

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse  
**Band:** 96 (2005)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Elemente einer sicheren Elektrizitätsversorgung  
**Autor:** Sillaber, Alfons  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-857792>

### **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:** 19.01.2026

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

# Elemente einer sicheren Elektrizitätsversorgung

## Skizze einer Fundamentalanalyse des technisch-ökonomischen Gesamtsystems

### Teil 1: Technik der Elektrizitätsversorgung

(Teil 2 «Rechtsrahmen und wirtschaftliche Organisation» folgt in der nächsten Ausgabe, Bulletin SEV/VSE 9/2005)

Die Analyse der jüngsten Grossstörungen in Nordamerika und Europa offenbart eine Fülle fundamentaler Ursachen und unmittelbarer Anlässe, die zur Beeinträchtigung einer sicheren Elektrizitätsversorgung beitragen können. Nachhaltigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit des komplexen ökonomisch-technischen Gesamtsystems hängen von einer Vielzahl vernetzter Einflussfaktoren ab, die Zeithorizonte von Mikrosekunden bis zu Jahrzehnten umspannen. Nur die ausgewogene und umfassende Betrachtung all dieser Faktoren ermöglicht ein fundamentales Verständnis der Erfordernisse einer sicheren Elektrizitätsversorgung [1,2].

■ Alfons Sillaber

### Einleitung

Die Entwicklung langfristig zuverlässiger und kostengünstiger Elektrizitätssysteme sowie attraktiver, fairer und stabiler Marktplätze für Stromprodukte erfordert eine zielorientierte supranationale Zusammenarbeit der beteiligten Institutionen, Unternehmen, Manager und Experten. Der internationale Rechtsrahmen, die nationalen und regionalen Ausführungsgesetze, detaillierte behördliche Ausführungsverordnungen, die branchenspezifischen Marktregeln und technischen Bestimmungen determinieren Handlungsspielräume und Geschäftsstrategien der Marktpartner und damit auch die künftige Entwicklung von Zuverlässigkeit und Sicherheit der Stromversorgung [3].

Instandhaltung und technischer Betrieb eines kontinentalen Elektrizitätssystems, die kommerzielle Abwicklung des internationalen Energiehandels, der System-

dienstleistungen und der Endkundengeschäfte durch eine Vielzahl beteiligter Marktpartner wirken sich unmittelbar auf die Produktqualität aus. Die Liberalisierung der Elektrizitätsmärkte hat durch Entflechtung der vertikal integrierten Unternehmen eine Vielzahl neuer Kategorien von Marktteilnehmern mit höchst unterschiedlichen Interessen geschaffen und damit die Komplexität des ökonomisch-technischen Gesamtsystems fundamental erhöht (Bild 1).

Im Folgenden werden anhand des kontinentalen west- und zentraleuropäischen Elektrizitätssystems die Entwicklung des Verbundbetriebs, die Erfolgsfaktoren für eine sichere und zuverlässige Betriebsführung sowie die Auswirkungen der Liberalisierung auf den Systembetrieb vor-

gestellt. Fragen zur optimalen Entwicklung und Instandhaltung des Gesamtsystems sowie der gesicherten Rohenergiebeistellung werden diskutiert. Der Einfluss der rechtlich-ökonomischen Organisation der Elektrizitätswirtschaft auf die Versorgungssicherheit ist evident. Die Entwicklung der Marktorganisation, die Interessenslage der Marktpartner und die Eckpunkte einer an Versorgungssicherheit orientierten Marktgestaltung sind zu beleuchten. Den Abschluss bildet eine Übersicht zu grundsätzlichen Aspekten, Themenfeldern und zu betrachtenden Zeithorizonten der Versorgungssicherheit.

### Technik der Stromversorgung

#### Wirtschaftlicher Verbundbetrieb in Zentraleuropa

#### Entwicklung und Vorteile des Verbundbetriebes

In den ersten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts setzte sich die Hochspannungs-Drehstromübertragung als wirtschaftlichste Methode zur Fernübertragung elektrischer Energie durch. Nach dem Zweiten Weltkrieg entwickelte sich ein kontinentales zentraleuropäisches Drehstrom-Verbundnetz mit Betriebsspannungen von 220 und 380 kV. Be-

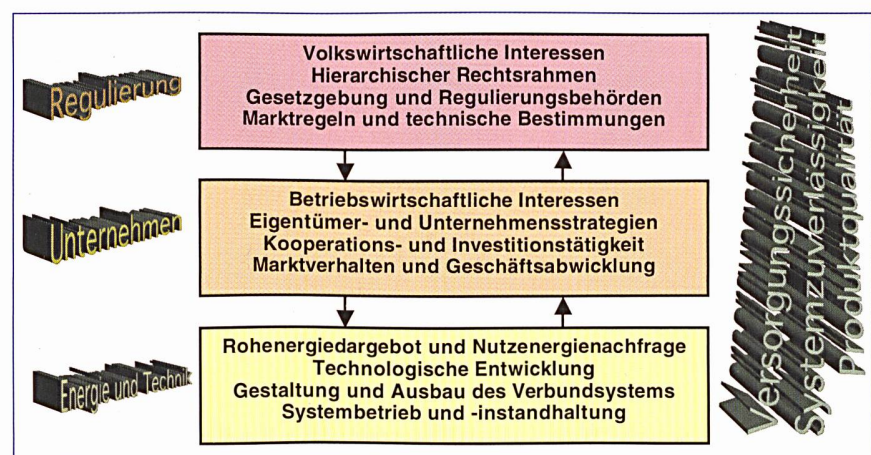
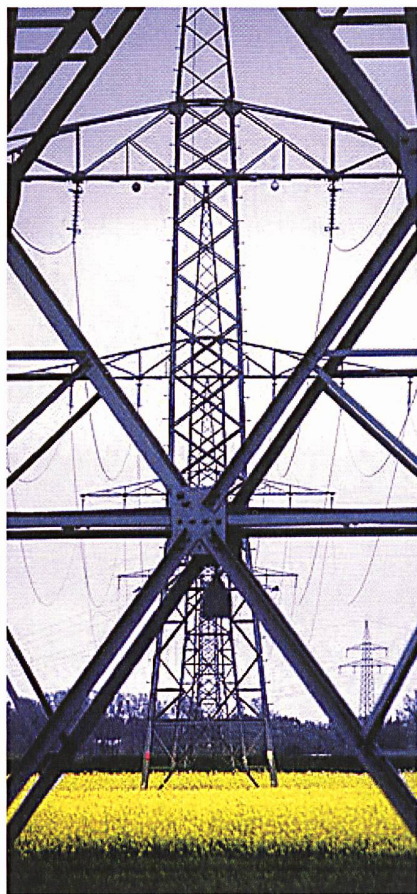


Bild 1 Ökonomisch-technisches Gesamtsystem der Elektrizitätsversorgung.

Adresse des Autors  
Alfons Sillaber  
Dozent für Elektroenergiesysteme  
Institut für Elektrische Anlagen  
Technische Universität Graz

Leiter Geschäftsbereich Strom Netz  
Innsbrucker Kommunalbetriebe AG  
Salurner Straße 11  
A-6020 Innsbruck  
E-Mail: a.sillaber@ikb.at





Wirtschaftlicher Verbundbetrieb: Frequenz- und Spannungsstabilität sind betrieblich von zentraler Bedeutung (Bild Kueste).

triebliche Merkmale sind das ständig erforderliche Gleichgewicht für Wirk- und Blindleistung, die nichtlinear verteilten Lastflüsse im Maschennetz und die hohen Reaktanzen der Freileitungen. Maschinensätze und Leitungen stellen ein elektromechanisch schwingungsfähiges Gebilde dar, daher sind Frequenz- und Spannungsstabilität betrieblich von zentraler Bedeutung [4].

Die enormen Vorteile des grossflächigen Verbundbetriebes liegen in der Entkopplung der einzelnen Erzeugungs- und Verbrauchsganglinien, im wirtschaftlich koordinierten Einsatz unterschiedlicher Typen zentraler Grosskraftwerke, in der Einbindung ortsgebundener, dezentraler Kraftwerke mit erneuerbaren Primärenergieträgern oder Kraft-Wärme-Kopplung, in der Nutzung der Ungleichzeitigkeit regionaler Lastspitzen sowie in der gemeinsamen Reservehaltung und gegenseitigen Aushilfe der Verbundpartner bei Betriebsstörungen. Die dezentrale Struktur langfristig autarker Regionen hinsichtlich Aufbringung und Verbrauch sowie die ebenfalls dezentrale Betriebsführung tragen wesentlich zur hohen Verlässlichkeit des technischen Gesamtsystems in Zentraleuropa bei [5].

### Regelung in Verbundnetzen

Die dezentrale Turbinenregelung mit Statikkennlinie ist die Basis der Frequenzhaltung. Die überlagerte zentrale Sekundär- oder Netzregelung in jeder Regelzone ermöglicht regionale Gleichgewichte von Erzeugung und Verbrauch bei planmässigem Ex- und Import. Die allenfalls übergeordnete zentrale Tertiärregelung oder Betriebsoptimierung (economic dispatch) dient primär der Senkung der Betriebskosten, sie führt bei konvexen Umwandlungskostenkurven aber im Allgemeinen auch zu sicheren Betriebszuständen. Von zentraler Bedeutung sind zeitgerechte und verlässliche Bereitstellung, Abruf und Einsatz ausreichender, qualitativ entsprechender und örtlich richtig verteilter Regelleistung [6].

Die Spannungshaltung in Höchstspannungs-Freileitungsnetzen erfordert in Abhängigkeit von den durchzuführenden Wirkleistungstransporten geregelte dezentrale Blindleistungs-Einspeisungen. Vorrangig werden hierfür die Synchrongeneratoren der Kraftwerke, aber auch eigene Blindleistungskompensatoren eingesetzt, eine überlagerte Optimierung der Blindleistungseinspeisungen kann zur Minimierung der Transportverluste und zur Vergleichsmässigung des Spannungsprofils dienen. Blindleistungstransporte über grosse Entfernungen sind in Freileitungsnetzen praktisch nicht möglich.

Der Maschennetzbetrieb erzwingt die Aufteilung der Leistungsflüsse auf alle Parallelwege entsprechend dem Ohmschen und den Kirchhoffschen Gesetzen. Diese Aufteilung kann durch Regeltransformatoren oder besondere Schaltzustände, zukünftig auch durch leistungselektronische Steuereinrichtungen (FACTS) beeinflusst werden. Für die Wirkleistungssteuerung eignen sich Quer- und Schräg regler, zur Blindleistungssteuerung Längsregler und statische Kompensatoren, ein universelles Stueurelement ist der UPFC (universal power flow controller) [4].

### Leitstellen zur Betriebsführung

Ein wesentliches Merkmal des kontinentalen Verbundbetriebes ist die dezentrale Betriebsführung durch Leitstellen in den einzelnen historisch gewachsenen, kommerziell oder politisch determinierten Regelzonen. Zu deren wesentlichen Aufgaben zählen die koordinierte wirtschaftliche Betriebsführung des Gesamtsystems, die abgestimmte Abwicklung von Instandhaltungsarbeiten, das Überwachen der Betriebssicherheit, Abhilfemassnahmen bei unzureichender Betriebssicherheit, das Wiederherstellen

des sicheren Betriebes nach Störungen und der Netzwiederaufbau nach grossflächigen Netzzusammenbrüchen.

Liberalisierte Märkte führen wegen der Entflechtung von Erzeugung und Transport häufig zur Einrichtung getrennter Leitstellen für Kraftwerke und Netze. Sie bringen neue Aufgabenstellungen im Management von angemeldeten Fahrplänen und Transiten, in der Bereitstellung von Ausgleichsenergie und Systemdienstleistungen sowie im allfällig erforderlichen Engpassmanagement. Hinzu kommen ein umfangreiches Energiedatenmanagement und die Energieabrechnung mit einer grossen Zahl von Marktpartnern [7].

### Zuverlässige und sichere Betriebsführung

#### Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch

Meist wird die Erzeugungsleistung als exogen determiniert vorausgesetzt, mehrfach periodischen, stochastischen Verbrauchsganglinien nachgeführt. Die bereits skizzierten Regelmethoden müssen dabei die Stabilität des elektromechanischen Gesamtsystems rein erzeugerseitig sicherstellen. Das verbraucherseitige Netzregelverhalten wird als gegeben vorausgesetzt, eine regeltechnische Beeinflussung des Verbrauchs ist im Allgemeinen nicht vorgesehen. Nur bei Grossstörungen wird der stufenweise automatische Lastabwurf als letztes Mittel zur Verhinderung eines grossflächigen Netzzusammenbruchs eingesetzt.

Es gibt jedoch auch Vorschläge, kurzfristig abschaltbare und zentral steuerbare Verbrauchsmittel für Heizung oder Warmwasserbereitung für Gefahrensituationen an Stelle rotierender Reserveleistung vorzusehen. Mit moderner Leitetchnik wären auch umfangreiche verbraucherseitige Massnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit vorstellbar (reliability oriented demand side management) [8].

#### Ausfälle und Störungsausweitung

Die Auswirkungen stochastischer Ereignisse wie Betriebsmittelausfälle oder Lastschwankungen sind durch Vorhalten von örtlich richtig verteilten Erzeugungs- und Transportreserven zu limitieren, wobei die Reservekraftwerke detaillierte Qualitätsanforderungen erfüllen müssen. Durch ungeplante Ereignisse kann das System vom wirtschaftlich optimalen in einen lokal oder grossräumig gefährdeten Betriebszustand geraten, es können loka-



le Störungen oder grossflächige Ausfälle auftreten.

Eine fundamentale Voraussetzung für die sichere Betriebsführung ist die Einhaltung des N-1-Prinzips. Es handelt sich um ein sehr wirksames heuristisches Prinzip, bedarf jedoch näherer Spezifikationen auf Basis eingehender probabilistischer Ausfallanalysen. Seine systemweit einheitliche und zuverlässigkeitsorientierte Anwendung sollte durch präzise Regelungen sichergestellt werden [9].

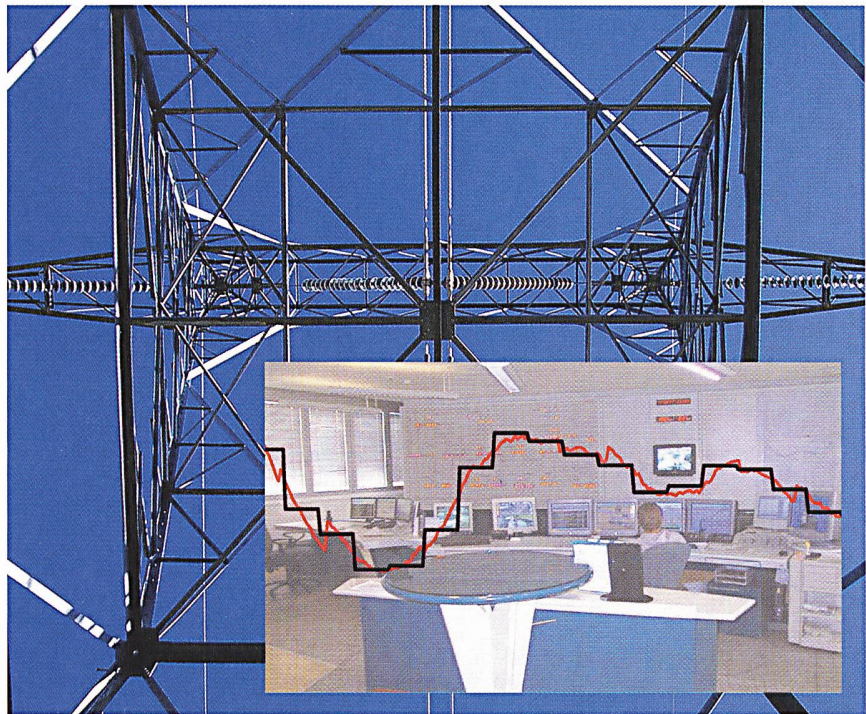
Entscheidend sind wirksame Verfahren zur Störungseingrenzung, die eine mögliche Fehlerausbreitung durch Folgefehler, Frequenz- oder Spannungsinstabilität und damit grossflächige Systemzusammenbrüche verhindern sollen. Dazu zählen dezentrale automatische frequenzabhängige Massnahmen wie die Änderung des Einsatzes von Pumpspeicherkraftwerken, Frequenzstützung durch automatische Aktivierung von Regelleistung, Sollbruchstellen oder der stufenweise Lastabwurf. Beispiele für spannungsabhängige Massnahmen sind das Schalten von Kompensationseinrichtungen oder die Blockierung von Transformator-Stufenschaltern. Selektivschutzeinrichtungen sollten so selektiv wie möglich arbeiten und bei Überlast die aktuellen thermischen Reserven des Betriebsmittels nutzen, um die Zeit bis zur Abschaltung zu verlängern.

Neue satellitengestützte Messsysteme ermöglichen weiträumige präzise Spannungsvektormessungen in Echtzeit als Basis für mögliche neue Regel- und Schutzkonzepte. Sich anbahnende Wirk- und Blindleistungsinstabilitäten können rasch erkannt und sofortige, über ein grosses Gebiet koordinierte Gegenmassnahmen ergriffen werden [10].

### Leitstellen und Betriebsüberwachung

Auch eine hoch automatisierte Betriebsführung erfordert neben dezentralen Steuer-, Regel- und Schutzeinrichtungen zusätzlich die Überwachung und Steuerung durch den Menschen mit zentralen Leitstellen je Regelzone. Netzleitstellen erfassen Ereignisse und Betriebszustände des eigenen Netzes und der angrenzenden Teile der Nachbarnetze in Echtzeit. Sie benötigen zusätzliche Informationen über alle Kraftwerke, die für Systemdienstleistungen zur Verfügung stehen sowie über beeinflussbare Verbraucher.

Der Betriebsführer und die Netzsicherheitsanalyse sind auf ein vollständiges und konsistentes Bild des Betriebszustandes angewiesen, das meist mit Zustandsschätzung aus den verfügbaren Messgrössen gewonnen wird. Insbeson-



Die Praxis zeigt, dass es zu erheblichen Abweichungen zwischen kommerziellen Transiten und den physikalischen Leistungsflüssen kommen kann (Bilder IKB AG und miniquest).

dere in kritischen Situationen gelangt eine Flut von Prozessinformationen in die Leitstelle, entscheidend sind eine effiziente Informationsfilterung, -selektion, -verdichtung, -auswertung und -präsentation [7].

Die Zustandsschätzung bildet die Basis aller weiter führenden Betriebsanalysen wie Nachbildung der Nachbarnetze, Lastflusssimulation, Transit-, Grenzwert- und Trendüberwachung, Berechnung von Sicherheitsindizes, Ausfallsimulation und Stabilitätsanalyse. Wesentlich für die Betriebssicherheit ist das rasche Ziehen der richtigen Schlussfolgerungen, insbesondere bei sich anbahnenden Grossstörungen sind rasch die richtigen Abhilfemassnahmen zu ergreifen. Die maschinelle Unterstützung durch Expertensysteme ist dabei noch auf Sonderfälle beschränkt.

Eine ergonomische und leistungsfähige Mensch-Maschine-Schnittstelle in der Leitstelle bildet die Basis für die rasche Störungserkennung, Ursachenanalyse und Abhilfemassnahmen durch den Betriebsführer. Realitätsnahe Trainingssimulatoren sowie intensiver Erfahrungsaustausch und detaillierte Betriebs- und Störungsanalysen müssen dem Personal die notwendige zielgerichtete Reaktionsfähigkeit vermitteln [7].

### Leitstellen und Störungsausweitung

Gerade bei gefährdeter oder gestörter Stromversorgung kommt der uneingeschränkten und unmittelbaren Hand-

lungsfähigkeit der Netzleitstelle höchste Bedeutung zu. Der Eigendynamik sich entwickelnder Grossstörungen sollen im ersten Moment die automatischen dezentralen Schutzanlagen entgegenwirken. Erfahrungsgemäss sind solche Ereignisfolgen aber derart vielfältig, dass übergeordnete individuelle Massnahmen trotzdem meist unerlässlich sind. Wichtig sind rasche direkte Zugriffsmöglichkeiten auf Regel- und Reservekraftwerke, Netzelemente sowie beeinflussbare Netzlasten.

Wegen der Systemdynamik und möglicher Lawineneffekte kommt der reibungslosen Kooperation der Netzleitstellen insbesondere zur Verhinderung von Störungsausweitungen und Grossstörungen sowie auch beim Netzwiederaufbau eminente Bedeutung zu. Die Basis bilden zuverlässige und leistungsfähige Kommunikationslinien für Prozessinformationen zur Aktualisierung der Prozessabbilder sowie Telekomverbindungen für den zuverlässigen Informationsaustausch der Betriebsführer. Wichtig für jede Regelzone sind detaillierte Zustands- und Ereignisinformationen vor allem aus jenen Nachbarbereichen, aus denen nennenswerte Importe kommen. Vereinfachte Nachbildungen der angrenzenden Teile des Nachbarnetzes reichen für gezielte Abhilfemassnahmen bei sich anbahnenden Grossstörungen oft nicht aus [1].

Einen Überblick über die Erfordernisse eines sicheren Verbundbetriebes gibt Bild 2.



<b>Zuverlässiger Verbundbetrieb Reliable system operation</b>			
Erzeugung	Übertragung	Verteilung	Verbrauch
<b>Gesicherte Rohenergieversorgung</b>  <b>Brennstofflager</b>  <b>Diversifikation</b>  <b>Ausreichende verlässliche Produktion</b>  <b>Ausreichende Ausgleichs- und Regenergie</b>  <b>Angemessene Reservekapazitäten</b>  <b>Qualitativ hochwertige Systemdienstleistungen</b>  <b>Schwarzstart- und Inselbetriebsfähigkeit</b>  <b>Sicherheitsorientierte Instandhaltung und Betriebsorganisation</b>  <b>Verlässliche Leittechnik und Kommunikation</b>	<b>Ausreichende Transportkapazitäten</b>  <b>Ausreichende Reservekapazitäten</b>  <b>Zuverlässigkeitsorientierte Transite</b>  <b>Hochverfügbare Betriebsmittel</b>  <b>Sicherheitsorientierte Instandhaltung und Betriebsorganisation</b>  <b>Verlässliches Leitsystem für Netz und Systemdienstleistungen</b>  <b>Gesicherte Kommunikation mit Verbundpartnern</b>  <b>Grossstörungsmanagement</b>  <b>Vorsorge für Netzwiederaufbau</b>	<b>Ausreichende Transportkapazitäten</b>  <b>Angemessene Reservekapazitäten</b>  <b>Hochverfügbare Betriebsmittel</b>  <b>Sicherheitsorientierte Betriebsorganisation</b>  <b>Effiziente Störungsbehebung</b>  <b>Spannungsqualität</b>  <b>Ausreichende Leit- und Schutztechnik</b>	<b>Geografische Nähe zur Erzeugung</b>  <b>Prognostizierbarkeit</b>  <b>Spitzenlastmanagement</b>  <b>Steuerbarkeit</b>  <b>Kommerzielle und zuverlässigkeitsorientierte Reaktionsfähigkeit</b>  <b>Frequenzabhängiger Lastabwurf</b>  <b>Notstromerzeugung</b>
<b>Aktive enge technische Kooperation</b>			

Bild 2 Erfordernisse eines sicheren Verbundbetriebes.

## Betriebsführung und liberaler Markt

### Sicherstellung der Systemdienstleistungen

Übertragungsnetzbetreiber bzw. Regelzonenführer müssen sich wegen der Entflechtung von Erzeugung und Übertragung alle Systemdienstleistungen von Erzeugern meist kurzfristig vertraglich sichern. Nach einem transparenten und nicht diskriminierenden Verfahren haben sie hierfür die kostengünstigsten technisch geeigneten Kraftwerke zu ermitteln und einzusetzen. Die technischen Zugriffsmöglichkeiten der Netzleitstellen auf Regel- und Reservekraftwerke sollten über gesicherte Fernwirklinien wie früher innerhalb eines Unternehmens möglich sein. Insbesondere bei starken kommerziellen Transiten an den Kapazitätsgrenzen ist die zuverlässige und örtlich richtige Bereitstellung der Systemdienstleistungen äusserst wichtig für den sicheren Netzbetrieb.

Vorzusehen sind ausreichende Reserven und Ersatzstrategien für Systemdienstleistungen auch bei unvorhergesehenen Ereignissen wie beispielsweise Kraftwerks-, Leittechnik-, Fernwirk- oder Netzreglerstörungen. Dies gilt besonders für zentrale Funktionen wie die Sekundärregelung. Da die örtliche Verteilung der kommerziellen Erzeugung und der Systemdienstleistungen im Übertragungsnetz den Ablauf von Grossstörungen beeinflusst, sind vor allem Regelzongrenzen überschreitende Bereitstellungen von Systemdienstleistungen im Detail zu prüfen [4,9].

### Betriebsplanung, Engpässe und Abweichungen

Vor der Marktliberalisierung wurde für jede Regelzone eine integrierte Betriebsplanung für Kraftwerke, Ex- und Importe und das Übertragungsnetz mit dem Ziel minimaler Gesamtkosten unter Einhaltung der Randbedingungen für

einen sicheren Betrieb durchgeführt. Die Marktliberalisierung erforderte eine Entflechtung der Betriebsplanung in eine kommerzielle Transaktions- und Fahrplanphase, allenfalls samt Engpassmanagement, sowie in eine technische Überprüfungsphase mit Planung der erforderlichen Systemdienstleistungen.

Wie zu erwarten, führen einfache liberale Marktmodelle generell zu dauernd höheren Auslastungen der kommerziell interessanten Kraftwerke sowie vieler Transitleitungen und damit zu tendenziell niedrigerer Systemverlässlichkeit. Ist die Nachfrage nach Transiten zwischen Regelzonen regelmässig höher als die unter Berücksichtigung von Betriebsreserven zur Verfügung stehende Leitungskapazität, so wird diese unter den Interessenten auktioniert oder eine Markttrennung vorgenommen. Dieses Engpassmanagement sollte so gestaltet werden, dass nicht nur ein minimales, sondern ein optimales Niveau der Betriebssicherheit erreicht wird, da solche Engpässe erfahrungsgemäss über längere Zeit bestehen.

In der Praxis zeigt sich, dass es zu erheblichen Abweichungen zwischen kommerziellen Transiten und den physikalischen Leistungsflüssen kommen kann. In inhomogenen Übertragungsnetzen erhöht sich dadurch das Überlastungsrisiko vor allem in den schwächer ausgebauten Netzteilen. Nach der Anmeldung der kommerziellen Kraftwerksfahrpläne und Transportdienstleistungen muss daher den Übertragungsnetzbetreibern Gelegenheit gegeben werden, die technische Umsetzbarkeit und die erzielbare Betriebssicherheit zu analysieren und die erforderlichen Systemdienstleistungen zu planen. Wird das notwendige Sicherheitsniveau nicht erreicht, müssen die Netzbetreiber von den Kraftwerksbetreibern entsprechende Änderungen der Fahrpläne verlangen, die dann auch umzusetzen sind.

## Systementwicklung, Instandhaltung und Rohenergiebereitstellung

### Optimale Systementwicklung

Die langfristige Systemplanung zur Optimierung von Gesamtkosten und Versorgungssicherheit erfordert stabile rechtliche sowie ökonomische Rahmenbedingungen und die gemeinsame Betrachtung von Rohenergieaufbringung, Kraftwerken, Übertragungsnetzen, Verteilung und Verbrauch. Aus mehreren Gründen ist sie derzeit kaum durchführbar: Die rechtlichen Rahmenbedingungen und Regulierungsmodelle sowie die



nationalen Elektrizitätsmärkte befinden sich in einer Umbruchphase. Die Entflechtung von Erzeugung und Übertragung verhindert ebenfalls eine integrierte Systemplanung, die koordinierte Entwicklung muss zukünftig durch geeignete langfristige Marktsignale und allenfalls auch durch zusätzliche Marktregeln sichergestellt werden [11].

Die zwar prozentuell niedrige, jedoch langfristig stetige Zunahme des Elektrizitätsbedarfs in Zentraleuropa, der mögliche langfristige Ausstieg aus der Kernkraft, die stürmische Entwicklung nicht steuerbarer Erzeugung aus Windkraft und der Investitionsrückstau in manchen Ländern erfordern in den kommenden Jahrzehnten beachtliche Investitionen in Erzeugungs- und Übertragungsanlagen. Darüber hinaus setzen ausreichende Systemdienstleistungen den Bau der richtigen Kraftwerkstypen zur richtigen Zeit am richtigen Ort voraus [12].

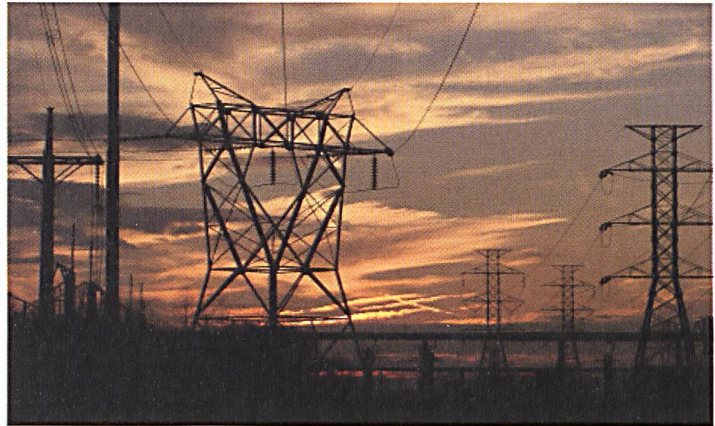
### Bau und Instandhaltung von Kraftwerken und Leitungen

Der notwendige Bau von Kraftwerken und Übertragungsleitungen darf nicht durch überzogene Umweltauflagen und unabsehbare Dauern der Genehmigungsverfahren behindert werden, insbesondere wenn bereits ein langjähriger Investitionsrückstau existiert. Dies sollte vor allem für verbrauchsnahe Kraftwerkstandorte und Leitungstrassen zur Beseitigung von Engpässen gelten.

Aus historischen Gründen weist das UCTE-Übertragungsnetz, das im Wesentlichen von nationalen bzw. regionalen Monopolunternehmen errichtet worden ist, beachtliche Inhomogenitäten und auch Engpässe vor allem bei internationalen Transitleitungen auf. Ursachen hierfür sind vor allem im bisherigen Vorrang der nationalen Transportaufgaben und in den unterschiedlichen gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Rohenergienutzung und den Leitungsbau zu sehen. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit tragen somit sowohl der Bau von Transitleitungen als auch die Beseitigung grober Netzinhomogenitäten bei.

Für den sicheren Systembetrieb entscheidend ist die grösstmögliche regionale Ausgewogenheit bei der Errichtung unterschiedlicher Kraftwerkstypen. Dies ist vor allem für die langfristige Bereitstellung quantitativ und qualitativ ausreichender und örtlich günstig verteilter Systemdienstleistungen erforderlich. Ebenso wichtig sind Auslegung und Ausstattung der Kraftwerke für den sicheren Betrieb: Schwarzstartfähigkeit, Betriebsreserven der Rohenergiespeicher, Aus-

Zur Erhöhung der Betriebssicherheit tragen somit sowohl der Bau von Transitleitungen als auch die Beseitigung grober Netzinhomogenitäten bei (Bild SPS Power).



legung der Turbinen und Synchrongeneratoren, Regelfähigkeit für Wirk- und Blindleistung, Kurzschlussverhalten, Kommunikations-, Regel-, Leit- und Schutzeinrichtungen.

Selbstverständlich ist beim Bau neuer Kraft- und Umspannwerke sowie Leitungen auf grösstmögliche Zuverlässigkeit unter Einsatz sinnvoller Redundanzen zu achten. Dies gilt beispielsweise für das Sensorkonzept im Kraftwerk, die Überspannungs-Schutzmassnahmen im Höchstspannungssystem, die Schaltanlagentopologien oder die Mastauslegung für Schnee- und Windlasten.

Die zeitliche Abstimmung von Instandhaltungsarbeiten beeinflusst wesentlich die in bestimmten Bedarfssituationen zur Verfügung stehenden Reservekapazitäten und somit die Versorgungssicherheit. Wenn Anreize zu einer hinsichtlich Komponenten und Gesamtsystem zuverlässigkeitsorientierten Instandhaltungsplanung fehlen, steht verständlicherweise die unternehmensbezogene Ergebnisoptimierung im Vordergrund.

### Rohenergiebereitstellung und technologische Entwicklungen

Das System der Rohenergiebereitstellung ist bei der Planung einer sicheren Stromversorgung ebenfalls zu berücksichtigen. Analysen der Verfügbarkeit

der Bezugsquellen und des Transportsystems eines Rohenergieträgers können beispielsweise die Diversifikation der Rohenergiequellen oder die Bevorzugung gesicherter verfügbarer Rohenergieträger empfehlen. Lokal verfügbare Energiespeicher (z.B. Wasser, Kohle, Erdgas, Druckluft) können in temporären Engpasssituationen hilfreich sein [13].

Der breite Einsatz neuer Technologien in Erzeugung und Übertragung bedingt sorgfältige Analysen der Auswirkungen auf die Sicherheit der Stromversorgung. Moderne Grosskraftwerke sind nicht nur effizienter als alte, sie verfügen im Allgemeinen auch über eine bessere Regelfähigkeit und höhere Verfügbarkeit. Der massive Bau von Windkraftwerken in abgegrenzten Gebieten erfordert eine Fülle von Begleitmassnahmen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit. Eine starke Zunahme der dezentralen Erzeugung beispielsweise durch die Brennstoffzellentechnologie kann unter bestimmten systemtechnischen Voraussetzungen zur Versorgungssicherheit beitragen. Der vermehrte Einsatz von Leistungselektronik in Übertragungsnetzen, sei es in Höchstspannungs-Gleichstromnetzen oder zur Lastflusssteuerung in Drehstromnetzen wird sich ebenso auf die Produktqualität auswirken [4].

Literaturverzeichnis folgt in der nächsten Ausgabe, Bulletin SEV/VSE 9/2005

## Eléments à la base d'un approvisionnement fiable en électricité

L'analyse des plus récentes grandes perturbations en Amérique du Nord et en Europe révèle de nombreux motifs directs et causes fondamentales qui peuvent entraver l'approvisionnement fiable en électricité. La durabilité, la fiabilité et la sécurité de l'ensemble du système complexe économique-technique dépendent d'un grand nombre de facteurs liés entre eux et dont l'horizon temporel va de la microseconde aux décennies. Seule une considération équilibrée et globale permet de comprendre les exigences nécessaires à un approvisionnement fiable en électricité.





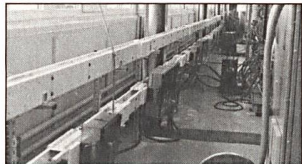
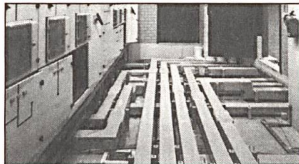
## Wie stehen Sie über den Dingen?

Als führender Energiedienstleister setzen wir auf Lösungen nach Mass, um Ihnen neue Perspektiven zu verleihen. Abgesichert durch 110 Jahre Erfahrung und ur-schweizerische Partnerschaft.

Damit Sie den Herausforderungen an der Spitze rundum gelassener entgegen-sehen können.

[www.atel.ch](http://www.atel.ch)

**atel** Energy is our business



## LANZ HE-Stromschienen zur sicheren Stromübertragung und -Verteilung IP 68 Giessharzvergossen 400 A – 6000 A

**Die weltbeste Stromschiene.** 100% korrosionsfest. Max. Personensicherheit und Verfügbarkeit. Abgangskästen steckbar. EN / IEC typengeprüft. Abschirmung für höchste EMV-Ansprüche. Auch mit 200% Neutralleiter. Anschlussköpfe nach Kundenspezifikation.

- Für die änder- und erweiterbare Stromversorgung von Beleuchtungen, Anlagen und Maschinen in Labors, Werkstätten, Fertigungsstrassen, Fabriken, Sportstadien etc.
- Speziell empfohlen für die Trafo-Hauptverteilungs-Verbindung, zur Stockwerk-Erschliessung in Verwaltungsgebäuden, Rechenzentren und Spitälern, zum Einsatz in Kraftwerken, Kehrlichtverbrennungs-, Abwasserreinigungs- und Aussenanlagen. – Produktion ISO 9001. Sicherheitszeichen (S).

Beratung, Offerte, rasche preisgünstige **Lieferung weltweit** von **lanz oensingen ag 4702 Oensingen** Tel. 062 388 21 21 e-mail [info@lanz-oens.com](mailto:info@lanz-oens.com) Fax 062 388 24 24

☐ Mich interessieren LANZ HE. Bitte senden Sie Unterlagen.

☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!

Name / Adresse / Tel. \_\_\_\_\_

S1



**lanz oensingen ag**

CH-4702 Oensingen  
Telefon 062 388 21 21  
[www.lanz-oens.com](http://www.lanz-oens.com)

Südringstrasse 2  
Fax 062 388 24 24  
[info@lanz-oens.com](mailto:info@lanz-oens.com)



**Gassler Duplex:**

## Das Korrosionsschutz-System

- für • Kandelaber  
• Signalkonstruktionen  
• Brückengeländer

Mit lösungsmittelarmen Lacken und chromat- und bleifreien Farben.

Unser Team «Mobile Beschichtung» übernimmt nicht nur die Sanierung von korrodierten Beleuchtungskandelabern, Signalisationsanlagen und Geländern, sondern sorgt während den Arbeiten beispielsweise auch dafür, dass der Verkehr reibungslos weiterrollt.

Malt.  
Beschichtet.  
Schützt.

Hans Gassler AG  
Güterstrasse 6  
CH-5014 Gretzenbach  
Telefon 062 849 14 49  
Telefax 062 849 32 86  
E-Mail: [info@gassler.ch](mailto:info@gassler.ch)  
[www.gassler.ch](http://www.gassler.ch)



**G A S S L E R**