

**Zeitschrift:** Bulletin Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik  
**Band:** 100 (2009)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Verrechnung der Blindleistungsausspeisung aus dem Übertragungsnetz ab 2010  
**Autor:** Wespi, Fabian / Schenk, Alain  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856426>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.03.2025

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

# Verrechnung der Blindleistungsausspeisung aus dem Übertragungsnetz ab 2010

## Neue Herausforderung für die Verteilnetzbetreiber

Am 1. Januar 2010 wird von Swissgrid eine neue Blindenergie-Verrechnungsmethode zwischen Übertragungs- und Verteilnetz eingeführt. Die Zusammenhänge zwischen Spannungshaltung und Blindleistung werden verdeutlicht. Verschiedene Möglichkeiten werden aufgezeigt, wie ein Verteilnetzbetreiber mit den neuen Rahmenbedingungen umgehen kann, um die Nutzung seiner Ressourcen zu optimieren. Auch werden die konkreten Massnahmen beschrieben, welche der Netzbetrieb der BKW im Zuge der Einführung dieser neuen Regelung umsetzt.

In einem elektrischen Übertragungsnetz müssen die Frequenz und die Spannung immer in Bereichen gehalten werden, welche den sicheren Betrieb der Energieübertragung gewährleisten. Die Frequenz wird möglichst konstant bei 50 Hz gehalten, indem zu jedem Zeitpunkt gleich viel Wirkleistung produziert wird, wie verbraucht wird. Die Spannung jedoch muss mit Blind-

*Fabian Wespi, Alain Schenk*

leistung im gesunden Betriebsbereich der Netzelemente gehalten werden, sodass nie an einem Knoten im Netz zu hohe oder zu tiefe Spannungen herrschen.

Jedoch kann hier nicht auf die globale Bilanz wie bei der Wirkleistung geschaut werden, die Spannung muss lokal betrachtet werden. Dazu ein Beispiel: Wird an einem Knoten sehr viel Blindenergie bezogen (durch Lasten oder Transite in andere Netze), sinkt die Spannung an diesem Knoten ab. Ist an diesem Knoten ein Kraftwerk am Netz, kann dieses die Spannung stützen, indem es Blindleistung produziert. Ist jedoch kein Kraftwerk und keine andere Kompensationsmöglichkeit in der Nähe, besteht die Gefahr, dass die Spannung bei benachbarten Knoten auch sinkt. In diesem Fall muss mit weiter entfernten Kraftwerken die Spannung gestützt werden. Um die Spannungshaltung an jedem Knoten und zu jeder Zeit zu gewährleisten, definierte das Stromversorgungsgesetz (StromVG) die Systemdienstleistung (SDL) «Span-

nungshaltung» und beauftragte Swissgrid mit deren Umsetzung.

Bereits seit Anfang 2009 werden Kraftwerke, welche am Übertragungsnetz (UTN) angeschlossen sind, im Rahmen der SDL «Spannungshaltung» für ihre spannungsstützende Blindenergielieferung mit 3.50 CHF/Mvarh entschädigt. Es stellt sich nun die Frage, wie die Kosten der von den Kraftwerken gelieferten Blindenergie an die Verursacher weiterverrechnet werden können. Die Verursacher des Blindenergiebedarfs lassen sich in 3 Gruppen einteilen: Zum einen ist es das Übertragungsnetz selbst, welches einen Bedarf an Blindenergie hat, da alle Netzelemente je nach Belastung Blindenergie benötigen oder abgeben. Eine zweite Gruppe bilden die Nachbarnetze: Es findet ein permanenter Austausch

von Blindleistung über die Grenzleitungen statt. Die dritte Gruppe besteht aus den unterliegenden Netzen und den Endkunden, welche direkt am Übertragungsnetz angebunden sind.

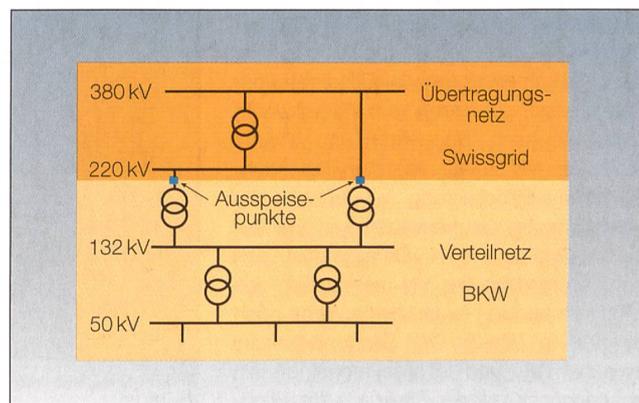
Als Übergangslösung für das Jahr 2009 werden die Kosten für Blindenergie pauschal über die Netznutzungsentgelte eingezogen, das heisst, es wird noch nicht verursachergerecht weiterverrechnet. Ende Februar 2009 hat Swissgrid, um die Anforderung der ElCom zu erfüllen, das Konzept der Verrechnung von Blindenergie bei Ausspeisepunkten (Bild 1), welches im Netznutzungsmodell für das schweizerische Übertragungsnetz (Ausgabe 2007) festgelegt wurde, vorgestellt. Es ist ein branchenüblicher Ansatz in Verteilnetzen, und ähnliche Verrechnungsmethoden sind bei ausländischen TSO bereits im Einsatz. In Kraft treten wird diese Abrechnungsmethode am 1. Januar 2010. Diese Lösung sieht vor, dass jegliche Blindenergie, welche einen Leistungsfaktor von 0,9 unterschreitet, bezahlt werden muss. Der Leistungsfaktor LF ist wie folgt definiert:

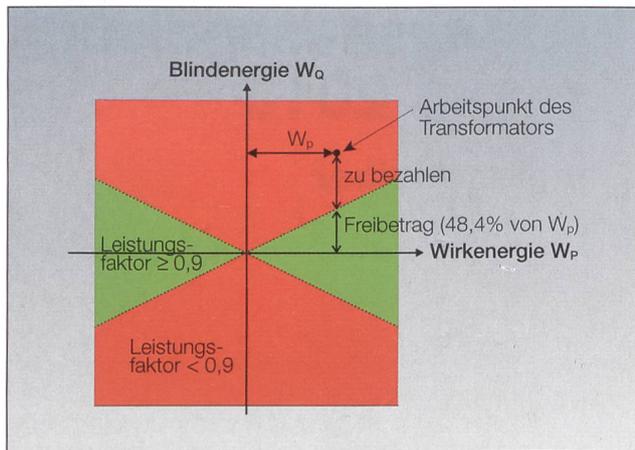
$$LF = \frac{|W_P|}{W_S}, \text{ mit: } W_S = \sqrt{W_P^2 + W_Q^2}$$

$W_S$ : Scheinenergie,  $W_P$ : Wirkenergie,  $W_Q$ : Blindenergie

Somit kann Blindleistung bis zu einem Wert, welcher 48,4% des Betrags der übertragenen Wirkleistung entspricht, kostenlos ein- oder ausgespeist werden (Bild 2). Die

**Bild 1** Abgrenzung von Übertragungsnetz (Swissgrid) und Verteilnetz (BKW) mit den Ausspeisepunkten (blau).





**Bild 2** Arbeitspunkte im grünen Bereich: Blindenergie muss nicht bezahlt werden. Arbeitspunkte im roten Bereich: Die Grenze überschreitende Blindenergie muss bezahlt werden.

Blindenergiemenge, welche diese Grenze überschreitet, wird mit 6.47 CHF/Mvarh verrechnet.<sup>1)</sup> Mit dieser Methode wird für die Verteilnetzbetreiber (VNB) ein erster Anreiz geschaffen, den Blindleistungsfluss an den Ausspeisepunkten zu minimieren.

### Verhalten von Verteilnetz und Übertragungsnetz

Die neue Blindleistungs-Verrechnungsart gibt dem VNB das Ziel vor, die Blindenergieflüsse über die Ausspeisetransformatoren möglichst klein zu halten. Der VNB hat nun die Aufgabe, möglichst selten im kostenpflichtigen Bereich  $LF < 0,9$  zu fahren. Um den Effekt einer solchen Optimierung zu verstehen, muss man zuerst das Zusammenspiel zwischen Übertragungsnetz und Verteilnetz (VN) kennen:

Bild 3 zeigt den Eigenverbrauch an Blindleistung vom Übertragungsnetz (grün, invertiert) und die Ausspeisung ins Verteilnetz (rote Kurve) während einer Woche. Das charakteristische Verhalten der 5 Werktage und des Wochenendes ist darin gut erkennbar. Die Daten stammen vom Netzgebiet der BKW. Der Blindleistungsverbrauch VN berechnet sich aus der Summe der Blindenergieflüsse der Ausspeisetransformatoren vom UTN ins VN, der Verbrauch vom UTN ist die Summe des Eigenbedarfs aller Netzelemente vom UTN im BKW-Netzgebiet. Bei der gezeigten Woche fällt auf, dass das UTN immer kapazitiv (Blindleistungsüberschuss), der Bezug vom VN schwankt jedoch je nach Wochentag und Uhrzeit stark. Das VN ist während dem Tag induktiv, nimmt Blindleistung auf, und in der Nacht und am Wochenende ist es eher kapazitiv, wie das UTN. Daraus lässt sich schließen, dass das VN mehrheitlich das UTN kompensiert (wenn beide Werte positiv sind in Bild 3). Der Blindenergiefluss zwischen VN und UTN ist somit oft ein spannungstützender Effekt, da die Blind-

energie des VN lokal die Bedürfnisse des UTN deckt. Dies ist jedoch nicht generell der Fall. Wird z.B. von Italien sehr viel Blindleistung über die Grenzleitungen bezogen, ist die Spannung an den südlichen Knoten der Schweiz tief. Wird dort zusätzlich noch Blindleistung von einem VN bezogen, verschärft es das Spannungsproblem zusätzlich. In diesem Fall wäre der Bezug von Blindleistung vom VN nicht spannungstützend, obwohl das UTN selbst Blindleistung produziert. Anhand dieser Beispiele lässt sich die Komplexität der Systemdienstleistung «Spannungshaltung» und das Potenzial der VN, auch unterstützend zu wirken, erkennen.

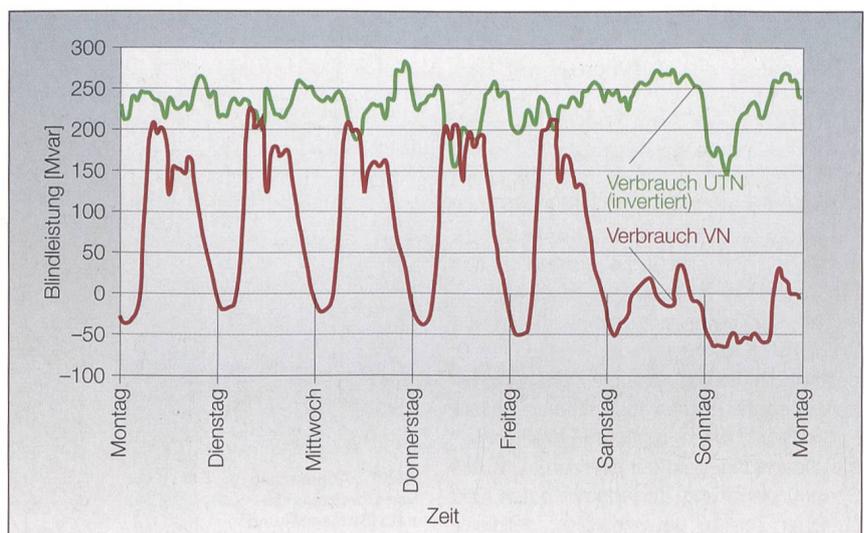
### Optimierungschance für den Verteilnetzbetreiber

Für den Verteilnetzbetreiber ist die Situation etwas anders: Man hat im Verteilnetz nur sehr selten Probleme mit zu hoher oder

tiefer Spannung, da man die Spannung mit den Transformatoren regeln kann, indem man das Übersetzungsverhältnis zwischen Primär- und Sekundärspannung verändert. Aus diesem Grund muss an den Ausspeisepunkten vermehrt auf die Blindleistung geachtet werden. Die Ausspeisepunkte der BKW verteilen sich, wie in Bild 4 illustriert, über das Netz der BKW.

Da Transformatoren, welche an der gleichen Spannungsebene des UTN angeschlossen sind, für die Verrechnung der Blindenergie saldiert werden, ergeben sich für BKW 9 «Ausspeisepunkte». Das heisst, in Bassecourt gibt es 2 separate Verrechnungen: Der Transformator, welcher am 380-kV-Netz angeschlossen ist, wird einzeln verrechnet, die anderen 3, welche am 220-kV-Netz angeschlossen sind, werden zusammen verrechnet.

Bild 5 zeigt die Arbeitspunkte zweier BKW-Transformatoren im Jahr 2008. Für jede Stunde im Jahr 2008 ist der durchschnittliche Wirk- und Blindleistungsfluss berechnet worden und dann in diesem PQ Graph eingezeichnet worden, mit der Hintergrundfärbung Grün für die kostenfreien Arbeitspunkte und Rot für die kostenpflichtigen Arbeitspunkte. Transformator A hat sehr viele dieser Stundenwerte im roten kostenpflichtigen Bereich. Dies ist der Fall, weil der Transformator oft sehr schwach mit Wirkleistung belastet ist, sodass sich bereits ein geringer Blindleistungsfluss schnell zu einem schlechten Leistungsfaktor auswirkt. Die Arbeitspunkte von Transformator B hingegen sind wesentlich besser im PQ Graph positioniert: Es gab im Jahr 2008 nur wenige Stunden, wo dieser Transformator ausserhalb des kostenfreien Bereichs gefahren wurde. Anhand dieser anschaulichen Darstellung lässt sich leicht



**Bild 3** Die Blindenergieflüsse des VN unterstützen mehrheitlich das UTN (Daten vom Netzgebiet der BKW).

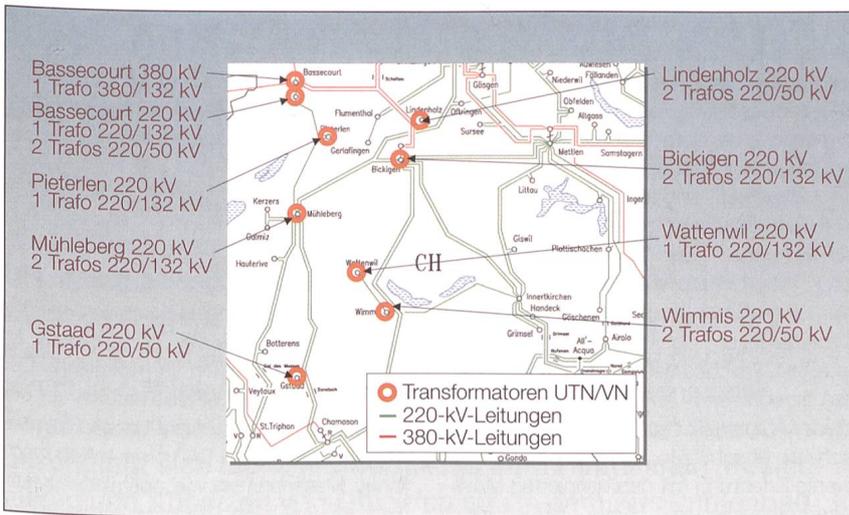


Bild 4 Ausspeisepunkte von BKW.

eruiieren, welcher Ausspeisepunkt nicht optimal betrieben wird im Hinblick auf die kommende Verrechnungsmethode ab 1. Januar 2010, und man sieht, wo Handlungsbedarf besteht.

Im Verteilnetz der BKW gibt es diverse Möglichkeiten, Blindenergieflüsse aus dem Übertragungsnetz zu beeinflussen. Diese lassen sich in 4 Kategorien einteilen: Veränderung der Topologie des VN; Einbau von Blindleistungskompensatoren; Transformatorstufung und optimaler Einsatz der Kraftwerke im Verteilnetz.

Im BKW-Netz gibt es eine Anzahl Wasserkraftwerke, welche in die unteren Spannungsebenen einspeisen. Diese können zurzeit (Konzept 2010) nicht an der SDL Spannungshaltung von Swissgrid teilnehmen, da sie nicht direkt ins Übertragungsnetz einspeisen. Jedoch werden auch sie bereits heute von der BKW eingesetzt, um Blindleistung gemäss dem Bedarf des Netzes zu liefern. Eine Optimierung, welche die

Kosten an den Ausspeisepunkten minimiert, d.h. die Blindenergieflüsse möglichst gering hält, ist darum naheliegend.

Anhand von Bild 6 lässt sich anschaulich darstellen, wie die Kraftwerke koordiniert werden müssen. Jedes Kraftwerk hat einen Einfluss auf gewisse Ausspeisepunkte in seiner Nähe, diese Beziehung ist vereinfacht mit den farbigen Schattierungen dargestellt. Diese Einflusszonen sind das Resultat von Lastflussberechnungen mit dem Modell des elektrischen Netzes der BKW und vom UTN der Schweiz. Nun ist z.B. ersichtlich, dass die Ausspeisepunkte in Bassecourt nicht von diesen Kraftwerken beeinflusst werden können. Die Punkte Pielerlen und Mühleberg können hingegen von einer ganzen Anzahl Kraftwerke positiv beeinflusst werden (blaue Einflusszone in Bild 6).

Eine Optimierung mittels Einbau von Kompensatoren im Verteilnetz ist eine weitere Möglichkeit, welche zur Einhaltung der

Leistungsfaktorgrenze 0,9 an den Ausspeisepunkten beitragen kann. Durch einen optimalen Einsatz von Kompensationsanlagen kann erreicht werden, dass keine Blindenergie über die Ausspeisepunkte fliesst. Dies hat zur Folge, dass das Übertragungsnetz seinen Eigenverbrauch an Blindenergie voll von den Kraftwerken und von Nachbarnetzen beziehen muss, was oft zu einem grösseren Spannungsgefälle im UTN führt. Aktuelle Schlussfolgerungen von Studien der BKW sagen aus, dass der Einbau von Kompensationsanlagen im VN nicht sinnvoll ist, unter Rücksichtnahme der Vorgaben fürs Jahr 2010. Mit den anderen genannten Möglichkeiten können die Blindenergieflüsse kostengünstiger positiv beeinflusst werden, sodass die Kosten für den Einbau von Kompensatoren unverhältnismässig hoch wären.

Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung ist in den Ausspeise-Transformatoren zu finden: Da die BKW ein Verteilnetz betreibt, welches oftmals parallel zum Übertragungsnetz auch Leitungen in unteren Spannungsebenen führt, ist es möglich, bei gezielter und koordinierter Stufenstellung dieser Transformatoren, die Blindleistungsflüsse zu verschieben. Bild 7 zeigt die Ausspeise-Transformatoren der BKW mit ihren Einflusszonen. Wird ein Transformator in der rot gefärbten Zone gestuft, verändert sich nicht nur der Blindenergiefluss durch diesen Transformator, sondern auch seiner umliegenden Transformatoren in dieser rot gefärbten Zone. Dieser Umstand lässt sich für eine gezielte Optimierung nutzen: Mit iterativen Berechnungsmethoden lässt sich das Optimum der Stufenstellungen bestimmen. Der optimale Betriebszustand ist dann erreicht, wenn an allen Ausspeisepunkten der gleiche LF herrscht. Wenn dieser Optimalzustand annähernd erreicht ist, hat man das Kostenminimum für diesen Zeitpunkt gefunden. Mit dieser Methode wird zudem vermieden, dass ein Knoten kapazitive und ein anderer induktive Blindenergie vom UTN bezieht.

Veränderungen der Verteilnetz-Topologie haben auch Einfluss auf den Blindleistungshaushalt des Netzes: Werden Transformatoren vom Netz genommen, welche oft einen schlechten Leistungsfaktor haben, muss für diese nicht bezahlt werden. Zudem wird der Freibetrag an den anderen Transformatoren etwas grösser, wenn diese stärker belastet sind. Die Energie, die nun nicht mehr über diesen Transformator ins BKW-Netz fliesst, muss nun einen anderen Weg nehmen. Somit wird nun die zuvor zu bezahlende Blindenergie über Transformatoren geleitet, welche ihren Freibetrag an Blindleistung noch nicht ausgereizt haben. Wird ein Transformator vom Netz genommen, stellt sich

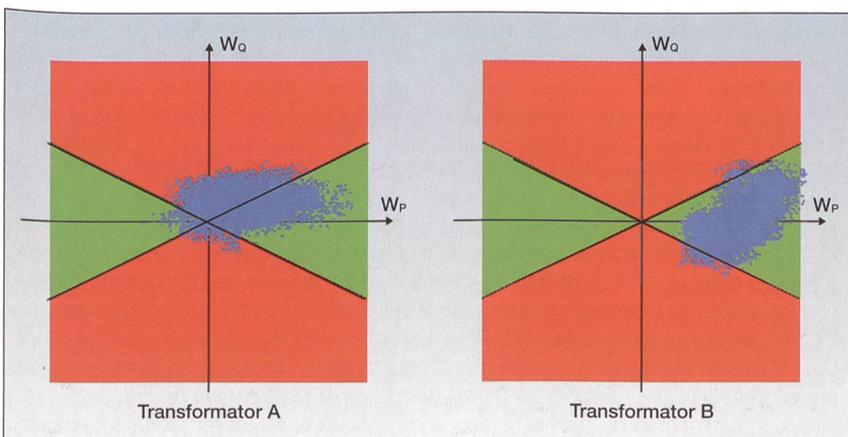


Bild 5 Arbeitspunkte vom Jahr 2008 zweier Transformatoren im PQ Graph.

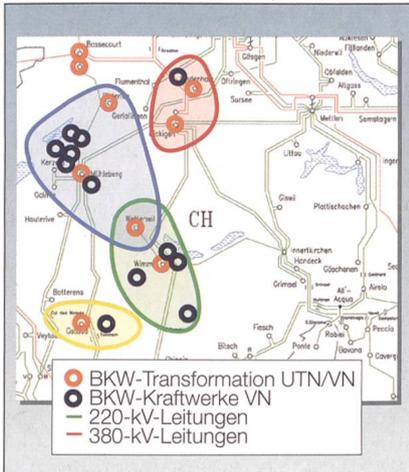


Bild 6 Einflusszonen der Kraftwerke im Verteilnetz der BKW.

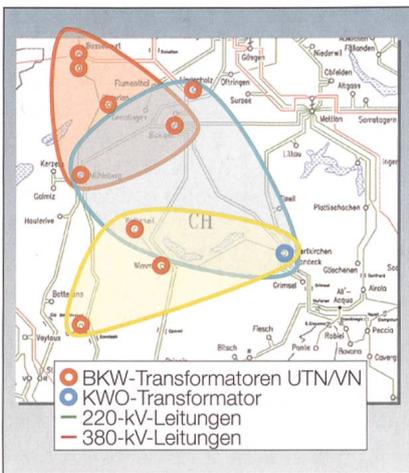


Bild 7 Darstellung der Einflusszonen der Transformatoren im Netzschema.

der BKW mit den momentanen Wirk- und Blindenergieflüssen. Zudem ist direkt ersichtlich, welche Ausspeisepunkte sich im kostenpflichtigen Bereich befinden. Dies ermöglicht es dem Dispatcher, die Ausspeisepunkte online zu überwachen. Die im Leitsystem eingebaute Optimierungssoftware erleichtert zudem die manuellen Anpassungen der Spannungswerte und Transformatorstufenstellungen durch den Dispatcher. Auch ist ein optimiertes Einsatzkonzept der Laufwasserkraftwerke in Arbeit, welches den neuen Gegebenheiten gerecht wird. Aufwand und Nutzen all dieser Optimierungen lassen sich nur schwer abschätzen, da man bisher nur wenig Erfahrung mit den definierten Massnahmen sammeln konnte. Jedoch lässt sich schon sagen, dass mittels dieser Methoden die Kosten für ein VNB in der Grösse der BKW beträchtlich gesenkt werden können.

### Konzept als Ausgangspunkt

Das von Swissgrid vorgestellte Konzept ist vorerst für das Jahr 2010 gültig. Hinter den Kulissen ist bereits ein Konzept für 2011 in Bearbeitung. Aus diesem Grund wird man die Ausrichtung des zukünftigen Konzepts abwarten, bis man kostenintensive Massnahmen in Betracht ziehen kann.

Es bestehen jedoch Möglichkeiten, mit dem vorgelegten Konzept Anreize zu schaffen, dass sich die VNB vermehrt unterstützend verhalten für das UTN. Wird der Blindleistungsbezug jeweils nur in der Richtung verrechnet, in der das VN das UTN nicht unterstützt, besteht ein Anreiz, das UTN positiv zu beeinflussen, und es entspricht dem Grundsatz der Verursachergerechtigkeit. Eine Lösung könnte sein, mittels Zeit-

plan die Richtung der Verrechnung vorzugeben: In der Nacht und am Wochenende, wenn unterstützend, muss kapazitiver Bezug bezahlt werden, zu den anderen Zeiten wird analog der induktive Bezug bezahlt.

### Ausblick

Durch die Verrechnung der Blindenergie auf Basis des Leistungsfaktors wird ein Anreiz geschaffen, die Blindenergieflüsse an den Ausspeisepunkten zu minimieren. Der Netzbetrieb der BKW arbeitet aktiv an der Umsetzung der oben genannten Optimierungsmöglichkeiten. Die vorgestellten möglichen Massnahmen wie optimierter Kraftwerkseinsatz und Transformatorregelung zeigen, dass ein VNB in der Grösse der BKW diverse Möglichkeiten hat, Blindenergieflüsse für den UTN-Betreiber positiv zu beeinflussen und sich somit für die Spannungshaltung einzusetzen. Ein Nachfolgekonzept sollte darum die Möglichkeiten der VNB mit einbeziehen, um das Optimierungspotenzial, welches vorhanden ist, auszuschöpfen.

### Angaben zu den Autoren

**Fabian Wespi**, dipl. El.-Ing. ETH, hat 2007 sein Studium an der ETH als Elektrotechnikingenieur abgeschlossen und ist seit 2008 bei der BKW beim Netzbetrieb tätig.

BKW FMB Energie AG, Zentrale Leitstelle, 3203 Mühleberg, fabian.wespi@bkw-fmb.ch

Dr. **Alain Schenk**, dipl. El.-Ing. ETH, ist Leiter Betrieb Netze, Zentrale Leitstelle, Mühleberg. Er ist seit 1. September 2001 bei der BKW tätig. BKW FMB Energie AG, Zentrale Leitstelle, 3203 Mühleberg, alain.schenk@bkw-fmb.ch

<sup>1)</sup> Gemäss Tarifveröffentlichung von Swissgrid vom 15. Mai 2009, www.swissgrid.ch.

sofort die Frage der Versorgungssicherheit. Da das BKW-VN gut vermascht ist und der abgeschaltete Transformator bei Bedarf sofort in Betrieb genommen werden kann, könnten die negativen Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit im BKW-Netz in Grenzen gehalten werden, da die «n-1»-Sicherheit wiederhergestellt werden kann. Wäre anstatt des Leistungsfaktors die massgebende Referenz der direkt geleistete Beitrag zur Spannungsstützung, könnte möglicherweise auf solche Massnahmen verzichtet werden.

### Massnahmen im Netzbetrieb

Bis zum Inkrafttreten der Verrechnung werden die wichtigsten Transformatoren mit fernsteuerbaren Spannungsreglern aufgerüstet, sodass Anpassungen schneller und einfacher durchgeführt werden können. In der zentralen Leitstelle der BKW in Mühleberg wurde eigens dafür eine Übersicht im Leitsystem kreiert. Diese zeigt anschaulich die 9 Ausspeisepunkte

### Résumé

#### Mode de facturation dès 2010 du soutirage d'énergie réactive à partir du réseau de transport

Un nouveau défi pour les gestionnaires de réseaux de distribution. Dès le 1<sup>er</sup> janvier 2010, Swissgrid appliquera une nouvelle méthode de facturation pour les échanges d'énergie réactive entre le réseau de transport et les réseaux de distribution. L'article met en lumière les interdépendances entre le maintien de la tension et l'énergie réactive. Par rapport aux exploitants de réseaux, diverses options envisageables sont évoquées pour s'adapter aux nouvelles conditions-cadres tout en optimisant l'exploitation de ses ressources. Enfin, les mesures concrètes décidées par FMB pour la gestion de ses réseaux en perspective de la mise en œuvre de la nouvelle réglementation sont présentées de manière plus détaillée.