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: 66 (1975)

Heft: 20

Artikel: Betriebsführungskonzepte elektrischer Energiesysteme

Autor: Reichert, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915314

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: 14.12.2025

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

Optimale Führung elektrischer Energiesysteme

Im folgenden werden die drei Vorträge veröffentlicht, die an der Fachtagung «Mittel und Wege der Optimierung der Energieerzeugung und Energieverteilung» im Rahmen der INELTEC am 9. und 10. September 1975 zum Thema «Optimale Führung elektrischer Energiesysteme» gehalten worden sind. Anfangs 1976 sollen das Einleitungsreferat sowie zwei weitere Vorträge der Tagung abgedruckt werden. Die übrigen Vorträge werden in der Zeitschrift «Neue Technik» veröffentlicht werden.

Betriebsführungskonzepte elektrischer Energiesysteme

Von K. Reichert

621.311 : 65.012.2 : 681.513.2

Betriebsführungskonzepte für Energiesysteme können heute einen wesentlichen Beitrag zur Erfüllung der Aufgabe der Energiesysteme, den Verbraucher sicher und zuverlässig mit billiger Energie zu versorgen, leisten. Diese Konzepte und die zwischen ihnen bestehenden Zusammenhänge werden erläutert, Realisierungsmöglichkeiten mit Rechnersystemen werden aufgezeigt.

Des programmes de gestion de l'exploitation de réseaux d'énergie électrique peuvent grandement contribuer à ce que ces réseaux fournissent de l'énergie à bon compte aux utilisateurs, cela d'une façon sûre et fiable. Ces programmes et les relations entre eux sont expliqués et des possibilités de réalisation avec des systèmes de calculateurs sont montrées.

1. Einleitung

Die zielgerichtete Führung eines Systems mit veränderlichen Nebenbedingungen, Einschränkungen und Störgrössen ist nur möglich, wenn Informationen über den Systemzustand, Führungskonzepte und Steuermöglichkeiten bestehen. Leistungsfähige Informationstechniken (Datenerfassung und Übertragung, Prozessrechnersysteme, Datenbanken usw.) ermöglichen heute die Realisierung komplexer Führungskonzepte auf allen Gebieten des menschlichen Lebens.

Die elektrische Energieversorgung hat sehr schwierige und zum Teil widersprüchliche Aufgaben zu lösen. Sie muss den Verbraucher sicher und zuverlässig mit möglichst billiger Energie versorgen, ohne die Umwelt allzusehr zu beeinträchtigen. Die dazu notwendigen Funktionen der elektrischen Energieversorgung ergeben sich zwangsläufig aufgrund des Prozesses und der räumlichen Trennung zwischen Erzeugung (besser Umwandlung) und Verbrauch (Fig. 1):

- Vorverarbeitung, Transport, Bereitstellung, Speicherung der Primärenergien
- Energieumwandlung: Elektrische Energie aus Primärenergie (oft fälschlicherweise Energieerzeugung genannt), Verwertung bzw. Abführung der Abfallenergie (Wärme)
- Energieübertragung, -austausch und -verteilung
- Energieumwandlung beim Verbraucher
- Informationserfassung und Verarbeitung, Führung des Energiesystems

Diese Funktionen werden verwirklicht durch

Anlagetechnik (Hardware): Kraftwerke, Übertragungs- und Verteilnetze, Schutz-, Regelungs-, Steuerungs- und Überwachungssysteme, Informationssysteme, Prozessrechner

Betriebssysteme (Software): Datenverarbeitung, Lastverteiler, übergeordnete Führungssysteme, Methoden und Algorithmen

Systemtechnik (Systemsengineering): Energie- und Netzplanung, Simulation [1; 2] [1])

Die dabei zu lösenden Probleme und zu berücksichtigenden Nebenbedingungen sind bedingt durch (Tabelle I)

- die Physik der Einrichtungen und der Umwelt (Klima, Verschmutzung, Gewitter ...)
- die beschränkte Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Einrichtungen
- die Verfügbarkeit und Kosten der Primärenergieträger: H_2O, fossile und nukleare Brennstoffe
- die besonderen Eigenschaften des Menschen als Betreiber (bedingte Leistungsfähigkeit und Verlässlichkeit) und Verbraucher (Energiebedarf)
- die Leistungsfähigkeit und Anforderungen der Volkswirtschaft: Finanzierung, Umweltschutz, Kosten, Gesamtenergiebedarfsdeckung

Führungskonzepte sollten dementsprechend sowohl für die Energiebereitstellung und Energiepolitik als auch für die Wartung der Netzelemente und die Netzbetriebsführung bestehen.

Die folgenden Ausführungen befassen sich nur mit Konzepten für die Netzbetriebsführung, d. h. mit der laufenden, kurz- und mittelfristigen, zielgerichteten Führung eines Energiesystems.

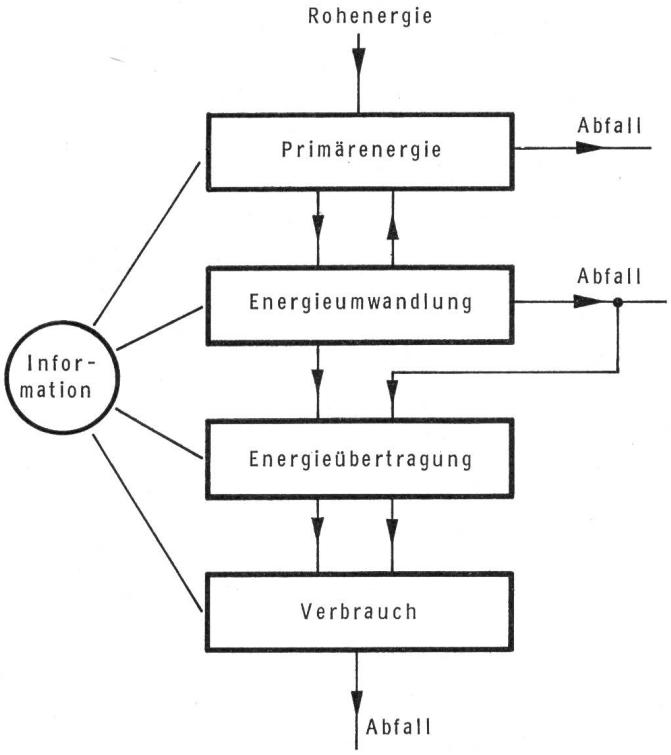

Fig. 1 Energieversorgungssystem

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

2. Merkmale eines Betriebssystems für die elektrische Energieversorgung

Das Betriebssystem greift in die verschiedenen Ebenen des Netzes ein (Fig. 2). Die Datenerfassung und Steuerung erfolgt in den Kraftwerken und Unterstationen, je nach der Unternehmensstruktur im Verteil- und Übertragungsnetz, direkt oder über regionale Leitstellen. Die Datenverarbeitung und Führung wird je nach den Anforderungen und Aufgaben lokal, regional oder zentral durchgeführt.

Die wesentlichsten Merkmale dieses Betriebssystems sind: Prozessdaten, Grundfunktionen, Struktur und Zeitstaffelung.

Prozessdaten sind einerseits Digitalwerte (Schalterstellungen, Meldungen, Alarme), anderseits Analogwerte (elektrische, thermische, mechanische, hydraulische Messwerte, Zählerstände).

Die *Grundfunktionen* beziehen sich auf: erfassen, übertragen, verarbeiten von Information, schützen, regeln, steuern, führen, optimieren, überwachen, anpassen und planen.

Die *Struktur* kennzeichnet die örtliche Verteilung der Grundfunktionen sowie die Zusammenhänge zwischen den Funktionen (Hierarchie). Datenerfassung, Schutz und Primärregelung (Generator- und Turbinenregelung) sind dezentrale Funktionen, dagegen Führen, Überwachen, Optimieren, Anpassen und Planen zentrale Funktionen, die auf den dezentralen aufbauen (Hierarchie).

Bei der *Zeitstaffelung* hat man zwischen einer Response- und einer Zykluszeit zu unterscheiden (Fig. 3). Die kürzesten Responsezeiten werden vom Schutz und von der Generatorregelung erwartet. Eine Zentralisierung dieser Funktionen ist daher auch nicht möglich; nur der Reserveschutz kann zentral angeordnet werden. Zyklisches Eingreifen in bestimmten Zeitabständen kennzeichnet alle übergeordneten Funktionen wie z. B. die Netzregelung, die wirtschaftliche Lastverteilung und die Planung.

3. Betriebsführungskonzepte für Energieversorgungssysteme

Ein Energieversorgungssystem hat die Aufgabe, den Verbraucher einerseits billig und wirtschaftlich, anderseits sicher und zuverlässig mit Energie zu versorgen. Da dabei die Nebenbedingungen veränderlich sind, können die Führungs-

Probleme der elektrischen Energieversorgung Tabelle I

		Probleme	Lösung	
1000 [s]	Quasi-stationäre Vorgänge	Ausbau und Unterhalt, Zuverlässigkeit, Sicherheit	A	-
		Energiebereitstellung Optimierung, Lastvorhersage	A	B
		Sicherheitsüberwachung Analyse und Korrektur, Informationserfassung und Verarbeitung, Netzsteuerung	A	B
100		Netzzustandserfassung	-	B
		Regelung : f, P, U, Q	-	B
10	Transiente Vorgänge	Fehlerstrom- und Spannungsermittlung	A	B
		Temporäre Ueberspannungen	A	-
1		Transiente Vorgänge in el. Maschinen und Netzen, Stabilitätsverbesserung	A	B
0,1		Begrenzung von Kurzschlussströmen	A	B
0,01	Wander-wellen-vorgänge	Ueberspannungen bei Schaltvorgängen, Blitz	A	-
		Begrenzung von Schalt- und Fehlerüberspannungen	A	B

A = Anlagentechnik B = Betriebssystem

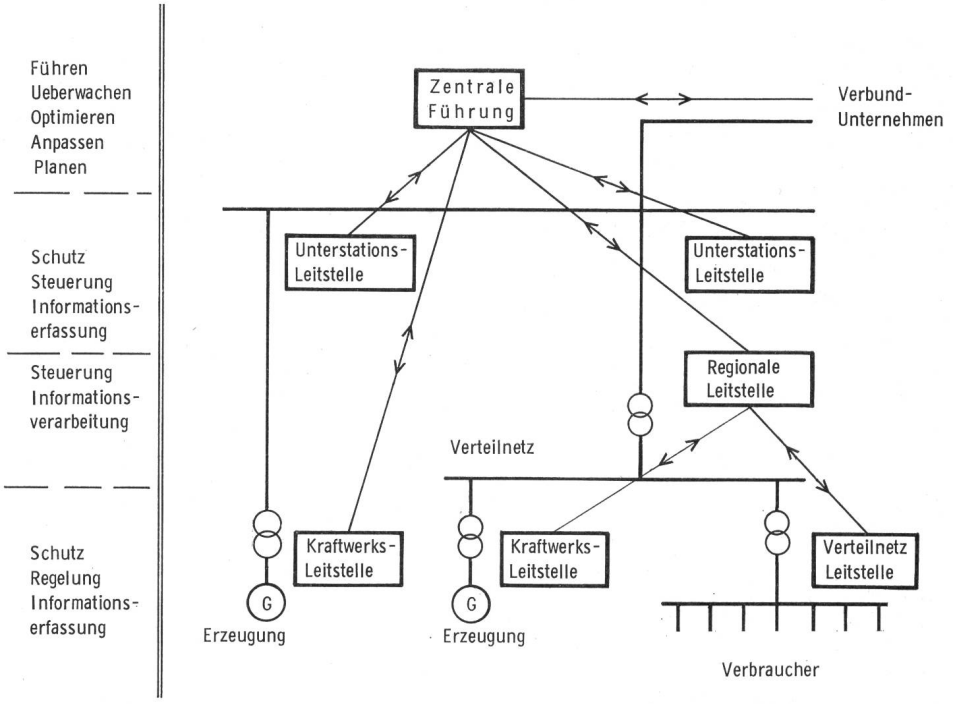

Fig. 2
Informations- und Führungssystem in der Energieversorgung

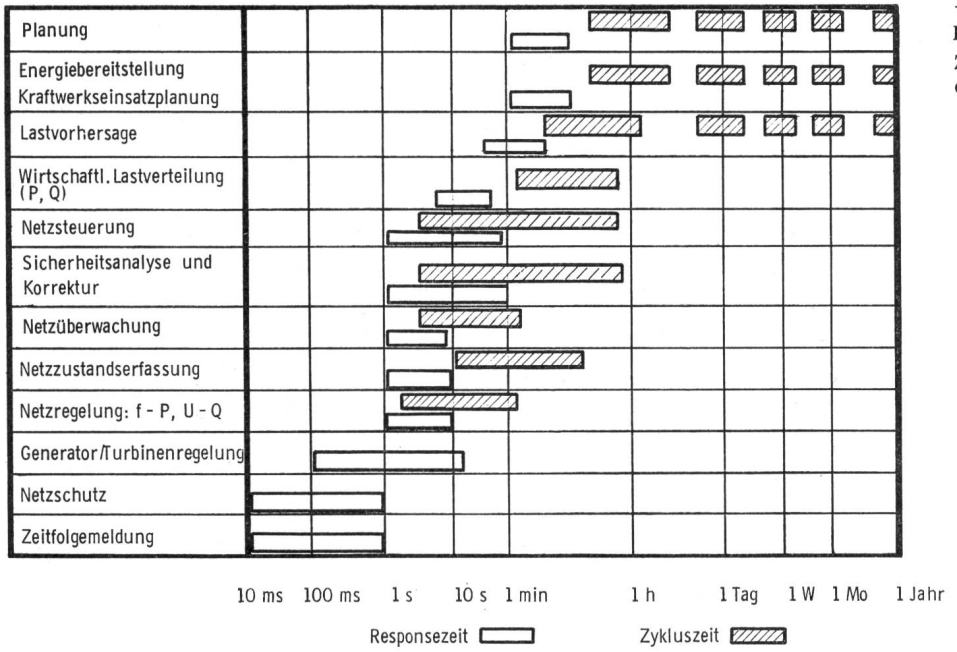

Fig. 3
Zeitlicher Ablauf der Betriebsführungsaufgaben

grössen nicht einmalig optimal eingestellt werden, sie müssen laufend aufgrund von *Führungskonzepten* angepasst werden. Einfache Überlegungen zeigen, dass den Aufgabenstellungen entsprechende Führungskonzepte zugeordnet werden können (Tabelle II).

Die Aufgabenstellung «billige und wirtschaftliche Energieversorgung» gilt für den gesamten Energieversorgungsprozess. Die Optimalität dieses Prozesses wird beeinflusst und begrenzt durch die Kosten und die Verfügbarkeit der Energie, durch die Zuverlässigkeit der Elemente und durch die Verbraucheransprüche. Die Führungskonzepte «Energiebereitstellung und Optimierung», «Netzregelung», «Planung» und «Statistik» berücksichtigen vor allem diese Nebenbedingungen und sorgen für eine laufende Anpassung.

Die vier möglichen Zustände eines Energiesystems sind in Fig. 4 ersichtlich. Im *Normalzustand* werden alle Verbraucher versorgt, alle wesentlichen Systemgrössen wie Spannungen, Ströme, Wirk- und Blindleistungen, Frequenz usw. befinden sich innerhalb ihres zulässigen Bereichs. Fallen Elemente aus, so kann das System in den verletzbaren bzw. gestörten Zustand übergehen.

Betriebsführungskonzepte für Energieversorgungssysteme — Tabelle II

Aufgabenstellung der Energieversorgung:	
billig, wirtschaftlich	sicher, zuverlässig
– Energiebereitstellung und Optimierung – Wirtschaftliche Lastverteilung – Informationserfassung und Verarbeitung – Netzregelung	– Reservehaltung – Sicherheitsnebenbedingungen bei der Optimierung – Informationserfassung und Verarbeitung – Netzregelung – Netzsicherheitsüberwachung – Verhalten bei Störungen, Netzwiederaufbau

Im *verletzbaren* Zustand werden alle Verbraucher normal versorgt, einige Systemgrössen können jedoch am Rande des zulässigen Bereiches liegen. Bei weiteren Ausfällen geht das System unmittelbar vom verletzbaren in den gestörten Zustand über.

Im *gestörten* Zustand haben wesentliche Systemgrössen den zulässigen Bereich überschritten. Als Folge davon ist es

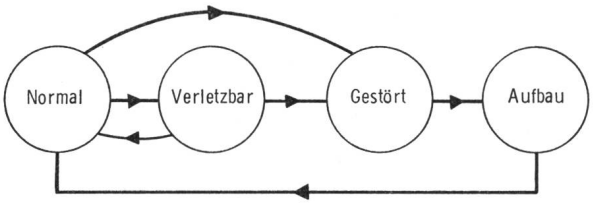

Fig. 4 Zustände eines Energiesystems

zu Lastabschaltungen, Netzauftrennungen und Netzzusammenbrüchen gekommen.

Im *Aufbauzustand* wird das System systematisch in den Normalzustand überführt.

Ein Energieversorgungssystem ist im idealen Sinne sicher und zuverlässig, wenn:

- die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des gestörten Zustandes null ist
- die Dauer des gestörten Zustandes null ist
- die Aufbauzeit sehr klein ist.

Ein derartiges System ist jedoch unrealistisch und unwirtschaftlich. Man muss daher stets mit einer gewissen Unzuverlässigkeit, d. h. mit einer gewissen Nichtverfügbarkeit der Energie leben. Dies wird insbesondere für die Zukunft zutreffen, da dem Ausbau der Versorgungseinrichtungen verschiedene Grenzen gesetzt sind, eine Entwicklung, die zwangsläufig zu einer Erhöhung der Ausnutzung und zu einer Verkleinerung der Reserven führen muss. Allerdings darf darunter die Sicherheit des Bedienungspersonals nicht leiden.

Die Bedeutung der Führungskonzepte, die sich mit der Aufgabenstellung «sichere und zuverlässige Energieversor-

gung» befassen (Tabelle II), wird daher zunehmen. Diese haben dafür zu sorgen, dass

– der Zustand möglichst schnell und vor allem richtig erkannt wird (Informationsverarbeitung und Erfassung)
– Übergänge in den verletzbaren oder gestörten Zustand vermieden werden (Energiebereitstellung mit Sicherheitsnebenbedingungen, Reservehaltung, Netzsicherheitsüberwachung, -analyse und -korrektur)
– nach einer Störung das System möglichst rasch und zuverlässig wieder aufgebaut wird (Verhalten bei Störungen, Netzwiederaufbau)
– das Netz ferngesteuert werden kann

Dabei ist selbstverständlich eng mit den Optimierungskonzepten zusammenzuarbeiten, um den optimalen Kompromiss zwischen der sicheren und der billigen Energieversorgung bei veränderlichen Randbedingungen zu finden. Es hat sich daher als sinnvoll erwiesen, diese Konzepte systematisch untereinander, mit dem Prozess und mit dem Lastverteiler zu verkoppeln. Fig. 5 zeigt ein in diesem Sinne aufgebautes Energieführungssystem.

Die *Datenerfassung* und *Übertragung* stellt die Verbindung zum Energieversorgungsnetz her. Die *Zustandserkennung* (State Estimation) hat die folgenden Aufgaben:

– Erstellung der aktuellen Topologie auf Grund der Schalterstellungsmeldungen und der Basistopologie
– Ermittlung der komplexen Knotenspannungen auf Grund von Messwerten (Spannungen, Lastflüsse, Einspeisungen), der aktuellen Topologie und der Elementdaten mit Hilfe der Ausgleichsrechnung [3, 4]
– Erkennung fehlerbehafteter Messwerte [5]

Diese systematische Zustandserkennung beschränkt sich zurzeit noch auf die Ermittlung quasistationärer Systemgrössen (Knotenspannungen), d. h. auf die Identifikation stationärer, abgegrenzter Netzmodelle. Notwendig für realistische Ausfallsimulation sind jedoch dynamische Modelle des Versorgungsgebietes und der Nachbarnetze.

Der von der Zustandserkennung ermittelte, gesicherte und gefilterte Systemzustand (Fig. 5) dient als Basis für die folgenden Operationen:

Die *Informationsverarbeitung* umfasst die folgenden Tätigkeiten:

– Datenerfassung, Überprüfung (Plausibilität), Verdichtung, Darstellung (Display, Blindschaltbild), Speicherung (Datenbank) und Verarbeitung (Statistik) jeweils für das Netz, die Kraftwerke und die Verbindungsleitungen
– Energieüberwachung und Abrechnung
– Überwachung des Datenerfassungs- und Informationssystems

Die Aufgaben der *Netzsteuerung* sind:

– Fernbetätigung von Schaltern: Anwahl, Ablaufüberwachung, Rückmeldung
– Ausführung von Schaltprogrammen, Koordination von Schaltungen, Sammelbefehle, Schaltfolgen
– Simulation der Folgen einer Schaltung: Ermittlung der Kurzschlussleistung und des Lastflusses, Vergleich mit Grenzwerten
– Einsatz diskreter Elemente (Transformatoren, Drosselspulen, Kondensatoren) zur Spannungshaltung

Die *Netzsicherheitsüberwachung* besteht aus den Abschnitten (Fig. 6)

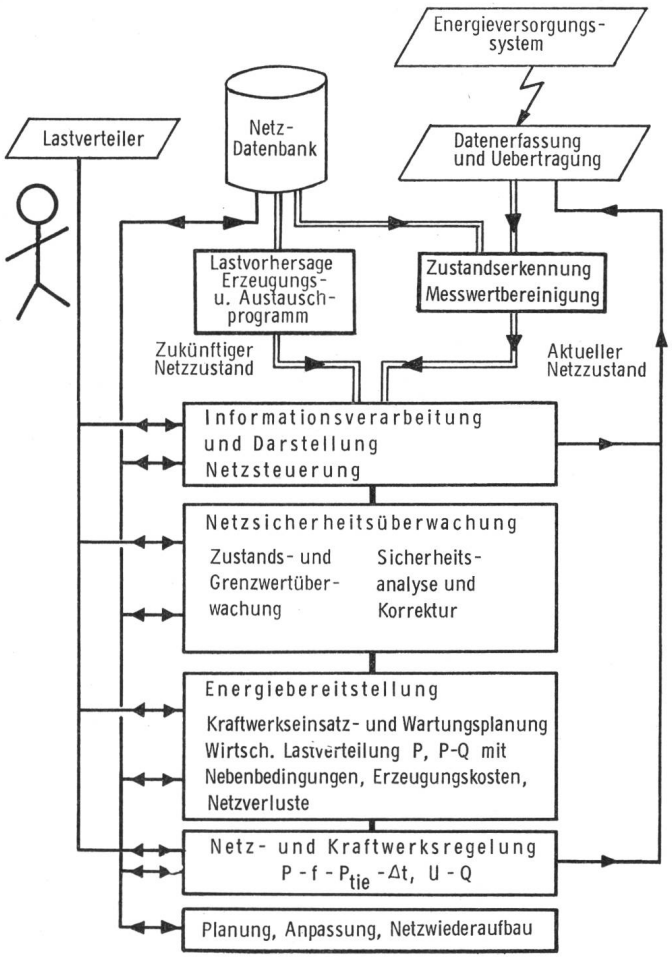

Fig. 5 Übergeordnetes Betriebsführungssystem

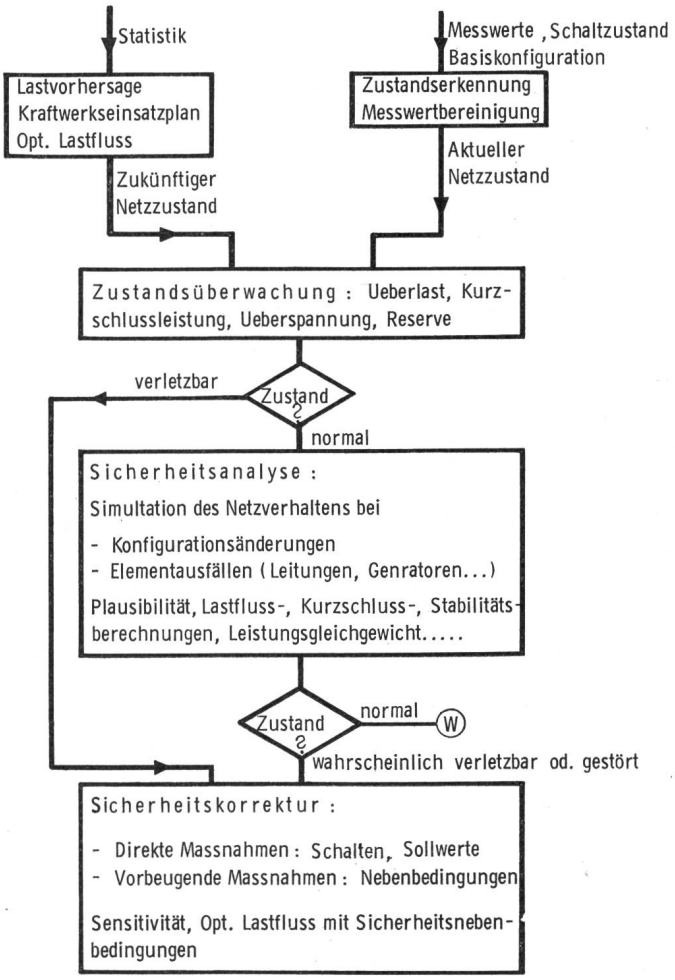

Fig. 6 Netzsicherheitsüberwachung

– Zustandsermittlung (aktuell oder zukünftig)
– Zustandsüberwachung: Vergleich wesentlicher Systemgrössen (Spannungen, Lastflüsse, Einspeisungen, Frequenz, rotierende Reserveleistung, Kurzschlussleistungen) mit Grenzwerten
– Sicherheitsanalyse: Ausfallsimulation
– Sicherheitskorrektur: Optimierung mit Sicherheitsnebenbedingungen

Problematisch sind dabei die Sicherheitsanalyse und daraus ableitbare Sicherheitskorrekturen. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer angenommenen Netzänderung ist vor der Durchführung von Sicherheitskorrekturen stets zu überprüfen, besonders dann, wenn die Simulation nur einen verletzbaren Zustand ergibt.

Das Führungskonzept *Energiebereitstellung und Optimierung* besteht aus verschiedenen Elementen, die sich vor allem in ihrer Zykluszeit unterscheiden (Fig. 7):

Eine langfristige Aufgabe ist die *Ausbauplanung*. Mittelfristig ist die Energiebereitstellungsplanung (Kraftwerkseinsatzplanung) durchzuführen. Sie beruht auf der Lastvorhersage und den Systemdaten und liefert einen Kraftwerkeinsatz- und Energieaustauschfahrplan für ein Zeitintervall. Weicht die aktuelle Netzlast von der Vorhersage ab, oder fallen Kraftwerke aus, so muss die Erzeugung korrigiert werden. Diese Aufgabe übernimmt kurzfristig die *wirtschaftliche Lastverteilung*. Dieser Algorithmus liefert Sollwerte für die Generatoren (P, Q), für die Spannungsregelungseinrichtungen und für die Netzregelung. Letztere ist das ausführende Element der Energiebereitstellung und die einzige direkte Verbindung (on-line closed loop) zwischen dem Betriebsführungssystem und dem Netz (Fig. 5).

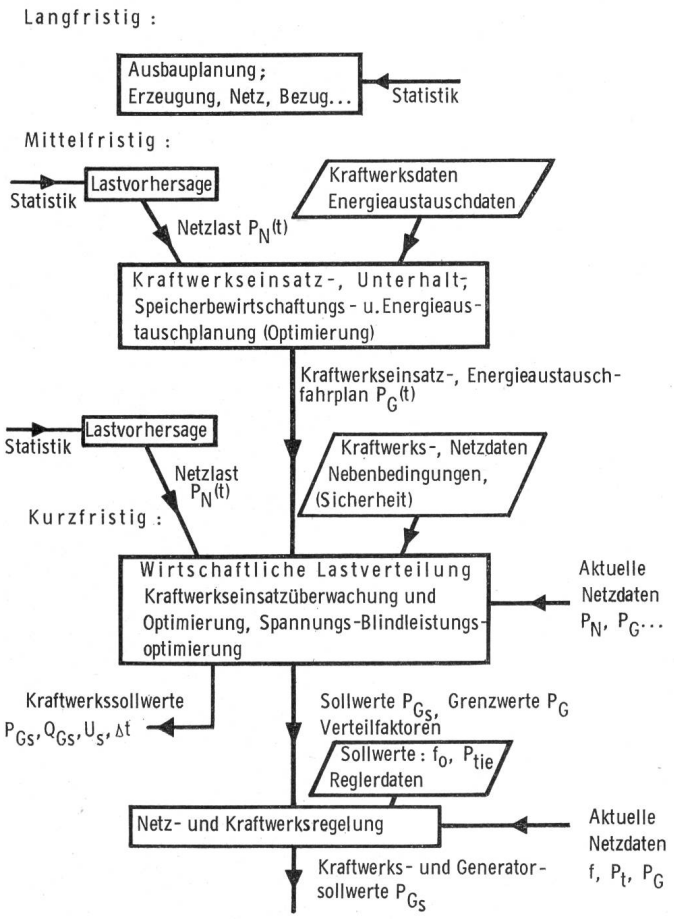

Fig. 7 Energieführungskonzept

Der Lastverteiler hat bei der Betriebsführung die Entscheidungsgewalt. Die Führungskonzepte sollen diese Entscheidungen vorbereiten und festigen im Sinne der Zielsetzung.

4. Die Realisierung von Betriebsführungskonzepten

Die Realisierung der Betriebsführungskonzepte hängt ab von der Aufgabenstellung des Energiesystems (z. B. Grundlast oder Spitzenlast, Energieübertragung oder Verteilung), der Unternehmensstruktur und der Leistungsfähigkeit. Das in Fig. 5 dargestellte Betriebsführungssystem hat eine beschränkte allgemeine Gültigkeit. Es ist nicht auf ein bestimmtes System zugeschnitten. Je nach der Aufgabenstellung werden die verschiedenen Führungskonzepte eine unterschiedliche Gewichtung haben und gegebenenfalls auch dezentral z. B. in Regionalleitstellen zu realisieren sein (Fig. 2).

In den Führungszentren übernehmen heute bekanntlich *Rechnersysteme* die Behandlung der Führungskonzepte. Diese Rechnersysteme sind gekennzeichnet durch

– Struktur und Informationsverknüpfung
– Aufgabenzuordnung: On-line, off-line
– Betriebssysteme: Realzeit, Stapelverarbeitung, Time-sharing; Programmiersprachen
– Redundanz, Reserve, Ausfallüberwachung
– Verschiedene Peripherie

Fig. 8 zeigt eine übliche Rechnerkonfiguration mit vertikaler Struktur für ein übergeordnetes Netzführungssystem. Den Betrieb des Fernwirksystems übernehmen in diesem System Prozessrechner (FWR) [6], jeweils beschränkt für einen Teil des Netzes. Ein Rechner ist Reserve. Die Fernwirkrechner haben eine einfache Ein- und Ausgabeperipherie, so dass auch bei einem Ausfall der Hauptrechner R 1, R 2 und R 3 noch eine beschränkte Informationsverarbeitung durchführbar ist. Die Hauptrechner bilden das eigentliche Führungssystem. Ihre Auslegung hängt von den Aufgabenstellungen ab. Üblich sind Kernspeichergrössen von 64 K Worten, periphere Speicher von 1–10 Mill. Wörtern und Grundinstruktionszeiten in der Grössenordnung von µs.

Bei der Zuordnung der Aufgaben zu den Rechnern hat sich eine Unterscheidung zwischen On-line- und Off-line-Aufgaben als sinnvoll erwiesen. Die folgenden Zuordnungen und Betriebsarten sind möglich:

a) R 1: On-line-Aufgaben, R 2: Reserve für R 1, R 3: Off-line-Aufgaben
b) R 1: On-line-Aufgaben, R 2: Reserve für R 1 und Off-line-Aufgaben
c) R 1 und R 2: On-line-Aufgaben, R 3: Off-line-Aufgaben.

Die Betriebsart a) stellt die geringsten Anforderungen an die Betriebssysteme und ergibt die kürzesten Umschaltzeiten bei einem Ausfall des On-line-Rechners. Die Betriebsarten b) und c) stellen dagegen höhere Anforderungen. Bei einer Umschaltung müssen zunächst Kernspeicherbereiche abgespeichert werden. Erst dann können die On-line-Aufgaben übernommen werden.

Bei der in Fig. 9 dargestellten Rechnerkonfiguration sind die Aufgaben den einzelnen Rechnern fest zugeteilt. Die Netzregelung z. B. wird bei diesem System von einem Kleinrechnerpaar übernommen. Dadurch wird ein Höchstmass an Verfügbarkeit erreicht. Ist der Rechner R 3 nicht vorhanden,

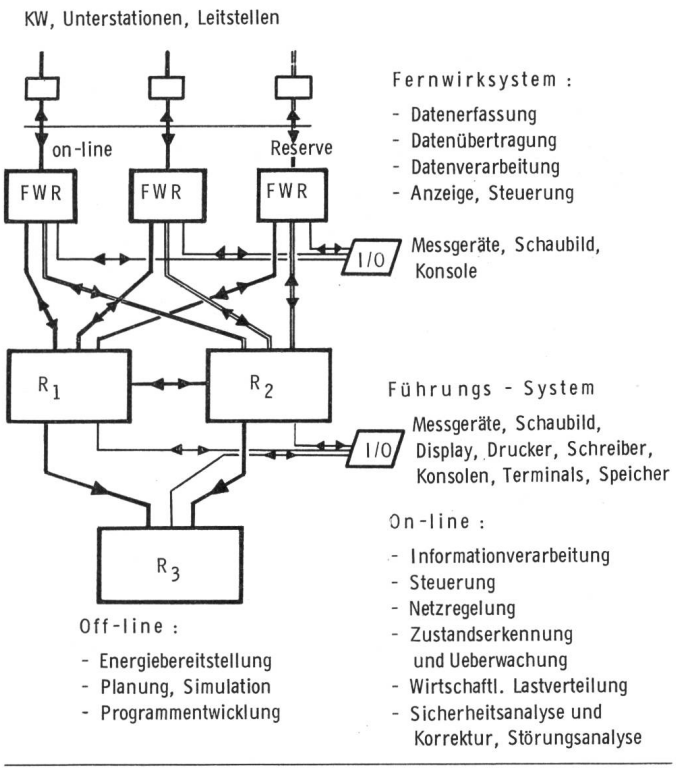

Fig. 8 Rechnerkonfiguration für ein übergeordnetes Energiebetriebsführungssystem

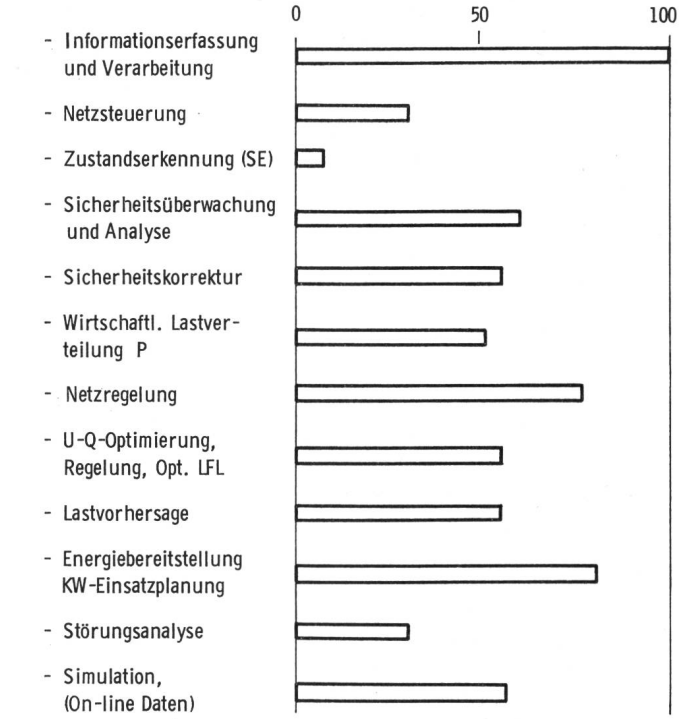

Fig. 10 Realisierte Energiebetriebsführungskonzepte, Stand 1974/75, 60 EVUs = 100 %

so muss bei einem Ausfall von Rechnern oder von peripheren Einrichtungen eine Reduzierung derAufgaben nach einer Prioritätenliste vorgenommen werden:

1. Priorität bei einer Ausführung haben die Informationserfassung und Verarbeitung, die Zustandsüberwachung und die Netzsteuerung.

2. Priorität haben die Netzregelung und die Zustandsermittlung (State Estimation).

3. Priorität haben die wirtschaftliche Lastverteilung, die Netzsicherheitsanalyse und Korrektur.

Letzte Priorität haben die Energiebereitstellung, die Unterhaltsplanung, die Netzregelung und die Simulation.

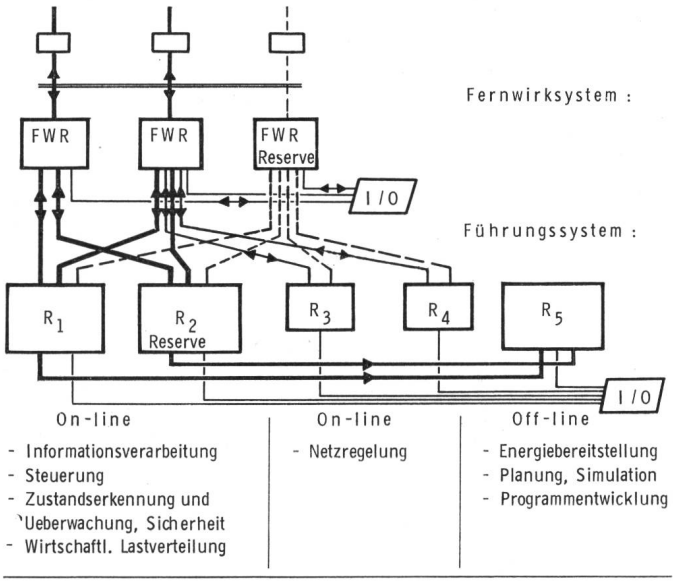

Fig. 9 Rechnerkonfiguration für ein übergeordnetes Energiebetriebsführungssystem

Diese Prioritätenliste folgt einerseits aus der Bedeutung der Aufgaben für die Prozessführung und anderseits aus den Zykluszeiten der Konzepte (Fig. 3). Aufgaben mit grossen Zykluszeiten wie z. B. die Energiebereitstellungsplanung können bei einem Rechnerausfall jederzeit zurückgestellt und später nachgeholt werden.

Bei der Einführung von rechnergestützten Betriebsführungskonzepten in ein Energiesystem sollte man nach einem Stufenplan vorgehen. Zum Beispiel sollten in einer ersten Stufe die folgenden Aufgaben gelöst werden:

– Aufbau der Datenerfassung und Übertragung (ausgewählte, wesentliche Messwerte und Schalterstellungsmeldungen)
– Informationsverarbeitung und Darstellung, Netzsteuerung, Zustandsüberwachung, wirtschaftliche Lastverteilung (*P*), Netzregelung
– Energiebereitstellungsplanung, Lastvorhersage
– Planung: Lastfluss-, Kurzschluss- und Stabilitätsberechnung

Hat sich dieses System bewährt, so können in der zweiten Stufe die Zustandserkennung und die darauf aufbauenden Konzepte wie die Messwertbereinigung, die Sicherheitsanalyse und Korrektur und der optimale Lastfluss mit Sicherheitsnebenbedingungen eingeführt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch die Erweiterung der Datenerfassung, so dass der dafür notwendige redundante Messwertsatz zur Verfügung steht.

5. Realisierte Führungskonzepte

Weltweit sind zurzeit rund 100...150 rechnergestützte, übergeordnete Betriebsführungssysteme in Energieversorgungs-Systemen im Einsatz. Eine beschränkte Übersicht ist in [7], weitere Angaben sind in unveröffentlichten Berichten der CIGRE WG 32.01 zu finden. Wertet man diese Informationen aus, so ergibt sich Fig. 10. Diese zeigt, dass rechner-

gestützte Führungskonzepte noch keineswegs Allgemeingut geworden sind. Am verbreitesten sind neben der Informationserfassung und Verarbeitung die Energiebereitstellungs- und Kraftwerkeinsatzplanung und die Netzregelung. Dies weist darauf hin, dass bei den meisten Unternehmen die Aufgabenstellung «billige, wirtschaftliche Energieversorgung» noch im Vordergrund steht. Allerdings ist die Aussagefähigkeit von Fig. 10 beschränkt, da dabei nicht die Aufgabenstellung berücksichtigt wurde.

Adresse des Autors:

Dr. Ing. *K. Reichert*, Chef der Abteilung technisch-wissenschaftliche Analyse, BBC AG Brown Boveri & Cie, 5401 Baden.

Literatur

[1] *K. Reichert:* Moderne Methoden der Systemplanung für die Energieversorgung. In: Elektrische Energieversorgung. BBC-Diskussionstagung, Dättwil, 6./7. Juni 1974. Baden, Brown Boveri & Cie, Druckschrift Nr. CH BBC 4205 D; S. 71...88.

[2] *E. Handschin:* Systemtechnik in der elektrischen Energieversorgung. Bull. SEV/VSE 66(1975)17, S. 914...920.

[3] *K. Reichert* u. a.: On-line Lastflussberechnung (State Estimation) in elektrischen Energieversorgungssystemen, Grundlagen. ETZ-A 95(1974)2, S. 86...91.

[4] *K. Reichert* u. a.: Die Überwachung eines Teils des schweizerischen Hochspannungsnetzes mit State Estimation, Prozessaufbau und praktische Erfahrungen. In: Einsatz von Prozessrechnern in Kraftwerken und Übertragungsnetzen. Informationstagung des SEV, Lausanne, 20./21. September 1973, S. 141...166.

[5] *F. C. Schweppe* and *E. J. Handschin:* Static state estimation in electric power systems. Proc. IEEE 62(1974)7, p. 972...982.

[6] *B. Šakić:* Technologie der Systeme für Netzführung. In: Elektrische Energieversorgung. BBC-Diskussionstagung, Dättwil 6./7. Juni 1974. Baden, Brown Boveri & Cie, Druckschrift Nr. CH-BBC 4205 D; S. 61...69.

[7] *T. E. Dy Liacco:* Real-time computer control of power systems. Proc. IEEE 62(1974)7, p. 884...891.

Carl Ferdinand Braun 1850–1918

Als der schwedische König im November 1909 den Nobelpreis für Physik überreichte, standen der junge Empiriker Marconi und der reife Theoretiker Braun vor ihm. Sie erhielten den Preis für ihre Arbeiten auf dem Gebiet der drahtlosen Telegrafie, die sich gegenseitig beeinflusst und ergänzt hatten.

Ferdinand Braun, der jüngste von 5 Söhnen eines Justizbeamten, wurde am 6. Juni 1850 in Fulda geboren. Er studierte in Marburg und Berlin, wo er 1872 bei Helmholtz doktorierte. Als Lehrer am Thomas-Gymnasium in Leipzig entdeckte er den Gleichrichtereffekt an Halbleitern (Grundlage für Transistortechnik).

Er folgte dann Berufungen an die Universitäten Marburg (1878), Strassburg (1880), Karlsruhe (1883), und Tübingen (1885). Zehn Jahre später wählte ihn die Universität Strassburg als Nachfolger von Kohlrausch. Zu jener Zeit sprach man in der ganzen Welt von Röntgens Entdeckung. Auch Braun experimentierte mit Röntgenröhren. Um das grüne Licht am Röhrenboden zu untersuchen, bewegte er neben dem Glaskolben eine wechselstromdurchflossene Spule, stellte einen Drehspiegel auf und bekam zu seiner Überraschung die Sinuskurve des Wechselstromes zu sehen. Das brachte ihn auf die Idee, die von Plücker entdeckten Kathodenstrahlen zur Aufzeichnung von zeitlich veränderlichen Vorgängen zu benützen. Am 15. Februar 1897 führte er die Röhre vor, die noch heute die Braunsche heisst. Neu daran waren die Ausblendung eines feinen Strahles und dessen magnetische Ablenkung. Kathodenstrahl-Oszillograph, Radargeräte und die Fernsehröhre sind daraus entwickelt worden.

1897 hatte Braun die Wassertelegrafie zu begutachten, deren Erfinder damit die Marconipatente umgehen wollte. Braun sah aber, dass die drahtlose Telegrafie weit überlegen war, um so mehr, als er dank seiner theoretischen Kenntnisse eine Reihe wesentlicher Verbesserungsmöglichkeiten erkannte, denen er sich zuwandte. Durch Kopplung der Schwingkreise und Abstimmung der Antenne auf den Schwingkreis erzielte er grosse Fortschritte.

Deutsches Museum München

Eine Gesellschaft, der Braun erst später beitrat und der er seinen Namen gab (Telebraun), wertete die Erfindung aus. Zwischen Cuxhaven und Helgoland führte sie erfolgreiche Versuche durch, worauf sich auch Siemens & Halske daran beteiligte. 1901 konnte diese Gruppe bei Manövern Telegramme auf 100 km Entfernung senden. Weil das Militär Richttelegrafie verlangte, um ein Mithören durch den Feind auszuschliessen, führte Braun in Strassburg entsprechende Versuche durch. Das erstrebte Ziel wurde zwar nicht erreicht, doch wies die von Braun ersonnene Rahmenantenne für den Empfang hervorragende Richtwirkung auf.

Patentstreitigkeiten zwischen Marconi, AEG und Braun-Siemens hemmten die Entwicklung, bis sich Telebraun und AEG, von Kaiser Wilhelm II. dazu aufgefordert, zur Firma Telefunken vereinigten.

Braun, begeisterter Naturfreund, wanderte viel, interessierte sich für Kunst, zeichnete und malte selber. 1906 musste er sich einer schweren Krebsoperation unterziehen. Noch schonungsbedürftig reiste er 1909 nach Stockholm.

1914 brach zwischen Telefunken und Marconi erneut ein Streit aus, der in den USA ausgetragen wurde. Um die Interessen zu verfechten, reiste Braun mitten im Krieg nach Amerika. Des U-Boot-Krieges wegen konnte er nachher nicht mehr zurück, und beim Eintritt der USA in den Krieg wurde er interniert.

Braun malte in dieser Zeit wieder viel und schrieb noch ein Buch «Physics for women». Am 20. April 1918 starb er an den Folgen eines Sturzes. 1921 brachte einer seiner Söhne die Asche nach Fulda.

H. Wüger