Die elektrische Energieversorgung von Lauffen bis Biblis

von

Dr.-Ing. E. h. Friedrich RAUPACH, Bamberg

Vortrag bei der Naturforschenden Gesellschaft Bamberg am 18. Oktober 1985

Das Thema heißt: Die elektrische Energieversorgung von Lauffen bis Biblis. Warum gerade diese beiden Ortsnamen? Von Lauffen, am Neckar gelegen, begann mit der ersten Wechselspannungs-Übertragung im Jahre 1891 der Siegeszug einer neuen, jetzt weltumfassenden Energieform, der des elektrischen Stromes. Und Biblis ist eine mächtige Ballung in der Erzeugung elektrischen Stromes aus der neuen Primärenergie des Urans im Netz der Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke.

Wir alle, die wir in diesem Jahrhundert lebten, leben und noch zu leben haben, sind eingebettet und in all unserem Tun verbunden mit dieser vergleichsweise jungen Energieform. Die elektrische Energie beeinflusst unser Leben, unsere Entwicklung, unseren Wohlstand und unsere Lebensqualität, tief verzweigt bis in die letzten Haarwurzeln, so daß es sich lohnt, ein wenig über diese Entwicklung nachzudenken. Wir brauchen zur Bedeutung der elektrischen Energie keine Schlagworte. Sie ist allgegenwärtig, vom Antrieb des Bohrers beim Zahnarzt bis zu den siebzehn Elektromotoren in einer modernen Reiselimousine und den motorischen Antrieben im Haushalt, im Gewerbe und in der Industrie, bis hin von der Nachttischlampe bis zum Flutlicht eines Sportplatzes.

Versuchen wir die Anfänge zu finden, beschreiben wir die Entwicklung in etwa nur 100 Jahren und vergleichen wir physikalische Größen.

Nüchternheit und objektive Überlegungen und Darstellungen sind geboten.

Lassen Sie mich einige bemerkenswerte Ereignisse aneinanderreihen:

1851 gab es eine erste internationale Ausstellung in London. Aussteller

waren eigentlich Maschinenfabriken und Hüttenwerke.

In einem kleinen Raum zeigte sich aber zum ersten Mal die angewandte Elektrotechnik mit Telegraphenapparaten und Meßeinrichtungen und mit Lätswerken für die aufkommenden Bahnanlagen.

Vier Jahre weiter finden wir 1855 auf der Weltausstellung in Paris die Elektrotechnik schon erweitert um galvanische Einrichtungen, Induktionsapparate und Minenzündgeräte.

Bis zur nächsten Weltausstellung in London 1862 sah man zusätzlich magnetische Maschinen zur Speisung von Leuchtturm-Bogenlampen, Ozonröhren und elektrische Pyrometer.

1867 war ein bedeutendes Jahr. Es begannen die Vorbereitungen zu einem besonderen Schritt in das Zeitalter der Technik. Werner von Siemens stellte die erste Dynamomaschine auf der Weltausstellung in Paris aus. Mit diesem Dynamo war die Umwandlung mechanischer in elektrische Energie gelungen. Batterien und Akkumulatoren wurden auf ein begrenztes Anwendungsgebiet zurückgedrängt.

Nun geht es in rascher Folge weiter bis zum Beginn elektrischer Energiefernleitung mit Wechselspannung im Jahre 1891.

1873 Weltausstellung in Wien

Siemens & Halske und Gramme stellten Dynamomaschinen mit Trommel und Ringankern aus, eine für den Laien unbedeutende technische Feinheit.

1878 Ausstellung in Paris mit einer elektrischen Straßenbeleuchtung mit einer großartigen Wirkung auf ein breites Publikum.

1879 erste elektrische Lokomotive auf der Gewerbeausstellung in Berlin mit 150 V Gleichspannung, einer Leistung von 3 PS und einer Geschwindigkeit von 7 km/h mit drei Anhängern.

1881 also noch 10 Jahre vor dem denkwürdigen Jahr 1891, eine erste Ausstellung für Elektrotechnik in Paris. 15 Staaten mit 1.768 Ausstellern, davon 87 deutsche, stellten aus.

Die Beleuchtung vermittelte einen überwältigenden Eindruck. Vor einer Glühlampe von Edison standen Hunderte von Menschen, um selbst

einmal diese Glühlampe ein- und auszuschalten. Es gab eine 400 m lange Straßenbahn.

Prophetisch sagte Marcel Déprez: Wir stehen am Beginn einer neuen Ära, in der eine beliebig große Kraft auf beliebig weite Entfernung mit beliebig dünnem Draht mit großem Nutzeffekt übertragbar sein wird. Dazu fehlte aber noch der Transformator.

1882 erlebt die staunende Menge auf der Elektrizitätsausstellung am 15. September im Glaspalast in München einen 2 m hohen Wasserfall, angetrieben von einer Zentrifugalpumpe. Die elektrische Energie für den Antrieb dieser Pumpe kam über Telegraphendrähte aus dem 57 km entfernten Miesbach mit einer Spannung zwischen 1500 und 2000 V.

In Miesbach machte man aus Kohle Wasserdampf, der eine Dampfmaschine betrieb, die wiederum über einen Lederriemen einen Dynamo antrieb.

Die Angelegenheit hatte noch viele Fehler. Der Wasserfall war von 12 Ausstellungstagen nur 4 Tage in Betrieb.

Oscar von Miller, der das alles organisierte, war 26 Jahre alt. In dieser Zeit gründete er in Berlin die Edison-Gesellschaft, aus der später die AEG hervorging.

Der erste Lehrstuhl der Elektrotechnik wurde an der Technischen Hochschule in Darmstadt gegründet.

1891 der eigentliche Ausgangspunkt meiner Darlegungen kann mit Fug und Recht als Geburtsjahr der Erzeugung, Fernleitung und dem Großverbrauch elektrischer Energie genannt werden.

Dazu war eine dritte Voraussetzung notwendig. Die war gegeben durch die Erfindung des Transformators durch die Fa. Ganz in Budapest.

Er bestand, wie auch heute noch, aus einem Eisenkern, aus einzelnen Blechen zusammengeschichtet, und zwei Wicklungen. Die Windungsspannung ist für jeden Transformator gleich, also eine Konstante. Wenige Windungen haben eine kleine Spannung, viele Windungen ergeben eine hohe Spannung.

Jetzt war es möglich, Wechsel- oder Drehstrom mit einem guten Wir-

kungsgrad bei gleichbleibendem Produkt aus Strom mal Spannung willkürlich zu verändern. Die begrenzt niedrige Spannung an den Klemmen des Stromerzeugers konnte auf eine hohe Spannung von vielen tausend Volt hinauftransformiert werden. Da das Produkt aus Strom und Spannung gleichblieb, reduzierte sich der Strom. Der kleinere Strom konnte mit kleineren Kupferquerschnitten über große Entfernungen transportiert werden. Die hohe Spannung ist mit geringem Aufwand zu isolieren.

An Verbraucherschwerpunkten war es mit der Hilfe des Transformators dann umgekehrt einfach, geräuschfrei und ohne drehende Teile möglich, die hohe Spannung der Fernleitung auf eine niedrige Verbrauchsspannung zu reduzieren.

Mit der Zeit einigte man sich beim Endverbraucher auf die Drehstrom-Spannung $3 \times 380 \text{ V}$, das ergibt zwischen einer Phase der drei Drehstromleitungen und Erde die uns bekannte Spannung von 220 V .

Mit Hilfe des Drehfeldes - ein physikalisches Phänomen, das hier nicht weiter erklärt werden kann - gelang dazu noch die einfache Umwandlung der elektrischen Energie zurück in eine mechanische.

Damit schließt sich der Kreis. Ausgehend von einer Primärenergie, die Umwandlung einer mechanischen in eine elektrische Energie, die Transformierung der Generatorspannung auf einen hohen Wert zur Überbrückung großer Entfernungen, die Spannungsumwandlung im Verbraucherzentrum auf ein niedriges Niveau und schließlich die Umwandlung der elektrischen in eine mechanische oder thermische Energie.

Dieses System finden wir erstmalig im schon mehrfach genannten Jahr 1891 bei der elektrischen Energieübertragung von Lauffen am Neckar nach Frankfurt. Am 25. August 1891 flammten in der Frankfurter Ausstellung 1000 Glühlampen auf und ein 10 m hoher Wasserfall begann zu rauschen. Die elektrische Energie kam über eine Entfernung von 170 km. Es wurden im Endausbau 180 PS bei 25000 V Übertragungsspannung und einer Frequenz von 24 Hz Drehstrom übertragen.

Die elektrische Energie erwies sich am Verwendungsort als abgas- und aschefrei, in Bruchteilen von Sekunden einschaltbar, aber auch wieder abschaltbar, abfallfreie, fast störungsfreie Kraft für alles, was wir an

Technik im Haushalt, im Gewerbe und in der Industrie brauchten.

Der Vorteil der elektrischen Energie ist, daß man sie dezentral an jedem beliebigen Ort, auch ambulant, einsetzen kann. Ob Fön, Bügeleisen, Kühlschrank, Rundfunk- oder Fernsehgerät, Röntgeneinrichtung, Zahnbohrmaschine, Dreh- und Fräsmaschine, Kran und Fahrstuhl usw. usw., immer steht diese Energieform richtig dosiert und sofort ohne Anlaufzeit zur Verfügung.

Das magnetische Drehfeld eines dreiphasig erzeugten Wechselstromes kann in eleganter Weise in einem Käfigankermotor wieder in mechanische Energie umgewandelt werden. Das begünstigte die Einführung der Erzeugung und der Fernleitung des Drehstromes.

Zwischen jeder der drei Phasen und Erde schaltete man Glühlampen zur Beleuchtung von Straßen und dann Ausstellungen und schließlich öffentliche Gebäude bis hin zu Wohnungen, die bislang mit Gas beleuchtet wurden.

Da der Kraftstrom zu Zeiten gebraucht wurde, wo Beleuchtung abgeschaltet war, konnte er verbilligt abgegeben werden.

Die Verteilerspannungen stiegen auf 5000, 6000 und sogar 10000 V an. Ganze Stadtteile, auch in den Außenbezirken, konnten von Privatunternehmen, von Genossenschaften sowie von Provinzial- oder Kreisverwaltungen, von Überlandzentralen versorgt werden. Der Antrieb der Dynamos erfolgte von Wasserturbinen, Dampfmaschinen oder Gasmotoren aus. Bei elektrischen Leitungen in ländlichen Gebieten mußte allerdings die übertragbare Leistung unwirtschaftlich für die einmal im Jahr auftretende Dreschperiode ausgelegt werden.

Etwas um das Jahr 1910 schlossen sich die kleineren Unternehmen der Überlandzentralen zu größeren Gebieten zusammen. Die Verteilung der Last wurde vergleichmäßigt und Kraftwerke konnten dort gebaut werden, wo Primärenergie zur Verfügung stand. Die Kraftwerksreserven konnten verringert werden. Alles Maßnahmen, die zu einer Verbilligung des Stromes führten.

Die Übertragungsspannungen stiegen über viele Zwischenwerte von 10 über 60 auf 110 000 V.

Die erste 100 000 V-Anlage in Europa entstand in Lauchhammer (Niederlau-

sitz) bei den dortigen Eisenwerken. Aus einer eigenen Grube wurde Braunkohle gewonnen, der aus ihr erzeugte Strom über 50 km in das Stahlwerk nach Risa geliefert. Die Leitung dieser reinen Industrieanlage hatte eine Leistung von 15000 kW, das sind 15 Mega-Watt, konnte aber erst dann über die Gemarkung Gröba gebaut werden, als man Stromlieferungen an Gröba bei Risa und Gräditz vertraglich zusagte. Die Kopplung des 100 kV-Industriernetzes mit dem 60 kV-Netz des Elektrizitätsverbandes Gröba erfolgte über einen 100/60 kV-Transformator. Die Leitung war eine Doppelleitung mit einer Bahnkreuzung und einer Elbe-Überspannung mit 263 m Spannweite.

In der neuen Spannungsstufe 110 kV waren die ersten Leitungen vorwiegend für den Transport elektrischer Energie von den an die jeweilige Primärenergie standortgebundenen Kraftwerken in die Verbrauchs- und Versorgungsschwerpunkte. So erschloß man Wasserkraftwerke im Schwarzwald und in den Alpen sowie die Braunkohlen-Lagerstätten in Mitteldeutschland und links des Rheins.

Lassen Sie mich an dieser Stelle einige Bemerkungen zu den physikalischen Daten machen:

Die Spannung wird angegeben in Volt.

Wie vorab schon gesagt, hat sich in Europa als niedrigste Verbraucher-Spannung 220 Volt durchgesetzt. In den USA ist man auf 110 Volt gegangen, deshalb müssen elektrische Geräte, wie Rundfunk- und Fernsehgeräte umschaltbar für die beiden Spannungen 110 und 220 Volt ausgeführt werden.

Der Strom wird angegeben in Ampere. Er bestimmt den Querschnitt der Übertragungsleitung. Etwa 3 Ampere kann man in einem Kupferdraht von 1 mm im Quadrat übertragen.

Das Produkt Spannung mal Strom ist die Leistung, ausgedrückt in Watt. Die Glühlampe hat 40 oder 60 oder auch 100 Watt, das Bügeleisen 600 und ein elektrischer Küchenherd 6000 Watt.

Alle Großzahlen werden mit 1000 oder einer Million, in seltenen Fällen auch mit einer Billion dividiert.

Dann wird aus 1000 Watt ein Kilowatt
aus 1000 Kilowatt ein Mega-Watt

Zurückgerechnet ist ein Megawatt dann eine Million Watt und eine Billion Watt gleich 1000 Megawatt ist ein Gigawatt.

Kilo ist 1000. 110 kV sind daher 110 000 Volt.

Nun fahren wir fort:

A. Koepchen, Vorstandsmitglied des RWE Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke, erkannte Ende der zwanziger Jahre, daß zur Sicherung der elektrischen Energieversorgung, zur Verbilligung des Stromes ein Zusammenschluß der inzwischen entstandenen Landesenergiegesellschaften notwendig sei. Das Konzept war die Verbundwirtschaft. Dazu war der Aufbau eines landesweiten 220 kV-Netzes notwendig. Es mußten ja Strecken von 800 km überwunden werden. Am 17. April 1930 führen die Steinkohlenkraftwerke im Ruhrgebiet, die Braunkohlenkraftwerke im Kölner Raum, dort das Goldenberg-Werk, mit 500 Megawatt und die Wasserkraftwerke im Schwarzwald, am Hochrhein und in den Alpen - diese mit zusammen 230 Megawatt zum ersten Mal parallel. Die Übertragungskosten DM pro Megawatt und km konnten bei 220 kV auf die Hälfte der 110 kV-Kosten gesenkt werden. In dieses Verbundnetz wurden die großen Pumpspeicherwerke einbezogen, die in Schwachlastzeiten Wasser den Berg hinaufpumpten und z. Zt. des größten Energieverbrauches, das ist jeweils am 24. 12., dem Heiligen Abend, um 17.00 Uhr aus dem aufgestauten Wasser elektrischen Strom erzeugten.

Seit dieser Zeit weiß man nicht mehr, woher der Strom kommt, den man verbraucht. Es kann Strom aus dem Kachletwerk in der Donau bei Passau oder aus dem Kohlekraftwerk Arzberg bei Marktredwitz oder aus einem der Kernkraftwerke z. B. Gundremmingen kommen. Alle Stromerzeuger sind miteinander verbunden. Einer kann dem anderen aushelfen. Durch Ringleitungen sind Großverbraucher wie Städte und Industriebetriebe über mindestens zwei Zuführungen versorgt. Der Verbundbetrieb bringt eine so hohe Sicherheit der Versorgung mit sich, daß es immer seltener zu sensationellen Abschaltungen der Stromlieferungen kommt.

Zum Verbundbetrieb gehört, daß alle Schäden im Netz der Energieversorgung selektiv abgeschaltet werden. Wenn z. B. zwischen Bamberg und der Station am Würzgauer Berg sagen wir durch einen Blitzeinschlag ein Leitungsschaden aufgetreten ist, dann wird dieses Leitungsstück sowohl in Bamberg als auch in Würzgau abgeschaltet, d. h. selektiv herausgetrennt.

Bamberg wird dann nur noch aus Erlangen und aus der Richtung Schweinfurt versorgt. Die Bewohner Bambergs haben bei diesem Schaltvorgang im Normalfall nichts gemerkt.

Dieses Schalten erfolgt in Bruchteilen von Sekunden automatisch. Die dazu erforderlichen Relais, die Strom und Spannungen kontinuierlich messen und vergleichen, geben dazu die entsprechenden Anweisungen.

Nun kann man diese Relais genauso wenig wie andere Instrumente und Zähler nicht direkt in eine 110 oder 220 kV-Leitung hineinbauen. Dazu schaltet man Transformatoren, sogenannte Meßwandler dazwischen, die diese Geräte und das Bedienpersonal vor der hohen Spannung schützen.

Noch etwas geschah beim Aufbau des Verbundnetzes. Zur Übertragung von Meßdaten und Leistungsanforderungen, also eines innerbetrieblichen Informationsaustausches, benutzte man die Hochspannungsleitungen zu einer leitungsgebundenen, über Kondensatoren eingekoppelten Hochfrequenz-Telefonie. Da nicht jeder Teilnehmer alles und womöglich gleichzeitig zu hören bekommen sollte, sperrte man die Informationsübermittlung durch Hochfrequenzdrosselspulen am Ende einer Hochspannungsleitung und sperrte damit die weitere Übertragung in das übrige Netz.

Dieser leitungsgerichtete Hochfrequenz-Informationsaustausch funktioniert bei Regen und Sonne, er funktioniert auch, wenn unter der Leitung die Menschen Krieg führen, also über den Schützengraben hinweg.

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde das Verbundnetz durch eine neue Spannungsebene 400 kV ersetzt. Die 220 kV-Leitungen übernahmen mehr und mehr Transportleistungen aus der 110 kV-Ebene, wo die Kapazität für die gestiegenen Leistungen nicht mehr ausreichten.

Der Anstieg der verlangten Leistungen folgte nahezu einem Naturgesetz.

Seit 1910 beobachtete man in allen Ländern der Welt einen Anstieg des Bedarfes an elektrischer Energie von durchschnittlich 7 % pro Jahr und Kopf der Bevölkerung. Das entspricht einer Verdoppelung in 10 Jahren. Der Verbrauch pro Kopf der Bevölkerung war in Anpassung an den Stand technischer Entwicklungen der einzelnen Nationen natürlich unterschiedlich. An erster Stelle lagen die USA, dann folgten die skandinavischen Länder und England, dicht gefolgt von Deutschland. Den geringsten Stromverbrauch pro Kopf hat-

ten Länder wie z. B. Grönland. Die 10-Jahres-Verdoppelung war überall zu beobachten. Einbrüche durch Kriege und Unruhen gleichen sich in Normalzeiten wieder aus. Man holte Versäumtes jeweils nach. Erst nach 60 Jahren unveränderter Leistungssteigerung brach in den 70-iger Jahren dieses Wunder in seiner Gradlinigkeit ab. Die 7 %-Rate sank auf etwa die Hälfte zusammen und dies wiederum parallel in allen Ländern.

1948 wurde die Deutsche Verbundgesellschaft gegründet, die die grundsätzlichen Planungsunterlagen für die Technik und die geographische Gestaltung des 400 kV-Verbundnetzes erarbeitete. Dieses Verbundnetz sprengte nationale Grenzen. Heute sind alle westeuropäischen Länder mehrfach miteinander verbunden.

Vor dem 2. Weltkrieg erzeugten Österreich und die Schweiz ihren Strom fast ausschließlich, Frankreich zum überwiegenden Teil aus Wasserkraften. Als nach dem 2. Weltkrieg Kraftwerksleistung fehlte und Kohle knapp war, erschien es sinnvoll, die Erzeugung der Wasserkraftwerke durch die thermischen Kraftwerke in anderen Ländern zu ergänzen. Bei starkem Wasseranfall konnte die thermische Stromerzeugung zurückgefahren werden. Umgekehrt konnten bei anhaltender Trockenheit die thermischen Kraftwerke einspringen.

Um dazu beizutragen, die Kraftwerke und die Hochspannungsleitungen der beteiligten Länder optimal zu nutzen und den internationalen Stromverbrauch zu fördern und zu erweitern, wurde 1951 die "Union für die Koordinierung der Erzeugung und des Transportes elektrischer Energie" abgekürzt UCPTÉ gegründet.

Das westeuropäische Verbundnetz der UCPTÉ reicht von Portugal bis zum Eisernen Vorhang und von Dänemark bis Süditalien. Dieses Netz bildet einen einheitlichen Energie- und Frequenzblock, d. h. alle fahren mit der gleichen Frequenz von 50 Perioden pro Sekunde, also mit 50 Hz.

1980 hatte die Bundesrepublik Deutschland eine Höchstlast von 52000 Megawatt. Die Übertragungsfähigkeit der grenzüberschreitenden Leistungen liegt bei etwa der halben Höchstlast der BRD, d. h. bei etwa 25000 Megawatt.

Das Wort "Strom kennt keine Grenzen" ist in Westeuropa verwirklicht.

Strom wird ohne staatlichen Dirigismus frei von Zollabgaben und frei von Aus- und Einfuhrbeschränkungen zwischen den Staaten der UCPTA ausgetauscht.

Für den Transport noch höherer Leistungen von einer ferngelegenen Primärenergie z. B. den großen Wasserfällen im Nordosten Kanadas über 1000 km nach Süden an das Ufer des St. Lorenz-Stromes zum Betrieb eines Aluminiumwerkes erhöhte man die Übertragungsspannungen auf 765 kV. Vorher wurden Leitungen in den USA im Zuge des Aufbaues eines Verbundbetriebes zwischen einzelnen US-Staaten für 550 kV ausgeführt.

In Europa blieb man bei 400 kV höchste Übertragungsspannung des über die Grenzen hinweggehenden Verbundnetzes.

Diese neuen hohen Übertragungsspannungen setzten ein hohes Maß an technischer und technologischer Entwicklung für die Herstellung der Transformatoren, Leistungs- und Trennschalter sowie den Strom- und Spannungswandlern und der Leitungen voraus. Eine 110 kV-Leitung hat Maste von etwa 30 m Höhe. 400 kV-Maste werden ausgeführt mit 50 m hohen Masten. Sie sind bei uns in der Gegend leicht zu erkennen, weil ein Leiter aus vier parallelen, im Quadrat angeordneten Seilen besteht.

Für die 765 kV-Leitung in Kanada baute man die Maste mit 70 m Höhe und einer Trassenbreite von ca. 80 m.

Für die Entwicklung der Geräte mußten neue Prüffelder gebaut und eingerichtet werden. Neue Meßverfahren wurden entwickelt. Die Hoch- und Höchstspannungstechnik wurde eine eigene Disziplin in der Elektrotechnik.

Bei der theoretischen Forschung und für die praktische experimentelle Erprobung und der Suche nach den Grenzen in atmosphärischer Luft betreibbarer Anlagen entstanden Hoch- und Höchstspannungs-Prüffelder auf der ganzen Welt.

Bei MMB-MESSWANDLER-BAU steht ein Prüffeld zur Verfügung mit 1.200.000 V Wechselspannung und 3.200.000 V Blitzstoßspannung. Mit dieser Einrichtung können Strom- und Spannungswandler bis zu einer Nennspannung von 765.000 V geprüft werden.

Bei der Electricité des France entstand in der Nähe von Paris eine Anlage, zu der MWB einen Prüftransformator für 1.650.000 V lieferte.

Die nächste Forschungsstätte entstand in Varennes bei Montreal in Kanada, der Hydro-Quebec, mit einer ebenfalls von MWB gelieferten Transformator-Prüfanlage für 1.850.000 V. Die Prüfhalle ist 60 m hoch.

Bei der Inbetriebsetzung dieses Prüftransformators gab es bei der vollen Nennspannung einen Luftüberschlag von 25 m Länge. Hier scheint sich abzuzeichnen, daß eine Erhöhung der Übertragungsspannung von z. Zt. 765.000 V auf angestrebte 1,5 Mill. Volt wegen der starken Ionisation der Luft nicht realisiert werden kann.

Die Russen versuchten mit Mißerfolgen bei der Herstellung eines entsprechenden Leistungstransformators eine Übertragungsspannung mit 1,2 Mill. Volt.

Die Italiener bauten eine komplette Anlage mit 1 Mill. Volt nördlich von Rom mit zugehöriger Freileitung und einer Kopplung an das europäische 400 kV-Netz. Als Forschungsstätte bauten sie ihr Laboratorium in Mailand aus und kauften sich bei MWB einen Prüftransformator - es ist nach wie vor noch der größte auf der Welt - bestehend aus drei Einheiten mit 800 kV Stufenspannung, die zusammenschaltet 2,4 Mill. Volt ergeben würden. Der Transformator ist aber bis heute wegen der beengten Raumverhältnisse noch nie auf die volle Nennspannung ausgefahren worden.

Zu den Überlegungen, die Übertragungsspannung über die 765.000 Volt-Ebene auszudehnen, gibt es seit einiger Zeit eine Konkurrenz. Sie entstand durch die Entwicklung der Thyristoren, mit deren Hilfe man aus Wechselspannung eine Gleichspannung und umgekehrt aus einer Gleichspannung eine Wechselspannung machen kann.

Die hohe Gleichspannung bietet sehr viel weniger Probleme bei der Übertragung hoher Leistungen über sehr große Entfernungen als die Wechsel- oder Drehstromspannung.

Ein bekanntes Beispiel ist die Leistungsübertragung vom Wasserkraftwerk im Sambesi in Mosambique nach Pretoria in Südafrika. Die Spannung zwischen den beiden Leitern, die mit 2 km Abstand voneinander verlegt wurden, ist 1,1 Mill. Volt zwischen den Drähten. Jeder Leiter hat die hal-

be Spannung gegen Erde. Die Entfernung ist nahezu 1.500 km, die übertragene Leistung fast 2.000 Megawatt, das ist soviel wie die Leistung von 5 Kohlekraftwerken üblicher Größe.

Ein zweites Beispiel ist eine höchst interessante Einrichtung. Sie ist nicht zur Übertragung einer respektablen Leistung über eine große Entfernung gebaut worden, sondern für die Entkopplung zweier Verbundnetze. Wie ausgeführt, sind die Energieversorgungsunternehmen aller westeuropäischen Staaten miteinander oder untereinander verbunden. Das gleiche gilt für Osteuropa, also die Staaten des Warschauer Paktes einschließlich des Westens der UdSSR.

Die beiden Netze in üblicher Weise zu verbinden macht Schwierigkeiten. Sie müßten exakt synchron mit 50 Hz gefahren werden, was bei den dann möglichen Entfernungen unmöglich wird. Hier hilft eine Gleichspannungskopplung.

In Dürrnrohr, westlich von Wien, ganz in der Nähe des berühmten Atomkraftwerkes in Zwentendorf, entstand eine Kopplungsanlage Wechselfspannung-Gleichspannung-Wechselfspannung, weil Österreich Strom aus Polen beziehen muß, statt sich selbst eine Devisenquelle z. B. durch den Betrieb eines Atomkraftwerkes zu erschließen.

50 Mega-Watt können von Polen über die Wechselfspannungs-, Gleichspannungs-, Wechselfspannungs-Anlage in Dürrnrohr hin- und hergeschoben werden. Meist fließt der Strom von Polen nach Österreich. Die Sache funktioniert vorzüglich, nur im letzten strengen Winter hatte Polen auch zu wenig elektrische Energie und die österreichische Energieversorgung mußte alles einsetzen, was sich noch irgendwie drehen ließ. Es kam auch örtlich zu Abschaltungen bestimmter Stromverbraucher.

Die Wasserkräfte in Europa, insbesondere in Deutschland und Österreich, sind weitgehend ausgebaut.

Gas und Öl spielen in der Leistungsbilanz zur Erzeugung elektrischer Energie eine untergeordnete Rolle.

Der Schwerpunkt lag bislang bei der Ausnutzung der Kohle und hier insbesondere der Braunkohle in Mitteldeutschland und am Niederrhein.

Die Solartechnik ist eingeführt für den Betrieb von Taschenrechnern und

Satellitenelektronik. Sie ist halt arg begrenzt durch die klimatischen Verhältnisse in Europa mit vielen Wolken zu jeder Jahreszeit und einer kurzen Sonnenschein-Dauer.

Verbleibt als Primärenergie die Kohle, deren Bestände aber immer weniger werden, die aus immer tieferen Sohlen abgebaut werden muß und um die es eigentlich schade ist, sie in einem Kessel mit schlechtem Wirkungsgrad zu verbrennen.

Die sogenannte Ölkrise hat uns alle deutlich werden lassen, wie abhängig wir von den großen Primärenergien sind. Der Ausweg bot sich im Uran an. Der erste Siedewasserreaktor wurde 1958 von den beiden Versorgungsbetrieben RWE und Bayernwerk mit einer bescheidenen Leistung von 15 Megawatt in Auftrag gegeben. Die ausführende Firma war die AEG zusammen mit der General Electric in den Vereinigten Staaten. Nach nur 3 Jahren Bauzeit wurde dieser Reaktor in Kahl am Main in Betrieb genommen.

Im gleichen Jahr 1961 bestellte man einen 51 Megawatt-Druckwasserreaktor für das Kernforschungszentrum in Karlsruhe. Er ging 1966 in Betrieb und dient ausschließlich der Simulierung von Störfällen und der Erarbeitung von Sicherheitsvorschriften.

RWE und Bayernwerk nahmen 1966 einen zweiten Siedewasserreaktor mit 237 Megawatt in Gundremmingen an der Donau in Betrieb. Er ist 1977 stillgelegt worden.

Und nun folgt beinahe jedes Jahr eine Inbetriebsetzung.

1975 ging der erste Reaktor mit einer Leistung von mehr als 1000 Megawatt in Biblis am Rhein vom RWE in Betrieb. Und dieses Ereignis habe ich zum Eckpunkt meiner Ausführungen gemacht. Seine Bauzeit war von der Auftragserteilung bis zur Inbetriebsetzung 6 Jahre. Dies war der Block A. Inzwischen folgte 1977 der Block B, ein Block C ist in Arbeit.

Die Leistung der Reaktor-Blöcke pendelte sich bei 1.300 Megawatt ein. Zwei Reaktoren mit nur 25 und 100 Megawatt sind während der Inbetriebsetzung stillgelegt worden, was für das große Verantwortungsgefühl der Hersteller und Betreiber spricht.

Zur Zeit sind weltweit 344 Atomkraftwerke in Betrieb. Sie haben zusammen-

gerechnet eine Kapazität von fast 220.000 Megawatt. Zum Vergleich der Leistungen nenne ich das Laufwasserkraftwerk am Niagara mit 2.400 Megawatt, das Wasserkraftwerk Itaipu in Brasilien, das im Endausbau einmal 12.000 Megawatt haben soll. Weitere 180 Reaktoreinheiten sind auf der ganzen Welt z. Zt. im Bau.

In Deutschland sind 19 Atomkraftwerke in Betrieb. Sie liefern etwas über 1/3 des Stromes, das ist genauso viel wie aus der Kohle gewonnen wird, in das deutsche Netz. Dieser hohe Anteil wurde erreicht durch die Inbetriebnahme von vier 1.300 Megawatt-Blöcken noch im letzten Jahr in Gundremmingen an der Donau die schon erwähnten Blöcke B und C, Gronde an der Weser und Philippsburg II am Rhein.

In Frankreich werden schon 58,7 % des Stromes aus Atomkraft erzeugt.

Die Primärenergie Atomkraft wird aus Uran gewonnen. Wenn es keine Kohle und kein Öl mehr geben wird, ist Uran noch abbaubar. Die Angst, es könnte beim Uran auch zu einem baldigen Ende kommen, ist überholt. Ganz abgesehen davon, daß mit der Entwicklung des schnellen Brütters eine sehr viel höhere Ausnutzung möglich werden wird.

Z. Zt. haben wir eine Uranschwemme. 1980 hat 1 kg Uran noch 70 \$ gekostet, heute kaum mehr als 40 \$. Dieser Preis wird von Australien noch unterboten mit 20 \$ pro kg.

Die heutige Produktion elektrischer Energie aus Uran von etwa 220.000 Megawatt - wie schon gesagt - wird bis zum Jahre 2000 auf etwa 400.000 Megawatt steigen. Das ist eine Schätzung der Kernenergieagentur in Wien. Hierfür reichen die heute bekannten Vorräte an Uran aber über viele Jahrzehnte aus.

Bei diesem Stand der Technik scheint mir jedes weitere Wort überflüssig für oder gegen Atomkraftwerke. Ich meine aber, man sollte sich auch einmal Größenordnungen ansehen und Vergleiche anstellen. Alle folgenden Angaben gelten für die Erzeugung elektrischer Energie und sind zur Vergleichssicherung einheitlich in Megawatt, das sind 1000 kW oder 1 Mill. Watt gemacht.

Biomasse	unbedeutend, umweltbelastend	
Solartechnik	nur für spezielle Anwendungsgebiete	
Ein Windkraftwerk mit 100 m Rotordurchmesser	liefert	3 Megawatt
Alle noch nicht ausgebauten Wasserkraftwerke in der BRD	haben etwa	196 Megawatt
Eine Einheit eines Kohlekraft- werkes, ein sogenannter Block	hat	400 Megawatt
Der Block eines Atomkraftwerkes		1.300 Megawatt
Noch einmal zum Vergleich:		
das Wasserkraftwerk am Niagara		2.400 Megawatt
das Wasserkraftwerk am Itaipu, wenn es einmal ausgebaut sein wird		16.000 Megawatt

Damit, meine Damen und Herren, hoffe ich, Ihnen einen Überblick über ein hochinteressantes Gebiet der Technik, insbesondere der elektrischen Energieversorgung, gegeben zu haben. Trotz eines großen Aufwandes an Forschung und Entwicklung blieb das Interesse des breiten Publikums gering. Man braucht ja keine Kraftwerke, man holt sich den Strom aus der Steckdose.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. Friedrich Raupach
Wildensorger Str. 9

86 Bamberg

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Bericht der naturforschenden Gesellschaft Bamberg](#)

Jahr/Year: 1985

Band/Volume: [60](#)

Autor(en)/Author(s): Raupach Friedrich

Artikel/Article: [Die elektrische Energieversorgung von Lauffen bis Biblis
40-54](#)