisse im Betrieb von Microgrids bringen.

3.4 Weiterführende, resultierende Maßnahmen

In Bezug auf die Effizienzsteigerung der Motoren wurde ein Projekt gestartet, welches die bessere Verbrennung von Schwachgasen in Kolbenmaschinen erzielen soll. Erste Meßergebnisse zeigen, daß die Verbrennung des Gases durch Verwendung neuartiger Materialien stark beeinflusst werden kann. Als Folge kann der Wirkungsgrad der Motoren um Mindestens 12 % gesteigert werden.

Maßnahmen zur Verbesserung der Vergaser waren geplant, wurden jedoch wegen dem geltenden EEG-Recht verworfen, da diese rechtlich zu einer erneuten Inbetriebnahme geführt hätten.

Basierend auf den Erfahrungen, die im Projekt gewonnen werden konnten, hat die Stadt Offenburg wurden inzwischen 9 weitere BHKW (meistens im Rahmen von Heizungssanierungen zur Erfüllung des EEWärmeG) in Betrieb genommen. Dabei wird inzwischen das im Projekt entwickelte Meßkonzept jeweils als Grundlage für die Betriebskontrolle und wirtschaftliche Betriebsoptimierung verwendet. Bereits bei der Installation werden die notwendigen Zähler und Übertragungstechniken vorgesehen.

Es zeigte sich auch, daß es mit der Nutzung regenerativer Energien nicht mehr ausreicht, pro Übergabepunkt des Energieversorgers, die 3 Datenpunkte für Strom, Wasser und Gas zu übertragen. Vielmehr sind inzwischen auch Zwischenzählerdaten von BHKW, Lüftungsanlagen sowie Wärmemengenzähler der komplexen Versorgungsstrukturen zu erfassen, die zur Auswertung und Dokumentation der effizienten Nutzung von regenerativen Energien notwendig sind.

Um das Problem einer zuverlässigen Datenübertragung auch komplexer Erfassungsstrukturen zu lösen, bietet sich das entwickelte Meßkonzept an. Ergänzt um Kommunikationsstrukturen bei denen erstmals MeterHomeServer verwendet werden, wurde von der Stadt Offenburg ein Konzept zur automatisierten Verbrauchsdatenübertragung entwickelt, das unter der Förderkennzahl 2015-06 mit Förderung durch den badenova Innovationsfonds [AuDatOG2015] umgesetzt wird.

3.5 Übertragbarkeit der Projektergebnisse

Die Übertragbarkeit der Projektergebnisse läßt sich über die erfolgreiche Einbindung von Studierenden und die Zahl der bearbeiteten Abschlußarbeiten der Abschnitte 5.2 und 8 eindrucksvoll belegen. Auch wurden während und nach der Beendigung des Vorhabens weitere Forschungsanträge der Hochschule Offenburg und der beiden Partner G. u. M. Zapf Energie und Stadt Offenburg im Themenkontext Smart Grid, Mikro-KWK sowie deren Vernetzung im Versorgungsverbund bewilligt.

Eine Kontinuität zur Fortführung der Entwicklungsarbeiten zum Energienetzmanagement ist somit sichergestellt. Der Ausblick des Abschnitts 6 belegt mit umfangreichen Beispielen die Übertragbarkeit der Projektergebnisse in Folgeprojekten.

4 Öffentlichkeitsarbeit

Die Öffentlichkeitsarbeit gestaltete sich im Projektverlauf auf verschiedenen Feldern. Neben drei eingereichten Fachbeiträgen mit zwei Teilnahmen an internationalen Konferenzen wurden auf lokaler, regionaler und Landes- und Bundesebene das Projektvorhaben vorgestellt und diskutiert.

Im Rahmen eines Promotionsvorhabens wurde das Projektvorhaben bei Meetings der Promotionskandidaten im Fachumfeld diskutiert und in Bezug in einen aktuellen Forschungskontext mit weiteren Forschungseinrichtungen wie dem IMTEK der Universität Freiburg und dem Fraunhofer ISE in Freiburg gesetzt. Im Rahmen einer Forschungsreise nach Montreal und Toronto fand ein weiterer Austausch mit den Hochschulen ETS in Montreal und York Universität in Toronto statt.

Schließlich fanden auf dem Geflügelhof Zapf, am Campus Nord und am Hauptcampus mehrere Besichtigungen mit Besuchern statt. Zudem feierte der Geflügelhof Zapf mit dem Hoffest auch die offizielle Eröffnung der neuen Energieversorgung und war mit Ankündigungen und Artikeln präsent in der Tagespresse.

Die Forschungsgruppe NET an der Hochschule Offenburg veröffentlichte zwei Artikel zu Themen und Unterprojekten im internen Hochschulmagazin Campus und nutzte intensiv die Aktivitäten zum Energienetzmanagement für die Akquise von Fördermittel für Forschungsvorhaben und in der Ausbildung von Ingenieuren. Mehrere Studien- und Abschlußarbeiten in den Bachelor- und Masterstudiengängen wurden bearbeitet und trugen zur erfolgreichen Umsetzung des Projektvorhabens bei. Weitere werden in Anknüpfung an Projektergebnisse erwartet. Insbesondere gilt dies für eine anstehende Fachveröffentlichung zum Thema Einsatz von Lastprognosen in Kombi-Energienetzen.

In den folgenden Abschnitten 5.1 und 5.2 werden Einzelmaßnahmen als Beispiele der umfangreichen Aktivitäten zur Öffentlichkeitsarbeit gelistet. Die gelistet Beiträge erheben keine Anspruch auf Vollständigkeit und können als Maßnahmen im Projektkontext nicht als abgeschlossen gesehen werden. Der Abschnitt 7 enthält eine Aufstellung von Projekten, die als Referenzen für die Arbeiten im Projekt gelten oder als Projektvorhaben den Arbeiten im Projekt folgen oder dessen Ergebnisse nutzen. Ergänzt wurde hier auch Literaturangaben, die im Kontext mit Ausarbeitungen zum Projekt genutzt wurden.

4.1 Führungen und Vorträge

- | | |
|-------------------------|--|
| Da Costa Fernandes, J., | Turning Energy Supply Structures to Smart Subnets, KleE-Meeting, Fachschaftshaus der Univ. Freiburg, Schauinsland, 2012 |
| Da Costa Fernandes, J., | Forecast based energy management for combined energy subnets of Smart Grids, KleE Science Tour Canada 2013, ETS Montreal and York University Toronto, 9/2013 |
| Da Costa Fernandes, J., | Prediction based smart energy management for local combined heat and power distributions, 4. KleE-Meeting am INES-Campus Nord in Offenburg und in Bergach bei Gengenbach mit Führung auf dem Geflügelhof Zapf in Gengenbach-Schönberg, |
| Bollin, E., | INES Zero Emission Smart Grid, Vortrag zum Seminar "Netzausbau - Voraussetzung für eine nachhaltige Energiewirtschaft?", Arbeitskreis Nachhaltige Energiewirtschaft der HAW in Baden-Württemberg, Lenzkirch-Saig, 5.-7.03.2014 |
| Da Costa Fernandes, J., | Forecast based energy management for smart polygeneration subnets KleE-DENE-Kick-off-Meeting in Freiburg, 2.12.2012 und Seminar des Lehrstuhls Elektrische Meß- und Prüfverfahren der Fakultät für Mikrosystemtechnik, Univ. Freiburg in Lenzkirch, 16.12.2014 |

4.2 Flyer, Presse, Veröffentlichungen, Abschlußarbeiten, Dokumentation

- [ZapfWeb] Webseite zur Energieversorgung des Geflügelhof Zapf: <http://www.gefluegelhof-zapf.de/energie.html>
- [GHinrichsen2011] Hinrichsen, G., Programmierung und Visualisierung mit Beckhoff und LabVIEW eines auf erneuerbaren Energien basierenden Smart Grids und einer Raumautomation als Verbrauchsstruktur, Bachelor-Thesis vorgelegt im Studiengang Mechatronik Plus, Hochschule Offenburg, 2011
- [SScheffler2013] Scheffler, S., Lastprofile als Grundlage für das geplante Energiemanagement am Geflügelhof Zapf, Projektbericht zum Industrieprojekt im Studiengang Energiesystemtechnik, Hochschule Offenburg/Zapf Energie GbR mbH, 2013
- [daCosta2013C] da Costa Fernandes, J., Intelligent und nachhaltig - Auf dem Geflügelhof Zapf ist ein dezentrales biomasseversorgtes Energienetz für eine CO₂-neutrale Lebensmittelproduktion entstanden, Campus - Das Magazin der Hochschule Offenburg, Winter 2013/2014
- [MWanitschke2014] Wanitschke, M., Betriebsverhalten eines Smart Grids zur Versorgung von Studierenden-Arbeitsplätze, Bachelor-Thesis vorgelegt im Studiengang Verfahrenstechnik/Schwerpunkt Energietechnik, Hochschule Offenburg, 2014
- [MEid2014] Eid, M., Development of a model for electricity demand forecasts for an industrial utility based on load profiles analysis, Master-Thesis vorgelegt im Studiengang Energy Conversion and Management, Hochschule Offenburg, 2014
- [daCosta2014O] da Costa Fernandes, J., Eid, M., Forecast based energy management for trigeneration subnets in smart grids, Conference paper of 7th International Conference on PV Hybrids and Mini-Grids, OTTI-Kolleg, ISBN 978-3-943891-37-9, p.147-152, Bad Hersfeld, 10./11.04.2014
- [daCosta2014] da Costa Fernandes, J., Forecast based energy optimization for solar photovoltaic and hybrid energy systems, Poster and Conference paper of 29th EU PVSEC in Amsterdam-The Netherlands, 22.-26.09.2014
- [HMurali2015] Murali, H., Development of a Simulation Model for the Heat Distribution of a Trigeneration Grid, Master-Thesis vorgelegt im Studiengang Energy Conversion and Management, Hochschule Offenburg, 2015
- [daCosta2015R] da Costa Fernandes, J., Badenova-Projekt Kommunale Energieversorgung, Teilprojekt: Rückspeisung von Überschuß-Wasserstoff über eine Brennstoffzelle, Interner Zwischenbericht, INES - Hochschule Offenburg 2015
- [daCosta2015W] da Costa Fernandes, J., INES-Wetterstation, Interne Dokumentation zur Erfassung von Wettermeßdaten am Institut für Energiesystemtechnik INES, Campus Nord - Hochschule Offenburg, 2015
- [JMeßmer2015] Meßmer, J., „E-Mobility meets urban Services“ Abschlußbericht zum Projekt im Förderauftrag des Ökologie- und Innovationsfonds des E-Werk Mittelbaden AG & Co. KG, Hochschule Offenburg, 2015
- [RWerrnig2016] Wernig, R., Auslegung und Inbetriebnahme einer Kleinwindkraftanlage, Bachelor-Thesis vorgelegt im Studiengang elektrische Energietechnik/Physik Plus, Hochschule Offenburg, 2016
- [daCosta2016C] da Costa Fernandes, J. Bollin, E., Projekte zur Energiewende intelligent vernetzt, Campus- Das Magazin der Hochschule Offenburg, Sommer 2016

5 Zusammenfassung/Fazit

Das Projektvorhaben „Energienetzmanagement dezentraler KWK-Anlagen mit diversen Verbraucherstrukturen“, das vom Innovationsfonds der badenova AG & Co KG von Mai 2012 bis Juli 2016 unter der Fördernummer 2012-09 gefördert wurde kann aus Sicht des Projektnehmers Hochschule Offenburg und seiner Partner Stadt Offenburg und G. und M. Zapf Energie GbR mbH als sehr erfolgreich umgesetztes Fördervorhaben bezeichnet werden. Während der ca. vier Jahre Projektlaufzeit konnten mehrere Reallabore geschaffen werden, die an die Eigenschaften eines Subnetzes in einem Smart Grid sehr nah herangeführt wurden. Alle Objekte bzw. Netzstrukturen verfügen über typische Komponenten eines Microgrids mit Energiequellen, Speichern und Senken. Auch wurde die Trigeneration als Netzvariante mit Strom- Wärme und Kältebereitstellung aufgegriffen und für Verteilnetzmodelle der Niederspannungsebene beschrieben. Ausgehend von einem Mikronetzmodell für jede Energieart kann hinter jeder Trafostation eine beliebig komplexe Energieversorgungsstruktur aufgespannt werden.

Ausgehend von der Einrichtung eines Energiemonitoring werden Energiedaten gesammelt und in eine Datenbank geschrieben, die Online für ein übergeordnetes Energiemanagement genutzt wird. Sicherheitsrelevante Funktionen übernimmt eine Automation mit den entsprechenden Schaltpunkten, Grenzwerten und zugelassenen Arbeitsbereichen. Die Automation übernimmt auch unmittelbare Schaltaufgaben des Energiemanagements, Überwachungsfunktionen und bedient die Visualisierung bei der Onlineübersicht zum System. Während die Auswertung von Batterieladezuständen, Solar- und Winderträgen bereits seit mehreren Jahrzehnten als Forschungsthema gelten kann, entwickeln sich in aktuellen Arbeiten die Netzparameter, signifikanten Zustände und Trends in einem Smart Grid heraus. Das Vorhaben konnte hier wesentliche Voraussetzungen schaffen, die Betreibern wie Energieversorgern und -Dienstleistern eine breite Basis von Datenpunkte liefern, um Zielfunktion zu testen oder neue Geschäftsmodelle auszuarbeiten.

Mehrere Forschungsvorhaben der Hochschule Offenburg wirkten in das Projekt ein oder wurden aus den Ansätzen des Vorhabens initiiert. Mit dem INES Smart Grid entsteht schließlich eine hochfunktionelle Umgebung zum Testen und Validieren von komplexen Algorithmen der Optimierung und für Belastungstests dezentral gesteuerter Subnetze eines Smart Grids. Auch Kommunikationsstrukturen können noch nicht als ausgereift gelten und fordern insbesondere Überwachungsfunktionen und Sicherheitsaspekte z.B. nach Anforderungen des BSI (Bundesamt für Sicherheit im Internet) und müssen nicht zuletzt den Erwartungen genügen, die es dem Betreiber gestatten, eine energietechnisch aktuelle und ausreichend geschützte Energieversorgung zu betreiben.

Folgende Reallabore wurden mit einem Energiemonitoring ausgerüstet und die automations- und kommunikationstechnische Ausrüstung soweit vorbereitet, das Interaktionen mit einem externen Energiemanagement möglich sind und zu Entscheidungen bei der Wahl der Betriebsstrategie oder der Steuerung von Energieflüssen führen:

- **Reallabor Energieinsel mit Lernecke für Studierende:** Teil des Laborbereichs an der Hochschule Offenburg, aufgebaut als einphasiges Microgrid mit der Laststruktur eines Raummanagements.
- **Reallabor INES Smart Grid ISG:** Ein im Aufbau befindliches dreiphasiges Microgrid für vielfältige Entwicklungs- Forschungs- und Schulungsaufgaben. Ein Microgrid mit vielfältigen Testoptionen bestehend aus Komponenten wie Photovoltaik, Wind, Wasserstoffsystem mit Elektrolyseur und Brennstoffzelle, einem E-Fahrzeug und einem Bürobereich als Laststruktur. Ein KWKK-System wird gerade integriert.
- **Reallabor Produktionsbetrieb Geflügelhof Zapf:** CO₂-neutrales, innovatives Energienetz eines Produktionsbetriebs mit Biomassenutzung und der Bereitstellung von Strom, Wärme und Kälte unter hohen Ansprüchen zur Erhaltung der regionalen Wertschöpfungskette.
- **Reallabor Schulenzentrum Nordwest:** Kommunales Energieverteilnetz mit hohen Eigenverbrauchscoeffizienten und Einsparungen bei CO₂-Emissionen.

Im Rahmen des Projekts wurden mehrere Eigenschaften und Funktionen bearbeitet, um die Reallabore „smart“ zu machen. Die folgenden Ergebnisse können als wichtigste Erkenntnisse aus den Arbeitspaketen benannt werden:

Externe Projektpartner wünschen in der Regel einen gesicherten Datenzugang zu ihren Energienetzen und -anlagen. Vorhandene Lösungen, die als markttypische Produkte angeboten werden, können nicht als ausreichend entwickelt bezeichnet werden, um geforderten Sicherheitsansprüchen mit geschützter Authentifizierung und gesicherten Verbindungsaufbau gerecht zu werden. Betreiber und Investoren bestehen auf hochaktuelle Energiesysteme, die aber auch betriebsicher und gegen unbefugten Eingriff geschützt sind. Im Projekt konnten nicht bei allen Reallaboren ein gesicherter Fernzugang eingerichtet werden.

Die Modellierung komplexer Energienetze erfordert einen sehr hohen Aufwand an Analyse und Zeit. Um historische Daten auszuwerten und ausgewählte Energienetze oder Teilbereiche eines Microgrid in der Simulationsumgebung TRNSYS und MATLAB einzuarbeiten wurden zwei Masterarbeiten ausgearbeitet, die folgenden Schluß zulassen. Die Modellerstellung ist hoch aufwendig und fordert eine deutliche Vereinfachung der Einzelmodelle des Energienetzes. Als Entwicklungsansatz wird fortan an einem Netzmodell gearbeitet, daß auf Zählerstrukturen und Zustandsinformationen basiert und die automatisierte Kalenderauswertung nutzt. Ergänzend werden Produktions- und Nutzungspläne sowie Wettervorhersagen für die Erstellung von Profilen berücksichtigt.

Die technischen Abteilungen der Stadt Offenburg betreiben einen Schulcampus im Süden des Schulenzentrums Nordwest. Im Projektverlauf wurde gezeigt, daß die aus dem BHKW-Betrieb kommenden Strom- und Wärmemengen zu hohen Anteilen auf dem Campus verbraucht werden. Das städtische Konzept für ein Energienetzmanagement konzentrierte sich vor allem auf die Einrichtung eines Musternetzes zum analytischen Energiemonitoring, das auf standardisierte, am Markt übliche Datenformate und Datenbankstrukturen zurückgreift. Die Fortsetzung der Arbeiten geht von einer Verstetigung des kommunikationstechnischen Ausbaus und von Erweiterungen auf weitere Liegenschaften und Gebäudepools aus.

Die beiden Reallabore der Hochschule Offenburg sind Test- und Forschungsumgebung für weitere Auswertungen und Forschungsarbeiten. In mindestens drei kooperativen Promotionsvorhaben werden Optimierungsaufgaben am INES Smart Grid bearbeitet. Für die etwas in die Jahre gekommene „Energieinsel“ sind Aktualisierungen wie der im Rahmen des Projekts installierte Windgenerator geplant. Der Hauptfokus liegt jedoch beim INES Smart Grid. Entwicklungsarbeiten werden erweitert durch die im Rahmen des Projekts neu eingerichteten Komponenten wie die Strom-Rückspeisung über eine 1,7 kW-PEM-Brennstoffzelle, den Aufbau und die Inbetriebnahme einer Wetterstation und die Möglichkeit zur Nutzung von elektronischen Lasten zur Analyse unterschiedlicher Lastprofile. Laufende Arbeiten am INES führen zu einer vorerst letzten Erweiterung des Microgrids um eine KWKK-Einheit, die die Komplexität des Reallabors deutlich anheben wird. Details zu den laufenden F&E-Arbeiten sind den Publikationen der zugehörigen Projekte und Konferenz- und Fachjournalbeiträgen zu entnehmen.

Alle Teilprojekte des Projekts 2012-09 können nicht als abgeschlossen bezeichnet werden. Sowohl für die Hochschule Offenburg als auch deren Projektpartner sind sie Gegenstand weiterer Entwicklungen. Das Einkoppeln externer Informationen und Signale sowie die automatisierte Auswertung historischer Daten für die Energiebereitstellung oder die Generierung von Lastprofilen sind Themen aktueller Forschung. Zusammen mit Energieversorgern und Akteuren am Energiemarkt ist das Vernetzen von Microgrids wichtiges Thema zur Ausarbeitung künftiger Geschäftsmodelle und für den Austausch übergeordneter Parameter zur Netzstabilität.

Die Hochschule forscht weiter an den technischen Möglichkeiten und bietet so Wirtschaft und Industrie die Umgebungen zur Entwicklung neuer Infrastrukturen und Energieversorgungslösungen. Eingebettet ist das neugeschaffene Laborumfeld in die Forschungsarbeiten des INES mit den Kooperationen mit weiteren Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen der Region. Bundesweite und internationale Promotionsvorhaben ergänzen den innovativen Charakter auch über die Landesgrenzen hinaus.

6 Ausblick

Das erfolgreich durchgeführte Vorhaben im Auftrag des Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co KG und der Vertragspartner Stadt Offenburg und G. u. M. Zapf Energie GbR mbH zeigt einmal mehr den Entwicklungsbedarf hin zur Energiewende und zu Smart Grid Strukturen auf. Das Projekt erreicht sehr wichtige Schritte zur Entwicklung eines Betreiberorientierten Energienetzmanagements für lokale Trigeneration-Verteilnetze. Insbesondere die Integration der IT-Struktur, die für ein übergeordnetes Energiemanagement der gewünschten Microgrid-Struktur erforderlich ist, stellte eine hohe Herausforderung dar. Hinzu kommt ein beachtlicher Einrichtungsaufwand, der für Betreiber von Bestandanlagen nicht unerhebliche Investitionen nach sich zieht, wenn eine Automationsinfrastruktur nicht vorhanden sein sollte. Die Forschungsgruppe NET konnte mit der Durchführung des Projekts mehrere Reallabore auf einen Stand bringen, der es gestattet die Entwicklungsarbeiten zur Bereitstellung von Managementtools fortzusetzen.

Mehrere Initiativen konnten die Projektidee aufgreifen und führten zu Anschlußprojekten oder Parallelaktivitäten im kommunalen, gewerblichen und Forschungsumfeld. Nachstehend sind die wichtigsten Aspekte, die die Anschlußfähigkeit des beendeten Vorhabens belegen, kurz dargestellt:

- Optimierte Verstromung im Holzvergaser-BHKW, Weiterentwicklung und Optimierung von Holzgas-BHKW-Motoren, Günter und Martin Zapf GbR mbH, 2015-2017, Projekt 2016-02 gefördert im badenova Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz.
- INES-Projekte: Verbesserung des Energiemonitoring und der Visualisierung. Automatisiert generierte Empfehlungen und Statusmitteilungen sollen in der nächsten Stufe manuelle Eingriffe einleiten. Fertigstellung und Implementierung eines Lastprognoseverfahrens zum Einsatz als Onlineprognose für Kombinetze mit anschließender Publikation.
- Integration einer Trigeneration mit BHKW, konventioneller Kältemaschine und Absorptionskältemaschine, d.h. Ergänzung des ISG am INES um eine KWKK-Einheit, Förderprojekt mit EW Mittelbaden
- Integration von zwei netzparallelen Batteriesystemen unterschiedlicher Technologie, ausgeführt als Batterietestsysteme für den Vergleich von Zellenmanagement, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit bei der Energiebereitstellung. Arbeiten im Rahmen des INES-Projekts STABIL, das sich mit Batteriealterungsprozessen von Li-Ionen-Zellen beschäftigt.
- Fortsetzung der Hardware- und Softwareentwicklungen am INES Smart Grid über das Projekt C/Sells in der Förderinitiative Smart Grids des Landes Baden-Württemberg.
- Die Stadt Offenburg baut die technische Infrastruktur für ein analytisches Energiemonitoring weiter aus. Das Ziel ist, den gesamten städtischen Gebäudebestand mit einer einheitlichen Energieerfassung aufzuwerten.
- Fortsetzung der Arbeiten zum Thema“ Transfer von dezentralen Energieversorgungen zu Smart Subnets“ im Rahmen eines Promotionsvorhabens im Promotionskolleg KleE.

Neben der Anschlußfähigkeit zu regionalen Initiativen in Wirtschaft, kommunaler Infrastruktur und Forschung zeigt das Projekt ein beachtliches Potenzial zur Einsparung von CO₂-Emissionen auf lokaler Verteilnetzebene.

Die Umstellung der Energieversorgung des Geflügelhofs Zapf führt zu einer nahezu CO₂-neutralen Trigeneration-Energieversorgung eines Produktionsbetriebs.

Die Stadt Offenburg konnte mit der Investition in ein Netz von Mini-BHKWs auf einem Schulcampus den produzierten Strom nahezu vollständig vor Ort nutzen und mit der Wärme den Betrieb der Spitzenlastkessel deutlich reduzieren. Weitere Maßnahmen können nun durch das eingerichtete Energiemonitoring angegangen werden.

Die Forschungsarbeiten am Institut für Energiesystemtechnik der Hochschule Offenburg profitieren von den Ergebnissen aus der Einrichtung der Reallabore und von den Daten die durch das Energiemonitoring anfallen. Entwicklungsarbeiten und Optimierungen erhalten wichtige Daten aus

laufenden Energieverteilnetzen, die bei der Validierung von Modellen und neuen Algorithmen helfen.

7 Quellen/Referenzen

- [LEE2000] IWU Darmstadt, LEE - Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau, Institut für Wohnen und Umwelt Darmstadt für das Hessische Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Juli 2000
- [SmartGrids2006] Smart Grids European Technology Platform - Electricity Networks of the Future, EUR22040, European Commission, Directorate J - Energy Unit 2-Energy Production and Distribution Systems, ISBN 92-79-01414-5, European Communities 2006
- [Thomas2007] Bernd Thomas: "Mini-Blockheizkraftwerke", ISBN 978-3-8343-3069-7, 1. Auflage, 2007
- [SIC2008] Bollin, E., da Costa Fernandes, J., Feldmann, T.: „Langzeitmonitoring des Neubauvorhabens Solar Info Center Freiburg“, Abschlußbericht: EnOB-Energieoptimiertes Bauen, Teilkonzept 3, Phase II, Monitoring/Betrieb, FKZ 0335007U im EnOB-Förderprogramm des BMWi, Hochschule Offenburg, Offenburg, 2008
- [Farhangi2010] Farhangi; H., The path of the Smart Grid, IEEE power & Energy magazine, p. 1540-7977/10, IEEE January/February 2010
- [Enpio2010] Ludwig, K., Asmus, I.: Feldtest Kraft-Wärme-Kopplung, Abschlußbericht im Projekt 2008-09 des Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co KG
- [Roquette2010] Inbetriebnahme und Monitoring einer Holzvergassungsanlage, Abschlußbericht im Projekt 2007-09 des Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co KG
- [SKallo2012] Kallo, S., Modelling of a combined heat and power system, Master Thesis presented within the Master's Degree Program in Environmental and Energy Technology at Tampere University of Technology, 2012
- [Schulklima2012] Schneble, H.-J., da Costa Fernandes, J., Niederklostermann, M., Bollin, E., Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern, Abschlußbericht im Projekt 2008-1 des Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co KG
- [KomEnV2013] Kommunaler Energieverbund Freiburg - Entwicklung von Algorithmen zur Steuerung einer Power-to-Gas-Anlage und Anlagenbetrieb zum Tests der Algorithmen für ein Microgrid und dessen energiewirtschaftliche Einbindung, Teil 2, Förderprogramm BWPlus des Landes Baden-Württemberg FKZ BWE 13023, Hochschule Offenburg, 2013
- [ReEnZ2014] Regenerative Energiezentrale eines mittelständischen Betriebs mittels KWKK-Anlage, Abschlußbericht zum Projekt 2012-7 des Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG, Günter und Martin Zapf Energie GbR mbH, Gengenbach-Schönberg, 2014
- Projekt-Webseite:
https://www.badenova.de/repository/Detailseiten/Projekt/428611_DE/holzvergaser-fur-die-nudelproduktion
- [Hernandez2014] Hernandez et al., A Survey on Electric Power Demand Forecasting: Future Trends in Smart Grids, Microgrids and Smart Buildings, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.16, No.3, 3rd Quarter 2014

- [AuDatOG2015] Einrichten einer automatisierten Datenübertragung für die Datenerfassung der Verbrauchsdaten der Gebäudeenergieverbräuche im kommunalen Energiemanagement für kommunale Gebäude, Projekt 2015-06 im Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co.KG, Stadt Offenburg, Offenburg
- Projekt-Website:
https://www.badenova.de/repository/Detailseiten/Projekt/953857_DE/automatisierte-datenubertragung-fur-kommunale-gebaude-in-offenburg
- [STABIL2015] Vorhersage und Verlängerung der Lebensdauer von gekoppelten stationären und mobilen Lithium-Ionen-Batterien, Förderprogramm FHprofUNT 2015, FKZ 03FH004PX5, Hochschule Offenburg, 2015
- [Motor2016] Optimierte Verstromung im Holzvergaser-BHKW, Projekt 2016-02 im Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co.KG, Günter und Martin Zapf Energie GbR mbH, Schönberg-Gengenbach
- Projekt-Website:
https://www.badenova.de/repository/Detailseiten/Projekt/954049_DE/optimierte-verstromung-im-holzvergaserbhw
- [EVIT2016] Holzgas-Blockheizkraftwerk Schönberg - Günter und Martin Zapf Energie GdbR mbH, Gutachten der EVIT Energie-Unternehmensberatung und Umweltgutachterorganisation GmbH (Nr. DE-V-334) zur Feststellung der Anspruchsvoraussetzungen für den KWK-Bonus 2015 und den Technologiebonus 2015 gemäß §27 Abs.4 Nr.3 i.V.m. Anlage 3 und Abs.4 Nr.1 i.V.m. Anlage 1 EEG, München 16.02./2.03.2016