

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 100 (2009)

Heft: 11

Artikel: Zentral koordinierte Spannungshaltung für das Schweizer Übertragungsnetz

Autor: Geidl, Martin

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856425>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Zentral koordinierte Spannungshaltung für das Schweizer Übertragungsnetz

Konzept, Umsetzung und erste Erfahrungen

Im Zuge der Umsetzung des Stromversorgungsgesetzes wurde die Spannungshaltung im Schweizer Übertragungsnetz als Systemdienstleistung neu konzipiert. Neben der Erfüllung gesetzlicher Anforderungen wie Verursachergerechtigkeit und Diskriminierungsfreiheit wurden auch technische Verbesserungen erzielt. Nach einigen Monaten Betrieb mit dem neuen Konzept kann Swissgrid eine überwiegend positive Bilanz ziehen.

Im geöffneten Schweizer Strommarkt ist die nationale Netzgesellschaft Swissgrid für den Betrieb des Schweizer Übertragungsnetzes verantwortlich [1]. Eine der wesentlichen Aufgaben in diesem Zusammenhang ist die Organisation der sogenannten Sys-

Martin Geidl

temdienstleistungen – Dienstleistungen, die den stabilen und sicheren Betrieb des Übertragungsnetzes aufrechterhalten oder seiner Wiederherstellung dienen.

Darunter fällt auch die Spannungshaltung bzw. die Bereitstellung von Blindleistung/-energie zum Zweck der Spannungsregelung im Übertragungsnetz. Um den gesetzlichen Anforderungen zu genügen und darüber hinaus einen technischen Fortschritt zu erzielen, wurde die Spannungshaltung neu konzipiert. Zentrale Punkte des neuen Konzepts, welches am 1. Januar 2009 eingeführt wurde, sind finanzielle Anreizmechanismen sowie eine zentrale Koordination der Spannungshaltung im Übertragungsnetz.

Grundsätze, Beteiligte und Rollen im neuen Konzept

Eine wichtige Grundlage für das Konzept bilden die eigentlichen Ziele der Spannungshaltung im Übertragungsnetz der Schweiz. Diese lassen sich mit absteigender Priorität zusammenfassen:

- Die Spannung muss jederzeit an allen Netzelementen innerhalb des zulässigen Bereichs gehalten werden. Dabei wird die

Blindleistungsflüsse so optimiert werden, dass die Kosten für Wirkverluste im Netz sowie Abgeltungen für den Blindenergieaustausch von Kraftwerken minimal werden.

Die an der Spannungsregelung im Übertragungsnetz beteiligten Parteien sind: Direkt angeschlossene Kraftwerke, direkt unterlagerte Netze und Endkunden, das Schweizer Übertragungsnetz selbst und die angrenzenden Übertragungsnetze.

Aus historischen Gründen ist die Spannungshaltung im Übertragungsnetz der Schweiz als dezentrale Regelung konzipiert. Eine übergeordnete, zentrale Regelung im Sinne eines geschlossenen Regelkreises mit zentraler Stellwertverteilung existiert nicht. Wie bei jeder dezentralen Regelung wird auf einen lokalen Sollwert hin geregelt, in diesem Fall auf die Spannung am Einspeiseknoten des Übertragungsnetzes. Der Abruf der Blindleistung aus den Kraftwerken erfolgt somit indirekt über einen Spannungssollwert. Seit 1. Januar 2009 werden stündliche Sollspannungsvorgaben von Swissgrid bestimmt und den Kraftwerken übermittelt. Die Aufgabe der Kraftwerke besteht darin, die Differenz zwischen Soll- und

articles spécialisés

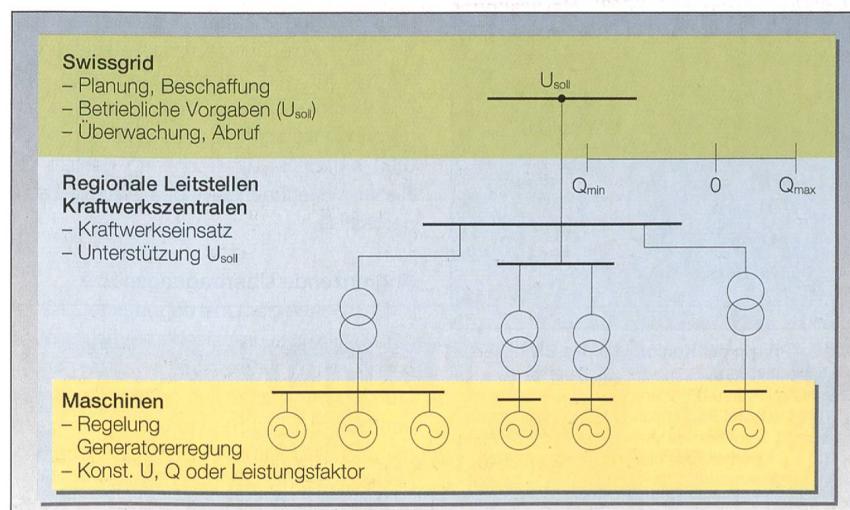


Bild 1 Organisation der Spannungshaltung im schweizerischen Übertragungsnetz.

Spannungshaltung

Ist-Wert im Rahmen des sogenannten obligatorischen Blindleistungsbandes möglichst auszuregeln. Bild 1 skizziert die organisatorischen Verhältnisse für die Spannungshaltung im Übertragungsnetz der Schweiz.

Übertragungsnetz

Je nach Belastung stellt sich im Übertragungsnetz ein bestimmter Blindleistungshaushalt ein. Bei unternatürlicher Last verhalten sich die Leitungen wie Kapazitäten und geben Blindleistung ab, bei übernatürlicher Belastung verhalten sich die Leitungen wie Induktivitäten und nehmen Blindleistung auf. Die Blindleistungsflüsse im Übertragungsnetz wirken nicht nur entscheidend auf die Spannungssituation, sie haben auch einen wesentlichen Einfluss auf die Wirkverluste. Die Optimierung der Blindlastflüsse stellt eine Möglichkeit dar, die Wirkverluste im Netz zu reduzieren und damit Kosten für die Deckung dieser Verluste zu senken.

Kraftwerke

Direkt am Übertragungsnetz angeschlossene Kraftwerke sind heute die einzigen geregelten Blindleistungsquellen, die von Swissgrid zur Spannungsregelung eingesetzt werden können. Seit Anfang des Jahres sind alle Kraftwerke am Übertragungsnetz verpflichtet, das bei voller Wirkleistungsabgabe der Anlage verfügbare Blindleistungsband (obligatorisches Band) so einzusetzen, dass die Spannungsvorgabe am Einspeiseknoten des Übertragungsnetzes möglichst eingehalten wird. Die anforderungskonforme Lieferung von Blindenergie wird den Kraftwerken vergütet. Jede Viertelstunde wird auf Basis von Wirk- und

Blindenergiezählwerten sowie Spannungsmesswerten die Konformität der Blindenergielieferung überprüft. Eine Entschädigung erfolgt nur dann, wenn die Blindenergielieferung in der entsprechenden Viertelstunde anforderungskonform, d.h. im Sinne der Sollspannungsvorgabe, war. Dieses Prinzip ist in Bild 2 grafisch dargestellt. Ist dies in weniger als 70% der Zählintervalle (Viertelstunden) eines Monats der Fall, so erfolgt für den entsprechenden Monat keinerlei Abgeltung. Da innerhalb des obligatorischen Bandes per Definition keine Opportunitätskosten für das Kraftwerk anfallen, wird innerhalb des obligatorischen Bandes nur die anforderungskonforme Blindenergie, aber nicht die Bereitstellung der obligatorischen Blindleistung vergütet. Über das obligatorische Band hinaus wird den Kraftwerken der Abschluss eines bilateralen Vertrags angeboten, welcher die überobligatorische Bereitstellung von Blindleistung regelt.

Unterlagerte Netze und Endkunden

Dem Übertragungsnetz direkt unterlagerte Netze sowie direkt angeschlossene Endkunden beeinflussen die Spannung an den Anschlussknoten und deren elektrisch nöherer Umgebung des Übertragungsnetzes. Der Blindleistungsaustausch dieser Netznutzer ist in den meisten Fällen nur beschränkt regelbar. Eine umfassende Analyse der Situation hat ergeben, dass der Blindleistungsaustausch der unterlagerten Netze in der Regel zu ungünsten des Übertragungsnetzes ausfällt. Vereinzelt kommt es aber durchaus vor, dass der Blindleistungsaustausch der unterlagerten Netze dem Übertragungsnetz zugute kommt. Diese Unterstützung ist für Swissgrid allerdings nicht von grossem Nutzen, weil dieser Austausch nicht planbar ist und auch nicht auf Abruf zur Verfügung steht. Für 2010 wird deshalb ein Anreizmodell eingeführt, welches einen rückwirkungsfreien Betrieb der unterlagerten Netze fördern soll. So wird in Anlehnung an das Netznutzungsmodell für das Übertragungsnetz jene Blindenergie, die einer Unterschreitung des durchschnittlichen Leistungsfaktors von 0,90 entspricht, in Rechnung gestellt [3]. Dieser Verrechnungsmodus wird in Bild 3 dargestellt.

Angrenzende Übertragungsnetze

Das Schweizer Übertragungsnetz ist Teil der kontinentaleuropäischen Synchronzone und durch 36 Grenzleitungen stark mit angrenzenden Netzteilen verbunden. Die überdurchschnittlich starke Anbindung und die (elektrisch) kurzen Distanzen innerhalb der Schweiz führen dazu, dass die Spannungssituation innerhalb der Schweiz stark vom Ausland beeinflusst wird. Deshalb ist

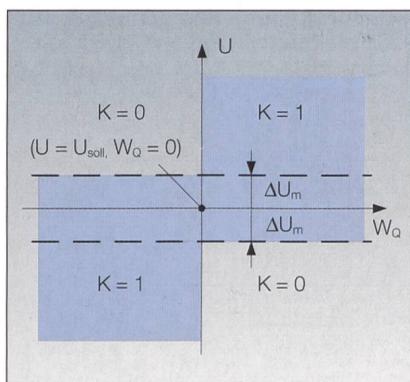


Bild 2 Prinzip der Konformität des Blindenergieaustauschs.

Spannung U versus Blindenergieaustausch W_Q ($W_Q > 0$ bedeutet Absorption von Blindleistung aus dem Netz). Die Abszisse verläuft durch die Sollspannung U_{soll} . Innerhalb des blauen Bereichs gilt der Blindenergieaustausch als konform ($K = 1$), außerhalb als nicht konform ($K = 0$). Bei der Konformitätsprüfung wird die Messabweichung der Spannung ΔU_m berücksichtigt.

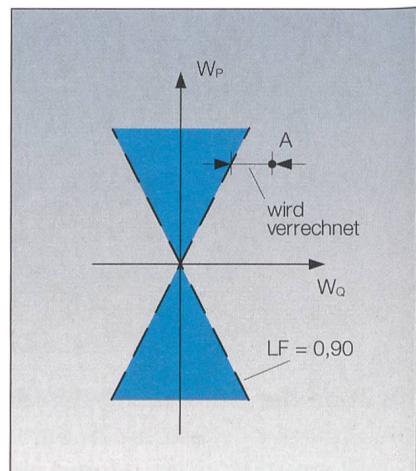


Bild 3 Prinzip der leistungsfaktorabhängigen Verrechnung von Blindenergie.

Wirkenergieaustausch W_P , Blindenergieaustausch W_Q . Blau eingefärbt der Bereich des Leistungsfaktors LF zwischen 1,00 und 0,90. Für einen Arbeitspunkt A wird die Blindenergie, die der Überschreitung des blauen Bereichs entspricht, in Rechnung gestellt.

eine gute Abstimmung der betrieblichen Spannungsprofile mit den benachbarten Netzbetreibern wichtig. Swissgrid ist seit längerer Zeit bemüht, konkrete Abstimmungsmassnahmen mit seinen Nachbarn zu treffen. Die Ausgestaltung solcher Massnahmen stellt sich jedoch schwierig dar, weil unterschiedliche Konzepte zur Spannungshaltung verfolgt werden.

Zentrale Koordinierung: Day-ahead Reactive Planning

Neben der langfristigen Planung, Beschaffung, Abruf, Überwachung und Ab-/Verrechnung der Systemdienstleistungen stellt die betriebliche Planung eine Herausforderung für Swissgrid dar. Um den Blindleistungseinsatz der spannungsregelnden Kraftwerke optimal zu gestalten, hat Swissgrid das Day-ahead Reactive Planning (DARP) als Planungsprozess eingeführt. Ziel des DARP-Prozesses ist die Bestimmung der optimalen stündlichen Sollspannungen für die Kraftwerke am Übertragungsnetz. Im Kern besteht der Prozess aus einer Spannungs-Blindleistungs-Optimierung, die innerhalb technischer und betrieblicher Rahmenbedingungen auf die Minimierung einer Kostenfunktion abzielt. Diese Kostenfunktion modelliert die Kosten für die Deckung der Wirkverluste plus die Kosten für anforderungskonforme Blindenergie aus den Kraftwerken. In der Regel sind diese beiden Kostenterme gegenläufig: Um die Netzverluste zu minimieren, muss die Spannung angehoben werden, was zumeist einen erhöhten Blindleistungsaustausch der Kraftwerke zur Folge hat. Diese Spannungs-Blindleistungs-Optimie-

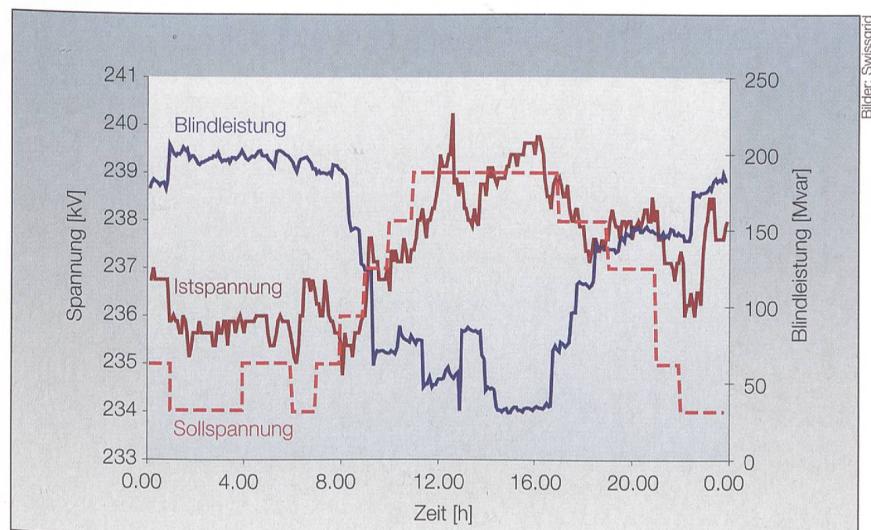


Bild 4 Ein Wasserkraftwerk regelt seinen Blindleistungsaustausch anhand der Spannungsvorgabe am Einspeiseknoten in das Übertragungsnetz.

rung stellt sicher, dass innerhalb der technischen Möglichkeiten das kostengünstigste Spannungsprofil vorgegeben wird.

Erfahrungen und Ausblick

Nach einigen Monaten Betrieb mit dem neuen Konzept zur Spannungshaltung kann Swissgrid eine überwiegend positive Bilanz ziehen. Im Vergleich zur Vergangenheit kam es zu wesentlich weniger Verletzungen der betrieblichen Spannungsgrenzen. Der Einsatz von Phasenschiebergeneratoren zur Bereitstellung überobligatorischer Blindleistung musste jedoch in einigen Fällen genutzt werden. Der Median des Blindleistungsaustauschs der Regelzone Schweiz ist im Vergleich zum Vorjahr auf etwa 50% gesunken, wobei die Standardabweichung der Verteilung um ca. 20% zugenommen hat.

Die Kraftwerke können die vorgegebenen Spannungswerte in der Regel gut einhalten. Ihre rege Teilnahme an der Spannungshaltung deutet auf einen angemessenen finanziellen Anreiz hin. Die mittlere monatliche Konformität liegt über 90%. Bild 4 zeigt als Beispiel den Verlauf der Messwerte am Anschlussknoten eines manuell

geregelten Wasserkraftwerks über einen Tag.

Bezüglich Regelqualität zeigen sich je nach Umsetzung im Kraftwerk deutliche Unterschiede. Während automatisch geregelte Kraftwerke Konformitätswerte nahe 100% aufweisen und die Sollspannungen auf wenige 100 V genau abfahren können, schneiden halbautomatisch oder manuell geregelte Kraftwerke oft deutlich schlechter ab. Dies bringt auch in finanzieller Hinsicht Nachteile für die betroffenen Kraftwerke. Moderne Regeleinrichtungen zahlen sich im wahrsten Sinne des Wortes aus.

Trotz überwiegend positiver Erfahrungen strebt Swissgrid weitere Verbesserungen des Konzepts an:

- Direkt unterlagerten Netzen sollte die Möglichkeit gegeben werden, aktiv an der Spannungshaltung im Übertragungsnetz teilzunehmen.
- Eine bessere Koordination der betrieblichen Spannungsvorgaben mit dem benachbarten Ausland soll eine weitere Reduktion des unkontrollierten Blindleistungsaustauschs der Schweiz ermöglichen.
- Langfristig sollte die Spannungsregelung im Übertragungsnetz über einen zentralen Spannungsregler mit direkter Kraftwerksanbindung abgewickelt werden.

Referenzen

- [1] Bundesamt für Energie: Bundesgesetz vom 23. März 2007 über die Stromversorgung (Stromversorgungsgesetz, StromVG).
- [2] European Network of Transmission System Operators for Electricity: UCTE Operation Handbook, Policy 3: Operational Security, Version 19.3.2009.
- [3] Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen: Netznutzungsmodell für das schweizerische Übertragungsnetz (NNMÜ-CH), Ausgabe 2007.

Angaben zum Autor

Dr. Martin Geidl studierte Elektrotechnik an der TU Graz und promovierte an der ETH Zürich im Bereich Elektrische Energieübertragung. Seit 2007 arbeitet er bei Swissgrid, zuletzt als Fachexperte für Innovation und Entwicklung Netzbetrieb. Swissgrid AG, 5080 Laufenburg martin.geidl@swissgrid.ch

articles spécialisés

Résumé

Coordination centrale du maintien de la tension dans le réseau de transport suisse

Concept, mise en œuvre au sein de Swissgrid et premières expériences après 6 mois de pratique. Suite à la mise en œuvre de la loi sur l'approvisionnement en électricité, le dispositif de maintien de la tension au sein du réseau de transport suisse a été nouvellement conçu en tant que service-système. Outre le respect des exigences légales, telles que l'application des principes de causalité et de non-discrimination, diverses améliorations techniques ont pu être réalisées. Après plusieurs mois d'application concrète du nouveau concept, Swissgrid tire un bilan largement positif de ce changement.

Anzeige

Beleuchtungslösungen mit LED

Innenbeleuchtung, Straßenbeleuchtung und Ansteuerungselektronik

Fachtagung: 19. Januar 2010, ETH-Zentrum, Zürich
Info: www.electrosuisse.ch



cablecom Kabelanschluss powered by Fiber

Der Kabelanschluss von cablecom ist Ihre Eintrittskarte für eine neue Welt der Unterhaltung und Kommunikation. 200 digitale TV-Kanäle (inklusive High Definition), über 100 digitale Radioprogramme, analoges Fernsehen und Radio, superschnelles Internet, günstiges Telefonieren – alles gleichzeitig und in jedem Raum: Mit dem Kabelanschluss von cablecom erleben Sie die multimediale Zukunft schon heute.

Mehr über den cablecom Kabelanschluss erfahren Sie unter **0800 900 210** oder www.cablecom.ch