

NeldnerConsult

Dregerhoffstraße 112

D 12557 Berlin Germany

Cell +49 (172) 32 72 22 0

Umsatzsteuer-ID-Nummer:

DE 276124776

Gutachten

Die Rolle der Verteilnetzbetreiber im Elektrizitätsversorgungssystem und ihr überproportional zunehmender Beitrag für Systemdienstleistungen bei der Umsetzung der Energiewende

– Fokus Technische Empfehlungen –

Ein Gutachten von NeldnerConsult- System-und Elektrizitätsnetzberatung,
im Auftrag und in enger Zusammenarbeit mit der MITNETZ STROM GmbH Halle
Berlin, den 23.3.2014

Danksagung

Ich danke der Bundesnetzagentur (BNetzA), der Mitteldeutschen Netzgesellschaft Strom mbH Halle (MITNETZ STROM), der 50Hertz Transmission GmbH (50Hertz), der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg, der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, der Technischen Universität Berlin, dem VDE FNN, der Eurogrid GmbH, der FGH, CORESO Brüssel und vielen weiteren Partnern für die vielfältigen Fachgespräche und für die Nutzungs- und Bewertungsmöglichkeiten von Daten und Systeminformationen.

Eine spezielle Danksagung ist Herrn Dr. Jens Zeidler als Mitautor gewidmet.

Dipl.-Ing. Wolfgang Neldner



Berlin, 23.3.2014

Inhaltsverzeichnis

Seite:

Formel- und Abkürzungsverzeichnis	IX
Größen und Bezeichnungen	IX
Abkürzungen	IX
1 Das Elektrizitätsversorgungssystem (EVS) mit seiner horizontalen (europäischen) und vertikalen (regionalen) Ausprägung	1
1.1 Der Status des EVS	1
1.1.1 Der Status der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB)	2
1.1.2 Der Status der VNB als regionaler Hauptkoordinator und multifunktionaler Kooperationspartner	4
1.2 Die Energiewende in Deutschland	6
1.2.1 Auswirkungen der Energiewende auf die „EVS-Grundformel“	6
1.2.2 Die aktuelle Stresssituation des (deutschen) EVS und deren Auswirkungen auf die operative Systemführung	12
1.2.3 Fünf wesentliche Herausforderungen für das Leistungsgleichgewicht im EVS	14
1.3 Mögliche Implikationen und Änderungserfordernisse für das EVS im Kontext von EU- und Energiewendeaspekten (Auswahl)	17
1.3.1 EU- Anforderungen	17
1.3.2 Grenzüberschreitende EVS-Aspekte	20
1.3.3 Marktmodell und Akteure des EVS	21
1.3.4 Konsequenzen aus verzögertem Netzausbau und Bau von Speicher- und Kraftwerkserweiterungen	24
1.3.5 Schlussfolgerungen für die Aus- und Weiterbildung des Betriebspersonals	25
1.4 Rechtlich-regulatorische Aspekte (Auswahl)	26
2 Die zunehmende Rolle großer Flächen-VNB als Koordinatoren, insbesondere unter den Sonderbedingungen des EVS im Nordosten der BRD	27
2.1 Der Status in Eckzahlen	27

2.2	Die gegenwärtigen Probleme im Netz großer Flächen-VNB mit hoher EE-Einspeisung	29
2.3	Der VNB als pro-aktiver und transparenter Akteur, sowie als Datenkoordinator für das Bilanzkreismanagement (BKM)	31
2.3.1	Datenbereitstellung, Prognosen und Dienstleistungen durch VNB	31
2.3.2	Last- und Einspeiseflexibilisierung	32
2.3.3	Allgemeine (steigende) Koordinierungsfunktion des VNB	32
2.3.4	Besondere IKT-Anforderungen beim VNB	33
3	Die Technischen Anforderungen an VNB mit Hauptschwerpunkt der Mitwirkung für die Systemsicherheit (im Nordosten Deutschlands)	35
3.1	Die technischen EVS-Grundanforderungen (an VNB)	35
3.1.1	Spezialanforderungen an vertikale Schnittstellen des VNB zum ÜNB und zu den Stadtwerken	38
3.1.2	Spezialanforderungen zum VNB-Netzausbau	40
3.2	Anforderungen bei der Mitwirkung der Flächen-VNB für die Systemsicherheit (Systemdienstleistungen – heute (Grundanforderungen) und morgen (Zusatzanforderungen))	41
3.2.1	Die Anforderung der Balancehaltung der Frequenz, die fünf wesentlichen Herausforderungen im Nordosten	43
3.2.2	Die Anforderung der Spannungshaltung	45
3.2.3	Anforderungen an eine zukünftige kombinierte Steuerungsfunktion an der Netzschnittstelle bezüglich Wirk- und Blindleistung	47
3.2.4	Die Anforderung zum Inselbetrieb und zum Wiederaufbau des Systems nach Teil- und Totalausfall („Schwarzstart“)	49
3.2.5	Weitere Systemdienstleistungen (System- und Netzschutz u.a.)	49
3.2.6	Die besonderen Anforderungen für das Energie-Informations-Netz (Bereitstellung von Stamm- und Echtzeitdaten)	50
4	Die Potenziale der VNB bei der Erfüllung der Anforderungen	53
4.1	Eine Abschätzung qualitativer Möglichkeiten, ausgehend vom Status quo und bezogen auf die Anforderungen nach Abschnitt 3	53
4.2	Eine Abschätzung von Potenzialen für einen Pilotcluster	53
4.2.1	Das Potential bei MITNETZ STROM für Wirkleistungsmanagementmaßnahmen	53
4.2.2	Das Potential bei MITNETZ STROM für die Spannungshaltung	57

4.2.3	Das Potential bei MITNETZ STROM hinsichtlich schwarzstartfähiger Kraftwerke	61
4.3	Empfehlungen zur Umsetzung ausgewählter Potenziale, einschließlich der erforderlichen Kooperation und Koordination mit anderen Akteuren, insbesondere den Nachbar-VNB, dem regelzonenverantwortlichen ÜNB und den Stadtwerken	61
4.3.1	Empfehlungen zum Netzausbau	61
4.3.2	Empfehlungen für die Schnittstelle des VNB zum ÜNB und zu den Stadtwerken/Weiterverteilern	61
4.3.3	Empfehlungen zur VNB-seitigen Mitwirkung bei heutigen und zukünftigen Maßnahmen des Wirkleistungsmanagements	62
4.3.4	Empfehlungen zur VNB-seitigen Mitwirkung bei heutigen und zukünftigen Maßnahmen der Spannungshaltung	63
4.3.5	Empfehlungen zum Schutz	64
4.3.6	Empfehlungen zum „Schwarzstart“/ Alternative elektrische Netzinseln	64
4.3.7	Empfehlungen zur IKT	65
4.3.8	Empfehlungen für Training und Weiterbildung	65
5	Fazit	69
6	Literaturverzeichnis	77
7	Abbildungsverzeichnis	79
8	Tabellenverzeichnis	81

... für nähere Informationen konsultieren Sie uns bitte !

5 Fazit

Wie eingangs ausgeführt: „Das Elektrizitätsversorgungssystem (EVS) ist nicht nur eine besondere Infrastruktur, es ist eine einzigartige Schlüsselinfrastruktur. Dies gilt im besonderen Maße für Deutschland als größtes und stärkstes EU-Mitgliedsland, vor allem aber als ausgeprägten Industrie- und Exportstandort.“

Seit der Energiewende im Jahr 2011 haben die Diskussionen und auch die gesetzgeberischen Aktivitäten – entgegen den Aussagen und dem Verständnis des letzten Energiekonzeptes der Bundesregierung vom September 2010 – allerdings weniger das Gesamtsystem und dessen robuste Funktionalität im Fokus, als nur einzelne Schwerpunkte.

Der Schwerpunkt im Analyseteil dieses Gutachtens war daher die Aufzeigung der Systemelemente des EVS und ihrer wesentlichen Zusammenhänge.

Einen besonderen Schwerpunkt nahmen dabei die Stabilitätsaspekte des EVS und die dafür jederzeit in höchster Qualität zu erbringenden Systemdienstleistungen ein. Mit der folgenden *Grundaussage I* wurde klargestellt, dass bei einem wesentlich größeren, aber nur gering ausgelasteten EVS systematisch deutlich höhere Anforderungen an die sichere Funktionalität gestellt werden müssen.

Grundaussage I (vgl. Abschnitt 1.2.1):

Mit dem Fortschreiten der Energiewende und dem damit verbundenen Einsatz von Naturenergien, die nur ein sehr geringes energetisches Vollzeitdargebot aufweisen können, wird ein erheblich größeres und leistungsstärkeres ÜNB- und VNB - Netz und ein viel umfangreicheres Netz- und Systemmanagement benötigt. Daraus folgen zusätzliche Anforderungen zur Gewährleistung der EVS-Funktionalität.

Im Gutachten wird erstmals deutlich unterschieden zwischen den - heute bestehenden - Grundanforderungen für Systemdienstleistungen und den absehbaren Zusatzanforderungen.

Es wird deutlich – vor allem ab Abschnitt 2 – das Verständnis und die Aufgabenverteilung der wichtigsten Akteure gezeigt. Dabei wird dargestellt, dass Anzahl und Einflussmöglichkeiten vieler EVS-Akteure sehr erheblich ansteigen, ohne dass das auch nur ansatzweise seinen Niederschlag in den rechtlich- regulatorischen Regelungen zur Erhaltung der Systemsicherheit seinen Niederschlag gefunden hätte.

Dabei ist hoch anzuerkennen, dass der im Mittelpunkt der Gesetzgebung und der zur öffentlichen Diskussion stehende bundesweite Netzausbau unverzichtbar und in der Tat sehr wesentlich für das Gelingen der Energiewende ist.

Allerdings ist gemäß der o.g. *Grundaussage I* die EVS-Funktionalität stärker im Gleichklang einzubeziehen.

Die Hauptlast liegt nach heutigem Rechtsverständnis allein bei den regelzonenverantwortlichen ÜNB und den jeweiligen VNB.

Im Gutachten wird aufgezeigt, dass diese Sicht aufzuweiten ist und zwar sowohl für die heutigen Grundanforderungen der Systemsicherheit als auch die zukünftig erforderlichen Zusatzanforderungen.

Dazu wurde folgende Aussage getroffen:

Grundaussage VII (vgl. Abschnitt 3.1):

Neben diesen Anforderungen an die Dimensionierung und Gestaltung der netztechnischen Anlagen ergeben sich zwangsläufig auch gestiegene Anforderungen an die Gewährleistung der Systemsicherheit, in diesem Gutachten als „Zusatzanforderungen für Systemdienstleistungen“ bezeichnet.

Auftragsgemäß lag der Schwerpunkt des Gutachtens dabei auf der zunehmenden Rolle der großen Flächen- VNB als besondere Koordinatoren und als Akteure, die zukünftig einen überproportionalen Beitrag für die Systemsicherheit erbringen können und müssen.

Diese Betrachtung wurde strikt unter dem Aspekt der Ganzheitlichkeit und der besonderen Anforderungen des EVS (Pkt. 3) durchgeführt.

Dazu gehört auch, dass im Gegensatz zu häufig anzutreffenden bundesweiten Durchschnittsbetrachtungen die Besonderheiten des deutschen EVS:

- unter den Bedingungen der Energiewende (Vorrang und bundesweiter physikalischer Ausgleich der erneuerbaren Energien);
- der bewährten Gliederung in vier Regelzonen und
- der dazu bestehenden (z. T. wenig bekannten) gesetzlichen Regelungen

speziell – für Deutschland in den Abschnitten 1.2 und 1.3 und für den Nordosten in den Abschnitten 3.1 und 3.2 – mit weiteren folgenden Grundaussagen herausgearbeitet wurden.

Grundaussage II (vgl. Abschnitt 1.2.1):

Die Energiewende ist durch eine ausgeprägte und zunehmende Asymmetrie des Erzeugungs-Nachfrage-Verhältnisses von Nord nach Süd geprägt. Diese Asymmetrie wird auch durch einen bundesweiten Netzausbau nicht beseitigt.

Grundaussage III (vgl. Abschnitt 1.3.1):

Basierend auf den Erfahrungen schwerer Netzstörungen großer Systeme ohne erhebliche Mengen von Naturenergien ist die Online-Bereitstellung, Auswahl und übergreifende Bewertung geeigneter Echtzeitdaten, die hinreichend genau die Robustheit, die Überlebensfähigkeit und Wiederherstellbarkeit des Elektrizitätsversorgungssystems beschreiben, von entscheidender Bedeutung.

Bei Systemen mit einer tatsächlich mehrheitlichen Leistungsbereitstellung aus stochastisch und naturgebundenen Energiequellen wie PV und Wind ist deshalb unverzüglich eine umfassende Echtzeitdatenbereitstellung aller Erzeugungen und wesentlicher Nachfragegruppen mit einer geeigneten Äquivalentierung für ein sicheres EVS unbedingt erforderlich.

Wie bereits erläutert, wird das Verständnis der Akteure und die zunehmende Rolle der großen Flächen-VNB, insbesondere im Abschnitt 2, in den Kontext des Handelns für das EVS und dessen Systemstabilität gestellt. Gerade im Lichte des (Mit-)Wirkens von immer mehr Akteuren wird diese notwendige Koordinatorenfunktion sehr deutlich an Bedeutung gewinnen. Der oftmals anzutreffenden Meinung, dass leistungsschwache Akteure vernachlässigt werden könnten, ist aus Sicht des Gutachters und basierend auf den Grundregeln großer elektrischer Systeme prinzipiell zu widersprechen. Mit der systematischen Verringerung leistungsstarker und systemsichernder Kraftwerke bei gleichzeitigem überproportionalen Anstieg vieler „kleiner“ Anlagen steigt systematisch der Stresspegel des EVS, vor allem aber nimmt die Wahrscheinlichkeit des Umschlagens einer der sehr häufigen Stresssituationen in eine schwere Störsituation zu.

Dabei – und dies ist mehrfach zu unterstreichen – geht es nicht um die Frage, wie sich das EVS verhält, wenn der o.g. bundesweite Netzausbau oder die Frage neuer systemsichernder Einrichtungen in der Zukunft geklärt sein werden.

Es geht um die Frage, wie heute, morgen und für den langen Transformationszeitraum bis zur Klärung von Netzausbau, Speicherung und neuen Erzeugungseinrichtungen die Systemsicherheit gewährleistet werden kann.

Grund-Basis aller kurzfristigen Lösungen ist eine umfassende Datenerfassung, Datenweiterleitung und Datenbewertung durch die zuständigen Akteure, und zwar im Sinne robuster Stamm- und Echtzeitdaten. Siehe dazu auch die o.g. *Grundaussage III*.

Diese Datenbewertung ist umso erfolgreicher, wie das harmonische Zusammenwirken aller EVS-Akteure gestaltet werden kann. Dazu werden im Gutachten folgende Aussagen getroffen:

Grundaussage IV (vgl. Abschnitt 1.3.1):

Zur Beherrschung des EVS in Stress-, Stör-, (Teil-)Ausfall- und Wiederaufbauphasen ist eine zunehmende Kooperation und Koordinierung neben der Verbundebene (zwischen den TSO's) als auch bei der vertikalen Zusammenarbeit erforderlich. Hierbei kommt großen Flächen-Verteilnetzbetreibern als „natürlicher Koordinator“ zwischen dem regelzonenverantwortlichen Übertragungsnetzbetreiber und der Vielzahl etablierter „klassischer“ Akteure (wie Bilanzkreisverantwortliche (BKV), Stadtwerke, Industrie, Haushalte und KMU) und auch einer Vielzahl neuer Akteure (neue Stadtwerke, Energiegenossenschaften, Eigenerzeuger) eine überragende Bedeutung zu.

Grundaussage V (vgl. Abschnitt 1.3.3):

Für EVS mit einem mehrheitlich und tatsächlich bereitgestellten Naturstromanteil bei gleichzeitig verlässlich abzusichernder Elektrizitätsnachfrage ist es zwingend erforderlich, für die Systembeherrschung mittels echtzeitbasierter Kooperation der Akteure hoch entwickelte und abgeschirmte Informations- und Kommunikationssysteme (IKT) einzusetzen. Dem Flächen-VNB kommt dabei - als Bindeglied der wichtigsten EVS-Akteure und auch als natürliche Redundanz des regelzonenverantwortlichen ÜNB in der Region – eine besondere koordinierende Funktion zu.

Die Fragen der Systemsicherheit sind untrennbar mit den Kenntnissen, Fähigkeiten und dem Handeln des operativen Personales aller EVS-Akteure verbunden.

Auf der rechtlich-regulatorischen Ebene besteht unverständlicher Weise eine ganze Reihe von schweren Defiziten. Beispielsweise können genannt werden:

- die ausstehende Novellierung des Energiesicherungsgesetzes aus dem Jahr 1975 einschließlich zugehöriger Verordnungen;

- die Tatsache, dass seit 2005 nur Netzbetreiber einer Betriebsgenehmigung bedürfen, die Mehrheit der EVS-Akteure also keine ausreichende personelle Leistungsfähigkeit nachweisen müssen;
- die Frage unternehmensübergreifender Trainings weder normiert noch vorgegeben ist, einschließlich einer fehlenden regulatorischen Anerkennung diesbezüglichen Präventions- und Vorsorgeaktivitäten

Dazu wurde folgende Aussage herausgearbeitet:

Grundaussage VI (vgl. Abschnitt 1.3.5):

Bei einer absehbaren Fortführung des EEG-basierten Ausbaues der EE, einer gleichzeitigen Drosselung oder Stilllegung zur Systemsicherheit beitragender konventioneller KW- und PSW-Kapazitäten und einem anhaltend in der Wirksamkeit gedämpften bundesweiten Netzausbau kommt es systematisch zur deutlichen Zunahme von Stress- und Restriktionsbetriebsphasen.

Daraus folgt direkt die Notwendigkeit umfassender Aus- und Weiterbildungen des operativen Personales.

Diese sind vorzugsweise um unternehmensübergreifende und extern durchzuführende Trainings auf normierter Grundlage und an zertifizierten Ausbildungsstätten zu ergänzen. Die regulatorische Anerkennung und die gesetzliche Festschreibung in der Energiesicherungsverordnung sind forciert weiterzuführen.

Nach der ausführlichen Analyse der Situation des EVS und der Herausarbeitung der anstehenden (Systemsicherheits-)Herausforderungen für das Gesamtsystem (siehe u.a. Abschnitt 1.2.3) und für die Situation im Nordosten (Regelzone von 50Hertz Transmission GmbH), dargestellt u.a. im Abschnitt 3.2.1 ff werden am Beispiel eines Pilotclusters der MITNETZ STROM in Sachsen/Anhalt **Potenziale eines Beispiel-VNB** dargestellt.

Auch hier wird zunächst ganz grundsätzlich die Notwendigkeit des Netzausbaues betont, allerdings erneut im systematischen Zusammenhang mit der Systemsicherheit und den dafür zu erbringenden Systemdienstleistungen:

Grundaussage VIII (vgl. Abschnitt 3.1.2):

Der Netzausbau der Flächen-VNB ist eine entscheidende Säule bei der wirksamen Umsetzung der Energiewende, insbesondere in den Regionen mit einem hohen Naturstromaufkommen, wie es weite Teile des neuen Bundesgebietes verkörpern.

Dabei ist der besondere Zusammenhang zwischen der Notwendigkeit steigender SDL-Erbringung und des auch damit verbundenen deutlichen Netzausbaus als Grundlage der Erbringung unbedingt zu beachten.

Schwerpunkte der Potenzialbetrachtungen für die Erbringung von Systemdienstleistungen in der Qualität von Grund-oder auch Zusatzanforderungen sind:

- (Mit-) Wirkungsmöglichkeiten beim Wirkleistungsmanagement in der Ganzheitlichkeit von Erzeugung, Speicherung und Verbrauch;
- (Mit-) Wirkungsmöglichkeiten bei der Spannungshaltung und dem Blindleistungsmanagement.

Auf das notwendige Zusammenwirken mit anderen EVS-Akteuren, insbesondere den regelzonenverantwortlichen ÜNB wird unter Berücksichtigung der rechtlich-regulatorischen Regelungen eingegangen.

Ausgehend von den Potenzialbetrachtungen erfolgen Empfehlungen zur Umsetzung ausgewählter Potenziale.

Dabei liegt der Schwerpunkt einerseits auf Aktivitäten, die im vorhandenen rechtlich-regulatorischen Rahmen möglich sind, andererseits aber auch auf Aktivitäten, die den vorhandenen Rechtsrahmen so erweitern und anpassen können, dass er den realen Erfordernissen für eine volle Funktionalität des EVS wieder gerecht werden könnte.

Bei deren Umsetzung kommt nach Auffassung des Gutachters den großen Flächen-VNB in enger Abstimmung mit den ÜNB, den Stadtwerken und sonstigen VNB und EVS-Akteuren eine zunehmende und entscheidende Koordinatorenfunktion im jeweiligen Zuständigkeitsbereich zu.

Dies erklärt sich vor allem durch folgende - im Gutachten dargestellte - Aspekte:

- die Anzahl der EVS-Akteure steigt deutlich, vorrangig im VNB-Bereich;
- seit Etablierung des Elektrizitätsmarktes entstand eine zunehmend eigenständige und ebenfalls zunehmende Geschäftswelt des Elektrizitätshandels, vorrangig im VNB-Bereich ;
- mit der EEG-Novellierung wurden neue Akteure und Vertriebskanäle generiert, vorrangig im VNB-Bereich;

- zunehmend entstehen „Kombinations-Akteure“, die Aspekte der Erzeugung, der Verteilung und des Verbrauches sowie z.T. auch bereits der Speicherung vereinen (vgl. Abbildung 19), ebenfalls absolut vorrangig im VNB Bereich.

Selbstverständlich – und dies ergibt sich aus den physikalischen Gesetzmäßigkeiten großer elektrischer Systeme – ergeben sich aus den vielfältigen Zusatzanforderungen auch weitere Aufgaben für alle anderen Akteure, insbesondere die ÜNB, die die gesetzlich verankerte Verantwortung für die Regelzone, für den deutschen und europäischen Verbundbetrieb und für die übergreifenden EEG- und Bilanzkreisaspekte haben.

Einen besonderen Stellenwert nahmen die Aspekte des operativen Personales und dessen Weiterbildung und Training ein.

Aus Sicht des Gutachters ist es dringend erforderlich, dass die diesbezügliche Sicherheitskultur, z.B. von MITNETZ STROM als sehr großer Flächen-VNB und von 50Hertz als ÜNB, unternehmensübergreifend und mit voller regulatorischer Anerkennung, auf alle EVS-Akteure ausgedehnt werden können.

Insgesamt zusammenfassend kann konstatiert werden, dass es entscheidend ist, dass in der sehr viele Jahre andauernden Transformation das Elektrizitätssystem seine Stabilität und damit Versorgungssicherheit für den Wirtschaftsstandort Deutschland und Europa bewahren kann.



Diplom- Ingenieur Wolfgang Neldner

Berlin, den 23.3.2014

Gutachten von NeldnerConsult:

Die Rolle der Verteilnetzbetreiber im Elektrizitätsversorgungssystem und ihr überproportional zunehmender Beitrag für Systemdienstleistungen bei der Umsetzung der Energiewende
- Fokus Technische Empfehlungen -

6 Literaturverzeichnis

- [1] Europäische Union: Vertrag über die Arbeitsweise der EU, zuletzt geändert durch Art.2 Vertrag von Lissabon vom 13.12.2007, in Kraft seit 1.12.2009, Bek. vom 24.11.09 (BGBl. II S. 1223); Entnahme am 10.12.2013 unter <http://dejure.org/gesetze/AEUV>
- [2] Bundesgesetzblatt: Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 4 des Gesetzes vom 4. Oktober 2013 (BGBl. I S. 3746) geändert worden ist" EnWG
- [3] Bundesnetzagentur: Bestätigung des Szenario Rahmens zur Erstellung des Netzentwicklungsplanung Gas gem. § 15a Abs. 1 Satz 7 EnWG (Az. 8615-NEP Gas 2014-Bestätigung Szenario Rahmen)
- [4] Bundesgesetzblatt: Verordnung über den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen (Stromnetzzugangsverordnung - StromNZV) vom 25.7.05, BGBl I, S.2243, Abschnitt 2, §6 (2)
- [5] Europäisches Parlament: Bericht über aktuelle Herausforderungen und Chancen für erneuerbare Energieträger auf dem europäischen Energiebinnenmarkt (2012/2259(INI)), Ausschuss für Industrie, Forschung und Energie, Berichterstatter: Herbert Reul
- [6] Bundesgesetzblatt: Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen (Energieleitungsausbaugesetz - EnLAG); Energieleitungsausbaugesetz vom 21. August 2009 (BGBl. I S. 2870), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 23. Juli 2013 (BGBl. I S. 2543) geändert worden ist
- [7] Bundesgesetzblatt: Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG); Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S. 1690), das durch Artikel 4 des Gesetzes vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2730) geändert worden ist
- [8] Wolfgang Neldner: Der Systemstabilisator, Studie vom 31.1.2012; www.neldnerconsult.eu
- [9] Wolfgang Neldner: Nutzungsnotwendigkeiten von Pumpspeicherwerken als bipolare Systemstabilisatoren, Studie vom 30.9.2012, www.neldnerconsult.eu
- [10] Bundesgesetzblatt: Verordnung über die Anreizregulierung der Energieversorgungsnetze (Anreizregulierungsverordnung - ARegV); Anreizregulierungsverordnung vom 29. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2529), die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3250) geändert worden ist
- [11] Bundesnetzagentur: Bericht zum Zustand der leitungsgebundenen Energieversorgung im Winter 2012/13; 20. Juni 2013; Entnommen am 13.12.2013 unter http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2013/130620_Netzbericht_Winter2012-2013.pdf?__blob=publicationFile&v=9
- [12] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): dena-Verteilnetzstudie. Ausbau- und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030, Berlin, 12/2012, entnommen am 10.01.2013 unter

http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Energiesysteme/Dokumente/dena-VNS_Abschlussbericht.pdf

- [13] Verband der Netzbetreiber VdN e.V. beim VDEW: Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber (Transmissioncode 2007); Version 1.1, August 2007
- [14] DNV KEMA: Spannungshaltung im Übertragungsnetz unter dem Einfluss hoher dezentraler Energieerzeugung; Vortrag am 29.8.12 in Hamburg (SoS- Konferenz der 50Hertz)
- [15] BDEW und VKU: Gemeinsame Positionen zum Marktdesign der Zukunft; entnommen am 13.12.2013 unter <http://www.bdew.de/internet/>
- [16] MITNETZ STROM: statistische Auswertung von Netzdaten; Stand 12/2013
- [17] Anna Gruber, Serafin von Roon, Christoph Pellingner, Tim Buber, Tobias Schmid: „Lastflexibilisierung in der Industrie in Konkurrenz zu weiteren funktionalen Speichern“; Beitrag im Rahmen des VDI Expertenforum: Wie „smart“ managen wir Energie wirklich?; März 2013
- [18] Dr. Marian Klobasa: „Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten“; Dissertation; ETH Zürich 2007
- [19] BDEW und VKU: Praxis-Leitfaden für unterstützende Maßnahmen von Stromnetzbetreibern Kommunikations- und Anwendungs-Leitfaden zur Umsetzung der Systemverantwortung gemäß §§ 13 Abs. 2, 14 Abs. 1 und 14 Abs. 1c EnWG; Berlin, 12. Oktober 2012
- [20] Bundesgesetzblatt: Verordnung zu Systemdienstleistungen durch Windenergieanlagen (Systemdienstleistungsverordnung - SDLWindV); zuletzt geändert durch Art. 4 G v. 28.7.2011 I 1634
- [21] Bundeswirtschaftsminister Sigmar Gabriel: Eckpunkte für die Reform des EEG; Berlin, 21. Januar 2014; entnommen am 17.03.2014 unter <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eeg-reform-eckpunkte.property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de.rwb=true.pdf>
- [22] Bundesregierung Deutschland: Deutschlands Zukunft gestalten - Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD; 18. Legislaturperiode entnommen am 17.03.2014 unter <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/koalitionsvertrag-inhaltsverzeichnis.html>
- [23] Deutsche Energie Agentur (dena): Studie Systemdienstleistungen 2030 - Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien, Februar 2014
- [24] Bundesgesetzblatt: Gesetz zur Sicherung der Energieversorgung (Energiesicherungsgesetz 1975); Energiesicherungsgesetz 1975 vom 20. Dezember 1974 (BGBl. I S. 3681), das zuletzt durch Artikel 164 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407) geändert worden ist

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ausbau erneuerbarer Energien in der Regelzone von 50Hertz; Quelle: 50Hertz Transmission GmbH	1
Abbildung 2	Gesamtübersicht der (System-)Zuständigkeiten im EVS einschließlich einiger verbindender Systemparameter	2
Abbildung 3	Gesamtübersicht zur Systemsicherheit; Quelle: 50Hertz Transmission GmbH.....	3
Abbildung 4	Das ENTSO-E-System – in Deutschland vier regelzonenverantwortliche Übertragungsnetzbetreiber; Quelle: 50Hertz Transmission GmbH.....	4
Abbildung 5	Der Verteilnetzbetreiber als regionaler Hauptkoordinator	5
Abbildung 6	Schema des deutschen EVS	6
Abbildung 7	Befriedigung der Nachfrage durch Erzeugung – klassisches Prinzip der Bedarfsdeckung.....	7
Abbildung 8	Befriedigung der Nachfrage durch Erzeugung bis zum Jahr 2004	8
Abbildung 9	Befriedigung der Nachfrage durch Erzeugung zukünftig	9
Abbildung 10	Zusammenhang der Leistungs- und Energiebilanz im EVS der "Naturstrom-Ära".....	10
Abbildung 11	Entwicklung der Windkraft in Deutschland [in GW] – eine ausgeprägte Nord-Süd-Asymmetrie.....	11
Abbildung 12	Bereits erfolgte und weitergeplante Abnahme der konventionellen Erzeugung in Deutschland bis 2030 (Szenario „verschärfter Atomausstieg“), Quelle: Prognos AG 2011	12
Abbildung 13	Bereits erfolgte und weiter geplante Zunahme der Erzeugung aus Erneuerbaren Energien und zugehöriger Anteil der gesicherten Leistung bis 2030 , Quelle: Prognos AG	13
Abbildung 14	Änderung der System- und Betriebsfälle mit Änderung der Erzeugung im EVS	14
Abbildung 15	Die fünf Herausforderungen für die Systemstabilität bei der Leistungsbilanz, allgemein in Deutschland	15
Abbildung 16	Die naturabhängige EE-Produktion führt zu rasanten dynamischen Vorgängen - tagtäglich und zunehmend; Quelle: CORESO und NeldnerConsult.....	16
Abbildung 17	Prinzip Europa – Status Quo	18
Abbildung 18	Das deutsche Höchstspannungsnetz als Teil des Europäischen Verbundsystems (ENTSO-E); Quelle VDE FNN	20
Abbildung 19	Übersicht der Akteure im Markt und im physikalischen Betrieb.....	23
Abbildung 20	Haupt-Akteure im Netzgebiet der Mitteldeutschen Netzgesellschaft Strom mbH (MITNETZ STROM); Quelle: MITNETZ STROM	23
Abbildung 21	Hohe Stromgestehungskosten verschiedener Stromspeicher verhindern realen Einsatz; Quelle: DLR/Fraunhofer IWES.....	24

Abbildung 22	Zunahme des Bedarfs und der Kosten von SDL bei ÜNB und VNB in Deutschland.....	25
Abbildung 23	Die Zusammenarbeit der ÜNB und VNB gewinnt immer mehr an Bedeutung; Quelle: 50Hertz Transmission GmbH und MITNETZ STROM	27
Abbildung 24	Strombedingte Redispatch-Maßnahmen im Winterhalbjahr 2012/13 auf den am stärksten betroffenen Netzelementen im deutschen Übertragungsnetz; Quelle: Bundesnetzagentur [11]	28
Abbildung 25	Eckzahlen bei MITNETZ STROM; Quelle: MITNETZ STROM	29
Abbildung 26	Zunahme der NSM-Abregelvorgänge bei MITNETZ STROM wegen Engpässen im eigenen Netz (orange) und auf Veranlassung von 50Hertz (gelb); Stand Dezember 2013, Quelle: MITNETZ STROM	30
Abbildung 27	natürliche, systembedingte Funktion des Flächen-VNB als „Koordinator“	32
Abbildung 28	Zusammenwirken der EVS-Akteure bezüglich der Notwendigkeit der Echtzeit-Kommunikation.....	34
Abbildung 29	Interaktion der Akteure als Funktion der tatsächlichen EE-Einspeisung.....	34
Abbildung 30	Einordnung eines Pilot-Netzclusters im Netzgebiet der MITNETZ STROM – Wirksamkeit der Systemdienstleistungen für das Gesamtsystem wird durch viele Faktoren definiert.....	36
Abbildung 31	Pilot-Netzcluster “Netzgebiet Sachen-Anhalt” der MITNETZ STROM	37
Abbildung 32	Steigende Einspeiseleistung und sinkende Last bei MITNETZ STROM gesamt; Quelle: MITNETZ STROM.....	37
Abbildung 33	Ergebnisse des Netzausbauplan 2013 der ostdeutschen Flächennetzbetreiber; Quelle: MITNETZ STROM und beteiligte Flächennetzbetreiber Ostdeutschland	40
Abbildung 34	Übersicht zur Zuordnung der Erbringung von Systemdienstleistungen (SDL); Quelle: MITNETZ STROM.....	42
Abbildung 35	Wirkleistungserfordernisse in der 50Hertz-Regelzone bezogen auf die MITNETZ STROM.....	43
Abbildung 36	Blindleistungsmanagement in den Verteilnetzebenen bei MITNETZ STROM mit Fokus auf die Netzschnittstelle zum ÜNB; Quelle: MITNETZ STROM	46
Abbildung 37	Prinzip des sich einstellenden P/Q-Arbeitspunktes an einer Netzschnittstelle (Rückspeiseszenario).....	47
Abbildung 38	Möglichkeit der Arbeitspunktverschiebung basierend auf §13 EnWG (Prinzipdarstellung hier Bezugsszenario)	48
Abbildung 39	Summenhäufigkeit der Erzeugungsleistung eines SDL-fähigen Windparks (geordnete Jahresganglinie).....	59