

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 92 (2001)

Heft: 22

Artikel: Tägliche Lastflussprognose als Basis zur Behebung von Engpässen im UCTE-Netz

Autor: Emery, Marc / Imhof, Karl / Zimmermann, Daniel

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855776>

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: 15.01.2026

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

Tägliche Lastflussprognose als Basis zur Behebung von Engpässen im UCTE-Netz

Das beschriebene Verfahren der kurzfristigen Lastflussprognose erlaubt es, für das gesamte UCTE-Netz am Vorabend für bis zu 24 Stunden des nächsten Tages die Netzsituation abzuschätzen. Die datenmässige Grundlage ist das UCTE-Netzmodell, in dem alle Netzelemente reell abgebildet sind. Die dazu notwendigen Werkzeuge hat ETRANS in den letzten Monaten beschafft bzw. automatisiert. Das Verfahren funktioniert dezentral, das heisst, jeder Teilnehmer, der die Prognosedaten zur Verfügung stellt, erhält von den am Verfahren beteiligten Übertragungsnetzbetreibern gleichzeitig deren Prognosedatensätze. Aufgrund der Modularität des Verfahrens ist die Teilnahme daran für jeden Übertragungsnetzbetreiber freiwillig. Die Ergebnisse bei höheren Teilnahmequoten sind jedoch entsprechend genauer. Die Ergebnisse der Lastflussprognose können verwendet werden, um Netzengpässe im Voraus zu ermitteln und gegebenenfalls Abhilfemassnahmen dazu zu initiieren. Solche Verfahren werden zurzeit in schweizerischen und europäischen Gremien erarbeitet.

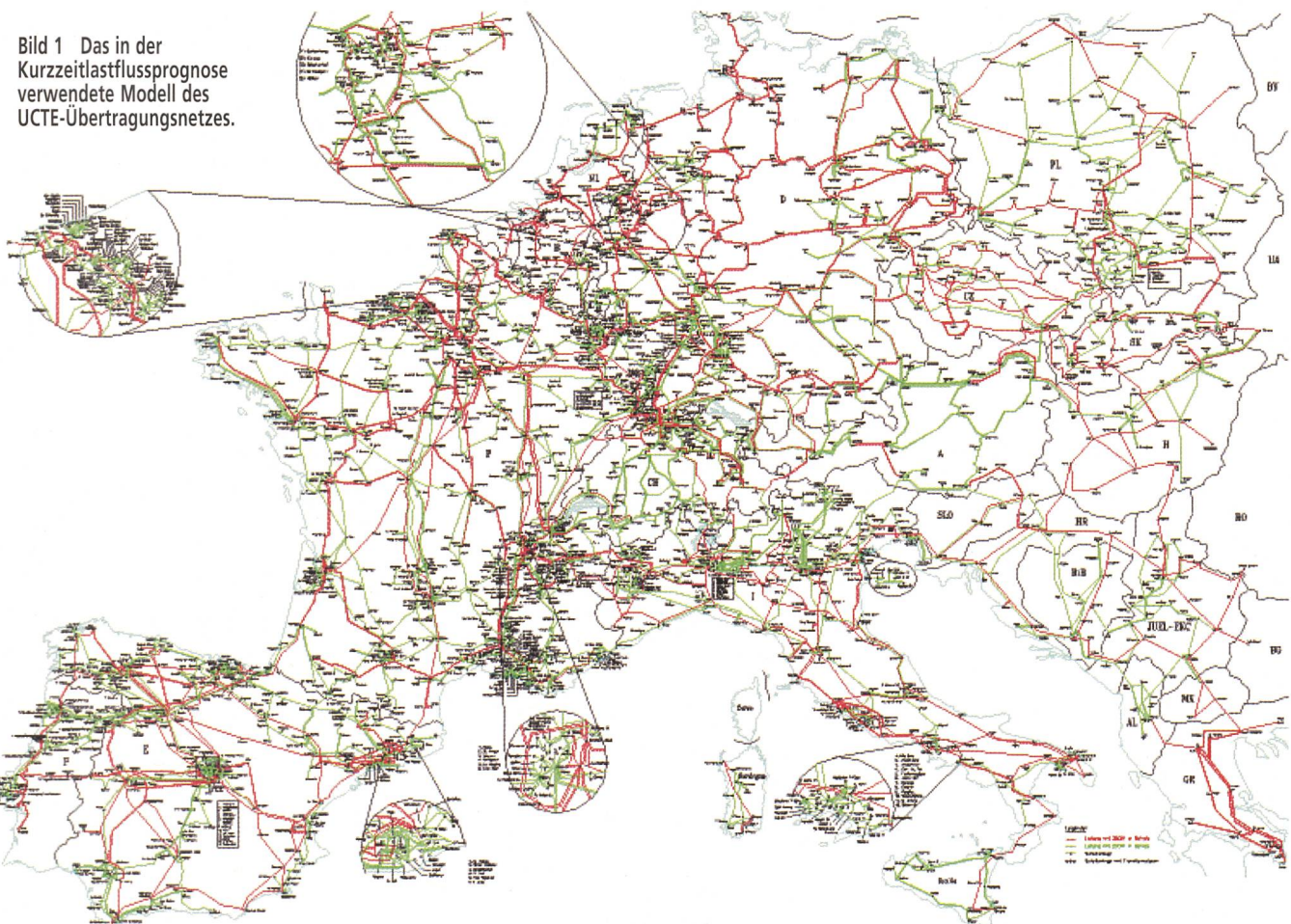
■ Marc Emery, Karl Imhof, Daniel Zimmermann, Hanspeter Asal

Einführung

In den letzten Jahrzehnten wurden in Europa die nationalen Verbundnetze zusammengeschlossen, um kurz- und langfristige Produktionsmankos grenzüberschreitend mit entsprechenden Produktionsüberschüssen ausgleichen zu können. Als wichtiger Nebeneffekt wurde dabei für Störfälle die gegenseitige Regelreserve zur Verfügung gestellt und andere Hilfestellungen genutzt, um eine ausgezeichnete Versorgungsqualität zu erzielen.

Heute ist dieses internationale Transportnetz Marktplatz für den liberalisierten Stromhandel, der nicht nur den europäischen Kontinent umfasst, sondern auch starke Verbindungen nach Skandinavien und England aufweist. Die weltweite Entwicklung der Aufteilung der Elektrizitäts-

Bild 1 Das in der Kurzzeitlastflussprognose verwendete Modell des UCTE-Übertragungsnetzes.



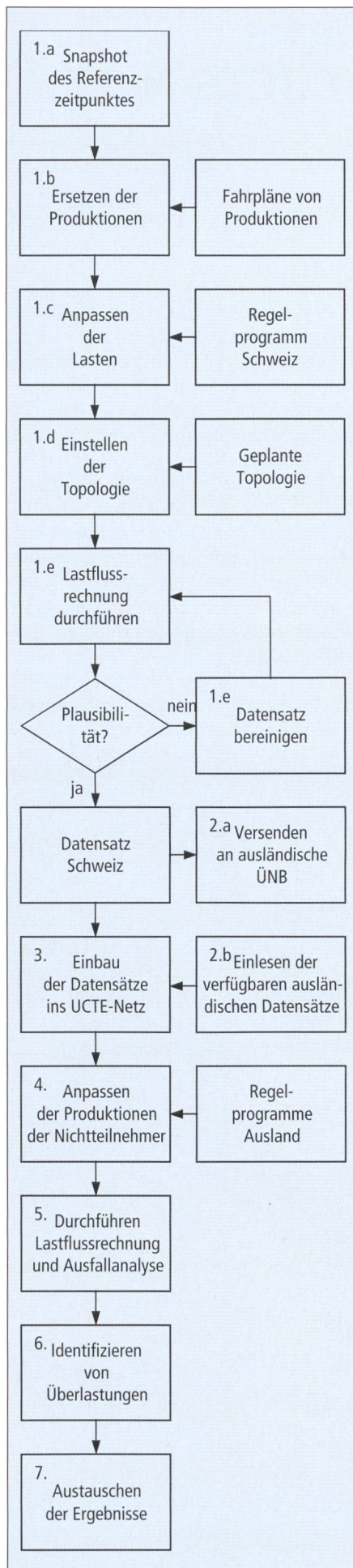


Bild 2 Verfahren der täglichen Lastflussprognose.

unternehmen in ihre Grundfunktionen Erzeugung, Transport, Handel und Verteilung hat auch vor dem europäischen Wirtschaftsraum nicht Halt gemacht. So werden die Unternehmen aufgrund der EU-Wettbewerbsgesetze in die erwähnten Funktionen aufgespalten. Neue Marktteilnehmer wie Broker oder unabhängige Händler möchten auf dem europäischen Marktplatz kaufen und verkaufen. Verbrauchergemeinschaften zeigen Interesse an günstigen Stromlieferungen und Produzenten haben einen möglichst gewinnbringenden Energieabsatz zum Ziel. Die Handelsgeschäfte nehmen sowohl anzahlmässig als auch in ihrer Komplexität zu und werden zunehmend durch finanzielle Produkte (Optionen, Futures usw.) gegen Risiken abgesichert.

Diese Entwicklung hat tiefgreifende Folgen für den täglichen Betrieb des europäischen Verbundnetzes. Einerseits werden die Netze aufgrund der Zunahme der Handelsgeschäfte intensiver genutzt, andererseits sind bei den Handelsorganisationen, aufgrund der Aufteilung der Elektrizitätsunternehmen in ihre Grundfunktionen, die Kenntnisse über das Netz bzw. dessen Leistungsfähigkeit nicht vorhanden. Deshalb muss der Übertragungsnetzbetreiber

- die Geschäftsprozesse Fahrplanerstellung, -abwicklung, -abrechnung formeller strukturieren und strikter handhaben und
- Aussagen über zu erwartende Netzengpässe machen können.

Die hier vorgestellte Kurzzeitlastflussprognose bildet die wesentliche Basis, um zwei Aufgaben für den Folgetag ausführen zu können: die Überprüfung der Machbarkeit der Energiegeschäfte und die Ermittlung der (noch) freien Übertragungskapazitäten.

Prinzip der modularen Kurzzeitlastflussprognose

Das in der Kurzzeitlastflussprognose verwendete modulare Verfahren, bei dessen Entwicklung ETRANS massgeblich beteiligt war, erlaubt die Prognose von Lastflüssen für eine flexible Anzahl von Teilnetzen des europäischen Verbundnetzes. Selbstverständlich nimmt die Prognosegenauigkeit mit der Zahl der Teilnehmer zu.

Als Grundlage dient das 380/220-kV-UCTE-Netzmodell, bei dem alle Betriebsmittel – Leitungen und Transformatoren – eingeschaltet sind (Bild 1). Dies ist ein konsistenter Lastflussdatensatz für einen typischen Betriebsfall an einem ge-

meinsam definierten Zeitpunkt. In diesem Modell sind alle Netzelemente des Verbundnetzes reell modelliert (rund 3600 Knoten, 5400 Leitungen und 750 Transformatoren).

Um eine kurzfristige Lastflussprognose durchzuführen, stellt jeder Übertragungsnetzbetreiber, welcher sich an der modularen Kurzzeitlastflussprognose beteiligt, am Vorabend des zu prognostizierenden Tages einen Datensatz mit den Prognosedaten seines Teilnetzes zusammen. Diese Prognosedaten sind die voraussichtliche Topologie, die Produktionen und die prognostizierten Lasten in den Netzknoten. Die Prognosedaten der Nachbarnetze werden am Vorabend des zu prognostizierenden Tages zwischen den Teilnehmern elektronisch miteinander ausgetauscht und in das UCTE-Netzmodell eingetragen, indem die bestehenden Daten durch die prognostizierten ersetzt werden.

Dazu einige Bemerkungen:

- Die voraussichtliche Topologie umfasst die Schaltungen, die Sammelschieneaufteilung, die Stellung der Transformatoren usw.
- Die voraussichtlichen Produktionen sind nach Abschluss der Energiegeschäfte und der nachfolgenden Einsatzplanung der Kraftwerke bekannt.
- Die prognostizierten Lasten in den Netzknoten werden skaliert, so dass sich das entsprechende Regelprogramm¹ einstellt.

Sind diese Prognosedaten für einzelne Teilnetze nicht vorhanden, so werden unter Verwendung der Regelprogramme, die für die Netzregelung bekannt sind, die Produktionen im entsprechenden Teilnetz angepasst. Mit diesem das gesamte UCTE-Verbundnetz umfassenden Datensatz ist nun die kurzfristige Lastflussprognose möglich.

Das Verfahren zur Durchführung der kurzfristigen Lastflussprognose, wie sie bei der ETRANS für die Schweiz durchgeführt wird, lässt sich wie folgt zusammenfassen:

1. Vorbereitung des schweizerischen Prognosedatensatzes

- Durchführen eines Snapshots des Schweizer Höchstspannungsnetzes (380 kV und 220 kV) von einem dem Prognosezeitpunkt möglichst ähnlichen Referenzzeitpunkt.

Adresse der Autoren

Marc Emery, Karl Imhof,
Daniel Zimmermann, Hanspeter Asal
ETTRANS AG
5080 Laufenburg
www.etrans.ch

- Ersetzen der Produktionen des Snapshots durch die von den Kraftwerkbetreibern angemeldeten Fahrpläne der Produktionen.
- Anpassen der Lasten gemäss der Bilanz: $\text{Produktion} + \text{Import} = \text{Lasten} + \text{Verluste} + \text{Export}$.
- Einstellen der Topologie gemäss aktueller Sammelschienenkonfiguration und geplanten Ein- bzw. Ausschaltungen im Verbundnetz.
- Überprüfen der Konsistenz des Schweizer Datensatzes mit einer Lastflussrechnung.

2. Austausch der Prognosedatensätze zwischen den teilnehmenden Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB)

- Versenden des schweizerischen Prognosedatensatzes im festgeschriebenen UCTE-Format an die teilnehmenden ausländischen ÜNB.
- Einlesen der von den teilnehmenden ausländischen ÜNB gelieferten Prognosedatensätze.

3. Einbauen der von den ausländischen ÜNB angepassten und ebenfalls mit einer Lastflussrechnung überprüften Prognosedatensätze in das eigene Netzmodell.

4. Anpassen der Produktionen in den Teilnetzen der nicht teilnehmenden ÜNB, so dass sich das gegebene Regelprogramm des jeweiligen Regelblockes einstellt. Dabei werden nach dem Verfahren der prozentualen Änderung die Kraftwerkproduktionen bestimmt.

5. Durchführen der Prognoselastflussrechnung und Ausfallanalyse nach dem (n-1)-Kriterium².

6. Identifizieren von Überlastungen bzw. von Engpässen.

7. Austauschen der Ergebnisse.

Dieses in Bild 2 illustrierte Verfahren erlaubt, beliebig viele Teilnetze als Teilnehmer oder Nichtteilnehmer zu berücksichtigen. Flexibilität ist hier entscheidend, da eine solche Aufgabe im internationalen Bereich nur durch schrittweises Vorgehen effizient und wirtschaftlich in die Realität umgesetzt werden kann.

Praktische Erfahrungen der modularen Kurzzeitlastflussprognose in UCTE-Teilnetzen

Durchführung

Nach dem beschriebenen Verfahren werden seit Anfang 2000 wöchentlich zu

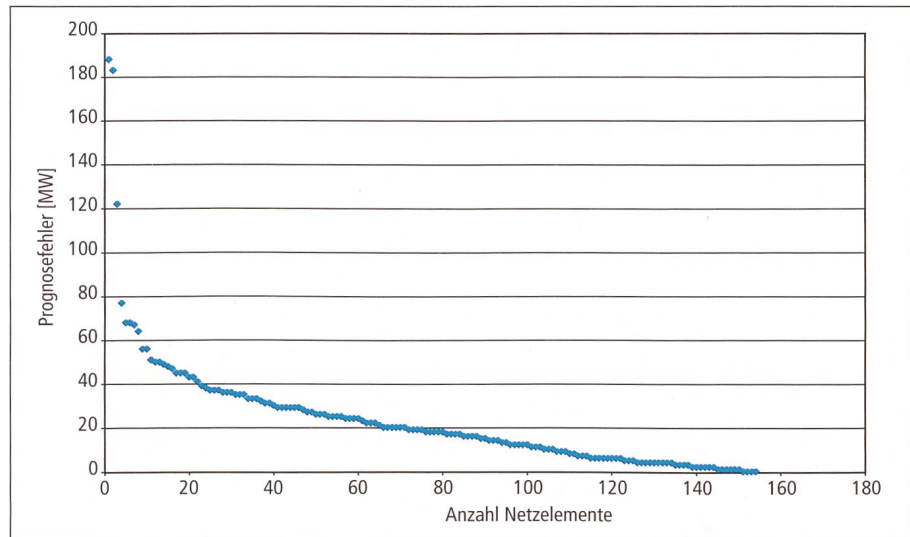


Bild 3 Lastflussprognose für den 14.2.2001/10.30 Uhr im Vergleich zum tatsächlichen Fluss: Verteilung der Prognosefehler bei den Schweizer Leitungen und Transformatoren. Der grösste Prognosefehler wurde durch eine Produktion, welche wegen einer Störung um 180 MW kleiner als geplant ausfiel, verursacht.

einem definierten Zeitpunkt Rechnungen durchgeführt, zunächst mit Daten der Schweiz und von Italien, seit Anfang 2001 zusätzlich mit Daten von Frankreich, Deutschland, Belgien, den Niederlanden, Spanien und Ungarn. Die Prognoserechnungen brachten bereits von Anfang an erstaunlich gute Ergebnisse, obwohl das Schweizerische Höchstspannungsnetz inmitten grosser ausländischer Netzteile liegt. Mit zunehmender Berücksichtigung der umgebenden Netzteile konnte die Genauigkeit der Lastflussvorhersage laufend verbessert werden.

Im angeführten Beispiel wurde mit den Teilnetzen der Schweiz, Italiens, Frankreichs, Deutschlands, Belgiens, der Niederlande, Spaniens und Ungarns die Prognose für 10.30 MEZ am 14.2.2001 durchgeführt. Es ergaben sich mit weni-

gen Ausnahmen sehr gute Übereinstimmungen der prognostizierten mit den anschliessend gemessenen Lastflüssen.

Genauigkeit

Im zentralen Teil des UCTE-Netzes, das heisst in der Umgebung der Schweiz Richtung Frankreich, Italien und Deutschland, liegen die Prognosefehler bei über 90 Prozent der Fälle **unterhalb von 50 MW** pro Element. In Bild 3 ist die Fehlerverteilung auf allen schweizerischen Netzelementen dargestellt. Bild 4 zeigt die prognostizierten und im Nachhinein gemessenen aggregierten Flüsse zwischen der Schweiz und ihren Nachbarländern. Berücksichtigt man die Messgenauigkeit und den hohen Leistungsfluss, so können die erzielten Werte als gut bezeichnet werden.

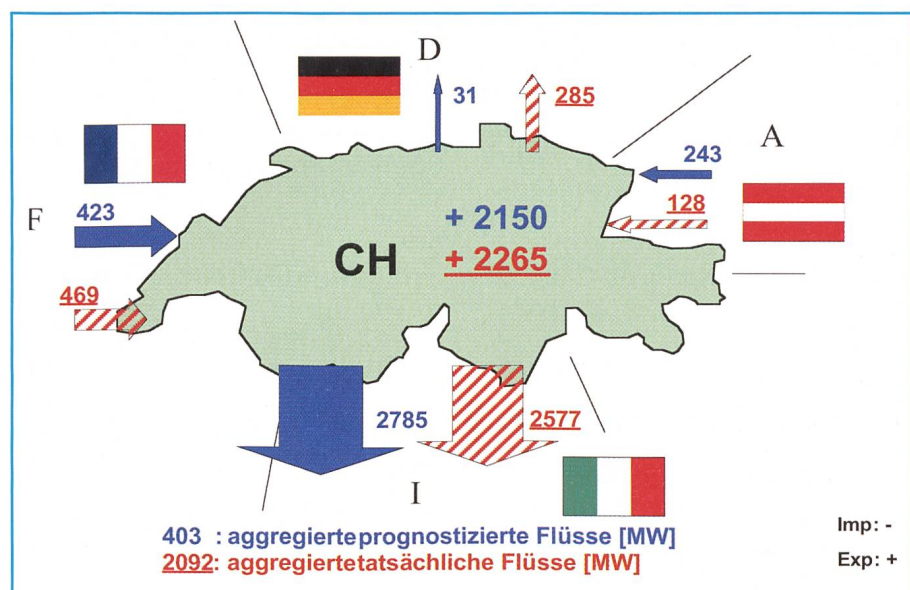


Bild 4 Lastflussprognose für den 14.2.2001/10.30 Uhr – aggregierte prognostizierte und tatsächliche Flüsse [MW]. Der grösste Prognosefehler wurde durch eine Produktion, welche wegen einer Störung um 180 MW kleiner als geplant ausfiel, verursacht.

Fehlerquellen

Die häufigste Ursache der Unterschiede zwischen Messung und Prognose bei fast allen grösseren Abweichungen ist eine fehlerhaft angenommene Topologie (zum Beispiel Leitung «aus» statt «ein») oder eine falsch angenommene Produktion. Durch Verbesserungen im Informationsaustausch kann die Basis für künftige Prognosen laufend verbessert werden. Zu unterscheiden sind dabei menschliche Unzulänglichkeiten, das heisst mangelnder Informationsaustausch und betriebsbedingte Abweichungen oder Störungen, die zu unvermeidbaren Prognosefehlern führen müssen.

Benötigte Zeit für die Prozedur

Infolge des modularen Prinzips ist das Verfahren so weit entwickelt, dass es grundsätzlich möglich ist, Prognosen mit dem gesamten UCTE-Netzmodell zu berechnen. Gegenüber den ersten Prognosen konnte die Bearbeitungszeit von etwa 8 Stunden auf rund 5 Minuten reduziert werden. Durch die Automatisierung ist es möglich, die Prozedur für jede Stunde des Folgetages in wenigen Minuten durchzuführen. Die Rechenzeit der zu berechnenden Prognoselastflüsse für den Folgetag ist praktisch nicht relevant.

Künftige Anwendungen der Lastflussprognose

Wie erwähnt, kann das beschriebene Verfahren durch häufige Anwendung, zuverlässigeren Informationsaustausch und automatische Vergleichsauswertung mit dem realen Betriebszustand noch bessere Ergebnisse liefern. In diesem Zusammenhang beabsichtigt die ETRANS, das Verfahren bis Ende Jahr zu automatisieren und den Datenaustausch mit den anderen ÜNB zu vervollständigen, so dass täglich für bis zu 24 Stunden des Folgetages eine Prognose mit Fehlern kleiner als 50 MW gemacht werden kann.

Die für die Lastflussprognose vorliegenden Werkzeuge und Erfahrungen können in Zukunft ebenfalls für die Beantwortung weiterführender Fragestellungen genutzt werden, zum Beispiel für die Berechnung der freien Übertragungskapazitäten (ATC³/NTC⁴) oder für die Ermittlung von Massnahmen zur Beseitigung der prognostizierten Engpässe. Für diese zweite Anwendung müssen die Massnahmen zur Beseitigung von Engpässen noch definiert werden. Solche sind bereits in den nordischen Ländern im Einsatz und werden für das UCTE-Netz in den entsprechenden internationalen Gremien diskutiert.

Glossar

¹ Regelprogramm: Das Regelprogramm eines teilnehmenden Übertragungsnetzbetreibers (ÜNB) gibt pro Zeiteinheit an, wie viel Leistung mit den Netzen der anderen ÜNB ausgetauscht wird.

² (n-1)-Kriterium: Das (n-1)-Kriterium ist erfüllt, wenn die folgenden Auswirkungen von störungsbedingten Einzelausfällen ausgeschlossen werden können:

- Dauerhafte Grenzwertverletzungen im Hinblick auf Netzbetriebsgrössen (Betriebsspannungen, Spannungsbänder, Netzkurzschlussleistungen) und Betriebsmittelbeanspruchungen (Strombelastung), die zur Gefährdung des sicheren Netzbetriebes oder zur Zerstörung bzw. zum unzulässigen Lebensdauerverbrauch der Betriebsmittel führen;
- Versorgungsunterbrechungen trotz Einbeziehung der in den unterlagerten Netzen sowie in den Anlagen der Übertragungsnetzbetreiber momentan verfügbaren Redundanzen;
- Folgeauslösungen durch Anregung weiterer Schutzgeräte von nicht direkt von der Störung betroffenen Betriebsmitteln mit der Gefahr einer Störungsausweitung;
- Verlust der Stabilität von Erzeugungseinheiten.

In das (n-1)-Kriterium wird im Allgemeinen der einfache Ausfall von Erzeugungseinheiten, Freileitungs- und Kabelstromkreisen sowie Netztransformatoren einbezogen.

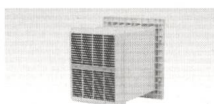
³ ATC = Available Transfer Capacity

⁴ TTC = Total Transfer Capacity

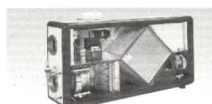
Des prévisions quotidiennes des flux de charge servent de base pour compenser des pénuries d'électricité dans le réseau UCTE

Selon la méthode décrite, une prévision à court terme du flux de charge permet d'évaluer à l'avance, c'est-à-dire dès la veille du jour considéré – et ce, si nécessaire sur 24 heures –, la situation de l'ensemble du réseau UCTE. ETRANS a acquis, respectivement automatisé les outils nécessaires au cours des derniers mois. La méthode fonctionne de manière décentralisée. En effet, chaque participant mettant à disposition ses données prévisionnelles reçoit simultanément les données correspondantes des exploitants de réseaux de transport impliqués. Du fait de la modularité de la méthode, chaque exploitant d'un réseau de transport est libre de participer ou pas. Toutefois, plus le nombre de participants est élevé et plus les résultats sont précis. Les résultats des prévisions des flux de charge peuvent être utilisés pour pallier à l'avance des goulots d'étranglement en prenant des mesures appropriées. Des méthodes de ce genre sont actuellement élaborées au sein d'organes suisses et étrangers.

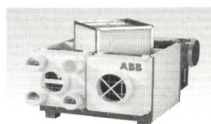
Von ANSON die Ventilatoren mit Wärmerückgewinnung (WRG) und Frischluftzufuhr:



ANSON WRG Ventilatoren für Aussenwand – Einbau 230 V 50–1200 m³/h. Für tadellose Raumluft in Bad/WC, kleinen Büros und Sitzungszimmern. Rasch und preisgünstig von:



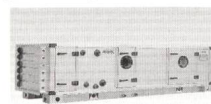
ANSOVENT Ventilatoren mit WRG mit automatischer Sommer/Winter-Bypass-Umstellung. Modernste Technik mit 24 V DC-Motoren. 400 m³/h. Von ANSON



Modernste ABB Ventilatoren mit WRG 4 Rohranschlüsse 80 mm Ø. 400 m³/h. Für Bad/WC und Küchen-Entlüftung im STWE und EFH. Von ANSON.



ANSOVENT Flachgeräte für Deckenmontage Besonders flache WRG-Ventilatoren für 500–3600 m³/h. Hervorragend bewährt. Kurzfristig und rasch von ANSON AG ZÜRICH.



Grosse WRG Ventilatoren modernster Bauart von 3000–10000 m³/h für Läden, Restaurants, Fabrikräume. Wir haben Erfahrung und liefern rasch und preisgünstig.



WRG Ventilator energiesparend betreiben mit modernsten Steuerungen von ANSON. Manuell oder zeit- und temperaturabhängig. Wir sind Spezialisten.

Beratung/Offerte überzeugen: **ANSON 01/461 11 11**

Friesenbergstrasse 108
8055 Zürich Fax 01/461 31 11

