

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 96 (2005)
Heft: 3

Artikel: West- und Südosteuropa werden zusammengeschaltet
Autor: Reinhardt, Petra / Carnal, Cédric / Sattinger, Walter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-857774>

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: 02.04.2026

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

West- und Südosteuropa werden zusammengeschaltet

Wide Area Monitoring überwacht das Netz beim Zusammenschluss

Die Konsequenzen des Krieges im ehemaligen Jugoslawien sind noch heute in vielen Bereichen deutlich spürbar. Mit der Zusammenschaltung der beiden Synchronbereiche der UCTE sind die regionalen Strommärkte Südosteuropas nun wieder physikalisch in die Märkte der UCTE-Zone eingebunden, die über die Grenzen der EU hinausgehen. Während und nach der Resynchronisierung erwies sich das Wide Area Monitoring als hilfreiches und zuverlässiges Werkzeug zur Überwachung der Netzstabilität.

Die Union für die Koordinierung der Übertragung elektrischer Energie (Union for the Coordination of Transmission of Electricity) – kurz UCTE – koordiniert die Interessen der Übertragungsnetzbetreiber in 23 Ländern Europas. Ihr ge-

Petra Reinhardt, Cédric Carnal, Walter Sattinger

meinsames Ziel ist es, die Betriebssicherheit des europäischen Verbundsystems zu gewährleisten. Durch die Netze der UCTE werden rund 450 Millionen Menschen mit einem Jahresgesamtverbrauch von ca. 2300 TWh mit elektrischer Energie versorgt.

Die Wiederausanschaltung der beiden UCTE-Synchronbereiche, die 1991 durch den Krieg im früheren Jugoslawien getrennt wurden, hat seit Jahren oberste Priorität für die UCTE. Dennoch konnte erst Anfang dieses Jahrzehnts mit den eigentlichen Vorbereitungen dafür begonnen werden.

Zunächst musste die erforderliche Infrastruktur für die Resynchronisierung der beiden Netzbereiche wieder aufgebaut werden. Im Jahr 2003 wurden umfangreiche Instandsetzungen und Neubauten wichtiger Übertragungseinrichtungen fertig gestellt, zum Beispiel die Umspannwerke Ernestinovo und Zerjavinec, deren Bau durch den kroatischen Übertragungsnetzbetreiber HEP (Hrvat-

ska Elektroprivreda) geleitet wurde. Die Adria-Verbindung Mostar-Gacko mit Umspannstationen und weiteren wichtigen Leitungen wurde in Bosnien-Herzegowina von JPCC (Joint Power Control Center) im August 2004 in Betrieb genommen.

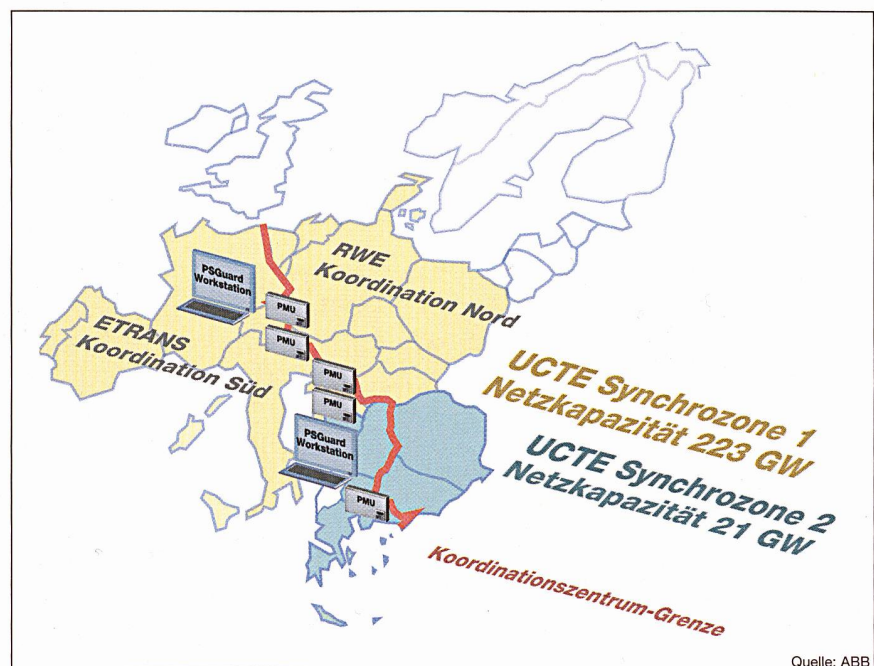
Detailliertes Resynchronisierungsprogramm

Alle Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) der Region, die im UCTE Executive Team for Reconnection zusammenarbeiten, haben seit 2002 die Massnahmen für eine Wiederausanschaltung der beiden UCTE-Synchronbereiche zu einem einzigen Netz koordiniert. Gemeinsam wurde ein detailliertes Resynchronisierungsprogramm ausgearbeitet und verabschiedet.

Dabei wurde festgelegt, dass alle technischen und organisatorischen Voraussetzungen¹⁾ bis zum 22. September 2004 erfüllt werden müssen. Am 25. September sollte schliesslich die Phasenlage im kroatischen Netz an das angrenzende, westeuropäische Netz angepasst werden.

Online-Daten erleichtern Synchronisierung

Die Entscheidung, mit dem von Zagreb aus koordinierten Resynchronisierungsprozess am 10. Oktober zu be-



Quelle: ABB

Bild 1 Südosteuropa wird wieder mit Westeuropa zusammengeschaltet

Wide-Area-Monitoring-Systeme (Weitbereichsüberwachungssysteme) mit Installationen in der Schweiz, Kroatien und Griechenland, werden zur Überwachung der Netzstabilität und Erfassung der dynamischen Netzvorgänge während und nach der Resynchronisierung des 1. und 2. UCTE-Synchronbereichs eingesetzt.

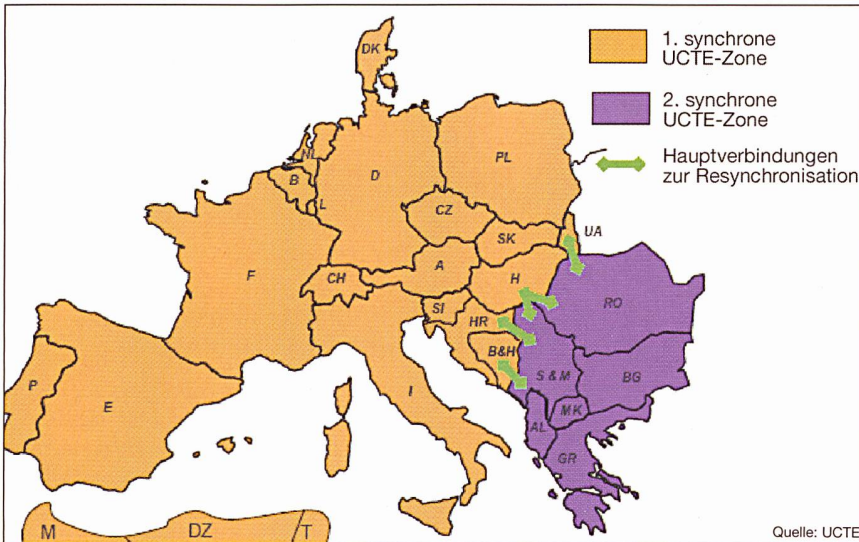


Bild 2 Die beiden UCTE-Synchronbereiche mit den fünf zugeschalteten 380-kV-Leitungen

Erfolgreicher Wiederanschluss an den EU-Strombinnenmarkt

Am Sonntag, den 10. Oktober 2004, um 9.34 Uhr (MESZ) wurde der zweite UCTE-Synchronbereich schliesslich mit dem ersten zusammengeschaltet. Hierfür wurde zunächst die Leitung Sandorfalva-Arad zugeschaltet. In den folgenden 45 Minuten nahm man die weiteren vier 380-kV-Leitungen (Sandorfalva-Subotica, Trebinje-Podgorica, Mukacevo-Rosiori und Ernestinovo-Mladost) über die frühere Trennlinie zwischen dem ersten und zweiten UCTE-Synchronbereich in Betrieb. Mit der Zuschaltung von zwei 220-kV-Leitungen und einer 110-kV-Leitung zwischen Bosnien-Herzegovina und Serbien-Montenegro wurde die Resynchronisierung um 10.58 Uhr (MESZ) erfolgreich abgeschlossen.

Das wiedervereinigte europäische UCTE-Netz deckt seitdem den grössten Teil Kontinentaleuropas ab und erstreckt sich von Dänemark bis Griechenland und von Portugal bis Polen und bis zum Ufer des Schwarzen Meeres. Die Resynchronisierung wird nicht nur in den Ländern Albanien, Bulgarien, Griechenland, der Republik Makedonien, Rumänien, Serbien und Montenegro, die bisher dem zweiten UCTE-Synchronbereich angehörten, spürbare positive Auswirkungen haben – sie bindet auch die regionalen Strommärkte Südosteuropas physikalisch in die Märkte der UCTE ein, welche über die EU-Grenzen hinausgehen.

Wide Area Monitoring überwacht das Netz

Europäische Übertragungsnetzbetreiber sind zwei Kräften ausgesetzt: Einerseits treiben steigende Nachfrage, Stromhandel und wirtschaftlicher Druck sie dazu, die Übertragungseinrichtungen optimal und kosteneffizient zu nutzen. Andererseits müssen die ÜNBs die Netzsicherheit jederzeit gewährleisten.

Da neue Leitungstrassen in Europa kaum noch durchsetzbar sind, müssen die vorhandenen Transportwege intensiver genutzt werden. Basierend auf jüngsten Fortschritten in der Mess-, Kommunikation- und Analysetechnik bieten sich Wide-Area-Monitoring-Systeme an. Mit dieser Technologie lassen sich Übertragungskorridore zuverlässig überwachen und Netzinstabilitäten rechtzeitig erkennen.

Vektormessung – der Schlüssel zu WAMS

Kritische Sammelschienen in heutigen Übertragungsnetzen werden üblicher-

ginnen, fiel in der Sitzung des UCTE Steering Committee am 23. September in Sarajewo. Als äusserst hilfreiches und leistungsfähiges Werkzeug erwies sich das Wide Area Monitoring System (WAMS)²⁾, das sowohl beim kroatischen Netzbetreiber HEP als auch bei der Schweizerischen Etrams im Einsatz steht. Die präzisen Messungen der Netzfrequenz aus der ersten und zweiten Synchronzone sowie die Phasenwinkeldifferenz zwischen Athen und Mettlen gaben dabei ein unmittelbares Bild der momentanen Netzstabilität.

Das Wide Area Monitoring System überwacht kontinuierlich die Dynamik in grossflächigen Übertragungsnetzen und zeichnet die Daten auf. Dies geschieht mit einer Zeitauflösung von 20 ms sowie einer Zeit- und Winkelgenauigkeit von $<1\mu\text{s}$, resp. $<0,1$ Grad. Die präzisen In-

formationen hätten bei einem unvorhergesehenen Ereignis während der Resynchronisierung ermöglicht, rechtzeitig zu reagieren. Zudem wurde das Zusammenschalten damit genau dokumentiert. Neben ihrer Aufgabe als UCTE-Koordinator des Südblocks leistete die schweizerische Etrams dank der Frequenzmessungen und den berechneten Differenzen der Phasenwinkel zwischen der Schweiz und Griechenland einen wichtigen Beitrag zur Resynchronisierung. Dazu wurde ein zeitsynchronisiertes Vektormessgerät (PMU = Phasor Measurement Unit) in Griechenland mit dem System in der Etrams-Netzleitzentrale in Laufenburg verbunden. Der kroatische Übertragungsnetzbetreiber HEP nutzt für seine Unterwerke in Zerjavinec und Tumbri dasselbe System von ABB wie die Etrams in der Schweiz.

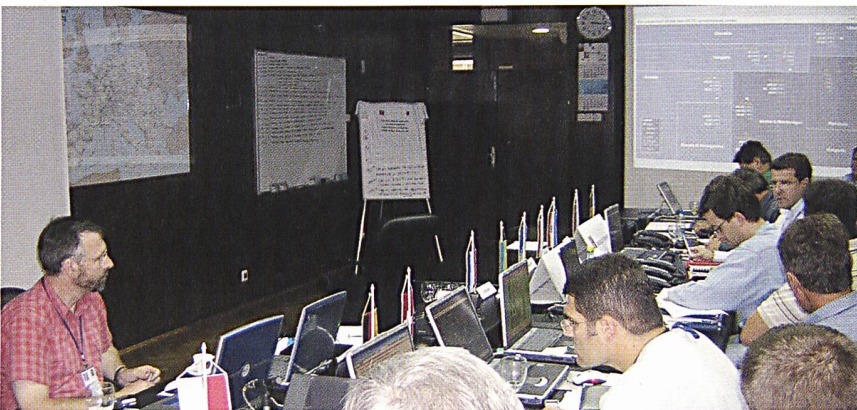


Bild 3 Letzte Kontrolle vor der Zusammenschaltung

Die Hauptkoordinationsstelle bei HEP in Zagreb am 9. Oktober – einem Tag vor dem Stichtag. Alle ÜNB-Verantwortlichen und der Koordinationsverantwortliche des UCTE-Südblocks, Dr. W. Sattinger (links), vor dem Wide-Area-Monitoring-System bei der letzten Überprüfung vor der Resynchronisierung.

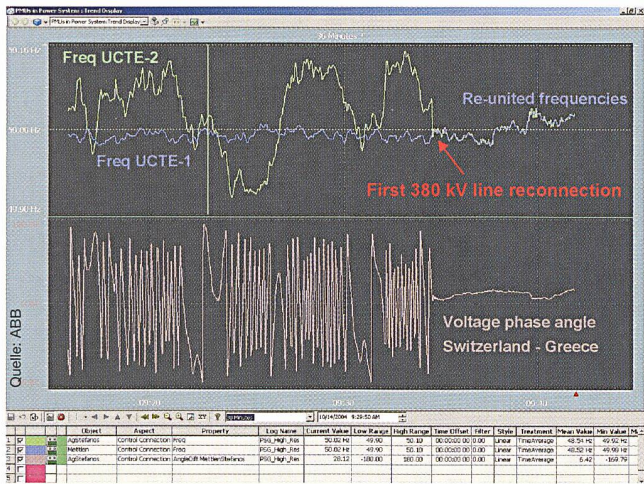


Bild 4 Differenzen vor und nach der Zusammenschaltung

Online-Trendanzeige der während des historischen Resynchronisierungsprozesses aufgezeichneten Frequenzen und Spannungswinkeldifferenzen

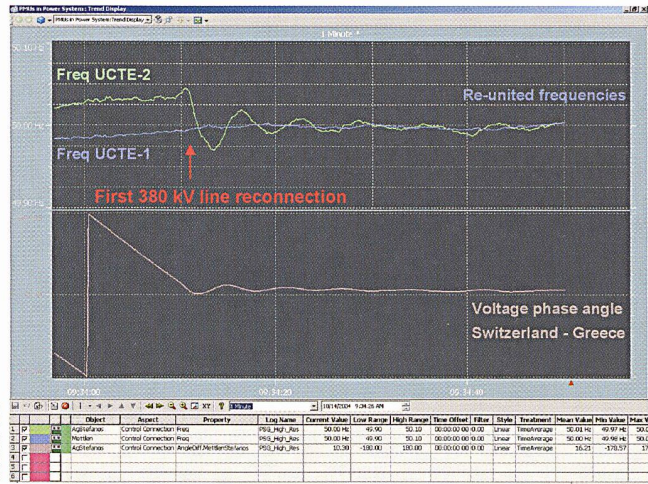


Bild 5 Im Detail

Präzise Online-Trendanzeige (1 Minute) des dynamischen Netzverhaltens nach der Zuschaltung der ersten 380-kV-Leitung (Arad – Sandorfalva)

weise anhand von statischen oder quasidynamischen Messungen überwacht. Basierend auf der zyklischen Erfassung nichtsynchronisierter Effektivwertmessungen durch RTUs geben traditionelle SCADA/EMS-Systeme lediglich ein begrenztes Bild der dynamischen Netzvorgänge. In einem System, dessen Eigenschaften sich mit Lichtgeschwindigkeit verändern, kann die Bereitstellung präziser Schnappschüsse den entscheidenden Unterschied beim Erhalt der Netzintegrität unter kritischen Zuständen ausmachen.

Ein Wide-Area-Monitoring-System erfasst Strom-, Spannungs- und Frequenzvektoren, die von Vektormessgeräten (PMU) an ausgewählten Orten im Netz gesammelt werden. Die Messwerte umfassen Betrag und Phasenwinkel und sind via GPS-Empfänger (Global Positioning System) mit einer Genauigkeit von einer Mikrosekunde zeitsynchronisiert.

Die zeitlich hochauflösenden, synchronisierten Vektormessungen verbessern die Überwachung wesentlich. Durch den Vergleich dieser örtlichen Messungen und unterstützt durch moderne Applikationen können Netzoperatoren nicht nur den statischen, sondern auch den dynamischen Zustand beobachten. Dies erlaubt eine bessere und schnellere Analyse von Netzzuständen, was wiederum mehr Zeit und Optionen zum Erhalt der Netzstabilität gibt. Die hochauflösenden Messungen können ausserdem zur Kalibrierung dynamischer Netzmodelle herangezogen werden.

Netzereignisse beherrschen

Die Bedürfnisse und Probleme von EVUs, wie der intelligente Lastabwurf, der Schutz des Netzes gegen Grosstöörungen und die Vermeidung von kaska-

dierenden Leitungsabschaltungen, können auf physikalische Phänomene reduziert werden: Winkel-, Frequenz- oder Spannungsinstabilität und Kaskadeneffekte. Die Betriebsführungssysteme nutzen die Informationen von WAMS, um diese Zustände zu erkennen und zu beheben.

Um die einzelnen Phänomene anzugehen, muss ein System entworfen werden, das hinsichtlich Eingangsvariablen, Entscheidungskriterien und Massnahmen einleitung zuverlässig arbeitet. PMU erlauben die direkte und schnelle Winkelmessung anstelle der indirekten Leistungsmessung und ermöglichen dadurch die Entwicklung genauerer Algorithmen für die Notsteuerung oder die Einleitung von Schutzmassnahmen:

- Überwachung der Phasenwinkel mit Frühwarnung und Notalarmierung;
- Überwachung der Leiterseiltemperatur mit Frühwarnung und Notalarmierung;
- Überwachung der Spannungsstabilität für Übertragungskorridore und ganze Netze mit Anzeige der Marge zur Stabilitätsgrenze;
- Erkennen von Leistungspendelungen mit Amplitude und Dämpfung der dominierenden Pendelmodi, Warnung und Alarmierung;
- Überwachung der Frequenzstabilität mit Amplitude und Dämpfung der dominierenden Pendelperiode, Warnung und Alarmierung.

Die Online-Informationen über berechnete Stabilitäts- und Sicherheitsmargen ermöglichen die optimale Nutzung

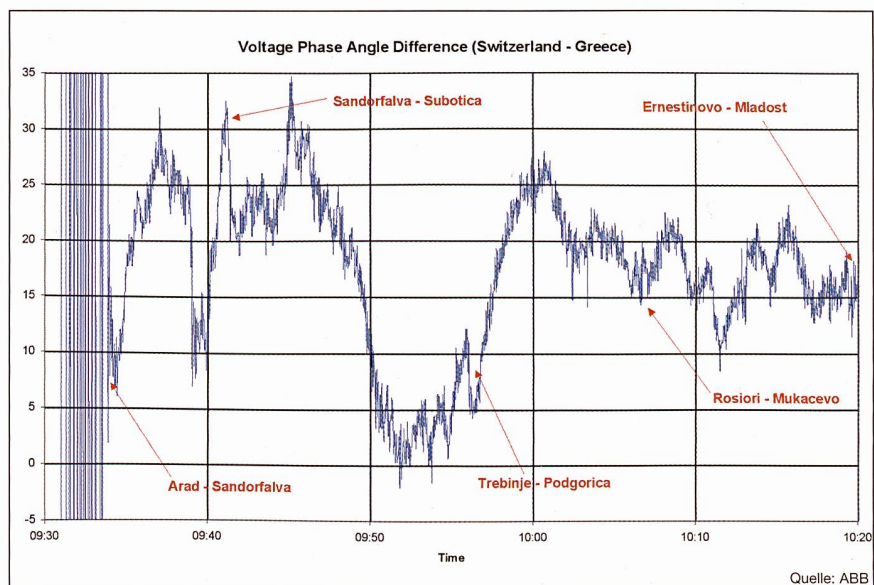


Bild 6 Analyse nach der Zusammenschaltung

Offline-Analyse der Winkeldifferenz während der Zuschaltung der fünf 380-kV-Leitungen

Energieübertragungsnetze

der Übertragungskapazität und tragen dazu bei, ausgedehnte Netzstörungen zu verhindern. Damit kann ein Netz so wirtschaftlich wie möglich betrieben werden, und gleichzeitig wird das geforderte Sicherheitsniveau eingehalten. Datenspeicherung und -export sowie eine ereignisorientierte Archivierung unterstützen spätere Analysen, Netzplanung und -modelloptimierung. Klassische Schutzsys-

teme hingegen schützen lediglich das Betriebsmittel, an dessen Klemmen gemessen wird.

Zukünftige Entwicklungen wie Schutz- und Steueranwendungen, die Vorbeuge- oder Abhilfemassnahmen empfehlen oder auch automatisch einleiten können – zum Beispiel in Zusammenarbeit mit anderen Steuergeräten wie FACTS (Flexible AC Transmission Sys-

tem) – stellen eine weitere Möglichkeit zur Optimierung des Betriebs dar. Wide-Area-Monitoring-Systeme können zudem zur Bewertung oder Unterstützung wichtiger Netzberechnungen wie der Netzzustandsschätzung herangezogen werden.

Angaben zu den Autoren

Petra Reinhardt ist seit 2001 Marketing Communication Manager bei ABB Schweiz AG, Utility Automation Systems. Vorher war sie zunächst als Verkaufingenieurin, dann als Key Account Manager bei ABB Schweiz und Südafrika im Bereich Schutz und Stationsleittechnik tätig.

ABB Schweiz AG, Baden, petra.reinhardt@ch.abb.com

Cédric Carnal ist seit 2002 Produktmanager für das Wide Area Monitoring System PSGuard bei ABB Schweiz AG, Utility Automation Systems, nachdem er während sieben Jahren für die Inbetriebsetzung und das Produktmanagement von Störschreibern zuständig war.

ABB Schweiz AG, Baden, cedric.carnal@ch.abb.com

Dr. Walter Sattinger ist seit 2003 Studieningenieur bei der Etrans. Vorher war er acht Jahre bei der Firma Digsilent im Bereich Netzstudien tätig.

Etrans AG, Laufenburg, walter.sattinger@etrans.ch

L'Europe occidentale et le sud-est de l'Europe sont interconnectés

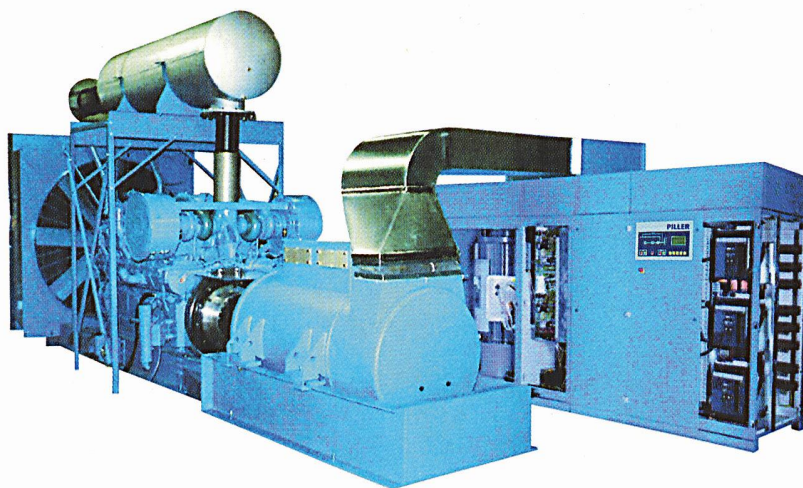
Le Wide Area Monitoring surveille le réseau à l'interconnexion

Les conséquences de la guerre dans l'ancienne Yougoslavie sont toujours nettement visibles dans bien des domaines. Après l'interconnexion des deux zones synchrones de l'UCTE, des marchés régionaux de l'électricité dans le sud-est de l'Europe sont désormais intégrés physiquement aux marchés de la zone UCTE qui s'étendent au-delà des frontières de l'UE. Pendant et après la resynchronisation, le Wide Area Monitoring s'est avéré être un instrument utile et fiable pour la surveillance de la stabilité du réseau.

¹ Netzinfrastruktur, Betriebsbereitschaft der Regelblöcke, Massnahmen zur Aufrechterhaltung der statischen und dynamischen Stabilität des gesamten zusammenschalteten Netzes, Vorbereitungsaufgaben für erweiterte Netzfahrplanungs- und Abrechnungsprozesse, Online-Datenübertragung

² Sowohl in der Schweiz als auch in Kroatien ist das System PSGuard von ABB installiert.

Statische oder dynamische Systeme mit oder ohne integriertem Diesel- oder Gas-Motor und Kurzzeit Energiespeicher (Powerbridge)



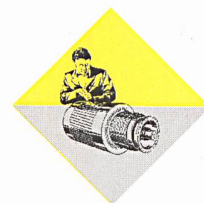
Leistungsbereich
statisch 3 - 4000 kVA
bei Parallelbetrieb
dynamisch 150 kVA - 40 MVA
bei Parallelbetrieb

Althardstrasse 190
8105 Regensdorf
Tel. 01 870 93 93
Fax 01 870 93 94
E-mail: info@gebrueder-meier.ch

Buchsweg 2
3052 Zollikofen
Tel. 031 915 44 44
Fax 031 915 44 49

Bureau Suisse romande
2500 Bienne 6
Case postale 101
Tel/Fax. 032 342 48 63
Internet: www.gebrueder-meier.ch

Emmenweid
6021 Emmenbrücke
Tel. 041 209 60 60
Fax 041 209 60 40



gebrüder meier ag
elektrische maschinen und anlagen