

Das Regionale Virtuelle Kraftwerk im Praxistest

Paul Seidel, Joachim Seifert, Karl Eugen Wolffgang¹

Jens Werner, Peter Schegner²

¹TU Dresden, Institut für Energietechnik, Helmholtzstraße14, 01069 Dresden, Deutschland,
paul.seidel@tu-dresden.de , joachim.seifert@tu-dresden.de ,
karl_eugen.wolffgang@tu-dresden.de , www.tu-dresden.de

²TU Dresden, Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik,
Mommsenstraße 10, 01069 Dresden, Deutschland,
jens.werner1@tu-dresden.de , peter.schegner@tu-dresden.de

Kurzfassung:

Die von der Bundesregierung initiierte Energiewende hat große Einflüsse auf die zukünftigen energetischen Versorgungsstrukturen in Deutschland. So ist grundsätzlich von einer Umstellung der Energieversorgung von zentralen zu dezentralen Systemen auszugehen. Weiterhin ist zu erwarten, dass energetische Versorgungssysteme zukünftig in der Lage sein müssen hochflexibel auf Lastsituationen reagieren zu können. Die Kopplung von verschiedenen Erzeugungseinheiten wird wesentlicher Bestandteil dieser transformierten Versorgungssysteme sein.

Vor diesem Hintergrund wird im eingereichten Beitrag über einen Feldtest von vernetzten Klein-KWK-Systemen berichtet. Als „Regionales Virtuelles Kraftwerk¹“ bezeichnet, wird seit 2015 ein Feldtest von motorischen Klein-KWK-Anlagen und Brennstoffzellen in der Region Oldenburg durch die TU Dresden und den Partner EWE AG durchgeführt. Der eingereichte Beitrag zeigt die Schwierigkeiten bei der Installation auf und gibt Lösungsansätze, wie zukünftig eine kostengünstige Installation von BHKW-Systemen erfolgen kann. Zusätzlich wird ausführlich auf die Informationsvernetzung von RVK-Systemen sowie die Algorithmen zur lokalen und globalen energetischen Prognose hingewiesen. Hierbei ist es von besonderer Bedeutung, dass die vorgestellten Algorithmen nicht als Verfahren bewertet werden, die ausschließlich auf Mikro-KWK System beschränkt sind. Vielmehr wird eine Systematik präsentiert, welche technikneutral ist, d. h. auch Erzeugungssysteme auf Basis erneuerbarer Energien mit in die Betrachtungen aufnehmen kann. In Hinblick auf die Informations- und Kommunikationstechnologie wird ein RVK-Gateway vorgestellt, welches für die Vernetzung von dezentralen Energiesystemen zwingend notwendig ist und zukünftig auch Fragestellungen aus dem Bereich der Smart Meter und der Fehlerdiagnose von energetischen Anlagen adressieren kann. Abschließend erfolgt eine Dokumentation von ausgewählten praktischen Feldtestergebnissen und möglichen Vermarktungsstrategien eines RVK-Systems.

Keywords: Virtuelles Kraftwerk, KWK, Smart Grid, Sektorkopplung

¹ RVK – Regionales Virtuelles Kraftwerk

1 Hintergrund/Ausgangspunkt

Das Energieversorgungssystem in Deutschland steht auf Grund der Energiewende derzeit vor großen Herausforderungen. Bisher besitzt das Energiesystem in Deutschland einen zentralen Charakter und ist durch Großkraftwerke geprägt. Charakteristisch hierfür ist nur ein geringer Anteil der Sektorkopplung zwischen Gas, Wärme und Strom.

Durch die Energiewende wandelt sich diese Versorgungsstruktur hin zu einem dezentralen Energiesystem, welches vermehrt durch viele kleinere dezentrale Erzeugungsanlagen charakterisiert ist (vgl. Abb. 1). Diese müssen zum einen in die regionalen Märkte integriert werden sowie zum anderen flexibel in ihrem Betriebsverhalten ansteuerbar sein. Des Weiteren erfolgt in einem dezentralen Energiesystem eine verstärkte Sektorkopplung (Strom/Wärme) mit dem Ziel eines ganzheitlichen Energiesystems, in welchem die einzelnen Versorgungskomponenten Gas, Strom, Wärme miteinander in Kommunikation stehen und gemeinsam interagieren können.

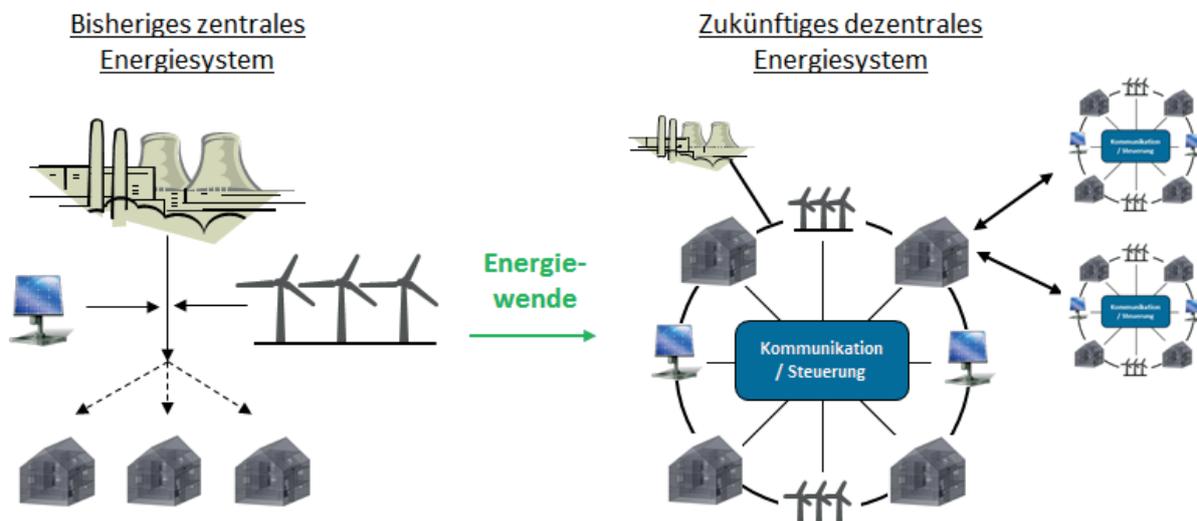


Abb.1 Transformation des Energiesystems (zentral - dezentral)

Der Trend der Dezentralisierung mit einer stetig ansteigenden Anzahl an kleinen dezentralen Anlagen wird hierbei durch eine stetige Entwicklung und Verbesserung der Anlagentechnik für erneuerbarer Erzeugungsanlagen sowie sinkende Investitionskosten forciert.

Bereits ca. 97 % der installierten Anlagen zur Erzeugung elektrischer Energie aus erneuerbaren Energien befinden sich in den regionalen elektrischen Verteilnetzen. Dies führt dazu, dass künftig mehr Verbraucher existieren, deren elektrischer Netzbezug vom bisherigen Standardlastprofil abweicht, wodurch das bisherige Standardlastprofil (stromseitig) durch Eigenerzeugung an Bedeutung verliert. Der bisherige Consumer wird somit zu einem Prosumer. Dies erfordert wiederum eine verstärkte Flexibilisierung und Regionalisierung der dezentralen Erzeugungsanlagen. Eine Lösung hierfür ist das intelligente Energiesystem des Regionalen Virtuellen Kraftwerks.

2 Das RVK-System

Basis des Regionalen Virtuellen Kraftwerks ist das Forschungsvorhaben [1] welches in den Jahren 2014 – 2017 durchgeführt wurde. Innerhalb des Projektes wurden Ein- und Zweifamilienhäuser mit 15 Mikro-KWK-Anlagen² und 2 Brennstoffzellensysteme³ ausgestattet. Nachfolgend soll der technologische Ansatz bei der Informationsübertragung innerhalb des Systems näher erläutert werden.

2.1 Technologie bzw. methodischer Ansatz

Die umgesetzte Regelungs- und Steuerungstechnologie des RVK basiert auf einer hierarchischen Systemarchitektur (Abb.2), wodurch unterschiedlichste Steuerungsstrategien in Bezug auf elektrische oder thermische Restriktionen auf allen betrachteten Ebenen ermöglicht werden.

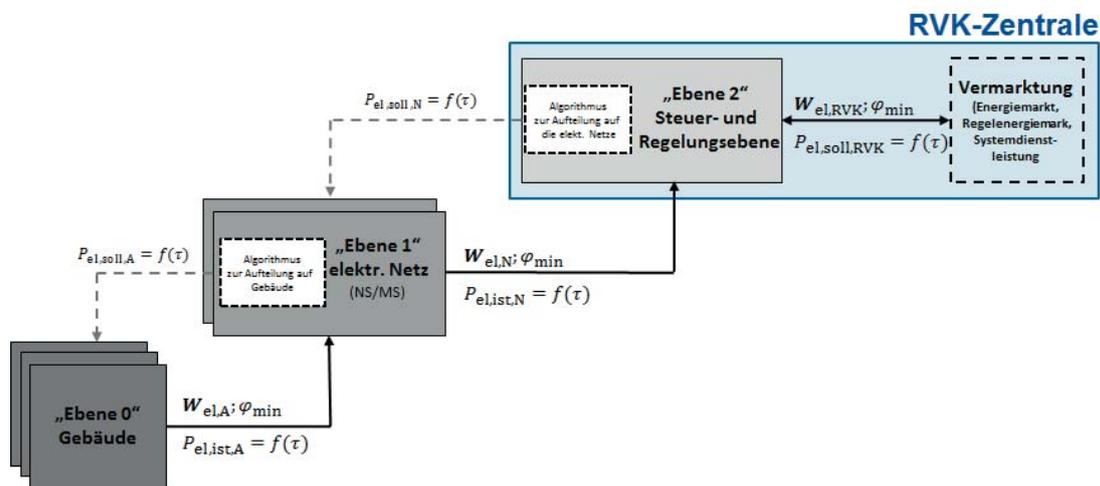


Abb.2 Hierarchische Systemarchitektur des RVK

Die unterste Ebene stellt das jeweilige Gebäude dar, in welchem die entsprechende Anlage installiert ist. In dieser Ebene werden dezentral alle Informationen aus dem Gebäude (wie. z. B. Temperaturen, Volumenströme, elektrische Kenngrößen) aufgenommen und in einem eigens entwickelten RVK-Gateway aggregiert, sodass nur eine geringe Anzahl an Daten an die nächst höhere Ebene kommuniziert werden müssen. Neben der Erfassung und Ermittlung notwendiger Datenpunkte wird zusätzlich automatisiert eine lokale thermische und elektrische energetische Prognose durchgeführt. Gleichzeitig ist es möglich das Betriebsverhalten der Anlage dezentral zu optimieren, indem der Eigenstromverbrauch erhöht oder ein dem Verbrauch zugeschnittenes Speichermanagement (Erhöhung der Energie-Effizienz) umgesetzt wird.

Die nächste Ebene stellt das elektrische Netz dar und repräsentiert das regionale Verteilnetz in welchem das RVK umgesetzt ist. Hierdurch kann bereits regional auf Netzrestriktionen Einfluss genommen werden, wodurch einerseits die Netzstabilität gesteigert und

² Motorische KWK-Anlage vom Typ Vaillant EcoPower 1.0

³ Brennstoffzelle vom Typ Vaillant 6. Generation

andererseits die Netzeffizienz erhöht wird. Die oberste Ebene stellt die Zentrale des RVK dar. Diese Ebene ist gleichzeitig die technische Schnittstelle zu dem Energiemarkt. Es erfolgt an dieser Stelle die Vermarktung der ermittelten Flexibilität des RVK in Form von Direktvermarktung, Regelenergie oder dem Day-Ahead-Handel an der EEX (European Energy Exchange). Ein gehandelter Fahrplan des gesamten RVK wird daraufhin über die einzelnen Ebenen an die jeweiligen teilnehmenden Gebäude verteilt. Insgesamt ergibt sich auf diese Weise eine höhere Wertschöpfung aus dargebotsabhängiger Energie, sowie eine Reduktion des notwendigen Einspeisemanagements im elektrischen Netz.

Die praktische Umsetzung der hierarchischen Struktur ist in dem Schema nach Abb. 3 dargestellt. Hierzu wurde in einem ersten Schritt bewusst auf die mittlere Ebene des elektrischen Netzes verzichtet um grundlegende Funktionen des Systems in Bezug auf die Kommunikation und Steuerung zwischen den Anlagen sowie der Zentrale zu untersuchen. Aus der untersten Ebene (Gebäude) werden alle notwendigen Daten der Anlagen an die oberste Ebene (RVK-Zentrale) übermittelt. Die Daten werden in dem Control-Center, welches die Steuerungseinheit der Zentrale darstellt verarbeitet. Dieses steht wiederum in direkter Verbindung mit dem Trading-Center, welches die Kopplung der Zentrale zur Börsenvermarktung darstellt. Des Weiteren zeigt die Abb.3 den schematischen Ablauf der Informationen innerhalb der Kommunikationsstruktur.

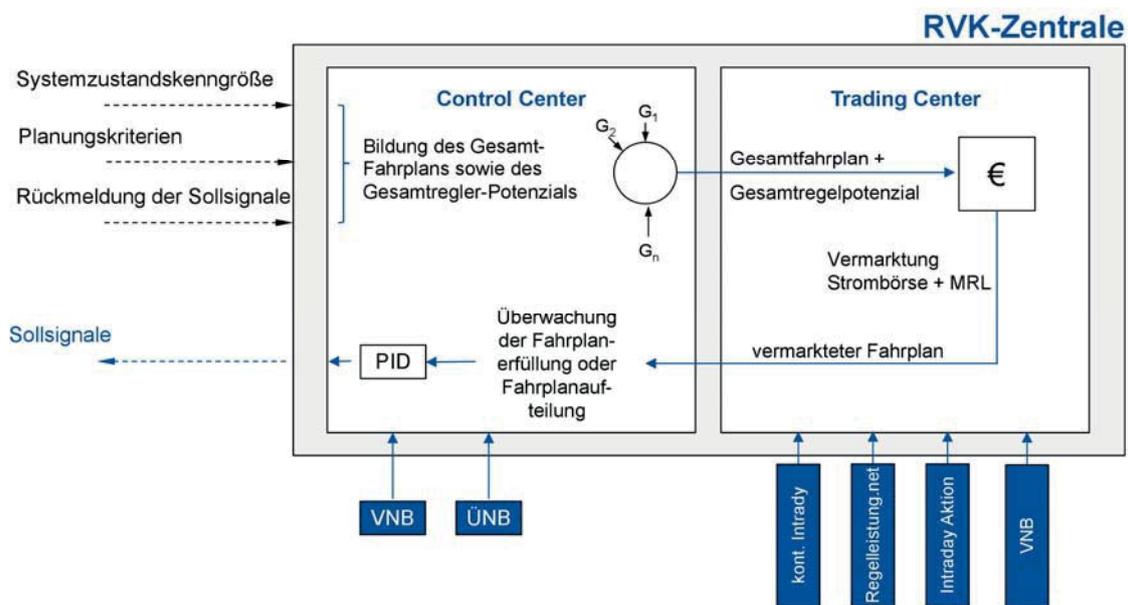


Abb.3 umgesetzte Systemarchitektur des RVK

Zur Realisierung des beschriebenen Systems wurde in 17 Liegenschaften die gleiche Anlageninstallation, bestehend aus KWK-Einheit, Spitzenlastgastherme, Kombipufferspeicher inkl. Heizstab, vorgenommen (vgl. Abb. 4 und 5). Ein Ergebnis der Installationen war, dass eine vorgefertigte Installation der zusätzlichen Messtechnik zwingend erforderlich ist, da der höchste Kostenanteil bei der Erstinstallation anfällt. Je nach Liegenschaft betrug dieser allein für die Messtechnik zwischen 300€-1000€.

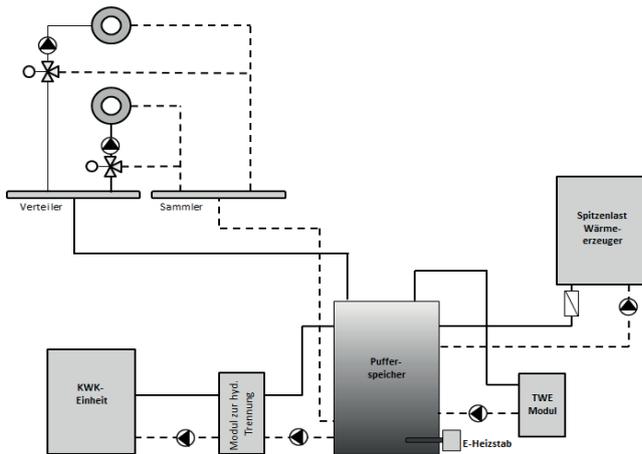


Abb.4 Feldtestinstallation „Schemata“



Abb.5 Feldtestinstallation „Realität“

2.2 Innovative Aspekte

Während der praktischen Umsetzung des RVK wurden umfangreich innovative Komponenten zur Zustandserfassung und Datenaggregation entwickelt. Zu nennen sind hierbei u. A. das RVK-Gateway als intelligentes dezentrales Regelungs- und Prognosesystem sowie das Temperatursensorband, wodurch die Temperaturen in dem thermischen Pufferspeicher hochaufgelöst und preisgünstig erfasst werden können (vgl. Abb. 6).

In Bezug auf die Systementwicklung wurde ebenfalls umfangreich Software für die dezentralen Komponenten sowie das zentrale Backend zur zentralen Ansteuerung und Optimierung erstellt. Die eigentliche Innovation des umgesetzten Konzeptes sind die dezentralen Prognosen (thermisch und elektrisch) zum Verbrauch bzw. zur Erzeugung, wodurch die Flexibilität der Anlagen als aggregierte Daten an die RVK-Zentrale übermittelt wird. Des Weiteren erfolgt eine Optimierung des lokalen Betriebsverhaltens (z.B. Erhöhung des Eigenstromverbrauchs) der Anlagen.



Abb.6 Neuentwicklung von Mess- und Steuerungstechnik

3 Beispiele und Ergebnisse

Ein entscheidendes Kriterium für den Einsatz von Mikro-KWK-Anlagen innerhalb eines virtuellen Kraftwerks ist die Anlagen- und Datenverfügbarkeit der teilnehmenden Systeme. Die Anlagenverfügbarkeit charakterisiert die Einsatzfähigkeit der jeweiligen Anlagen für den RVK-Betrieb, d. h. die Anlage ist online, fehlerfrei und kann Steuerbefehle entgegennehmen.

Demgegenüber beschreibt die Datenverfügbarkeit die vorhandenen Datenpunkte in Bezug auf Messfehler, Übertragungsfehler oder Ausfälle.

Ab Beginn des aktiven RVK-Betriebs wurde eine hohe Anlagenverfügbarkeit in dem Verbund von im Mittel >80% erreicht, siehe Abb. 7. Gekennzeichnet war die erste Betriebsphase durch eine Störung von bis zu 40% der Anlagen am Ende des Monats Januar, welche jedoch durch einen Wartungseinsatz Anfang Februar behoben werden konnte. Zusätzlich sind in der Abb. 6 einzelne Ausschläge der Anlagenverfügbarkeit gegen 0 zu erkennen. Diese sind jeweils auf ein Softwareupdate in der Zentrale des RVK zurückzuführen, wodurch kurzzeitig ein aktiver Betrieb verhindert wurde. Insgesamt konnten mit dem eingesetzten und im Vergleich zu Industrielösungen günstigen Prototypen des RVK-Gateway sehr gute Anlagenverfügbarkeiten realisiert werden.

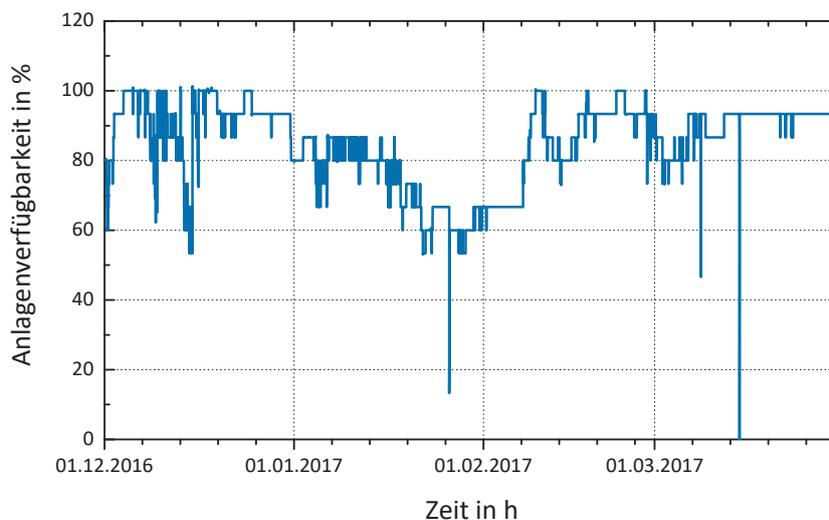


Abb.7 Anlagenverfügbarkeit der installierten Gateways in der Heizperiode 16/17

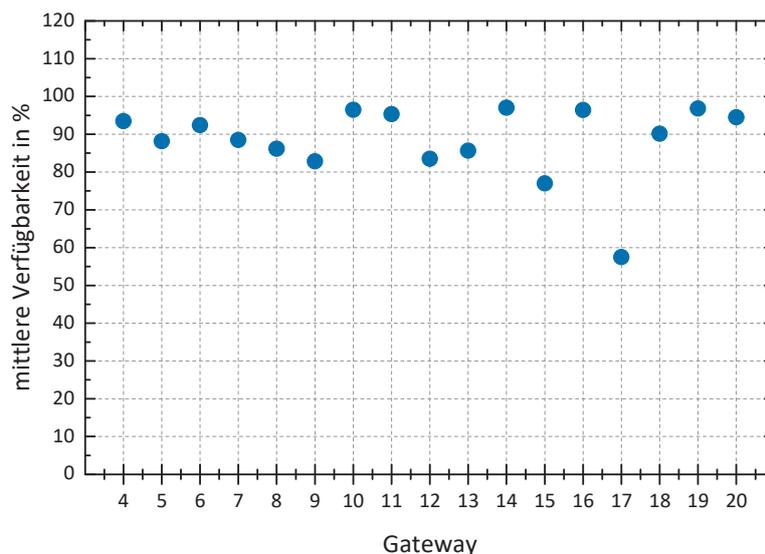


Abb.8 Mittlere Datenverfügbarkeit der installierten Gateways in der Heizperiode 16/17

In der Abb. 8 ist die mittlere Datenverfügbarkeit der einzelnen Gateways über den Bilanzzeitraum der Heizperiode 2016/17 dargestellt. Die mittlere Verfügbarkeit der

gemessenen und berechneten Datenpunkte liegt für den Anlagenverbund bei 88%. Dies bedeutet, dass auf 88% aller Daten in dem Anlagenverbund zurückgegriffen werden kann. Je nach Anlage beträgt diese Kennzahl zwischen 58% -98 %, wobei der sehr niedrige Wert mit einem Ausfall der Kommunikation zu dem Gateway 17 begründet werden können. Insgesamt konnte mit den entwickelten Komponenten eine sehr hohe Datenverfügbarkeit ab Beginn des aktiven RVK-Betriebs erreicht werden.

Abschließend wird exemplarisch für den erfolgreichen Betrieb des RVK die gezielte Anlagensteuerung durch die RVK-Zentrale vorgestellt. Hierzu ist in Abb. 9 der zeitliche Verlauf der elektrischen Leistung des Anlagenverbundes dargestellt. In den Morgenstunden bis 11:00Uhr sind die Anlagen in dem KWK-Betrieb nach Fahrplanvermarktung. Dies bedeutet, dass die Anlagen auf Basis der dezentralen Mess- und Prognosedaten ihre aggregierte Betriebs-Flexibilität⁴ an die Zentrale übermitteln, die RVK-Zentrale eine Vermarktung am DayAhead-Markt vornimmt und die Anlagen nach Fahrplan steuert. Im Ergebnis kann der gehandelte Fahrplan durch die einzelnen Anlagen mit geringen Abweichungen eingehalten werden. Zusätzlich wurde manuell ein zwei-stufiger MRL-Abruf mit $P_{el,MRL} = -20\text{kW}$ um 11:00Uhr sowie mit $P_{el,MRL} = -36\text{kW}$ um 12:00Uhr durchgeführt. Somit werden zum Zeitpunkt des Abrufes gleichzeitig $P_{el,KWK} = 10\text{kW}$ el. Leistung durch die KWK-Anlagenerzeugt und $P_{el,MRL} = -20\text{kW}$ bzw. $P_{el,MRL} = -36\text{kW}$ durch die Heizstäbe verbraucht. Daraus ergibt sich eine resultierende elektrische Leistung des Anlagenverbundes (rote Linie), welche die Vermarktung nach DayAhead sowie MRL beinhaltet. Mit diesem exemplarischen Versuch konnte gezeigt werden, dass mit Mikro-KWK-Anlagen ein RVK-Betrieb erfolgreich umgesetzt werden kann und die einzelnen Anlagen den Leistungsvorgaben folgen.

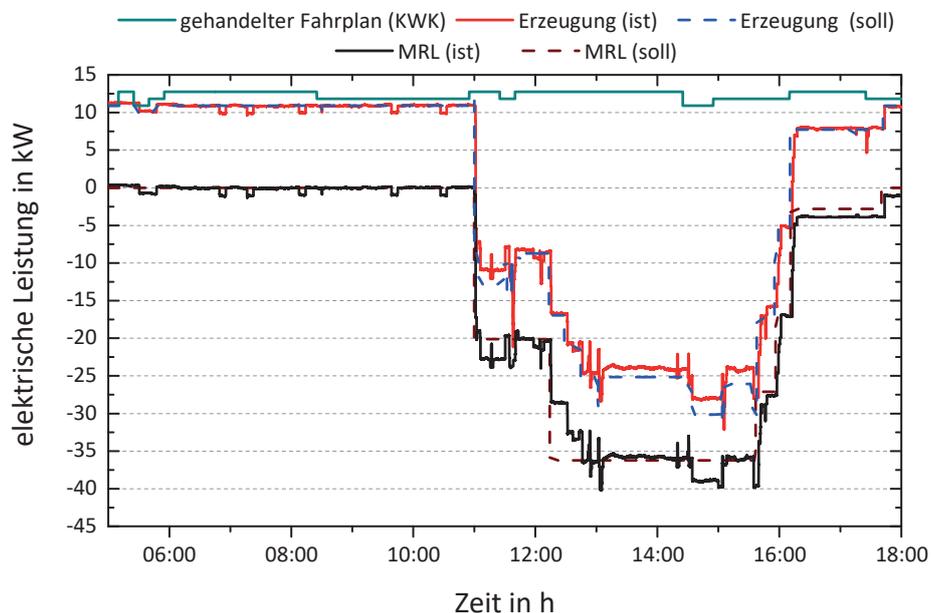


Abb.9 Zeitl. Verlauf der el. Leistung des Anlagenverbunds

⁴ Die Flexibilität beschreibt ein Regelband, welches das Minimum und Maximum der zu erzeugenden Elektroenergie beinhaltet. Das Minimum wird festgelegt durch den thermischen Bedarf des Gebäudes und das Maximum beschreibt das zusätzliche Potential durch den Pufferspeicher.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend konnte mit dem Forschungsvorhaben zum RVK-System gezeigt werden, dass eine regionale Poolbildung von kleinen dezentral verteilten Erzeugungssystemen möglich ist. Des Weiteren wurde der bisher theoretisch analysierte RVK-Betrieb [2] mit Anlagensystem der untersten Leistungsklasse praktisch realisiert und erfolgreich getestet. Innerhalb des Projektes gab es hierbei umfangreich Neuentwicklungen im Bereich der IK-Technologie sowie der Software für die dezentrale elektrische und thermische Prognose der Liegenschaften.

Zusätzlich haben die Untersuchungen und die praktische Umsetzung gezeigt, dass eine Standardisierung von Schnittstellen zu anderen Systemen (Hybridisierung) entscheidend und notwendig ist um den erfolgreichen Betrieb eines technikneutralen RVK-Systems zu gewährleisten.

Abschließend kann festgehalten werden, dass durch die Praxiserprobung des RVK regionale Flexibilitäten erfasst und somit technisch verwertbar gemacht wurden, wodurch eine Integration von Strom-/ Gas- / Wärme- mittels Kommunikationssystemen und somit eine ganzheitliche Sektorkopplung realisiert wurde.

Danksagung

Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegenden Forschungsvorhaben wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 03ET1280A/B gefördert.

Literatur

- [1] J. Seifert, P. Schegner, P. Seidel, J. Werner, K. Wolfgang, J.Haupt, A. Meinzenbach. Zwischenbericht: RVK II – Praxiserfahrung des Regionalen virtuellen Kraftwerks auf Basis der Mikro-KWK-Technologie, TU Dresden, 07.2017
- [2] J. Seifert, P. Schegner, P. Seidel, J. Werner, J.Haupt, A. Meinzenbach. Forschungs-Report - Regionales Virtuelles Kraftwerk auf Basis der Mini- und Mikro-KWK-Technologie. VDE Verlag, 2015.