

# **ZUR ANWENDBARKEIT VON ZEITREIHENANALYSE AUF DIE MODELLIERUNG DER INANSPRUCHNAHME POSITIVER MINUTENRESERVE**

Eva Marie Kurscheid, Dr. Dana Uhlig-Düvelmeyer

## *ABSTRACT*

*Die Bewertung der Eignung dezentraler Klein-KWK-Anlagen zur Bereitstellung positiver Minutenreserve erfordert Kenntnisse über die Charakteristik der Reserve-Inanspruchnahme. Eine Option zur Modellierung ist eine Zerlegung der Inanspruchnahme in Einflusskomponenten mittels Zeitreihenanalyse. Das verfügbare Datenmaterial verspricht belastbare Ergebnisse.*

## *1. EINLEITUNG*

Wunsch und Ziel der Forschung im Bereich regenerativer Energien ist ein möglichst weitgehender Verzicht auf fossil befeuerte konventionelle Großkraftwerke. Die alleinige Bereitstellung der notwendigen Energiemengen durch regenerative Einspeiser ist nicht ausreichend. Es gilt insbesondere vielfältige Sicherheitsfunktionen im Netz zu erfüllen. Reserveleistung beispielsweise wird heute fast ausschließlich durch fossil befeuerte konventionelle Großkraftwerke bereitgestellt. Als mögliche Zukunftsoption für die Bereitstellung von Reserveleistung sind dezentrale Klein-KWK-Anlagen im Gespräch. In einem ersten Schritt könnten diese zur Bereitstellung positiver Minutenreserve eingesetzt werden. Für die ganzheitliche Bewertung dieser Idee ist eine genaue Kenntnis über das Abrufverhalten positiver Minutenreserve erforderlich. Die Recherche verfügbarer mathematischer Methoden hat eine Vorauswahl der Zeitreihenanalyse ergeben. Gegenstand des vorliegenden Papers ist daher die Überprüfung der Anwendbarkeit der Zeitreihenanalyse auf die gemessenen Ganglinien der Inanspruchnahme positiver Minutenreserve. Das Paper gliedert sich in eine prinzipielle Beschreibung der Minutenreserve-Ganglinien, die Erläuterung der Methodik bei der Zeitreihenanalyse und die Überprüfung der Anwendbarkeit. Als Ergebnis wird das Vorhandensein von Wochentags- und Tageszeitkomponenten in allen Regelzonen gezeigt.

## *2. CHARAKTERISTIK DER INANSPRUCHNAHME POSITIVER MINUTENRESERVE*

Positive Minutenreserve ist Bestandteil eines mehrstufigen Reserveleistungssystems für die Frequenzhaltung im Übertragungsnetz. Regelkonform wird positive Minutenreserve für die Ablösung eines dauerhaften Einsatzes von positiver Sekundärreserve verwendet [1]. Gleichsam einer Versicherung ist die Inanspruchnahme positiver Minutenreserve in der Theorie folglich eine rein stochastische Größe, d.h. Abrufe von positiver Minutenreserve sollten nur rein zufällig auftreten. Insbesondere sollten keine Saison- und Trendkomponenten auftreten. Ursachen für eine Inanspruchnahme sind in der Theorie ausschließlich Kraftwerksausfälle, Leitungsausfälle und unplanmäßige Verbrauchsanstiege. Weitere in der Praxis vermutete und teilweise empirisch ermittelte Ursachen sind Ersetzen von unplanmäßig ausgefallener Windleistung und auch Fehlplanungen einzelner Bilanzkreise sowie berechnete Unterdeckungen der Bilanzkreise bei extrem hohen Börsenpreisen für Strom. In der Praxis ist die Ganglinie der

Inanspruchnahme positiver Minutenreserve vermutlich eine Überlagerung verschiedener Einzel- und damit auch Saisonkomponenten.

Die tatsächliche Inanspruchnahme von Minutenreserve ist eine Entscheidung nach Ermessen des Schichtleiters in der Leitwarte. Wesentliche Einflusskomponenten auf die Inanspruchnahme positiver Minutenreserve sind demnach menschliche Erfahrung und Psychologie menschlicher Entscheidungsfindung. Durch die Abhängigkeit von der Erfahrung des Schichtleiters entsteht eine zusätzliche Abhängigkeit von der Regelzone und der Regelzonenstruktur (Abb. 1). Auffällig ist die im Vergleich zu den übrigen Regelzonen stark erhöhte Inanspruchnahme positiver Minutenreserve innerhalb der RWE-Regelzone.

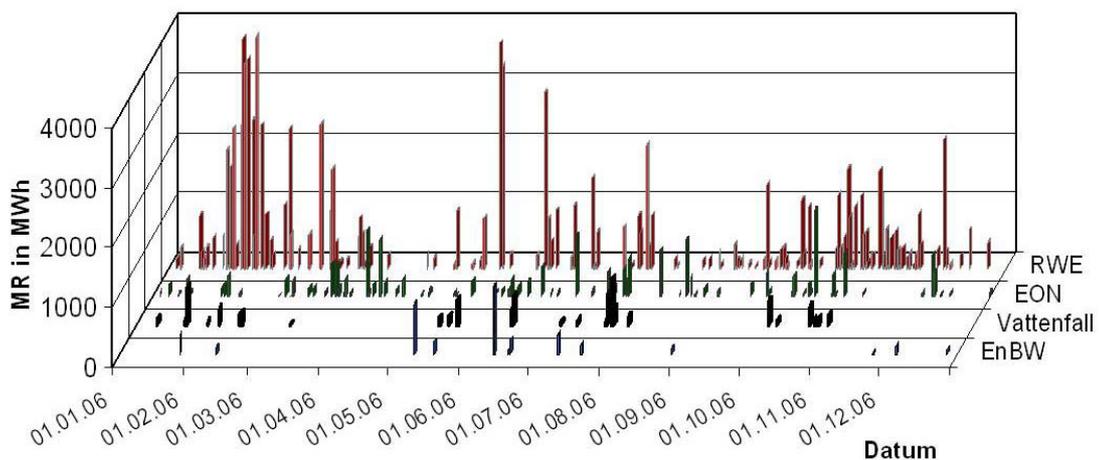


Abbildung 1: Tagesmengen der Inanspruchnahme positiver Minutenreserve im Jahr 2006 nach Regelzonen, Absolutwerte in MWh ohne Berücksichtigung der Regelzonenstruktur, Ausgangsdaten unter [2].

Zur Regelzone der RWE-Transportnetz Strom GmbH gehören in etwa 30 bis 35 % der deutschen Höchstspannungsleitungen, die E-ON Netz GmbH bewirtschaftet weitere 25 bis 30 %, die Vattenfall Europe Transmission GmbH gut 25 % und die EnBW Transportnetze AG in etwa 10 %. Die von den deutschen Übertragungsnetzbetreibern bewirtschaftete Fläche ist nicht mit den geographischen Grenzen der Bundesrepublik Deutschland identisch. Auch unter Berücksichtigung der Regelzonengröße und der vertikalen Netzlast innerhalb der Regelzone bleibt der Einfluss des regelzonenspezifischen Erzeugungsmanagements unverkennbar. Ziel einer Modellierung der Inanspruchnahme positiver Minutenreserve ist ein allgemeingültiges Grundmodell, dessen Parameter regelzonenspezifisch angepasst werden.

### 3. MATHEMATISCHE METHODIK DER ZEITREIHENANALYSE

Statistik erlaubt, aus einer Flut von Informationen Kennwerte zu berechnen, die als Grundlage für eine spätere Entscheidungsfindung dienen. Die deskriptive oder beschreibende Statistik beschäftigt sich mit der Aufbereitung von Daten und der Extraktion von Informationen. Die induktive Statistik erlaubt Rückschlüsse auf die Allgemeinheit durch Auswertung einer Stichprobe [3]. Die mathematische Zeitreihenanalyse ist ein Verfahren der beschreibenden Statistik [4]. Im Gegensatz zur allgemeinen Statistik sind Zeitreihen dabei zeitlich geordnete Folgen von Datenpunkten [5]. Häufige praktische Anwendungen sind die Untersuchung von Börsenkursen, Konjunkturdaten, Wetterbeobachtungen und Bevölkerungsentwicklungen. Auch die Entwicklung der

Stromproduktion wird anhand der vorliegenden Zeitreihen analysiert und prognostiziert [5]. Das Verfahren wird beispielsweise auch in der Psychologie zur Untersuchung menschlicher Entscheidungsfindung angewendet [6]. Ziel der Analyse von Minutenreserveabrufen ist die Zerlegung der Eingangsdaten in Ursachenkomponenten wie beispielsweise Entwicklungstrends, saisonale und konjunkturelle Einflüsse und rein zufälliger, stationärer Restkomponente. Im klassischen Komponentenmodell besteht eine Zeitreihe aus einer glatten, einer oder mehreren zyklischen Komponenten und einer Restkomponente. Es ist anwendbar, sofern die verbleibende Restkomponente die Charakteristik eines weißen Rauschens aufweist und folglich stationär ist.

Diese Einzelkomponenten werden entweder additiv oder multiplikativ verknüpft. Die Einzelkomponenten werden unabhängig voneinander auf Vorhersagbarkeit geprüft. Im optimalen Fall ergibt sich eine Vorhersagbarkeit der Zeitreihe mit einer Ungenauigkeit des weißen Rauschens der Restkomponente. Die Bestimmung der Trendkomponente erfolgt mittels Regression unter Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate oder alternativ mittels gleitender Durchschnitte. Die Saisonkomponenten werden durch Filterung bestimmt [7]. Die verbleibende Restkomponente wird anschließend mittels Durbin-Watson-Test auf stochastische Unabhängigkeit getestet [8].

#### *4. ÜBERPRÜFUNG DER ANWENDBARKEIT ZUR MODELLIERUNG DER INANSPRUCHNAHME POSITIVER MINUTENRESERVE*

Die Zeitreihe der Inanspruchnahme positiver Minutenreserve ist hinreichend lang, so dass die Durchführung der Zeitreihenanalyse für Tages- und Wochensaisonkomponenten aussagekräftige Ergebnisse verspricht. Es handelt sich um eine diskrete Zeitreihe mit äquidistanten Zeitabständen, da Minutenreserveleistung bei einem Abruf über 15 min konstant in Anspruch genommen wird. Es existiert also ein diskreter Wert je 15-min-Intervall, der sehr häufig den Wert null annimmt. Im Betrachtungszeitraum wurden keine neuen Mechanismen für die Inanspruchnahme eingeführt. Neu ist lediglich die gemeinsame Ausschreibung der deutschen Übertragungsnetzbetreiber seit 1. Dezember 2006 [2]. Dies hat lediglich Auswirkungen auf die Preise für Minutenreserve, die nicht Gegenstand der vorliegenden Analyse sind. Eine Änderung des Abrufverhaltens positiver Minutenreserve durch Personalwechsel in der Leitstelle kann wegen der intensiven Personalschulung und der entsprechend ähnlichen Entscheidungsfindung des Personals vernachlässigt werden.

Im Jahr 2006 konnte keine Trendkomponente nachgewiesen werden. Für die Bestimmung langfristiger Trends wie beispielsweise Auswirkungen der Zunahme fluktuierender Einspeiser wäre eine Zeitreihe mit längerer Historie zu verwenden. Aus theoretischer Sicht ist auch hier keine Trendkomponente zu erwarten, da das Erzeugungsmanagement entsprechend optimiert wird. Der Einfluss struktureller und damit regelzonenspezifischer Komponenten auf die Inanspruchnahme positiver Minutenreserve ist wesentlich größer. Der Plot der Zeitreihen zeigt bereits eindeutig, dass keine zyklische Komponente mit Jahresperiode vorliegt, die Inanspruchnahme positiver Minutenreserve ist folglich jahreszeitunabhängig (Abb.1). Eine Monats-Saisonkomponente kann ebenfalls ausgeschlossen werden. Die Bestimmung von weiteren zyklischen Komponenten und damit insbesondere von Wochentags- und Tageszeitkomponenten ist anhand der vorhandenen Datenmenge zuverlässig möglich.

## 5. ERGEBNISSE

Die Methodik der mathematischen Zeitreihenanalyse ist auf die Ganglinien der Inanspruchnahme positiver Minutenreserve grundsätzlich anwendbar. Eine schwankende Komponente gleichsam einer Konjunkturkomponente tritt nicht auf. Dies deckt sich mit den Erwartungen aufgrund der theoretisch vermuteten Charakteristik der Inanspruchnahme positiver Minutenreserve. Eine Trendkomponente kann in den untersuchten Zeitreihen nicht nachgewiesen werden. Eine langfristige Trendkomponente ist anhand der Datenbasis nicht bestimmbar. Die absolute Inanspruchnahme positiver Minutenreserve ist offenbar abhängig vom Wochentag. Werktags ist die absolute Inanspruchnahme im Vergleich zum Wochenende deutlich erhöht. Die Abhängigkeit der Modellparameter von der jeweiligen Regelzone ist auch hier sehr offensichtlich. Eine zusätzliche Tageszeitabhängigkeit der Inanspruchnahme positiver Minutenreserve lässt sich bereits erahnen (Abb. 2).

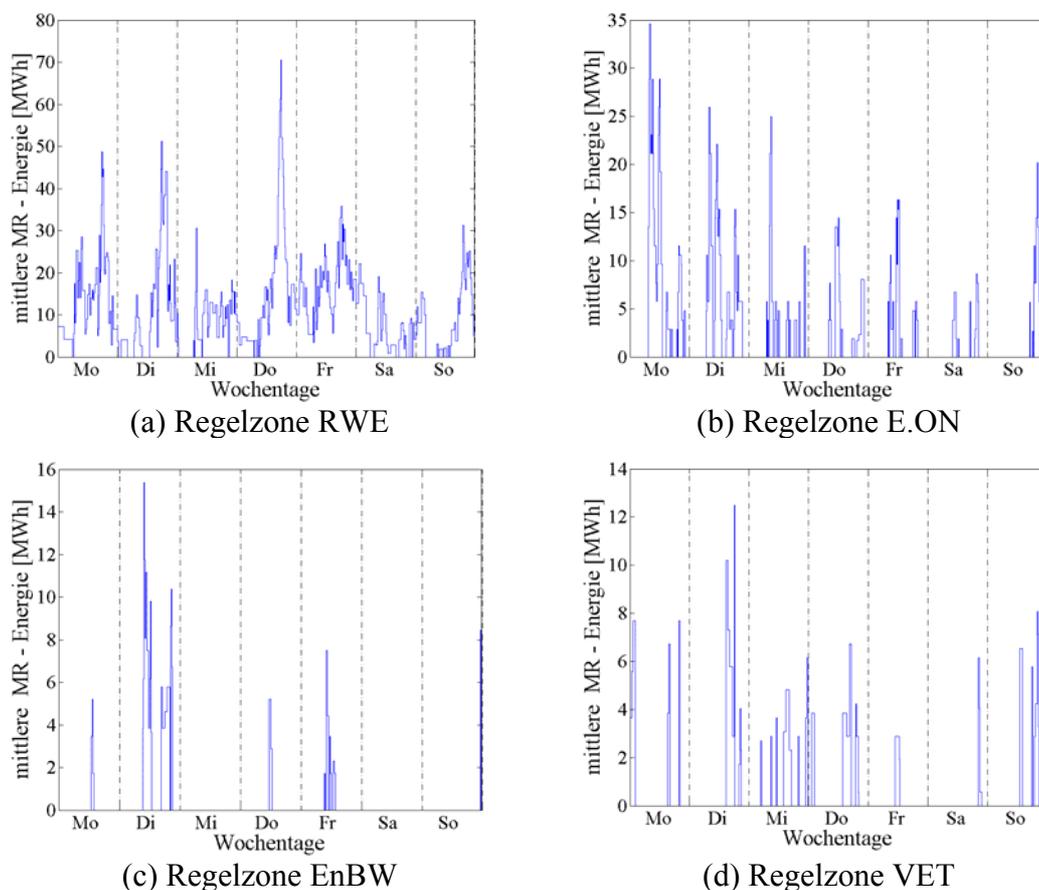


Abbildung 2: Wochentagskomponente der Inanspruchnahme positiver Minutenreserve nach Regelzonen mit überlagelter Tageszeitkomponente [8]

Die Detailuntersuchung auf Tageszeitabhängigkeit ergibt eine eindeutige Häufung zu den Spitzenlastzeiten am Mittag und Abend, während in der Schwachlastzeit in den frühen Morgenstunden mit Ausnahme von RWE keine positive Minutenreserve in Anspruch genommen wird (Abb. 3). Die verbleibende Restkomponente hat die Charakteristik eines weißen Rauschens. Insgesamt ist das klassische Komponentenmodell auf die absolute Inanspruchnahme positiver Minutenreserve anwendbar. Für eine Aussage über das Systemverhalten sollten die absoluten Inanspruchnahmen im Verhältnis zum Lastgang der Regelzonen betrachtet werden.

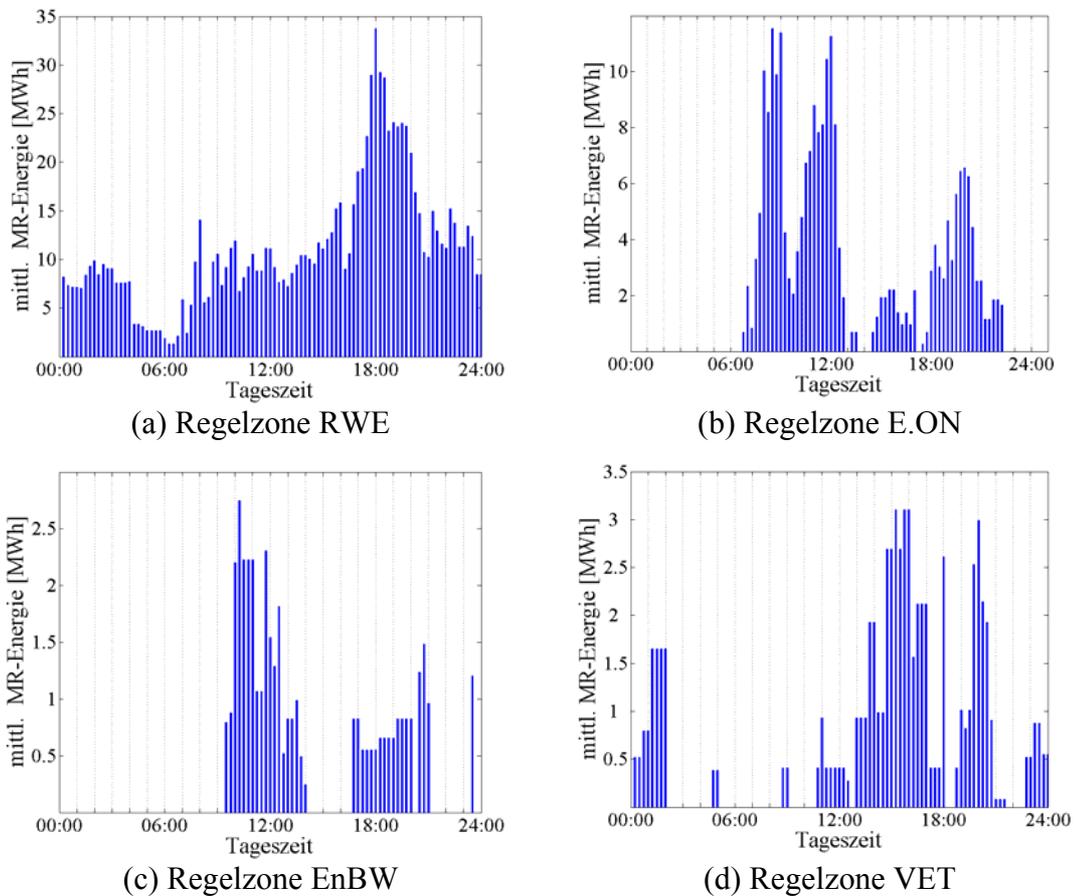


Abbildung 3: Tageszeitkomponente der Inanspruchnahme positiver Minutenreserve nach Regelzonen [8]

## 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Inanspruchnahme positiver Minutenreserve wird unter Beachtung äußerer Vorgaben nach menschlichem Ermessen entschieden. Die Zeitreihenanalyse ist ein Verfahren der beschreibenden Statistik und wird zur Gewinnung neuer Informationen über die Inanspruchnahme positiver Minutenreserve angewendet. Die gegebenen Zeitreihen weisen einen Tages- und einen Wochenzyklus auf. Die verbleibende Restkomponente hat die Charakteristik eines weißen Rauschens. Das klassische Komponentenmodell ist folglich anwendbar. Der nächste Arbeitsschritt ist die Ableitung eines konkreten Modells und die Bestimmung der Parameter für die einzelnen Regelzonen.

Ergänzend zur Analyse der absoluten Inanspruchnahme positiver Minutenreserve im Zeitbereich ist eine Betrachtung im Frequenzbereich wünschenswert, um die vorliegenden Ergebnisse zu verifizieren. In folgenden Arbeiten ist eine Erweiterung um Korrelationsanalysen von Windeinspeisungsdifferenzen, Börsenpreispeaks und weiteren Einflussfaktoren mit der Ganglinie der Inanspruchnahme positiver Minutenreserve wünschenswert. Sinnvoll wäre ein Vergleich der Erzeugungsmanagements der vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber. Die Durchführbarkeit wird aller Voraussicht nach an den Betriebsgeheimnissen der Übertragungsnetzbetreiber scheitern.

## 7. LITERATUR

- [1] UCTE Operation Handbook, Download der aktuellen Version unter <http://www.ucte.org/publications/ophandbook/>
- [2] Internetseite [www.regelleistung.net](http://www.regelleistung.net)
- [3] *Holland, Heinrich; Scharnbacher, Kurt*: Grundlagen der Statistik, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1991, ISBN 3-409-22700-8
- [4] *Chatfield, Christopher*: Statistics for technology, J.W.Arrowsmith Verlag, 3. Auflage, Bristol, 1985, ISBN 0-412-25340-2
- [5] *Schlittgen, Rainer; Streitberg, Bernd.*: Zeitreihenanalyse, Oldenbourg Verlag, 8. Auflage, München / Wien, 1999, ISBN 3-486-24982-7
- [6] *Schmitz, B.*: Einführung in die Zeitreihenanalyse, Hans Huber Verlag, 1. Auflage, Bern, 1989, ISBN 3-456-81793-2
- [7] *Kreiß J.-P.; Neuhaus G.*: Einführung in die Zeitreihenanalyse, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2006, ISBN 10 3-540-25628-8 oder 12 978-3-540-25628-1
- [8] *Fiedler, M.*: Analyse der Zusammenhänge zwischen Börsenpreisen für Kurzzeitprodukte der Elektroenergie und dem Abruf von positiven Minutenreserven, Bachelorarbeit, TU Chemnitz, August 2008

### **AUTOREN:**

Eva Marie Kurscheid  
Technische Universität Chemnitz  
Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
Professur für Energie- und Hochspannungstechnik  
D - 09107 Chemnitz  
E-mail: [evi.kurscheid@etit.tu-chemnitz.de](mailto:evi.kurscheid@etit.tu-chemnitz.de)  
Tel: +49 (0) 371 531 35113  
Fax: +49 (0) 371 531 800269

Dr. Dana Uhlig-Düvelmeyer  
Technische Universität Chemnitz  
Fakultät Mathematik  
Professur für Inverse Probleme  
D – 09107 Chemnitz  
E-mail: [dana.uhlig@mathematik.tu-chemnitz.de](mailto:dana.uhlig@mathematik.tu-chemnitz.de)  
Tel: +49 (0) 371 531 32167  
Fax: +49 (0) 371 531 22209