

# Forschungsberichtsblatt

## Ehoch4 Quartier 4.0

Quartierlösung aus innovativen gekoppelten Energieversorgungs-einheiten mittels Kombination aus Photovoltaik, Akku, KWK- und Wärmepumpentechnik zur Bereitstellung von Wärme, Kälte, Strom und Regelenergie zu jedem Zeitpunkt und Integration in das Smart Grid auf dem Areal Ehoch4

von

K. Peter, F. Reichenbach, A. Minde

ISC Konstanz

Förderkennzeichen: BWSGD16008

Die Arbeiten des Baden-Württemberg-Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS) werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

April 2019

## Inhalt

1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse
2. Welche Fortschritte ergeben sich für die Wissenschaft und/oder Technik durch die Forschungsergebnisse?
3. Nutzen, insbesondere praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen
4. Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer auch in projektfremde Anwendungen und Branchen

## 1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

In diesem Vorhaben wird ein Quartier aus Gebäuden auf dem ehemaligen Gelände der Oberschwabenkaserne mit Strom und Wärme versorgt. Dazu wird Photovoltaik und Speicher, BHKW- und Wärmepumpentechnik eingesetzt. Die dazu errichteten Energieanlagen wurden nicht nur so betrieben, dass Strom und Wärme genau nach Bedarf des Quartiers bereitgestellt wurde, sondern auch so, dass je nach externem Signal auch elektrische Energie in das Niederspannungsnetz eingespeist oder aus dem Netz bezogen werden konnte.

Das Besondere ist die dezentrale Energiebereitstellung durch die TH-E Boxen, wobei „TH“ für die thermische und „E“ für die elektrische Energieversorgung steht. Jede TH-E Box besteht aus einer Kombination aus BHKW und Wärmepumpe, verbunden mit einem elektrischen und einem thermischen Speicher. Um das Quartier in der Winterjahreszeit zu beheizen, konnte zu jedem Zeitpunkt entschieden werden, ob die Bereitstellung der Wärme, je nach Netzauslastung, durch die Wärmepumpe (Strombezug) oder das BHKW (Netz-Einspeisung) bereitgestellt werden sollte.

Zunächst wird illustriert, wie die Energieerzeugungsanlagen elektrisch und hydraulisch verschaltet sind. Es ist aufgelistet, wie sich die elektrischen Flexibilitäten von -33kW bis hin zu +33kW über Speicher, Wärmepumpen und BHKWs etc. zusammensetzen.

Wir gehen im Abschlussbericht auf das eigens entwickelte Energiemanagement und die verwendeten Open Source Projekte ein. Das Ziel, ein negatives Lastprofil herzustellen und einzuspeisen, wurde erfüllt. Wir zeigen in diesem Bericht auch, wie wir innerhalb von 120ms auf Netzzustandsgrößen wie z.B. Abweichungen von der optimalen Netzfrequenz reagieren können, indem wir Energie einspeisen oder aus dem Netz nehmen.

Die Prozesssteuerung geschieht über die selbst entwickelte MPC (Model Predictive Control). Die MPC ist ein relativ einfaches lineares Optimierungsmodell, das auf einem Einplatinenrechner lauffähig ist. Sie wurde als MILP (Mixed Integer Linear Programming) entwickelt und errechnet viertelstündlich die optimale Ansteuerung der Eingänge anhand dieses linear-algebraischen Modells.

Unser Ehoch4 Quartier 4.0-Konzept, Photovoltaik-Energieversorgungssysteme in der Winterjahreshälfte mittels Sektorenkopplung (BHKW/Brennstoffzelle) und Wärmepumpe netzdienlich zu ergänzen, ist hiermit gezeigt. Die Gebäude werden warm – ob dabei elektrische Leistung in das Quartier fließt (Wärmepumpenbetrieb) oder das Quartier verlässt (BHKW-Betrieb) entscheidet z.B. der Netzzustand, ein Preissignal oder eine andere Messgröße.

Die wirtschaftliche Bewertung zeigt, dass die jährlichen Kosten für unser System vergleichbar mit einer Standardversorgung mittels Gas-Brennwerttechnik und Strombezug aus dem Netz oder auch mit einer Versorgung aus Wärmepumpe und Photovoltaik sein können, dass es aber eine deutliche Verschiebung von Opex in Richtung Capex gibt, d.h. die Stromgestehungskosten sind günstig, aber die Investition in das Equipment ist vergleichsweise teuer. Die CO<sub>2</sub>-Werte liegen mit unserer Technik typischerweise bei 50% im Vergleich zur Standardlösung, falls als Ergänzungsenergieträger Erdgas verwendet wird (bei Biogas entsprechend niedriger).

Ehoch4 Quartier 4.0 wird hoffentlich Vorbildcharakter für die gesamte Region Hohentengen und das Umland haben, so dass wir zuversichtlich sind, unseren Beitrag auf dem Weg zu einer CO<sub>2</sub>-freien Energieversorgung geleistet zu haben und vor allem auch noch leisten werden. Ohne diese öffentliche Projektförderung wäre der Weg so nicht eingeschlagen worden.

## 2. Welche Fortschritte ergeben sich für die Wissenschaft und/oder Technik durch die Forschungsergebnisse?

Ein wichtiges Ergebnis in diesem Vorhaben war es, die Stromerzeugung mittels Photovoltaik von der Einspeisung in das Netz zu entkoppeln, d.h. Fluktuationen der EE-Erzeugung durch die Kombination mit KWK- und Speicher-Technik auszugleichen, um die Wechselwirkung mit dem Netz Systemdienlich zu gestalten.

Stand der Technik ist es, dass Betreiber eine PV-Anlage den erzeugten Strom in das öffentliche Stromnetz einspeisen bzw. zumindest einen Teil speichern, um ihn später selbst zu verbrauchen. Wenn die Sonne nicht scheint und der Speicher leer ist, wird der Strom aus dem Netz bezogen. Wenn viele so handeln, dann entsteht in den Verteil- und Übertragungsnetzen bei sonnigem Wetter ein Überangebot und bei dunkler Kälte ggf. ein Defizit.

Die fortschrittlichen TH-E Boxen ermöglichen es, dass bei sonnigem Wetter elektrische Energie möglichst dem Netz entnommen wird und im dunklen Winter bei Bedarf elektrische Energie in das Netz abgegeben werden kann. In der Winterjahreshälfte, wenn Heizbedarf besteht, wird der Vorteil der Kombination aus BHKW und Wärmepumpe besonders deutlich. Denn je nach Netzauslastung wird die Wärme entweder über das BHKW (Strom wird eingespeist) oder durch die Wärmepumpe (Strom wird bezogen) erzeugt.

## 3. Nutzen, insbesondere praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen

Wir haben gelernt, dass die innovative Energieversorgung mittels Photovoltaik und Speicher und gekoppelter BHKW/Wärmepumpen sich wirtschaftlich, wenn überhaupt, knapp behaupten kann. Da das CO<sub>2</sub>-Einsparpotential aber hoch ist, wird sich die wirtschaftliche Darstellbarkeit sehr stark verbessern, sobald beim Energieverbrauch eine CO<sub>2</sub>-Abgabe eingeführt wird. Wenn dann auch noch die energetischen Flexibilität, welche die TH-E Boxen bieten, vermarktet werden können, dann wird unsere demonstrierte Technologie eine profitable Lösung und wird möglicherweise sehr schnell in vielen Bereichen der Gebäudeenergieversorgung, auch in Verbindung mit Elektromobilität, zum Einsatz kommen.

Sowohl die Möglichkeiten einer CO<sub>2</sub>-Umlage als auch die Einführung eines Flexibilitätsmarktes wird derzeit in der Fachwelt und in der Politik sehr stark diskutiert. „Consumer“ werden nicht nur zu „Prosumern“ sondern auch zu „Flexumern“. Man beachte dazu, dass in Deutschland nach Angaben der Bundesnetzagentur die Gesamtkosten für netzstabilisierende Maßnahmen infolge des Ausbaus der erneuerbaren Energien sich von 0,12 Mrd €/a in 2010 auf 1,2 Mrd €/a in 2017 bereits verzehnfacht haben.

## 4. Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer auch in projektfremde Anwendungen und Branchen

Die Gemeinde Hohentengen (Oberschwaben) versorgt sich derzeit zu 74% mittels EEG Strom selbst (inkl. 10MW PV-Anlage bei Ehoch4). Nach <http://www.energymap.info> und eigenen Schätzungen sind folgende Kennzahlen gegeben:

Stromverbrauch:	33,0 MWh/Jahr
Erneuerbare Stromproduktion:	24,5 MWh/Jahr
- Solarstrom:	14,2 MWh/Jahr
- Biomasse:	9,9 MWh/Jahr
- Wasserkraft:	0,4 MWh/Jahr

Durch Dezentralisierung mittels kleiner Biogas-BHKWs und/oder Nahwärmenetzen ist eine CO<sub>2</sub>-freie Strom- und Wärmeversorgung möglich. Das Gelände der Ehoch4 wechselte zum 31.12.2018 den Besitzer. Dies bedeute leider eine Verzögerung bei der Ertüchtigung und Bebauung des Geländes. Der neue Eigner ist aber sehr an der Verwertung der entwickelten Technologie für seine Ausbaupläne interessiert.

Die Bevölkerungsdichte und damit auch der Energieverbrauch pro Fläche sind etwa halb so hoch als im bundesdeutschen Durchschnitt (Tabelle 10.1). D.h. auf die Fläche bezogen müsste in Hohentengen (Oberschwaben) doppelt so viel Strom erzeugt werden, als verbraucht wird. Dies ist eine große Chance für den ländlichen Raum, da die notwendigen Flächen in aller Regel vorhanden sind.