Lastflussbezogene Netzbenutzungsgebühren im offenen Strommarkt

Autor(en): **Glavitsch, Hans**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **89 (1998)**

Heft 11

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902082

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

In der Diskussion um die Öffnung des schweizerischen Strommarktes steht das Problem der Abgeltung der Netzgebühren im Mittelpunkt. Das Abrechnungsverfahren soll zu marktgerechten, an den tatsächlichen Kosten orientierten Gebühren führen und mit der Liberalisierung des Marktes in der Europäischen Union vereinbar sein. Dieser Beitrag stellt ein Verfahren einer lastflussbezogenen Netzbenutzungsgebühr vor, das den Einbezug von Verlusten und die Ausdehnung auf parallel arbeitende Netze und Leitstellen erlaubt.

Lastflussbezogene Netzbenutzungsgebühren im offenen Strommarkt

■ Hans Glavitsch

Im Zuge der Einführung eines offenen Strommarktes in der Europäischen Union [1] strebt auch die schweizerische Elektrizitätswirtschaft ein kompatibles Konzept einer Marktöffnung an, das inländischen Stromkunden einen nichtdiskriminierenden Zugang zum Netz und zu Erzeugern gestattet sowie Reziprozität gegenüber Partnern in den Nachbarländern gewährleistet. Ein Elektrizitätsmarktgesetz (EMG), das die Rollen der Erzeuger und Netzbetreiber regelt, ist in Vorbereitung [2]. Bei der vorgesehenen Entflechtung von Erzeugung, Übertragung und Verteilung (unbundling) hat der Netzbetreiber ein Anrecht auf ein kostendeckendes Entgelt für die Benutzung des Netzes, sei es für die Abnahme von Leistung, sei es für die Durchleitung sowie für einen angemessenen Gewinnanteil, der auch Rückstellungen für die Erneuerung und den Ausbau enthalten soll. Ein einfaches Konzept für die Abgeltung der Netzbenutzung ist die Erhebung einer festen Gebühr, bezogen auf Leistung und/oder Energie, die als Briefmarke bezeichnet wird [3, 4]. Mit einer Briefmarke ist es ohne weiteres möglich, Kostendeckung zu erreichen, womit das Ziel der Entrichtung eines angemessenen Entgelts erreicht wird. Da die Briefmarke eine fixe Gebühr darstellt und knotenbezogen erhoben wird, wird aber kein Signal bezüglich der Auslastung des Netzes, speziell einzelner Stromkreise, gegeben. Wenn das Transportnetz die ursprünglichen Besitzverhältnisse aufweist, besteht die Notwendigkeit, Netzgebühren nach Stromkreisen abzurechnen, und dann ist ein detaillierteres Konzept erforderlich. Entwicklungen innerhalb der Europäischen Union deuten darauf hin, dass eine Marktöffnung ohne Änderung der Besitzverhältnisse erfolgt, und damit ist die genannte Situation gegeben. Dabei ist auch wichtig, dass Netzbenutzungsgebühren konsistent ermittelt werden, das heisst, dass genau so viele Gebühren erhoben werden, wie durch die Benutzung anfallen.

Es wird daher im folgenden eine Vorgehensweise angestrebt, die erlaubt, ausgehend von Kosten, die von den Betriebsmitteln anfallen, Gebühren auf die Abnehmer und/oder Erzeuger umzulegen, die den Anforderungen der Kostendeckung und Marktförderung genügen.

Strommarkt mit Pool oder geregeltem Netzzutritt

Die realisierten Strommärkte weisen unterschiedliche Strukturen, Angebotsmechanismen und Besitzverhältnisse auf. Damit ist der Bedarf an einer detaillierten Bestimmung von Netzbenutzungsgebühren auch nicht immer stark ausge-

Adresse des Autors
Prof. Dr. *Hans Glavitsch*, Institut für elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik ETH Zürich, 8092 Zürich

prägt. Wenn wie in einem Pool eine Netzgesellschaft besteht und der Netzbetrieb einschliesslich der Netzkoordination in einer Hand liegt, so ist die Kostendeckung mit einem Zuschlag zum Systempreis gewährleistet, und es ist keine weitere Zuordnung erforderlich. Der in England und Wales realisierte Strommarkt [5] ist ein Beispiel dafür. Es kann hier angeführt werden, dass die Gebühr nicht unbedingt transparent ist, da es sich um einen globalen Zuschlag handelt (uplift). Darüber hinaus kann knotenbezogen immer noch eine zusätzliche Gebühr erhoben werden, die auf die Marktförderung ausgerichtet ist, wie es auch in England der Fall ist. Diese Gebühren sind so gestaltet, dass Einspeisungen im Raum London gefördert werden. Damit soll die Stromerzeugung im Norden des Landes reduziert werden, da das Netz von Norden nach Süden tendenziell überlastet ist.

Die Situation stellt sich anders dar, wenn keine Netzgesellschaft vorhanden ist und Teilnetze im Zuge der Marktöffnung im Besitz der einzelnen Unternehmen bleiben. Der Betrieb der Netze ist von der Erzeugung getrennt, und der Netzbetreiber hat ein Anrecht auf ein Entgelt für die Durchleitung und die Netzbenutzung. Es kann sogar die Situation vorliegen, dass eine Leitung mehr als einen Besitzer hat und das Entgelt auf diese aufgeteilt werden soll. Dann besteht die Notwendigkeit, die Benutzung dieser Leitung oder der Stromkreise zu bestimmen. Die Benutzung des Netzes ist nach wie vor durch Einspeisungen und Abnahmen gegeben, aber bei einem bilateralen Handel und mehreren Teilnetzen ist eine individuelle Abrechnung erforderlich. Diese Situation tritt beim sogenannten geregelten Netzzutritt oder der Durchleitung auf. Eine adäquate Handhabung ist hier nur mit einer lastflussbezogenen Netzgebühr möglich.

Warum eine Netzbenutzungsgebühr?

Eine Netzbenutzungsgebühr drängt sich unmittelbar mit der Entflechtung von Erzeugung, Übertragung und Verteilung auf, da das Transportnetz zu einer eigenständigen Betriebseinheit wird. Eine primäre Forderung ist dabei, wie schon erwähnt wurde, die Kostendeckung. Daneben ist ein angemessener Gewinnanteil und ein Anteil für den Ausbau des Netzes zuzugestehen. Der dominante Kostenanteil im Transportnetz ist derjenige, der sich von den Investitionen für Leitungen und Schaltanlagen ableitet. Dazu sind Wartungs- und Unterhaltskosten zu rechnen. Diese Kosten – man denke an kapitalabhängige Jahreskosten – fallen an, auch wenn keine Leistung übertragen wird. Daneben treten arbeitsabhängige Kosten in Erscheinung, die jedoch nicht dem Netzeigentümer abzugelten sind, sondern dem Netzbetreiber, wie Verlustkosten und Kosten für die verschiedenen Netzdienstleistungen. Das heisst, diese Kosten entstehen im Netz und sind in gerechter Weise dem Abnehmer zu belasten. Bei einem lastflussbezogenen Verfahren besteht die Möglichkeit, wie später gezeigt wird, auch Verlustkosten zusammen mit den kapitalabhängigen Kosten zu belasten.

Ein weiterer Gesichtspunkt bei der Festlegung einer Netzbenutzungsgebühr ist die Marktförderung. Damit ist die Signalwirkung der Gebühr bezüglich der Auslastung des Netzes gemeint. Eine einheitliche Netzgebühr sagt nichts darüber aus, ob es in einer vorgegebenen Betriebsperiode vorteilhaft ist, von einem Erzeugungsort zu einem Verbraucher eine bestimmte Leistung zu übertragen oder nicht, oder welche Bezugsorte für einen bestimmten Abnehmer am günstigsten sind. Wenn der Netzbetrieb so organisiert wird, dass Anforderungen für eine Durchleitung 24 Stunden im voraus an eine Koordinationsstelle (Leitstelle) gerichtet werden und aufgrund der Anforderungen eine Preisabhängigkeit für die Durchleitung abgegeben wird, so kann der Abnehmer in einer nachfolgenden Angebotsrunde seine Erzeuger nach geringsten Netzbenutzungsgebühren und Bezugskosten wählen. Damit wird das Transportnetz zu einem Marktelement. Auch die im Zuge der Netzkoordination errechneten Verluste stellen ein Signal für einen kostengünstigen Bezug von Leistung dar. Eine derartig konzipierte Netzbenutzungsgebühr ist dynamisch und setzt einen Lastfluss voraus, der auf die Angebotssituation angewendet werden muss. Wie aus den realisierten Märkten bekannt ist, gehört ein Lastfluss zum Standardinstrument des Netzkoordinators oder Netzbetreibers, so dass mit dem Einsatz eines solchen Hilfsmittels keine ungewöhnliche Forderung gestellt wird. Die für den Ablauf eines oder mehrerer Lastflüsse notwendige Rechenzeit ist bei den heute verfügbaren Computern überhaupt kein Problem. Im übrigen ist im Zuge der Entwicklung der Strommärkte damit zu rechnen, dass die Angebotserstellung, die Börsenfunktionen und die Kommunikation zwischen Marktteilnehmern weitgehend computerunterstützt erfolgen werden [6]. Dabei nimmt der Ablauf eines Lastflussprogramms einen verschwindend kleinen Anteil für sich in Anspruch.

Kostenerfassung und Preisbildung

Wie bei jedem Verfahren zur Ermittlung von Gebühren, die aufgrund einer Nutzung zu Kostendeckung führen sollen, steht am Anfang die Kostenanalyse. Im vorliegenden Fall wird dazu vom Betriebsmittel ausgegangen, und zwar beispielhaft von einer Übertragungsleitung. Eine Übertragungsleitung verursacht aufgrund der getätigten Investitionen Jahreskosten im Ausmass des Prozentsatzes für den Zinsendienst, die Amortisation, den Unterhalt und eventueller Abgaben. Sie stellen die Fixkosten für die Leitung dar. Der Prozentsatz bewegt sich in der Grössenordnung von 7 bis 10% der Investition, um einen Wertebereich zu nennen. Die damit ermittelten Jahreskosten gilt es auf die genutzte Übertragungsleistung und Energie umzulegen. Zur Veranschaulichung sind in Tabelle I die Investitionen und Jahreskosten für 380-, 220- und 110-kV-Doppelleitungen angeführt. Die Jahreskosten wurden auf der Basis von 8% ermittelt.

Spannung [kV]	Investition [1000 Fr./km]	Jahreskosten [1000 Fr./km]
380	1100	88
220	840	67
110	480	38

Tabelle I Investitionen und Jahreskosten für Höchst- und Hochspannungsleitungen (Doppelleitung)

Eine 70 km lange 220-kV-Doppelleitung verursacht demnach pro Jahr Fixkosten in der Höhe von 4,7 Mio. Franken. Betriebswirtschaftlich gibt es nun verschiedene Möglichkeiten, diese Kosten auf die Nutzung der Leitung umzulegen. Entsprechend der bisherigen Praxis der Trennung des Entgelts in einen leistungs- und in einen arbeitsabhängigen Anteil beim Energiebezug wird es auch bei der Netzbenutzung sinnvoll sein, eine derartige Aufteilung vorzunehmen. In anderen Ländern differenziert man Anschluss-, Leistungs-, Arbeits- und Kapazitätsgebühren [4]. Da es hier vornehmlich um das Verfahren geht, wird die Preisbildung anhand der arbeitsabhängigen Gebühr diskutiert. Es geht hiermit darum, einen Anteil der Jahreskosten auf die übertragene Energie in einer vorgegebenen Betriebsperiode umzulegen.

Der Ausgangspunkt ist sinnvollerweise die sogenannte Dauerlinie der übertragenen Leistung der betrachteten Leitung, die als Prognose für die Nutzung aufgefasst wird. Diese Kurve gibt an, welche Leistung mindestens von der Leitung während einer bestimmten Dauer inner-

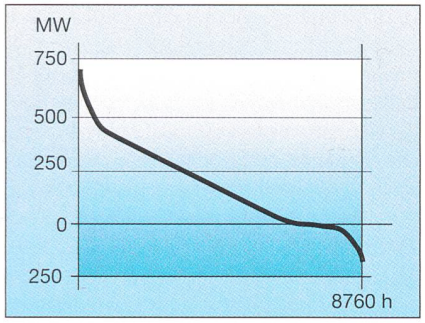


Bild 1 Jahresdauerlinie der Nutzung eines 380-kV-Stromkreises

halb eines Jahres transportiert wurde. Zum Zeitpunkt $T=0$ entspricht ihr Wert der transportierten Spitzenleistung. Wenn eine veränderte Nutzung erwartet wird, so ist eine angepasste Prognose zu erstellen. Ein Beispiel für eine Dauerlinie eines 380-kV-Stromkreises zeigt Bild 1.

Wenn man davon ausgehen kann, dass in der Bemessungsperiode, zum Beipiel im zukünftigen Jahr, die Nutzung der prognostizierten Dauerlinie entspricht, so wird man entsprechend dem Ziel der Kostendeckung den vorgesehenen Anteil auf die übertragene Jahresenergie umlegen, wobei aus der Dauerlinie die Leistungen absolut gezählt werden. Die Jahresenergie entspricht dann einem Leistungsmittelwert mal 8760 Stunden. Dieser Mittelwert kann aber auch konservativ angesetzt werden, womit die Reservefunktion eines Stromkreises im Netz berücksichtigt wird.

Zur Illustration wird ein arbeitsabhängiger Anteil von 80% der Jahreskosten der obengenannten 220-kV-Doppelleitung auf eine mittlere Leistung von 2× 140 MW umgelegt. Damit ergeben sich Benutzungsgebühren von 1.53 Fr./MWh für die 70 km lange Leitung. Der leistungsabhängige Anteil wird aufgrund der erwarteten oder beobachteten Höchstleistung als Gebühr pro MW bestimmt. Diese Gebühren werden nun mit einem Gewinn-, Wartungsanteil usw. ergänzt. Damit liegt ein Satz von Gebühren vor, der in einer Koordination einer Lastsituation vom Lastverteiler oder Netzkoordinator zur Anwendung gebracht werden kann. Es sei hier festgehalten, dass das Vorgehen zur Bestimmung einer Netzbenutzungsgebühr grundsätzlich für jede Art von Gebühr gilt, auch für eine einfache Briefmarke. Im vorliegenden Fall wurde die Gebühr auf ein einzelnes Betriebsmittel sowie auf die übertragene Leistung und Energie ausgerichtet. In einem anderen Fall geht es um eine Netzebene und die dort umgesetzte Energie.

Die Zuordnung von Verlustkosten bedarf einer anderen Methodik und wird später behandelt.

Trennung von Netzbenutzung und Transaktionen

Die Betrachtung einer Leitung, die Leistung vom Erzeuger zum Abnehmer transportiert, legt nahe, den gesamten Übertragungsweg als Grundlage für die Bestimmung der Benutzungsgebühr zu nehmen. Bei einer Stichleitung ist der Übertragungsweg klar gegeben. Der Abnehmer benutzt eindeutig den Pfad, der von der Stichleitung vorgegeben wird. Also muss die Benutzung des Pfades abgegolten werden. Bei einem vermaschten Netz mit einer Vielzahl von Einspeisungen und Abnahmen ist eine derartige Zuordnung von vereinbarter Transaktion und tatsächlicher Netzbenutzung nicht mehr möglich. Eine Leistung, die zwischen einem Erzeuger und einem weit entfernten Abnehmer vereinbart wurde, fliesst zum nächstgelegenen Abnehmer, und der erstgenannte Abnehmer bezieht seine Leistung vom nahegelegenen Erzeuger. Es gibt in der Literatur Ansätze zur Zuordnung von Leistungsanteilen, die von bestimmten Einspeisungen stammen; jedoch basiert die Konzeption auf Vereinbarungen, die physikalisch nicht begründet sind. Das Übertragungsnetz ist eher als ein Speicher zu sehen, der von Einspeisungen aufgeladen wird und von dem die Abnehmer wieder Leistungen entnehmen. Die kommerzielle Vereinbarung und der physikalische Fluss lassen sich nicht in Übereinstimmung bringen. Daher wird hier das Konzept verfolgt, dass die bilateralen Transaktionen und die reale Netzbenutzung zu trennen sind. Erzeuger und Abnehmer vereinbaren eine Lieferung von Leistung zu bestimmten kommerziellen Bedingungen. Bei Vorliegen aller Transaktionen bestimmt der Lastverteiler oder Netzkoordinator die Gebühren für die Netzbenutzung, und zwar unabhängig von den Transaktionen. Netzbenutzungsgebühren können der Einspeisung oder dem Abnehmer zugeordnet werden. Die Gebühr wird entsprechend der am Netzknoten abgegebenen oder eingespeisten Leistung und/oder der Energie erhoben.

Staffellaufprinzip

Bei dem im folgenden dargestellten Verfahren zur Bestimmung von Netzbenutzungsgebühren handelt es sich um ein lastflussbasiertes Verfahren, das im Online-Betrieb, in der Betriebsplanung oder in einem Prognose-Zeitraum eingesetzt werden kann. Die Grundidee besteht darin, die in Richtung eines Leitungsflusses anfallenden Gebühren pro Stromkreis am Knoten, an dem der Stromkreis endet, zusammen mit Gebühren von parallel eintreffenden Flüssen nach einer Mittelung an Lasten und abgehende Stromkreise weiterzugeben. Daher der Name Staffellaufprinzip. Der vom Knoten abgehende Fluss nimmt Netzgebühren mit, die mit den längs des Stromkreises anfallenden Gebühren aufsummiert werden. Entscheidet man sich für Gebühren, die den Lasten zugeordnet werden, so haftet der von einem Generator eingespeisten Leistung keine Gebühr an. An den Lastknoten können nur so viele Gebühren anfallen, wie in den Stromkreisen entstehen. Das Verfahren ist deshalb konsistent.

Es kann durch folgende Schritte beschrieben werden:

- Der Transport von Wirkleistung pro Stromkreis führt zu einer Gebühr, die durch Multiplikation der spezifischen Gebühr (pro MWh und km) mal der Leistung und mal der Stromkreislänge und mal der Benutzungsdauer entsteht.
- Die an einem Knoten ankommende Gesamtleistung resultiert in einer Netzgebühr aus der Summe der Gebühren der einzelnen Stromkreise. Daraus lässt sich eine durchschnittliche Netzgebühr pro MWh der ankommenden Leistung berechnen.
- Die am Knoten abgenommene Last wird mit der durchschnittlichen Netzgebühr für den Knoten belastet. Damit ist die Netzgebühr für diese Last bestimmt.
- Die am Knoten nicht abgenommene Leistung, das heisst die weitertransportierte Leistung, wird ebenso mit der durchschnittlichen Netzgebühr belastet. Auf dem Weg zum nächsten Knoten wird diese Netzgebühr zur Netzgebühr, die neu auf dem Weg anfällt, hinzuaddiert.
- Die an einem Generatorknoten eingespeiste Leistung geht mit der Netzgebühr Null in die Rechnung ein.
- Das Verfahren ist umkehrbar, indem Netzgebühren von den Lasten ausgehend zu den Generatoren ermittelt werden. Dabei gehen die Lasten mit der Gebühr Null, ein und die Generatoren werden schliesslich mit der Netzgebühr beaufschlagt.
- In jedem Fall wird das Netz längs der Stromkreise in Richtung der fliessenden Wirkleistung entweder von den Generatoren zu den Abnehmern oder umgekehrt durchlaufen.

Einige Beispiele

Es wird eine einfache Netztopologie herangezogen, an der unterschiedliche Lastflüsse vorausgesetzt werden, anhand derer das Wesentliche des Verfahrens

Netzabschnitt	Benutzungsgebühr [Fr./MWh km]	Abschnittlänge [km]
1	$ng_1=0.025$	50
2	$ng_2=0.028$	60
3	$ng_3=0.030$	30
4	$ng_4=0.024$	75

Tabelle II Abschnittslängen und Benutzungsgebühren

zum Ausdruck kommt. Zunächst wird ein Netz, das aus 5 Knoten besteht und bestimmte Stromkreislängen aufweist, ohne Einspeisungen und Last betrachtet (Bild 2). Für die einzelnen Stromkreise sollen Netzbenutzungsgebühren und Längen nach Tabelle II gelten.

Die Knoten A und B sollen Einspeiseknoten, die Knoten C, D und E sollen Lastknoten sein.

Nun werden zwei Last- und Einspeisesituationen betrachtet.

Fall 1: Zwischen A und D besteht eine bilaterale Vereinbarung zur Lieferung von 200 MW, zwischen B und C eine Liefervereinbarung von 150 MW und zwischen B und E eine solche von 70 MW.

Fall 2: Knoten A beliefert D mit 200 MW wie im Fall 1. Knoten B beliefert Knoten C mit 250 MW sowie Knoten E mit 50 MW.

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Lastfällen besteht darin, dass zwischen den Knoten C und E im Fall 1 eine Leistung von 50 MW von C nach E fliesst, während im Fall 2 eine Leistung von 50 MW von E nach C fliesst.

Nach der dargelegten Vorgehensweise ergeben sich an den Knoten C, D und E Netzbenutzungsgebühren nach Tabelle III. Es sind absolute und auf die MWh bezogene Gebühren angegeben. Dabei wurde eine Nutzungsperiode von einer Stunde vorausgesetzt.

Die Ergebnisse können leicht nachvollzogen werden, indem man die Kosten des Transports von A nach C auf die Last in C und auf die weitertransportierte Leistung von C nach E aufteilt (Fall 1). Im Knoten E kommt es zu einer Mittelung der Gebühren, deren Ergebnis auf die Leistung von 200 MW geschlagen wird, die ausgehend von E nach D fliesst.

Im Fall 2 kommt es im Knoten C zu einer Mittelung der Gebühren, die mit der Leistung von 200 MW von links und 50 MW von rechts herangeführt werden. Die Lastflüsse sind im Bild 3 veranschaulicht.

Aufgrund dieser Ergebnisse kann generell gesagt werden, dass beide Lastzustände von der Art der Berechnung der Netzbenutzungsgebühren profitieren. Die Last in C bezieht mit Vorteil ihre Leistung von A, und für D verkürzt sich der Transportweg durch die Einspeisung in B. Im Fall 2 liegen die Verhältnisse für die Last in D noch günstiger, da die gesamte Leistung von B kommt.

Das positive Ergebnis kann noch verdeutlicht werden, indem Netzbenutzungsgebühren unter der Voraussetzung des leeren Netzes berechnet werden. Das Konzept des leeren Netzes entspricht auch dem sogenannten Pfadmodell, womit ein Entgelt für den gesamten Weg zwischen Einspeisung und Abnahme verrechnet wird (Tabelle IV). Im leeren Netz kommt es nicht zur Überlagerung von Flüssen, und daher entstehen Netzbenutzungsgebühren im gesamten Netz, die höher liegen als bei Anwendung des Staffellaufprinzips. Nur im Lastknoten E entstehen im Fall 1 geringere Netzbenutzungsgebühren, da die Last von 70 MW direkt von B über die kurze Leitung von 30 km gedeckt wird. Beim Staffellaufprinzip tritt am Knoten E ein Kostenausgleich zwischen den von A und von B ankommenden Leistungen ein. Man könnte auch so argumentieren, dass die Last in E den kurzen Übertragungsweg von B nach E nicht allein für sich in Anspruch nehmen kann und der Nutzen zwischen den Abnehmern in E und D geteilt wird. Die Ergebnisse für das leere Netz sind nicht konsistent, das heisst, es entstehen durch die getrennte Abrechnung der Transaktionen mehr Gebühren, als sie der eigentlichen Nutzung entsprechen (overcollect). Damit wird auch unterstrichen, dass es sinnvoll ist, die Transaktion von der Bestimmung der Netzbenutzungsgebühren zu trennen.

Die Erfahrung mit Simulationen zeigt, dass bei zunehmendem Bezug von Leistung an einem Knoten eine kontinuierliche Veränderung der Netzbenutzungsgebühren pro MWh eintritt, was als Marktsignal über die Auslastung des Netzes aufgefasst werden kann.

Zuordnung von Verlustkosten

Die im Zuge des Transports von Energie längs der Stromkreise anfallenden Verluste sind nicht so ohne weiteres einem Erzeuger oder Abnehmer zuzuordnen. Fest steht, dass diese Verluste von den Einspeisungen aufgebracht werden müssen. Die Zuordnung ist jedoch nicht offensichtlich. Bei einem von der Erzeu-

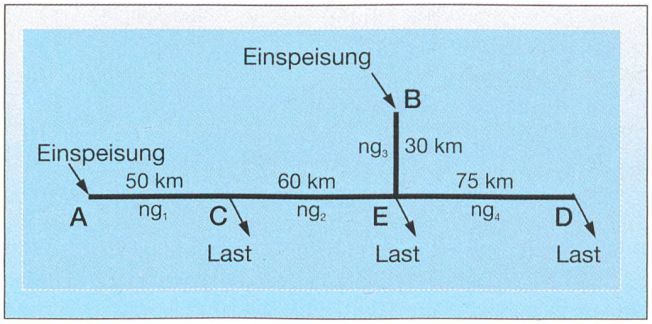


Bild 2 Modellnetz zur Illustration der Bestimmung von Netzbenutzungsgebühren

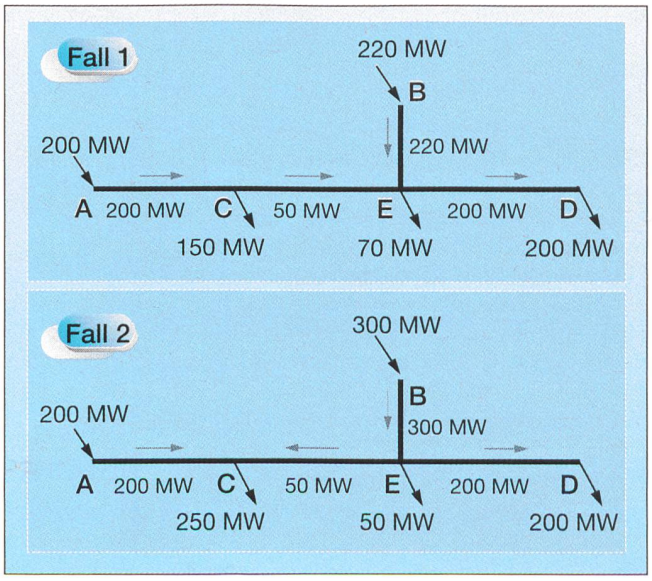


Bild 3 Leitungsflüsse für Fall 1 und Fall 2

	Lastknoten C		Lastknoten D		Lastknoten E	
	absolut Fr.	spezifisch Fr./MWh	absolut Fr.	spezifisch Fr./MWh	absolut Fr.	spezifisch Fr./MWh
Fall 1	187.50	1.25	615.20	3.08	89.30	1.28
Fall 2	379. –	1.52	540. –	2.70	45. –	0.90

Tabelle III Netzbenutzungsgebühren an den Lastknoten

	Lastknoten C		Lastknoten D		Lastknoten E	
	absolut Fr.	spezifisch Fr./MWh	absolut Fr.	spezifisch Fr./MWh	absolut Fr.	spezifisch Fr./MWh
Fall 1	387.50	2.58	890.–	4.45	63.–	0.90
Fall 2	645. –	2.58	890.–	4.45	45.–	0.90

Tabelle IV Netzbenutzungsgebühren an den Lastknoten unter der Voraussetzung des leeren Netzes bzw. des Pfadmodells

gung getrennten Transportnetz bedarf es jedoch einer Regelung, auf welche Weise Verluste und deren Kosten an die Abnehmer zu verrechnen sind. Die einfachste Vorgehensweise besteht darin, Verluste als allgemeine Netzdienstleistung zu deklarieren und die Kosten über eine globale Netzgebühr zu belasten, was wohl kostendeckend ausgestaltet werden kann, aber nicht einem anspruchsvollen Marktkonzept entspricht. Daher soll versucht werden, das oben dargelegte Staffellaufprinzip für eine Verlustkostenzuordnung einzusetzen.

Der Mechanismus der stromkreisorientierten Gebührenzuordnung bietet sich nämlich genauso für eine Verlustzuordnung an. Ebenso wie Netzgebühren dem gerichteten Leitungsfluss zugeordnet werden, lassen sich auch Verluste des Stromkreises dem Leitungsfluss zuordnen. Die dafür aufzuwendenden Kosten werden am Ende des Stromkreises als Verlustgebühr registriert. Verlustgebühren werden mit parallel eintreffenden Flüssen summiert und gemittelt. Verluste oder Verlustgebühren werden nach dem Staffellaufprinzip weitergereicht, den Lasten oder einem abgehenden Leitungsfluss zugeordnet. Die Verrechnung der Verluste ist ebenso konsistent wie die der Netzbenutzungsgebühren. Es fallen an den Lastknoten genauso viele Verlustgebühren an, wie tatsächlich in den Stromkreisen entstehen. Als Konsequenz ergibt sich, dass die Verluste von einem Lastfluss, der jedoch für die Netzbenutzungsgebühren schon eingesetzt werden muss, abzuleiten sind. Das Verfahren ist marktfördernd, denn es ist leicht einzusehen, dass ein Leistungsbezug von einer elektrisch nahegelegenen Einspeisung weniger Verluste verursacht als von einer entfernten Einspeisung. Was die Grössenordnung der Verlustkosten gegenüber den investitionsbedingten Benutzungsgebühren betrifft, sei erwähnt, dass sie 20 bis 25% der Benutzungsgebühren ausmachen.

Multi-Area-Staffellauf

Im mitteleuropäischen Verbundnetz ist beinahe jedes Hochspannungsnetz in ein grösseres Netz eingebunden, mit dem Transaktionen getätigt werden. Es bestehen Transaktionen mit den Nachbarn, und es können Durchzüge auftreten. In dieser Situation ist es erforderlich, Netzgebühren von einem Netz zum anderen weiterzugeben. Die Netzkoordination findet in den einzelnen Netzen in den jeweils zugeordneten Leitstellen statt. Wenn nun das Staffellaufprinzip allgemein anwendbar sein soll, so muss es auch auf mehrere parallel arbeitende Netze bei dezentraler Netzkoordination anwendbar sein.

Um dieser Forderung nachzukommen, wird davon ausgegangen, dass mehrere Leitstellen gemeinsam in der Lage sind, für ihr Netz – aber auch für das umliegende Netz – den Lastfluss nachzubilden. Mit dem Lastfluss für das eigene Netz können auch die Netzbenutzungsgebühren unter Voraussetzung über Kuppelleitungen weitergegebener Gebühren berechnet werden. Das Rechenverfahren muss jedoch in jeder Leitstelle iterativ ablaufen. Das heisst, jede Leitstelle beginnt mit einer angenommenen Gebühr für die grenzüberschreitenden Stromkreise, die Leistung in das eigene Netz liefern. Nach einem ersten Durchlauf werden Netzgebühren für diejenigen Stromkreise, die Leistung an die Nachbarnetze abgeben, an die benachbarten Leitstellen weitergegeben, worauf eine weitere Runde von Gebührenrechnungen erfolgt. Dieses Verfahren wurde anhand von Beispielnetzen erprobt, worauf sich gezeigt hat, dass nach 3 bis 4 Iterationen keine Verbesserung des Ergebnisses erzielt werden kann. Das heisst, dass nach wenigen Iterationen ein genügend genaues Ergebnis vorliegt. Die Informatikmittel für einen derartigen grenzüberschreitenden Austausch sind heute verfügbar, und die Rechenzeit ist unproblematisch. Grundvoraussetzung für eine Anwendung in mehreren Netzen ist die Möglichkeit der gegenseitigen Verrechnung von Netzgebühren, was bis heute im UCPTE-Netz nicht generell der Fall ist. Zu bemerken ist, dass nicht jede Leitstelle das Staffellaufprinzip anwenden muss. Es ist ohne weiteres möglich, den Staffellauf in einem Netz mit einem Briefmarkensystem in einem anderen Netz zu kombinieren.

Vergleiche und Beurteilung

Die Regeln des Verfahrens und die Beispiele zeigen, dass die Anwendung des Staffellaufs zu einem dynamischen Gebührensystem führt. Die knotenbezogenen Gebühren ändern mit dem Lastfluss und damit mit der Marktsituation. Eine Briefmarke ist starr und gibt keine Auskunft über den Markt. Ein Pfadmodell, das eine Distanzabhängigkeit aufweist, entspricht nicht den physikalischen Gegebenheiten der Netzbenutzung und ist nicht marktfördernd. Das Staffellaufprinzip lässt sich auch anwenden, wenn mehrere Netze und Leitstellen parallel arbeiten. Dabei werden auch Durchzüge erfasst, und die dadurch verursachten Netzbenutzungsgebühren werden korrekt weiterverrechnet. Bei einem einfachen Briefmarkensystem ist dies nicht möglich. Verluste und Verlustkosten lassen sich über die Lastflussrechnung erfassen und können analog den Netzbenutzungsgebühren von Stromkreis zu Knoten und von dort auf Abnehmer oder weitere Stromkreise weitergegeben werden. Sowohl Netzbenutzungsgebühren wie Verlustkosten führen zu konsistenten Summen, so dass eine klare buchhalterische Behandlung möglich wird. Dem Netzbetreiber wird mit einem derartigen System Kostendeckung garantiert und dem Abnehmer eine kostengünstige Netzbenutzung.

Zusammenfassung

Es wurde davon ausgegangen, dass der offene Strommarkt vor allem auf der Transportebene ein dynamisches Konzept für die Abrechnung der Netzbenutzung verlangt, das einerseits kostendeckend und andrerseits marktfördernd sein soll. Es muss auch konsistent sein, das heisst, es dürfen nur so viele Gebühren erhoben

werden, wie im Netz insgesamt entstehen, wobei ein Gewinnanteil enthalten sein soll. Marktfördernd heisst, dass eine Gebühr ein Signal enthalten soll, das auf eine kostengünstige Bezugssituation oder eine überlastete Netzsituation hinweist. Das dargelegte Verfahren orientiert sich an einem realen Lastfluss, der entweder gemessen oder prognostiziert sein kann. Es werden Benutzungsgebühren, die im Zuge eines Stromkreises durch eine beobachtete Leistung anfallen, an den Endknoten mit parallel anfallenden Gebühren gemittelt und an Lasten oder abgehende Leitungsflüsse weitergegeben. Die den abgehenden Flüssen anhaftenden Gebühren werden mit den durch diese verursachten Gebühren summiert und weitergegeben. Die grundsätzliche Vorgehensweise eignet sich auch für die Zuordnung von Verlusten an die Abnehmer. Das Verfahren wird anhand von Netz- und Lastflussbeispielen illustriert. Es zeigt die Vorteile gegenüber einem Briefmarkenkonzept (Punktmodell) oder dem Pfadmodell.

Literatur

[1] Richtlinie 96/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.12.1996 betreffend gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften.

[2] Entwurf des Elektrizitätsmarktgesetzes – Bundesamt für Energie, Bern, 28. Februar 1998.

[3] *P. Klafka, H. J. Hinz, W. Zander, M. Ritzau, C. Held:* Netzzugangsverordnung für elektrische Netze, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, H. 1/2, (1998) Jg. 48, S. 35–41.

[4] Deregulation of the Nordic Power Market – Implementation and Experiences, EFI – Norwegian Electric Power Research Institute, Trondheim, TR No. A4602 v. 1997-11-24.

[5] *S. C. Littlechild et al.:* The Transmission Price Control Review of the National Grid Company. First, second, third and forth consultation papers, Office of Electricity Regulation (OFFER), Birmingham, Nov. 1995 – Aug. 1996.

[6] *W. März:* Informations- und Telekommunikationstechnik der EVU als Instrument im Wettbewerb, Elektrizitätswirtschaft, 97(1998)5, S. 20–26.

Taxes d'utilisation des réseaux dans le marché ouvert de l'électricité

Au centre du débat sur l'ouverture du marché suisse de l'électricité on trouve le problème de l'indemnisation des taxes d'utilisation des réseaux. L'ouverture du marché exige une indemnité pour l'utilisation des réseaux, spécialement dans le cas de l'accès réglé (TPA), pour faire agir le réseau en tant qu'élément commercial au moyen d'une taxe dynamique comme signal. On expose une méthode permettant de déterminer une taxe d'utilisation des réseaux basée sur le flux de charge et la commente par des exemples. On en discute les avantages et compare la méthode à d'autres procédés. La méthode permet l'intégration des pertes et l'extension à des réseaux et postes de commande travaillant en parallèle.

FI-Schutz. Sicherheit für höchste Ansprüche.

smissline bietet ein umfassendes Fehlerstromschutzschalter-Sortiment mit optimaler Sicherheit und Qualität sowie einem äusserst attraktiven Preis-Leistungs-Verhältnis. Zum Beispiel:

FIK kurzzeitverzögert: Speziell für den Einsatz bei FL-Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten, bei langen Installationsleitungen und bei Anschlüssen von PC-Geräten.

Weitere Geräte aus der smissline FI-Familie:

• Fehlerstromschutzschalter FI2, FI4 • Zeitverzögerte Fehlerstromschutzschalter FIK4 und FIS4 • Kombinierter Fehlerstrom/Leitungsschutzschalter FI/LS • FI-Signalgeber FISG.

ABB CMC COMPONENTS

ABB

Badenerstrasse 790, Postfach, CH-8048 Zürich
Telefon 01 435 66 00, Telefax 01 435 66 01
Avenue de Cour 32, Case postale, CH-1007 Lausanne
Téléphone 021 613 00 50, Téléfax 021 613 00 95

Inserieren Sie im

Bulletin SEV/VSE

86% der Leser sind Elektroingenieure ETH/HTL

91% der Leser haben Einkaufsentscheide zu treffen

Sie treffen Ihr Zielpublikum

Wir beraten Sie kompetent
Tel. 01/448 86 34

SICHERUNGEN/SICHERUNGSHALTER · GERÄTESCHUTZSCHALTER · TASTER · SCHALTER · EINGABESYSTEME · IEC GERÄTESTECKER/KOMBIELEMENTE · SCHURTER · SICHERUNGEN · NH-MATERIAL · REVERSIBLE POLYMER PTC SICHERUNGEN · EINGABESYSTEME · EMV STECKERFILTER

Wollen Sie:
- Projekt-Offerten
- technische Unterstützung

JA! OUI! SI!

SCHURTER hilft gerne!

JA! OUI! SI!
SCHURTER
FÜR
NH - MATERIAL

NH-Lastschaltleisten MULTIVERT

NH-Lasttrennschalter MULTIBLOC

NH-Sicherungen DIN 500V / 400V / SEV

Hausanschlusskasten

Wählen Sie Direktnummer 041 369 33 19

TOP in
- **Technik**
- **Varianten**
- **Montage**
- **Betrieb**

SCHURTER AG
Werkhofstrasse 8–12
Postfach 4769
6002 Luzern
Fax: 041 369 34 03
e-mail:
contact@schurter.ch
www.schurter.ch

SCHURTER

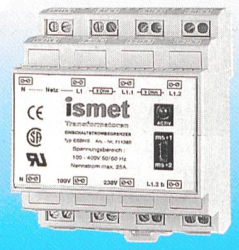
TRAFORMA

Ihr zuverlässiger Partner für:

- Einschaltstrombegrenzer
- Transformatoren
- Sonderausführungen

Lerchenweg 13, CH-5036 Oberentfelden
Telefon 062 737 62 62 Fax 062 737 62 70

ismet Transformatoren



Einschaltstrombegrenzer Typ ESBN-S