

# Realzeit Netzüberwachung auf Basis hochdimensionaler Körper

## Real-Time Grid Monitoring Utilizing High-Dimensional Field Localization

Dipl.-Ing. Olav Krause, Universität Dortmund, Dortmund, Deutschland

Dipl.-Inform. Sebastian Lehnhoff, Universität Dortmund, Dortmund, Deutschland

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Edmund Handschin, Universität Dortmund, Dortmund, Deutschland

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Rehtanz, Universität Dortmund, Dortmund, Deutschland

Univ.-Prof. Horst F. Wedde, Universität Dortmund, Dortmund, Deutschland

### Kurzfassung

Ein sicherer und zuverlässiger Netzbetrieb ist auch unter dem Einfluss einer steigenden Zahl von dezentralen Energieumwandlungsanlagen (DEA) die zentrale Aufgabe eines Netzbetreibers. Der Einfluss der DEA findet hier zumeist in nicht, oder kaum, beobachteten Verteilnetzen statt. Die bislang einzige Möglichkeit den sicheren Betrieb, d. h. speziell das Einhalten der Spannungsbänder und das Nichtüberschreiten der Stromtragfähigkeit von Leitungen des Netzes, zu gewährleisten ist eine Worst-Case-Abschätzung zur Dimensionierung der Anschlussleistungen von Lasten und Erzeugern. In diesem Artikel wird ein neuer Ansatz vorgestellt, der es ermöglicht in sehr kurzen Intervallen und in konstanter Zeit aus den Leistungsdaten der modellierten Netzknoten auf die Zulässigkeit der Belastungskonfiguration im Hinblick auf Spannungsbandverletzungen und Leitungsüberlastungen zu schließen und die Einspeisung dementsprechend anzupassen. Wir berichten aus dem DFG geförderten F&E Projekt DEZENT.

### Abstract

A secure and reliable operation of electrical power networks is the central obligation of every network operator, even in the situation of a growing number of Decentralized Energy Resources (DER) connected to the networks. DER are most frequently connected to non-observed or sparsely observed parts of the distribution networks. Up to now the only way to assure the secure and reliable operation of the network, in terms of voltage band violation and line overloads, is the dimensioning of the installed power from worst-case-scenarios. In this article the authors present an approach that allows for a determination of load and feed in combinations at the modeled nodes in short intervals and constant predetermined time in order to change the DER deed in. We report from the DFG-funded R&D project DEZENT.

## 1 Einleitung

### 1.1 Notwendigkeit einer intelligenten Netzüberwachung

Durch die zunehmende Verbreitung von dezentralen Energieumwandlungsanlagen in den Verteilnetzen kommt es in diesen Netzen zu volatileren Belastungssituationen in einem breiten Band möglicher Zustände. Um den sicheren und zuverlässigen Betrieb des Netzes garantieren zu können verwenden Netzbetreiber bei der Dimensionierung der Anschlussleistungen Worst-Case-Szenarien der Einspeisekonfiguration. Da die sich tatsächlich einstellenden Belastungssituatio-

nen meist weniger kritisch sind als in den Worst-Case-Szenarien angenommen besteht die Möglichkeit, durch eine optimierte Koordination der Einspeisungen und Entnahmen, eine höhere mögliche Auslastung der vorhandenen Netze zu erreichen. Letztendlich können hierdurch die Betriebsgrenzen aktueller Netze erweitert werden und Netzausbauten vermieden oder zumindest verschoben werden.

### 1.2 Bewertung von Belastungskonfigurationen mit klassischen Lastflussalgorithmen

Ein gängiger Ansatz zur Bewertung von Belastungskonfiguration ist die Verwendung von Lastflussrechnungen wie z. B. des Newton-Raphson-Verfahrens. Bei diesen Verfahren handelt es sich allerdings um iterative Algorithmen die nur lokal konvergieren und deren Laufzeit nicht im Vorhinein bekannt ist. In einer sicherheitskritischen Anwendung sind diese Eigenschaften eines Algorithmus die Voraussetzung für einen garantiert sicheren Betrieb. Diese so genannte Realzeitfähigkeit ist eine der Kerneigenschaften des hier vorgestellten Berechnungsverfahrens zur Vermeidung von Spannungsbandverletzungen und Leitungsüberlastungen. Dies ist insbesondere bei sehr großen Anzahlen und bei schnell regelbaren oder volatilen DEA wie z. B. Windenergieanlagen zwingend erforderlich.

## 2 Algorithmus basierend auf einer räumlichen Interpretation

Eine der Grundannahmen des hier vorgestellten Berechnungsverfahrens ist, dass die detaillierten Informationen über die Lastflusssituation in dem betrachteten Netzabschnitt von untergeordneter Relevanz sind. Die entscheidende Information ist, ob eine Belastungskonfiguration zu einer Verletzung von Randbedingungen führt, oder nicht.

Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass sich die komplexen Knotenspannungen, Nettoknotenströme, sowie die komplexen Nettoknotenscheinleistungen als über die Knoten hinweg unabhängig voneinander interpretieren lassen und eigenständige Räume im  $\mathbb{C}^n$  bilden. Erst die Topologie und die Parameter der Leitungen stellen Beziehungen zwischen diesen Räumen her. Entscheidungen über die Zulässigkeit einer Belastungskonfiguration müssen im Raum der komplexen Nettoknotenscheinleistungen getroffen werden, da die komplexen Nettoknotenscheinleistungen die am einfachsten zu erhebende Größe ist. In der nahen Zukunft werden digitale Energiemessrichtungen („der intelligente Stromzähler“) diese Information bereitstellen können.

### 2.1 Vermeidung von Spannungsbandverletzungen

Die Vermeidung von Spannungsbandverletzungen ist ein zentraler Aspekt des Sicherheitsbegriffs in der elektrischen Energietechnik. Eine Verletzung dieser Randbedingungen kann zu großen Schäden an den am jeweiligen Netz angeschlossenen Geräten führen. Entsprechend der zuvor eingeführten Interpretation als komplexe Räume werden die Spannungsbänder im Raum der komplexen Knotenspannungen der  $n$  Knoten eines Netzes wie folgt definiert:

$$U_{\min} = \left\{ \bar{U}_i; \forall i : |\bar{U}_i| < U_{i,\min} \right\} \quad (1)$$

$$U_{\max} = \left\{ \bar{U}_i; \forall i : |\bar{U}_i| \leq U_{i,\max} \right\} \quad (2)$$

Die so formulierten Spannungsgrenzen bilden jeweils einen konvexen Körper im Raum der komplexen Knotenspannungen. Die Zulässigkeit einer Konfiguration kann über die Zugehörigkeit des Spannungsprofils zu den zuvor formulierten Mengen wie folgt ausgedrückt werden.

$$\underline{U} \in U_{\max} \wedge \underline{U} \notin U_{\min} \quad (3)$$

Der Vektor des jeweiligen Spannungsprofils muss in der Menge  $U_{\max}$  enthalten sein, darf bei der gewählten Formulierung aber nicht in der Menge  $U_{\min}$  liegen.

Mit Hilfe der Knotenadmittanzmatrix werden diese konvexen Körper in den Raum der komplexen Nettoknotenströme transformiert. Es handelt sich hierbei um eine lineare Abbildung, so dass die Konvexität des Körpers erhalten bleibt.

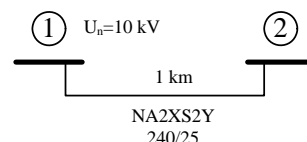
Im Raum der Nettoknotenströme ergibt sich durch diese Abbildung das Bild des Körpers im Raum der komplexen Knotenspannungen. Dieses Bild komplex konjugiert und im nächsten Schritt durch Multiplikation mit dem Urbild verrechnet.

$$\underline{S} = \text{diag}(\underline{U}) \cdot (\underline{Y} \cdot \underline{U})^* \quad (4)$$

Die so entstehenden Körper liegen nun im Raum der Nettoknotenscheinleistungen, sind allerdings durch die implizite Quadratur so verzerrt, dass sie sich schneiden. Die Zulässigkeit einer Belastungskonfiguration kann nun wie folgt überprüft werden.

$$(\underline{S} \in S_{\max} \wedge \underline{S} \notin S_{\min}) \vee (\underline{S} \in S_{\min} \wedge \underline{S} \notin S_{\max}) \quad (5)$$

Hierbei befinden sich die technisch sinnvollen Lösungen in  $(\underline{S} \in S_{\min} \vee \underline{S} \notin S_{\max})$ .



**Bild 1:** Zweiknotiges Beispielnetz

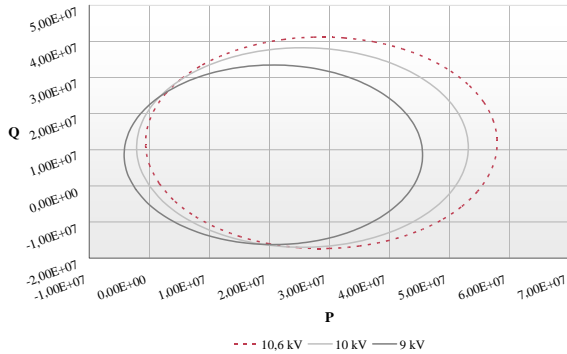
Eine analytische Beispielrechnung veranschaulicht das Resultat. Für das in **Bild 1** skizzierte zweiknotige

Beispielnetz, in dem der erste Knoten die Rolle des Referenzknotens übernimmt, wurde das in **Bild 2** dargestellte Ergebnis ermittelt.

Reaktanzbelag  $X' = 0,1062 \Omega/km$

Gleichstromwiderstandsbelag  $R' = 0,125 \Omega/km$

**Tabelle 1:** Leitungsparameter des Beispielnetzes



**Bild 2:** Leistungen gleicher Spannungen

Kombinationen von Wirk- und Blindleistung am Knoten zwei, die zum gleichen Spannungsbetrag am Knoten zwei führen liegen auf ellipsenähnlichen Bahnen. Die Bahn die einem Knotenspannungsbetrag gleich der Referenzknotenspannung entsprechen, schneidet erwartungsgemäß den Ursprung. Die technisch sinnvollen Kombinationen von Wirk- und Blindleistung, die keine Spannungsbandverletzung verursachen, liegen in der PQ-Ebene zwischen den Bahnen für 9kV und 10,6kV des rechten Bereiches.

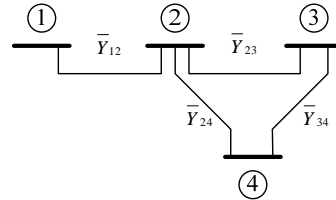
## 2.2 Vermeidung von Leitungsüberlastungen

In einem Netz mit  $l$  Leitungen und  $n$  Knoten kann die Menge aller zulässigen Kombinationen im Raum der komplexen Leitungsströme wie folgt definiert werden:

$$I_{\max} = \left\{ \bar{I}_i ; \forall i : |\bar{I}_i| \leq I_{i,\max} \right\} \quad (6)$$

Für die Berechnung des Körpers im Raum der komplexen Nettoknotenscheinleistungen, der alle zulässigen Wirk- und Blindleistungskombinationen enthält, wird eine Abbildung vom Raum der komplexen Leitungsströme in den Raum der komplexen Knotenspannungen benötigt. Eine komplexe Matrix wie in (7) für das Beispielnetz aus **Bild 3** stellt den Bezug her.

$$\underline{Y}_{Ltg} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{12} & -\bar{Y}_{12} & & \\ & \bar{Y}_{23} & -\bar{Y}_{23} & \\ & & \bar{Y}_{34} & -\bar{Y}_{34} \\ & & \bar{Y}_{24} & -\bar{Y}_{24} \end{bmatrix} \quad (7)$$



**Bild 3:** Vierknotiges Beispielnetz

Wobei der folgende Bezug gilt:

$$\underline{I}_{Ltg}^{(m \times 1)} = \underline{Y}_{Ltg}^{(m \times n)} \cdot \underline{U}_{Ltg}^{(n \times 1)} \quad (8)$$

Die so formulierte Matrix ist allerdings immer singular und vom Rang  $r = (n - 1)$ , so dass eine direkte Berechnung der Abbildung des Körpers im Raum der komplexen Leitungsströme in den Raum der komplexen Knotenspannungen nicht möglich ist. Um die Eigenschaften der Abbildung interpretieren zu können wird eine komplexere Analyse der Matrix nötig. Die Singulärwertzerlegung liefert die nötigen Informationen über die Abbildung und ist für beliebige komplexwertige Matrizen definiert [1].

$$[\underline{U}^{(m \times m)}, \underline{W}^{(m \times n)}, \underline{V}^{(n \times n)}] = SVD(\underline{Y}_{Ltg}^{(m \times n)}) \quad (9)$$

Die Matrizen  $\underline{V}$  und  $\underline{U}$  enthalten orthonormale Basisvektorsysteme im Original- bzw. im Bildraum, welche durch die Matrix  $\underline{W}$  ineinander übersetzt werden. Die Matrix  $\underline{W}$  enthält eine wesentliche Information über die zu Grunde liegende Abbildung. Sie ist eine nicht zwangsläufig quadratische  $m \times n$ -dimensionale Diagonalmatrix, bei der die Singulärwerte  $w_i$  der Matrix in absteigender Reihenfolge auf der Hauptdiagonalen angeordnet sind. Alle anderen Elemente sind gleich null.

$$\underline{W} = \begin{bmatrix} \bar{w}_1 & & & \\ & \ddots & & \\ & & \bar{w}_r & \\ & & & \ddots \\ & & & & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

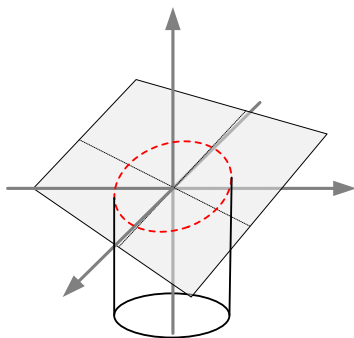
Im Fall einer singularen Matrix sind nicht alle Singulärwerte von null verschieden und nicht alle Basisvektoren des Bildraums sind mit Basisvektoren des Originalraums „verbunden“. Dies gilt speziell wenn

$m > (n-1)$  ist, also in Netzen die Maschen aufweisen. In vermaschten Netzen sind die komplexen Leitungsströme nicht unabhängig voneinander und in jeder Masche muss die Kirchhoffsche Maschenregel erfüllt sein. Die ersten  $r$  Basisvektoren von  $\underline{U}$  spannen den entsprechenden Raum der technisch möglichen komplexen Leitungsströme auf. Das bedeutet, dass der konvexe Körper der in (6) definiert wurde mit dem Teilraum, der durch die ersten  $r$  Basisvektoren aufgespannt wird, geschnitten wird.

Diese Menge lässt sich im Folgenden in den Raum der komplexen Knotenspannungen abbilden.

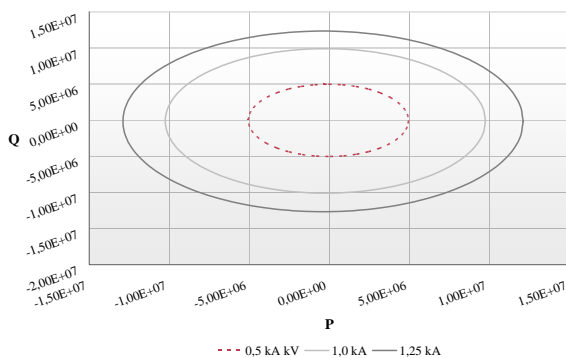
$$\underline{U} = \underline{V}^{(n \times r)} \cdot \underline{W}^{(r \times r)^{-1}} \cdot \underline{U}^{*(m \times r)} \cdot \underline{I}_{Ltg} \quad (11)$$

Da die Matrix  $\underline{Y}_{Ltg}$  den Rang  $(n-1)$  hat ist dies nur eine mögliche Kombination von komplexen Knotenspannungen, die zu den gewählten Leitungsströmen führt. Entlang des  $n$ -ten Basisvektors von  $\underline{V}$ , der bei einem Rang von  $r = (n-1)$  der einzige so genannte Nullspace-Vektor ist, muss diese Lösung noch an die Spannung am Referenzknoten angepasst werden.



**Bild 4:** Schema des Schnitts

Für das in **Bild 1** dargestellte zweiknotige Netz ergibt sich analytisch das in **Bild 5** dargestellte Ergebnis.



**Bild 5:** Leistungen gleichen Strombetrags

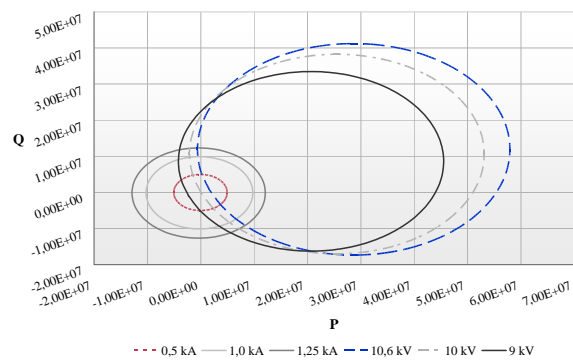
Da nur die Leistung am Knoten 2 variiert werden kann, ergeben sich die in **Bild 4** dargestellten elliptischen Bahnen um den Ursprung. Alle Kombinationen,

die zum gleichen Strombetrag auf der einzigen Leitung führen, liegen auf einer Ellipse über die Wirk- und Blindleistung am zweiten Knoten.

Die Kombinationen von Wirk- und Blindleistung, die nicht zu einer Leitungsüberlastung führen, liegen in der, durch die jeweilige Bahn, umschlossenen Fläche.

## 2.3 Überlagerung der Ergebnisse

Da in einem Netzwerk immer sowohl das Einhalten der Spannungsbänder, als auch die Vermeidung von Leitungsüberlasten gewährleistet sein muss, werden im Folgenden die beiden Ergebnis-Körper überlagert. Die zulässigen Betriebskonfigurationen befinden sich hier in der Schnittmenge der beiden Körper, dargestellt in **Bild 6**.



**Bild 6:**

In der Kombination beider Ergebnisse können diejenigen Wirk- und Blindleistungskombinationen, die weder zu einer Spannungsbandverletzung, noch zu einer Leitungsüberlastung führen als die Schnittfläche der von den jeweiligen Bahnen umschlossenen Fläche identifiziert werden.

## 2.4 Abtastung

Eine generalisierte analytische Berechnung scheint bislang nicht möglich, so dass eine numerische Berechnung vorgeschlagen wird. Hierbei wird die Hülle der jeweiligen Körper abgetastet und dadurch eine Liste von Punkten auf der Hülle erzeugt (Vertices), die in ihrer Gesamtheit als v-Polytop (Vertex-Polytop) bezeichnet wird. Die Darstellung eines Körpers als v-Polytop hat aber viele Nachteile. Insbesondere ist die Überprüfung, ob sich ein Punkt innerhalb des Körpers befindet sehr aufwändig. Ein v-Polytop kann allerdings in ein so genanntes h-Polytop (Halfspace-Polytop) überführt werden. Hierbei wird der  $n$ -dimensionale Körper durch  $(n-1)$ -dimensionale Hyperebenen abgegrenzt. Diese Hyperebenen können in

der Hesseschen Normalenform als Ungleichungen angegeben werden.

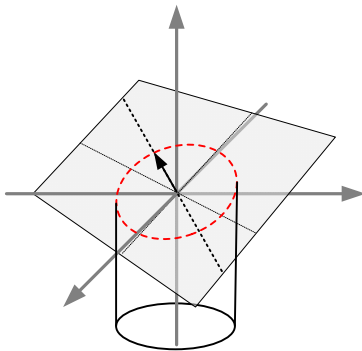
Im Folgenden wird näher auf die Bildung der v-Polytope beider Körper eingegangen.

Ausgehend von den Definitionen (1) und (2) werden die Körper der Spannungsbänder im Raum der komplexen Knotenspannungen wie folgt definiert:

$$\bar{U}_{i,\min} = U_{i,\min} \cdot e^{j\delta_i}; \quad 0 \leq \delta_i < 2\pi \quad (12)$$

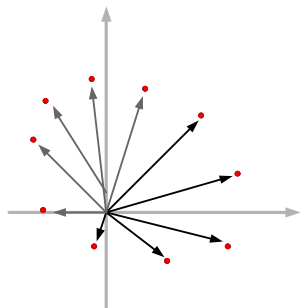
$$\bar{U}_{i,\max} = U_{i,\max} \cdot e^{j\delta_i}; \quad 0 \leq \delta_i < 2\pi \quad (13)$$

Die Argumente der komplexen Knotenspannungen werden in bestimmten Schrittweiten abgetastet und für jeden entstehenden komplexen Knotenspannungsvektor wird die entsprechende Leistung nach (4) berechnet. Somit ergibt sich ein v-Polytop im Raum der komplexen Nettoknotenscheinleistungen.



**Bild 7:** Schema der Schnitttrandabtastung

Die Abtastung des Körpers der Leitungsüberlastungsvermeidung bedarf eines Zwischenschritts. Da der in (11) beschriebene Schnitt des Körpers im Raum der komplexen Leitungsströme nicht analytisch durchgeführt werden kann muss dieser abgetastet werden.



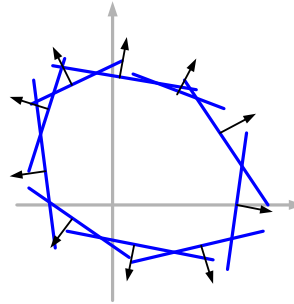
**Bild 8:** Prinzip eines Vertex-Polytops

Die Abtastung erfolgt innerhalb des von den ersten  $r$  Basisvektoren von  $\underline{U}$  aufgespannten Teilraums. Es wird für vorgegebene Richtungen der Schnittpunkt

mit der in (6) definierten Hülle berechnet (vgl. **Bild 7**).

Die so gebildeten Vertices, die auf dem Rand der Schnittmenge liegen, können dann in den Raum der komplexen Knotenspannungen übertragen werden, um anschließend die entsprechenden Nettoknotenscheinleistungen nach (4) zu berechnen.

Die entstandenen v-Polytope im Raum der komplexen Nettoknotenscheinleistungen können dann im Anschluss in h-Polytope überführt werden.



**Bild 9:** Prinzip eines Halfspace-Polytops

Da nur eine Schnittmenge der Körper die zulässigen Kombinationen von komplexen Nettoknotenscheinleistungen enthält, kann das Problem auf die Beschreibung dieser Schnittmenge reduziert werden, und somit ein Großteil der zuvor definierten Ungleichungen wieder eliminiert werden.

### 3 Diskussion

In den meisten Fällen kann auf die Information über die exakte Auslastung der Leitungen und die exakten Knotenspannungen verzichtet werden, wenn eine gesicherte Information darüber vorliegt, dass die Belastungskonfiguration die Randbedingungen nicht verletzt. Einer der Vorteile des hier vorgestellten Verfahrens ist die Realzeitfähigkeit. Dies ermöglicht es in vorher bekannter konstanter Zeit die Bewertung einer Belastungskonfiguration zu leisten. Darüber hinaus ermöglicht die Kenntnis der Form der Körper es, eine Annäherung an kritische bzw. unzulässige Betriebskonfigurationen frühzeitig zu erkennen. Sollte solch eine Entwicklung erkannt werden, können aus der Kenntnis der Hülle des Körpers Gegenmaßnahmen ermittelt werden. Hierbei besteht für die Reaktion maximale Freiheit, da praktisch alle möglichen Kombinationen bekannt sind.

Mögliche Einsatzszenarien neben der Verwendung in DEZENT sind z.B. in SmartGrids als Sicherheits-schicht, die die Einhaltung der Randbedingungen garantiert, oder als Hilfe zur Einschränkung von Suchräumen bei der Optimierung, sowie des Engpassmanagements und der Netzausbauplanung. Schnittstelle

zwischen Netzbetreiber und Netzbewirtschafter bzw. Betreiber eines virtuellen Kraftwerks.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde ein neuartiges Verfahren für die Analyse komplexer und hoch dynamischer Versorgungskonfiguration in Verteilnetzen vorgestellt. Das Verfahren ist im Rahmen des interdisziplinären F&E Projektes DEZENT zwischen der Fakultät Elektrotechnik und dem Fachbereich Informatik an der Universität Dortmund entwickelt worden. DEZENT befasst sich mit der Entwicklung eines dezentralen vernetzten Energiemanagementsystems auf der Basis eines verteilten adaptiven Realzeit-Multiagentensystems und wird seit 2005 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. Mit DEZENT soll sich eine Vielzahl dezentraler Energieumwandlungsanlagen unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Randbedingungen in ein regionales Netz integrieren lassen, so dass die zur Verfügung gestellte Leistung auch der Netzregelung zugänglich wird. Das Management des dezentral organisierten Energieversorgungsnetzes wird durch ein verteiltes adaptives sicherheitskritisches Realzeit-Multiagentensystem realisiert. Unter Verwendung dezentraler, realzeitfähiger Analysemechanismen kann der theoretische Nachweis geführt werden, dass die Führung und der Betrieb einer Vielzahl kooperierender, von Hause aus inkompatibler Systeme in kürzesten Zeitintervallen von nur 0.5s im stabilen Betrieb nicht nur möglich sondern auch, hinsichtlich Preis bzw. bereitgestellter Energie, günstiger ist als bei zentraler Führung [2,3,4,5,6]. Mit den vorgeschlagenen Betriebsintervallen im Millisekundenbereich lassen sich effizientere dynamische Regelenergiekonzepte realisieren, bei denen verteilte (Mikro-) Erzeuger die benötigte Reserveleistung und die bezogene Ausgleichenergie eines Netzes reduzieren. Der nächste Schritt ist die vollständige Führung eines realen Netzes durch das, in Simulationen bewährte, Agentensystem. Hierzu verwenden wir ein Netzmodell, in dem das Zusammenspiel verschiedener Erzeugertypen erprobt und die Auswirkungen auf das zugrunde liegende Netz an einer Vielzahl von Messstellen automatisch erfasst werden können. Hierzu ist das zur Verfügung stehende Netzmodell mit moderner Mess- und Kommunikationstechnik ausgestattet, die eine direkte Steuerung der einzelnen Generatoren durch das angeschlossene Rechnernetz gestattet. Als Generatoren stehen sowohl Wechselrichter, Asynchron- und Synchrongeneratoren zur Verfügung. Die Synchron- und Asynchrongeneratoren werden hierbei zur Nachstellung von Motor-BHKW und Mikroturbinen verwendet, wohingegen die Wechselrichter zur Simulation von Photovoltaik- und Brennstoffzellenanlagen dienen. Verbraucher können durch regelbare

Lasten nachgebildet werden. Das Ziel der Erprobung wird der Nachweis sein, dass das Multiagentensystem einen stabilen Versorgungsbetrieb des nachgestellten Netzbereichs ermöglicht, und unter bestimmten technischen Rahmenbedingungen auch einen stabilen Inselnetzbetrieb einzelner Teilnetze erlaubt.

## 5 Literatur

- [1] Adi Ben-Israel and Thomas N.E. Greville. **Generalized Inverses**, Theory and Application, Second Edition, Springer Verlag, 2002.
- [2] H. F. Wedde, S. Lehnhoff, E. Handschin and O. Krause. **Establishing Large-Scale Renewable Reserve Capacity through Distributed Multi-Agent Support**. In Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Informatics, Vienna, Austria, 2007-23-27 July. IEEE Computer Society Press.
- [3] H. F. Wedde, S. Lehnhoff, E. Handschin and O. Krause. **Dezentrale vernetzte Energiebewirtschaftung im Netz der Zukunft**. In Zeitschrift Wirtschaftsinformatik 6/2007, GWV Fachverlage GmbH, 2007-June.
- [4] H. F. Wedde, S. Lehnhoff, E. Handschin and O. Krause. **Real-Time Multi-Agent Support for Decentralized Management of Electric Power**. In Real-Time Systems, 2006. (ECRTS 2006). Proceedings. 18th Euromicro Conference on, Dresden, Germany, 2006-5-7 July. Euromicro, IEEE Computer Society Press.
- [5] H. F. Wedde, S. Lehnhoff, E. Handschin and O. Krause. **A Distributed Real-Time Multi-Agent System for Decentralized Management of Electric Power**. Technical Report (#809), University of Dortmund, ISSN 0933-6192, 2006-Feb.
- [6] **DEZENT – Official Project Homepage** at: <http://ls3-www.cs.uni-dortmund.de/Projects/Dezent>