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: 71 (1980)

Heft: 6

Artikel: Von der Lichtzentrale zum Elektrizitätswerk

Autor: Lienhard, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905239

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: 13.07.2025

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

Von der Lichtzentrale zum Elektrizitätswerk

Von H. Lienhard

In einer unruhigen Zeit wie der heutigen, in der viele Zeitgenossen das Heil in alternativer Technik zu finden hoffen, ist es zweckmässig und aufschlussreich, die effektiv durchlaufene Entwicklung anhand einiger wesentlicher Problemstellungen nochmals transparent zu machen. So versucht der nachstehende Aufsatz, einen kurzen Abriss über die heutigen Unternehmungsstrukturen in der Elektrizitätswirtschaft zu vermitteln, aber auch Aspekte des Netzzusammenschlusses aufzuzeigen. Der Entwicklungsabriss lässt auch deutlich werden, dass seit den ersten Tagen kommerzieller Elektrizitätserzeugung die Beeinflussung der Lastkurven und die «richtige» Preisstellung Hauptprobleme waren und es noch heute sind.

Nous vivons actuellement des temps très agités, et nombre de nos contemporains voient un espoir de salut dans des techniques nouvelles. Il pourrait être instructif de passer en revue les principales étapes de l'évolution antérieure pour mieux comprendre la situation actuelle de l'approvisionnement en électricité. C'est ainsi que l'auteur du présent article a tenté d'exposer brièvement la structure de l'industrie de l'électricité ainsi que certains aspects du couplage des réseaux. Il en ressort que dès le début de la production et de la distribution commerciales de l'électricité les principales difficultés ont été et sont toujours l'harmonisation des courbes de charge et la fixation de prix équitables.

1. Zur Entstehung der heutigen Unternehmungsstrukturen in der Elektrizitätsversorgung

1.1 Der Beginn privater Elektrizitätsversorgung

Edisons Kohlenfadenlampen aus dem Jahre 1879 lösten ein Jahrtausendproblem: Sie eröffneten für jedermann die Möglichkeit, individuell sein Bedürfnis nach Licht – unabhängig von Tageszeit oder Raumanordnung – zu befriedigen. Er stiess damit – nach heutiger Terminologie – in eine ungeheure Marktlücke. Edison war aber nicht nur genialer Techniker, sondern auch Geschäftsmann, und er erkannte deshalb rechtzeitig, dass seine Kohlenfadenlampen nur dann zu mehr taugen würden als die Experimente Goebels, Groves und Jacobis, wenn es ihm gelang, auch die nötige Infrastruktur zum Betrieb seiner Lampen zur Verfügung zu stellen. Dazu gehörte die Lösung folgender Probleme:

– Es mussten mechanisch angetriebene Generatoren gebaut werden, deren Leistung ausreichte, um eine Vielzahl von Lampen gleichzeitig versorgen zu können.

– Es musste eine Schaltung gefunden werden, die es erlaubte, jede angeschlossene Lampe einzeln zu- oder abzuschalten (Parallelschaltung anstelle der Serieschaltung).

– Es mussten technische Lösungen gefunden werden, die Spannung unabhängig von der Zahl der zugeschalteten Lampen einigermassen konstantzuhalten (Spannungsregulierung, Lebensdauer der Lampen).

– Schliesslich musste ein Verteilnetz aufgebaut werden, das den Anschluss einer grossen Zahl von Lampen ermöglichte.

Neben diesen technischen Voraussetzungen musste auch ein Verrechnungssystem und eine Organisation geschaffen werden, die die finanziellen Bedürfnisse der die Energie und Infrastruktur zur Verfügung stellenden Unternehmung befriedigen konnte.

Alle diese Probleme wurden von der von Edison am 15. Oktober 1878 gegründeten «Edison Electric Light Co» bis zum Jahre 1882 gelöst, und am 4. September konnte das erste Elektrizitätswerk als Blockstation in der New Yorker Pearl Street in Betrieb genommen werden. Versorgt wurden bei der Betriebsaufnahme 59 «Abonnenten» mit anfänglich 400 Lampen in 85 Gebäuden [1].

Für die weitere Entwicklung, insbesondere in Europa, wurde die erste internationale elektrotechnische Ausstellung in Paris richtungweisend. Maschineningenieur Emil Rathenau erkannte in Edisons Glühlampe als einer der ersten die ungeheure Bedeutung dieser Erfindung für die Allgemeinheit. Noch auf der Ausstellung erwarb er deshalb von Edison die Rechte der Patentauswertung und gründete 1883 die «Deutsche Edison-Gesellschaft für angewandte Elektrizität», aus der schliesslich die AEG hervorging [2]. Diese Gesellschaft errichtete an der Friedrichstrasse in Berlin 1884 die erste deutsche Blockstation. Vier Dampfmaschinen von je 65 PS trieben je einen Gleichstromgenerator zur Speisung von 450 Glühlampen an [3]. Der Ausdruck Blockzentrale wurde von nun an für thermische Kleinkraftwerke angewandt, dessen Abnehmerkreis auf geschlossene Häuserblöcke beschränkt blieb. Es zeigte sich aber bald, dass ein wirtschaftlicher Betrieb dieser lediglich Beleuchtungsanlagen speisenden Gleichstromkraftwerke nur möglich war, wenn grössere Einzugsgebiete versorgt werden konnten und der statistische Ausgleich vieler Kleinabnehmer wirksam wurde. Dies setzte aber voraus, dass öffentliche Strassen überquert oder gar für die Leitungsverlegung benutzt wurden. Damit waren die privaten Blockstationen zum erstenmal mit Fragen öffentlich-rechtlicher Natur konfrontiert (Bewilligungen, Mitsprache der Behörden). So konnte das erste,

Entwicklung der in schweizerischen Kraftwerken insgesamt installierten Leistung seit 1886 bis 1930 [5] Tabelle I

Jahr	Installierte Leistung in			
	Kraftwerken der Allgemeinversorgung MW	Industriekraftwerken MW	Bahnkraftwerken MW	Inlandverbrauch GWh
1886	4	–	*	3
1887	5	–	*	4
1888	6	–	*	5
1889	7	–	*	5
1890	7	1	1	10
1891	7	2	2	18
1892	7	3	2	24
1893	7	3	2	26
1894	11	3	3	30
1895	20	3	4	40
1896	35	4	4	60
1897	40	6	5	80
1898	55	13	7	150
1899	70	15	9	180
1900	80	25	9	200
1905	140	35	10	490
1910	300	85	17	1100
1915	420	140	28	1800
1920	580	190	73	2300
1925	850	220	190	3200
1930	1000	240	250	4300

* Unter 1 MW.

der öffentlichen Versorgung dienende Kraftwerk 1884/85 erst gebaut werden, nachdem die Edison-Gesellschaft mit der Stadt Berlin einen Konzessionsvertrag abgeschlossen hatte.

In den Jahren ab 1890 entstanden in Europa viele Blockzentralen in grösseren Städten, aber auch manche Pionieranlage Privater (etwa Hoteliers) oder der Industrie. Neben thermischen Produktionsanlagen – die erste europäische Blockstation nahm den Betrieb 1882 in London auf – hatte die Wasserkraftnutzung in den Alpenländern eine jahrhundertealte Tradition für den Antrieb von Mühlen und Schmieden. Allerdings wurde die gewonnene Antriebsenergie meist durch den Eigentümer der Anlage selbst genutzt. Dies gilt auch für das erste hydroelektrische Werk der Schweiz, das mit einer Turbine von 10 PS ausgerüstet war. Es wurde vom Hotelier Johann Badrutt 1879 erstellt und diente zur Speisung der Beleuchtungsanlage in seinem Kulmhotel in St. Moritz.

Einen Überblick über die in schweizerischen Kraftwerken insgesamt installierte Leistung seit 1886 vermittelt Tabelle I. Gleichzeitig enthält die Tabelle auch den geschätzten Jahresinlandverbrauch an elektrischer Energie für die Jahre bis 1930.

Der allmähliche Übergang von der Gleichstrom- zur Wechselstromversorgung (1phasig oder 2phasig) und schliesslich zum Drehstromsystem beschleunigte sich seit der Jahrhundertwende. Nach Walter Wyssling [4] lieferten 1901 noch die Hälfte der bestehenden Kraftwerke Gleichstrom, und bis 1914 war ihre Zahl auf etwa einen Drittel abgesunken. Das Drehstromsystem setzte sich anfangs also nur langsam gegen das Gleichstrom- und das Einphasen- bzw. Zweiphasensystem durch, weil neben technischen Überlegungen auch die finanziellen Fragen einer Systemumstellung mitzuberücksichtigen waren. Die bestehenden kleinen Anlagen mit abgegrenzten Versorgungsbezirken blieben deshalb aus wirtschaftlichen Gründen oft noch jahrzehntelang bestehen.

Ein Hauptproblem jener Zeit der stürmischen Entwicklung war sodann die nötige Vereinheitlichung

- der Versorgungsspannung und
- der Frequenz (es gab Anlagen von $33^1/_3$ bis 60 Hz).

Der Druck zur Vereinheitlichung kam dabei vor allem von der Kundschaft, aber auch von den Apparateherstellern her. Die Elektrizitätswerke betrachteten eine eigene Verteilspannung anfänglich eher als Mittel des Gebietsschutzes, und die später dann doch durchgeführte Spannungsvereinheitlichung beanspruchte grosse finanzielle Mittel, hatte aber gleichzeitig den Vorteil, dass der Spannungsumbau auch die Möglichkeit eines den zukünftigen Mehrabsatz einplanenden Netzausbaus schuf. Tatsächlich wurde beim Spannungsumbau oft eine so erhebliche Kapazitätserweiterung geschaffen, dass manche Leitung bis in die jüngste Zeit hinein genügte.

1.2 Zur technischen Entwicklung der ersten zwei Jahrzehnte dieses Jahrhunderts

Der Zeitraum ab 1900 bis zum Ausbruch des Ersten Weltkriegs war eine Zeit der raschen technischen Entwicklung, deren Darstellung durch die Professoren Wyssling [5] und Leuthold [6] und für die Frühzeit Klingenberg [7] umfassend erfolgte. Bereits im 19. Jahrhundert hatte man sich intensiv mit Fragen der Flusslaufkorrekturen, der Entsumpfung und der Seestandsregulierung befasst. So war man in der Lage, bereits im ersten Jahrzehnt bedeutende Laufkraftwerke zu erstellen. Aber auch die Technik zum Bau von Hochdruckanlagen hatte sich bereits früh entwickelt. So zeigt Fig. 1 den Querschnitt durch das Kraftwerk Campocologno, das in den Jahren 1904–1906 mit 8,5 Mio. Franken Baukosten erstellt worden ist. Der nutzbare Stauraum des Lago di Poschiavo betrug 15 Mio. m^3.

Als Beispiel eines frühen Laufkraftwerkes sei das in den Jahren 1907–1912 erstellte Kraftwerk Augst-Wyhlen gezeigt (Fig. 2). Gebaut wurden noch zwei getrennte Zentralengebäude mit dazwischenliegendem Wehr. Neben einer Schiffschleuse von 90×12 m wurde auch bereits ein Fischpass am deutschen Ufer erstellt.

Die wasserbaulichen und technischen Fortschritte werden demgegenüber bei dem in den Jahren 1927–1931 erstellten Rheinkraftwerk Rhyburg-Schwörstadt (Fig. 3) sichtbar. Hier besteht die Ausrüstung nur noch aus vier Kaplanturbinen mit einer Ausbauleistung von 145 600 PS. Die Auffassungen über den richtigen Ausbaugrad haben sich dabei im Laufe der Zeit stark geändert. Während man ursprünglich reine Laufkraftwerke für die etwa an 300 Tagen im Jahr vorhandene Wassermenge ausbaute, um möglichst viel sogenannte «Konstantenergie» zu erhalten, wird unter heute geltenden energiewirtschaftlichen Überlegungen eine an unter 100 Tagen nutzbare Ausbauwassermenge als optimal angesehen.

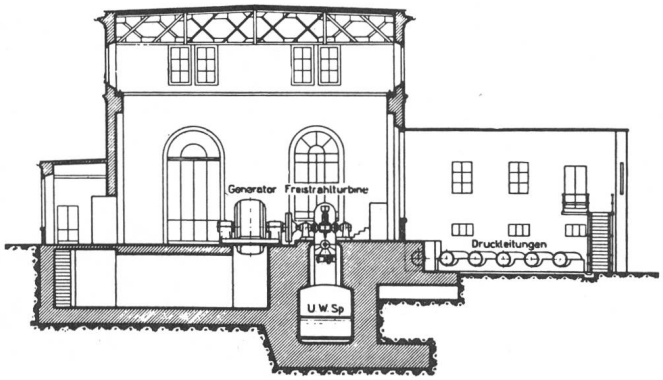

Fig. 1 Beispiel einer Hochdruckanlage Kraftwerk Campocologno, gebaut 1904–1906

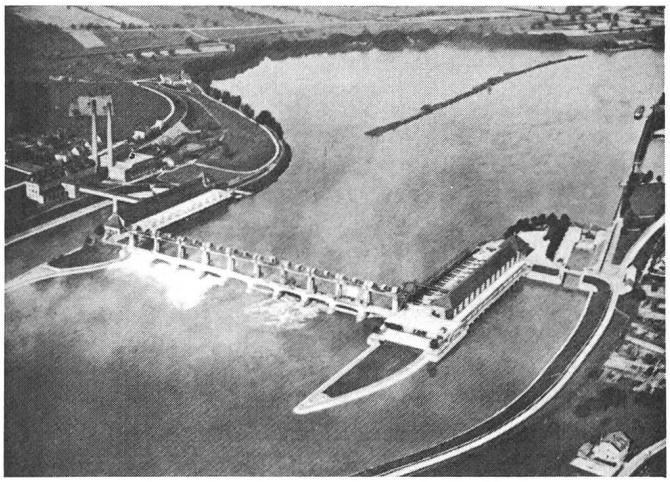

Fig. 2 Kraftwerk Augst-Wyhlen, gebaut 1907–1912

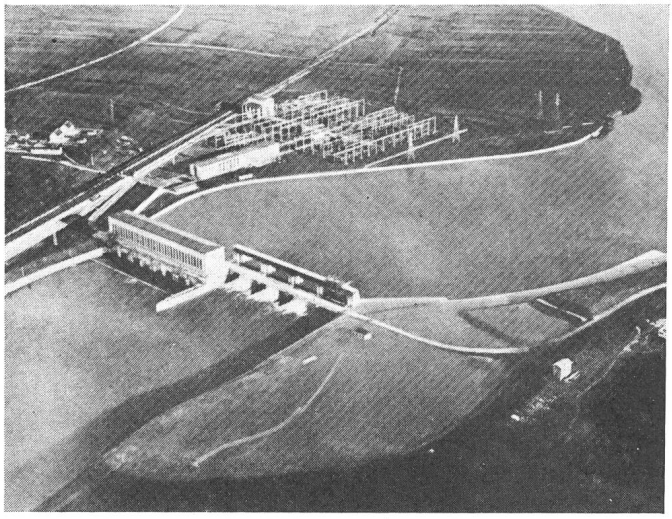

Fig. 3 Kraftwerk Rhyburg-Schwörstadt, gebaut 1927–1931

1.3 Die Gegensätze Stadt–Land und privat–öffentlich in der Elektrizitätsversorgung

Die starken Impulse zum Bau von Kraftwerken gingen nach der Jahrhundertwende zunächst von der elektrotechnischen Industrie aus. Sie suchte Absatzmärkte für ihre Produkte und sah sich dabei mit zwei Problemen konfrontiert:

a) Es musste für jedes Projekt in erheblichem Umfang Ingenieurarbeit geleistet werden. Diese Aufgabe war von den Fabrikationsingenieuren nicht zu lösen. Es mussten deshalb Ingenieurunternehmungen gegründet werden, die die Projektierung von neuen Anlagen speditiv und umfassend ausführen konnten. Beispiele hierzu waren die 1894 von der AEG in Berlin gegründete Gesellschaft für elektrische Unternehmungen oder die durch die BBC 1895 in Baden gegründete Motor, Aktiengesellschaft für Angewandte Elektrizität.

b) Es gab ein grosses Finanzierungsproblem. Jedes neue Kraftwerk und jeder Aufbau eines neuen Versorgungsnetzes kostete viel Geld, das erst im Verlaufe einer langen Betriebsdauer wieder hereinzubringen war. Derartige Projekte hatten also in heutiger Terminologie eine lange Pay-back-Zeit und bargen deshalb aus damaliger Sicht grosse finanzielle Risiken. Diese Aufgabe konnte nur von den Banken übernommen werden, ja es wurden sogar spezielle Banken gegründet, deren Hauptaufgabe es war, die nötigen Vorfinanzierungen zu ermöglichen [9]. Praktisch wurde in vielen Fällen so vorgegangen, dass eine «Finanzierungsgesellschaft» ein neues Kraftwerk errichtete, um es nach Fertigstellung an eine «Betriebsgesellschaft», sei diese nun privat oder öffentlich-rechtlich finanziert, zu verkaufen. Mit dem Erlös wurde dann jeweils ein nächstes Projekt vorfinanziert. Ein Beispiel hierzu wäre etwa die Gründung der Elektrizitätswerke Wynau durch Siemens und Halske oder das Kraftwerk Spiez, das in die «Vereinigte Kander- und Hagneckwerke AG» eingebracht wurde, aus der dann später die Bernische Kraftwerke AG entstanden ist [10].

Typologisch lassen sich unter Führung durch privatwirtschaftliche Initiative drei Tätigkeitsgebiete unterscheiden:

– die Erstellung von Energieerzeugungsanlagen zur Eigenversorgung, speziell in grösseren Fabrikationsbetrieben (Textilindustrie usw.). Ein Beispiel dazu wäre etwa die Gründung des Elektrizitätswerks Rathausen am 31. Oktober 1894 durch Eduard von Moos. Aus dieser Unternehmung entwickelte sich schliesslich die Centralschweizerische Kraftwerke AG, CKW [11];

– der Bau von Wasserkraftwerken zur Speisung von elektrometallurgischen und chemischen Industriebetrieben (Beispiele dazu sind die Alusuisse und die Lonza) und

– der Bau von Kraftwerken, die von Anfang an der Allgemeinversorgung dienen sollten, aber privaten Gesellschaften gehörten. Ein Beispiel hierzu ist die Entstehung der Elektra Birseck [12].

Neben die Gesellschaften, welche selbst elektrische Energie erzeugten und verteilten, traten vermehrt auch solche, die Energie aus andern Kraftwerken zukauften; dies ist bis heute von grosser politischer Bedeutung. Es entstand so eine grosse Zahl von reinen Wiederverkäufern (die meist Gemeinden, Korporationen oder Genossenschaften zum Träger haben). Deren zahlenmässige Entwicklung nach der Jahrhundertwende geht aus Tabelle II hervor. Welche Bedeutung dabei – gerade in ländlichen Gebieten – die Selbsthilfe-Genossenschaften spielten, ist sodann aus Tabelle III ersichtlich. Diese in sehr grosser Zahl vorgenommenen Eigengründungen – mit fortschreitender Zeit entstanden auch Tochterunternehmungen zur Sicherstellung des Absatzes und der Absatzgebietssicherung – verliefen damals in Deutschland, Österreich und Frankreich ähnlich wie bei uns [14].

Die starke Expansion der Anschlüsse in städtischen oder engbesiedelten dörflichen Agglomerationen nach der Jahrhundertwende und die zunehmend optimistische Beurteilung der Elektrizitätswerke in ökonomischer Hinsicht brachte früh leidenschaftliche Diskussionen darüber in Gang, ob die zu-

Entwicklung der Anzahl der finanziell autonomen Elektrizitätswerke in den Gründerjahren auf dem Territorium der Schweiz [5] Tabelle II

Anzahl Elektrizitätswerke	Geschätzte Zahl jeweils auf Jahresende			
	1900	1905	1910	1914
Selbstversorger	135	240	230	240
Selbstversorger mit Zukauf		40	80	90
Reine Wiederverkäufer	5	210	470	750
Total	140	490	780	1080

Entwicklung der Elektrizitätsgenossenschaften bis 1912 in der Schweiz [13] Tabelle III

Jahr	Mit eigener Wasserkrafterzeugung	Ohne Eigenerzeugung
1901	6	3
1902	7	4
1903	11	12
1904	14	46
1905	16	54
1906	16	62
1907	16	69
1908	17	76
1909	18	101
1910	19	126
1911	19	132
1912	20	166

künftige Elektrizitätsversorgung durch die Städte und Gemeinden – also öffentlich-rechtlich – oder durch private Unternehmung erfolgen sollte.

Tatsächlich stellte damals die Erschliessung landwirtschaftlicher Gebiete grosse finanzielle Probleme, weil der Kapitalbedarf hoch war und der Energieabsatz noch gering. Ein Zahlenbeispiel dazu vermittelt Tabelle IV. Selbst in den Krisenjahren waren die Abgaben der städtischen Elektrizitätswerke jedoch bedeutend. Dass diese Diskrepanz in der wirtschaftlichen Situation zwischen «reichen» Stadtwerken und «armen» Überlandversorgern zu politischen Problemen führen musste, ist verständlich, ebenso dass damit den Stadtwerken ermöglicht wurde, eine eigenständige Energiepolitik zu betreiben. Es waren nicht ausschliesslich staatspolitische Überlegungen zur Gemeindeautonomie, die dazu führten, dass sich die Städte anlässlich der Gründung der kantonalen Elektrizitätswerke nicht in diese Körperschaften eingliederten: Sie hatten eine sachlich und finanziell günstige Ausgangslage; die Aufgabe der Selbständigkeit hätte ihnen in dieser Hinsicht nur Nachteile gebracht.

Über die Zahl der anfänglich rein privaten Kraftwerkeigentümer und ihre allmähliche Verschiebung zugunsten öffentlicher Unternehmungen orientiert Tabelle V. Allerdings erfolgte auch bereits vor 1900 eine erste Gründungswelle von kommunalen Elektrizitätswerken durch Städte und Gemeinden.

Die Probleme aller privaten und öffentlichen Werke waren nach der Erstellung der Kraftwerkanlage zuerst meist der fehlende Absatz und damit finanzielle Probleme. Eine rasche Verbesserung war damals nur durch Erweiterung des Absatzgebietes, also durch räumliche Expansion möglich. Das führte dazu, dass insbesondere die privaten Werke ihr Versorgungsgebiet durch Erschliessung neuer Ortsgemeinden laufend auszuweiten trachteten. So versorgten beispielsweise im Jahre 1906 die folgenden privaten Gesellschaften weite Gebiete:

Gesellschaft	Versorgte Ortschaften
Société anonyme des forces motrices de la grande eau Aigle (aufgegangen in die Société Romande d'Electricité)	25
Bodensee-Thurtal-Werke AG (später Elektrizitätswerk des Kantons Thurgau)	30
Elektrizitätswerk Wynau AG	49

Einen Vergleich des Versorgungsbereichs, des investierten Kapitals und der Eigenerzeugung von privaten und kommunalen Werken aus dem Jahre 1906 vermittelt Tabelle VI. Daraus ist ersichtlich, dass neben privaten Gesellschaften nur die grossen Städte damals aus eigener Kraft imstande waren, die nötigen grossen Kapitalbeträge aufzubringen.

1.4 Die Gründung kantonaler und überregionaler Elektrizitätswerke

Als erster Kanton gelangte Freiburg 1888 zur Gründung einer staatlichen Unternehmung, den heutigen Entreprises Electriques Fribourgeoises mit Sitz in Freiburg. Sie gingen aus der 1869 gegründeten Société Suisse des Eaux et Forêts hervor, die eine Wasserkraft an der obern Saane ausnutzte und die Stadt Freiburg mit Filtrierwasser versorgte [15].

Eine bereits 1893 an den Regierungsrat des Kantons Zürich erfolgte Aufforderung, die Wasserkraft des Rheins auszunützen, fand zwar die Zustimmung einer Expertenkommission und des Regierungsrates, doch wurde die Schaffung eines Staatsbetriebes 1900 durch den Kantonsrat abgelehnt. Erst 1908 wurde diese Frage erneut behandelt, und es kam in der Folge zur Gründung der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich. Dabei konnten das 1894 erstellte Kraftwerk Dietikon (700 kW) und das 1895 in Betrieb genommene Kraftwerk an der Sihl (330 kW) übernommen und zugleich die auf zürcherischem Gebiet liegenden Verteilanlagen der Beznau-Löntsch-Werke unter der Bedingung des Energiebezuges von diesen Werken erworben werden [16]. Damit war der Anstoss zur Schaffung

Die Elektrifikation ländlicher Gebiete. Das Problem der Wirtschaftlichkeit ländlicher Anschlüsse aus einer Arbeit von 1913 [8] — Tabelle IV

	Industrielles Gebiet	Gemischtes Gebiet	Landwirtschaftliches Gebiet
Anlagekosten in Mark	900	1325	1936
Leihungskosten im Verhältnis zu den Gesamtkosten in %	37,3	50,2	59,1
Benutzungsdauer der Höchstlast in h	2445	1770	1127
Bruttorentabilität in %	9,9	7,1	4,4

Installierte Leistung in schweizerischen Wasserkraftwerken [18] — Tabelle V

Jahr	Eigentümer				Leistung insgesamt
	Öffentliche Unternehmungen*)		Private Unternehmungen		
	MW	%	MW	%	MW
1885	–	–	90	100,0	90
1900	33	16,2	172	83,8	205
1913	167	25,6	285	74,4	452
1927	795	50,6	779	49,4	1574
1945	1672	59,2	1148	40,8	2820

*) Einschliesslich gemischtwirtschaftliche Unternehmungen.

Struktur, investiertes Anlagekapital und Energieumsatz einiger Elektrizitätswerke im Jahre 1906 [19] — Tabelle VI

Elektrizitätswerke	Versorgte Anzahl Ortschaften	Investiertes Kapital Mio. Fr.	Eigene Energieerzeugung GWh
Private Werke			
Thusy-Hauterive (Freiburg)	168	10,5	22,7
Vereinigte Kander- und Hagneckwerke (Spiez und Biel)	127	8,7	10,1
Rathausen AG	22	3,4	6,2
AG EW a. Sihl	19	3,0	
Joux et Orbe (Compagnie vaudoise)	260	7,9	8,8
Kommunale Werke			
Genf	20	18,5	33,9
Lausanne	10	8,3	18,4
Basel	1	5,0	5,6
Zürich	1	8,3	8,3

Entwicklung der Anteile der privaten und öffentlich-rechtlichen Elektrizitätswerke in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts in der Schweiz. Basis ist die prozentuale Energieerzeugung Tabelle VII

Jahr	Unternehmungen		
	Private	Gemischt-wirtschaftliche	Öffentliche
1902	67,7	0,6	31,7
1910	57,7	6,3	36,0
1919	40,2	5,5	54,3
1929	36,6	5,2	58,2
1936	28,8	22,7	48,5
1942	25,8	23,0	51,2

Geschätzte Entwicklung der Primärenergiestruktur des Weltverbrauchs in Mia. SKE in charakteristischen Stichjahren Tabelle IX

Energieträger	1860	1913	1938	1950	1970
Dung und Agrarabfälle	90	100	100	80	90
Holz	300	270	250	210	180
Kohle	130	1270	1280	1550	2500
Erdgas	5	10	30	100	250
Erdöl	*	70	360	700	3050
Wasserkraft	*	*	10	40	200
Summe	525	1720	2030	2680	6270

*) Unter 5 als Schätzgrösse.

der ostschweizerischen Kantonswerke gegeben, die denn auch bis 1913 erfolgte. In den Kantonen Glarus (1919), Luzern (1919), Tessin (1919), Baselland (1919) und Solothurn (1920) scheiterte – meist am Widerstand der Regierungen – die Gründung kantonaler Elektrizitätswerke.

Von besonderer Bedeutung war aber die Gründung der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (NOK) im Jahre 1914, die heute von den Kantonen Zürich, Aargau, St. Gallen, Thurgau, Schaffhausen, den beiden Appenzell, Glarus und Zug getragen wird [17]. Gemäss Gründungsvertrag vom 22. April 1914 wurde dabei den NOK die Aufgabe der Energiebeschaffung und Lieferung in die Vertragskantone überbunden, wobei die Kantonswerke die Aufgabe der Verteilung im Kantonsgebiet übernahmen.

Von wesentlich anderer Art, aber mit ähnlicher Zielsetzung, war die an der konstituierenden Generalversammlung vom 14. März 1919 gegründete Société anonyme l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS). Gründungsmitglieder waren neben Städten (Genf, Lausanne, Basel) kantonale und private Elektrizitätswerke, aber auch Industrieunternehmungen und Privatpersonen. Damit war eine organisatorische Entwicklungsphase in der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft abgeschlossen, die sich im wesentlichen bis heute erhalten hat.

Abschliessend sei zur Entwicklung der Unternehmungsstrukturen in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts Tabelle VII angeführt.

1.5 Rückschau auf die Änderung der Primärenergiebasis sowie besondere strukturverändernde Mangelzeiten während des Ersten und Zweiten Weltkrieges

Zwar wurden aus Gründen der Reservehaltung, speziell für den Einsatz in wasserarmen Wintern, auch in schweizerischen Elektrizitätswerken früh Dampf- und Verbrennungsmotoren zum Antrieb von Generatoren aufgestellt. Insgesamt blieb aber die Leistung der kalorisch erzeugten Energie gering. So waren gemäss schweizerischer Fabrikstatistik und den Aufzeichnungen des SEV im Jahre 1909 rund 59 MW und 1933 rund 95 MW installiert. Dazu kamen in der Industrie installierte Anlagen von 77 MW im Jahre 1911 bzw. nur noch 47 MW im Jahre 1929. In der Schweiz hat somit die thermische Elektrizitätserzeugung im Gegensatz zum Ausland bis zur Inbetriebsetzung der Kernkraftwerke immer nur eine subsidiäre Bedeutung gehabt. Dominiert haben also immer die Wasserkraftwerke. Dass dies aber in der Frühzeit eine grosse Zahl von Klein- und Kleinstanlagen waren, geht aus dem für den Bundesrat 1914 erstellten Gutachten hervor, dessen hauptsächlichste Resultate in Tabelle VIII zusammengestellt sind.

Die grosse weltweite Wandlung in der Primärenergiestruktur des Verbrauchs kann den in Tabelle IX zusammengestellten Schätzwerten entnommen werden. Noch um die Mitte des letzten Jahrhunderts dominierten Holz, Kohle und Dung. Erst als um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert mit der Verknappung von Holz und Holzkohle die wirtschaftliche Entfaltung Europas zu lähmen drohte, trat die Steinkohle dominierend in die energiewirtschaftliche Entwicklung ein. Ihr Aufschwung stand in engem Zusammenhang mit der Entwicklung der Eisenbahn und der Dampfschiffahrt und seit 1900 mit der Elektrizitätserzeugung in Wärmekraftwerken. Noch im Vorkriegsjahr 1938 dominierte weltweit der Kohleverbrauch mit 63 %; das Erdöl trug damals nur etwa um einen Drittel mehr als die Holzverbrennung zum Primärenergieaufkommen bei. Allerdings hat sich diese Entwicklung seither – wie wir alle erfahren mussten – erheblich geändert.

Im Zusammenhang mit der heutigen energiepolitischen Diskussion ist interessant, wie die Schweiz die Versorgungsengpässe der beiden Weltkriege überstanden hat. Im Gegensatz

Anzahl der Wasserkraftanlagen der Schweiz und in einigen Kantonen am 1. Januar 1914 [20] Tabelle VIII

	Minimale konstante Leistung					
	grösser als 20 PS			kleiner als 20 PS		
	Turbinen	Wasserräder	Mittlere Nettoleistung in PS	Turbinen	Wasserräder	Mittlere Nettoleistung in PS
Schweiz	1 722	95	478 916	1 918	4 721	38 425
Kanton Zürich	197	16	15 187	298	277	4 293
Kanton Bern	268	14	64 997	390	904	7 865
Kanton Aargau	122	17	51 212	119	386	2 068
Kanton Thurgau	32	8	2 407	76	133	1 656

zum zweiten brachte der erste der Schweiz nämlich nur relativ geringe Einschränkungen, wohl aber eine starke Teuerung der Energieimporte. Selbstverständlich wirkte sich damals der Kohlemangel als auch die Preissteigerung stark auf die Gasversorgung aus, wurde doch das damalige Stadtgas ausschliesslich in Kokereien gewonnen. Dies war damals mit ein Grund, weshalb das erstemal die elektrische Energie für das Kochen und die Warmwasserbereitung nachhaltig in den Haushalten Eingang fand. Die Einfuhr von Benzin war damals noch sehr gering, Heizöl spielte praktisch noch überhaupt keine Rolle. Die Benzineinfuhr betrug 1913 erst rund 16000 t, 1914 noch 12400 t, fiel 1915 auf 10700 t und erreichte den Tiefststand 1916 mit 4000 t, 1917 bereits wieder 7300 t und 1918 rund 6700 t. Ein eigentlicher Benzinmangel herrschte also nur in den Jahren 1916–1918. Auch die Preissteigerung erreichte mit maximal 350 % im Jahre 1918 bei weitem nicht das Ausmass wie die Teuerung der Kohle mit über 670 % gegenüber dem Ausgangswert von 1913.

Demgegenüber ist das Kennzeichen der schweizerischen Energiewirtschaft in den Kriegsjahren 1939–1945 der sehr starke Importrückgang von ausländischen Energieträgern, wie dies aus Tabelle X hervorgeht, obschon die kompensatorische Lieferung von elektrischer Energie gegen Kohle etwas Erleichterung schaffte [22; 23].

Die starken Beschränkungen der verfügbaren Energieträger führten zu einer behördlichen Abgabe- und Verbrauchskontingentierung.

Ein Ausweg für Industrie, Gewerbe und Haushalt war damals die Substitution fester und flüssiger Brennstoffe durch elektrische Energie; begünstigt wurde dieser Prozess durch stabile Elektrizitätspreise, obschon die Steuern und Wasserzinsen von 15 Mio. Franken im Jahre 1939 auf 25 Mio. im Jahre 1944 erhöht wurden. So fiel beispielsweise der durchschnittliche Letztabnehmer-Verbraucherpreis für Haushalt- und Gewerbeanwendungen von rund 15 Rp./kWh im Jahre 1932 auf unter 10 Rp./kWh bis Kriegsende. Verzögernd für den Bau notwendiger neuer Wasserkraftwerke wirkten allerdings neben Material- und Arbeitskräftemangel die Schwierigkeit des Erwerbs neuer Konzessionen für die Erstellung von Speicherkraftwerken, die zur Beschaffung fehlender Winterenergie nötig gewesen wären. So mussten denn damals auch wiederholt Verbrauchseinschränkungen dekretiert werden – in allen Wintern seit 1941/42, ausgenommen 1944/45. Die Einschränkungen waren durchschnittlich jeweils rund 100 Tage im Winterhalbjahr wirksam. Trotzdem stieg der Inlandverbrauch bis Kriegsende gegenüber dem letzten Vorkriegsjahr auf den 2,8fachen Wert.

Schweizerischer Import und Export von Energieträgern vor und am Ende des 2. Weltkrieges Tabelle X

Energieträger	1938 t	1945 t	In % von 1938
Brennholz (ohne Papierholz)	69 207	3 987	5,8
Kohle	3 340 551	259 081	7,8
Benzin	200 529	11 360	5,7
Heizöl	169 579	18 671	11,0
Elektrische Energie*)			
– Import GWh	42	55	130,9
– Export GWh	1 563	884	56,6

*) Zahlen des hydrologischen Jahres (1. Oktober bis 30. September)

2. Vom Kraftwerkverbund zur Grossverbundwirtschaft

Unter Verbundbetrieb soll hier die Zusammenschaltung verschiedener Kraftwerke zur Speisung eines Versorgungsnetzes verstanden werden. Ziel ist dabei die betrieblich und kostenmässig optimale Nutzung verschiedener Kraftwerke und Kraftwerktypen zur Schaffung einer möglichst hohen Versorgungssicherheit bei gleichzeitiger Minimierung der Erzeugungs- und Übertragungskosten.

Stand das erste Jahrzehnt unseres Jahrhunderts noch im Zeichen des Baus einzelner Kraftwerke und der damit zusammenhängenden Gründung von Betriebsgesellschaften, die dann ihrerseits ihr Absatzgebiet durch Ausdehnung ihres Verteilnetzes zu erweitern trachteten, so begannen im zweiten und dritten Jahrzehnt sowohl technische wie betriebswirtschaftliche Probleme eine dominierende Rolle zu spielen.

Es sind dies insbesondere:

– der Ausgleich der schwankenden Produktion von Wasserkraftwerken;

– die zeitlich (täglich, jahreszeitlich) stark ändernde Nachfrage, manifestiert durch die Lastkurven;

– die Bereitstellung einer ausreichenden Kraftwerkreserve in der Form der rotierenden Momentanreserve als auch der Langzeitreserve (Winterreserve);

– die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Kraftwerkunternehmungen, insbesondere durch Nutzung der Kostendegression bei den Erzeugungsanlagen.

Beispiel einer wenigstens teilweisen Lösung dieser Probleme ist in der Schweiz der elektrische Zusammenschluss von grösseren Laufkraftwerken mit Hochdruck-Speicheranlagen im Gebirge, die eine angemessene Winter-Energiereserve zurückzuhalten ermöglichten. Ein bekanntes Beispiel dieser Art war der Zusammenschluss der Niederdruckwerke Beznau und Eglisau mit dem Löntschwerk, dessen Speicher – der Klöntalersee – rund 39 GWh Winterenergie zu erzeugen gestattete, durch die NOK.

Auch die NOK konnten jedoch trotz grossen Sommerüberschüssen die im Winter fehlende Energiemenge nur durch Vertragsbezüge aus andern Werken beschaffen (deshalb sprach man damals vom «Mieten» einer bestimmten Kraftwerksleistung), so etwa von der Motor AG aus dem Werk Olten-Gösgen, der Lonza, dem Werk Amsteg u.a. Dieser Art war also der allmähliche Zusammenschluss der Netze im heutigen Mittelspannungsbereich.

Der Parallelbetrieb als erste Stufe eines Zusammenschlusses erfordert Absprachen über Bezugs- und Abgabemengen elektrischer Energie sowie über die zeitliche Programmgestaltung, Energiepreise, Frequenzhaltung, maximale Austauschleistung usw. Die Vorteile des Parallelbetriebes liegen in der verbesserten Kraftwerksbelastung (Benutzungsdauer), der geringeren Reservehaltung von Leistung und Energie sowie in der Möglichkeit, Reparatur- und Ausbauprogramme aufeinander abzustimmen. Notwendig werdende starke Kuppelleitungen zwischen den Kraftwerken können dadurch wirtschaftlich gerechtfertigt werden.

Der Verbundbetrieb als zweite Entwicklungsstufe setzt bereits weitverzweigte zusammenschaltbare Hoch- und Höchstspannungsnetze voraus. Gefördert wurde dieser auch durch den Bau von Gemeinschaftskraftwerken, die von mehreren Elektrizitätswerken und andern Gesellschaften als gemeinsame Tochtergesellschaften gebaut wurden. Sie eigneten sich beson-

ders gut auch für gegenseitige Energieabtretungen oder vertraglich fixierten Energieaustausch. Dies gilt für die Frühzeit besonders auch für die Grenzwasserkraftwerke.

Eines der ersten schweizerischen Gemeinschaftskraftwerke wurde durch die Etzelwerk AG (55% SBB und 45% NOK) erstellt. Dabei ergab sich damals eine Steuerstreitigkeit, weil die Steuerbehörden davon ausgingen, dass die Etzelwerk AG eine verdeckte Gewinnausschüttung an ihre «Partner» vornehme, weil sie die Energie mit Einschluss einer Dividende von 4% zu den effektiven Jahreskosten abgebe, während sie doch auf dem Energiemarkt einen höheren Energiepreis erzielen könnte. Dies hat damals die Etzelwerk AG dazu veranlasst, beim Zürcher Ordinarius M. Saitzew ein Gutachten über das Wesen und die Motive zur Gründung von sogenannten Partnerwerken in Auftrag zu geben [24]. Seither ist diese durch die vertragliche Bindung der Aktionäre spezielle Art gemeinsamer Tochterunternehmungen in der Form einer Aktiengesellschaft weit verbreitet und branchentypisch geworden.

Der Verbundbetrieb ist gekennzeichnet durch einen weitgehenden Ausgleich der verschiedenen technischen und energiewirtschaftlichen Eigenheiten der einspeisenden Kraftwerke, also auch der Primärenergiebasis, aber auch der Einzelnachfragen. Er setzt aber ausreichende technische Führungshilfen in der Form der Frequenz-Leistungs-Regulierung sowie des Abrechnungsapparates (Mess- und Verfahrenstechnik) zum definierten Energieaustausch unter den am Verbundbetrieb beteiligten Partnern voraus. Diese können dabei rechtlich und wirtschaftlich selbständig bleiben. Dieser Parallelbetrieb grosser Netzverbände ermöglicht eine vollständige Verwertung des Energieangebots der in ihrer Produktion stark schwankenden Wasserkraftwerke, aber auch die kostenminimale Zuschaltung von Kraftwerksleistung aus thermischen Mittel- und Spitzenlastkraftwerken. Die rotierende, aber auch die kurzfristig verfügbare Einsatzreserve an Kraftwerksleistung kann in diesem Verbundbetrieb minimiert werden [25].

Selbstverständlich hängt die Benutzungsdauer der das öffentliche Netz speisenden Kraftwerke von der Entwicklung der Jahreshöchstlast, aber auch der jährlichen Nettozugangsleistung aus neu erstellten Kraftwerken ab.

Ein weiterer Schritt zur internationalen Grossraum-Verbundwirtschaft wurde nach dem Zweiten Weltkrieg beschritten. So hatte die Europäische Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit (OECE) 1950 die Schaffung einer Vereinigung empfohlen, der alle am internationalen Energieaustausch interessierten Elektrizitätsgesellschaften angehören sollten, worauf am 23. Mai 1951 die Union zur Koordinierung von Erzeugung und Transport elektrischer Energie (UCPTE) gegründet wurde [26]. Für die technische Zusammenschaltung des westeuropäischen Verbundnetzes kam dabei der Schweiz eine Schlüsselrolle zu: einmal aufgrund der zentralen geographischen Lage, dann aber auch wegen der in den Alpen gebauten leistungsstarken Speicherkraftwerken mit ihrer grossen Sommerproduktion, die in der Schweiz nicht voll verwertet werden konnte. Schliesslich waren zur Verbindung der alpin gelegenen Wasserkraftwerke mit den Verbrauchszentren im Mittelland schon früh starke 220- und 380-kV-Verbindungsleitungen erstellt worden [27]. Als Betriebsspannung wurden bis in die siebziger Jahre hinein 130 kV in der Westschweiz und 150 kV in den übrigen Teilen der Schweiz für die Verbindungsleitungen verwendet. Daneben entstanden in zunehmendem Umfang 220- und schliesslich 380-kV-Leitungen.

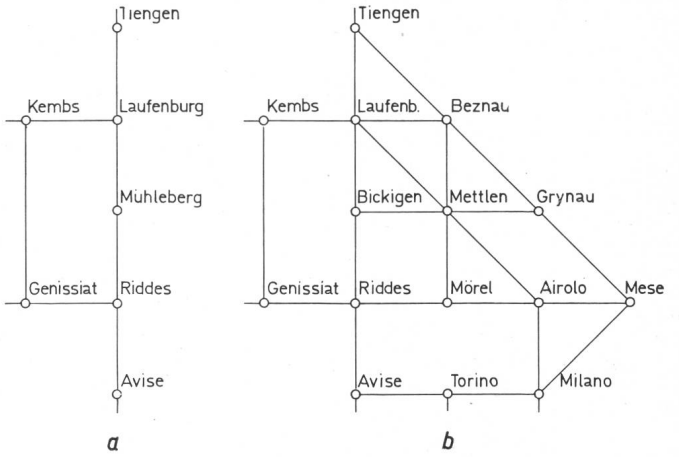

Fig. 4 In den internationalen Netzverbund eingegliederte schweizerische 220-kV-Leitungen
a = 1960 b = 1962

Erstmals 1958 wurde das vorher geteilte schweizerische Netz, dessen Ostteil mit Deutschland und dessen Westteil mit Frankreich im Parallelbetrieb stand, in Laufenburg zusammengeschaltet [28]. Die guten betrieblichen Resultate dieser Schaltung veranlasste 1960 die beteiligten schweizerischen Elektrizitätswerke und die EdF, durch Zuschaltung der seit 1957 in Betrieb stehenden 220-kV-Leitung zwischen Kembs–Genissiat–Riddes einen weiteren Schritt zu wagen, so dass der in Fig. 4a skizzierte Ring entstand. Bereits 1962 wurden weitere Ringe gemäss Fig. 4b zugeschaltet, so dass zwischen Italien, Frankreich und Deutschland ein eng vermaschtes 220-kV-Netz in Betrieb stand. Voraussetzung dieser Betriebsart war die Inbetriebnahme zuverlässiger Regelsysteme für die Regulierung der angeschlossenen Maschinen, die über Fernmess- und Fernwirkanlagen von «Lastleitstellen» aus gesteuert wurden. Seither hat sich das internationale Verbundnetz weiterentwickelt, so dass heute der grösste Teil Europas einbezogen ist und ein erheblicher Energieaustausch über die verschiedenen Grenzen zum Nutzen aller Beteiligten erfolgt [29].

3. Die Bemühungen der Elektrizitätswerke zur Änderung des Lastkurvenverlaufs

3.1 Problemformulierung

Schon die ersten Betreiber von Blockkraftwerken oder kleinen Wasserkraftwerken machten die Erfahrung, dass ihre Kunden von ihnen zwar eine ununterbrochene Lieferbereitschaft erwarteten, dass sie sich aber das Recht vorbehielten, ihre Verbrauchsapparate und Beleuchtungsapparate dann zuzuschalten, wenn sie dies selbst für notwendig hielten. Diese wirtschaftlich ruinöse Bedingung wurde aber dadurch gelindert, dass bei einer grösseren Zahl von Verbrauchern ein gewisser statistischer Ausgleich erfolgte. Allerdings war eine gewisse Häufigkeitsverteilung der zugeschalteten Lampen durch den jahreszeitlich und täglich sich ändernden Helligkeitsablauf, aber auch durch gewisse typische Verhaltensweisen des menschlichen Lebens gegeben. Die Häufigkeitsfunktion der zugeschalteten Leistungseinheiten ist aus physikalischen Gründen gleichzeitig die Hüllkurve des momentanen Energieflusses. Dank der Trägheit der Erzeugermaschinen ist für die Netzlast nicht die effektive Momentanleistung massgebend,

sondern der Mittelwert einer passend ausgewählten Zeitperiode.

Gerade weil nur der Mittelwert des sogenannten Lastrauschens für die Primärregelung der Generatoren massgebend ist, sind für das Abfahren einer Lastkurve nur Laständerungen im Bereich von einer Minute und weniger von Bedeutung [30].

3.2 Die Entwicklung des Lastkurvenverlaufs

Betrachten wir die Lastkurve der städtischen Elektrizitätswerke von München vom 23. September 1903 (Fig. 5). Sie zeigt, welche Bedeutung damals die abendliche Beleuchtung für die Lastkurve hatte. Die Spitze war rund 8mal höher als die frühmorgendliche Niedrigstlast. Anhand dieser Lastkurve aus der Frühzeit der Elektrizitätswirtschaft kann ein Grundproblem unseres Wirtschaftszweiges besonders gut illustriert werden:

Wirtschaftlichkeitsüberlegungen müssten der Geschäftsleitung eines Elektrizitätswerkes nahelegen, die Spitze nicht höher werden zu lassen, als dies die bestehenden Erzeugungsanlagen gestatten. Dies führt aber zu einer zeitlichen Nachfragebeschränkung gerade dann, wenn das Kundeninteresse am grössten ist. Zu dieser Zeit besteht also ein Nachfragermarkt mit einer geringen Nachfrageelastizität. Will das Werk zu anderen Tagesstunden zur Verbesserung seiner Wirtschaftlichkeit Energie verkaufen, so stösst es auf eine viel geringere Nachfrage. Es herrscht hier ein Angebotsmarkt, weshalb das Werk die ganze Palette absatzfördernder Massnahmen einsetzen muss, um hier Erträge oder wenigstens Deckungsbeiträge hereinholen zu können (statische Betrachtungsweise).

Seit dem Ersten Weltkrieg und seinen Verknappungserscheinungen gewann der Elektromotor als dezentral in Fabriken und Gewerbebetrieben einsetzbarer Einzelantrieb zunehmend an Bedeutung. Auch Elektrowärmeanwendungen in Industrie und Haushalt kamen bereits vor. Dementsprechend wandelte sich vor allem in den Städten der Charakter der typischen Lastkurven. Fig. 6 zeigt die Lastkurve des städtischen Elektrizitätswerkes Stuttgart für einen Dezembertag der Jahre 1913 und 1920. Die Kurven sind einem Buch entnommen, in dem sich der Verfasser bereits damals eingehend mit dem Einfluss des achtstündigen Arbeitstages auf die Elektrizitätserzeugung auseinandersetzte [31]. An den Kurven ist bemerkenswert, dass neben der noch immer dominierenden Beleuchtungs-Lastspitze bereits eine steil ansteigende Werktagsmorgenspitze auftritt und dass – mangels Elektroküche – ein ausgeprägtes Mittagstief festzustellen ist.

In welchem Umfang die Tageslastkurven sich im Verlaufe der Zeit aufgrund der zusätzlichen Einrichtung der Küchen mit elektrischen Küchengeräten und elektrischen Heisswasserspeichern änderte, zeigt Fig. 7. Während der Belastungsverlauf im Oktober 1920 sehr ausgeglichen verlief, mit einer kleinen, wenig ausgeprägten abendlichen Belastungsspitze, der Nachtabsenkung frühmorgens und der Mittags-Niedrigstbelastung, hat sich 25 Jahre später eine ausgesprochene Mittags-Tagesspitze entwickelt, gefolgt von einer Beleuchtungsspitze sowie

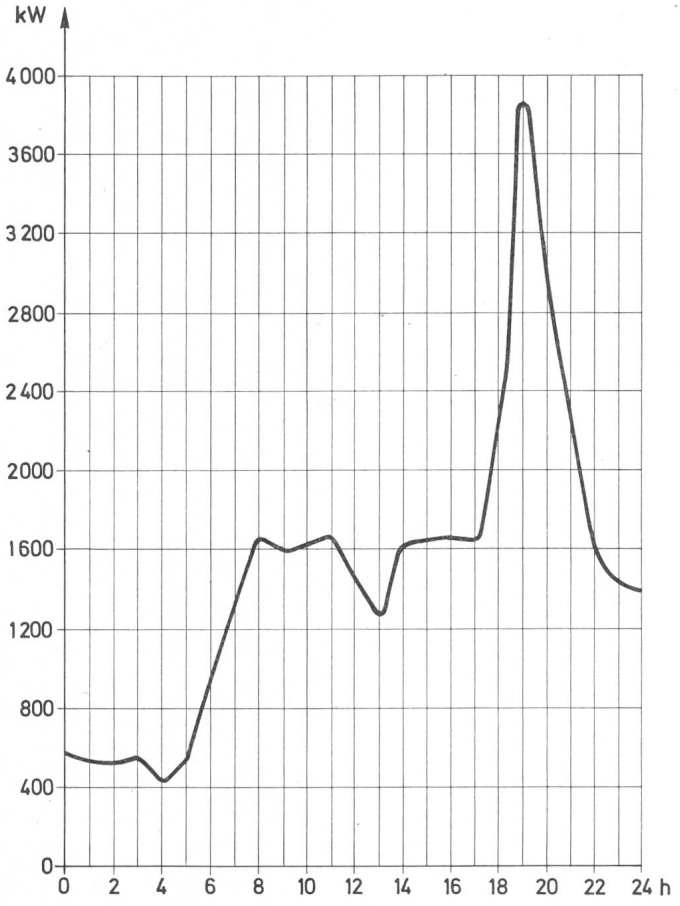

Fig. 5 Lastkurve der städtischen Elektrizitätswerke München (Mittwoch, 23. September 1903)

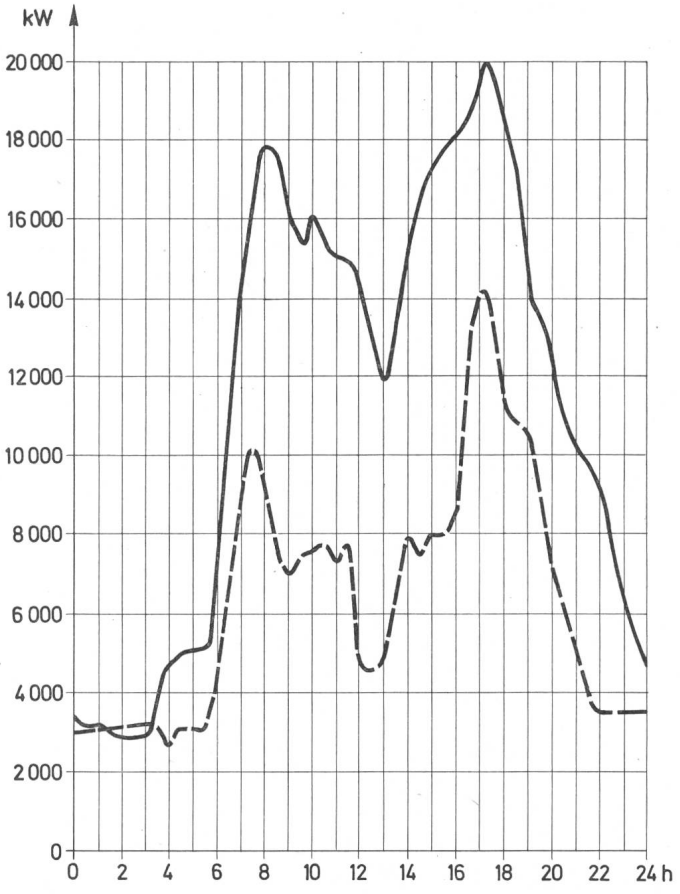

Fig. 6 Lastkurve in einem städtischen Elektrizitätswerk vor und nach dem Ersten Weltkrieg (EW Stuttgart)

▬▬ Freitag, 3. Dezember 1920
▬ ▬ ▬ Freitag, 5. Dezember 1913

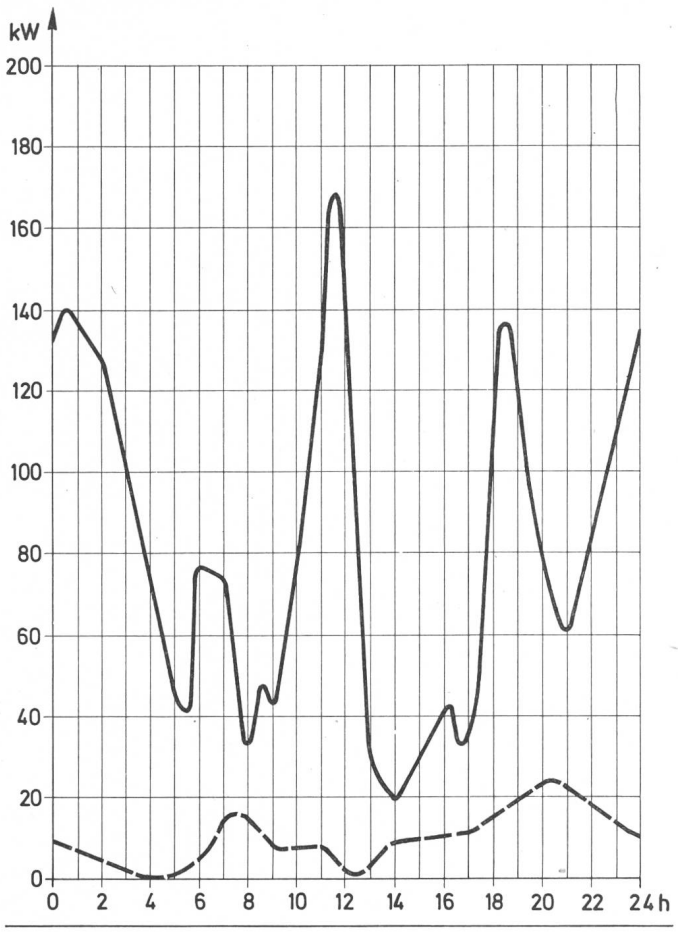

Fig. 7 Lastkurve der Gemeinde Winznau

230 Haushaltsabnehmer, davon
89 % mit elektrischen Kochherden
88 % mit elektrischen Heisswasserspeichern
Donnerstag, 18. Oktober 1945
Mittwoch, 13. Oktober 1920

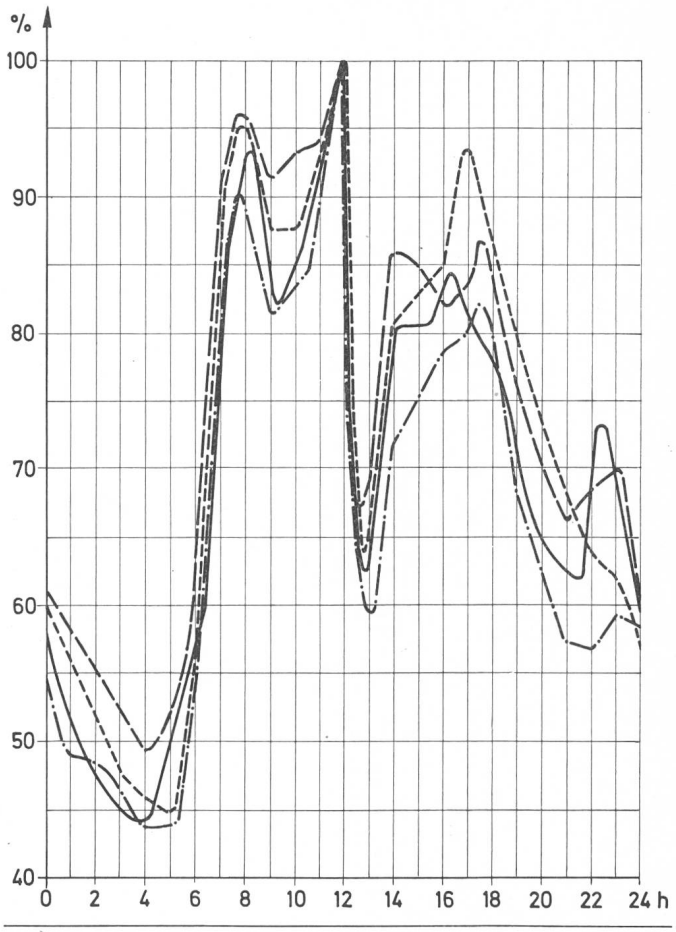

Fig. 8 Vergleich der relativen Änderungen des Lastkurvenverlaufs des EKT in Zehnjahresabschnitten
(Maximum jeweils 100 %)

Mittwoch, 21. Januar 1976, Spitze 144,1 MW
Mittwoch, 19. Januar 1966, Spitze 103,7 MW
Mittwoch, 18. Januar 1956, Spitze 49,0 MW
Mittwoch, 18. Dezember 1946, Spitze 31,2 MW

einer ausgeprägten Nachtbelastung aufgrund der Warmwasserspeicheraufheizung. Grundlage dieser Abbildung ist die Gemeinde Winznau mit 230 Haushaltsabnehmern, wobei 89 % mit elektrischen Kochherden und 88 % mit elektrischen Heisswasserspeichern ausgestattet waren [32].

Die Fig. 8 zeigt demgegenüber den Verlauf der Belastungskurven eines typischen Überlandwerkes, des Elektrizitätswerks des Kantons Thurgau. Der relative Vergleich der Winter-Belastungskurve in Zehnjahresabschnitten seit 1946 zeigt den heute noch typischen Lastverlauf, der von der Mittagsspitze beherrscht wird und sich durch einen sehr starken Anstieg frühmorgens und einen sehr starken Lastabfall nach 12 Uhr auszeichnet. Beleuchtungsspitze und Warmwasserspeicherspitze sind unterschiedlich stark ausgeprägt. Charakteristisch ist jedoch der sehr starke Lastabfall um 4 Uhr morgens auf weniger als 50 % der Tageslastspitze. Der besseren Vergleichbarkeit wegen ist der Nullpunkt bei dieser Abbildung unterdrückt.

Fig. 9 zeigt die Kurven im absoluten Vergleich; die Last hat sich in den vergangenen 50 Jahren jeweils alle zehn Jahre um den Faktor 1,8 erhöht. Man könnte nun annehmen, dass sich der Lastverlauf statistisch um so mehr ausgleicht, je grösser der einbezogene Netzverband ist. Dass die Grösse des Versorgungsgebietes tatsächlich neben andern Einflussfaktoren eine unverkennbare Rolle spielt, zeigt in Fig. 10 ein Vergleich der Jahresbenutzungsdauer folgender Absatzgebiete:

- Elektrizitätswerk des Kantons Thurgau, EKT
- Nordostschweizerische Kraftwerke AG, NOK, Abgabe an alle Kantonswerke
- Landesverbrauch Schweiz
- Landesverbrauch Bundesrepublik Deutschland

Allgemein kann ein durchschnittlich gesehen langsames Anwachsen der Jahresbenutzungsdauer der Höchstlast festgestellt werden, was aber weniger – wie Vergleiche der Zuwachsraten zeigen – auf ein geringeres Anwachsen der Lastspitzen zurückgeführt werden kann als auf einen vermehrten Energieabsatz in Schwachlastzeiten. Die Bemühungen der Elektrizitätswerke um Verbesserung ihrer Wirtschaftlichkeit haben sich also gelohnt. Dass diese Anstrengungen nötig waren und es noch heute sind, geht nicht nur aus den betrachteten Lastkurven, sondern auch aus einer kurzen Betrachtung der Art der Verbrauchsapparate in Industrie und Haushalt hervor. So zeigt Tabelle XI die in der schweizerischen Industrie im Zeitraum von 1805 bis 1944 verwendete Antriebsleistung in

Die in der Industrie verwendete «Betriebskraft» 1895–1944; Anteil der von Elektrizitätswerken bezogenen Energie in % der verwendeten Gesamtenergie

Tabelle XI

Industriegruppen	«Betriebskraft» in PS Absolute Zahlen					Anteil der Elektrizität in % der «Betriebskraft»				
	1895	1911	1929	1937	1944	1895	1911	1929	1937	1944
Baumwollindustrie	42 361	56 130	85 989	85 434	114 216	1	22	45	86	81
Seiden- und Kunstseidenindustrie	11 328	18 614	36 275	39 931	46 296	1	33	72	95	95
Wollindustrie	6 014	8 410	15 313	21 403	33 664	17	29	62	92	86
Leinenindustrie	795	1 370	3 037	5 783	9 283	0	52	90	92	92
Stickereiindustrie	659	9 334	3 273	1 098	1 006	8	51	84	96	96
Übrige Textilindustrie	559	1 804	6 340	8 631	12 358	4	49	79	93	96
Kleidung, Ausrüstung	1 639	5 662	12 426	18 820	26 020	3	49	86	99	98
Nahrungs- und Genussmittel	17 637	43 019	60 310	92 353	119 530	8	39	78	94	93
Chemische Industrie	6 614	94 524	39 974	82 962	141 865	2	58	84	96	98
Kraft-, Gas- und Wasserlieferung	1 739	11 291	56 470	48 130	68 312	–	–	–	–	–
Papier, Leder, Kautschuk	10 777	21 221	49 522	77 316	118 685	4	25	57	89	87
Graphische Industrie	1 226	4 470	14 607	21 684	24 691	5	70	98	97	99
Holzbearbeitung	9 998	26 996	49 898	73 093	100 617	7	36	77	92	93
Herstellung und Bearbeitung von Metall	10 389	22 231	59 662	109 007	162 610	7	45	76	98	97
Maschinen, Apparate, Instrumente	10 983	42 367	121 271	187 494	333 961	12	54	86	99	98
Uhrenindustrie, Bijouterie	2 475	6 766	13 793	14 221	24 750	10	65	92	98	98
Industrie Erden und Steine	10 153	39 935	60 450	84 440	110 373	5	51	73	96	92
Im ganzen	145 346	414 144	688 610	971 800	1 448 237	5	43	77	94	94

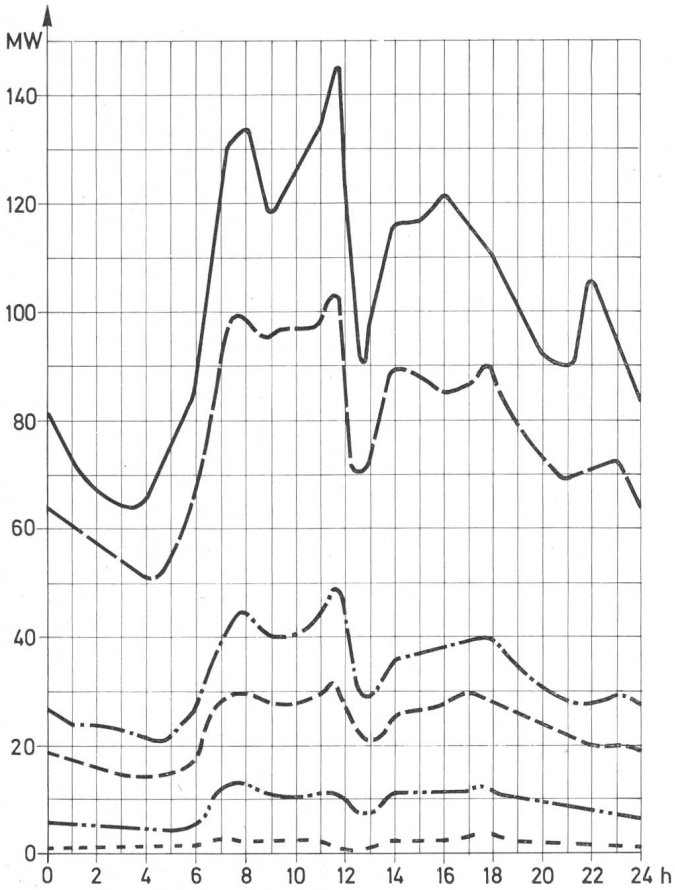

Fig. 9 Entwicklung der Höchstlastkurven des EKT seit 1912 im absoluten Vergleich

- Mittwoch, 21. Januar 1976
- Mittwoch, 19. Januar 1966
- Mittwoch, 18. Januar 1956
- Mittwoch, 18. Dezember 1946
- 1936
- 1912

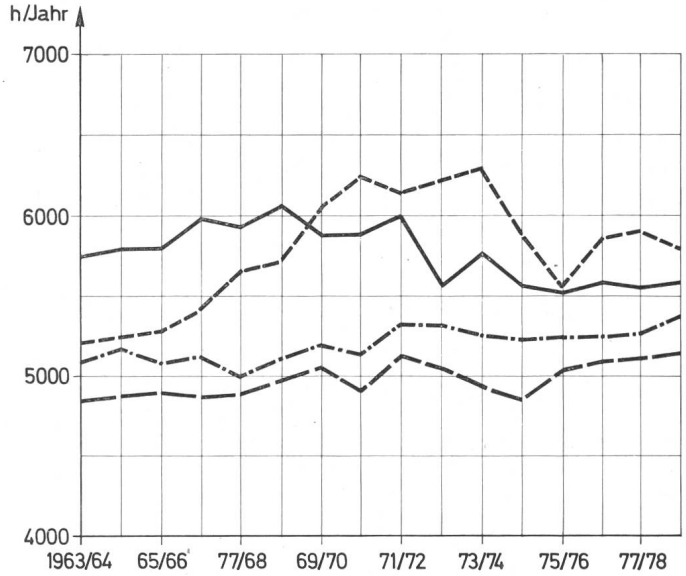

Fig. 10 Jahresbenutzungsdauer verschieden grosser Absatzbereiche

- Bundesrepublik Deutschland
- Schweiz
- Nordostschweizerische Kraftwerke AG
- Elektrizitätswerk des Kantons Thurgau

PS, als «Betriebskraft» gemäss früheren Vorstellungen bezeichnet. Im rechten Teil der Tabelle ist in den Vergleichsjahren der Leistungsanteil elektrischer Motoren festgehalten [33].

Es zeigt sich dabei, dass auch der Elektromotor Jahrzehnte brauchte, bis er – wie heute – das Feld weitgehend beherrschte. Auch die Elektrifizierung der Haushalte machte anfänglich nur langsame Fortschritte, obwohl recht früh ein breites Angebot an Elektroapparaten vorhanden war und die Elektrizitätswerke den Anschluss dieser Geräte (insbesondere elektrische Koch- und Warmwassergeräte) nach Möglichkeit förderten.

Welche elektrischen Geräte wurden nun beispielsweise um 1920 für die Verwendung im Haushalt angeboten?

Die Durchsicht damaliger Angebote zeigt hauptsächlich folgende Apparatetypen [34]:

- Bügeleisen
- Elektrokochherde
- Elektrospeicher (sog. «Boiler»)
- Transportable und festinstallierte Elektroöfen als Direktheizgeräte, Speichergeräte oder Teilspeichergeräte (Akkumulieröfen)
- Elektrische Dörrapparate
- Kochapparate wie Kaffee- und Teekannen, Tauchsieder
- Heizgeräte wie Fußschemel, Wärmekissen und Wärmetücher
- Staubsauger

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Mangel an Kohle während des Ersten Weltkrieges und die Perfektionierung der Elektroapparate bis zu einem guten Gebrauchswert eine grosse Apparatevielfalt für verschiedenste Anwendungsgebiete hervorbrachte. Allerdings war der Absatz von Wärmegeräten anfänglich noch gering und vergrösserte sich nur langsam.

3.3 Die Bemühungen zur «richtigen» Preisbildung für elektrische Energie

Die Problematik der «richtigen» Preisbildung für die Abgabe elektrischer Energie ist seit der Frühzeit dominiert von Fragestellungen, die heute noch nichts von ihrer universellen Geltung, aber auch Problematik verloren haben. Es sind dies unter anderem:

a) Wie kommt ein Elektrizitätswerk zu den für seinen Betrieb unerlässlichen Einnahmen? Und dies unter einer Reihe von wichtigen Nebenbedingungen, so etwa

– dass die Einnahmenströme eine genügende Konstanz aufweisen,

– dass durch die Art der Preisstellung kein besonderes Absatzrisiko und damit Einnahmenausfallrisiko entsteht,

– dass bei zeitlich variierenden Preisen keine unerwünschten Nebenfolgen eintreten (Problem der Preisdifferenzierung und Preisdiskriminierung).

b) Wie muss ein Preissystem gestaltet werden, das in ausreichendem Umfang an der zeitvariablen Kostenfunktion ausgerichtet ist? Es ist dies die schwerwiegende Frage, ob es überhaupt eindeutig definierte Kostenfunktionen gibt, von welchen Hauptparametern sie abhängig sind und wieweit die Kostenzurechnung blossen Willkürcharakter hat – ein sehr schwerwiegender Fragenkomplex, der bis heute kaum wissenschaftlich ausreichend geklärt ist.

c) In welchem Umfang darf oder muss ein Elektrizitätswerk über eine für eine unbestimmte Vielzahl von Abnehmern gültige gleichartige Preisstellung, also die Anwendung von sogenannten Tarifen, horizontalen und vertikalen Finanzausgleich in seinem Abgabegebiet treiben?

d) Wieweit darf aus volkswirtschaftlichen oder muss aus betriebswirtschaftlichen Gründen das Tarifsystem Lenkungscharakter haben? Es ist dies die Frage, ob die Tarife absatzfördernd, absatzneutral oder absatzhemmend wirken sollen und ob Preisdifferenzierungen tatsächlich einen ausreichenden Lenkungscharakter haben.

e) Wieweit können als zweckmässig erachtete Preissysteme auch praktisch verwendet werden, ohne dass der Aufwand für die Zählapparate, deren Wartung und regelmässige Ablesung im Verhältnis zum Energiebezug zu gross ist? Hier geht es also um Fragen der Apparatekonstruktion und der sogenannten «Verkaufskosten».

f) Wieweit ist eine für die Abnehmer wirksame Preisdifferenzierung oder gar Preisdiskriminierung verschiedener Abnehmergruppen aufgrund von spezifischen Merkmalen geboten, aber unter dem Aspekt der Gleichbehandlung auch zulässig?

Diese und weitere Fragestellungen führten im Laufe der Zeit zu einer Vielzahl von praktizierten Lösungen. Einige der meistpraktizierten sollen anhand der historischen Entwicklung kurz aufgezeigt werden. Wie aus der Lastkurve der städtischen Elektrizitätswerke München (Fig. 5) vom Jahre 1903 ersichtlich ist, waren die Elektrizitätswerke um die Jahrhundertwende fast ausschliesslich «Lichtlieferanten», und ihre Grösse wurde nach der Zahl der angeschlossenen Glühlampen beurteilt. Diese Betrachtungsweise hielt sich noch sehr lange, und manches Elektrizitätswerk führte in seinen Jahresberichten bis in die vierziger Jahre eine fortlaufende «Lampenstatistik». Tatsächlich waren selbst in grossen städtischen Elektrizitätswerken um die Jahrhundertwende nebst Tausenden von Glühlampen erst wenige Motoren oder Wärmeapparate angeschlossen.

Die früheste Tarifform war denn auch der lampenspezifische Pauschaltarif, indem für Lampen einer bestimmten «Kerzenstärke» (vgl. die damalige Einheit Hefner-Kerze) und unter Zugrundelegung einer mittleren jährlichen Brenndauer von beispielsweise 500 h ein Pauschalbetrag von x Fr./Jahr festgesetzt wurde. Die Elektrizitätswerke mussten jedoch die Erfahrung machen, dass hohe Pauschaltarife anschlusshemmend wirkten, dass sie aber bei niedrigen Ansätzen nicht auf ihre Rechnung kamen, weil die Kunden die Benutzungsdauer erhöhten.

Ein zweckmässiges Tarifsystem, das von Verbrauchsgrössen ausgeht, ist deshalb in einem gewissen Umfang auch vom Vorhandensein betriebssicherer und preiswerter Zählapparate abhängig. Bereits vor 1900 kamen die ersten elektrolytischen Zähler auf den Markt, bei denen beim Stromdurchgang mehr oder weniger Quecksilber in einem Messrohr ausgeschieden wurde (die Höhe der Quecksilbersäule erlaubte die Messung des Verbrauchs in Ah). Um die gleiche Zeit wurden aber auch die ersten mechanischen Gleichstromzähler entwickelt, bei denen das Meßsystem in kurzen Zeitintervallen durch ein Uhrenpendel oder einen Motor angetrieben und dessen momentane Messgrössen integriert und auf ein Zählwerk übertragen wurde (Fig. 11). Die zunehmende Verbreitung der Wechsel- und Drehstromnetze gab jedoch der Entwicklung der Induktionszähler mächtig Auftrieb, die auf der von Ferraris aufgestellten Drehfeld-Theorie beruhen und heute noch welt-

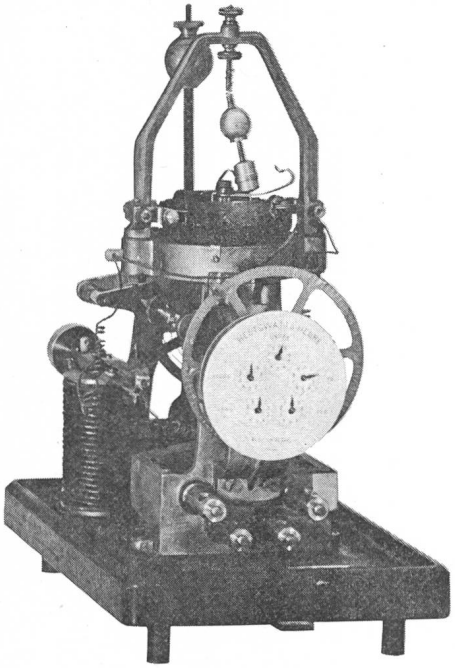

Fig. 11 Gleichstrom-Wh-Zähler aus dem Jahre 1886

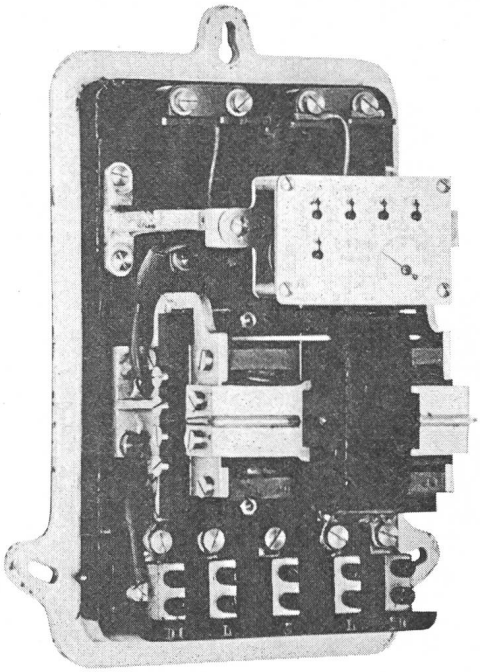

Fig. 12 Drehstrom-3-Leiter-Einscheibenzähler aus dem Jahre 1904 von H. Landis

weit den Zählermarkt beherrschen (Fig. 12). Mit diesen Apparaten wurde die Einführung des sogenannten «Zählertarifs» möglich, d.h., es konnte direkt die Menge der verkauften elektrischen Energie in kWh verrechnet werden. Da die Zähler aber relativ teuer waren und die nötige grosse Zahl bedeutende Ausgabenbeträge verursachten, gingen die Elektrizitätswerke früh dazu über, den Abnehmern zusätzlich eine Apparatemiete in Rechnung zu stellen. Damit war man recht früh bei einem Tarif der Form

$T = a + bx$

oder $T = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \ldots$

a = Apparatemiete
b = kWh-Ansatz
x = Anzahl gemessene kWh

Damit hatte man im Prinzip bereits den heutigen Grundpreistarif vorweggenommen; allerdings begannen damit auch bereits die nie mehr endenden Diskussionen um den «korrekten» oder «gerechten» Tarif. Gleichzeitig wurde bereits um die Jahrhundertwende die Preisdifferenzierung nach Verbraucherkategorien (Klein- und Grossbezüger) sowie Verbrauchsarten (etwa Beleuchtung, Motoren, Wärme usw.) eingeführt. Treibende Kraft dazu war das betriebswirtschaftlich verständliche Bestreben der Elektrizitätswerke, sowohl den Absatz zu fördern als auch die Benutzungsdauer der Höchstlast zu erhöhen. Dass die Preise dabei – vor allem wenn man die seitherige Inflation berücksichtigt – damals sehr hoch waren und in Anbetracht des damals geringen Umsatzes auch sein mussten, illustriert Fig. 13, die den Tarif für elektrische Beleuchtung und Motoren der Bernischen Kraftwerke von 1901 bis 1947 zeigt.

Die für die damalige Zeit hohen Preise für elektrische Energie – aber auch die Kosten für weitverzweigte Verteilnetze – bremste die Inanspruchnahme der Elektrizität in Kleinhaushalten und in der Landwirtschaft. Umgekehrt hatten die kommerziell geführten Elektrizitätswerke früh die Erkenntnis gewonnen, dass ein grösserer Absatz in den lastschwächeren Zeitperioden nur erreicht werden konnte, wenn zu Zeiten geringer Nachfrage die Preise erheblich gesenkt würden. Ohne dass die Theorien der Deckungsbeitragsrechnung damals ausgearbeitet waren, erkannten die damaligen Elektrizitätswerksdirektoren, dass sie durch zu tieferen Preisen zusätzlich verkaufte Energie zu Zeiten geringer Nachfrage einen positiven Beitrag zur Jahreserfolgsrechnung erwirtschaften konnten, solange wenigstens die variablen Kosten der Erzeugung und Verteilung gedeckt waren. Diese Überlegung führte zur Einführung der Zeitzonentarife (Doppel- und Mehrfachtarife), also zur Einführung von zwei, drei oder vier Tarifzeiten. Hierbei ist der kWh-Ansatz für die verschiedenen Zeitzonen unterschiedlich hoch: bei den heute weitverbreiteten «Doppeltarifen» in Haushalten beispielsweise 15 Rp./kWh für die Zeitzone von 7 bis 22 Uhr (Hochtarifzeit) und 7 Rp./kWh für die restliche Tageszeit (Niedertarifzeit). Da bei diesen Tarifen aber die Nettoerfolgsmarge (Ertrag pro kWh abzüglich aller Kosten)

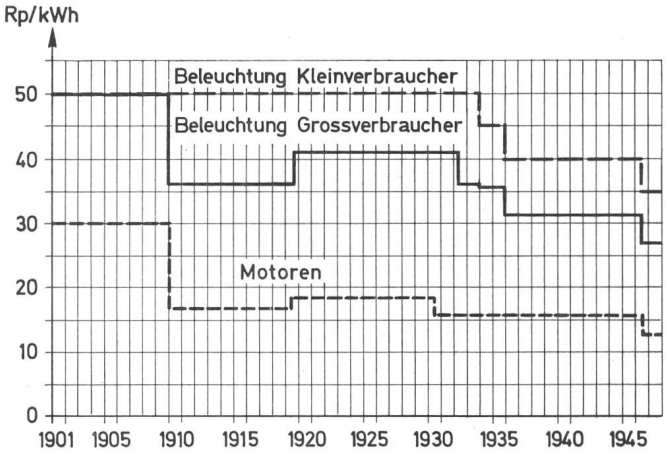

Fig. 13 Tarif für elektrische Beleuchtung und Motoren der BKW 1901–1947

Typologie über im Zeitablauf verwendete Tarifprinzipien Tabelle XII

Tarifprinzip	Tarifparameter
1. Pauschaltarife	Lampen Bestimmte Apparate Anschlusswert in kW
2. Zählertarife	
– Reine Einfach- oder Mehrfachzeittarife – Mit Rabattstaffeln – Staffeltarife – Blocktarife – Mit Durchschnittspreis-Untergrenze	kWh-Verbrauch Zeitzonen des Tages Wochentage Jahreszeiten Differenzierung der Einheitspreise
3. Grundpreistarife [1])	
– Reine Einfach- oder Mehrfachzeitzonentarife – Kombiniert mit Staffeltarif – Kombiniert mit Blocktarif – Mit Durchschnittspreis-Obergrenze – Mit pauschaler oder verbrauchsabhängiger Minimalgebühr	kWh-Verbrauch Kombiniert mit Fixansatz oder variablem Grundansatz nach Fremdparametern (Zimmerzahl, ha-Fläche, usw.)
4. Mehrgliedtarife	
– Reine Verbrauchsmenge-Leistungstarife [2]) – Indirekte Verbrauchsmenge-Leistungstarife [3]) – Kombiniert mit Grundgebühr [4]) – Kombiniert mit Benutzungsdauerrabatt oder Zuschlag – Mit Leistungsfaktorabhängigkeit – Kombiniert mit Zeitzonen-Vielfachtarif	kWh-Verbrauch kW-Höchstlast Leistungszurechnung in Verbrauchsblöcke

[1]) Nach Georg Warrelmann, 1912
[2]) Nach John Hopkinson, 1892
[3]) Nach Arthur Wright, ca. 1920
[4]) Nach Henry Doherty, ca. 1905

jedoch meist sehr gering oder sogar negativ ist und zusätzliche Investitionen – vor allem in den Verteilnetzen – kaum oder überhaupt nicht gedeckt werden können, gelten die erwähnten Überlegungen nur für stationäre Netze.

Bereits sehr früh wurden Mehrgliedtarife angewandt. So propagierte bereits im Jahre 1892 Dr. John Hopkinson seinen Verbrauchsmengen-Leistungstarif, bei dem sowohl ein kWh-Preisansatz als auch ein Preisansatz je in Anspruch genommene Leistungseinheit zur Verrechnung gelangte. Damit war man zu der Form

$$T = a + bx + cy$$

gelangt, wobei c = Einheitspreis pro kW, y = Anzahl gemessene kWh. Die Verrechnung eines Leistungspreises hat jedoch immer wieder grosse Diskussionen ausgelöst, weil sich unter anderem folgende Fragen stellen:

a) Soll nur die in der Ableseperiode (Monat, Quartal, Halbjahr, Jahr) effektiv auftretende Höchstlast verrechnet werden, obwohl diese einmalige Höchstlast in keiner Weise für den gesamten Lastverlauf repräsentativ zu sein braucht?

b) Kann – damit den Einwänden Rechnung getragen wird – eventuell nur ein (willkürlich) festgelegter Prozentsatz der gemessenen Leistung verrechnet werden?

c) Es ist kaum sinnvoll, die unter Umständen sehr kurzfristige Lastspitze als massgebend zu betrachten. Aber wie lange soll das zur Mittelwertbildung benützte Integrationsintervall sein?

d) Zur Erzielung eines gewissen statistischen Ausgleichs wird bei der Verrechnung grösserer Energiemengen meist ein bestimmter Verrechnungsmodus vereinbart. So werden etwa die registrierten vier höchsten Monatsmaxima des Jahres gemittelt und als Abrechnungswert verwendet.

Einen Überblick über die im Laufe der Jahre entwickelten und angewandten Tarife vermittelt Tabelle XII.

4. Gegenwartsbezug und vorläufige Schlussfolgerungen

Es fragt sich nun am Schluss, welchen Gegenwartsbezug die früher dominanten Problemstellungen für unsere Zukunftsbeurteilung haben. Es sind dabei zwei extreme Haltungen möglich, die mit zwei Zitaten charakterisiert seien:

1. So sagt Ovid in seinen Metamorphosen «Tempus edax rerum», die Zeit zernagt alle Dinge. Nach dieser Auffassung steht nur das jeweilige Zeitgeschehen im Mittelpunkt aller Betrachtungen. Das Vergangene ist blosse Historie.

2. Die gegensätzliche Auffassung kommt in Erich Remarques Romantitel «Im Westen nichts Neues» zum Ausdruck.

Wie meist, dürfte die Realität zwischen den Extremen liegen, und das bedeutet, dass zwar eine Reihe von zeitgebundenen Problemstellungen für uns ihre Bedeutung verloren haben, andere aber nach wie vor von höchster Aktualität sind. Dazu gehören unter anderem die folgenden:

– Noch immer geht die Sorge der Elektrizitätswerke dahin, der zu erwartenden Nachfrage vorauseilend die nötige Produktionskapazität (nachfragekonforme Energiemenge, Leistung, Sicherheitsreserve) bereitzustellen.

– Noch immer geht es aus volkswirtschaftlicher Sicht darum, die für den einheimischen Produktionsprozess erforderlichen, aber auch für den Konsum gewünschten Mengen elektrischer Energie zu möglichst tiefen Preisen im Verhältnis zum gesamten Preisniveau unserer Volkswirtschaft zur Verfügung zu stellen.

– Schon immer war die Triebfeder der technischen Entwicklung die Schaffung neuer Methoden, Maschinen, Apparate und Werkzeuge, um bestehende Aufgaben besser, schneller oder kostengünstiger lösen zu können. Auch die Elektrizitätswerke haben so teil an der stetigen technischen Erneuerung und Verbesserung ihrer Anlagen. Ein Ende ist hier nicht abzusehen.

– Schon immer standen die Elektrizitätsunternehmungen im Kräftefeld wirtschaftlicher und politischer Polarität. Privat oder öffentlich, dezentral oder zentral, kleinräumig oder grossräumig, elektrizitätswirtschaftlich oder gesamtenergiewirtschaftlich, gewinnstrebig oder politisch gesteuert sind nur einige Stichworte, um diese immerwährenden Polaritäten anzudeuten. Jede Unternehmung wird in diesem Kräftevieleck immer wieder die für sie optimale Resultierende im Gesamtinteresse, aber unter den jeweils gültigen technischen und betriebswirtschaftlichen Nebenbedingungen finden müssen.

Literatur

[1] *A. Zischka:* Pioniere der Elektrizität, Gütersloh 1958, S. 262.
[2] *H. Wilde, Walther Rathenau:* Reinbeck 1971, S. 10.
[3] *R. Wissel:* Von der Blockzentrale zur Drehstromversorgung. In: Das Zeitalter der Elektrizität; 75 Jahre Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke, Frankfurt 1967, S. 9f.
[4] *W. Wyssling:* Die Entwicklung der schweizerischen Elektrizitätswerke und ihrer Bestandteile in den ersten 50 Jahren. Hrsg. vom SEV, Zürich 1946, S. 526.
[5] *W. Wyssling:* Die Entwicklung der schweizerischen Elektrizitätswerke und ihrer Bestandteile in den ersten 50 Jahren, Zürich 1946.

[6] *H. Leuthold:* Die schweizerische Elektrizitätsversorgung im Wandel der Zeiten. In: Elektrizitätsverwertung, J. 38(1963), S. 115...125, 177...192.
[7] *G. Klingenberg:* Der Bau grosser Elektrizitätswerke, Bd. 1: Richtlinien, Wirtschaftlichkeitsrechnungen und Anwendungsbeispiele, Berlin 1913, und Bd. 2: Verteilung elektrischer Arbeit über grosse Gebiete, Berlin 1914.
Einen guten Überblick über die Entwicklung im Kraftwerkbau vermitteln auch die folgenden Jubiläumsbände:
- 25 Jahre Nordostschweizerische Kraftwerke AG, 1914–1939, Zürich 1940
- BKW
- Von Olten-Aarburg zu Aare-Tessin; 50 Jahre Elektrizität, Olten 1945
- Cinquantenaire de la SA l'Energie de l'Ouest-Suisse, EOS 1919–1969, Lausanne 1969
- Strom für Kärnten, 50 Jahre KAEWAG-KELAG, 25 Jahre Landesgesellschaft, Klagenfurt 1974
- 75 Jahre Vorarlberger Kraftwerke 1901–1976, VKW, Bregenz 1976

[8] *W. Reisser:* Die Steigerung der Wirtschaftlichkeit ländlicher Elektrizitätsversorgung. Diss. Charlottenburg 1913.
[9] Vgl. dazu *K. Hafner:* Die schweizerischen Finanzierungsgesellschaften für elektrische Unternehmungen, Diss. Zürich 1913; und *H. Grossmann:* Die Finanzierung der Bank für elektrische Unternehmungen in Zürich, Diss. Zürich 1918; sowie *B. Fehr:* Zusammenschluss und Finanzierung in der Elektroindustrie, Diss. Bern 1939.
[10] 75 Jahre Elektrizitätswerke Wynau, 1895–1970, Langenthal 1970; und 50 Jahre Bernische Kraftwerke AG, 1898–1948, Bern 1949.
[11] 75 Jahre Centralschweizerische Kraftwerke, Luzern 1969.
[12] 50 Jahre Elektra Birseck, 1897–1946, Münchenstein 1946.
[13] *H. Trüb:* Der Staat und die Wasserkraftanlagen in der Schweiz; Diss. Zürich 1922, S. 129.
[14] *H. Fritzberg:* Geschichte der öffentlichen Elektrizitätsversorgung in Österreich. In: Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft, Jg. 29(1976), S. 171 ff.; *H. Calliess:* Übergang zum Drehstrom – Beginn der Überlandversorgung. In: Das Zeitalter der Elektrizität, a.a.O., S. 15 ff.; *C. Duval, C. Lavanchy:* Le développement des distributions d'énergie électrique en France. In: Rev. gén. Elect., novembre 1922, p. 203...221; *H. Trüb:* Der Staat und die Wasserkraftanlagen in der Schweiz, Diss. Zürich 1922, S. 95.
[15] *H. Trüb,* a.a.O., S. 70 f; vgl. auch *A. Diesbach:* L'Utilisation des Forces hydrauliques par l'Etat dans le Canton de Fribourg, Diss. Freiburg, 1904.
[16] Gesetz betreffend die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, EKZ, vom 15. März 1908.
[17] Vgl. dazu: Die Elektrizitätswerke der Nordostschweiz, in Bull. SEV/VSE 67(1976), S. 534...563.
[18] *A. Härry:* Wasserkraftnutzung und Energieversorgung in der Schweiz, Zürich 1947.
[19] *P. Pflüger* und *J. Hüppy:* Handbuch des schweizerischen Gemeindesozialismus, Zürich 1910, S. 118 ff.
[20] *W. Bossard:* Vorläufige Mitteilung über die ausgenutzten Wasserkräfte der Schweiz vom 23. Mai 1914 an Bundesrat Calonder, Bern 1914.
[21] *M. Girtanner,* a.a.O., S. 30; und *W. Hesselmann:* Strukturelle Gestaltung, Ordnung und Wettbewerb in der westdeutschen Energiewirtschaft, Diss. Nürnberg 1959.
[22] *W. Froelich:* Die Leistungen der schweizerischen Elektrizitätswerke in den Kriegsjahren 1939–1945, Zürich 1949.
[23] *A. Härry:* Die schweizerische Energieversorgung während der Kriegsjahre und ihr weiterer Ausbau, NZZ Nr. 1045 vom 31. 5. 1947.
[24] *M. Saitzew:* Die Partnerwerke in der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft; ihr Wesen, ihre Verbreitung und die Motive ihrer Gründung, Zürich 1950.
[25] *H. Lienhard:* Probleme des Verbundbetriebes in der Elektrizitätsversorgung. In: Elektrizitätsverwertung, Jg. 46(1971), S. 35 ff.
[26] 25 Jahre UCPTE, 1951–1976, Arnhem 1976.
[27] Vgl. dazu *M. Schmidt:* La distribution d'énergie en Suisse romande; *P. Keller:* Die Energieverteilung im Gebiete der Bernischen Kraftwerke sowie der Gruppe der Kraftwerke Oberhasli; *A. Engler:* Die Energieverteilung der Nordostschweiz; *C. Aeschimann:* Süd und Nord in der schweizerischen Energieverteilung, alle in: Die Verteilung elektrischer Energie in der Schweiz, Sonderdruck des Schweiz. Energie-Konsumenten-Verbandes, Zürich 1945; sowie *F. Aemmer:* Das schweizerische Höchstspannungsnetz und die 380-kV-Verbindung Tavanasa–Sils–Breite. In Elektrizitätsverwertung, Jg. 39(1964), S. 305 ff.
[28] *R. Hochreutiner:* Die schweizerische Elektrizitätsversorgung im Rahmen der westeuropäischen Elektrizitätswirtschaft, Sonderdruck des Schweiz. Energie-Konsumenten-Verbandes, Zürich 1963.
[29] Zur Entwicklung vgl. etwa *F. Brühlmann:* Die Ausnützung der schweizerischen Wasserkräfte und der Export von elektrischer Energie, Olten 1953; 50jähriges Bestehen der Vereinigung exportierender Elektrizitätsunternehmungen, 1926 bis 1976, Lausanne 1976; *K. Goldsmith, H. Luder, J. Wahl:* Der Einfluss der Vergrösserung der Leistung thermischer und nuklearer Einheiten auf den internationalen Energieaustausch in Westeuropa, in Bull. SEV 60(1969)15, S. 685 ff.; *J. Fronholzer:* Austausch elektrischer Energie zwischen sieben Wasserkraftländern und Nachbarländern in Europa, in Elektrizitätswirtschaft, Jg. 78(1979)24, S. 974 ff.
[30] Vgl. dazu *H. Schäfer:* Einführung in grundsätzliche Fragen des Lastbegriffs, in: Der Leistungsbedarf und seine Deckung, Analysen und Strategien, Berlin 1979, S. 9 ff.
[31] *W. Friedrich:* Das wirtschaftliche Wesen der Elektrizitätserzeugung; Versuch einer grundsätzlichen Formulierung, Jena 1923.
[32] Aus: Von Olten-Aarburg zu Aare-Tessin, 50 Jahre Elektrizität (50. Jahresbericht der Aare-Tessin 1945, S. 78).
[33] *H. Hardmeier:* Die Schweiz als Industrieland; Elektrizitätsversorgung und Industriegebiete der Schweiz, Zürich 1950.
[34] *E. Bütikofer:* Die Elektrizität im Haushalt, Zürich 1921.

Adresse des Autors

Dr. *H. Lienhard,* Direktor des Elektrizitätswerkes des Kantons Thurgau, 9320 Arbon.

Vom Kohlefaden zu den Halogenglühlampen mit Ausblick auf weitere neue Lichtquellen

Von E. Wurster

Zum 100. Geburstag der Glühlampe werden die Meilensteine der Entwicklung der elektrischen Beleuchtungstechnik dargestellt. Die Möglichkeiten für die Zukunft werden auf Basis vorhandener und zukünftiger Technologien diskutiert.

Le 100e anniversaire de la lampe à incandescence est l'occasion de rappeler les étapes de l'évolution de la technique de l'éclairage électrique et d'évaluer les possibilités futures d'après les techniques nouvelles qui sont en train de poindre.

1. Die Entwicklung der Beleuchtungstechnik

Wir feiern in diesem Jahr den 100. Geburtstag der Glühlampe und damit der elektrischen Beleuchtungstechnik. Warum wählen wir gerade das Datum der Erfindung Edisons? Denn schon vor ihm beschäftigten sich andere mit der Erzeugung von Licht durch den elektrischen Strom, wie beispielsweise:

1802–1810, Humphrey Davy:

Von ihm stammen die grundlegenden Arbeiten über das Glühen stromdurchflossener Leiter, und er zeigte als erster am Lichtbogen die elektrische Leitfähigkeit und Lichtabgabe von Gasen bei hoher Temperatur.

1841, Moleyns:

Hat Priorität für die Tatsache, dass feine Kohleteilchen beim Fall durch eine glühende Platinwendel ein lebhaftes Licht ausstrahlen.

1854, Heinrich Goebel:

Baute die erste Kohlefadenglühlampe und setzte sie zu Werbezwecken ein.

1879, Joseph Swan:

Führte im Februar 1879 in Newcastle eine Kohlefadenlampe vor.

Jeder dieser Erfinder hatte elektrisches Licht erzeugt, Edisons Leistung aber bestand darin, dass er das Gesamtproblem – die elektrische Beleuchtung – sah und es erstmals mit den Methoden moderner Forschung und Entwicklung anging. Er behandelte dieses Problem in drei Teilen:

a) *Die Stromerzeugung.* Werner von Siemens hatte 1866 die Dynamomaschine erfunden. Edison baute grosse Dynamomaschinen mit gutem Wirkungsgrad für zentrale Stromversorgungsanlagen.

b) *Die Stromverteilung.* Um Kabelkosten in Grenzen zu halten, musste die Spannung für damalige Anlagen hoch sein. Er wählte 110 V.

c) *Die Lichterzeugung.* Die von ihm gesuchte Glühlampe musste für 110 V ausgelegt sein und deshalb einen grossen Innenwiderstand haben. Die ersten Versuche mit Einzelfäden