

Johann Jäger · Christian Romeis
Edmond Petrossian

Duale Netzplanung

Leitfaden zum netzkompatiblen Anschluss
von dezentralen Energieeinspeiseanlagen

Duale Netzplanung

Johann Jäger · Christian Romeis ·
Edmond Petrossian

Duale Netzplanung

Leitfaden zum netzkompatiblen Anschluss
von dezentralen Energieeinspeiseanlagen

 Springer Vieweg

Johann Jäger
Erlangen, Deutschland

Edmond Petrossian
Erlangen, Deutschland

Christian Romeis
Erlangen, Deutschland

ISBN 978-3-658-12729-9
DOI 10.1007/978-3-658-12730-5

ISBN 978-3-658-12730-5 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Lektorat: Dr. Daniel Fröhlich

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Vorwort

Elektrische Energieversorgung gehört zur unverzichtbaren Grundversorgung moderner zivilisierter Gesellschaften. Elektrische Netze haben die Aufgabe, die elektrische Energie zu übertragen und zu verteilen. Die Abhängigkeit einer Gesellschaft, die Stromkunden mit elektrischer Energie höchst zuverlässig und sicher zu versorgen, ist grundlegend. Die Folgen von Versorgungsunterbrechungen wurden in einem Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des deutschen Bundestages Drucksache 17/5672 bereits im Jahre 2011 erörtert. Dort wird festgestellt, dass großflächige und längerfristige Stromausfälle aufgrund der großen Abhängigkeit nahezu aller kritischen Infrastrukturen einer nationalen Katastrophe sehr nahe kommen. Ein unkoordinierter Umgang mit der Netzinfrastruktur der elektrischen Versorgung birgt daher per se ein überaus ernstes Gefahrenpotential für die gesellschaftliche Ordnung.

Der Betrieb der elektrischen Energieversorgungsnetze basiert auf einem zeitlich andauernd vorhandenen Gleichgewicht von Einspeisung und Last. Netze an sich können faktisch keine elektrische Energie speichern. Da die Last üblicherweise nicht konstant ist und sich bei Lastzuschaltungen oder -abschaltungen sprunghaft ändern kann, muss die Einspeisung binnen Sekunden der Last nachgeführt werden. Dieser sogenannte Lastfolgebetrieb wird mit der Einspeisung von bedarfsgerecht regelbaren Kraftwerken auf Basis vorhaltbarer Primärenergieträger erreicht. Bisher sind dazu überwiegend sowohl fossile als auch nukleare Primärenergieträger im Einsatz. Bedarfsgerecht regelbare Kraftwerke verfügen damit über einen hohen Anteil an gesicherter Leistung. Diese Leistung ist rund um die Uhr mit höchster Wahrscheinlichkeit im Bereich von > 99,99 % verfügbar. Weiterhin ist die Einhaltung physikalischer und technischer Grenzen der Übertragungsfähigkeit der Betriebsmittel für einen zuverlässigen Netzbetrieb elementar. Große Kraftwerkseinheiten werden daher bisher vorzugsweise nahe an Lastschwerpunkten aufgestellt.

Elektrische Netzplanung ist eine Kerndisziplin der elektrischen Energieversorgung. Sie trägt seit Jahrzehnten maßgeblich zu der im weltweiten Vergleich nahezu zuverlässigsten Elektrizitätsversorgung in Deutschland bei. Nur eine strategische Netzplanung führt langfristig zu wirtschaftlich und umweltverträglich betreibbaren Netzen. Dabei muss immer die Einfachheit, Klarheit und Robustheit der zum Einsatz kommenden technischen Systeme und Strukturen im Vordergrund stehen. Dies muss auch für zukünftige Netze gelten.

Regenerative Energieeinspeiseanlagen (REA) wie Windkraft- oder Photovoltaikanlagen speisen ihre elektrische Energie zeitlich stochastisch ins Netz ein und sind nur unzureichend bedarfsgerecht steuerbar. Der Anteil der gesicherten Leistung an der installierten Leistung von REA ist sehr gering. Die installierte Leistung von REA ist daher grundsätzlich von der installierten Leistung bedarfsgerecht regelbarer Kraftwerke zu unterscheiden. Bestehende bedarfsgerecht regelbare Kraftwerksanlagen sind durch REA an sich nicht zu ersetzen. Das regenerative Energiedargebot, wie beispielsweise das örtliche Windaufkommen, bestimmt den Aufstellungsort von REA und nicht die Übertragungsfähigkeit der Betriebsmittel vor Ort oder die Lastschwerpunkte. Daher ist im ersten Ansatz der Anschluss von REA nicht netzdienlich und die bestehenden Netze verlieren zunehmend ihr bisherig hohes Zuverlässigkeitsniveau.

Um einen signifikanten gesamtsystematischen Mehrwert mit dem Anschluss von REA zu erreichen, muss der Zubau von REA ein integraler Bestandteil der strategischen Netzplanung sein. Zudem müssen neue Netzformen, die sogenannten Einspeisenetze, die ein Zusammenfassen vieler REA zu einem gemeinsamen Netzanschlusspunkt darstellen, geplant werden. Auch ist die installierte Leistung von REA netzplanerisch völlig anders zu bewerten als bei konventionellen Kraftwerken. Der Anschluss von REA an das elektrische Versorgungsnetz stellt daher die klassische Netzplanung vor neue Herausforderungen. Diesen muss durch die Weiterentwicklung der Planungsmethoden und der Denkweisen begegnet werden.

Dazu wird im vorliegenden Buch die „Duale Planungsmethodik“ eingeführt. Diese sieht zunächst eine separate Betrachtung der vorhandenen Versorgungsnetze und der neuen Einspeisenetze vor. So können beide Netze zunächst getrennt voneinander nach ihren individuellen Anforderungen und Randbedingungen analysiert und geplant werden. Daran anschließend erfolgt die Anschluss- und Ausbauplanung. Die bestehenden Netze behalten so ihre bisherig hohe Zuverlässigkeit bei und der Anschluss der REA ist langfristig wirtschaftlich und umweltverträglich. Zudem können die unverrückbaren Gesetze der Physik in der Netzplanung umfassend beachtet werden.

In diesem Zusammenhang standen uns elektrische Netzdaten und Pläne eines Landkreises in Bayern mit ausgeprägter Nutzung von REA zur Verfügung. Für sämtliche Betrachtungen der Fallstudie in Kap. 4 wurden diese realen Daten verwendet. Die installierte REA-Leistung aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen überstieg dort die lokale elektrische Last um das Vielfache. Dies machte ein stringentes strategisches Vorgehen beim Netzanschluss der REA sowohl auf der Verteilungs- als auch Übertragungsebene unabdingbar. Dazu wurde die Duale Planungsmethodik angewendet. Das vorliegende Buch ist als Leitfaden konzipiert und kann aufgrund der erzielten Ergebnisse auch Pilotfunktion für andere Regionen übernehmen.

Nach zahlreichen Gesprächen und Diskussion der Planungsergebnisse mit dem dort ansässigen Netzbetreiber wurde jedoch klar, dass sich die derzeitigen Netzausbaumaßnahmen zum Anschluss der REA nicht an den Regeln einer strategischen Netzplanung orientieren können. Der aktuelle Netzausbau findet überwiegend operativ statt. Die Gründe hierfür sind hoher Zeitdruck der Betreiber und Investoren von REA sowie gesetzliche

Vorgaben, die ein strategisches Vorgehen weitgehend verhindern. Kurzfristig ist so ein Netzbetrieb nur dank der in der Vergangenheit ausreichend eingeplanten Netzreserven möglich. Mittel- und langfristig macht dies das Versorgungsnetz technisch suboptimal und unwirtschaftlich. Zudem stellen die REA keine gesicherte Leistung zur Verfügung. Folglich können anderenorts keine konventionell fossil oder nuklear betriebenen Kraftwerksanlagen dauerhaft abgeschaltet werden. Andererseits verteuert sich die Bereitstellung von gesicherter Leistung durch konventionelle Kraftwerke aufgrund sinkender Einspeisemengen an elektrischer Energie und führt so gegebenenfalls zu deren Abschaltung.

Diese Entwicklung ist daher neu auszurichten. Das Ziel der zukünftigen Entwicklung muss sein, den geltenden Einspeisevorrang von REA durch eine wachsende Einspeiseverantwortung der REA für das Gesamtsystem schrittweise abzulösen. Im Einzelnen sind folgende Aspekte aus netzplanerischer Sicht festzuhalten:

- Der Anschluss von REA an das Versorgungsnetz muss integraler Bestandteil der strategischen Netzplanung in allen Netzebenen sein.
- Die Zeitschiene des Zubaus an REA muss mit den Planungszeiträumen eines strategischen Netzausbaus abgestimmt sein.
- REA müssen zukünftig mit Hilfe von Energiespeichern gesicherte Leistung für den Lastfolgebetrieb zur Verfügung stellen.
- Die Bereitstellung gesicherter Leistung aus konventionellen Kraftwerken muss weiterhin unterstützt werden.
- Die Deregulierung der Energieversorgungsunternehmen darf den notwendigerweise gesamtsystemischen Ansatz des REA-Anschlusses durch neu geschaffene strukturelle Schnittstellen in den Unternehmen nicht behindern.

Die Arbeiten zu diesem Buch wurden im Rahmen des Forschungsprojektes TUT01UT-62790 „Neue Methoden der elektrischen Netzplanung zur nachhaltigen Anbindung von Windkraftanlagen im Binnenland“ durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz finanziell gefördert.

Die Verfasser danken auch dem Springer-Verlag für die Verlegung und sorgfältige Ausführung dieses Buches. Ein besonderer Dank gilt Herrn M. Sc. Alexander Karl für die Erstellung der zahlreichen Bilder und Grafiken sowie der Anonymisierung der Netzdaten. Wir wünschen dem Buch eine gute Aufnahme bei den Ingenieuren der Praxis, den Umweltschutzbeauftragten und den Studierenden technischer Fachrichtungen, insbesondere der Energietechnik sowie der Elektrotechnik. Wir erhoffen uns damit auch einen Beitrag zum Umweltschutz und zur Ressourcenschonung geleistet zu haben.

Erlangen, im Dezember 2015

Edmond Petrossian
Christian Romeis
Johann Jäger

Abkürzungsverzeichnis

EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EHV	Extra High Voltage (dt.: Höchstspannungsnetz)
EVU	Energieversorgungsunternehmen
HS	Hochspannung
MS	Mittelspannung
NS	Niederspannung
PV	Photovoltaik
REA	Regenerative Energieeinspeiseanlage
UW	Umspannwerk
WKA	Windkraftanlage
WKA-VG	Windkraftanlagen-Vorranggebiet

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung, Problemstellung und Notwendigkeit	1
2	Netzplanung	3
2.1	Allgemein	3
2.2	Planungsmethoden	6
2.2.1	Operative Planung	6
2.2.2	Strategische Planung	6
2.3	Netzarchitektur und Greenfield-Planung	8
	Literatur	13
3	Duale Planungsmethodik	15
3.1	Grundlagen	15
3.2	Planung des bestehenden EVU-Netzes	18
3.2.1	Informationssammlung	18
3.2.2	Netzanalyse	20
3.2.3	Planung des Ziel-Netzes	21
3.2.4	Netzberechnungen	23
3.3	Planung der Einspeisenetze	24
3.3.1	Einspeisesituation	25
3.3.2	Möglichkeiten des direkten Netzanschlusses	26
3.3.3	Gestaltung der Einspeisenetze	26
3.3.4	Netzberechnungen	39
3.4	EVU/REA-Anschluss- und Ausbauplanung	39
3.4.1	EVU/REA-Anschlussplanung	40
3.4.2	EVU/REA-Ausbauplanung	42
3.4.3	Netzberechnungen	44
	Literatur	45
4	Anwendung der Dualen Planungsmethodik	47
4.1	Informationssammlung des Netzgebietes im Modelllandkreis	47
4.1.1	Struktur der elektrischen Energieversorgung	48

4.1.2	Nutzung der Windkraft im Modelllandkreis	51
4.1.3	Nutzung der Photovoltaik im Modelllandkreis	53
4.2	EVU-Netzanalyse und EVU-Netzplanung	55
4.2.1	EVU-Netzanalyse des Umspannwerks EVU2	56
4.2.2	EVU-Netzplanung – Operative REA-Anschlussplanung	61
4.2.3	EVU-Netzanalyse des Umspannwerks EVU6	68
4.2.4	EVU-Netzplanung – Operative REA-Anschlussplanung	72
4.3	REA-Einspeisenetzplanung	77
4.4	EVU/REA-Anschluss- und Ausbauplanung	77
4.4.1	EVU/REA-Anschlussplanung	78
4.4.2	EVU/REA-Ausbauplanung des 110-kV-Netzes	89
	Literatur	95
5	Schlussfolgerungen	97
	Anhang	99
	Sachverzeichnis	105

Die Netze der elektrischen Energieversorgung erfahren einen stetig wachsenden Zubau an Regenerativen Energieeinspeiseanlagen (REA). Die Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen auf dem Gebiet der REA und deren netzkompatible Anbindung haben seither ebenfalls zugenommen. Im Zuge dessen hat das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz das Forschungsprojekt „Neue Methoden der elektrischen Netzplanung zur nachhaltigen Anbindung von Windkraftanlagen im Binnenland“ initiiert. Die Ergebnisse dieses Projektes bilden die Grundlagen des vorliegenden Buches. Die dabei erarbeiteten Methoden der Netzplanung wurden auf das Versorgungsnetz eines bayerischen Landkreises angewandt, in dem ein massiver Zubau an REA in den letzten Jahren zu verzeichnen war. Die Nutzung der Windkraft und der Photovoltaik haben daran den größten Anteil. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Vertraulichkeit wurden alle Netzdaten und topographischen Gegebenheiten in eine äquivalente Modellregion überführt.

Der Zubau an REA in bestehende Netze der Verteilungsebene wirft immer die Frage nach einer geeigneten technischen und strukturellen Anbindung auf. Die bestehenden Netze sind meist unter den Prämissen Zuverlässigkeit, Reserve und Wirtschaftlichkeit geplant worden. Einfachheit, Klarheit und Robustheit der zum Einsatz kommenden technischen Systeme und Strukturen standen im Vordergrund. Der primäre und ausschließliche Zweck bestehender Netze ist die bedarfsgerechte Versorgung der angeschlossenen Stromkunden. Die Einspeisung erfolgt überwiegend zentral aus der Übertragungsebene. Für die Aufnahme von massiver dezentraler Einspeisung aus REA auf der Verteilungsebene sind die bestehenden Netze nicht ausgelegt. Die ursprünglichen Planungsziele können so immer weniger erfüllt werden. Der Anschluss von REA findet oft unter hohem Termindruck statt und ist von gesetzgeberischen Vorgaben (z. B. dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz EEG) getrieben. Die Ausbaumaßnahmen erfolgen daher nicht nach strategischen Grundsätzen der Netzplanung sondern meist operativ. Zudem gelten in den bestehenden Netzen einerseits und den Einspeisenetzen der REA andererseits unterschiedliche Ziele und Vorgaben der Netz- und Anlagenbetreiber. Eine klare Zuständigkeits- und Verantwortungsstruktur für die Einspeisenetze insbesondere in der Verteilnetzebene fehlt bislang. Dies macht den

Netzbetrieb insgesamt unsicherer, aufwendiger und unwirtschaftlich, da die dann mittel- und langfristig notwendig werdenden Netzertüchtigungsmaßnahmen erneut hohe Investitionssummen erfordern.

Zur Lösung dieses Problems einer nachhaltigen Anbindung von REA, insbesondere von Windkraftanlagen, müssen neue Methoden und Denkweisen der Netzplanung entwickelt werden. Das Ziel muss sein, dass die bestehenden Netze ihr bisherig hohes Zuverlässigkeitsniveau für die Stromkunden sowie die angestellten Planungsziele beibehalten und der Anschluss der REA langfristig physikalisch und technisch beherrschbar, wirtschaftlich und umweltverträglich ist. Dazu ist netzplanerisch Neuland zu betreten.

In Kap. 2 und 3 wird aufbauend auf den Grundlagen der klassischen Netzplanung die Planungsmethodik „Duale Netzplanung“ eingeführt und ausführlich erläutert. Das Kap. 4 beschreibt die Anwendung der dualen Planungsmethodik auf das elektrische Versorgungsnetz des betrachteten Landkreises als äquivalente Modellregion. Die erarbeiteten Netzarchitekturen zum Netzausbau und zum Anschluss der REA sind hier ausführlich dargestellt. Aufgrund der Größenordnung der geplanten installierten REA-Leistung erstrecken sich die Planungen vom 20-kV-Netz über die 110-kV- bis ins 220-kV- und 380-kV-Netz.