Systemtechnologien für elektrische Energienetze

Autor(en): **Bacher, Rainer**

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): **91 (2000)**

Heft 4

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855529

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

Systemtechnologien für elektrische Energienetze

Elektrische Energiesysteme werden sich in den nächsten Jahren aufgrund verschiedener politischer und technologischer Einflüsse stark verändern. Die Einführung von Wettbewerb unter den Teilnehmern der elektrischen Energieerzeugungs-, -übertragungs-, -verteilungs- und -verbrauchssysteme ist politischer/ökonomischer Natur. Zusätzlich werden technologische Einflüsse Planungs- und Betriebsaspekte von elektrischen Energiesystemen und -netzen nachhaltig verändern. Sowohl politisch vorgegebene Änderungen wie auch technologische Fortschritte verlangen integrierende Systemtechnologien. Dabei spielt die Einführung und die koordinierte Anwendung von strommarktbasierten Wettbewerbssystemen, flexiblen leistungselektronischen Teilsystemen und Elementen, modellbasierter Systemsoftware und System-Software-Engineering-Methoden eine zentrale Rolle. Diese vier Gebiete stehen in Wechselwirkung zueinander: Erst die integrierte Betrachtung des Zusammenspiels der vier Gebiete, die dadurch entstehende Systemkomplexität und die wichtige gesellschaftliche Bedeutung von Energiesystemen führt zur Weiterentwicklung und neuen Anwendungen von «Systemtechnologien für elektrische Energienetze».

■ Rainer Bacher

Systemtechnologien zur Weiterentwicklung elektrischer Energiesysteme

«The electric utility industry throughout North America is undergoing the most exciting, scary, total and overwhelming transformation of any industry in the world.»

Dieses Zitat («Fortune»-Magazin, 3. März 1997) deutet an, wie tiefgreifend die Veränderungen empfunden werden, denen elektrische Energieversorgungsunternehmen in den USA und in vielen heute schon deregulierten Gebieten wie England oder Norwegen ausgesetzt sind. Um diesen Veränderungen entgegenzutreten, um die dadurch auftretende technische und betriebliche Komplexität zu beherrschen, wird die Einführung von Systemtechnologien notwendig werden. Diese Systemtechnologien können in vier Teilgebiete gegliedert werden und sind in Bild 1 dargestellt.

Keine der erwähnten vier Systemtechnologien kann – was die Wirkung auf das Energienetz betrifft – für sich allein und ohne gegenseitige Wechselwirkung betrachtet werden. Um die Gesamtsystemkomplexität jedoch besser erfassen zu können, werden die individuellen Charakteristiken der vier Teilgebiete nachfolgend vorerst getrennt betrachtet und erst später deren gemeinsame Wirkung erörtert.

Systemtechnologien zur Förderung des Wettbewerbs

Die Einführung des Wettbewerbs ist in Europa politisch beschlossen und wurde in diversen Ländern schon vor einigen Jahren eingeführt. Für Zentraleuropa (UCTE: Union de Cooperation de Transport et de l'Energie) wird sie im Laufe der nächsten Jahre – je nach Land und heutigem System – langsam (bis zu 10 Jahre Übergang) oder sehr schnell (innerhalb von 1 bis 2 Jahren) eingeführt. Alle neuen Systeme haben gemeinsam, dass Erzeuger und Verbraucher von elektrischer Energie und das dazwischenliegende Energieübertragungs- und -verteilnetz, organisatorisch oder zumindest buchhaltungsmässig, getrennt werden. Dies ist in Bild 2 angedeutet:

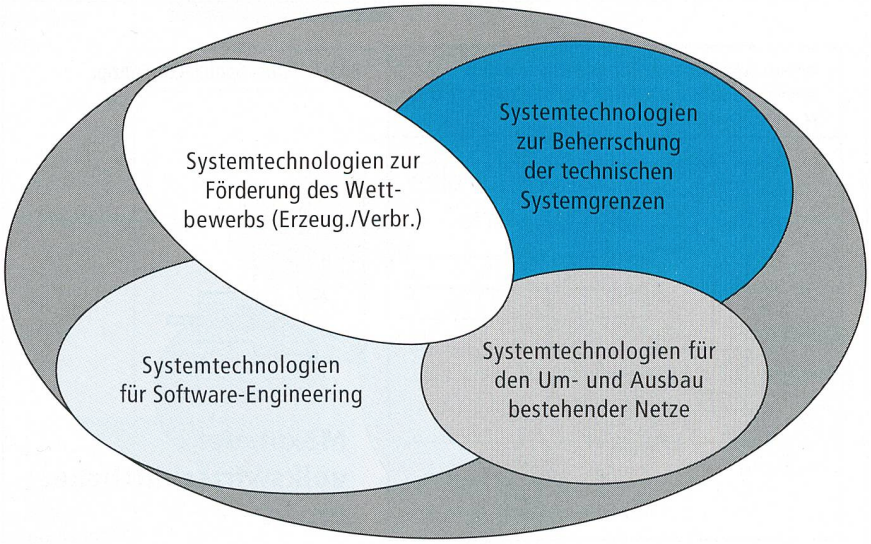

Bild 1 Systemtechnologien zur Weiterentwicklung elektrischer Energienetze.

Adresse des Autors
Dr. *Rainer Bacher*
ETH Zürich/ETL J34
CH 8092 Zürich
E-Mail: Rainer.Bacher@eeh.ee.ethz.ch;
www: http://www.eus.ee.ethz.ch/~bacher/

Bacher Consulting
Hochstrasse 3
5405 Baden
E-Mail: bacherconsult@dplanet.ch
www: http://www.bacherconsulting.com

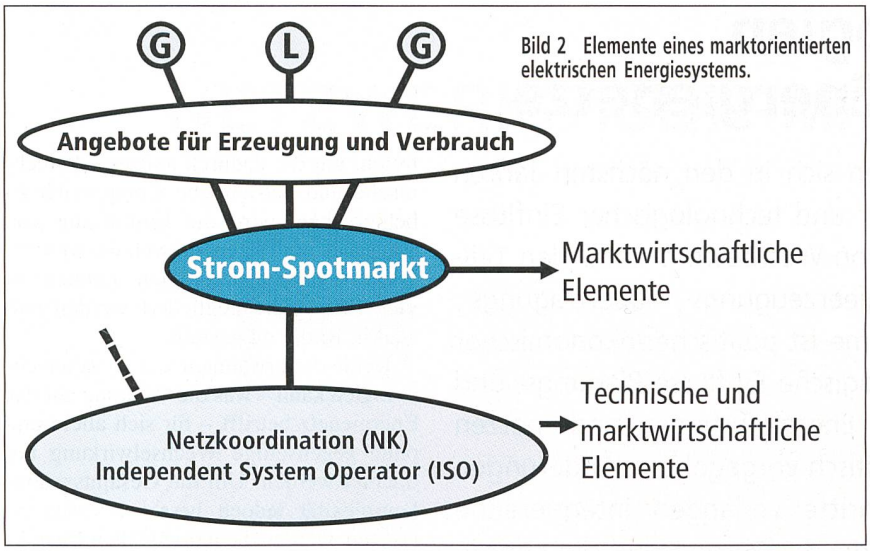

Bild 2 Elemente eines marktorientierten elektrischen Energiesystems.

Zwischen den Erzeugern (G: Generatoren) und den Verbrauchern (L: Lasten) werden Energiemärkte – auch oft PX (Power Exchange) genannt – geschaffen: Sowohl bilaterale wie auch zentrale Marktformen treten auf. Die Art der in der PX zu handelnden Produkte wird sich verändern: Sowohl die Dauer von Produkt-Kontrakten wie auch die Menge kann stark variieren. Heute wird meist das physische Produkt, d.h. elektrische Leistung oder Energie gehandelt. In den kommenden Marktsystemen werden vermehrt Absicherungskontrakte gehandelt werden, die nicht mehr physische Leistung oder Energie beinhalten, sondern vor allem zur Begrenzung von ökonomischen Risiken bei stark schwankenden Strompreisen, Nichtverfügbarkeit von physischen Stromlieferungen, unvorhersehbaren Schwankungen von Verbrauchern und Netzsicherheitsproblemen dienen.

Unter der Annahme, dass die Angebote von Erzeugern und Verbrauchern durch bilaterale oder zentrale informationsbasierte Systeme optimal angepasst werden, entsteht zum Beispiel pro halbe Stunde ein Profil von Leistungserzeugungs- und Leistungsverbrauchsmustern, das als PX-Profil bezeichnet wird. Im zentralisierten Strom-Spotmarkt werden diese PX-Profile durch ein «Matching» von Erzeuger und Verbraucher-Angebotskurven erzielt (Bild 3).

Dieses «Matching» basiert auf einer mathematischen Optimierung, welche die Maximierung des volkswirtschaftlichen Profits aller teilnehmenden Parteien (unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Tatsache, dass elektrischer Verbrauch plus Verluste = elektrische Erzeugung) als Ziel hat. Bei diesem «Matching» entsteht genau ein Preis für die Ware Energie pro Zeiteinheit (Leistung), angedeutet als Preis λ in Bild 3. Dieser Preis wird von den Verbrauchern pro Einheit Strom bezahlt und von den Erzeugern pro erzeugter Einheit Strom erhalten. Er wird auch als Grenzkosten (englisch: MCP; Marginal cost price) oder als Schattenpreis bezeichnet.

Die Angebotskurven, welche sowohl Erzeuger wie auch Verbraucher in den PX eingeben müssen, sollten auf den wahren Kosten pro Einheit basieren. Prinzipiell müssen, um Optimalität erzielen zu können, die Angebotskurven bei Erzeugern steigende Tendenz mit höherer erzeugter Leistung und bei Verbrauchern sinkende Tendenz mit erhöhtem Verbrauch aufweisen.

Man kann in Simulationen relativ einfach zeigen, dass sich unter gewissen Marktverhältnissen strategische Teilnehmer darauf spezialisieren können, den Marktpreis durch geschickte Strategien und unter Kenntnis des stochastischen Verhaltens der anderen Marktteilnehmer so zu manipulieren, dass der eigene Profit auf Kosten einiger anderer Marktteilnehmer maximiert werden kann. Diese Situation ist in Bild 4 dargestellt:

In Bild 4 wird aus theoretischer Sicht gezeigt, wie ein Marktteilnehmer durch Manipulation seines Angebots wohl dessen eigene, durch den PX zugeteilte Leistung, reduzieren muss, jedoch durch die Erhöhung des Marktpreises λ (= MCP, siehe Bild 4) den eigenen Profit gegenüber einem Angebot basierend auf den «echten» Kosten erhöhen kann. Obwohl dies ein theoretisches Beispiel ist, das nur unter gewissen Marktbedingungen, zum Beispiel beim Übergang vom heutigen zum «echten» Marktsystem auftreten kann, ist das Bedürfnis klar gegeben, **Systemtechnologien zur Förderung des Wettbewerbs** zu entwickeln. Diese sollten strategische Ansätze entweder für alle klarlegen und wieder dem Wettbewerb überlassen oder diese von Anfang an verhindern. In Simulationen kann gezeigt werden, dass zur Verhinderung von Spiel-Strategien neben algorithmisch robusten PX-Marktlösungen vor allem

- neue Technologien für flexible Erzeuger wie auch
- neue Technologien für flexible Verbraucher benötigt werden.

Erst durch das Vorhandensein von flexiblen Marktteilnehmern, welche auf Preisschwankungen auch mit einer Veränderung der Erzeugung bzw. des Verbrauchs reagieren können, sind wichtige Voraussetzungen für einen funktionierenden Strommarkt gegeben.

Wie dieses Beispiel zeigt, führt der Strommarkt dazu, dass derjenige am mei-

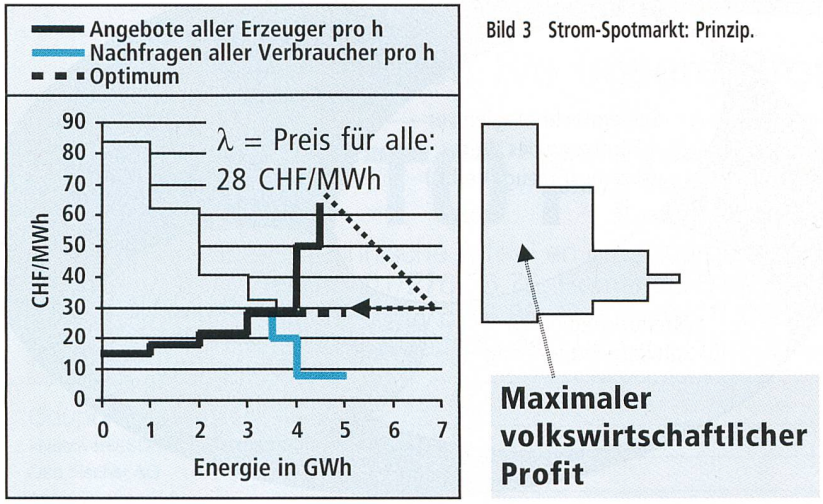

Bild 3 Strom-Spotmarkt: Prinzip.

sten profitiert, welcher einen Informationsvorsprung hat, welcher also vor allem in Mitarbeiter-Know-how früh investiert und so strategische Vorteile, zumindest für eine Übergangszeit, aufweist. Klar ist, dass heute noch nicht genügend marktfördernde Systemtechnologien vorhanden sind und deshalb ein grosses Entwicklungspotential gegeben ist, welches genutzt werden sollte.

Systemtechnologien zur Beherrschung der technischen Systemgrenzen

Das im vorangehenden Abschnitt erwähnte PX-Profil wird von einem ISO (Independent System Operator) in einer modellbasierten Simulationsrechnung auf die Aspekte der Netzsicherheit, auf Netzüberlastungen, Spannungsabsenkungen, Blindleistungsbilanzen usw. überprüft. Entstehen keine technischen Sicherheitsprobleme, kann das PX-Profil auch tatsächlich im reellen Betrieb umgesetzt werden. Wenn jedoch Probleme auftreten, dann müssen zwingend Korrekturmassnahmen ergriffen werden: Das Erzeugungsmuster und/oder das Verbrauchsmuster muss in einem solchen Fall für den jeweils kritischen Zeitabschnitt verändert werden. Die durch das Vorhandensein eines PX gegebene Situation ist in Bild 5 dargestellt.

In Bild 5 stellen die markierten Gebiete betrieblich gesehen unabhängige Unternehmen oder technische/betriebliche Verantwortungszonen dar. Denkbar sind neben Ländergrenzen auch technisch gesetzte Grenzen, welche beispielsweise durch die Frequenz-Leistungsregelung und deren notwendige Datenerfassungmechanismen geschaffen werden. Diese Zonen sind, elektrisch gesehen, miteinander durch Hochspannungsleitungen, -kabel oder Transformatoren vernetzt (dünne Linien). Die dicken Linien mit Pfeilen deuten im Rahmen des PX entstehende, bilaterale Abmachungen an. Zusätzlich nehmen Erzeuger (G) und Verbraucher (L) auch im zentralen Spotmarkt teil (mit «Markt» gekennzeichnet).

Die in Bild 5 aufgezeichnete Situation stellt ein Abbild der Situation in Europa und speziell des elektrischen Höchstspannungsnetzes der Schweiz dar. Aufgrund unterschiedlicher Produktionskosten können im marktbasierten System neue Erzeugungsmuster – verglichen mit dem System ohne Strommarkt – entstehen, welche zu Sicherheitsproblemen im Netz (z.B. Stromüberlastungen, Spannungsprobleme) führen können.

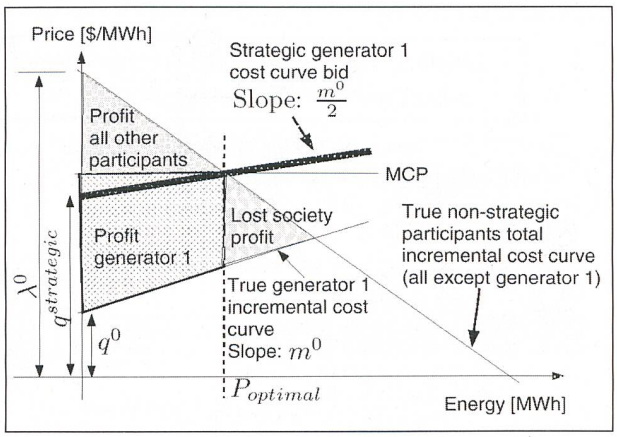

Bild 4 Strategisches Verhalten von Spotmarkt-Teilnehmern.

Wenn ein einziger ISO für das gesamte, stark vermaschte Hochspannungsnetz Europas die Verantwortung hätte, Überlasten durch Verschiebung von Erzeugung oder durch Umschalten von Leitungen zu korrigieren, dann müssten die PX-Profile pro Zeitabschnitt diesem Zentral-ISO übermittelt werden. Der ISO könnte, unter der Voraussetzung, dass alle Netzmodelldaten von allen Gebietsnetzen vorhanden sind, eine Optimierungsrechnung durchführen, welche die zusätzlichen volkswirtschaftlichen Kosten minimal erhöht oder den entsprechenden Profit minimal erniedrigt, jedoch Sicherheit gegenüber dem PX-Profil wiederherstellt.

Diese Situation ist heute jedoch nur schwer vorstellbar – zu verschieden sind die Ausgangslagen der elektrischen Energiesysteme und die Eigentumsverhältnisse der einzelnen europäischen Länder.

Die Lösung für das erwähnte Sicherheitsproblem wird also mit Systemtechnologien zu erfolgen haben, welche dezentral wirken (je eine Lösung pro Zone), jedoch durch spezielle netzartige Mecha-

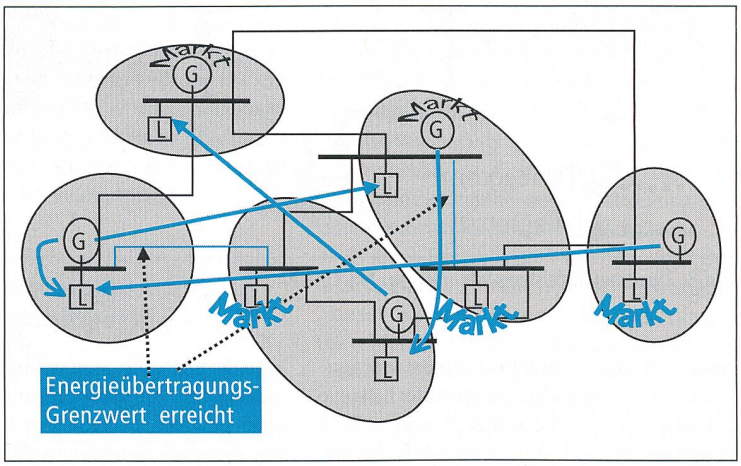

Bild 5 Europa/UCTE: Vernetzte, regionale autonome Zonen.

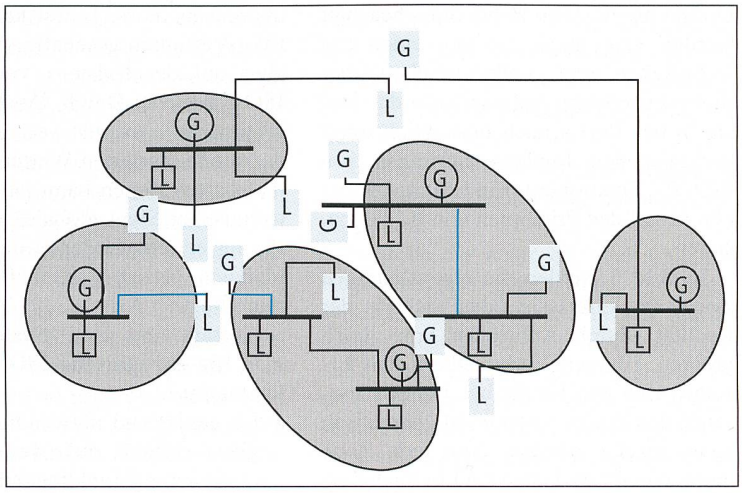

Bild 6 Verteilte, regionale ISO: Lösungsansatz.

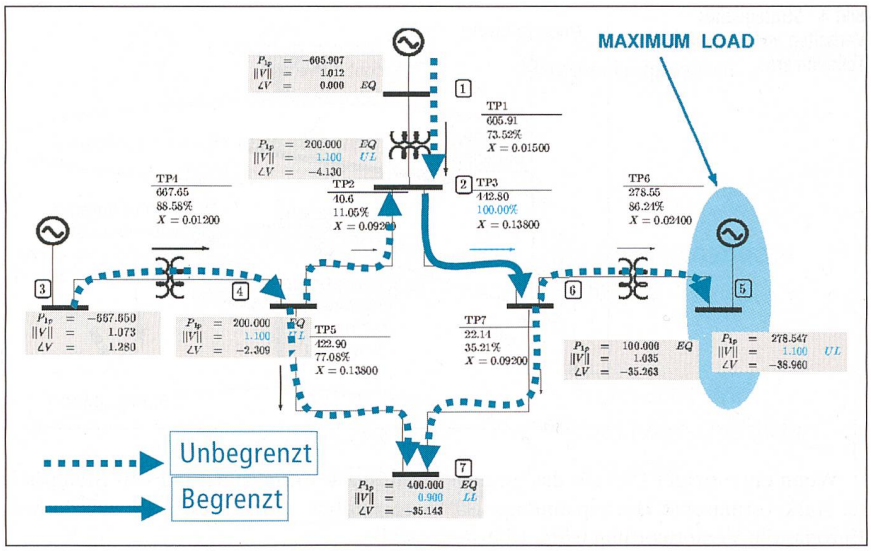

Bild 7 Übertragungsleistung-Maximierung: Traditionell.

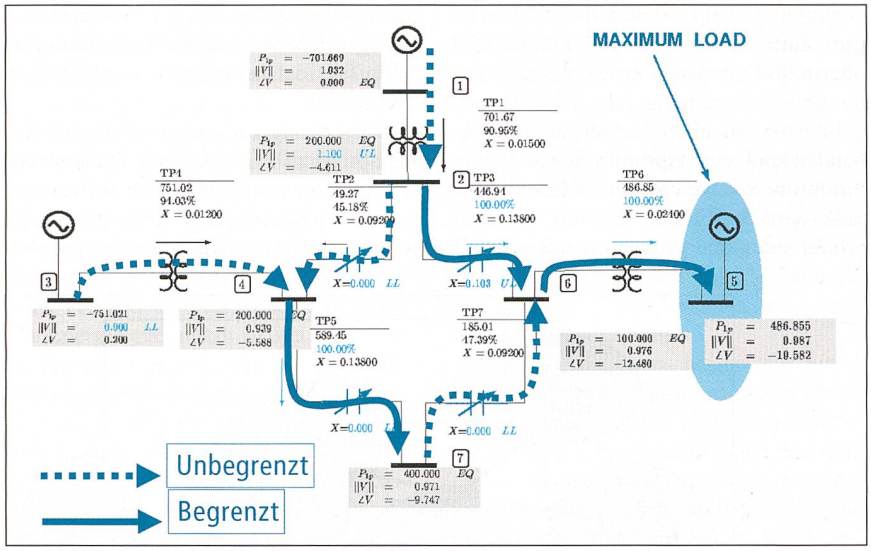

Bild 8 Übertragungsleistung-Maximierung: Mit TCSC-FACTS.

nismen übergeordnet koordiniert werden. Gesucht ist also eine dezentrale Lösung für Europa, welche ohne zentralen ISO funktioniert und sich zumindest in der Nähe des globalen volkswirtschaftlichen Optimums einstellt. Dabei muss beachtet werden, dass diese Lösung einen aus technischer und volkswirtschaftlicher Sicht vertretbaren Aufwand erfordert und sie in der Praxis auch tatsächlich unter verschiedenen Implementierungen von ISO, PX funktioniert. Ein Lösungsansatz könnte auf den Prinzipien von Bild 6 basieren.

In Bild 6 werden die eigenständigen Zonen modellmässig (aber nicht in der Realität) durch Anbringen von gleich grossen, fiktiven Verbrauchern und Erzeugern an den Übergabeleitungen zwischen den Zonen getrennt. Mathematisch kann gezeigt werden, dass jede Zone durch einen regionalen ISO in einem ersten Schritt für sich selber eine lokale Netzsicherheit herstellen kann, jedoch eine gewisse Anzahl von Leistungswerten und Schattenkosten für das modellmässige Auftrennen den Nachbarzonen übergeben muss. Damit kann ein iteratives Verfahren geschaffen werden, welches auf der Existenz von regionalen ISOs basiert. Durch Austausch einer minimalen Anzahl von berechneten, netzmodellbasierten Werten mit den benachbarten Zonen kann jedoch eine aus technischer Sicht globale, sichere Netzlösung erzielt werden, welche nahe am globalen betriebswirtschaftlichen Optimum liegt.

Gefragt sind somit **Systemtechnologien für europäische ISO-Sicherheitslösungen:**

- Lösungen und notwendige Technologien sollten auf verteilten ISO-Optimierungsfunktionen basieren.
- Intereuropäisch kompatible, robuste intraregionale ISO-Lösungen sind notwendig.
- Die Lösung sollte so wenig Zentralisierung wie möglich aufweisen.

Offensichtlich wird die Beherrschung dieses Problemkreises neue Entwicklungen informationstechnischer und algorithmisch-modellbasierter Technologien zur Folge haben müssen. Heute vorhandene Lösungen in Gebieten, wo Strommärkte und ISO-Funktionen schon implementiert sind und Erfahrungen gesammelt wurden, können nicht direkt auf das stark vermaschte europäische Höchstspannungsnetz übertragen werden. Die vorhandenen Lösungen basieren meist auf speziellen Gebietsstrukturen, wo zum Beispiel nur radial verbundene Zonen vorhanden sind. Für das stark vermaschte Stromnetz in Europa sind neue Lösungen notwendig.

Systemtechnologien für den Um- und Ausbau bestehender Netze

Neben dem Bedürfnis der Weiterentwicklung von Markt- und Netz-Sicherheitstechnologien werden elektrische Energiesysteme in den kommenden Jahrzehnten stark durch Systemtechnologien für den Um- und Ausbau bestehender Netze geprägt sein.

Der Aus- und Umbau von leitungsgebundenen Energiesystemen ist geprägt durch hohe Investitionen, Trassenknappheit und geringe gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber sichtbaren Energieträgern (Masten). Netzsysteme unterstehen, wie erwähnt, dem politischen Druck der Deregulierung bzw. Marktöffnung und müssen sowohl organisatorisch (Unbundling) wie auch technisch-operationell (Power Pools, Strommärkte, ISO-Independent System Operator, Netzkoordination) neu organisiert werden.

Zur Lösung dieser Probleme sind neuartige Systemansätze zur Übertragung elektrischer Energie (z.B. Kompaktsysteme, Kabel statt Hochspannungsleitung, m × n-Leiter-Prinzip (m, n ≥ 2), Gleichstromübertragungsnetze, unsymmetrische Netzübertragungs- und Verteilsysteme) zusammen mit auf innovativen Technologien basierenden Netzkomponenten (z.B. FACTS, supraleitende Transformatoren, Schwungräder, dezentrale Formen der Energieerzeugung, Veränderungen im Isolationsniveau durch Reduktion der höchsten zu erwartenden Spannungen) in Zukunft von erhöhter Bedeutung:

- Sie erlauben die flexible und kostengünstige Energieerzeugung, sowohl entfernt, wie auch in unmittelbarer Nähe zu den Energieverbrauchern.
- Sie ermöglichen eine höhere Nutzung der bestehenden, leitungsbasierten Netzkapazitäten.
- Sie minimieren die schädlichen Auswirkungen der Energieprozesse auf die Umwelt (Nachhaltigkeit).
- Sie wirken marktfördernd, erlauben sie doch einen aus technischer Sicht flexibleren, dadurch jedoch auch komplexeren Betrieb des elektrischen Energieübertragungssystems.
- Sie maximieren den volkswirtschaftlichen Nutzen von elektrischer Energie.
- Sie führen technisch auf eine hohe Verfügbarkeit und günstige Qualität von «Stromprodukten» für Stromkunden.
- Sie unterstützen die Konzeption der unter «gerechten» Wettbewerbsbedingungen stattfindenden Energieprozesse.

In den Bildern 7 und 8 wird eine neue Netzsituation dargestellt, welche mit Hilfe von moderner Leistungselektronik (TCSC-FACTS: Thyristor-controlled Series Controller – Flexible AC Transmission System) erreicht werden kann.

In den Bildern 7 und 8 wird versucht, möglichst viel elektrische Leistung von den Erzeugern (1 und 3) zum Verbraucher (5) über das dazwischen liegende Netz zu übertragen. TCSC-FACTS erlauben die Netzimpedanzen gezielt so zu verändern, dass sich andere Strom-, Spannungs- und Leistungsverhältnisse ergeben. Ohne FACTS ist in dieser Beispiel-Simulation die maximale übertragbare Leistung zum Verbraucher beim 5. Knoten 278,5 MW. Mit FACTS wird diese Leistung ohne einen Ausbau des bestehenden Leitungsnetzes auf 486,9 MW erhöht. Die Begrenzung der maximalen Leistung ist in beiden Fällen durch Knotenspannungsgrenzwerte und Leitungsstromgrenzen im Netz gegeben. Vergleicht man die aktiven Begrenzungen mit und ohne FACTS, so erkennt man, dass unterschiedliche Leitungsstrom- und Knotenspannungsgrenzen aktiv werden.

Das heutige europäische Hochspannungsnetz ist gut ausgebaut, basiert jedoch auf in der Vergangenheit gültigen organisatorischen und über lange Zeit eingespielten Kooperationen zwischen den europäischen EVU. Energiesystembetreiber (ISO, Netzkoordinationsstellen usw.) werden sich, bei zukünftigem Einsatz von FACTS, darauf einstellen müssen, dass neuartige Netzbelastungssituationen eintreten, welche bisher noch nie aufgetreten sind und für die keine betriebliche Erfahrung vorliegen kann. Der gezielte Einsatz von FACTS wird somit einerseits auf neuartige Netzzustände und dadurch erhöhte Netzsteuerungskomplexität führen. Andererseits wird jedoch eine höhere Nutzung des bestehenden vermaschten Netzes erreicht, ohne es mit traditionellen Hochspannungsleitungen und -kabeln ausbauen zu müssen. Damit wird es möglich sein, einerseits wirtschaftliche und technische Anforderungen der Strommärkte und der ISO zu erfüllen, andererseits werden auch gesellschaftliche und politische Bedenken gegenüber dem Ausbau der sichtbaren Energieträger berücksichtigt.

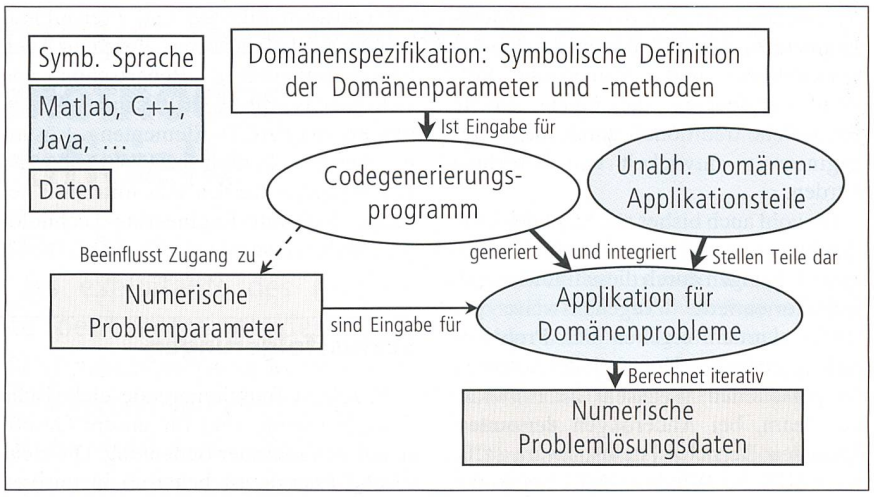

Bild 9 System-Software-Engineering: Entwicklung offener Informationssysteme.

Systemtechnologien für Software-Engineering

Das Vorhandensein robuster Strommärkte, neuer Formen von dezentral, vernetzt koordinierten regionalen ISO erhöht die Komplexität von Kommunikations- und informationstechnischen Lösungen.

Energiesystemprozesse werden vermehrt durch Einrichtungen der Leittechnik beobachtet, gesteuert und gesamthaft optimiert. Die Leittechnik erlaubt die permanente Beobachtung und Estimation des Systemzustandes. Basierend auf einer gegebenen Komponentenzuverlässigkeit resultiert durch Systemmassnahmen eine hohe Systemzuverlässigkeit. Darauf aufbauend, ist die Leittechnik verantwortlich für eine hohe Systemverfügbarkeit des Energiesystems: Sie muss zum Beispiel den zufälligen Ausfall von Netzkomponenten jederzeit so beherrschen, dass systemweit nur geringe Folgewirkungen (wirtschaftliche Kosten, Sicherheitsbeeinflussung) auftreten.

Aufgrund der Deregulierung der elektrischen Energiesysteme und informationstechnologischen Entwicklungen wird sich die Netzleittechnik immer mehr in Richtung eines Informationssystems verändern, welches mit dem Energieübertragungsprozess verzahnt ist: Das bisher rein auf technische Werte ausgerichtete leittechnische System wird zur integrierten «Unternehmens-Datenbank», welche alle betrieblichen Abläufe zur Organisation der Prozesse, inklusive Handels-, Abrechnungs- und Messsysteme für Übertragungs- und Verteilnetze, beinhaltet. Die sich rasch verändernden Informationstechnologien werden wesentliche Fortschritte im Software- und Informations-Engineering von Leittechnik-Systemkomponenten zur Folge haben.

Diese Fortschritte werden bei den Herstellern, Beratern und Anwendern dieser Systeme grosse Veränderungen bewirken: Offene, methodenbasierte, verteilte Informationssysteme für optimierte Energiesysteme und sichere Prozesse werden getrennt den zuständigen Unternehmen (Erzeugung, Übertragung, Verteilung, Stromhändler, Netzkoordinationsstellen, ISO, «Service-Providers») zur Verfügung stehen müssen, um die komplexen Aufgaben und Anforderungen eines marktgerechten Systems zu bewältigen.

In Bild 9 werden wichtige Prinzipien von Software-Engineering-Technologien dargestellt.

Anstelle der heute oft noch üblichen Engineering-Vorgehensweise für Netzinformationssysteme, die auf der individuellen Lösung für einzelne Projekte basiert, wird sich eine neue Vorgehensweise einstellen, welche sich durch offene, standardisierte Ansätze in der Entwicklung von Software für elektrische Energiesysteme auszeichnet. In Bild 9 stellen

die unteren Teile «Numerische Problemparameter», «Applikationen für Domänenprobleme» und «Numerische Problemlösungsdaten» diejenigen Blöcke dar, welche traditionell durch manuelles Engineering entwickelt und berechnet wurden.

Obwohl auch bisher aus Sicht des Endabnehmers kurzfristig gut funktionierende Lösungen durch diese traditionelle, projektorientierte Vorgehensweise gefunden wurden, ergeben sich Probleme im längerfristigen Unterhalt der Software bei personellen Wechseln im Entwicklungsteam, bei Änderungen der unterliegenden Betriebssystemsoftware (z.B. von UNIX auf Windows-NT), bei Änderungen der Entwicklungssprache (z.B. von C++ auf Java), bei Hinzufügen von neuer Funktionalität (z.B. Einbauen von FACTS-Modellen) usw.

Die in Bild 9 angedeutete Verbesserung der erwähnten Probleme liegt im konzeptionellen Ansatz: Das individuelle Engineering-Problem muss auf eine höhere Ebene von Domänenproblemen gehoben werden, welche durch generische, parametrisierbare, robuste Standardlösungsansätze gelöst werden.

Als Beispiel kann das elektrische Netz genannt werden, welches als Instanz von «parametrisierbaren, verknüpften Entitäten» und nicht mehr nur als Netz bestehend aus Leitungen, Transformatoren, Generatoren usw. gesehen werden soll. Die Kirchhoff'schen Gesetze können verallgemeinert als Instanzen von «parametrisierbaren Potential- und Flussgesetzen» spezifiziert werden.

Die Neuartigkeit der Entwicklung besteht darin, die variablen, parametrisierbaren Teile einer Domäne (Bild 9: Block «Domänenspezifikationen») von den konstanten Teilen (Bild 9: Block «Unabhängige Domänen-Applikationsteile») zu trennen und durch einen automatischen Engineering-Problem-Code-Generator (Bild 9: Block «Code-Generierungsprogramm») zusammenzuführen. Mit diesem Ansatz können die oben erwähnten Veränderungen, das heisst das eigentliche «Change-Management», besser vom Entwicklungsteam beherrscht werden, ohne dass der Endabnehmer der Software wesentliche Unterschiede feststellt.

Die Komplexität der elektrischen Energieprozesse liegt unter anderem darin, dass Energieübertragungsnetze gleichzeitig von vielen Teilnehmern, unter Berücksichtigung von physikalischen Gesetzen, benutzt werden: Daraus resultieren vielfältige Probleme: «Netz-Nutzungsrechte und -gebühren bei nationalen und internationalen Stromtransfers», «Verantwortlichkeiten und Preisbildungen für Hilfsdienste wie Frequenz- und Spannungshaltung», «Beherrschung von sich gegenseitig beeinflussenden Steuerungen von FACTs-Elementen». Lösungen für diese komplexen Probleme müssen gefunden werden und mit Hilfe der neuen Software-Engineering-Technologien realisiert werden.

Schlussfolgerungen

Exzellent funktionierende elektrische Energiesysteme sind für unsere Gesellschaft von zentraler Bedeutung. Die elektrische Energie ist heute so in unseren Alltag integriert, dass man sich über die Komplexität der notwendigen Energie- und informationstechnischen Prozesse, der für die Leittechnik notwendigen Kommunikationsanlagen und deren integrierte Systemfunktionsweise meist gar nicht mehr bewusst ist.

Die bisher in der Schweiz und Europa gültige Mentalität des Stroms als «Service Public» und die aus dieser Einstellung sich ergebenden Lösungen werden sich wandeln müssen. Strom, elektrische Leistung und elektrische Energie werden sich von Dienstleistungen zu expliziten Produkten mit unterschiedlichen Qualitäten wandeln, wobei diese Produkte aufgrund des Ursprungs (unterschiedliche Primärquellen), der zeitlichen Verfügbarkeit und der Möglichkeit zur Erbringung von Hilfsdiensten unterschieden werden können.

Auch aufgrund der Einführung von Wettbewerb und der Notwendigkeit flexibler technischer Lösungen werden neue Systemtechnologien wie FACTS, offenes und standardisiertes Software-Engineering und modellbasierte Algorithmen in elektrische Energiesysteme noch viel stärker und schneller als bisher eindringen. Diese Systemtechnologien dienen wohl nicht direkt der eigentlichen Energieerzeugung, -übertragung, -verteilung und dem Energieverbrauch. Sie werden jedoch eine so wichtige integrierende Rolle bekommen, dass sie schlussendlich als Teile des Energiesystems selber angesehen werden müssen.

Das neue Ziel dieses aus informations- und energietechnologischen Komponenten zusammengesetzten und integriert betriebenen Energiesystems ist die Maximierung des volkswirtschaftlichen Nutzens. Dieses neue Ziel wird das bisher auf hohem und teurem Qualitätsniveau geltende Ziel eines «Service Public» ersetzen. Bei dieser politisch und ökonomisch vorgegebenen Zielsetzungsänderung werden neue Systemtechnologien speziell dort eine sehr wichtige Rolle einnehmen, wo das bestehende System zu wenig flexibel ist oder wo es an Grenzen stösst, sei dies bei Marktfunktionen, bei der Preissensitivität von Erzeugern und Verbrauchern, bei der Beherrschung neu auftretender intereuropäischer Sicherheitsprobleme, beim Ausbau des bestehenden Netzes oder bei der Beherrschung der erhöhten Komplexität der unterstützenden Software.

Technologies des systèmes énergétiques pour les réseaux électriques

Compte tenu des influences politiques et technologiques, les systèmes électriques évolueront fortement au cours des prochaines années. L'introduction de la concurrence entre les exploitants de systèmes de production, de transport et de distribution est de nature politique et économique. De plus, la technologie influencera et modifiera positivement certains aspects de la planification et de l'exploitation de systèmes et réseaux électriques. Des changements politiques ainsi que des progrès technologiques impliquent des technologies de systèmes intégrées. L'introduction et l'application mieux coordonnées de systèmes concurrentiels basés sur le marché de l'électricité, de systèmes partiels et d'éléments électroniques de puissance variables, de logiciels basés sur des modèles et de méthodes d'ingénierie en matière de logiciel pour le système sont d'une importance primordiale. Ces quatre domaines sont interactifs dans le système énergétique: seule la prise en compte globale de la combinaison des quatre domaines, la complexité du système en découlant et l'importance sociale de systèmes énergétiques encouragent le développement et apportent de nouvelles applications de «technologies de systèmes pour des réseaux électriques».