

2. Jahrgang, Heft 6, 1985

lehren & lernen

Berufsfeld Elektrotechnik

Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufspädagogen in der Fachrichtung Elektrotechnik

Thema dieses Heftes: Elektrische Energietechnik

u.a.:

Experimentiergerät Gleichrichterschaltungen

Elektroinstallateur-Ausbildung in Thailand

Windkraftanlagen

lehren & lernen
Berufsfeld Elektrotechnik

EWALD DRESCHER
Vorkampsweg 303
2800 BREMEN 33

lehren & lernen Berufsfeld Elektrotechnik

Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufspädagogen in der Fachrichtung Elektrotechnik

Elektrische Energietechnik

Jungarbeiterinitiative an der

Werner - **W**on - **S**iemens
etzlar **ch**ule
e.V.

Impressum lehren & lernen

lehren & lernen erscheint vierteljährlich als Rundbrief der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufspädagogen der Fachrichtung Elektrotechnik in der Bundesarbeitsgemeinschaft Hochschultage BERUFLICHE BILDUNG.

Herausgeber: Gottfried Adolph, Friedhelm Eicker, Detlef Gronwald, Felix Rauner

Schriftleitung: Ludger Deitmer

Verantwortlich für dieses Heft: Detlef Gronwald

Redaktionsadresse: Universität Bremen
z. Hd. Ludger Deitmer
MZH 1320 / Tel. 0421 - 218 2430 / 3113
Postfach 33 04 40
2800 Bremen 33

Alle schriftlichen Beiträge und Leserhinweise bitte an die obenstehende Adresse.

Herstellung:

Vertrieb: Universität Bremen
Druckschriftenlager
Herrn K. Dossow / Tel. 0421 - 218 2769
Postfach 33 04 40
2800 Bremen 33

Bei Vertriebsfragen (z. B. Adressenänderungen) den Schriftwechsel bitte stets an das Druckschriftenlager, unter Angabe Ihrer Versandnummer, richten.

Vertriebsnummer: H ZE 22 (wichtig bei Nachbestellungen)

Unkostenbeitrag: Bezugspreis von DM 26,- für 4 Bücher (incl. Verpackung und Versand)
Einzelpreis DM 8,- zzgl. Versand
Änderungen vorbehalten

Wetzlar 1986

ISBN 3-924393-13-3

In diesem Band

Seite

Editorial

- Das Schwerpunktthema des Heftes 6

Unterricht und Ausbildung

- Konzeption und Einsatz eines Experimentiergerätes zur Einführung in den Themenkomplex "Gleichrichterschaltungen" im Unterricht für energietechnische Berufe 9

Jürgen Erling

- Dezentrale Energieversorgung am Beispiel der Wärme-Kraft-Koppelung-Versuch eines handlungsorientierten Unterrichts mit Energieanlagen-elektrotechnikern 28

Rudolf Eschen, Jürgen Koffner,
Siegfried Reesche,
Andrzej Rodzicki

- Fachpraktische Ausbildung von Elektro-Installateuren in einem thailändischen Polytechnikum 41

Detlef Genath

Forum: Die elektrische Energie-Technik,
Gespräche und Politik

- Die künstliche Geburt "unserer" elektrischen Energietechnik - ein Beispiel für Technologie-Entwicklung 49

Detlef Gronwald

- Energiepolitik-Inhalte und Ziele für ein Projekt in der beruflichen Bildung 66

Klaus Müschen

- Erzeugung elektrischer Energie durch Windkraftanlagen 82

Ulrich Stampa

	Seite
- Überlegungen zu stromrichter- gespeisten Traktionsantrieben	97
Adolf Müller-Hellmann	
- Die Größensteigerung von Elektrizitäts- versorgungssystemen: Eine kritische Bestandsaufnahme aus technikhistorischer Sicht	111
Hans Dieter Hellige	
- Betriebliche Lebenswelt von Rundfunk- und Fernsehtechnikern (Forts. v. Heft 5)	134
Eva Senghaas-Knobloch	
Berichte	
- Information und Einladung zur aktiven Beteili- gung an unserer Fachtagung bei den Hoch- schultagen in Essen	147
Wolfhard Horn	
- Aufruf zur Veröffentlichung von Examens- arbeiten	151
- Mitteilungen aus der Redaktion	153
Ludger Deitmer	
Rezension	
- Müller, Hörnemann, Hübscher, Larisch Pauly: Elektrotechnik-Fachstufe 1 und 2 Energietechnik. Westermann Verlag, Braunschweig 1984	157
Klaus Jennewein	
Leserbrief	162
Autorenverzeichnis	166

Editorial

Das Schwerpunktthema des vorliegenden Heftes ist die "Elektrische Energietechnik". Das durch diese Bezeichnung abgedeckte Fachgebiet reicht von der Energieerzeugung bis zum Energieverbrauch, von der Energiepolitik bis zum Energiekonsum. Die gesellschaftliche Bedeutung dieses Teils der Elektrotechnik ist zumindest gleich dem der Nachrichtentechnik, lange Zeit wurde gesellschaftlich-technische Entwicklung mit dem Elektrifizierungsgrad gemessen, aber auch die Diskussion um die Erzeugung elektrischer Energie aus Kernenergie in jüngster Zeit zeigt den Stellenwert. Trotzdem liegt das Interesse der in der beruflichen Bildung tätigen Ausbilder und Lehrer z. Zt. mehr in den Problemen der Digitaltechnik, der Elektronik. Dafür ist sicher eine Ursache die technische Novität dieses Bereiches, seine schnelle Entwicklung, sein unmittelbarer Bezug zur Arbeitswelt, aber auch die leichtere Handhabbarkeit der Geräte in der Ausbildung. Die Entwicklung der elektrischen Energietechnik erscheint abgeschlossen, die Geräte können nur unbequem im Unterricht gehandhabt werden, die Umsetzung elektrischer Energie durch den Schüler im Experiment z.B. hat das Problem: Wohin mit der Energie?

Trotzdem oder gerade deswegen haben wie dieses Thema zum Schwerpunkt des Heftes 6 von "lehren & lernen" gewählt. Natürlich läßt sich ein derart umfassendes Gebiet nicht in einem Heft abdecken. Daher eine Auswahl, angefangen von der gesellschaftspolitischen Bedeutung der elektrischen Energieversorgung über die historische Darstellung der Anfänge zu den gesellschaftlichen Implikationen der technischen Entwicklung der Kraftwerke bzw. Kraftwärmekoppelungs-Anlagen. Dazu dann auch eine Unterrichtseinheit. Wir haben aber auch technische Akzente in zwei Bereichen gesetzt, der modernen elektrischen Antriebstechnik für Fahrzeuge und der Windenergieanlagen. Beide sind sicher Gebiete, die nicht unmittelbar zu den üblichen Inhalten beruflicher Ausbildung gehören. Sie stellen aber Bereiche dar, in denen die Facharbeiter durchaus arbeiten bzw. mit denen sie sich, wenn sie sich mit ihrem Tätigkeitsbereich über die unmittelbaren notwendigen Fertigkeiten hinausgehend beschäftigen, auseinandersetzen müssen. Und wir glauben, daß Inte-

ressen seitens der Lehrer und Ausbilder an modernen technischen Entwicklungen auch in der elektrischen Energietechnik bestehen und solche Darstellungen, auch mit ingenieurwissenschaftlichen Schwerpunkten, ihr Interesse finden.

Die Herausgeber

Jürgen Erling

Konzeption und Einsatz eines Experimentiergerätes zur Einführung in den Themenkomplex "Gleichrichterschaltungen" im Unterricht für energietechnische Berufe

Die Energietechnik wird dann schülerorientiert vermittelt, wenn sie von jedem Schüler handelnd erfahren werden kann. Diesem Anspruch ist der folgende Beitrag von Jürgen Erling verpflichtet, in dem er ein von ihm entwickeltes Schülerübungsgerät zur experimentellen Erarbeitung der Wirkungszusammenhänge von Drehstromgleichrichterschaltungen vorstellt. Darüber hinaus wird auch ein Vorschlag für eine Unterrichtseinheit gemacht, in der mit Hilfe der Experimentiereinrichtung schrittweise die Gleichrichterschaltung von dem Schüler erarbeitet werden kann.

Sicherlich gibt es noch alternative Möglichkeiten einer unterrichtlichen Bearbeitung dieses Themenkomplexes. Die Redaktion bittet daher ihre Leser, eigene Ideen zur Bearbeitung dieses Unterrichtsstoffes aufzuschreiben und uns zu senden.

1. Vorbemerkung

Es ist festzustellen, daß es derzeit keine Möglichkeit zur experimentellen Veranschaulichung der Wirkungszusammenhänge in Drehstromgleichrichterschaltungen gibt, und zwar schon alleine deshalb nicht, weil Drehstrom mit den üblichen Experimentiersystemen nicht darstellbar ist. Aus diesem Grunde wurde versucht, mit der Entwicklung des hier vorgestellten Schülerübungsgerätes diese Lücke zu schließen.

Gerade bei dem Unterrichtsgegenstand "Gleichrichterschaltungen" ist es sinnvoll, die Lerninhalte in Form von Schülerexperimenten "erarbeiten" zu lassen, weil

- a) elektrische Vorgänge grundsätzlich sinnvoll nicht wahrnehmbar sind. Es ist daher nötig, diese z.B. durch die Verwendung geeigneter Meß- und Experimentiergeräte - im Zusammenhang mit dem jeweiligen technischen System erfahrbar zu machen.
- b) Gleichrichterschaltungen - insbesondere in Drehstromsystemen - wegen der sehr komplexen Zusammenhänge in ihrer Funktion zunächst nur schwer nachvollziehbar sind.

Grundsätzlich ist zu beachten, daß der Schüler die Möglichkeit hat, sich das Verständnis für elektrotechnische Zusammenhänge durch den Umgang mit Meß- und Experimentiergeräten selbst zu er-

arbeiten; hierdurch gewinnt er vertiefere Kenntnisse und Fähigkeiten als bei einem Unterricht, der sich auf verbale, schriftliche und/oder graphische Veranschaulichung beschränkt.

2. Kriterien zur Entwicklung des Gerätes

Mit dem Schülerübungsgerät soll es möglich sein,

- die für Gleichrichterschaltungen speziellen elektrischen Größen - insbesondere in Drehstromsystemen - zu messen;
- die Wirkungszusammenhänge in den Gleichrichterschaltungen Einpuls- (M1), Zweipuls- (M2), Dreipuls- (M3) und Sechspuls- (M6)-Mittelpunktschaltung sowie Zweipuls- (B2) und sechspuls- (B6)-Brückenschaltung 1) zu veranschaulichen.

Hierzu muß das Gerät folgende Anforderungen erfüllen:

- Es muß ein gefahrloses Messen an Drehstromsystemen gewährleisten und hierzu den Sicherheitsanforderungen, basierend auf dem Geräte sicherheitsgesetz §§ 1-3, den allgemein anerkannten Regeln der Technik sowie den Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften genügen. 2)
- Es muß konzipiert sein,
 - daß die Gleichrichterschaltungen durch diskrete Bauelemente (Diode, Kondensator, Widerstand), die jeweils austauschbar sind, realisiert werden;
 - daß jedes einzelne Bauelement sichtbar und zugänglich ist, damit seine jeweilige Funktion in der Schaltung deutlich wird;
 - daß es durch seinen übersichtlichen Aufbau und seine leicht verständliche Handhabbarkeit ein selbständiges Arbeiten des Schülers ermöglicht;
 - daß es gegen massive Fehlschaltungen durch Schmelzsicherungen abgesichert wird, wobei Sicherungsdefekte angezeigt werden und die entsprechenden Sicherungen leicht auswechselbar sind.

1) Schaltungskennzeichen nach DIN 41761

- 2) - Vgl. § 3 Abs. 1 - Gesetz über technische Arbeitsmittel. Gerätesicherheitsgesetz vom 24. Juni 1968. Änderungsgesetz (BGBl I S. 717), BGBl III 8053-4).
 - Experimentierstände: siehe dazu VDE 0100 Teil 723/..80, Entwurf 2 und DIN 57100, Teil 723, Entwurf Mai 80.
 - Perilex-Steckverbindung nach DIN 49445 bis 448.

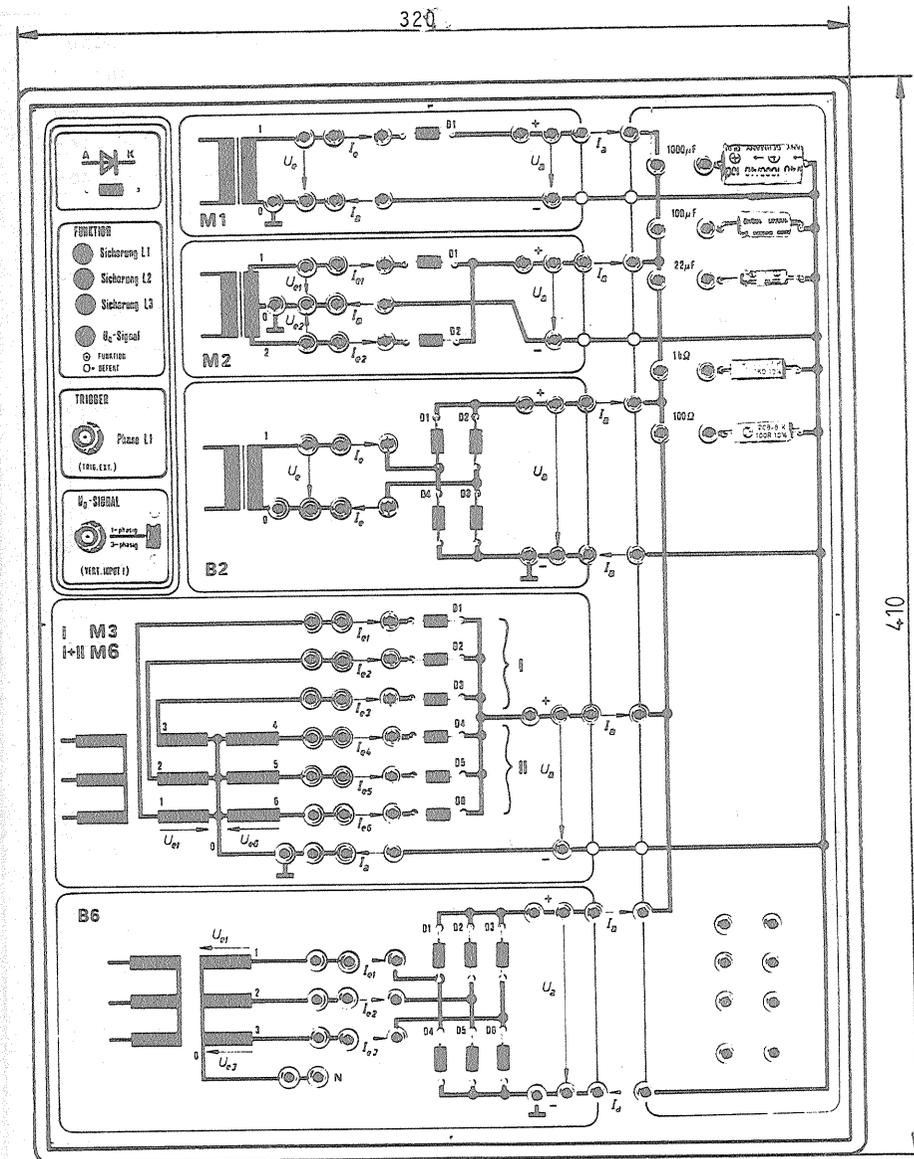


Bild 1:

Aufsicht auf das Schülerübungsgerät. Die Bauelemente (Dioden, Kondensatoren und Widerstände) sind von oben bestückt und für Messungen und Widerstände sind von oben zugänglich. Zum Gerät gehören weiterhin 10 Kurzschlußstecker und ein Shuntwiderstand

Aufbau des Gerätes

Eine in das Schülerübungsgerät (Bild 1) integrierte elektronische Schaltung ermöglicht die Darstellung der Eingangsspannungen der Gleichrichterschaltungen - entweder ein- oder dreiphasig - auf dem Bildschirm eines Zweikanal-Oszilloskops. Hierfür wird nur ein Eingangskanal des Oszilloskops benötigt, so daß der andere für weitere Messungen zur Verfügung steht.

Mit Kurzschlußsteckern lassen sich die Verbindungen von den Transformatorausgängen zu den einzelnen Dioden der Gleichrichterschaltung sowie zu den R- und C-Lasten herstellen. Durch den Austausch eines Kurzschlußsteckers mit dem vorhandenen Shuntwiderstand ist eine indirekte Strommessung mit dem Oszilloskop möglich. Der Zugang für weitere Meßgeräte zu jedem Bauelement ist über zusätzlich vorhandene Buchsen gegeben.

Der Anschluß des Oszilloskops erfolgt durch BNC-Kabel über die oben links im Gerät angeordneten Buchsen "Trigger" und "U-Signal". Mit dem sich auch dort befindlichen "U_e-Signal-Wahlschalter" läßt sich die Darstellung des Eingangsspannungssignals auf dem Oszilloskopschirm von ein- auf dreiphasige Abbildung umschalten.

Der hier verwendete Drehstromtransformator ist so in dem Gerät verschaltet, daß alle Gleichrichterschaltungen mit ihm versorgt werden können. Mit den von ihm gelieferten Kleinspannungen (5,5V) führt der Schüler seine Untersuchungen an den Gleichrichterschaltungen durch.

Die Ausgänge des Transformators sowie die Ein- und Ausgänge der Gleichrichterschaltungen sind mit Ziffern, Symbolen und farbiger Kennzeichnung der elektrischen Größen versehen. Somit können die Schüler Stromwege verfolgen, Funktionsabläufe nachvollziehen und Wirkungszusammenhänge erklären. Als optische Unterstützung für die vorgesehenen Steckverbindungen dienen Strompfeile. Immer dort, wo die Pfeile angebracht sind, muß entweder durch ein Strommeßgerät, einen Kurzschlußstecker oder einem Shuntwiderstand der zu untersuchende Stromkreis geschlossen werden. Dieses Steckschema ist von der M1 bis zur B6-Schaltung eingehalten und wird optisch durch die untereinanderliegende Anordnung der Buchsen verstärkt.

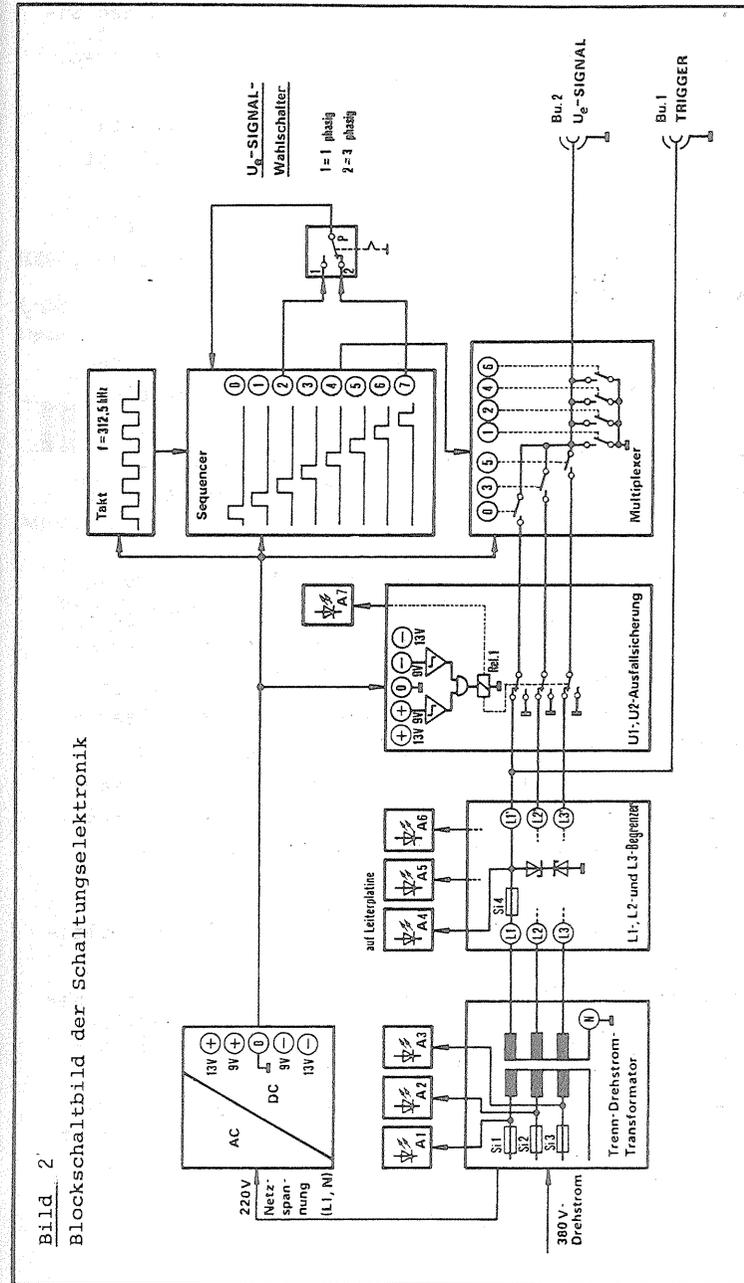


Bild 2
Blockschaltbild der Schaltungselektronik

Bild 2 zeigt das Blockschaltbild der für die Signalaufbereitung verwendeten Elektronik. Der Drehstromtransformator ist primär- und sekundärseitig in Sternschaltung verdrahtet. Er ist mit den Sicherungen Si1, Si2 und Si3 für die Phasen L1 bis L3 abgesichert. Sie befinden sich leichtzugänglich im oberen linken Gehäuserahmen.

Die Funktionen dieser Sicherungen werden mit den Anzeigorganen A1, A2, und A3 links oben (siehe dazu Bild 1) im Gerät angezeigt (Anzeige leuchtet - Sicherung intakt; Anzeige leuchtet nicht - Sicherung defekt). Das Anzeigorgan A7, das die Betriebsbereitschaft der Schaltungselektronik für das "U_e-Signal" signalisiert, befindet sich ebenfalls dort.

Die dem Transformator entnommenen Kleinspannungen für L1, L2 und L3 gegen N sind zunächst über die Baugruppen "L1-, L2- und L3-Begrenzer" und "U₁-, U₂-Ausfallsicherung"¹⁾ geschaltet. Diese Baugruppen dienen dem Schutz der nachfolgenden Schaltung, des Analogmultiplexers²⁾. Sie signalisieren über Anzeigorgane ihre Betriebsbereitschaft.

Die Ansteuerung der elektronischen Schalter erfolgt aus dem vom Taktgenerator gesteuerten Sequencer³⁾. Die Sequencer-Ausgänge Obis 7 sind mit den Steuereingängen der namengleichen elektronischen Schalter verbunden. Mit Schalter 0 wird das Spannungssignal der Phase L1, mit Schalter 3 das der Phase L2, mit Schalter 5 das der Phase L3 und mit den übrigen Schaltern 1,2,4,6 das des N-Leiters auf die gemeinsame, mit der Buchse Bu2 (U_e-Signal) verbundene Ausgangsleitung geschaltet. Dies geschieht bei der 1phasigen Darstellung in 6 μs, bei der 3phasigen in μs, so daß in-

- 1) U₁=0V und U₂=9V sind die Versorgungsspannungen des Analog-Multiplexers.
- 2) Analog-Multiplexer.
Der hier verwendete Multiplexer ist ein schneller elektronischer Umschalter mit einer Schaltebene und sechs Schalterstellungen, der nacheinander die Signale L1, L2, L3 und N auf die gemeinsame Ausgangsleitung "U_e-Signal" schaltet.
- 3) Sequencer.
Der hier verwendete Sequencer (Bild 2) ist ein Pulsgeber, der die von dem Taktgeber erzeugten Pulse nacheinander auf die acht Ausgänge 0 bis 7 verteilt.

folge dieser schnellen Schaltzyklusfolge auf dem Oszilloskopschirm die Abbildung des Liniendiagramms bei einem Zeitablenkungsfaktor von 5 ms/cm gezeichnet wird. Das Oszilloskop wird über Buchse Bu1 vom L1-Signal getriggert, damit das Bild immer im Nulldurchgang der Phase L1 beginnt.

4. Messen mit dem Gerät

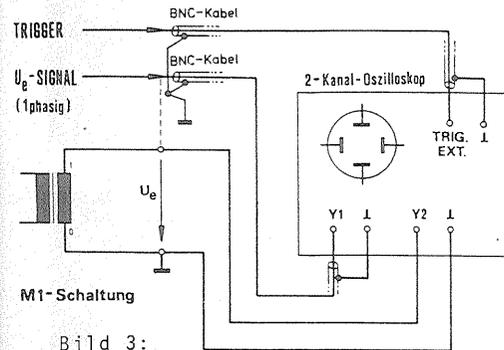


Bild 3: Meßschaltung zur Messung von Spannungen, mit Y1=U_e-Signal (1phasig) und Y2=flexibel

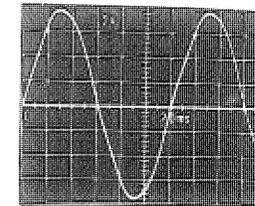
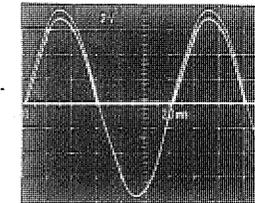


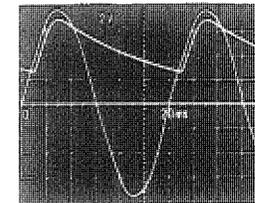
Bild 4: Eingangsspannungen
Y1=U_e-Signal (1phasig)
Y2=U_{e1}- Trafospannung

Bild 5: Ein- und Ausgangsspannung der M1-Schaltung mit ...

a) R-Last



b) R-C-Last



In den Bildern 3 und 6 sind die Meßschaltungen zur Messung der Eingangsspannungen dargestellt. Zur Überprüfung der Deckungs- und Phasengleichheit werden die Transformatorspannungen auf den Y2-Kanal geschaltet. Dies zeigen die Bilder 4 und 7. Danach steht der Y2-Kanal für andere Messungen zur Verfügung, hier dargestellt in den Bildern 5a und 5b.

Bild 6:

Meßschaltung zur Messung von Spannungen, mit $Y1=U_e$ -Signal (3phasig) und $Y2=flexibel$

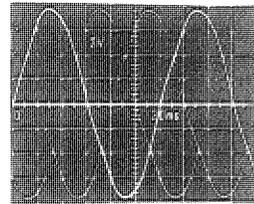
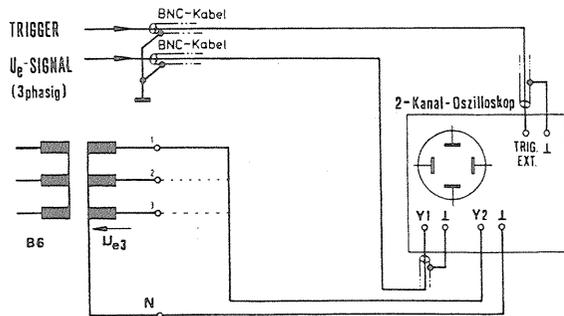


Bild 7: Eingangsspannungen
 $Y1=U_e$ 1-Trafospannung

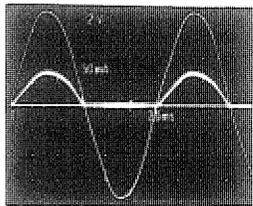
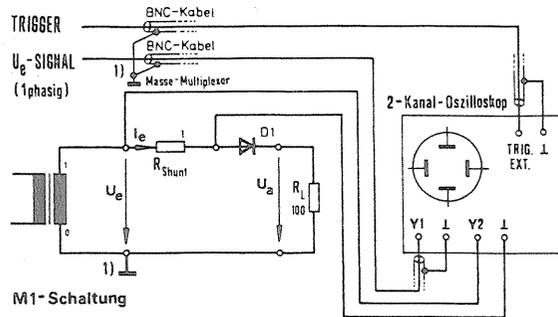


Bild 9:

Eingangsspannung und -strom der M1-Schaltung



M1-Schaltung

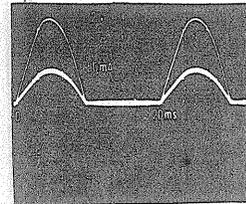
Bild 8:

Meßschaltung zur Messung von Eingangsspannung und -strom

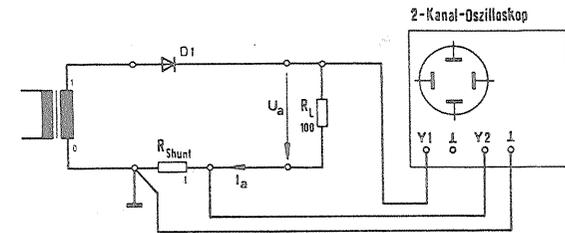
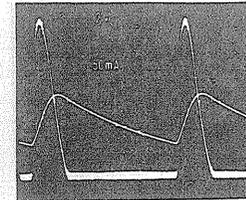
Bilder 11:

Ausgangsspannung und -strom der M1-Schaltung mit

a) R-Last



b) R-C-Last



M1-Schaltung

Bild 10:

Meßschaltung zur Messung von Ausgangsspannung -strom

Über einen Meßwiderstand, der in Reihe in den Stromkreis eingeschaltet wird, kann der zeitliche Verlauf des Stromes indirekt gemessen werden. Die Bilder 8 und 10 zeigen die Meßanordnungen dazu. Der Strom errechnet sich aus der Größe des Meßwiderstandes und der gemessenen Spannung nach dem Ohmschen Gesetz.

Mit $R_{Shunt}=10\Omega$ ergibt sich bei einem Ablenkfaktor von 50 mV/cm für den Strom ein Ablenkfaktor von 50 mA/cm .

Auch über den Kanal Y1 kann flexibel verfügt werden, wenn die " U_e -Signale" nicht dargestellt werden müssen (siehe dazu die Meßanordnung in Bild 10 sowie die Bilder 11a und 12b).

1) Die Leitung "Masse-Multiplexer" ist nicht mit dem Massepotential des Transformators verbunden.

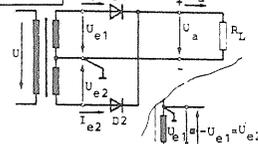
5. Einsatz des Gerätes im Unterricht

Mit sieben Versuchsgeräten ist eine Unterrichtsreihe durchgeführt worden, die im folgenden exemplarisch dokumentiert werden soll. Aus Gründen des Umfangs beschränkt sich die anliegende Darstellung auf den Unterricht zur M2-Schaltung.

Vor Einsatz der Versuchsgeräte wurde mit den Schülern der Gebrauch des Oszilloskops als Meßgerät praxisnah geübt. Es sind dazu einfache Messungen an den Transformatoren des Versuchsgerätes durchgeführt worden. Die Schüler haben die auf dem Schirm erscheinenden Oszillogramme der Spannungen u_{e1} , u_{e2} und u_{e3} als Liniendiagramme in ein Arbeitsblatt übertragen. Sie machten sich vertraut mit der Anordnung und den Symbolen der Transformatoren auf dem Deckblatt (Bild 1) sowie mit der Arbeits- und Funktionsweise der Ausgänge "Trigger"- und "U_e-Signal".

Auf diesen Übungen aufbauend wurden die Gleichrichterschaltungen M1 bis B6 mit den Schülerübungsgeräten untersucht.

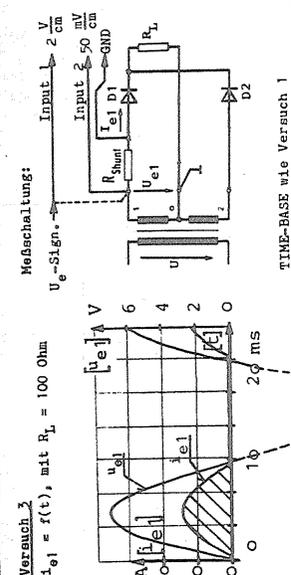
5.1. Geplanter Unterrichtsverlauf "Gleichrichterschaltung M2"

Lerninhalt	Lernprozeß / Handlung	Methode	Medien	Bemerkung
1. Problemstellung Es wird ein Netzteil mit "Zweipuls-Mittelpunktschaltung M2" gezeigt. 	Die Schüler beobachten das gezeigte Netzteil. Sie beobachten die Schaltung, die der Lehrer auf Folie zeigt. Der Lehrer zeigt auch einen bereits entsprechend geschalteten Halbleiterbaustein. <u>Warum wird diese Schaltung als Gleichrichterschaltung verwendet?</u>	Lehrerdemonstration	Netzteil, Tageslichtprojektor, Folie 1	Die Benennung dieser Gleichrichterschaltung »Zweipuls-Mittelpunktschaltung M2« wird absichtlich nicht vom Lehrer angegeben. Der Schüler soll in der 5. Unterrichtsphase »Auswertung« diese Namengebung, mit den gewonnenen Meßergebnissen, selbst finden.
2. Arbeitsplanung Aufnahme der Liniendiagramme mit $R_L = 100 \Omega$ 1. Versuch, $u_{e1} = f(t)$ mit $u_{e2} = f(t)$ 2. Versuch, $u_{e1} = f(t)$ mit $u_a = f(t)$ 3. Versuch, $u_{e1} = f(t)$ mit $i_{e1} = f(t)$ 4. Versuch, $u_{e1} = f(t)$ mit $i_{e2} = f(t)$ 5. Versuch, $u_{e1} = f(t)$ mit $i_a = f(t)$	Schüler schlagen Messungen zur Untersuchung vor, um diese Frage beantworten zu können. Lehrer trägt die zu messenden elektr. Größen, $u_{e1}, u_{e2}, u_a, i_{e1}, i_{e2}$ und i_a , auf Folie 1 "Problemstellung" nach. Mit $R_L = 100 \Omega$	einweisende Lehrerrunde, fragend-entwickelnd	Tageslichtprojektor, Folie 1	Das Liniendiagramm $u_{e1} = f(t)$ ist auf den Arbeitsblättern aus methodischen Gründen vorgegeben (der Schüler kann das OS-Bild des jeweils anderen Liniendiagramms leichter übertragen).

Arbeitsblatt Nr. 2 MUSTERLÖSUNG
Zweipuls-Mittelpunktschaltung M2

Datum: _____
Klasse: _____
Gruppe: _____

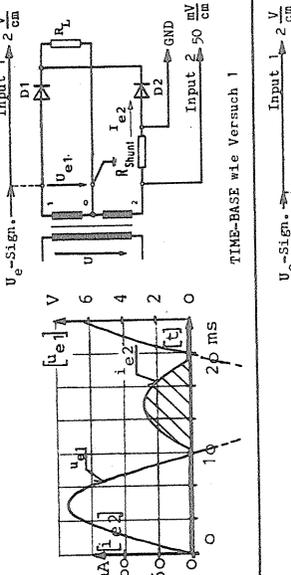
Versuch 3
 $i_{e1} = f(t)$, mit $R_L = 100 \Omega$



Meßschaltung: U_e -Sign., Input 1 $\rightarrow 2 \frac{V}{cm}$, Input 2 $\rightarrow 50 \frac{mA}{cm}$

TIME-BASE wie Versuch 1

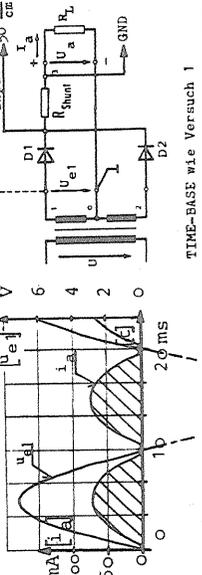
Versuch 4
 $u_{e1} = f(t)$, mit $R_L = 100 \Omega$



Meßschaltung: U_e -Sign., Input 1 $\rightarrow 2 \frac{V}{cm}$, Input 2 $\rightarrow 50 \frac{mV}{cm}$

TIME-BASE wie Versuch 1

Versuch 5
 $u_a = f(t)$, mit $R_L = 100 \Omega$



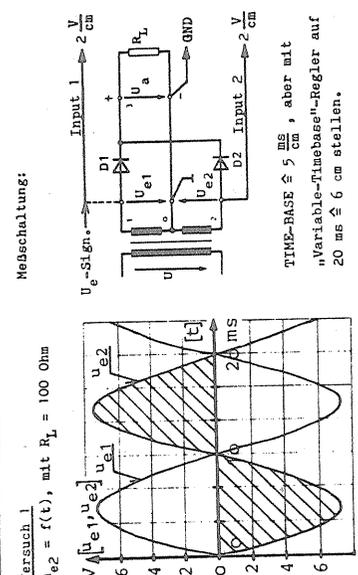
Meßschaltung: U_e -Sign., Input 1 $\rightarrow 2 \frac{V}{cm}$, Input 2 $\rightarrow 50 \frac{mV}{cm}$

TIME-BASE wie Versuch 1

Arbeitsblatt Nr. 1 MUSTERLÖSUNG
Zweipuls-Mittelpunktschaltung M2

Datum: _____
Klasse: _____
Gruppe: _____

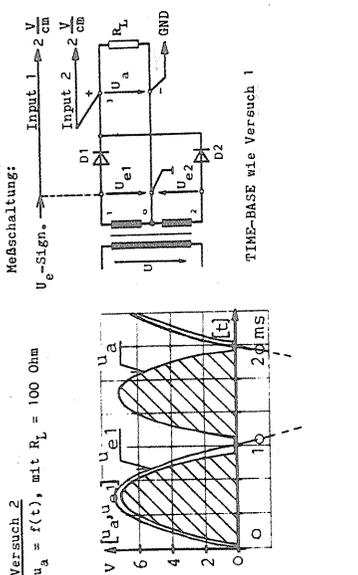
Versuch 1
 $u_{e2} = f(t)$, mit $R_L = 100 \Omega$



Meßschaltung: U_e -Sign., Input 1 $\rightarrow 2 \frac{V}{cm}$, Input 2 $\rightarrow 2 \frac{V}{cm}$

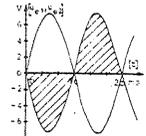
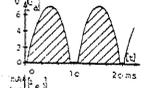
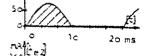
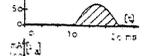
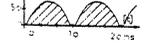
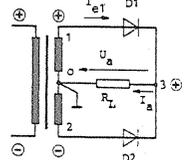
TIME-BASE $\geq 5 \text{ ms}$, aber mit "Variable-Timebase"-Regler auf 20 ms $\approx 6 \text{ cm}$ stellen.

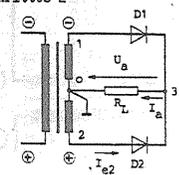
Versuch 2
 $u_a = f(t)$, mit $R_L = 100 \Omega$



Meßschaltung: U_e -Sign., Input 1 $\rightarrow 2 \frac{V}{cm}$, Input 2 $\rightarrow 2 \frac{V}{cm}$

TIME-BASE wie Versuch 1

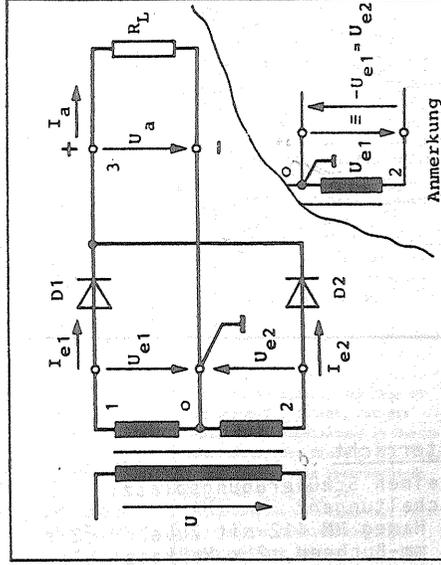
<p><u>3. Durchführung</u> <u>Aufnahme der Liniendiagramme der M2-Schaltung:</u> Versuch 1 Versuch 2 Versuch 3 Versuch 4 Versuch 5 Versuchsordnung der Versuche 1 bis 5 siehe Arbeitsblatt</p>	<p>Die Schüler führen die Versuche 1 bis 5 durch. Der Lehrer beobachtet die Gruppen und gibt Hilfestellungen bei evtl. auftretenden Problemen.</p>	<p>arbeits-gleiche Gruppenarbeit</p>	<p>7 Meß-plätze, Folien 2.1.2 „Ergebnisvergleich“, Arbeitsblätter</p> <p>Folien werden an einige Gruppen, für den Ergebnisvergleich, vom Lehrer ausgeteilt. (Folie 2.1 und 2.2)</p>
<p><u>4. Ergebnisvergleich</u> (siehe dazu Musterlösung, Arbeitsblatt)</p> <p>Versuch 1 </p> <p>Versuch 2 </p> <p>Versuch 3 </p> <p>Versuch 4 </p> <p>Versuch 5 </p>	<p>Die Schüler stellen ihre Meßergebnisse auf Folie 2 „Ergebnisvergleich“ zusammenfassend vor. Feststellungen werden vom Schüler verbal geäußert. Mögliche falsche Meßergebnisse verbessern die Schüler auf ihren Arbeitsblättern.</p>	<p>Schülerdemonstration</p>	<p>Tageslichtprojektor, Folien 2.1.2 „Ergebnisvergleich“, Arbeitsblätter</p>
<p><u>5. Auswertung</u> <u>Lernschritt 1</u> <u>5.1.1. Im Zeitbereich 0 bis 10 ms</u>  Liniendiagramme dazu siehe 4. Ergebnisvergleich 5.1.2. D₂ sperrt, D₁ leitet 5.1.3. Über D₁ fließt I_{e1}. $I_{D1} = I_{e1}$ 5.1.4. I_{e1} bewirkt Spannungsabfall an R → u_a 5.1.5. An D₂ liegt die Spannung $U_{Sperr} = U_{e1} - U_{e2} = 2U_{e1}$, mit $U_{e1} = U_{e2}$ $U_{Sperr} = 2U_{e1} = 2U_{e2}$, mit $U_{e1} = -U_{e2}$</p>	<p>Lehrer übernimmt die Koordinierung der Ergebnisse. Folie 2.3 „Auswertung“ wird aufgelegt. Die Schüler stellen fest, daß im Zeitbereich t=0 bis 10ms die Diode D₁ leitet, die Diode D₂ sperrt. Die positive Netzhalbwellen wird ausgenutzt, äußern die Schüler. Entsprechende Nachträge auf Folie 2.3 zu den Schüleräußerungen übernimmt der Lehrer.</p> <p>Die Schüler äußern, daß über D₁ ein Strom I_{e1} fließt, daß die maximale Strombelastung in Durchlafrichtung der Diode D₁ $I_{D1} = I_{e1}$ bzw. die maximale Sperrspannung $U_{Sperr} = 2U_{e1} = 2U_{e2}$ ist. Entsprechende Nachträge auf Folie 2.3 zu den Schüleräußerungen übernimmt der Lehrer</p>	<p>Lehrerredede, fragend-entwickelnd, Folie 2.1.2.3 Lehrer-Schülergespräch</p>	<p>Tageslichtprojektor, Folie 2.1.2.3 „Ergebnisvergleich“, „Auswertung“ evtl. Tafel,</p>

<p><u>Lernschritt 2</u> <u>Im Zeitbereich t = 10ms bis 20ms</u> gleiche Vorgehensweise wie bei den Teillernschritten des Lernschrittes 2</p>  <p><u>Lernschritt 3</u> Positive und negative Netzspannungsschwingung von u_a werden zur Energielieferung ausgenutzt. <u>Namengebung</u> Während einer Periode der speisenden Wechselspannung fließen in Gleichstromkreis zwei Strompulse, daher Ziffer 2. Die Schaltung gehört zur Familie der Mittelpunktschaltungen, daher Buchstabe M → M2-Schaltung.</p>	<p>Schüler äußern die Ergebnisse und übernehmen auch die entsprechenden Nachträge auf Folie 2.3.</p>	<p>Schülerredede evtl. mit Lehrerführung Tageslichtprojektor, Folie 2.1.2.3 „Ergebnisvergleich“, „Auswertung“, evtl. Tafel</p>
<p><u>6. Bereitstellung</u> Rückgriff auf Problemstellung zur Klärung</p>	<p>Schüler beantworten die Eingangsfraage</p>	<p>fragend-entwickelnd Netzteil</p>
<p><u>7. Anwendung</u> Umwandlung der Wechselspannung in eine Gleichspannung; Netzteil für Kleingeräte in Verbindung mit Le-dekondensator</p>	<p>verbale Anwendung</p>	<p>fragend-entwickelnd Hier ist nicht die Einübungsphase für Schüler gemeint, sondern die Anwendung der M2-Schaltung als technische Schaltung.</p>
<p><u>8. Ergebnissicherung</u> 8.1. Lernzielkontrolle Lernzielkontrolle wird in verbaler Form durch Fragen mit Folienunterstützung durchgeführt (siehe dazu Folie 3, Lernzielkontrolle). 8.2. Hausaufgaben siehe dazu Zusammenfassung</p>		<p>Ich habe auf dem Arbeitsblatt „Zusammenfassung“ die Erkenntnisse dieser Stunde ausführlich in verbaler Form aufgeschrieben. Damit hat der Schüler nochmals die Möglichkeit, diese Analyse der M2-Schaltung nachzuvollziehen. Die Lehrbücher der Schüler gehen auf dieses Thema in dieser Form nicht ein.</p>

5.2. Materialien zum Unterricht

- Verwendete Geräte (für einen Schülerübungsplatz)
 1 Gerät "Gleichrichterschaltungen"
 1 Zweikanal-Oszilloskop Hameg HM 412 mit Zubehör (2 x 1,2 m BNC-Kabel, 2 x Adapter BNC auf 4 mm-Buchsen, 2 x Meßkabel blau und 2 x Meßkabel rot).

Transparent 1 "Problemstellung" - "Arbeitsplanung" mit eingearbeiteten Lehreintragungen



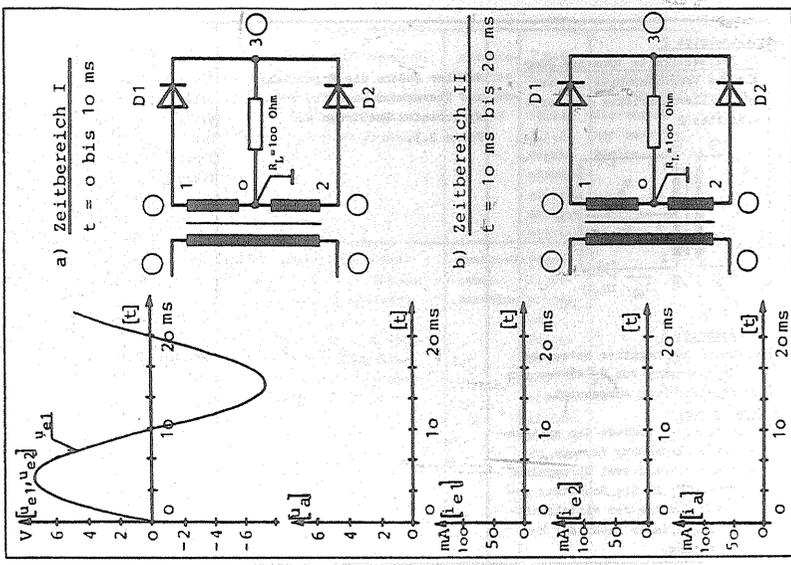
Anmerkung

Arbeitsplanung

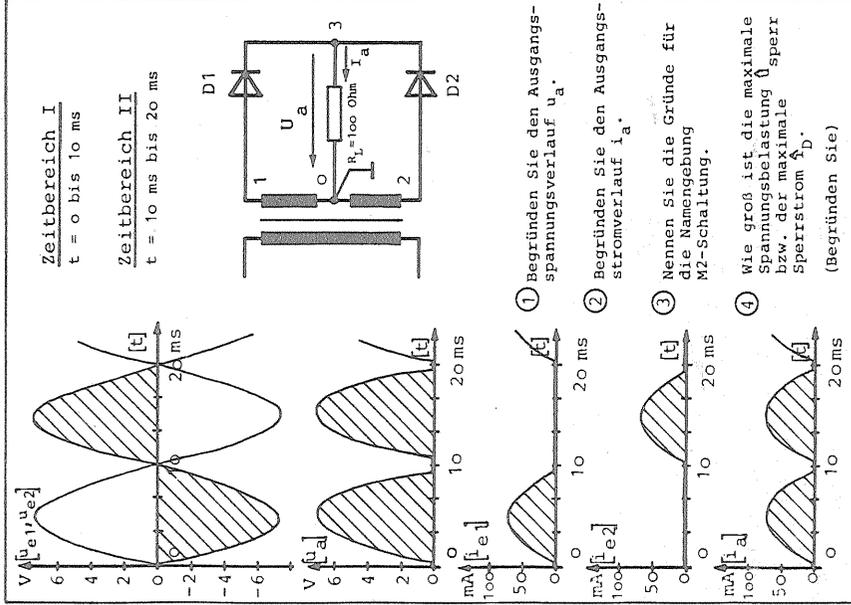
Aufnahme der Liniendiagramme mit $R_L = 100 \text{ Ohm}$

1. Versuch, $u_{e2} = f(t)$
2. Versuch, $u_a = f(t)$
3. Versuch, $i_{e1} = f(t)$ mit $u_{e1} = f(t)$
4. Versuch, $i_{e2} = f(t)$ vorgegeben !
5. Versuch, $i_a = f(t)$

Aufbautransparent 2 bestehend aus den Teilen 1, 2, 3 "Ergebnisvergleich" - Auswertung drei Transparente übereinandergelagert dargestellt



Transparent 3 "Lernzielkontrolle"



Arbeitsanweisung

1. Nehmen Sie die Liniendiagramme $u_e = f(t)$ von Versuch 1 bzw. das Liniendiagramm $u_a = f(t)$ von Versuch 2 auf, und tragen Sie die Spannungskurven mit blauer Farbe in das jeweilige Rasterfeld ein. Schraffieren Sie die Fläche unter der eingezeichneten Kurve.

2. Nehmen Sie die Liniendiagramme $i_{e1} = f(t)$ von Versuch 3, $i_{e2} = f(t)$ von Versuch 4 und $i_a = f(t)$ von Versuch 5 auf.

Beachte: Ampl. $I = 50 \text{ mA}$
cm

Übertragen Sie die Stromkurve mit roter Farbe in das jeweilige Rasterfeld.

Vervollständigen Sie den Strommaßstab an der rechten Rasterfeldkante für den positiven Bereich mit Hilfe der

$$\text{Beziehung } I = \frac{U_{\text{shunt}}}{R_{\text{shunt}}}$$

Die Arbeitsanweisung für die Arbeit mit dem Gerät im Schülerexperiment wird zusammen mit den anliegenden Arbeitsblättern als Grundlage zur Versuchsdurchführung ausgegeben.

Die von den Schülern in die Aufbautransparente 2.1. bis 2.3. einzutragenden Ergebnisse sind im geplanten Unterrichtsverlauf unter 4. Ergebnisvergleich und 5. Auswertung nachzulesen.

5. Oszillogramme der Gleichrichterschaltungen

5.1 Oszillogramme der Spannungen und Ströme bei der M2-Schaltung

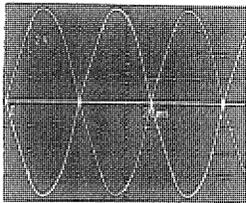


Bild 13

Bild 13:
Eingangsspannungen u_{e1} und u_{e2}

Bilder 14:
a) Ein- und Ausgangsspannung mit R-Last (Meßschaltung nach Bild 4)
b) wie a), aber mit fehlender Diode D2
c) wie a), jetzt mit fehlender Diode D1

Bild 14a

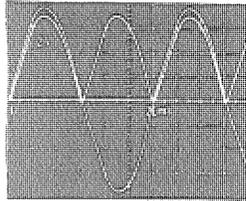


Bild 14b

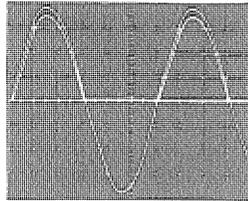


Bild 14c

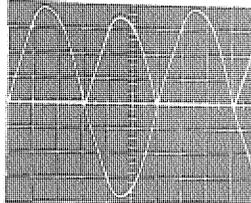


Bild 15a

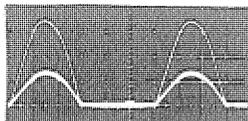


Bild 15b

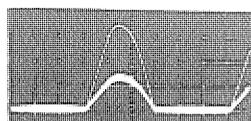
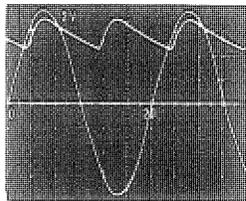


Bild 15c

Bild 16



Bilder 15:
a) Ausgangsspannung u_a und Ausgangsstrom i_a (Meßschaltung nach Bild 11)
b) wie a) aber mit fehlender Diode D2
c) wie a) aber mit fehlender Diode D1

Bild 16:
Ein- und Ausgangsspannung mit R-C-Last (Meßschaltung nach Bild 4)

Bild 17:
Ausgangsspannung und -strom mit R-C-Last (Meßschaltung nach Bild 11)

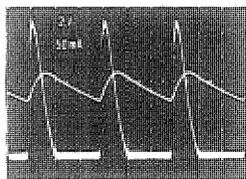


Bild 17

6.2 Oszillogramme der Spannungen und Ströme bei der M3-Schaltung

Bild 18a

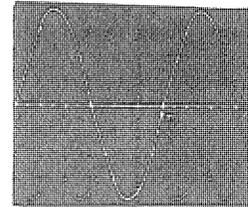


Bild 18b

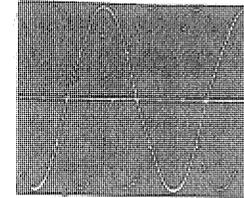


Bild 18c

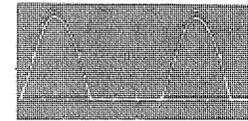
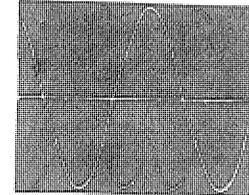


Bild 19a

Bild 19b

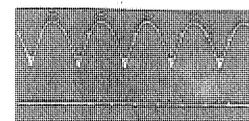


Bild 19c

Bilder 18:
Eingangsspannungen u_{e1} , u_{e2} und u_{e3} (Meßschaltung vgl. Bild 7)

$Y1=U_e$ -Signal (3phasig), $Y2=...$

- a) u_{e1} = Transformatorspannung
- b) u_{e2} = Transformatorspannung
- c) u_{e3} = Transformatorspannung

Bilder 19:
Ein- und Ausgangsspannungen mit R-Last (Meßschaltung vgl. Bild 7)

$Y1=U_e$ -Signal (3phasig), $Y2=U_a$

- a) Ausgangsspannung u_a mit fehlenden Dioden D2 und D3
- b) wie a) mit fehlender Diode D3
- c) wie a) mit allen Dioden D1, D2 und D3

Bild 20:
Eingangsspannung u_{e1} und Ausgangsspannung u_a (Meßschaltung vgl. Bild 4)

Bild 21:
Eingangsspannungen u_{e1} , u_{e2} und u_{e3} und Eingangsströme mit R-Last

(Meßschaltung vgl. Bild 9)

- a) Eingangsstrom i_{e1}
- b) Eingangsstrom i_{e2}
- c) Eingangsstrom i_{e3}
- d) Eingangsstrom i_{e3} = Ausgangsstrom i_a

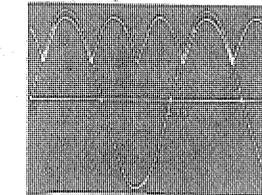


Bild 20

Bild 21a



Bild 21b

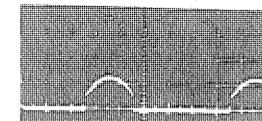
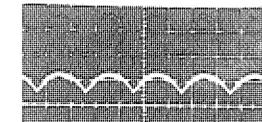


Bild 21c



Bild 21d



6.2 Oszillogramme der Spannungen und Ströme bei der B6-Schaltung

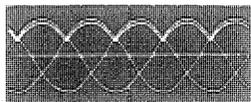


Bild 22 a

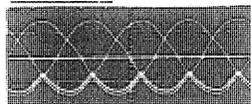


Bild 22 b

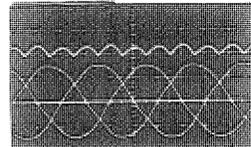


Bild 22_c

Bilder 22:

Eingangsspannungen u_{e1} , u_{e2} , u_{e3} und

- a) Spannung $U_{(+,N)}$
- b) Spannung $U_{(-,N)}$
- c) Ausgangsspannung

(Meßschaltung vgl. Bild 7)

Die Bilder 26 stellen die Eingangsspannungen, die Ausgangsspannung sowie die beiden Teilspannungen $U_{(+,N)}$ und $U_{(-,N)}$ gemessen zwischen Plus bzw. Minus und dem N-Leiter, dar (vgl. Bild 2, B6-Schaltung). Die Ausgangsspannung u_a ergibt sich durch geometrische Addition der beiden Teilspannungen.



Bild 23 a

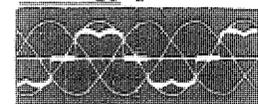


Bild 23 b

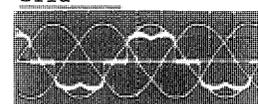


Bild 23c

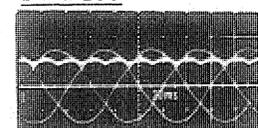


Bild 23 d

Bilder 23:

Eingangsspannungen u_{e1} , u_{e2} , u_{e3} und

- a) Eingangsstrom i_{e1}
- b) Eingangsstrom i_{e2}
- c) Eingangsstrom i_{e3}
- d) Eingangsstrom i_{eges} = Ausgangsstrom i_a

Die Bilder 27 zeigen die Eingangsspannungen, die Eingangsteilströme sowie den Ausgangsstrom. Der Ausgangsstrom ergibt sich wiederum durch geometrische Addition der Eingangsteilströme.

Schlußbemerkung

Wie aus den vorangegangenen Kapitel deutlich geworden sein dürfte, stellen sich die physikalischen Vorgänge, die bei Gleichrichterschaltungen in Drehstromsystemen zu erarbeiten sind, dem Schüler außerordentlich komplex dar.

In der vom Verfasser mit diesem Experimentiersystem durchgeführten Unterrichtsreihe ist es dennoch gelungen, die Schüler weitgehend selbständig die Wirkungszusammenhänge in Gleichrichterschaltungen erarbeiten zu lassen.

Entgegen anfänglichen Erwartungen hat sich dabei gezeigt, daß die Schüler nach erfolgter Einarbeitung das Versuchsgerät recht gut beherrschten und daß der Umgang mit dem Oszilloskop zum Schluß keinerlei Schwierigkeiten mehr bereitete. Dies ist bei Energietechnikerklassen nicht immer selbstverständlich.

Es hat sich allerdings auch gezeigt, daß die Vorgabe von gut strukturierten Arbeitsanweisungen für den Lernerfolg wichtig war, da in diesem Fall die Klasse kaum über Vorerfahrungen bezüglich des Durchführens von Schülerexperimenten verfügte.

Dieser Punkt ist grundsätzlich bei der Durchführung von Experimentalunterricht zu beachten. Bei weiteren Versuchen wurde in den Arbeitsvorgaben für die Schüler ein zunehmender Freiheitsgrad berücksichtigt.

Insgesamt läßt sich sagen, daß mit der experimentellen Erarbeitung des Themenkomplexes "Gleichrichterschaltungen" gute Erfahrungen gemacht werden konnten. Im Sinne der vorn beschriebenen Anforderungen hat das entwickelte Gerät hierbei seine Funktion sehr gut erfüllt.

Literatur

Erling, J.: Entwicklung, Dimensionierung und Aufbau von Modellschaltungen für Schülerversuche, nebst exemplarischer Erprobung in einer Energieanlageelektroniker-Fachklasse der Berufsschule, dargestellt am Thema der Si-Halbleiterdiode als Netzgleichrichter. Gesamtseminar für die Ausbildung und Fortbildung der Lehrer, Arnsberg, 1980 (vervielfältigtes Manuskript).

Rudolf Eschen
Jürgen Koffner
Siegmond Reeschke
Andreij Rodnizki

Dezentrale Energieversorgung am Beispiel der Wärme-Kraft-Koppelung - Versuch eines handlungsorientierten Unterrichts mit EnergieanlagenElektronikern

Das Unterrichtsschema einer dezentralen, verbesserten Energieerzeugung und -versorgung am Beispiel der Wärme-Kraft-Koppelung (WKK) für Auszubildende in Energieberufen erfahrbar zu gestalten ist ein nicht ganz einfaches Unterfangen. Die entsprechenden Möglichkeiten zur Entwicklung des WKK-Prinzips durch Schülerexperimente sind in vielen Berufsschulen nicht gegeben. Geschweige denn ein integrierter Theorie- und Praxisraum, der jedem Schüler oder jeder Schülergruppe einen eigenen Experimentierplatz bietet. Wie man aber trotz dieser Begrenzungen das Thema Wärme-Kraft-Koppelung bearbeiten kann, versucht der folgende Beitrag von W. Eschen u.a. zu zeigen. Die vier führten im Herbst 1984 ein auf 6 Wochen verteiltes 28-stündiges Unterrichtsprojekt für Elektroanlagenelektroniker (ENAE) im 2. Ausbildungsjahr an der Berufsschule für Elektrotechnik in Bremen durch. Obwohl dies für die Autoren die ersten Unterrichtserfahrungen waren, sie führten die UE im Rahmen der Berufsschullehrerausbildung an der Universität Bremen durch, fanden wir das Thema so interessant, daß wir es hiermit in I & I gern zur Diskussion stellen möchten.

1. Warum war uns diese Aufgabenstellung so wichtig?

Seit den "Energiekrisen" Mitte der sechziger und siebziger Jahre hat sich die Einstellung der Bevölkerung zum Energieverbrauch stark verändert. Der Verbraucher geht heute wesentlich bewußter mit der ihm angebotenen Energie um. Diese positive Entwicklung seiner Einstellung wurde durch flankierende staatliche Maßnahmen unterstützt. Eine ähnliche Entwicklung ist bei den Energieversorgungsunternehmen (EVU) bis heute jedoch nur ansatzweise erkennbar. Die EVU's beschränken sich sehr einseitig auf die stark zentralisierte Erzeugung und Vermarktung elektrischer Energie. Die aber gleichzeitig dabei anfallende Wärme wird als "Abfall" behandelt und in die Umwelt abgestoßen. Diese ungenutzte Wärmemenge entspricht etwa dem derzeitigen Heizbedarf aller privaten Haushalte in der BR-Deutschland und ist für Luft- und Wasserverschmutzung mit-

verantwortlich. Die Tätigkeit im Beruf des Energieanlageelektronikers (ENAE) erfordert u.a. die Kenntnis der elektrischen Maschinen, ihre Funktionsweisen und charakteristischen Merkmale sowie ihre Verwendungsbreite.

Vom ENAE wird ebenfalls erwartet, auftretende Fehler zu analysieren und im Rahmen der Instandsetzungs- und Wartungsarbeiten zu beheben.

Wärmekraftkoppelung (WKK)

Das Thema deckt einen wichtigen Teil dieses Anforderungsprofils des ENAE ab. Aufgrund seiner Komplexität bietet sich dafür ein fächerübergreifender Unterricht an, der auch die Erarbeitung gesellschaftspolitischer Fragestellungen mit einschließt. Lernziele dieses Unterrichts wären

- planvolles Arbeiten,
- experimentelles Handeln.
- Selbständige Funktionsanalyse der Gesamtanlage,
- Erkennen des Zusammenwirkens der zur Anlage gehörenden Baugruppen,
- Erkennen eigener Berufsperspektiven,
- Erarbeiten gesellschaftspolitischer Fragestellungen.

2. Projektverlauf - eine Übersicht

Die Handlungs- und Lernmöglichkeiten und die möglichen Lehrinhalte sind in der folgenden Übersicht stichpunktartig aufgelistet:

- a) Was die Schüler tun können (mögliche Handlungsziele der Schüler):
- Schüler formulieren die Projektaufgabe und planen die Unterrichtsinhalte grob vor.
 - Schüler bearbeiten in Kleingruppen Fragestellungen zum Thema.
 - Schüler tragen die Ergebnisse der Gruppenarbeit vor.

- Schüler erarbeiten im Rahmen einer Exkursion den Ist-Zustand der Energieversorgung in der BR-Deutschland.
- Sie stellen ein Info-Paket über Möglichkeiten einer dezentralen Energieversorgung zusammen.
- Sie entwickeln Schaltungen für die Inbetriebnahme von Asynchron-Motor und -Generator.
- Sie bauen Schaltungen für Asynchron-Motor und -Generator auf und nehmen sie in Betrieb.
- Sie messen charakteristische Größen des Asynchron-Motors und -Generators und erstellen Meßprotokolle und Diagramme.
- Sie finden die Fachliteratur und werten sie aus.
- Sie stellen die wichtigsten Funktionsgruppen als Blockschaltbild dar.
- Sie werten und beurteilen die charakteristischen Größen des Asynchron-Motors und -Generators für den Einsatz in einer WKK-Anlage.
- Sie erstellen eine Dokumentation zum Projekt.

3. Einteilung der Unterrichtseinheit in 6 Sequenzen

Erste Sequenz

Schüler und Studenten klären den Begriff "Projekt", formulieren die Projektaufgabe und planen den möglichen Projektverlauf.

Veranschlagte Zeit: 4 bis 5 Stunden

Die Projektaufgabe, d.h. das Ziel der Projektarbeit wird von Schülern und Studenten gemeinsam, entsprechend ihren Interessen gefunden, um die Motivation der Schüler zur Arbeit und ihre Identifikation mit dem Projektziel zu erreichen.

In dieser Eingangsphase äußern Schüler und Studenten ihre Vorstellungen über Unterricht und versuchen ein gemeinsames Unterrichtskonzept zu entwickeln. Hierbei wird der Begriff "Projekt" erläutert und mit für die Schüler greifbaren Inhalten ausgestattet (z.B.: Projektkriterien; methodische Komponenten; Aspekte

zur Planung des Lern- und Arbeitsprozesses). Die Inhalte des Projektbegriffes sollen nicht nur theoretisch in der Diskussion vermittelt werden, sondern es soll versucht werden, sie in dem Unterrichtsteil "Findung der Projektaufgabe" durch praktische Anwendung den Schülern zu verdeutlichen.

Die Energieversorgung wird der Klasse als Themenkomplex vorgeschlagen, aus dem die Projektaufgabe formuliert werden soll. Gehen mehrere Vorschläge für Projektaufgaben ein, werden mit den Schülern Entscheidungsmöglichkeiten für einen der Vorschläge festgelegt. Von studentischer Seite wird die Überprüfung der verschiedenen Projektaufgaben durch Arbeitsgruppen vorgeschlagen.

Die Gruppen stellen ihre Arbeitsergebnisse der Klasse z. B. in Form von Kurzreferaten, einer Wandzeitung oder einem Bewertungsbogen vor.

In einer Abschlußdiskussion findet eine Bewertung der einzelnen Projektaufgaben im Klassenrahmen statt.

Die Form der endgültigen Entscheidungsfindung für eine Projektaufgabe wird den Schülern übertragen.

Zweite Sequenz

Technikentwicklung im Zusammenhang mit gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Machtpositionen

Veranschlagte Zeit: 6 Stunden

Schüler und Studenten versuchen hier gemeinsam heraus zu finden, warum sich die Technik in der Bundesrepublik Deutschland auf dem Sektor der Energieversorgung (elektrisch, thermisch), so und nicht anders entwickelt hat.

Es wird im Rahmen dieser 2. Sequenz eine Exkursion zu den Stadwerken durchgeführt. Hier lernen die Schüler den Ist-Zustand

eines EV-Netzes (hier Modell von Bremen) kennen. Im Verlauf des darauf folgenden Unterrichts klären die Schüler, unter Berücksichtigung von gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Machtpositionen früher und heute, wie und weshalb sich die Energieversorgung in diese Richtung entwickelt hat.

Am Ende der 2. Sequenz wird von den Schülern eine Informationsbroschüre (Exkursion, Unterricht) zur "Technikentwicklung im Zusammenhang ..." erstellt.

Dritte Sequenz

Schüler vergleichen Energieflußdiagramme von Großkraftwerken und diskutieren über Möglichkeiten verbesserter Energieausnutzung unter Berücksichtigung des technischen Aufwandes und der Kosten.

Schüler stellen aus Fachliteratur, Fachaufsätzen und Prospektmaterial mehrere Energieflußdiagramme von Großkraftwerken zusammen. Durch Vergleich der eingesetzten Primärenergie mit der genutzten elektrischen Energie wird die Fragestellung nach einer besseren Energieausnutzung und damit auch nach einer verringerten Umweltbelastung entwickelt. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden in der Fragestellung mit berücksichtigt.

Als Lösungsvorschläge der Schüler werden erwartet:

- Nutzung der Abwärme in Fernheiznetzen
- Wärme-Kraft-Kopplung
- dezentrale Energieversorgung

Veranschlagte Zeit: 2 Stunden

Vierte Sequenz

Schüler erarbeiten Aufbau und Funktionsweise einer mit Wärmekraft gekoppelten Anlage.

Veranschlagte Zeit: 2 Stunden

Aufbauend aus dem Schülervorverständnis wird das Blockschaltbild einer Wärme-Kraft-Kopplung mit Antriebsmotor, Generator und Wärmeaustauscher entwickelt. Gleichzeitig wird die Funktionsweise der Baugruppen und ihr Zusammenwirken in der Anlage erarbeitet.

Fünfte Sequenz

Schüler untersuchen Aufbau und Betriebsverhalten von Asynchronmaschinen und bestimmen deren Einsatzbereiche als Motor und Generator.

Veranschlagte Zeit: 12 Stunden

Der Lehrplan für den ENAE der Fachstufe II sieht eine Vertiefung der Kenntnisse über elektrische Maschinen vor. Im praktischen Umgang mit den Maschinen im Labor lernen die Schüler diese näher kennen. Durch Aufnahme der Belastungskennlinien eines Asynchronmotors mit Käfigläufer soll das Betriebsverhalten diskutiert und die besonderen Merkmale herausgestellt werden. Die Schüler sollen den Einsatz des Asynchronmotors als Generator im netzgeführten Betrieb kennenlernen, in dem sie einen Asynchronmotor mit einem Gleichstromnebenschlusmotor über Nenndrehzahl antreiben, die zugeführte und abgegebene Leistung messen und daraus den Wirkungsgrad errechnen.

Mit den Meßdaten der simulierten Kleinanlage soll eine Wirtschaftlichkeitserrechnung über die Einsatzmöglichkeit einer "WKK-Anlage bezogen auf die Versorgung eines Einfamilienhauses" durchgeführt werden.

Sechste Sequenz

Schüler erstellen eine Dokumentation zum Projekt. Sie sammeln Beurteilungskriterien für die Einsatzmöglichkeit der dezentralen WKK und bewerten ihre Verwendbarkeit in der Praxis.

Veranschlagte Zeit: 6 Unterrichtsstunden.

Aus den während der gesamten Unterrichtseinheit gesammelten Informationen erstellen die Schüler ein Schülerbuch. Sie diskutieren über die Problematik der WKK im Zusammenhang mit der geschichtlichen und gesellschaftlichen Entwicklung der Energieerzeugung und -versorgung. Sie entwickeln Beurteilungskriterien für den Einsatzbereich einer WKK und bewerten die WKK als möglichen Tätigkeitsbereich eines ENAE's.

4. Erfahrungen mit dem Unterrichtsverlauf

Die zweite Unterrichtssequenz:

Technikentwicklung im Zusammenhang mit gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Machtpositionen

Wir hielten es für sinnvoll, daß der Auszubildende zum ENAE sich ausführlich mit der Geschichte seines Arbeitgebers (z.B. EVU's) beschäftigt, damit er die heutige Situation in dieser Industrie besser analysieren kann. Um nun zu verstehen, warum eine dezentrale Energieversorgung, hier am Beispiel der Wärme-Kraft-Kopplung, in der Bundesrepublik schwer zu realisieren ist, haben wir in dieser Sequenz die Abhängigkeit der "Technik-Entwicklung" von gesellschaftspolitischen Machtpositionen in den Vordergrund gestellt.

Am Anfang dieser 2. Sequenz wurde eine Exkursion zu den Bremer Stadtwerken durchgeführt. Hier lernten die Schüler den Ist-Zustand eines EV-Netzes (hier Modell von Bremen) kennen. Es stellte sich nun die Frage: Wie und weshalb hat sich die Energieversorgung in diese Richtung entwickelt? Diese Frage kann jedoch nur beantwortet werden, wenn man die Geschichte dieser Industrie kennt.

Dabei orientierten wir uns im wesentlichen nach dem von Günter Karweina herausgegebenen Sternbuch "Der Strom Staat"

Zuerst erhielten die Schüler einen Überblick über die gesamte geschichtliche Entwicklung der Energieversorgung, also von der Erfindung der Glühbirne 1880 von Th.A. Edison bis zum Atomkraftwerk der Neuzeit. Ebenso wurden die gesellschaftspolitischen Machtpositionen dieser Industrie (z.B. Macht der Banken und Politiker) erläutert. Diese Inhalte wurden durch einen Lehrvortrag vermittelt. Anschließend wurden Fragen und eigene Gedanken der Schüler innerhalb der Klasse diskutiert.

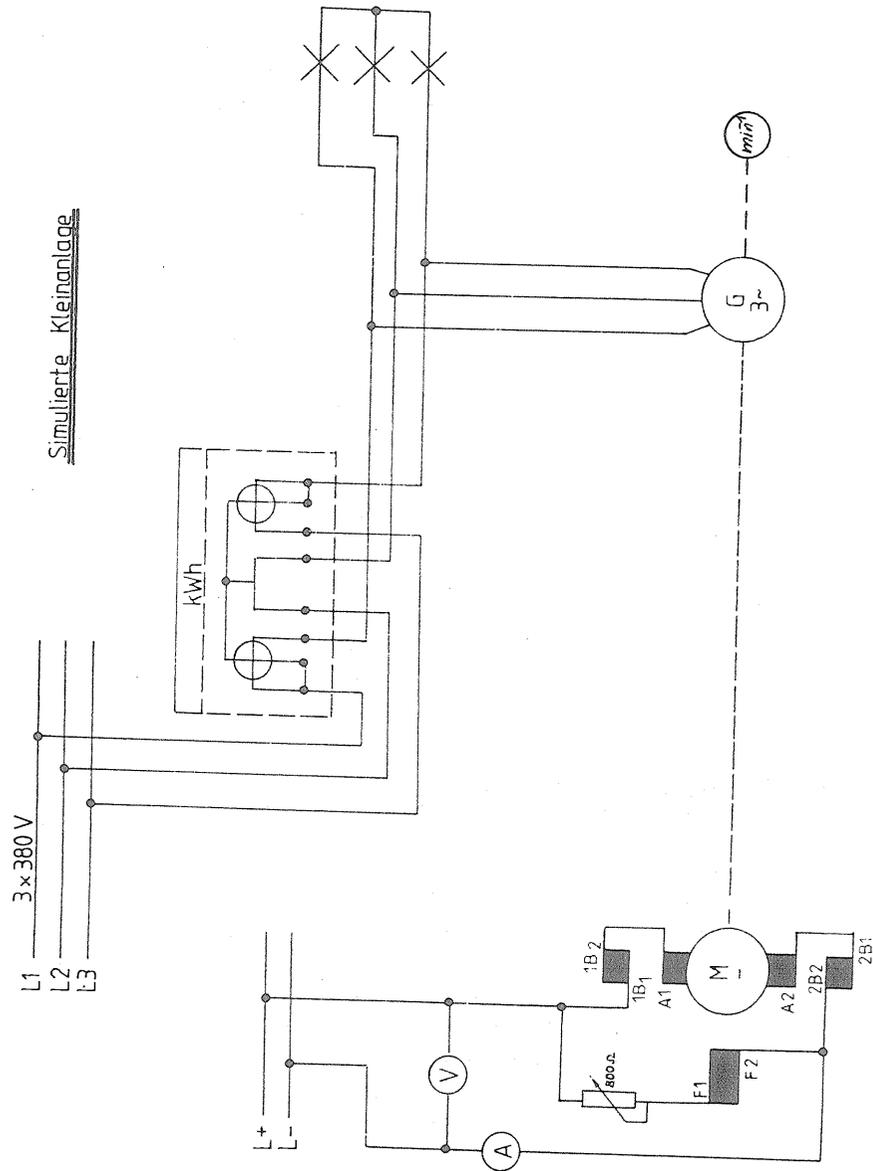
Da wir als Handlungsprodukt aus dieser Sequenz eine Informationsbroschüre erhalten wollten, ließen wir von den Schülern einzelne Kapitel zu diesem Thema als Referat ausarbeiten. Als Informationsquelle diente dabei das sehr informative Buch von Karweina "Der Strom Staat". Die Ausarbeitung der Referate erfolgte in Gruppenarbeit und wurde benotet. Später fanden diese im Schülerbuch Verwendung (siehe hierzu Sequenz 6).

Obwohl die Schüler kurz vor ihrer Facharbeiterprüfung standen, ließ ihre rege Mitarbeit erkennen, daß sie sich nicht nur für fachspezifische Fragen interessieren, sondern auch für gesellschaftspolitische Fragen Engagement zeigen. Dies vor allem dort wo sie einen direkten Zusammenhang zwischen Politik und Technik, mit der sie sich bisher durchaus positiv identifiziert hatten, erkennen konnten.

Zur dritten Unterrichtssequenz: Die Simulation einer Wärme-Kraft-Koppelung in einer Kleinanlage

Aufbau und Funktion einer WKK sind mit den Schülern an einem Blockschaltbild und unterstützt durch Prospektmaterial einer ausgeführten Anlage in vorangegangenen Unterrichtsstunden erarbeitet worden.

Ziel dieses Unterrichtsblocks, der ca. 8 Stunden einschließlich zwei Laborstunden umfaßte, war es, eine WKK-Anlage im Schullabor mit den begrenzten hier zur Verfügung stehenden Mitteln zu simulieren, sowie die Integration der Anlage in bestehende Versorgungsstränge aufzuzeigen.



Eine WKK-Anlage besteht aus den Hauptbaugruppen

- Antriebsmotor
- Generator
- Wärmetauscher
- Steuer- und Regelungseinheit

Bei der Simulation der Anlage beschränken wir uns auf den Antriebsmotor und den Generator.

Mit den Schülern wurden die Bestandteile der simulierten Anlage festgelegt und ein Schaltplan entwickelt (s.u.). Als Antriebsmotor wurde ein Gleichstrom-Nebenschluß-Motor gewählt und als Generator eine Asynchronmaschine.

Bei der Erarbeitung des Versuchszieles wurde von den Schülern die Bestimmung des elektrischen Wirkungsgrades der simulierten Anlage gefordert.

Die erforderliche Erweiterung der simulierten Anlage durch Verbraucher (3 x 15 W - Glühlampen) und Meßgeräte (kWh-Zähler, Strom- und Spannungsmesser in der Gleichstromversorgung) wurden in den Schaltplan eingefügt.

Die Meßaufgaben wurden vor der Laborstunde entwickelt, formuliert und jeweils die erforderlichen Meßgeräte zugeordnet. Die ausführliche Vorbereitung der Laborstunde ermöglichte es, den Versuch in einer Doppelstunde durch die Schüler in Zweiergruppen aufzubauen, zu verschalten und die Meßaufgaben abzufahren. Eine Beschreibung der Versuchsdurchführung möchten wir durch einen Auszug aus dem erstellten Schülerbuch wiedergeben:

... da uns keine Wärmekoppelung zur Verfügung stand, haben wir eine simulierte Kleinanlage entwickelt. Anstatt des Verbrennungsmotors, der sonst den Generator der Wärmekoppelungsanlage antreibt, haben wir einen Gleichstrommotor verwendet. Die sonst anfallende Wärme, die bei Kleinanlagen zur Erwärmung von Brauch- und Heißwasser verwendet wird, entstand bei unserer Laboranlage nicht. Die elektrischen Verbraucher im Haushalt simulierten wir durch drei 15 W Glühlampen, welche wir zuerst aus dem normalen Stromnetz speisten. Danach erhöhten wir die Drehzahl des Gleichstrom-Nebenschluß-Motors, bis die Zäblerscheibe des kWh-Zählers zum Stillstand kam. Nun waren wir nicht mehr auf das allgemeine Drehstromnetz zur Versorgung angewiesen. Nach weiterer Erhöhung der Drehzahl stell-

ten wir fest, daß sich die Zählerscheibe des KHW-Zählers rückwärts drehte - wir speisten Energie ins Netz zurück ...

Ein Eindruck über den Umfang der Meßaufgaben und der Verschaltung der simulierten Kleinanlage soll durch nachfolgenden Auszug aus einem Laborbericht vermittelt werden:

Meßaufgabe 1:

Ermittlung der Leistungsaufnahme der Verbraucher (Lampen)

Schaltung aufbauen (Netz/kWh-Zähler/Lampen);

E-Maschinen noch nicht verschalten!

benötigte Geräte:- Drehstromzähler

- Stoppuhr

- 3 Glühlampen, je 15 W

- Stecktafel mit 3 Fassungen

Zeit t_L für eine Umdrehung der Drehstrom-Zählerscheibe messen;

Zählerkonstante notieren.

Meßaufgabe 2:

Ermittlung des Wirkungsgrades

Schaltung ergänzen durch Zuschalten des GS-NS-Motors und der Asynchronmaschine.

Benötigte Geräte: - Geräte der Meßaufgabe 1

- GS-NS-Motor

- Asynchronmaschine

- Strommesser

- Spannungsmesser

- Stellbarer Widerstand 800 Ohm

Leistungsschilder der E-Maschinen:

GS-NS Motor

U 220 V

n 1500 min⁻¹

I_N 1,95 A

P_N 0,3 kW

I_E 0,12 A

Asynchronmaschine

U 380/660 V

n 1450 min⁻¹

I_N 0,75/0,45 A

P_N 0,3 kW

cosφ 0,7

0,82

- Drehzahl des Antriebsmotors langsam erhöhen, bis Drehstrom-Zählerscheibe zum Stillstand kommt.

Strom und Spannung des GS-NS-Motors notieren

- Drehzahl weiter erhöhen bis die Stromaufnahme des GS-NS Motors 4,5 A erreicht.

Strom und Spannung notieren;

Zeit für einen Umlauf der Drehstrom-Zählerscheibe t_R notieren.

Meßwerte:

Meßaufgabe 1 Umlaufzeit Drehstromzähler $t_L = 602$ s

Zählerkonstante $C_2 = 150$ kWh⁻¹

Meßaufgabe 2 Strom- und Spannungswerte $U_S = 168$ V

des GS-NS-Motors bei Zählerscheibenstillstand

Strom- und Spannungswerte $U_R = 160$ V

bei Rückspeisung ins Netz $I_R = 4,5$ A

Umlaufzeit Drehstromzähler $t_R = 114$ s

In der Auswertung der Laborberichte sollten die Schüler folgende Punkte behandeln:

- Ermittlung des Wirkungsgrades der simulierten Anlage aus den Meßergebnissen;

- Beschreiben des Verhaltens der Asynchronmaschine;

- Welche Informationen können dem elektrischen Wirkungsgrad einer WKK-Anlage entnommen werden?

Der Zeiteinsatz für diesen Laborversuch von einer Doppelstunde war ausreichend. Alle Arbeitsgruppen waren in der Lage die gestellten Meßaufgaben zu erfüllen; einige Gruppen begannen ca. 15 Minuten vor Ende der Laborstunde mit der rechnerischen Auswertung der Meßaufgaben.

5. Bemerkungen zum Schülerbuch

Als Handlungsprodukt der UE erstellten die Schüler eine Dokumentation (Schülerbuch) zum Projekt.

Der zeitliche Umfang betrug 3 Doppelstunden und teilte sich in 2 Phasen, der Vorbesprechung und der Erstellung.

Die Vorbesprechung zum Schülerbuch umfaßte 1 Doppelstunde.

Gemeinsam mit den Schülern wurde die Bedeutung eines Schülerbuchs, sowie die Form und der Inhalt geklärt.

Aus dem Inhalt und der Aufteilung ergaben sich notwendige Vorarbeiten zur Erstellung des Schülerbuchs. Dazu bildeten die Schüler 6 Arbeitsgruppen, die einzelnen Produkte in Form einer Hausarbeit vorbereiten sollten. Außerdem wurden den einzelnen Gruppen zusätzliche Informationsmaterialien zur Verfügung gestellt.

Die Erstellung des Schülerbuches wurde in zwei zusammenhängenden Doppelstunden durchgeführt.

Durch gute Vorbereitung der Hausarbeiten, sowie intensive Mitarbeit einzelner Schüler bei der Enderstellung des Schülerbuchs, hat das Schülerbuch als Handlungsprodukt guten Anklang bei den Schülern gefunden. Als Endprodukt ist ein festgebundenes Heft von 50 Seiten entstanden.

Detlef Genath

Fachpraktische Ausbildung von Elektro-Installateuren in einem thailändischem Polytechnikum

Anläßlich einer Reise nach Thailand hatte unser Redaktionsmitglied Detlef Gronwald die Gelegenheit, einen Entwicklungshelfer des Deutschen Entwicklungsdienstes (DED) zu besuchen, der als Kälteanlagenbau-Meister Facharbeiter in der Berufspraxis des Berufsfeldes Elektrotechnik ausbildet. In Zusammenarbeit mit thailändischen Gewerbelehrern sind von ihm in den letzten beiden Jahren mit sehr geringen finanziellen Mitteln zahlreiche Ausbildungseinheiten entwickelt worden, die z. T. auch für die deutsche Ausbildung interessant sein können. Herr Genath beschreibt im folgenden eine Einheit aus der von ihm durchgeführten fachpraktischen Ausbildung, wobei nur ein Teil der Unterlagen der Auszubildenden dargestellt werden können, da diese in thailändischer Sprache abgefaßt sind, in der Herr Genath auch unterrichtet.

In der Provinzhauptstadt Srisaket im Nordosten Thailands, nahe der Grenze zu Kambodscha, werden im Polytechnikum "Witialei Technik" Facharbeiter und Techniker der Fachrichtungen

- Elektrische Energietechnik
- Kraftfahrzeugtechnik
- Schweißtechnik
- Maschinenschlosser
- Bauwesen
- Hauswirtschaft/Textil

ausgebildet. In jedem Berufsfeld werden jedes Jahr 80 Auszubildende aufgenommen aus einer wesentlich größeren Zahl von Bewerbern. Diese Auszubildenden werden in drei Jahren zum Facharbeiter (pawascho) oder in fünf Jahren zum Techniker (pawaso) ausgebildet.

Die Ausbildung in der Fachrichtung Elektrische Energietechnik gliedert sich in drei inhaltlich und zeitlich gleichgewichtige Hauptteile

- Installationstechnik
- Motorwickelerei/Motorsteuerung
- Kältetechnik

Die fachtheoretischen und fachpraktischen Ausbildungsanteile finden integriert in der Ausbildungsstätte statt, wobei anteilig etwa 60% Praxis und 40% Theorie unterrichtet werden. Die fach-

praktische Ausbildung wird in der Werkstatt durchgeführt. Die Werkstatt ist ausgerüstet mit den von Lehrern, Meistern und Auszubildenden selbst mit finanzieller Unterstützung der Regierung hergestellten Ausbildungsmitteln. Die Ausbildungsstätte finanziert sich zum großen Teil selbst durch die Einnahmen aus dem Schulgeld. Die Auszubildenden zahlen pro Semester ca. 900 Bath Schulgeld, sie müssen Bücher, Arbeitsmaterial u.a.m. selbst finanzieren. Das Gehalt eines Lehrers beträgt ca. 3000 Bath im Monat. (Etwa 8 Bath = 1 DM)



Die Klassengröße beträgt 20 Auszubildende, in der Werkstatt arbeiten Gruppen von 2 bis 4 Auszubildenden an einem Gerät. Zu dieser Arbeit wurden Arbeitsblätter und Reader, die von den Lehrern und Meistern erstellt werden, für die durchzuführenden Versuche und Arbeiten am Gerät benutzt. Die Theorie zu diesen Arbeiten wird in allgemeiner Form vorher von den Lehrern vermittelt, die Arbeiten werden unmittelbar nach der Theorievermittlung in der Werkstatt durchgeführt, unterstützt durch gezielte Unterweisungen. Hauptziel der Arbeit an technischen Einrichtungen und Geräten ist es, eine Handlungsfähigkeit zu erreichen, die es den Facharbeitern und Technikern ermöglicht, Geräte fachgerecht selbständig zu installieren, zu warten und zu

reparieren. Der Aufbau von Geräten spielt in der Ausbildung eine sehr nachgeordnete Rolle, es wird nur die Montage kleiner Anlagen aus handelsüblichen Komponenten durchgeführt. Fehlersuche und Reparatur sind hier, bezogen auf die beruflichen Möglichkeiten, die wichtigsten Tätigkeiten. Die ausgebildeten Facharbeiter bleiben zumeist in der weiteren Umgebung ihres Heimatortes. Da aber in ca. 500 km Umkreis keine elektrotechnische Industrie vorhanden ist, ist die einzige Berufschance die Eröffnung eines eigenen Installations- und Reparaturgeschäftes. Dafür werden die Facharbeiter auch ausgebildet. Dabei werden die Inhalte und Ziele der Ausbildung ebenfalls durch Lehrpläne festgelegt, die von der Berufsausbildungsabteilung des Erziehungsministeriums erstellt worden sind. Diese Pläne entsprechen in der Detaillierung etwa den deutschen Rahmenlehrplänen. Die Füllung dieser Rahmenpläne wird durch die in der Ausbildung tätigen Lehrer und Meister entsprechend den örtlichen Gegebenheiten selbst erarbeitet. Dabei spielen die örtlichen Randbedingungen, wie Berufschancen, Werkstattausstattung u.a.m. eine große Rolle, ebenso wie die meist knappen finanziellen Mittel berücksichtigt werden müssen. Der DED unterstützt die berufliche Bildungsarbeit durch die Entsendung eines Entwicklungshelfers zur Verbesserung der theoretischen und praktischen Ausbildung und durch finanzielle Hilfe bei der Erstellung technischer Medien.

Kühlschrank mit Heißgasabtauung

Der Kühlschrank mit Heißgasabtauung stellt ein handelsübliches Gerät in Thailand dar. Die Reparatur derartiger Geräte ist bei den hohen Preisen für Neugeräte eine häufig vorkommende Arbeit.

Das Gerät wird an verschiedenen Komponenten in einem Rahmen aufgebaut. Elektrischer und kältetechnischer Teil ist offen zugänglich.

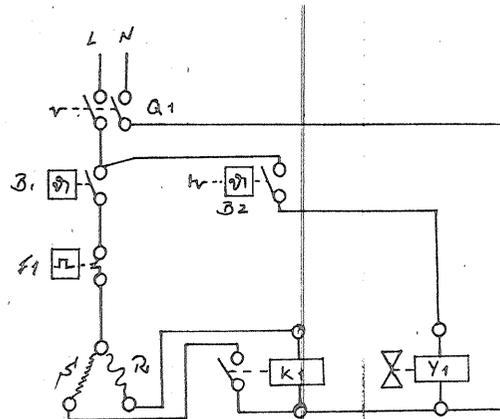
Bild 1: Elektrischer Kreis
Bild 2: Kältekreis
Bild 3: Aufbau

Funktionsablauf: Hauptschalter Q 1 schließen, Verdampferthermostat B 1 schließt, overload-Kontakt F 1 ist geschlossen, Startrelais K 1 zieht an. Der Kompressor beginnt zu arbeiten. Nach ca. 15 Minuten ist Reifansatz am Verdampfer zu erkennen. Wenn der Abtauthermostat B 2 betätigt wird, dann wird bei weniger als -5°C Verdampfer Temperatur der Kontakt geschlossen und das Magnetventil Y 1 betätigt, es öffnet das Ventil für Heißgas. Durch den geringen Widerstand in der Leitung zwischen Magnetventil und Verdampfer gegenüber dem zwischen Kapillarrohr und Kondensator fließt heißes Gas in den Verdampfer und wird nach Abkühlung durch die Saugleitung in den Kompressor gesaugt. Nach kurzer Zeit ist die Temperatur im Verdampfer angestiegen, der Thermostat B 2 öffnet bei +5°C, das Magnetventil Y1 schließt und die Anlage arbeitet wieder als Kühlschrank.

Stückliste:

- 1 Kompressor Tecumseh Kulthorn Kirby AE 188
- 1 Magnetventil Fuje 6mm
- 1 Kühlschrankverdampfer
- 1 Drahtkondensator
- 1 Abtauthermostat Toshiba SP-231 Eg
- 4 mm Kupferrohr 6mm Ø
- 10 m Winkelleisen 25x25mm
- 1,2 m² Tischlerplatte mit Resopalbeschichtung
- 1mm Blech für Tropf- wasseraufangwanne
- 1 Bördel-Rohrverbinder 6 mm Ø
- 1 Bördel-T-Stück
- 1 Kühlschrankthermostat Ranco K 50
- 1 Hauptschalter 10 A
- 1 Trockner 6 mm

Herstellungskosten insgesamt ca. 6000 Bath.



Q1 = Hauptschalter
 B1 = Verdampferthermostat
 B2 = Abtauthermostat
 F1 = OverLoad-Klixon
 K1 = Start-Relay
 Y1 = Magnetventil

Bild 1: Elektrischer Kreis

Einsatz

Adressaten: Grundkenntnisse: Kältetechnik, Elektrische Schaltungstechnik, Funktion und Ablauf der elektrischen Anlage im Kühlschrank, Spaltpolmotor, Anlaufrelais.

Fertigkeiten: Umgang mit Werkzeugen, Rohrbearbeitung (biegen, bördeln), Stecken von Schaltungen, einfache Messungen, Evakuieren des Kältekreislaufs, Dichtheitsprüfung.

Lernziele: Kenntnisse zur Funktion des Kühlschranks
 Kenntnisse zur Arbeitsweise von Kompressor und Spaltpolmotor
 Fertigkeiten in der Rohrbearbeitung
 Fertigkeiten in der Umsetzung einfacher Schaltpläne
 Fähigkeiten in der Fehlersuche und -reparatur
 Fähigkeit in der technischen Gruppenarbeit.

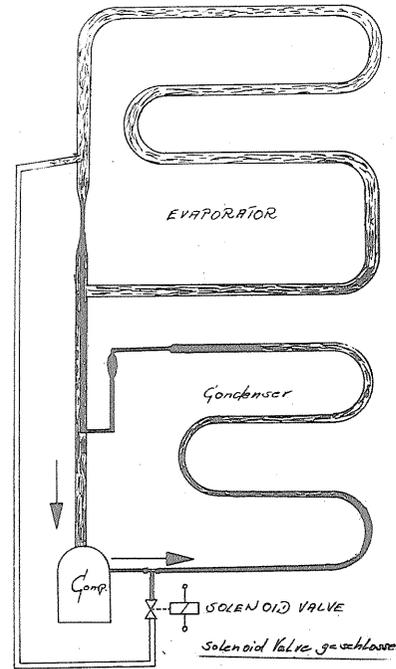


Bild 2: Kältekreis

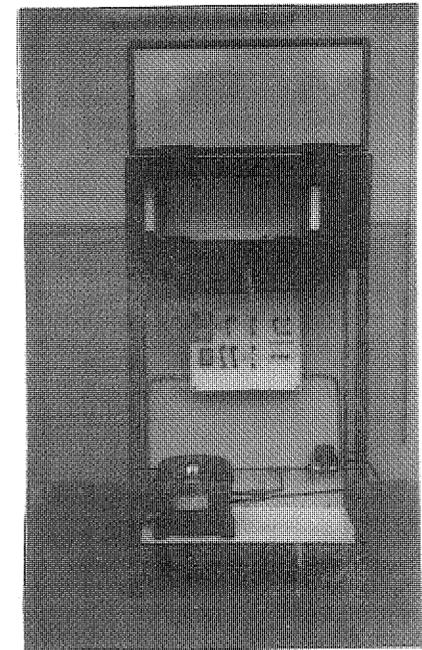


Bild 3: Aufbau

Ablauf der Arbeit: Arbeitszeit 4 Stunden

1. Für alle Auszubildenden wird vom Meister die Funktion und die Aufgabe des Gerätes mit Tafelbild und am realen Gerät erläutert. Der Ablauf des Betriebes wird durchgesprochen, der elektrische Schaltplan wird erklärt.
2. Es werden Gruppen von jeweils 3 Auszubildenden gebildet. Diese fangen arbeitsteilig mit den im Arbeitsbogen beschriebenen Arbeiten an.
Az. 1: Rohrbiegen und Rohrrichten nach Zeichnung
Az. 2: Bördeln
Az. 3: Stecken der elektrischen Schaltung
3. Der Meister kontrolliert die Rohrleitungen und die elektrische Schaltung.
4. Auszubildende füllen die Anlage mit Kältemittel R 12 und schalten die Anlage ein. Die Füllung wird durch Überprüfung mit Druck- und Saugmanometer kontrolliert.
5. Die Maschine arbeitet ca. 15-20 min. selbständig, die Auszubildenden räumen inzwischen auf, zeichnen den Schaltplan, erstellen eine Tabelle der Drücke und messen die Kompressor-Stromaufnahme.
6. Abtasterthermostat betätigt, Auszubildende beobachten Verlauf der Abtauung. Messen der Kompressor-Stromaufnahme (durch Saugvolumenänderung erhöht!)
7. Gespräch über Schaltpunkt-Einstellung des Thermostaten.

Während der Arbeit werden vom Meister vorbereitete Fehler in die Anlage eingebaut. Die Auszubildenden bemerken die fehlerhafte Arbeitsweise und die Funktionsstörungen und Suchen/Beheben den Fehler selbständig.

Fehler können sein:

- Lösen einer Überwurfmutter, so daß Kältemittel entweicht und das Leck gesucht werden muß;
- Änderung der Steckanschlüsse am Motor u.a.m.

Die Arbeiten selbst werden von dem thailändischen Auszubildenden in der Gruppe kooperativ durchgeführt. Die Jugendlichen arbeiten sehr gut zusammen, die gegenseitige Hilfe ist selbstverständlich. Alle Gruppenteilnehmer führen jede Arbeit durch, auch gerade die Arbeit, die sie nicht beherrschen mit Hilfestellung der Kameraden. Der Leistungsdruck ist nicht spürbar, lächelndes Arbeiten ermöglicht jedem sein Gesicht zu wahren. Bei den Abschlußprüfungen wird bei Nichtbestehen das Wissen durch Stützkurse ergänzt, der Auszubildende arbeitet nach, bis er die Prüfung besteht. Da die Abschlußzeugnisse, wie alle Zertifikate, nicht die automatische Zulassung zum nächsten Bildungsweg bedeuten, sondern dafür immer eine Aufnahmeprüfung nötig ist, dienen sie mehr der eigenen Selbstbestätigung.

Detlef Gronwald

Die künstliche Geburt "unserer" elektrischen Energietechnik -
ein Beispiel für Technologie-Entwicklung

Im folgenden Beitrag soll mit der Vorstellung aufgeräumt werden, technische Entwicklung würde von einigen genialen Erfindern in Alchimistenküchen durch spontane Einfälle vorangetrieben. Es wird dargestellt, daß gezielt nach rational faßbaren Bedürfnissen im gesellschaftlichen Bereich für bestimmte Probleme technische Lösungen entwickelt werden, daß erst konzeptionelle Entwicklung die Einführung einer neuen Technologie möglich machen. Dabei wird gezeigt, daß Kapital und Markt genauso Kriterien für die Entwicklung von Technik sind, wie erfolgreiches Entwicklungsmanagement.

1. Vorläufer

Als 1832 die wesentlichen Erkenntnisse über die Wechselwirkung zwischen elektrischen und magnetischen Größen bekannt waren, konnte der erste Generator konstruiert werden. Es dauerte noch bis 1871, also fast 40 Jahre, bis elektrische Generatoren in einer für technische Anwendungen geeigneten Form entstanden. Zu jener Zeit, also um 1830, bestand dafür einfach kein kommerzielles Bedürfnis. Für die elektrische Energieversorgung im Labor waren vorerst galvanische Elemente völlig genügend. Obwohl die physikalisch-technischen Grundlagen ausreichten, um eine technische Lösung entwickeln zu können, stagnierte dieser Zweig der Elektrotechnik für viele Jahre. Gasbeleuchtung und Dampfmaschine entsprachen den vorhandenen Bedürfnissen.

Ein gesellschaftliches Interesse, die Erkenntnisse der Physik in der Elektrizitätslehre anzuwenden, war zu dieser Zeit im Bereich der Nachrichtenübertragung vorhanden. Hier waren erhebliche staatliche und private Interessen im Spiel. Nachrichten sollten schnell über große Entfernungen übermittelt werden, z.B. im britischen Kolonialreich, in den Vereinigten Staaten oder in Rußland. Die Telegraphentechnik entwickelte sich in kurzer Zeit zu einem wichtigen Industriezweig, die Hersteller elektrischer Telegraphen und elektrischer Nachrichtenübertragungsplätze ebenso wie die Telegraphengesellschaften wurden ein bedeutender Wirtschaftsfaktor.

In diesem Beitrag soll auf diese Entwicklung nicht weiter eingegangen werden. Erwähnt wird sie hier, weil dadurch eine leistungsfähige elektrotechnische Industrie entstand, wie z.B. Siemens & Halske in Deutschland. Dadurch wurden finanzielle und produktionstechnische Voraussetzungen für energietechnische Unternehmungen geschaffen. Die Elektrotechnik wurde durch die geschäftlichen Erfolge in der Nachrichtentechnik als eine Zukunftsindustrie eingeschätzt, in die sich offenbar zu investieren lohnte. Mit dieser nachrichtentechnischen Industrie entstand aber auch ein Potential an Handwerkern, d.h. Facharbeitern und Ingenieuren, die die elektrotechnischen Kenntnisse und Fähigkeiten hatten, mit denen die technische Entwicklung im Energiebereich vorangetrieben werden konnte. Dies alles führte dann dazu, daß nach fast 50-jähriger Stagnation die Entwicklung im Energiebereich innerhalb weniger Jahre zu einer neuen Industrie geführt wurde.

2. Erste technische Lösungen

Die erste von Pixii 1832 gebaute Maschine, eine "Vorrichtung für Erzeugung von Elektrizität aus mechanischer Kraft", bestand aus einem Eisenkern mit feststehenden Spulen und einem rotierenden Dauermagneten. Diese Maschine war ein Wechselspannungsgenerator, sie hatte weder Schleifringe noch Kommutator. Ihre gravierenden Nachteile waren Probleme mit der schnellen Bewegung der großen Hufeisenmagnete, die abgegebene Wechselspannung konnte in den physikalischen Labors nicht verwendet werden. Dieser Generator diente nur dem prinzipiellen Nachweis der Möglichkeit der Erzeugung von Elektrizität aus mechanischer Energie.

Störhrer entwickelte den Pixii'schen Rotationsapparat weiter in eine den technischen Anforderungen mehr gerechter werdenden Form, in dem er die Induktionsspulen rotieren ließ und einen Kommutator auf die Achse setzte. Dadurch konnte eine Gleichspannung abgenommen werden. Diese Generatoren konnten bis ca. 1880 in abgewandelter Form gebaut werden, sie wurden in größeren Stückzahlen im medizinischen Bereich eingesetzt.

"Man macht von solchen Rotationsapparaten besonders in der Heilkunde Anwendung und hat es durch Stellung des Kommutators in seiner Gewalt den Strom in einer Richtung oder abwechselnd bald in der einen, bald in der anderen durch den Körper gehen zu lassen. Die in dem letzteren Falle eintretenden Nervenreizungen sind natürlich viel gewaltsamer...." 1).

1) Julius Zöllner: Die Kräfte der Natur und ihre Benutzung. Leipzig und Berlin 1889, S. 369

Der Vorläufer unserer Energieversorgung wurde also hauptsächlich für eine Modetorheit im Gesundheitsbereich verwendet. Auch für technische Anwendungen ist der Generator vereinzelt eingesetzt worden, er unterschied sich aber im Verhalten grundsätzlich von den jetzt verwendeten Generatoren. Die Ausgangskennlinie der Störhrer-Generatoren ist eine sehr stark fallende Kennlinie, die Generatoren haben nahezu eine Konstant-Strom-Charakteristik, der Kurzschlußstrom ist nur wenig größer oder gleich dem Nennstrom, die Leerlaufspannung beträgt ein mehrfaches der Nennspannung. Für die Speisung von Lichtbogenlampen oder Galvanisierungsanlagen war diese Charakteristik richtig. Es wurde im Leerlauf eine für die Zündung des Lichtbogens ausreichende Spannung abgegeben, die im Betrieb auf die sehr kleine Brennspannung bei Nennstrom absank. Moderne Transformatoren zur Speisung von Elektroschweißanlagen haben die gleiche Charakteristik, ebenso Fahrraddynamos mit Permanenterregung.

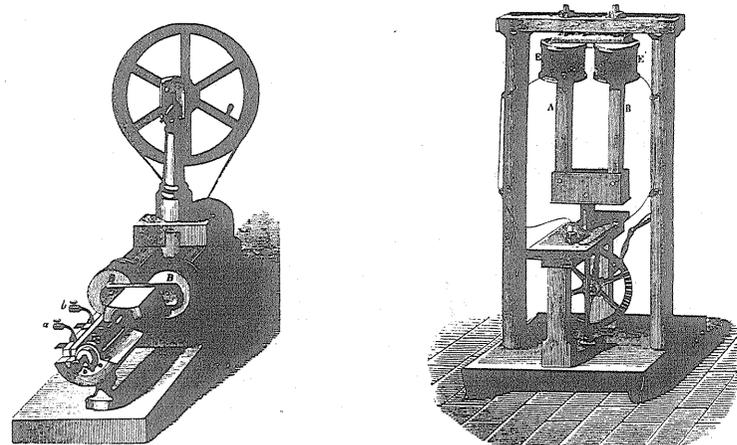


Bild 1: Pixii's Rotationsapparat und Störhrers magnetoelektrische Maschine. Entnommen aus Arthur Wilke: Die Elektrizität, ihre Erzeugung und ihre Anwendung in Industrie und Gewerbe. Leipzig 1893, S.44 u.S.45

Diese ersten Generatoren waren durch ihre nur schwache magnetische Flüsse erzeugenden Permanentmagnete bezogen auf ihre Leistung sehr groß, die Magnete waren empfindlich und entmagnetisierten sich schnell. Trotzdem wurden erste Ansätze zur elektrischen Energieversorgung versucht, wobei durch die fallende U-I-Charakteristik des Lichtbogens jeweils nur eine Lampe an einen

Generator angeschlossen werden konnte. Dringendes Bedürfnis nach elektrischer Beleuchtung bestand in speziellen Anwendungen, z.B. bei

- Theater- und Konzertsälen, da die Gasbeleuchtung keine ausreichende Helligkeit ergab (der Glühstrumpf wurde erst 1880 entwickelt!), Sauerstoff verbrauchte, unangenehm riechende Abgase entwickelte und durch Unachtsamkeit immer wieder verheerende Brände die Theater bedrohten;
- Leuchttürmen, die den für den sich entwickelnden Welthandel und die Ausbeutung der Kolonien wichtigen Seeverkehr leiten konnten, wobei hier die sehr lichtstarke Bogenlampe ideal war;
- Güterumschlagplätzen, z.B. Hafenanlagen, um auch die Nachtstunden ausnutzen zu können;
- Armeen, um eine Kriegsführung in der Nacht möglich zu machen;
- Produktionsanlagen, um die immer aufwendigeren und teuren Maschinen auch während der Nachtstunden ausnutzen zu können.

Die Stöhrer-Generatoren wurden für diese Zwecke in abgewandelter Form eingesetzt. Die erste Anlage wurde 1844 in Birmingham in einer galvanotechnischen Fabrik installiert. 1846 wurde dann die Pariser Oper mit Bogenlampen beleuchtet, im Krimkrieg 1854/55 wurden Bogenlampen, gespeist von fahrbaren Generatoren bei der Belagerung von Sewastopol eingesetzt und 1863 wurden die ersten Leuchttürme mit diesen elektrischen Beleuchtungsanlagen ausgerüstet. Die von der "Compagnie l'Alliance" in Paris seit etwa 1850 gebauten größeren Maschinen waren im Prinzip nur eine Vervielfachung der zweipoligen Stöhrer-Generatoren, auf eine Welle gesetzt. Doch aufgrund des schlechten Wirkungsgrades dieser Generatoren, mangelnder Betriebssicherheit und Lebensdauer blieb es bei Einzelanwendungen. Sie waren im Grunde keine ingenieurmäßige Entwicklung, sondern stellten eine einfache Umsetzung des elektromagnetischen Prinzips dar. Ihre Konstruktion war nicht an den Anforderungen der Anwender und der Produktion entwickelt worden. Ein Interesse des Kapitals an dieser Innovation war nicht vorhanden.

"Die Telegraphentechniker und die Galvanotechniker, damals die einzigen Elektrotechniker konnten freilich ... die magnetelektrische Maschine nicht als eine Verbesserung gegenüber den (galvanischen) Elementen betrachten ...; immerhin mußten auch sie sich sagen, daß es doch Fälle geben könne, in denen der Magnetinduktor die Batterie mit Nutzen zu vertreten geeignet sei Aber so kräftig wirkte diese mäßige Zuneigung nicht, daß sie fördernd auf die Entwicklung der Maschine hätte einwirken können." 1)

1) Arthur Wilke: Die Elektrizität, ihre Erzeugung und ihre Anwendung in Industrie und Gewerbe. Leipzig 1893, S. 45

1857 erkannte Linnstedt, daß die Verwendung von Elektromagneten statt der aufwendigen und wenig wirksamen Permanentmagnete die Baugröße der Maschine erheblich verkleinern könnte und die Betriebssicherheit erhöhen würde. Aber erst 1866 baut Wilde die erste Maschine mit Elektromagneten, die von einer kleinen Erregermaschine mit Permanentmagneten gespeist wurde, also den ersten fremderregten Generator. Die Baugrößen und damit die Anlagekosten konnten wesentlich reduziert werden und es bestand die Möglichkeit zu einer Veränderung des abgegebenen Stromes. Schon vorher hatte 1854 Werner Siemens eine günstigere Lösung für die Form der Maschine gefunden. Der Anker der Stöhrer-Maschine war dynamisch sehr ungünstig und für höhere Drehzahlen ungeeignet. Siemens entwickelte deshalb mit Halske zusammen den Doppel-T-Anker für handbetriebene Stromerzeuger zur Speisung von Signalaranlagen im Telegraphen- und Eisenbahnsignal-Dienst, ausgerüstet mit feststehenden Permanentmagneten und Schleifringen. Sie gaben den für diese Anwendung geeigneten Wechselstrom ab. Die Anforderungen der Anwendung führten also zu einer speziellen Ausformung des Generators und damit zu einer an die Erfordernisse des Betriebes und der Produktion bei Siemens & Halske angepaßten Form für den Generator. Er wurde auch dann in großen Stückzahlen über lange Zeit produziert. Dieser Generator war aber für den Einsatz in Energieversorgungsanlagen nicht geeignet. 1960 schlug Pacinotti in Florenz vor, den Anker als geschlossenen eisernen Ring auszubilden, vollständig bewickelt mit einer geschlossenen Wicklung. Der Abgriff des Laststromes sollte dann an Bürsten erfolgen, die auf der Wicklungsoberfläche schleifen würden. Die Bürsten sollten in der sogenannten neutralen Zone angebracht werden, in der keine Spannung induziert wird. Diese Form wäre für die damaligen Anwendungen geeigneter gewesen, bei der große Ströme bei kleinen Spannungen, d.h. wenigen Ankerwindungen benötigt werden. Gebaut wurde der erste Generator in dieser Form aber erst 1871 von Gramme, der als Modelltischler bei "Compagnie l'Alliance" in Brüssel arbeitete. Er bewickelte den Ringanker (sog. Gramme'scher Ring) mit einer Vielzahl von Spulen, deren Enden er an einen Kollektor führte. Dieser Generator gab bei relativ gut geglätteter Gleichspannung einen konstanten Strom ab und hatte einen guten Wirkungsgrad.

Vorher hatte 1866 Werner Siemens zur gleichen Zeit wie Wheatstone das elektrodynamische Prinzip gefunden. Siemens bemühte sich zu dieser Zeit,

die elektrischen Zündvorrichtungen für Minen (der preußisch-österreichische Krieg war gerade vorbei) durch den Siemens'schen Zylinderinduktor zu vervollkommen. Dabei entdeckte er, daß

"in feststehenden Elektromagneten einer passend eingerichteten elektromagnetischen Maschine immer Magnetismus genug zurückbleibt, um durch allmähliche Verstärkung des durch ihn erzeugten Stromes bei umgekehrter Drehung die überraschendsten Wirkungen hervorzubringen." 1)

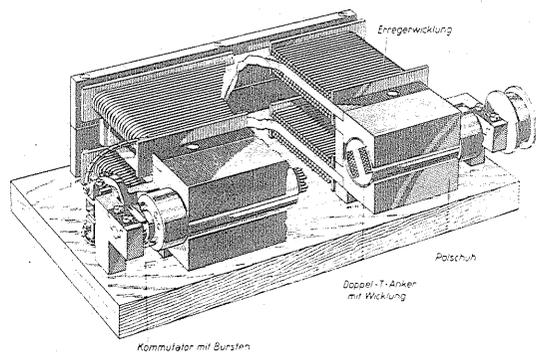


Bild 2: Aufbau und Querschnitt der Dynamomaschine von Siemens (1867). Entnommen aus: Werner von Siemens: Lebenserinnerungen. 17. veränderte Auflage, München 1966, S. 229

Damit war der Generator nicht mehr eine Art von Verstärkermaschine, die für die Erregung Batterien benötigte, sondern konnte durch das Prinzip der Selbsterregung allein mit mechanischer Energie elektrische Energie erzeugen. Siemens bezeichnete diese Maschine als "Dynamo-elektrische Maschine", woraus sich die heute noch gebräuchliche Bezeichnung "Dynamo" entwickelt hat. 1867 hat Siemens dann auf der Pariser Weltausstellung einen selbsterregten Dynamo mit Doppel-T-Anker für den Betrieb eines Lichtbogens ausgestellt. Jedoch konnte diese Maschine jeweils nur kurze Zeit betrieben werden, da sie sich zu schnell erwärmte. Ursache für diese Erwärmung war der massive Anker, in dem sich Wirbelströme ausbilden konnten.

1872 wurde dann der erste Gramme'sche Ringankergenerator mit (Siemens-scher) Selbsterregung im "Galvanoplastischen Institute von Christoffle

1) Werner von Siemens: Lebenserinnerungen, 17. veränderte Auflage, München 1966, S. 269

u. Co." in Paris eingesetzt. Der Anker dieser Maschine war aus Eisendraht gewickelt, damit wurden die Wirbelstromverluste vermieden. Damit war

"Gramme dem Erfinder Siemens und seinem wohlbekannten Hause Siemens & Halske einen Schritt zuvorgekommen, in dem er die erste praktisch verwendbare Dynamomaschine schuf." 1)

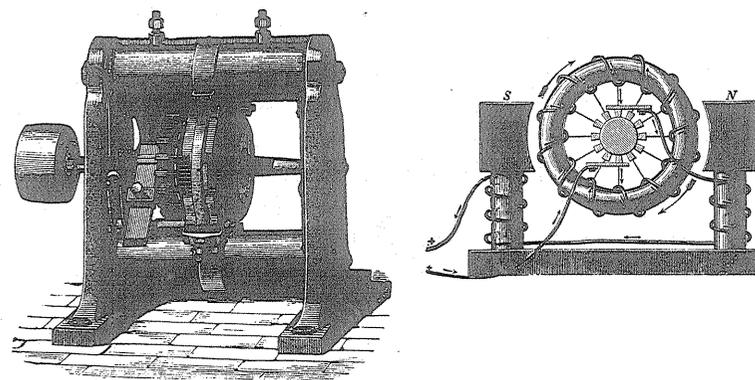


Bild 3: Dynamomaschine von Gramme und Prinzip des Ringankers. Entnommen aus Arthur Wilke, a.a.O., S. 52, S. 53

Mit dem Gramme'schen Ringanker war zwar ein funktionsfähiger Gleichstromgenerator entwickelt worden, doch die Produktion war sehr aufwendig, da der Ringanker durch seine komplizierte Wicklungstechnik teuer in der Herstellung und dynamisch ungünstig war. Aber die so entstehenden einzelnen Energieanlagen prägten durch ihre Konstant-Strom-Charakteristik über weite Zeit die Vorstellung von Energieversorgung durch Konstant-Strom-Systeme. Dies wirkt heute noch nach, z.B. bei Beschreibung von Induktionsvorgängen über den Strom. In der Elektrizitätslehre der Physik wird auch heute noch vom Strom bei der Betrachtung von magnetischen Vorgängen ausgegangen. Dies entsprach auch der Arbeitsweise in der damaligen elektrischen Nachrichtentechnik, der Telegraphie, bei der alle Systeme mit einer Konstant-Strom-Charakteristik arbeiteten. Die Spannung der Batterien spielte keine so große Rolle, nur der Strom mußte, um ein Signal einwandfrei übertragen zu können, ausreichend groß sein.

1) Arthur Wilke: Die Elektrizität, ihre Erzeugung und ihre Anwendung in Industrie und Gewerbe. Leipzig 1893, S. 55

Die anstehenden Probleme in der Energieversorgung ließen sich jedoch mit dieser Systemvorstellung nicht lösen. Beleuchtungsanlagen waren nicht wirtschaftlich zu betreiben, wenn jede Bogenlampe von einem eigenen Generator gespeist werden mußte. Mit Gleichstrom betriebene Bogenlampen konnten nicht einfach in Reihe geschaltet werden, aber sie konnten auch nicht parallel betrieben werden. Für den Lichtbogen waren hohe Ströme notwendig bei kleinen Spannungen, dies ließ nur einen Betrieb in unmittelbarer Nähe des Generators zu, da sonst die Leitungsverluste bzw. der Leitungsquerschnitt zu groß geworden wäre. Weiter bestand bei dieser Art von Beleuchtung das Problem der "Teilbarkeit des Lichts", also der Teilung der punktförmigen sehr hellen Lichtquelle in einzelne Lampen mit geringerem Lichtstrom. Aber es bestand ein Bedarf an Beleuchtungsanlagen, mit denen z.B. Geschäfte oder Büros in der Nacht erleuchtet und damit benutzt werden konnten. Dabei zeigte die Entwicklung der Gasversorgungsgesellschaften, daß mit einem elektrischen Beleuchtungssystem ein großer Umsatz zu machen wäre. Es existierte, wie gesagt auch eine kapitalstarke Elektroindustrie, die genügend Gewinn aus der Telegraphentechnologie geschöpft hatte, um auch einiges in der Entwicklung einer elektrischen Energietechnik investieren zu können. Mit Hilfe von naturwissenschaftlich orientierten Forschern konnte sie aber nicht rechnen, denn diese beschäftigten sich vornehmlich mit der Theorie der Elektrizität. Es entstanden in dieser Zeit Arbeiten, wie Maxwells mathematische Beschreibungen der Felderscheinungen, nur technische Systeme wurden nicht untersucht. In der nachrichtentechnischen Industrie entwickelte sich aber ein neuer Typ des Ingenieurs, zum Teil waren dies Autodidakten oder kamen aus dem Maschinenbau. Sie waren von der Telegraphentechnik her auf Probleme des Generatorbaus, der Elektromaschinen, der Glühlampen gestoßen und hatten dort einzelne Verbesserungen versucht. Damit ergab sich jedoch noch keine Möglichkeit einer gewinnbringenden industriellen Herstellung. Die Entwicklung der modernen industriellen elektrischen Energietechnik erfolgte in neuartigen Entwicklungsbüros. Diesen stand genügend Kapital zur Verfügung, um gezielt über einen längeren Zeitraum technische Geräte im Rahmen von technischen Systemen bis zur Produktionsreife entwickeln zu können.

3. Die Edison Electric Light Company

Thomas Alva Edison hatte sich als Jugendlicher mit naturwissenschaftlichen Problemen beschäftigt und als Autodidakt ohne ausreichende Schulbildung

bereits technische Grundkenntnisse, vor allem praktischer Art, erworben. Er war ohne wissenschaftliches Studium und ohne mathematische Kenntnisse in der Lage, praktische Probleme durch Experimentieren, durch gezielte und entwickelnde Überlegungen und durch zähes, jahrelanges Arbeiten an Einzelfragen zu lösen. Er konnte umfassende, über die technische Einzelheit weit hinausgehende Systeme konzeptionell entwickeln. Im Gegensatz zu Werner von Siemens war Edison jedoch immer auf die finanzielle Unterstützung von außen angewiesen, er hatte keine einflußreiche und große Familie, die mit ihm bei seinen Unternehmungen zusammenarbeitete. Er konnte jedoch Mitarbeiter für seine Ziele begeistern und offenbar seinen Arbeitsstil, der sehr intensiv war, auf ein Team übertragen. Und er verstand es durch gezielte Pressekampagnen, Investoren für seine Arbeiten zu werben. Aus seinem Mitarbeiterstab stammen einige der Großen der deutschen Elektroindustrie um die Jahrhundertwende, wie Schuckert und Bergmann.

Edison hatte sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts mit Entwicklungen im Telegraphenbereich einen Namen und auch etwas Geld gemacht. Er hatte lange Jahre als Telegraphist gearbeitet und war mit den elektrotechnischen Problemen der Nachrichtenübertragung bestens vertraut. Die Telegraphengesellschaften waren durch den amerikanischen Bürgerkrieg und durch die danach folgende wirtschaftliche Erschließung des sehr weiträumigen Landes mit Telegraphenleitungen zu einem wirtschaftlichen Machtfaktor geworden.

"In ihrer Blütezeit war die Western Union ein hervorragendes Beispiel für die Verbindung zwischen Kapital und angewandter Wissenschaft. Sie war in der Tat der eigentliche Initiator der neuen elektrischen Industrie in den Vereinigten Staaten. Unter all den kapitalistischen Gruppen, die am industriellen Fortschritt Amerikas teilhatten, zeichneten sich die Direktoren der Western Union während der zwei Jahrzehnte nach dem Bürgerkrieg dadurch aus, daß sie die wissenschaftliche Erfindung aktiver unterstützten als alle anderen Industriellen. Die Gesellschaft spornte die Erfinder an, in dem sie zahlte. Aber während sie so ihre Arbeit förderte, gewann sie gleichzeitig Macht über ihre Erzeugnisse. Die wertvollen Patente Edisons, wie die anderer Männer, wurden Eigentum der gigantischen Telegraphengesellschaft." 1)

Die eigentliche Entwicklungsarbeit Edisons begann jedoch mit der Einrichtung eines Entwicklungslaboratoriums in Menlo Park bei New York.

1) Matthew Josephson: Thomas Alva Edison. München 1969, S. 99

Ziel war es, hier technische Entwicklungen konzentriert durchzuführen. Es sollte

"ein Forschungszentrum, eine Art wissenschaftlicher Fabrik (sein), in der eine ganze Gruppe oder ein Team sich ausschließlich mit praktischen Erfindungen befaßte. ... es gab zur damaligen Zeit nur einige schlecht eingerichtete Labors an den führenden Universitäten oder an den neuen technischen Hochschulen, wie etwa in der technischen Hochschule von Massachusetts, die hauptsächlich Lehrzwecken dienten. Natürlich gab es das überaus wichtige Laboratorium, das Joseph Henry an der Smithsonian Institution eingerichtet hatte, aber das betrieb rein wissenschaftliche Forschungsarbeiten, wie Faraday hielt es auch Henry für unter der Würde eines wahren Wissenschaftlers, sich in erster Linie Erfindungen zuzuwenden oder gar sich die Mühe zu machen, sie patentieren zu lassen; er arbeitet nur, um die Summe menschlichen Wissens zu vergrößern. Wir befanden uns damals immer noch in einer Zeit (irriger) Kontroversen zwischen den Anhängern der reinen Wissenschaft und den praktischen oder empirischen Erfindern, die ihre wissenschaftlichen Fähigkeiten zur Herstellung von Dingen benutzten, die für die Menschheit von Nutzen und Wert waren. Edison zählte sich zur zweiten Gruppe." 1)

Dabei arbeitete Edison mit einem Team zusammen, daß sich aus 50-150 Spezialisten ganz unterschiedlicher Ausbildung, Fähigkeiten und Fertigkeiten aufbaute, die sich zu einer sinnvoll arbeitsteilig vorgehenden Gruppe ergänzten. Dies waren nicht nur Maschinenbauer und Techniker, sondern auch Männer mit regulärer wissenschaftlicher Ausbildung. Eine Erfindung für die Industrie hängt nicht allein von den Kenntnissen eines Mitarbeiters ab, sondern basierte auf sorgfältigen und umfangreichen Forschungsarbeiten des ganzen Teams.

Edison war dabei nicht nur durch seine Auftraggeber angehalten, bestimmten Interessen dienenden Entwicklungen gezielt durchzuführen, sondern er selbst war der

"Überzeugung, daß sich Erfindungen aus der sich entwickelnden menschlichen Kultur ergeben, aus den Umständen, den sozialen und wirtschaftlichen Bedingungen. Er machte seinen geschäftlichen Betrieb zu etwas, das weit entfernt war von den eleganten Laboratorien der früheren Zeit, die oft in einem Pavillon in einer französischen Parkanlage untergebracht waren, wo aristokratische Amateure der Wissenschaft ihre überragenden geistigen Fähigkeiten oder ihre übermenschliche Klugheit zur Schau stellten, ohne Rücksicht auf die Bedürfnisse der Wirtschaft oder das Wohlergehen der Menschheit. Edisons Entschluß nichts zu erfinden, für das nicht eine eindeutige Marktnachfrage bestünde, war von großer geschichtlicher Bedeutung." 2)

1) Matthew Josephson: a.a.O., S. 147

2) Matthew Josephson: a.a.O., S. 151

Seit 1878 arbeitete Edison und sein Team gezielt am Problem der elektrischen Energie, finanziert wurden sie von Finanzmagnaten, wie Morgan, Vanderbilt u.a. Versuche in den USA mit Bogenlampen und einem selbstentwickelten Dynamo durch Wallace Farmer 1878 waren der Ausgangspunkt. Edison selbst schreibt darüber:

"Ich sah, daß das bisher Vorhandene für die Praxis noch ungeeignet war. Das intensive Licht konnte noch nicht so unterteilt werden, daß es in Wohngebäuden verwendbar war. Bei allen bisherigen elektrischen Lampen war die Lichtintensität sehr groß und die Zahl der Leuchtkörper klein. Ich kam nach Hause und machte zwei Nächte nacheinander Versuche." 1)

Edison wollte von Anfang an ein integriertes Energieversorgungssystem für Beleuchtungszwecke entwickeln, die Glühlampe war dabei nur eine Komponente, die Idee zum gesamten System war wichtiger.

"Edison machte es sich zur Aufgabe, das Gas durch die Elektrizität zu ersetzen und die Abnehmerzahl zu verdoppeln. In den letzten 50 Jahren war die Gaslicht-Industrie zu einer der größten Industrien Amerikas geworden. Die Einnahmen lagen jährlich bei 150 Millionen Dollar. Die Gaswerke lagen vorwiegend in den Städten, während 3/4 der Bevölkerung noch das trübe Licht von Öllampen oder Kerzen benutzten. Ungefähr 10% des Gas-Geschäftes wurden mit der Straßenbeleuchtung gemacht. Dieses Geschäft war nun durch die elektrische Bogenlampe bedroht. Und von Edisons Plan waren die restlichen 90% der Gasanschlüsse betroffen, die zur Beleuchtung von Geschäften und Wohnungen dienten." 2)

Er begann seine Arbeit mit einer intensiven Analyse der Gasbeleuchtung und der Gas-Industrie, der Verbrauchskurven, der Leitungsnetze usw. Daraus entwickelte er ein elektrisches Leitungsnetz, das eine ganze Stadt umspannen konnte. Er berücksichtigte dabei, daß in den dunkelsten Bezirken die beste Gegend für die Energieversorgung wäre, denn dort würde die ganze Stadt abends aufbleiben. Und er glaubte, daß in den Slumgebenden, die damals noch mit Produktionsstätten kleinerer Art besiedelt waren, die Nachfrage nach elektrischer Energie vorhanden sein müßte. Er berechnete auch die Kosten, die bei der Energiewandlung von Kohle in Gas und von Kohle über die Dampfmaschine in elektrische Energie entstehen würden. Edison wurde vor dem Beginn seiner eigentlichen Arbeiten am elektrischen Energieversorgungssystem zum Spezialisten für Gasversorgungssysteme. Die elektrotechnischen Folgerungen für die Anforderungen an die Lampen und das Versorgungssystem waren durchaus einfach und doch

1) Matthew Josephson: a.a.O., Zitat ohne Hinweis aus Edisons Tagebuch, S. 194

2) Matthew Josephson: a.a.O., S. 198

bildeten sie die Voraussetzungen für die Entwicklung eines marktgerechten Systems:

- Als Lichtquelle kleiner Leistung und kleinem Lichtstrom konnte nur eine Glühlampe verwendet werden;
- es kann sich nur um ein System von parallelgeschalteten Verbrauchern handeln.

Beide Folgerungen waren nicht neu, seit fast 60 Jahren waren erfolglose Versuche mit Glühlampen bekannt. Ebenso waren Berichte über die Möglichkeiten zur Parallelschaltung schon vorher veröffentlicht worden. Aber Edison war der erste, der diese Gedanken in sein elektrisches Energieversorgungssystem einordnete.

Um seine Entwicklungen finanzieren zu können, führte Edison gleichzeitig eine Pressekampagne durch. Seine Rechtsanwälte begannen ein Konsortium von Geldleuten zu organisieren unter dem Motto: "Edison kennt Mittel und Wege, ein elektrisches Licht zum alltäglichen Gebrauch zu schaffen, das weit weniger kosten wird wie Gas". Er hatte dabei eigentlich noch keine bahnbrechenden neuen technischen Entwicklungen in der Hand. Dennoch teilte er der Presse mit, daß er bereits entdeckt habe, wie man mit Elektrizität Leuchtgas billig und praktisch ersetzen könne. Dabei muß berücksichtigt werden, daß das, was Edison sagte, druckreif war durch seinen Namen, den er sich mit der Erfindung des Phonographen gemacht hatte. Gleichzeitig war dies natürlich ein Kampf gegen die Gas-Industrie. Er kündigte an, daß er nicht nur elektrische Energie für die Beleuchtung, sondern auch für Heizzwecke, zum Kochen, für Aufzüge, für Nähmaschinen usw. verwendbar machen würde. Dabei war z.B. das Problem der Aufzüge für die Entwicklung der Hochhäuser in den Städten entscheidend. Als Folge fielen z.B. in London alle Gaslichtaktien in wenigen Tagen um 12% ihres Wertes. Das Ziel seiner Kampagne war, Geld für die weitere Arbeit zu beschaffen. Eine Firmengruppe, die in der Western Union Telegraphengesellschaft engagiert war, gründete mit Edison die Edison Electric Light Company mit 300.000 Dollar Stammkapital, von denen 50.000 Dollar durch die Finanzierungsgruppe für die Entwicklung aufgebracht wurden. Ziel der Gesellschaft war es, "die verschiedenen Geräte für die Produktion von Licht, Wärme und Energie durch Elektrizität zu erwerben, sie herzustellen, in Betrieb zu halten und in Lizenz zu vergeben." 1)

1) Matthew Josephson: a.a.O., S. 205

Das war offenbar das erste Mal in der technischen Geschichte, daß gezielt eine völlig neue technische Richtung, die elektrische Energietechnik, aufgrund wirtschaftlicher Zielsetzungen durch ein Forschungs- und Entwicklungs-Ingenieurbüro entwickelt werden sollte, finanziert mit dem Kapital aus einem technischen Zweig durch eine Entwicklungsgesellschaft. Die bedrohte Gasindustrie wehrte sich durch gezielte Gerüchte über Edisons Gesundheitszustand, die Erfolglosigkeit seiner Arbeit u.ä. mehr.

Als erstes wurde aus den Anforderungen für ein weitmaschiges Verteilungssystem festgelegt, daß die zu entwickelnde Glühlampe einen hochohmigen Glühfaden erhalten müßte, um den Strom, der die Zuleitungsquerschnitte bestimmt, möglichst klein zu halten. Der Rahmen für das Versorgungssystem von Dezember 1878 sah Glühlampen mit 100 Ohm Widerstand und 1 Ampere Strom-"Verbrauch" bei einer Spannung von 100 Volt vor. Aus dieser Festlegung resultiert letztendlich unsere 220 V-Versorgungsspannung: Aus zwei im Dreileitersystem zusammengesetzten 100 V-Systemen und einen 10%igen Zuschlag für die Spannungsfälle auf den Zuleitungen. Gegenüber Bogenlampen gleicher Leistung, aber mit 10 Ampere bei 10 Volt, lag der Kupferverbrauch für die Zuleitungen bei einem Hundertstel. Diese Idee von Edison, mit hoher Spannung, größerem Widerstand des Glühfadens und kleinen Strömen zu arbeiten, war für die damalige Zeit der Konstant-Strom-Systeme ein revolutionärer Gedanke, der aber geprägt war von wirtschaftlichen Überlegungen. Die wissenschaftlichen Autoritäten dieser Zeit hielten seine Idee aus theoretischer Sicht für unsinnig, da, wie sie erklärten, die Gesetze zur Erhaltung der Energie verletzt würden. In England entschied 1879 ein Parlamentsausschuß nach einer Untersuchung der neuerlichen Baisse der Gaslichtaktien, diese Pläne seien zwar

"gut genug für unsere transatlantischen Freunde (, aber) nicht der Aufmerksamkeit praktischer oder wissenschaftlicher Männer wert. Sie hatten zuvor die Meinung britischer Wissenschaftler eingeholt." 1)

Anfang 1879 wurden die ersten Platindrahtlampen nach diesen Vorstellungen mit ein bis zwei Stunden Brenndauer entwickelt. Darauf aufbauend wurden Materialien untersucht und Versuche zur Verbesserung des Vakuums durchgeführt. Es folgten Untersuchungen über die Auswirkungen von Gaseinschlüssen in Metallen bei hohen Temperaturen auf den Schmelzpunkt. Zwischendurch schickte Edison Prospektoren auf die Suche nach Platinvorkommen in die

1) Matthew Josephson: a.a.O., S. 212

Rocky Mountains, da er glaubte, in Platin das richtige Metall für die Glühfäden gefunden zu haben. Als seine Geldgeber auf Ergebnisse der Arbeit drängten, führte Edison im April 1879 im Menlopark seine Platinlampe ohne großen Erfolg vor.

Die Folge war ein Sinken der Aktien der Edison Electric Light Company, eine Pressekampagne gegen ihn und sein Labor, hinter der offenbar die Gaslichtgesellschaften standen. Edison ließ darauf hin die Versuche mit Platin abbrechen, die Arbeiten an der Vakuumherzeugung in den Glaskolben intensivieren, eine langwierige Serie von Untersuchungen an 1.600 verschiedenen Materialien für den Glühfaden durchführen und nahm die Arbeiten an der Energieerzeugung und Verteilung selbst in die Hand. Diese Arbeiten an den Generatoren gestalteten sich schwieriger als erwartet:

"Um den elektrischen Strom für zahlreiche kleine Lampen im Parallelbetrieb zu erzeugen, würde er einen Dynamo mit konstanter Spannung von etwa 110 Volt benötigen. Die damals existierenden Dynamos, wie etwa der Brush- oder der Gramme-Dynamo, hatten einen zu geringen Wirkungsgrad und zu schlechte Wirtschaftlichkeit für seine geplanten hochohmischen Lampen. 1877 hatte ein vom Franklin Institute in Philadelphia aufgestelltes Komitee von Wissenschaftlern Prüfungen und Messungen verschiedener zeitgenössischer Dynamomaschinen unternommen. Man hatte damals noch keinerlei Erfahrung in der Prüfung elektrischer Maschinen, und der Ausschuß mußte zunächst eigene Prüfmethoden entwickeln und sorgfältig ausarbeiten. Man stellte fest, daß beim Gramme-Dynamo 38 bis 41% der erzeugten Antriebskraft durch Reibung und Luftwiderstand verloren gingen. Der Brush-Dynamo war sogar noch unwirtschaftlicher; man sprach von 31% Nutzeffekt. Außerdem waren bei diesen Maschinen starke induzierte Wirbelströme vorhanden, und sie 'machten sich häufig selbständig'. Solche Verluste spielten in einem Stromkreis mit großen, niederohmigen Bogenlampen keine Rolle. Aber Edison folgerte, daß er einen Dynamo mit niedrigem Innenwiderstand entwickeln müsse, der mechanische Energie mit viel höherem Wirkungsgrad in elektrischen Strom verwandeln könnte.

Damals jedoch herrschte bei den meisten Elektrowissenschaftlern die irri- ge Meinung vor, daß der Innenwiderstand eines Dynamos gleich dem Außenwiderstand (oder dem des Stromkreises) sein 'müsse'. Durch Untersuchungen an Stromkreisen mit Primärbatterien hatte man 'bewiesen', daß sie nur einen maximalen Wirkungsgrad von 50% erreichen können." 1)

Diese Ansicht war sicherlich aus theoretischen Überlegungen zur Anpassung des Innenwiderstandes in der Nachrichtentechnik in die Energietechnik übertragen worden.

Edison ließ einen eigenen Dynamo konstruieren. Der Entwurf für diesen Dynamo unterschied sich im Prinzip nicht wesentlich vom Siemens-Dynamo. Edisons Hauptverbesserungen waren die stärkere Unterteilung des früher

1) Matthew Josephson: a.a.O., S. 218

massiven Ankerkerns und des Kollektors. Dies war sicher durch die Erfordernisse der höheren Spannung, d.h. größerer Windungszahl der Ankerwicklung bedingt. Er scheint auch der erste gewesen zu sein, der als Isolationsmaterial zwischen den Kollektorlamellen Glimmer benutzte, daß sich als sehr brauchbar erwies. Wenn diese Maschine mit konstanter Drehzahl betrieben wurde, gab sie eine Spannung von ungefähr 110 Volt ab, auch bei Belastung sank die Spannung nur wenig ab. Es war ein zweipoliger Dynamo, dessen zwei aufrechtstehende Erregermagnete ihm den Spitznamen: "Edisons Mary-Ann mit der langen Taille" einbrachte. Es war der erste für eine großräumige Energieversorgung geeignete Dynamo, sein Wirkungsgrad lag bei 90%.

Gleichzeitig, also parallel zur Generatorentwicklung, erforderte das Problem des Vakuums im Glühlampenkolben langwierige Arbeiten. Z.B. wurde eine völlig neu entwickelte Vakuumpumpe aus England importiert und verbessert, für die Glaskolben kam ein deutscher Glasbläser nach Menlopark. Im Spätsommer 1879 war ein Glaskolben mit einem Vakuum von 10^{-6} atü erreicht. Zu dieser Zeit kam als Ergebnis der langen Material-Versuchsreihen heraus, daß Kohle für den Glühfaden den höchsten Schmelzpunkt von 3500°C und den höchsten Widerstand hat. Ziel war es, einen Glühfaden zu entwickeln, der etwa 200 Ohm Widerstand hatte, bei einer sehr kleinen Leuchtfläche, das entspricht einem kleinen Durchmesser bei größerer Länge. Es wurden 0,4 mm Durchmesser bei ca. 150 mm Länge angestrebt. Im Spätsommer 1879 folgten dann in Tag- und Nachtschichten weitere langwierige Versuchsreihen. Dabei kam Edison selbst mit zwei- bis dreistündigen Ruhepausen aus, was er aber auch von seinen direkten Mitarbeitern verlangte. Die Lösung des Problems bestand in einem Baumwollfaden, der mit pulverisierter Kohle unter Luftabschluß bei hohen Temperaturen gebrannt und an Platindrähte befestigt im Glaskolben eingebracht wurde. Diese Lampe brannte in ersten Versuchen über 13 Stunden.

Das nächste Ziel war, einen Faden mit einer Brenndauer von 1000 Stunden zu finden. Das Patent für eine Kohlefadenlampe wurde am 27.1.1880 erteilt. Aber die Geldgeber wollten die Versuche von Edison nicht weiter finanzieren. Edison ließ darauf Menlopark durch Glühlampen, die inzwischen Glühfäden mit 170 Stunden Brenndauer hatten, illuminieren und nach entsprechend lancierten Zeitungsberichten für die Zuschauer öffnen. Sylvester 1879 waren rund 3.000 Schaulustige nach Menlopark gekommen. Die Folge war, daß die Edison-Gesellschaft die weiteren Mittel für die Fortführung der

Entwicklung bereit stellte.

"Edison hatte versprochen, ein System aufzubauen, daß Energie, Wärme und Licht liefern würde. Hierfür brauchte er viele neuartige Dynamos, ein unterirdisches Verteilernetz, Kurzschlußsicherungen, Isoliermaterial, an dem noch herumexperimentiert wurde, Leistungsschalter, Regler für die Generatoren, Stromzähler und eine ganze Serie von verschiedenen Beleuchtungskörpern, Steckdosen und Schaltern für die Haushaltungen. Ohne dieses System nützte die ganze wunderbare Glühlampe als solche nicht viel; sie blieb ein wissenschaftliches Spielzeug, bis sie wirtschaftlich nutzbar gemacht und zusammen mit vielen tausend anderen solcher Lampen in einem Beleuchtungssystem praktisch verwendet werden konnte." 1)

Trotz der Erfolge mit der Glühlampe war sein Verteilungssystem noch nicht akzeptiert. Experten urteilten:

"Die Lampe sei nicht nur schwach, auch die Einrichtung einer Parallelstromversorgung mit zahlreichen solchen Lampen, die durch Gleichstrom über Haupt- und Nebenleitungen gespeist werden sollten, würde sich als zu kostspielig und unpraktisch erweisen; man würde dazu das Kupfer der ganzen Welt brauchen." 2)

Dabei war auch das bis dahin von Edison vorgesehene System der Baum-schaltung nicht für die großflächige Verteilung geeignet:

"Bei einem solchen System mußten die beiden Hauptleitungen - angefangen bei den Wurzeln des Baumes, also beim Generator - zum Betrieb einer bestimmten Anzahl von Lampen so stark sein wie die Summe der einzelnen Zweigleitungen, die den Lampen den erforderlichen Strom zuführten. Aber es wurde ihm bald klar, daß er für die Stromversorgung der 8640 Lampen in neuen Häuserblocks einer Stadt nach dem Baumplan insgesamt 803250 Pfund Kupfer mit Materialkosten von 200812 Dollar benötigen würde." 3)

Aber schon im Januar 1880 wurde ein neues Verteilungssystem zum Patent angemeldet und im Spätsommer 1880

"... eine Haupt- und Verteilungsleitung, die ebenso originell wie einfach war. Sie reduzierte mit einem Schlag die Abmessungen und Kosten der Kupferleitungen auf ungefähr 1/8 der bisherigen Berechnungen. Damit konnte er auch den Spannungsabfall an weit entfernten Lampen verringern, die in einem normalen Parallelstromkreis nur mit einem Drittel der Kerzenstärke leuchteten. Beim neuen System führen Hauptleitungen den Strom vom Dynamo zu Knotenpunkten (z.B. Häuserblocks), von wo Verteilungsleitungen die Nebenanschlüsse versorgten. Ein Spannungsabfall von etwa 120 Volt auf 110 Volt trat nur in den Hauptleitungen auf, während die Spannung in den Verteilungsleitungen für die Lampen fast konstant blieb. So ergaben sich große Einsparungen beim Leitungsmaterial, und der früher bedeutende Spannungsabfall von Lampe zu Lampe verringerte sich so, daß nur noch 2 bis 3 Volt von den 110 Volt verloren gingen. Das Netz aus Haupt- und Verteilungsleitungen verringerte die Zuleitungskosten pro Lampe um etwa 85%,

1) Matthew Josephson: a.a.O., S. 243

2) Matthew Josephson: a.a.O., S. 245

3) desgleichen S. 245

d.h. von 200.000 Dollar auf 30.000 Dollar für 8.640 Lampen in einem Gebiet von 9 Häuserblocks." 1)

Bis zum November 1882 arbeitete Edisons Team an den Verteilungsproblemen, dann gelang durch die Entwicklung des Dreileitungssystems der Durchbruch. Damit war es möglich, gegenüber den Gasverteilungssystemen in den Leitungskosten zu konkurrieren. Aber schon vorher, im Oktober 1882 war das erste städtische Kraftwerk in New York mit einem Zweileitersystem eröffnet worden. Damit waren die technologischen Voraussetzungen für den Start der elektrischen Energieversorgungs-Industrie vorhanden, die elektrische Energietechnik war nach 50 Jahren Zeugungsversuchen und nur vier Jahren gezielter Entwicklung geboren. Es war eine künstliche Geburt, aber aus diesem Anfang wurden dann in knapp 20 Jahren Konzerne, die als erste moderne Industrie gelten.

1) Matthew Josephson: a.a.O., S. 245

Klaus Müschen

Energiepolitik - Inhalte und Ziele für ein Projekt in der beruflichen Bildung

Einleitung

Das Thema der öffentlichen Energieversorgung ist nach den spektakulären Auseinandersetzungen um die Atomenergie in den siebziger Jahren aus den Schlagzeilen verschwunden. Im folgenden soll verdeutlicht werden, daß wir an einem Scheideweg für die zukünftige Energiepolitik in der Bundesrepublik stehen. Das Wissen über diesen Zielkonflikt wird deshalb zu einem entscheidenden Lernziel für den Unterricht an Berufsschulen, weil hier der Zusammenhang von technischem Fachwissen und gesellschaftspolitischen Inhalten aufgezeigt werden kann. In der folgenden Auflistung, die zur eigenen Weiterentwicklung anregen soll, sind einige Themenbereiche benannt, an denen besonders unter dem lokalen und regionalen Blickwinkel das Thema "Energiepolitik" bearbeitet werden kann:

- Struktur der elektrischen Energieversorgung (Kraftwerkstruktur, Verteilerstruktur, Spannungsebenen, Besitzverhältnisse, Ausbauplanungen),
- Energiepolitische Vorstellungen für die Zukunft (Regionale Energiekonzepte, bisherige Energieversorgungsstrategien, bisherige Energieprognosen, Parteiprogramme, Schadstoffbelastungen und ökologische Auswirkungen),
- Vergleich verschiedener Energiesysteme (Kondensationskraftwerke mit Kohle, Gas und Uran, Kraft-Wärme-Kopplung, Wirkungsgrade und Primärenergienutzung, ökologische, wirtschaftliche und soziale Auswirkungen).

Zur zusammenhängenden Bearbeitung der technischen und gesellschaftlichen Aspekte des Gegenstandes bietet sich der Projektunterricht besonders an. Ein Projekt "Auswirkungen der Energiepolitik der Kommune (des Landes) auf die Verbraucher" kann bei der aktuellen oder zukünftigen Betroffenheit der Lernenden als Abnehmer von Energieleistungen ansetzen.

Das Thema dieses Projektes wurde von mir in folgender Weise untergliedert, wobei sich bei allen Fallbeispielen und technischen Systemen die Auswirkungen politischer und wirtschaftlicher Entscheidungen auf die Technik zeigen läßt:

1. Analyse der Nutzung von elektrischer Energie im Haushalt und im Betrieb der Lernenden
2. Analyse der Primär- Nutzungsenergiestufigen verschiedener Verbraucher, Optimierung
3. Preise verschiedener Energieträger und Preisbildung (Leistungs- und Arbeitspreis)
4. Struktur der elektrischen Energieversorgung in der Kommune, Spannungsebenen und Kraftwerksarten
5. Zusammenarbeit von lokalen und Verbund EVUs
6. Alternativen in Energieversorgung und -verbrauch
 - Energiesparen
 - Dezentralisierung der Versorgung
 - Nutzung regenerativer Energiequellen
 - Auswirkungen technischer Innovationen

Weitgehend möchte ich die allgemeinen Rahmenbedingungen der Energiepolitik in der Bundesrepublik, die speziellen in Hamburg sowie Notwendigkeiten einer alternativen Energiepolitik entwickeln.

Von der Energiekrise zur Energieschwemme

Ausgelöst durch den Ölpreisschock 1973 wurde in der energiepolitischen Diskussion eine heftige Auseinandersetzung darüber geführt, welche Strategien zur Behebung des Energiemangels führen und wie es um die Endlichkeit der natürlichen Ressourcen der Primärenergieträger steht. Studien wie die des Club of Rome und "Global 2000" (1) haben die Thesen von der Erschöpfung der Naturvorräte an Kohle, Öl, Gas und Uran erhärtet und zugleich eine politische Bewegung gefördert, die sich gegen die ökologische Zerstörung durch ein ungehindertes wirtschaftliches Wachstum gewendet hat und für eine Wende in der Energiepolitik eingetreten ist. Die Bürgerinitiativ- und die Ökologiebewegung, die in den siebziger Jahren energiepolitische Themen aufgriffen, haben in den meisten Fällen an der geplanten Errichtung von nuklearen Energieanlagen-, Atomkraftwerken, Nukleares Entsorgungszentrum (NEZ), Zwischenlager, Wiederaufarbeitungsanlage

(WAA) - angeknüpft und damit über die Sicherheitsfragen und die Umweltgefährdung von Atomanlagen hinaus eine breite öffentliche Diskussion über Energiepolitik in Gang gesetzt.

Die Ergebnisse dieser öffentlichen Auseinandersetzung haben das politische Klima in der Bundesrepublik entscheidend verändert. Die Fortschrittgläubigkeit gegenüber einer Technik, deren Sachverwalter jede Expansion der Energiemärkte mit technischen, ökonomischen und naturwissenschaftlichen Sachzwängen begründeten, ist einer Skepsis gewichen, die letztlich auf die Mitentscheidungen der Betroffenen bei gesellschaftlichen Planungsentscheidungen von industriellen und wirtschaftlichen Projekten abzielt. Offizielle Begründungen für den Ausbau der Atomenergie zur Substitution von Erdöl als Primärenergieträger wurden in den siebziger Jahren von allen wirtschaftlichen und systemanalytischen Instituten dadurch gegeben, daß eine enge Koppelung zwischen Wachstum des Bruttosozialprodukts und Wachstum des Verbrauchs an Primärenergie prognostiziert wurde:

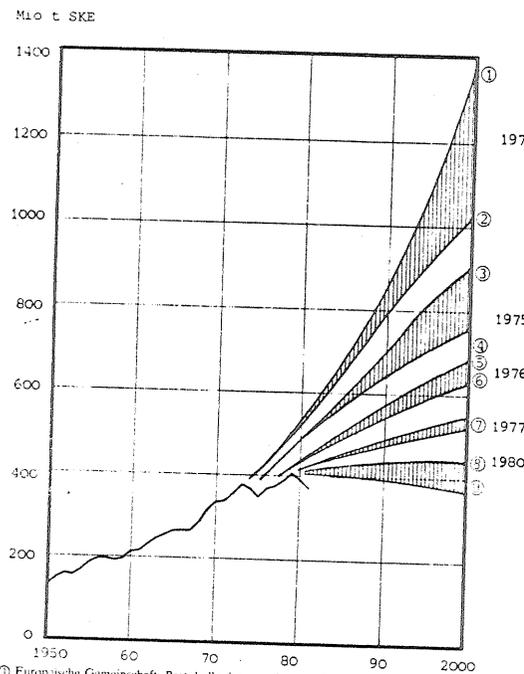


Bild 1:
Entwicklungen der
Energieprognosen seit
1973 - vermuteter Gesamtverbrauch an Primärenergie in der BRD bis zum Jahre 2000 (2)

① Europäische Gemeinschaft, Protokolle der energiepolitischen Anhörung. ② Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Wochenbericht 44. ③ Bundesministerium für Forschung und Technologie, Auf dem Wege zu neuen Energiesystemen, Teil 1. ④ des. Einsatzmöglichkeiten neuer Energiesysteme, Teil 1 und (bis 1985) erste Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung. ⑤ H. J. Ziesig, Der künftige Energieverbrauch in der BRD, in: Der Bürger im Staat, 26. Jg., Heft 1. ⑥ BMFT, Technologie zur Einsparung von Energie. ⑦ Petrol Consult, Erdölinformationsdienst vom 28. 1. 1977. ⑧ Pfad 2 und ⑨ Pfad 3 der Enquete-Kommission des Bundestages, 1980.

Innerhalb und neben der Ökologiebewegung sind regional und überregional Gruppen von kritischen Wissenschaftlern entstanden, die die Bürgerinitiativen in technischen, wirtschaftlichen, ökologischen und juristischen Fragen unterstützen. Wohl der wichtigste Zusammenschluß ist das Freiburger ÖKO-Institut, das 1980 die Studie "Energiewende" (3) herausgegeben hat und damit nach entsprechender Veröffentlichung z. B. in den USA für die Bundesrepublik ein Alternativszenario entwickelt hat, das zu einer Intensivierung der energiepolitischen Diskussion führte. Im folgenden Bild 2 sind die wichtigsten Ergebnisse der Energiewende-Studie zusammengefaßt.

Energieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland ohne Kernenergie und Erdöl

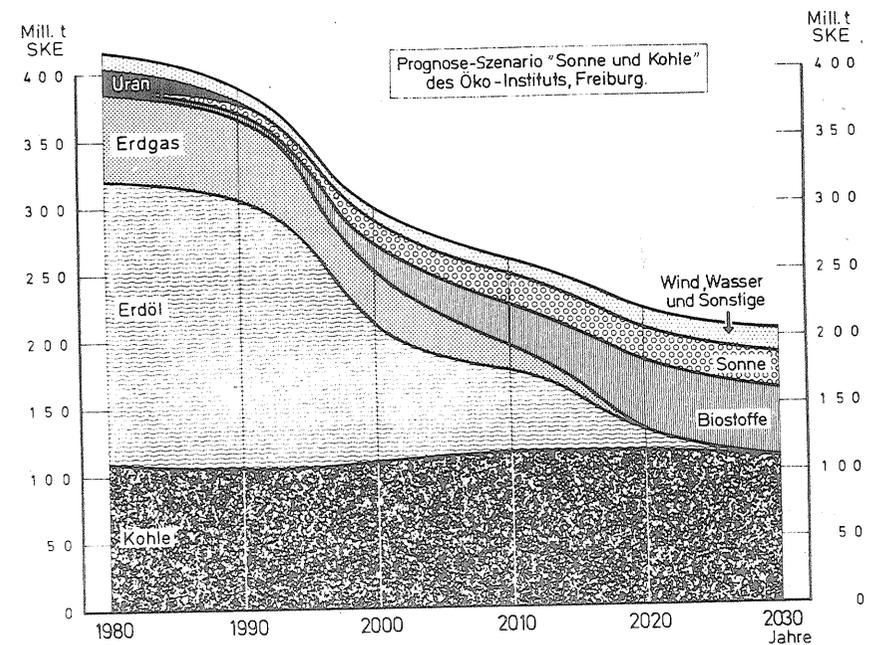


Bild 2: Energieverbrauch

Die wichtigsten Kritikpunkte dieses Energieszenarios an der offiziellen Energiepolitik sind:

"* Das nukleare Konzept paßt nicht zur Struktur des Endenergiebedarfs, denn nur knapp 10% unseres Energiebedarfs ist auf

Strom ausgerichtet.

- * Das nukleare Konzept ist zu teuer, denn es erfordert enorme Investitionen. Höhere Strompreise sind dadurch vorprogrammiert.
- * Das nukleare Konzept bringt uns zu langsam vom Öl weg". (5)

Ein entscheidendes bedeutsames Arbeitsergebnis der Enquete-Kommission "Zukünftige Kernpolitik" des Deutschen Bundestags war die Berechnung des zukünftigen Energieverbrauchs nach vier verschiedenen Entwicklungsphasen. Die Berechnungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Ergebnisse der Berechnungen für die vier Pfade*

Charakterisierung	Pfad 1		Pfad 2		Pfad 3		Pfad 4		
	1978	2000	2030	2000	2030	2000	2030	2000	2030
Wirtschaftswachstum	3,3 Prozent		2,0 Prozent		2,0 Prozent		2,0 Prozent		
- vor 2000	1,4 Prozent		1,1 Prozent		1,1 Prozent		1,1 Prozent		
- nach 2000	mittel		mittel		stark		stark		
Strukturwandel in der Wirtschaft	wie BSP/2		wie BSP/2		Null		Null		
Wachstum der Grundstoffindustrie	Trend		stark		sehr stark		extrem		
Energieeinsparungen									
Nachfrageseite									
Primärenergiebedarf	390	600	800	445	550	375	360	345	310
Endenergiebedarf	260	365	446	298	317	265	250	245	210
Strombedarf**	36	92	131	47	57	39	42	36	37
Nicht-energetischer Verbrauch	32	50	67	43	52	34	34	34	34
Angebotseite									
Stein- und Braunkohle	105	175	210	145	160	145	160	130	145
Erdöl und Erdgas	265	250	250	190	130	190	130	165	65
Kernenergie in GWe	10	77	165	40	120	0	0	0	0
- davon Brutreaktoren	-	-	84	-	54	-	-	-	-
Regenerative Energiequellen	8	40	50	40	50	40	70	50	100
Sonstiges									
Kohleverstromung	65	80	80	29	22	76	77	52	33
Synthetisches Erdgas aus Kohle	-	18	50	18	56	-	-	-	-
Stromanteil in Prozent									
- an der Raumwärme	3	14	17	5	7	3	2	2	0
- an der Prozesswärme	7	19	17	8	8	8	8	7	6

Tabelle I: Energiezukunft in der BRD (6)

Spätestens seit 1984 sieht die Realität des Energieverbrauchs in der Bundesrepublik etwas anders aus, als in den Jahren zuvor von den offiziellen Instituten prognostiziert worden war. Der Gesamt-

* Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich alle Werte und Millionen t SKE

** Der Strombedarf bezieht sich nicht auf den Endenergiebedarf an Strom, nicht auf die Bruttostromerzeugung. Er ist hier in Millionen t SKE angegeben. 1 Millionen t SKE Strombedarf entspricht 8,13 TWh.

energieverbrauch in der Bundesrepublik 1984 liegt bei ca. 375 Mio t SKE, das ist ungefähr das Niveau von 1977, nachdem 1979 ein Maximum von 408,2 Mio t SKE verbraucht worden ist. Gegenüber dem Vorjahr sind 1984 nach Prognosen Mitte des Jahres folgende Veränderungen bei den einzelnen Primärenergieträgern aufgetreten:

Gas	+ 5 %
Kohle	+ 3 %
Öl	0 %
- Benzin	+ 3 %
- Diesel	+ 4 %
- Heizöl (leicht)	- 3,4%
- Heizöl (schwer)	- 7,5%
Strom	+ 4,5%

Die Realität eines quasi stagnierenden Energieverbrauchs in der Bundesrepublik seit Ende der siebziger Jahre findet auch seinen Niederschlag in einem Gutachten zur Entwicklung des Energieverbrauchs bis zum Jahre 2000, das die Bundesregierung 1983 in Auftrag gegeben hatte. Das wichtigste Ergebnis, ein sinkender Primärenergieverbrauch und eine deutliche Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Primärverbrauch, ist aus folgender Übersicht zu erkennen:

	mittlere Variante	untere Variante	obere Variante
1982	361,5		
1983	364,5		
1985	380,3	378,4	392,8
1990	376,1	364,0	380,3
1995	372,7	350,2	380,6
2000	369,4	338,7	381,4

Tabelle 2: "Primärenergieverbrauch in Mio t SKE"

Überkapazitäten in der Stromerzeugung: Das Beispiel Hamburg

Der Gesamtenergieverbrauch in der Bundesrepublik stagniert. Aufgrund der falschen Prognosen in der Vergangenheit sind jedoch in den letzten Jahren Überkapazitäten in der Energiewirtschaft aufgebaut worden, die als "Sachzwänge" die heutige Energiepolitik beeinflussen. An dieser Stelle scheint es sinnvoll, das regionale Beispiel Hamburg zu betrachten, da einerseits Energiepolitik nicht auf Bundesebene allein gemacht wird, sondern gerade in der elektrischen Energieerzeugung die regionalen Besonderheiten zu untersuchen sind, andererseits in diesem Fall das Datenmaterial sehr umfangreich und damit auch aussagekräftig ist.

In der Hamburger Energiepolitik streiten seit Jahren zwei gegensätzliche Positionen um ein Energiekonzept und blockieren sich gegenseitig. Auf der einen Seite steht die "Gas-Atom-Linie" (9), auf der anderen die Befürworter einer Einspar- und Fernwärmepolitik. In der Auseinandersetzung um den Bau des AKW Brokdorf opferte die in Hamburg regierende SPD ihren Bürgermeister Klose zugunsten der weiteren Beteiligung an den Projekt Brokdorf. Inzwischen pfeifen es die Spatzen von den Dächern: Die Hamburger Elektrizitätswerke (HEW) haben im Kraftwerksbereich Überkapazitäten aufgebaut, und die Entwicklung des Stromverbrauchs stagniert. Diese Entwicklung hat Ende 1984 dazu geführt, daß die HEW einen Teil (400 MW = 30%) ihrer Beteiligung am Atomkraftwerk Brokdorf für 337 Mio DM an die Preag verkaufen mußte. Die Preag war zu diesem Handel aber nur unter der Bedingung bereit, daß das Versorgungsgebiet in Schleswig-Holstein, das bis Mitte 1985 noch von der HEW versorgt wird, ebenfalls verkauft wurde und zwar für 200 Mio DM an die Preag Tochter NWK. Bei diesem Geschäft sprach der Vorstandsvorsitzende Clausnitzer der HEW von 178 Mio DM Verlust, die GAL in Hamburg nach bisher unwiderlegten Berechnungen von 740 Mio DM Minus für die HEW. Zusätzlich zu dem finanziellen Verlust durch den Verkauf des Brokdorf- und Schleswig-Holstein-Anteil kommt jetzt noch die Verschlechterung der Kraftwerkstruktur in Bezug auf das verkleinerte Versorgungsgebiet, das nur noch den Stadtstaat Hamburg umfaßt. Für Hamburg beträgt die durchschnittliche Tagesniedriglast in

den vier Sommermonaten nicht mehr als 650 MW bei mehr als doppelt so hoher Grundlastkapazität.

Aus den beiden folgenden Abbildungen lassen sich der Ausbau der Kraftwerkskapazitäten und damit die Entwicklung der Stromerzeugung ablesen:

HEW 1970-1990: Ausbau der Netto-Engpaßleistung der Kraftwerke - Entwicklung der Jahreshöchstlast

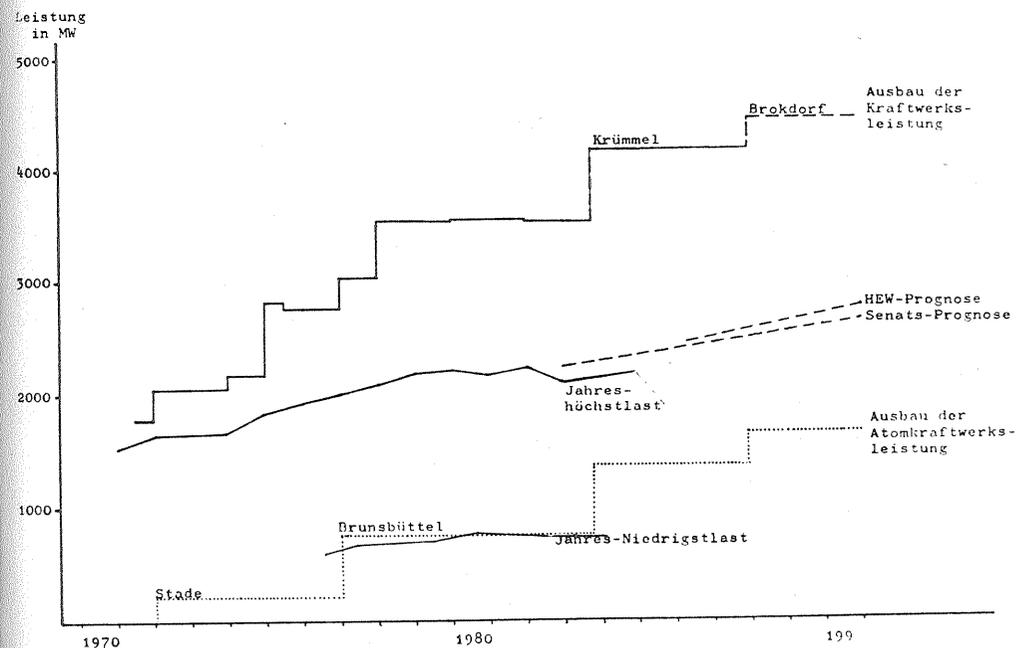


Bild 3:
HEW 1970 - 1990:
Entwicklung der Jahreshöchstlast
Ausbau der Netto-Engpaßleistung der Kraftwerke (10)

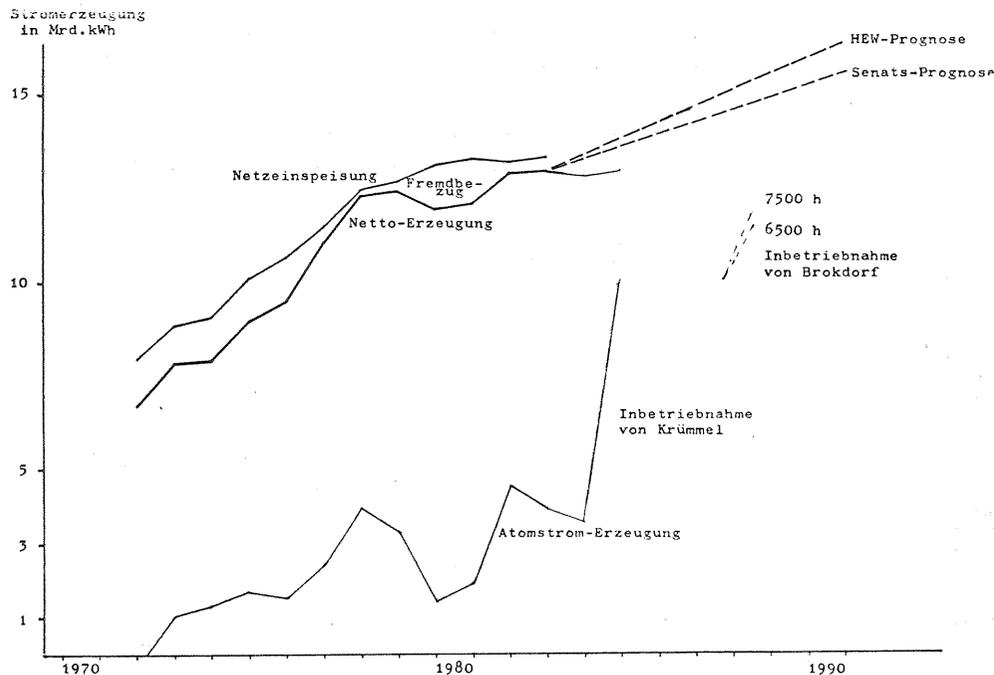


Bild 4:
HEW 1970 - 1990:
Entwicklung der Netto-Erzeugung bzw. des Fremdbezugs
Ausbau der Stromerzeugung (11)

Die HEW orientieren sich bei ihrem Ausbauprogramm an offiziellen Prognosen, die regelmäßig den Bedarf weit überschätzt haben. Noch heute rechnen die HEW und der Hamburger Senat mit Steigerungen der Spitzenlast vom 35 - 50 MW pro Jahr. Die Tendenz zu erheblichen Kraftwerküberkapazitäten wird sich weiterhin noch durch die wirtschaftliche Flaute, durch Sättigungstendenzen bei elektrischen Geräten und durch den Einsatz energiesparender Technologien verstärken. Außerdem sind die Entwicklungen auf dem Gebiet regenerativer Energiequellen so weit fortgeschritten, daß diese in Zukunft verstärkt auf den Markt drängen werden und damit einen dynamischen, aber schwer prognostizierbaren Effekt auslösen können.

Der Sachzwang der Überkapazitäten der HEW führt in Hamburg dazu, daß auf dem Wärmemarkt immer mehr Öl durch Gas substituiert wird, da die Fernwärme nicht so zügig ausgebaut wird, wie es möglich wäre, die Stromüberkapazitäten würden sonst noch größer. Außerdem ist die HEW durch die Großfeuerungsanlagenverordnung gezwungen, ihre derzeitigen Kraftwerke zu entgiften, wodurch Kapital gebunden ist. Es stellt sich auf dem Energiemarkt eine Aufgabenteilung heraus, so daß der Strom hauptsächlich in Atomkraftwerken und die Wärme hauptsächlich durch Gas produziert wird.

Für die zukünftige Energiepolitik in Hamburg ergeben sich damit eine Reihe von Problemen, die einen umweltschonenden, rationalen und sparsamen Energieeinsatz behindern. Für die Umwelt bedeutet eine Arbeitsteilung zwischen Gas und Atom eine Verdoppelung der Luftbelastung, falls der Strom in Kohle-Kondensationskraftwerken produziert wird (12), oder aber ein ungelöstes Entsorgungsproblem des Jahrtausende strahlenden Atomülls und die potentielle Gefahr eines großen Unfalls, falls der Strom in Atomkraftwerken produziert wird. Obwohl zur Zeit die Gaspreise gegenüber der Fernwärme günstiger sind, bedeutet langfristig die Investition in Energiesparmaßnahmen und in den Ausbau der Fernwärme Preisstabilität gegenüber der Unwägbarkeit des Gaspreises und den höheren Kosten für einen höheren Primärenergieeinsatz bei der Gas-Atom-Linie. Auch für die Arbeitplatzeffekte sieht die Investition in Fernwärme, Heizkraftwerke und Energiesparmaßnahmen wesentlich günstiger aus als der Bau von Atomkraftwerken und Gasleitungen (13).

Das Dilemma der Energiepolitik in Hamburg (und anderswo) liegt darin, daß beide Wege - Gas-Atom- und Fernwärmeausbau - nicht zugleich machbar und finanzierbar sind. Noch ist in der öffentlichen Diskussion keine Entscheidung gefallen, die Fortschreibung des 1982 von Hamburger Senat beschlossenen Energieprogramms (14) schmort in den Schubladen der Energiebehörde vor sich hin. Nach dem Verkauf des 400 MW-Anteils von Brokdorf von der HEW an die Preag und den gleichzeitigen Verlust des Schleswig-Holsteinischen Versorgungsgebiets (Höchstlast 400 MW) sind die Überkapazitäten prozentual noch größer als vorher, und so wird immer

deutlicher, daß eine Energiewende in Hamburg einer politischen Entscheidung bedarf, trotz der in den letzten Jahren geschaffenen Sachzwänge.

Notwendigkeit einer alternativen Energiepolitik

In vielen Studien ist die technische Realisierbarkeit der effektiven Energienutzung auf allen Ebenen des Energiesystems nachgewiesen worden. Von der Primärenergie über die Energiewandlung zur End-, Nutzenenergie und der technischen Energiedienstleistung besteht ein technisch realisierbares Einsparpotential von 88%. D.h. bei gleicher Energiedienstleistung wie heute wäre nur noch 12% des jetzigen Primärenergieeinsatzes notwendig. Wirtschaftlich realisierbar erscheinen heute 66% Einsparungen des Energiebedarfs innerhalb von 20 Jahren durch Ersatzbeschaffung (15). Allerdings werden sich diese Energieeinsparpotentiale nicht von selbst durchsetzen, sondern es bedarf wirtschaftlicher und politischer Entscheidungen, um eine solche Energie in der Bundesrepublik einzuleiten.

Ein wesentliches Merkmal einer anderen Energiepolitik liegt darin, daß bei einer dezentralen Versorgungsstruktur die Energiewirtschaft den Gegebenheiten vor Ort angepaßt wird, indem lokale und regionale Energiequellen genutzt werden (Abwärme der Industrie, Solar- und Windenergie, Biomasse) und indem die Versorgungsstruktur stärker dem tatsächlichen Bedarf an Nutzenergie angepaßt wird. In der Elektrizitätserzeugung beispielsweise sind schon heute kleinräumige Lösungen zur Koppelproduktion von Strom und Wärme (BHKWs, Wärmepumpen, Nah- und Fernwärme) den großtechnischen Lösungen überlegen, sowohl in der Primärenergienutzung als auch in der Wirtschaftlichkeit, den Beschäftigungseffekten und in den positiven Umwelteffekten.

In dem "Kasseler Kriterienkatalog" hat das ÖKÖ-Institut die Begründung für eine dezentrale Energiesparstrategie zusammengefaßt:

- " 1. Nur Konzepte zur Verbesserung der Energienutzung können die Energiedienstleistungen langfristig sicherstellen. Reine Substitutionskonzepte, bei denen nur Öl durch einen anderen erschöpflichen Energieträger ersetzt wird, schieben das Problem nur auf die lange Bank.
2. Betriebswirtschaftliche Gründe: 'einsparende Energie' ist in den meisten Fällen schon heute die billigste Energie. Einmal durch Verbesserung der Nutzungstechnik, eingesparte Energie kann nicht teurer werden!
3. Volkswirtschaftliche Gründe: Die Bundesregierung muß ca. 60% der Primärenergieträger einführen. Energieeinsparungen sind Investitionen, die der inländischen Wirtschaft zugute kommen und äußere Abhängigkeiten abbauen helfen.
4. Erhaltung der Rohstoffvorräte: fossile und nukleare Energieträger stehen nur in begrenztem Umfang zur Verfügung. Bessere Energienutzung ist die Voraussetzung für eine lange Verfügbarkeit dieser Vorräte und für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen.
5. Systeme der besseren Nutzungstechnik sind fast 100%ig sicher gegen Ausfälle und verringern mit dem Energieverbrauch auch das Schadensrisiko.
6. Die Versorgungssicherheit wächst bei Energieeinsparungen durch die verringerte Abhängigkeit von Energielieferungen und die verbesserte Reservehaltung.
7. Die Umweltbelastung sinkt mit dem verringerten Energieverbrauch.
8. Investitionen in Systeme der besseren Energienutzung fördern die regionale Wirtschaft ...
9. Die bessere Energienutzung erhöht den zukünftigen Handlungsspielraum ...
10. Die bessere Energienutzung entlastet durch ihre Wirtschaftlichkeit alle Beteiligten vom steigenden Energiekostendruck". (16)

Bei der Durchsetzung dieser Ziele geht es letztlich um die Demokratisierung der Energiepolitik auf regionaler und lokaler Ebene. Die heutige Energiepolitik wird - besonders im Elektrizitätsbereich - von Großunternehmen besorgt, deren Energie-

versorgungspolitik auf Umsatz- und Gewinnmaximierung abzielt. Dagegen hätte eine kommunale Energiepolitik auf die sozialpolitischen, ökologischen und volkswirtschaftlichen Folgen der zu wählenden Strategie der Energienutzung zu achten. Die Projektgruppe "Energiewende II" hat unter dem Stichwort "Rekommunalisierung der Energiewirtschaft" diesen Weg thesenhaft zusammengefaßt:

"Rekommunalisierung bedeutet

- die Kommune zur zentralen politischen Planungsinstanz eines örtlich angepaßten und nutzungsorientierten Energieeinsatzes zu machen,
- das Geschäft mit der Ware Energie und die daraus resultierenden Schäden an Mensch und Umwelt drastisch zu begrenzen und die kommunale Energiebereitstellung wieder primär auf das Ziel Bedarfsdeckung und 'Daseinsvorsorge' insbesondere der Haushalte auszurichten (Dienstleistungskonzept),
- somit die gesellschaftliche Kontrolle der Produktion, Verteilung und Nutzung der Energie im Rahmen der überschaubaren Verhältnisse einer Kommune/kommunaler Zusammenschlüsse nach Kräften zu fördern, die kommunale 'Eigenautonomie' zu erhöhen, den Einfluß der großen Verbund-EVU zu schwächen und langfristig zu brechen
(Stichwort: Entflechtung/Überführung in Gemeindeeigentum),
- soziale Interessenwidersprüche im Energiesystem transparent und im Rahmen kommunaler Entscheidungsprozesse sowie durch öffentliche Erörterung von Alternativszenarien demokratisch entscheidbar zu machen,
- durch 'Energiepolitik von unten' Fachkompetenz und politische Motivation zur Änderung auch der ordnungspolitischen und rechtlichen Rahmenbedingungen des zentralisierten Großverbundsystems zu schaffen." (17)

Um eine solche Rekommunalisierung einzuleiten, bedarf es kommunalpolitischer Maßnahmen, denn allein durch Markt und Wettbewerb wird sich eine andere kommunale Energiepolitik kaum durchsetzen.

Dazu gehören:

- Einrichtung von unabhängiger und öffentlicher Energieberatung, die offensiv mit dem Ziel Energiesparen arbeitet,
- die Durchsetzung von rationeller Energieverwendung innerhalb der kommunalen Verwaltung,
- öffentliche Finanzierungsprogramme zur Wärmedämmung und Energieeinsparung,
- Ausbau der kommunalen Energieerzeugung auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung,
- Erarbeitung kommunaler Energiekonzepte,
- Durchsetzung von linearisierten Tarifen für leistungsgebundene Energieträger,
- Erstellung von beispielhaften Modellen der rationellen Energienutzung und der wärmetechnischen Sanierung. (18)

Auch wenn eine rationellere Energienutzung und Energieeinsparung der gesellschaftspolitisch sinnvollere Weg in der Energiepolitik zu sein scheint, bestehen eine Reihe von Hemmnissen gegen eine solche Strategie, P. Hennicke hat aber wie folgt zusammengefaßt. "Erstens stärkt jede nutzungsorientierte Strategie die Unabhängigkeit der Verbraucher und schwächt das Versorgungsmonopol der EVU; zweitens schmälert jede Energiesparstrategie letztlich die Finanzzuflüsse in die Kommunalhaushalte (in Form von Konzessionsabgaben, Gewinnabführungen und Gewerbesteuerzahlungen der EVU und trifft deshalb, ohne entsprechende Kompensation, auf den entscheidenden Widerstand insbesondere der Städte. Drittens ist der subjektive Amortisationszeitraum von Investoren im Haushaltsbereich (z.B. für Wärmedämmmaßnahmen) weit geringer als der wirtschaftlich mögliche. Viertens sind die Nutznießer von Wärmemaßnahmen häufig Mieter und somit nicht identisch mit den Investoren, so daß nur eine "warmmietneutrale" wärmetechnische Sanierung die Interessenwidersprüche im Mietwohnungsbau vermindern würde." (19)

An dieser Stelle wird noch einmal deutlich, daß ein rationeller Energieeinsatz nur auf politischem Wege zu erreichen ist.

Gerade wegen der vielen Interessenkollisionen bedarf dies einer breiteren Mitgestaltung und Mitentscheidung aller Energieverbraucher.

Anmerkungen

- (1) vergl. Global 2000, Der Bericht an den Präsidenten, Frankfurt 1980; D. Meadows, u.a., Die Grenzen des Wachstums, Stuttgart 1972
- (2) K. Traube, O. Ullrich, Billiger Atomstrom? Wie die Interessen der Elektrizitätswirtschaft die Energiepolitik bestimmen, Reinbek 1982, S. 20
- (3) F. Krause, H. Bossle, K.F. Müller-Reißmann, Energiewende - Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran, Frankfurt 1980
- (4) F. Krause, u.a., a.a.O., S. 162
- (5) G. Michelsen, u.a., Der Fischer ÖKO-Almanach 82/83, Frankfurt 1982, S. 159
- (6) Deutscher Bundestag, Zukünftige Kernenergiepolitik, Der Bericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages, Bonn 1980, zitiert nach Traube/Ullrich, a.a.O., S. 45
- (7) S. Kohler, ÖKO-Institut, auf der Bundesarbeitsgemeinschaft Energie der Bundestagsfraktion "Die Grünen" am 22.9.84 in Bonn
- (8) PROGNOSE AG, Die Entwicklung des Energieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland und seine Deckung bis zum Jahr 2000. Kurzfassung, Basel 1984, S. 5
- (9) vergl. K. Gärtner, Energiekonzepte für Hamburg, Gas oder Fernwärme?, Hamburg 1984
- (10) G. Heubel, Die Bedeutung des Atomkraftwerks Krümmel für die öffentliche Elektrizitätsversorgung in Norddeutschland, Hamburg 1983, S. 19
- (11) ebenda, S. 20
- (12) vergl. H. Euler, Umweltverträglichkeit von Energieversorgungskonzepten, Planungsgrundlagen für die Erstellung von umweltorientierten örtlichen und regionalen Energiekonzepten, Bonn 1984
- (13) vergl. H. Spitzley, Energiesparen als Beschäftigungspolitik, Zur Kosten-Nutzen-Analyse der Energiesparstrategie "Raumwärmeszenario 2000": Energiesparen schont die Umwelt, schafft Arbeitsplätze, macht unabhängig und finanziert

sich selbst, TU Berlin, Schriftenreihe Energie und Gesellschaft, Heft 18, Berlin 1983

- (14) Senat der Freien und Hansestadt Hamburg, Hamburgisches Programm zur Einsparung von Energie, Hamburg 1982
- (15) W. Feist, ENERGIEEINSPARUNG durch Rationelle Energienutzung Kassel 1983
- (16) ÖKO-Institut, Projektgruppe "Energiewende II", Entwurf für einen Krisenkatalog für regionale und lokale Energiekonzepte, Freiburg 1983
- (17) ÖKO-Institut, Projektgruppe "Energiewende II", Inhaltliche Schwerpunkte und neue Aspekte des Projekts Energiewende II, Darmstadt 1964
vergl. auch S. Kohler/ J. Johnson, Energiewende II, Studie kommunaler und regionaler Energiekonzepte, in: ÖKO-Mitteilungen 4/83, Freiburg
- (18) Vergl. C. Zeine, Kommunale Energiepolitik, in: Alternative Kommunalpolitik, 6/84, Bielefeld
- (19) P. Hennicke, Thesen über Energiekonzepte, in: ÖKO-Mitteilungen 2/84, Freiburg

Ulrich Stampa:

Erzeugung elektrischer Energie durch Windkraft.

Erzeugung elektrischer Energie aus Windenergie stellt in der beruflichen Bildung z. Zt. sicher einen exotischen Randbereich dar. Trotzdem erschien es uns sinnvoll und wichtig gerade diese für Alternativen in der elektrischen Energieversorgung zumindest in der Diskussion dieses Themas wichtigste technische Lösung darzustellen. Umsomehr als gerade Lehrer an möglichen in die Zukunft weisenden Technologien interessiert sind und auch sein sollten. Sie bilden die Jugendlichen jetzt aus, die in der Zukunft in diesen Technologien arbeiten müssen. Daher hier auch primär die technische Analyse des Systems und noch keine Anknüpfung an den Unterricht.

Vorwort

Windkraft ist in der Lufthülle der Erde auf unabsehbare Zeit in so reichlichem Maße vorhanden, daß die energiehungrige Menschheit sie gar nicht ausschöpfen und auswerten kann. Keine Energiequelle ist so allgegenwärtig wie die Windenergie, aber keine ist auch so unbeständig und so wenig vorausschaubar. Die technische Nutzung gilt als vielversprechend, sie muß als eine Herausforderung an die Techniker aufgenommen werden, damit ihre Chancen genutzt werden können.

Diese Aufgabe wurde schon bei historischen Windmühlen mit der damaligen Technik und unter den damaligen wirtschaftlichen Verhältnissen zum Nutzen der Bevölkerung gelöst. Die Windenergie wurde in Wellenleistung umgesetzt und durch eine mechanische Übertragung der Arbeitsmaschine zugeführt. Beim heutigen Stand der Technik wird allgemein die elektrische Übertragung der am Windrad gewonnenen Energie bevorzugt.

Leistungsvermögen des Windes

An allen Stellen der Erde gibt es ausnutzbare Windkraft. An allen Stellen des europäischen Festlandes treten Windgeschwindigkeiten bis zu 40 m/s auf. Über See und in sehr geringen Ausnahmefällen auch über einigen Stellen des Festlandes kann der Wind Geschwindigkeiten von mehr als 56 m/s erreichen. Über den europäischen Landgebieten schwanken die mittleren Windgeschwindigkeiten zwischen 8 m/s auf den nordatlantischen Inseln und 3,2 m/s über Finnland, Polen und Südost-Frankreich. Diese Werte gelten für eine Höhe von 10 m über ebenem Grund. Zum Boden hin fallen die Werte weiter ab. In größeren Höhen nehmen die Werte noch erheblich zu.

Durch die Bebauung und Bewachsung des Bodens wurden die bodennahen Luftschichten bei Wind verwirbelt und abgebremst. Auf Hügeln und Bergkuppen weht eine beschleunigte Luftströmung, während in den Tälern allgemein mit kleineren Windgeschwindigkeiten gerechnet werden kann.

Windmühlen wurden deshalb vorzugsweise in den weiten Ebenen und auf Hügeln errichtet.

Das Leistungsvermögen P von bewegter Luft mit der Geschwindigkeit v_0 errechnet sich aus ihrer Gewichtskraft N die in einer Zeiteinheit s durch eine Bezugsfläche A hindurch tritt:

$$P = v_0^3 \cdot A \cdot \rho / 2 \quad (w)$$

Leistungsvermögen von bewegter Luft auf 1 m² Fläche bezogen

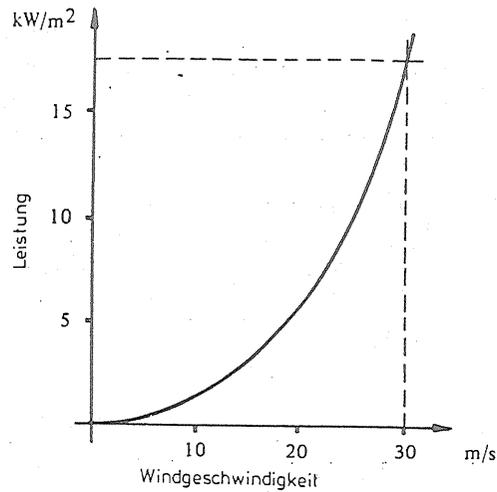


Abb. 1

Abb. 2 veranschaulicht die Windverhältnisse in Mitteldeutschland. Aus der Grafik geht die Dauer der zu erwartenden Windgeschwindigkeiten hervor. Außerdem sind die Zeiträume der von Windkraftwerken nutzbaren Windgeschwindigkeiten eingetragen.

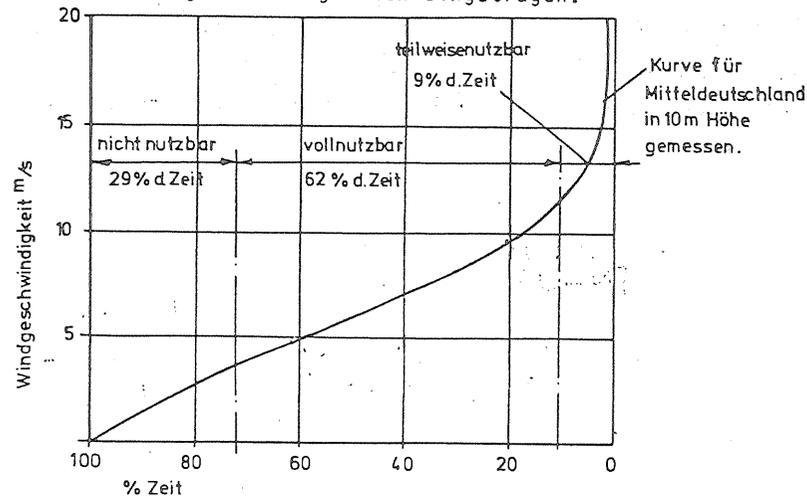


Abb. 2: Windverhältnisse in Mitteldeutschland

Steht kein Windmeßgerät zur Verfügung, können die Windgeschwindigkeiten nach der Beaufort "Skala" abgeschätzt werden (7)

Leistung von Windrädern

Die Umsetzung der Luftkräfte am Windrad erfolgt nach den Gesetzen der Mechanik. Damit das Windrad Arbeit leisten kann, muß es dem Wind Energie entziehen. Dieses wird durch die Abbremsung der Windgeschwindigkeit erreicht. Ein laufendes Windrad kann dem Wind unter günstigsten Bedingungen etwa 60% seiner Energie entziehen. (3)

Die Leistung des Windrades steht im Verhältnis zur Leistung des Windes. Die Windradfläche A ist die von den Windflügeln bestrichene Fläche. Sie wird in (m²) angegeben. Der Wert für die Luftdichte beträgt in Meereshöhe $\rho = 1,225 \text{ kg m}^{-3}$ bei 15°. Der Leistungsbeiwert C_p des Windrades gibt an, wieviel der im Wind enthaltenen Energie vom Windrad in Wellenleistung umgesetzt werden kann. Er kann auf theoretischer Grundlage errechnet werden oder aus Versuchen ermittelt werden. Er wird in Abhängigkeit von der Schnell-Laufzahl $\lambda = \frac{u}{v}$ angegeben

Leistungsbeiwerte typischer Windradformen

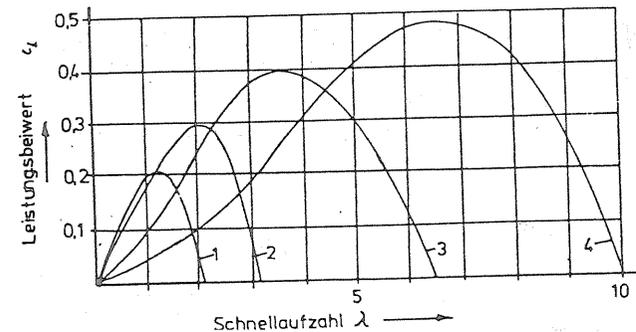


Abb. 3: Leistungsbeiwerte typischer Windradformen

- 1 Windrad mit Dreiecksegeln (Griechenland)
- 2 Vierflügler ohne Blattverstellung (Holländer Mühle)
- 3 kleiner Dreiflügler mit Blattverstellung
- 4 großer Zweiflügler mit Blattverstellung

Soll die effektive elektrische Leistung errechnet werden, sind die Wirkungsgrade für die Getriebe von der Windradwelle zum Generator zu berücksichtigen. Der Wirkungsgrad des Generators und der Regelung ist ebenfalls mit in die Rechnung einzubeziehen.

Windräder müssen bei Windgeschwindigkeiten von etwa 4 m/s anlaufen. Die Leistungsfähigkeit des Windes beträgt in diesem Fall je m² Windfläche.

$$P = v^3 \cdot 0,615 = 64 \cdot 0,615 = 39,4 \text{ W}$$

Windräder müssen einer Windgeschwindigkeit von 42 m/s standhalten. Die Leistungsfähigkeit des Windes beträgt in diesem Fall je m² Windradfläche.

$$P = v^3 \cdot 0,615 = 74100 \cdot 0,615 = 45,6 \text{ KW}$$

Es gibt keine andere Energieerzeugungsanlage, an die so extreme Forderungen gestellt werden.

Windradformen

Auf der Suche nach leistungsfähigen, dauerhaften und einfach herzustellenden Windräder sind unzählige Windradformen vorgeschlagen und sehr viele gebaut worden. Einige wenige Typen haben sich bewährt und haben in großen Stückzahlen Arbeit geleistet.

Die Wiege der Windmühlen scheint in den Mittelmeerländern gestanden zu haben. Dort hat man in Anlehnung an die Segelschiffe Segel an Masten befestigt und sie um eine zentrale Achse laufen lassen. Die Mühlen Mitteleuropas, welche zeitweise Schnee und Frost ausgesetzt sind, hatten gitterförmige Flügelflächen, welche entweder mit Segeln oder mit Windbrettern bestückt wurden. Die Amerikaner entwickeln eine vielflügelige

Windturbine mit automatischer Regelung und Sturmsicherung, welche aus verzinktem Eisen gebaut ist. Sie dient noch heute in vielen Teilen der Welt als Wasserpumpe und ist mit Abstand das zuverlässigste Windkraftwerk, das je gebaut wurde. Nach neuesten Erkenntnissen lassen sich leistungsfähigere Windräder mit geringerem Bauaufwand herstellen. Eine allgemein erprobte, empfehlenswerte Form für größere Leistungen gibt es aber auch noch nicht.

Grundsätzlich kann man zur Leistungsfähigkeit der verschiedenen Windradformen folgendes sagen:

Windräder mit vielen Flügeln und mit einer großen Flügelfläche besitzen ein hohes Anlaufmoment und eine mäßige Leistungsausbeute. Sie benötigen keine besonders hohe Qualität der Bauausführung (Maschinenbau)

Windräder mit wenigen, schlanken Flügeln und einer geringen Flügelfläche besitzen ein geringes

Anlaufmoment und erreichen eine gute Leistungsausbeute. An die Bauausführung müssen hohe Ansprüche gestellt werden. (Flugzeugbauqualität)

Den typischen Aufbau eines Windkraftwerkes zeigt Abb. 4

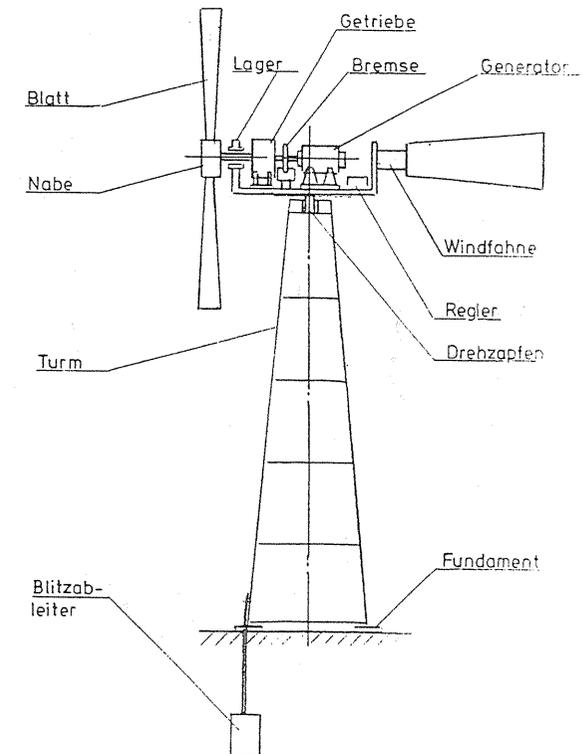


Abb. 4

Generatorauswahl

Die Betriebsbedingungen der elektrischen Energieerzeugung verlangen in Idealfall für den Generator eine konstante Drehzahl - die Nenndrehzahl - und ein Drehmoment, welches der Nennleistung entspricht. Beim Antrieb des Generators durch ein Windrad sind aber diese Idealbedingungen nicht gegeben. Es müssen also Maßnahmen getroffen werden, um die mechanische Energie überhaupt verwertbar zu machen.

Die Hauptforderung ist eine möglichst konstante Spannung über den Arbeitsbereich.

Die zweite Forderung ist eine möglichst optimale Leistungsabnahme der durch das Windrad angebotenen, stark schwankenden Leistung.

Bei größeren Windkraftanlagen wird fast immer mit Blattverstellung gearbeitet. Dadurch wird versucht, ab Nenndrehzahl des Generators die Drehzahl durch die Veränderung des Anstellwinkels des Rotorblattes konstant zu halten.

Diese Maßnahme bedeutet aber einen Verzicht auf die bei höheren Windgeschwindigkeiten angebotene höhere Leistung, da durch die Blattverstellung das Windrad vorsätzlich in seinen aerodynamischen Eigenschaften verschlechtert wird. Da aber die am häufigsten auftretenden mittleren Windgeschwindigkeiten zwischen 4 und 5 m/s liegen, sollte der Auslegungspunkt des Generators und des Windrades nicht wesentlich höher liegen, um bei diesen Windgeschwindigkeiten noch eine wirtschaftlich vertretbare Energieausbeute zu erhalten.

Bei den kleinen Windgeschwindigkeiten - die Stromerzeugung sollte bei ca. 4 m/s beginnen - wird vom Windrad auch nur eine kleinere Leistung als Nennleistung angeboten. Wird aber der Generator durch die elektrischen Verbraucher schon mit der Nennlast belastet, wird das Windrad überbelastet. Dadurch sinkt die Drehzahl, und die Stromerzeugung wird unterbrochen, weil die

Generatorspannung unter die Nennspannung fällt. Nun ist das Windrad entlastet und muß wieder - entsprechend der Windgeschwindigkeit - hochlaufen, um die für die Erreichung der Nennspannung nötige Generatordrehzahl wieder zu erreichen. Es würde also keine kontinuierliche Stromerzeugung stattfinden, sondern eine impulsförmige Leistungsabgabe. Es muß also gewährleistet werden, daß dem Generator nie mehr Leistung abverlangt wird, als das Windrad liefern kann.

Bei großen Windkraftanlagen wird die Generatorenleistung gern höher als die Auslegungsleistung gewählt, um bei höheren Windgeschwindigkeiten den nicht unerheblichen Leistungsüberschuß auszunutzen, muß diese Kennlinienanpassung auf der elektrischen Seite erfolgen.

Bei Gleichstrom- und Drehstromsynchrongeneratoren muß der Erregerstrom geregelt werden. Auch ist eine Laststufenschaltung möglich (bei kleinen Windgeschwindigkeiten werden Verbraucher abgeschaltet). Oder es wird eine Kombination aus beiden Methoden gewählt.

Nur der Drehstrom-Asynchrongenerator, der auf ein bestehendes Netz arbeitet, benötigt keine Regelung, da er völlig selbständig dem Windrad nur soviel Leistung abnimmt, wie dieses z. Z. aufbringen kann. Alle Generatortypen müssen aber gegen Überlastung geschützt werden, da sie bei einem Leistungsangebot des Windrades, das über der Nennleistung des Generators liegt, elektrisch überlastet und zerstört würden. Bei Windkraftanlagen mit Blattverstellung ist das recht einfach, da durch die Verstellung der Rotorblätter die Drehzahl und damit die Leistung begrenzt wird. Bei Windkraftanlagen mit starren Rotorblättern muß der Generatorschutz auf der elektrischen Seite durchgeführt werden. Dabei kann man mit dem Erregerstrom bei Gleichstrom- und Synchrongeneratoren oder mit der Wahl des Arbeitspunktes der Generatorkennlinie diesen Schutz auch erreichen.

Bei Asynchrongeneratoren, die auf ein bestehendes Netz arbeiten, ist kein Eingriff zur Leistungsregelung (und Begrenzung) möglich. Hier muß der Schutz auf der mechanischen Seite durchgeführt werden.

Die Anpassung des Generators an ein Windrad ist eine nicht zu unterschätzende Aufgabe beim Entwurf einer Windkraftanlage und die richtige Wahl des Generators entscheidend für einen sicheren Betrieb, eine große Energieausbeute und die Wirtschaftlichkeit der Anlage.

Regelung des Windrades

Die Leistung der vorhandenen Windenergie schwankt und muß der ebenfalls schwankenden Energienachfrage angepaßt werden. Dazu bedarf es besonderer Regelanlagen. Eine Regelanlage wird meist am Windrad angebracht. Die Anzahl und die Vielfalt der bekannten Rotorregelanlagen ist unübersehbar. Nur wenige haben sich aber bisher im Dauerbetrieb bewährt.

Beispiele:

Die Klappenflügel der historischen Windmühlen.

Die Schwenkregelung der amerikanischen Windturbine

Die Blattverstellung bei Schnellläufern mit horizontaler Achse z.B. AEROMAN

Die Blattverspitzenverstellung bei modernen Schnellläufern

z.B. Kuriant

Bis zum Erreichen der Nennleistung wird am Windrad praktisch keine Regelung benötigt. Erst nach Überschreiten der Nennleistung wird ein "Abregeln" der Leistung erforderlich. Dies geschieht, ganz allgemein gesagt, durch Veränderung der Strömungsverhältnisse am Rotor. Diese Veränderungen können automatisch einsetzen oder auch durch besondere Hilfsmittel gesteuert werden.

Regelung der Stromerzeugungsanlage

Der Generator einer Windkraftanlage ist nicht alleine zur Erzeugung von elektrischer Energie da. Er übernimmt auch einen Teil der Regelung.

Die mögliche Energieausbeute und die damit verbundene Wirtschaftlichkeit der Anlage wird von der Güte der Regelung maßgeblich beeinflusst.

Eine besonders bewährte Art der Regelung ist im "Netzparallelbetrieb" bei Drehstrom mit Asynchrongenerator möglich. Das System ist selbstregelnd. Die Drehzahl wird durch das Netz im Schlupfbereich des Generators in engen Grenzen gehalten. Läuft der Generator übersynchron, wird Leistung an das Netz abgegeben. Läuft er unterschynchron wird der Generator vom Netz angetrieben und arbeitet als Motor.

In diesem Fall wird die Anlage vom Netz getrennt.

Den für die Erregung benötigten Blindstrom entnimmt der Generator aus dem Netz. Abb. 5

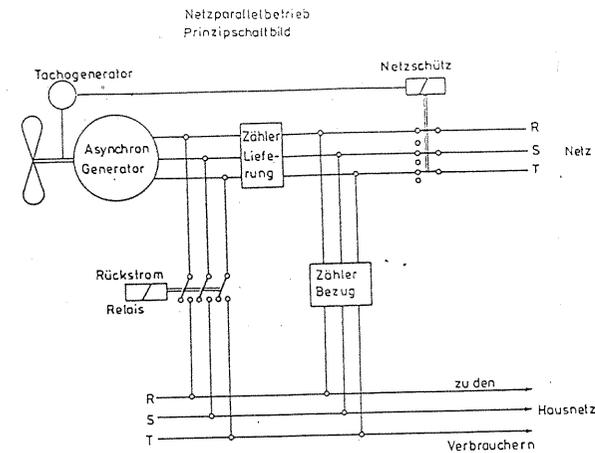


Abb. 5

Ist die Möglichkeit der Netzaufschaltung nicht gegeben, muß Inselbetrieb gefahren werden. Generatorerregung und Drehzahlregelung müssen durch besondere Einrichtungen sichergestellt sein. Abb. 6

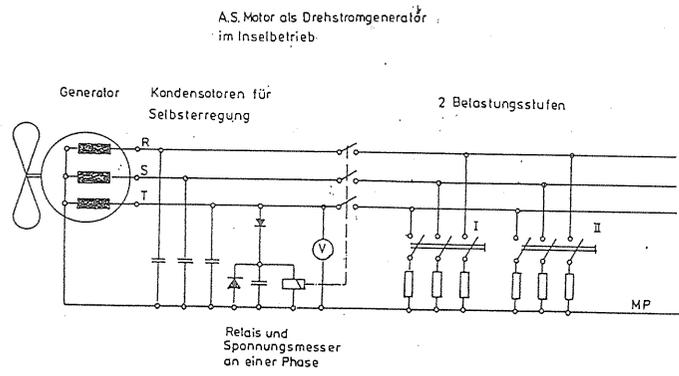
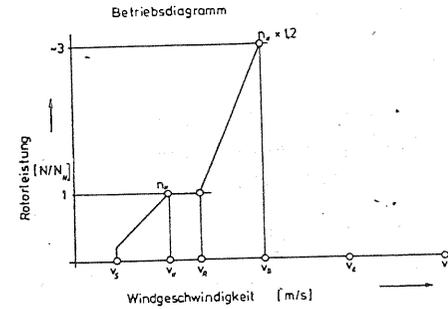


Abb.6

Betriebsverhalten einer Windkraftanlage

Die möglichen Betriebszustände ergeben sich aus dem Betriebsdiagramm. Abb. 7



- v_s Windgeschwindigkeit bei Anlauf
- v_n " " Nennleistung
- v_v " " Abschalten
- v_b " " Bö
- v_e " " Vereisung
- v_{or} " " Orkan
- N_n Nennleistung des Rotors
- n Drehzahl des Rotors

Abb.7

Windkraftanlage zur Erzeugung elektrischer Energie haben einen schnelllaufenden Rotor. Schnelllaufende Rotoren besitzen ein kleines Anlaufmoment. Die Maschinenanlage muß deshalb besonders leichtgängig sein und ein ungebremstes Hochlaufen des Rotors bis zur Betriebsdrehzahl erlauben.

Bei böigem Wetter entstehen starke Leistungsschwankungen im Energieangebot, da die Leistung mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit zunimmt. Maschinenanlage und Regelung müssen auf diese Belastung abgestimmt sein.

Störungen in der Maschinenanlage können zum "Abfallen der Last" führen. Ohne besondere Sicherung führt das in sehr kurzer Zeit zu einer unzulässig hohen Drehzahl des Rotors. In diesem und ähnlichen Störfällen muß sich die Anlage sofort automatisch

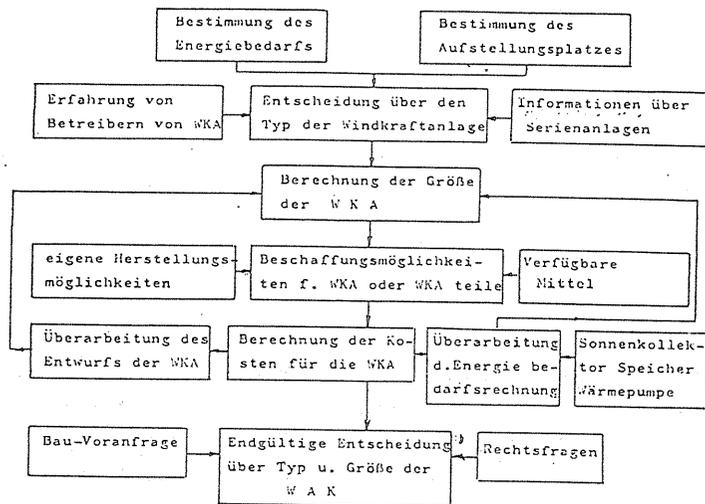
abstellen, um eine Selbstzerstörung zu vermeiden. Das Stillsetzen der Anlage muß mit zwei voneinander unabhängig arbeitenden Systemen möglich sein.

Die Regelanlage muß dafür sorgen, daß das bei der Konstruktion zugrunde gelegte Betriebsdiagramm eingehalten wird, damit keine Überbelastungen auftreten können.

Windgeschwindigkeiten über V_A müssen kurzfristig zugelassen werden, damit der Betrieb bei böigem Wetter nicht zu häufig unterbrochen wird.

Bei Vereisung und Hagel werden Windkraftanlagen abgestellt. Windkraftanlagen sind häufig Blitzschlägen ausgesetzt und müssen dagegen besonders gesichert sein.

Projektierung einer Windkraftanlage



Im allgemeinen wird der Bau von Windkraftanlagen von den kommunalen Bauämtern überwacht. Allerdings gibt es bis heute keine allgemeingültigen Vorschriften, was bei den Verfahren für die Baugenehmigung und für die Abnahme meist zu Schwierigkeiten führt.

Interessengruppen und Vereine können da nur begrenzt Hilfestellung geben.

Wirtschaftliche Verwendung der erzeugten elektrischen Energie

Das wenig vorhersehbare Angebot an Windenergie gibt hier einige Probleme auf. Die Speicherung erzeugter elektrischer Energie ist teuer.

Einige praktische Lösungen für wirtschaftliche Verwendung sollen kurz beschrieben werden.

1. Heizung des Wohnhauses im Inselbetrieb
In Norddeutschland ist dies z. Zt. die häufigste Anwendung. An die normal installierte Warmwasserheizung wird im Nebenstrom ein elektrisches Heizaggregat angeschlossen, welches seine Energie vom Windkraftwerk erhält. Die umlaufende Wassermenge kann durch ein isoliertes Gefäß beliebig vergrößert werden, so daß ein Energiespeicher entsteht.
2. Energiegewinnung im Netzparallelbetrieb
Das ist die in Dänemark am häufigsten angewendete Installation. Die Windradgröße wird so bemessen, daß die jährliche zu erwartende Energieerzeugung dem Eigenverbrauch entspricht. Die netzparallel laufende Anlage hat zwei elektrische Zähler. Bei Überproduktion liefert sie ins Netz, bei Unterproduktion liefert das Netz den Fehlbetrag. Die Abrechnung erfolgt nach beiden Zählerständen. Allerdings wird die ans Netz gegliederte Energie mit einem geringeren Satz vergütet als die vom Netz bezogene kostet.
3. Inselbetrieb mit Gleichstromanlage
Dies ist der klassische Inselbetrieb wie er praktiziert wurde, als das öffentliche Netz nicht alle Plätze erreichte. Die Windkraftanlage erzeugt Gleichstrom, welcher in einer Akkumulatorenbatterie gespeichert wird. Die Verbraucher beziehen ihren Strom aus der Batterie.
4. Großwindkraftanlagen speisen ins Netz
Fast alle Großwindanlagen sind heute so geschaltet. Die Anlagen laufen netzparallel und liefern bei ausreichender Windenergie ins Netz. Ein stabiles Netz mit ausreichender Kapazität ist erforderlich, um die Regelung der Anlage zu gewährleisten. Die Regelung der Windkraftanlage für die Netzaufschaltung erfordert besondere Sorgfalt.

Ausbaufähigkeit der Stromversorgung mit Windenergie

Mehrere ernstzunehmende Studien haben unabhängig voneinander den Beweis erbracht, daß Windenergie im Großen schon heute wirtschaftlich ist. Das für Windenergie zur Verfügung stehende Potential ermöglicht eine ausreichende Stromversorgung der Industrieländer. Vorzugsweise sollten hierfür die Küstengebiete genutzt werden, da hier die günstigsten Vorbedingungen herrschen. Je großflächiger die Windkraftnutzung angelegt wird, um so gleichmäßiger wird das Energieangebot.

Die Titel der Studien lauten:

Jarass, Obermair, Windenergie eine systemanalytische Bewertung des technischen und wirtschaftlichen Potentials für die Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland. 1980, ISBN 3-540 10362-7

Dr. H. Selzer, Final Report of Project G "Wind Energy" Actions 1/3 Assessment of the technical/economic prospects for windenergy in the European Countries. 1983

G. Zelck, Vorschlag zur Nutzung der Windenergie in den Flachwassergebieten der deutschen Nord- und Ostseeküste. Juni 1984

Literatur

Hütte Bd. II A Abschnitt 7 V, Berlin 1952

Molly, Windenergie in Theorie und Praxis. Müller Verlag, Karlsruhe

Betz, Windenergie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen. Göttingen 1926

Uve Kimberger. Energie vom Wind Diplomarbeit. TU Berlin 1983

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie. Energie vom Wind Bremen Juni 1977

Prandtl, Betz. Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen. III und IV Lieferung Oldenbourg Verlag 1927

Stampa, Bredow. Lerche. Wind Strom für das Haus. Windwerk Bremen 1983 ISBN 3 - 922964-09-5

Adolf Müller-Hellmann

Überlegungen zu stromrichtergespeisten Traktionsantrieben

1. Einleitung

Antriebe für schienengebundene Fahrzeuge sind unter erschwerten Bedingungen zu realisieren. Von vornherein ist zu beachten, daß die übertragbare Leistung der Triebfahrzeuge bedingt durch Vorgänge zwischen den zugkraftübertragenden Rädern und der Schiene, repräsentiert durch den Kraftschlußbeiwert, begrenzt ist. Andererseits ist wegen der vorgegebenen Spurweite auch der einbaubare Raum für die Fahrmotoren begrenzt. Die höchstzulässige Belastung des Schienensystems durch die Fahrzeuge stellt eine weiter einschränkende Bedingung dar. Die Fahrmotoren der Triebfahrzeuge für den Vollbahnbetrieb werden mit einphasiger Wechselspannung betrieben, wodurch Einschränkungen bei der Energiebereitstellung zu beachten sind. Nicht zuletzt wird ein Bahnantrieb mit hohen Beschleunigungen beansprucht, die durch Stöße bei Weichendurchfahrten oder bedingt durch Fehler im Schienensystem auftreten. Es ist daher nicht verwunderlich daß schon immer versucht wurde, durch den Einsatz der jeweils neuesten Antriebstechnologie diese Restriktionen zu mildern.

Diese Einschränkungen sind besonders auch bei der Realisierung von Höchstgeschwindigkeitstriebfahrzeugen zu beachten. Deren gesamtwirtschaftlich optimaler Einsatz ist nur dann möglich, wenn die bedingt durch die hohen Geschwindigkeiten bei diesen Fahrzeugen besonders stark auftretenden Wechselwirkungen zwischen den Fahrzeugen und Fahrwegen einerseits und die bedingt durch den hohen Energiebedarf auftretenden Wechselwirkungen zwischen den Fahrzeugen und den Energieversorgungseinrichtungen andererseits minimiert werden. Diese Minimierung ist mit modernen Antriebstechnologien möglich.

2. Komponente eines Bahnantriebes

Ein elektrischer Bahnantrieb muß mehrere Aufgaben erfüllen können. Er muß über einen elektromechanischen Energiewandler verfügen, der die nach dem Zugkraft (F)-Geschwindigkeits(v)-Diagramm gewünschte mechanische Leistung bereitstellen kann. Diese Funktion erfüllt der Fahrmotor. Darüber hinaus wird vom Bahnantrieb gefordert, daß die Fahrzeuggeschwindigkeit v in weiten Bereichen verstellbar werden kann. Die Rotorumfangsgeschwindigkeit v_m hängt direkt von der Fahrgeschwindigkeit v ab. Es gilt

$$v_m = k \cdot v$$

mit

k = Übersetzung der Umfangsgeschwindigkeiten.

Die Umfangskraft des Fahrmotors wird durch das Zusammentreffen von magnetischen Feldern des Stators und des Rotors erzeugt. Fließen im Stator Ströme der Frequenz f so hat bei geeigneter Wicklung das Statorfeld relativ zum Stator die Umfangsgeschwindigkeit

$$v = 2\tau \cdot f$$

mit

τ Polteilung.

Fließen im Rotor Ströme der Frequenz f_r , so hat das Rotorfeld relativ zum Rotor die Umfangsgeschwindigkeit

$$v_r = 2\tau \cdot f_r$$

Eine im Mittel von Null verschiedene Umfangskraft kann nur entstehen, wenn Ständerfeld und Läuferfeld relativ zueinander in Ruhe sind. Daraus folgt

$$v = v_r + v_m$$

und daraus

$$2\tau f = 2\tau f_r + k v$$

$$f = f_r + k^0 \cdot v$$

mit

$$k^0 = k/2\tau$$

Die Differenz der Frequenzen der Statorströme und der Rotorströme in elektrischen Maschinen ist der Drehzahl proportional. Will man also das Fahrzeug mit variabler Geschwindigkeit v betreiben, so muß mindestens eine der beiden Frequenzen f oder f_r einstellbar sein. Daraus ergibt sich, daß der Bahnbetrieb

außer dem elektromechanischen Wandler auch einen Frequenzwandler enthalten muß.

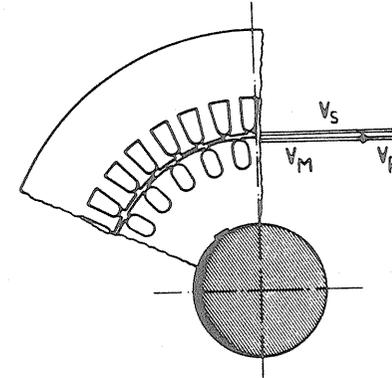


Bild 1: Zur Frequenzwandlung in elektrischen Maschinen

Zusätzlich erfordert der Bahnbetrieb, daß jeder Betriebspunkt innerhalb der Begrenzung des F-v-Diagramms eingestellt werden kann. Da die Fahrdrathspannung - abgesehen von unvermeidbaren Toleranzen - konstant ist, muß der Antrieb außer den Funktionen elektromechanische Wandlung und Frequenzwandlung zusätzlich die Funktion Leistungserstellung ausüben. Dieser Funktion ist in Bild 2 das Stellglied zugeordnet.

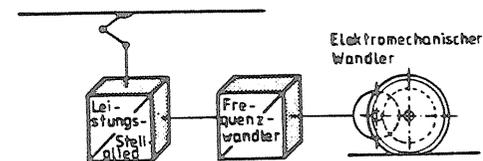


Bild 2: Komponenten eines elektrischen Bahnantriebes

Hinsichtlich der Realisierung des Elektromechanischen Energie-wandlers, des Frequenzwandlers und des Leistungsstellgliedes sind folgende Optima anzustreben:

1. Der elektromechanische Wandler soll klein, leicht und möglichst wartungsfrei sein.
2. Die Frequenzwandlung und die Leistungsverteilung sollen kontinuierlich und verschleißfrei sowie möglichst aufwandsarm und wartungsarm durchgeführt werden.
3. Für die Leistungsverstellung sind Verfahren anzuwenden, die die Belastung der Energieversorgungseinrichtungen minimieren. Das erfordert Stellglieder, die einerseits dem speisenden Netz nur die für die Traktionsaufgabe erforderliche Energie entnehmen und die andererseits die bei Bremsvorgängen freiwerdende Energie möglichst optimal an das Netz zurückgeben können.

Diese Forderungen führen jedoch nicht, wie die folgenden Ausführungen zeigen, zu einer zwangsläufig aus diesen resultierenden Lösung. Vielmehr gibt es andere Möglichkeiten, sich diesen Optima anzunähern.

Die Auswahl dieser Möglichkeiten wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, von denen im folgenden einige genannt seien.

- a) Die Auswahl der Umrichterschaltung zur Leistungs- und Frequenzverstellung wird z.B. sehr vom Aufbau des speisenden Netzes beeinflusst. In Norwegen, Schweden, Deutschland, Österreich und der Schweiz wird ein weitgehend separates Bahnnetz mit Wechselspannung $16 \frac{2}{3}$ Hz 15000 V betrieben, während die Fahrleistungen bei anderen Bahnverwaltungen in Europa direkt vom 50 Hz Landesnetz aus versorgt werden. Diese Netze unterscheiden sich einerseits hinsichtlich ihrer Widerstände und Reaktanzen und andererseits hinsichtlich ihrer Kurzschlußleistungen und ihres Resonanzverhaltens. Aus diesem Grunde können unterschiedliche Anforderungen an den Leistungsfaktor des Leistungsgliedes begründet sein.

- b) Mehrere Bahnverwaltungen in Europa betreiben sowohl ein Gleich- als auch ein Wechselspannungsnetz. Wenn die auszurüstenden Fahrzeuge in beiden Netzen eingesetzt werden sollen - es sich also um Mehrsystemfahrzeuge handelt - ist auch das sehr beeinflussend auf die Auswahl der Umrichterschaltung.
- c) Auch die Belastbarkeit des Oberbaus in Verbindung mit der Spurweite beeinflussen die Systemwahl.
- b) Bei Exportaufträgen können die zur Wartung der Fahrzeuge vorhandene Infrastruktur sowie der Ausbildungsstand des fahrenden und des die Wartung durchführenden Personals bestimmend sein.
- e) Auch extreme Umweltbedingungen wie z. B. starke Temperaturwechsel, Sand, hohe Luftfeuchtigkeit, können ausschlaggebend sein.
- f) Nicht zuletzt spielen auch Patentfragen bei der Auswahl des Systems eine wichtige Rolle.

2. 1 Elektromechanischer Wandler und Frequenzwandler

Bei den meisten im Dienst stehenden Triebfahrzeugen wird die Funktion der Frequenzwandlung von einem Kommutator, der Teil des Fahrmotors ist, erfüllt. Diese Form der Frequenzwandlung ist jedoch verschleißbehaftet und führt zu betrieblichen Einschränkungen.

Bei umrichter gespeisten Drehstromantrieben übernimmt ein aus Halbleitern aufgebauter Wechselrichter die Frequenzwandlung. Dadurch entfällt im Fahrmotor der Kommutator. Damit braucht im Fahrmotor nur noch die Lagerwartung durchgeführt zu werden, und es treten keine durch thermische Überlastungsprobleme des Kommutators auftretenden Betriebseinschränkungen mehr auf.

Die Ständerwicklungen der Drehstromfahrmotoren müssen mit kontinuierlich verstellbaren Strömen variabler Amplitude und Frequenz gespeist werden. Dies kann auf verschiedene Art und Weise geschehen. Beim Zwischenkreisumrichter mit eingepprägter

Zwischenkreisspannung (U-Umrichter) wird aus der Zwischenkreiskondensatorspannung mit Hilfe eines Puls-Weiten-Modulationsverfahrens ein dreiphasiges Spannungssystem erzeugt, welches in Amplitude und Frequenz so variiert werden kann, daß sich die entsprechend der Drehzahl- und Zugkraftanforderungen benötigten Motorströme einstellen können.

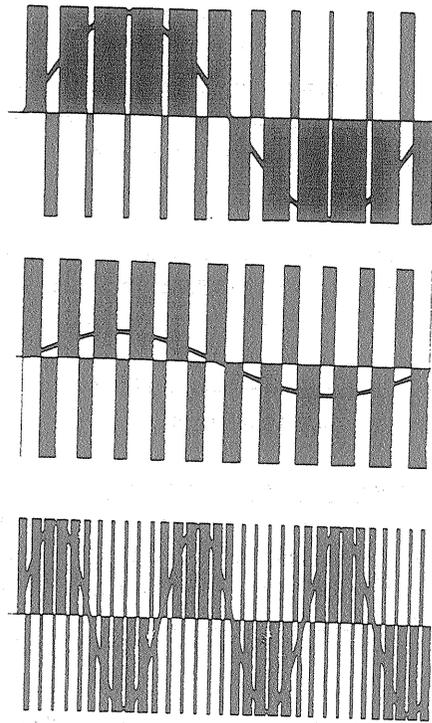


Bild 3: Schematische Darstellung der Bildung eines kontinuierlich verstellbaren dreiphasigen Spannungssystems mit Hilfe der Puls-Weiten-Modulation

Da die sich ausbildenden Motorströme mit den vom Wechselrichter gelieferten Spannungen nicht in Phase sind, müssen die Schaltelemente des Wechselrichters Ströme in beiden Richtungen führen können.

nen. Deshalb werden sie entweder aus der Antiparallelschaltung eines Thyristors und einer Diode oder als rückwärtsleitender Thyristor realisiert.

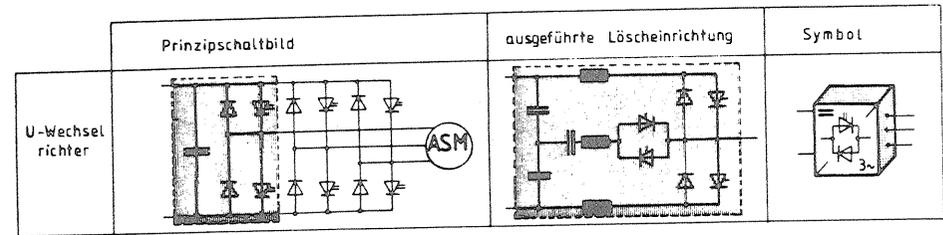


Bild 4: Darstellung des spannungseinprägigen Wechselrichters

Beim Zwischenkreisumrichter mit eingepprägtem Zwischenkreisstrom (I-Umrichter) wird der Drehstrommotor direkt mit dem entsprechend dem Betriebspunkt gewünschten Drehstromsystem versorgt.

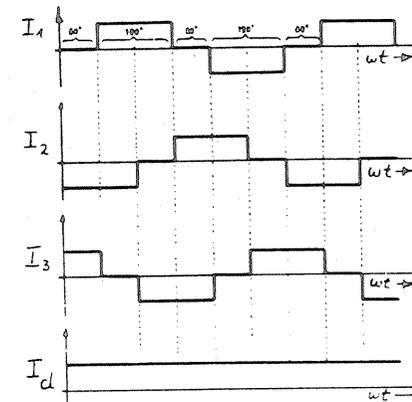


Bild 5: Schematische Darstellung der Bildung eines dreiphasigen Stromsystems aus einem eingepprägten Gleichstrom I_d

Die Aufgaben des Leistungs- und der Frequenzverstellung sind im Umrichter aufgeteilt. Dem maschinenseitigen Wechselrichter wird vom Eingangstromrichter der gewünschte Strom über die Zwischen-

schenkreisdrossel eingeprägt. Der Wechselrichter übernimmt lediglich die Frequenzverstellung. Die Schaltelemente des Wechselrichters brauchen nur für eine Stromrichtung ausgelegt zu werden. Da jedoch die sich einstellende Maschinenspannung wiederum nicht mit den Motorströmen in Phase ist, müssen die Elemente dieses Wechselrichters Spannungen in beiden Richtungen aufnehmen können.

I-Umrichter können Asynchron- oder Synchronmaschinen speisen. Da die Synchronmaschine über eine vom Wechselrichter getrennte Erregereinrichtung verfügt, kann der Wechselrichter über eine bestimmte Drehzahl maschinengeführt betrieben werden, d.h. es sind einfache Drehstrombrückenschaltungen, ergänzt um eine Anfahrhilfseinrichtung.

Da die Asynchronmaschine über den Wechselrichter magnetisiert wird, muß der Wechselrichter für diesen Anwendungsfall grundsätzlich über Löscheinheiten verfügen.

	Prinzipschaltbild	ausgeführte Löscheinrichtung	Symbol
I-Wechselrichter mit Asynchronmaschine			
I-Wechselrichter mit Synchronmaschine			

Bild 6: Darstellung des stromeinprägenden Wechselrichters für den Betrieb an einem Asynchron- und einen Synchronmotor

2.2 Leistungsstellglied

Stromrichter auf Triebfahrzeugen verursachen in den Bahnnetzen erhebliche Verluste und Netzspannungsverzerrungen. Da außerdem die als Oberschwingungserzeuger wirkenden Stromrichter dauernd ihren Standort verändern und damit eine Kompensation durch sta-

tionäre Anlagen erschweren, wurden besonders für Anwendungen auf Triebfahrzeugen netzrückwirkungsarme Einphasen-Brückenschaltungen entwickelt.

Zur Erläuterung des Begriffs "Netzurückwirkungen" im Einphasenwechselstromnetz seien die Netzgrößen U_L und I_L als beliebige, aber periodische Funktionen der Zeit angenommen. Dann stellt sich der Mittelwert der Leistung (Wirkleistung) gemäß der Beziehung

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T U_L \cdot I_L dt$$

ein.

Ausgangspunkt für die Beschreibung der Netzurückwirkungen ist bei Fryze (2) die Tatsache, das das Netz dann optimal ausgenutzt ist, d.h. das es bei einer gewünschten Wirkleistung mit dem geringsten Effektivwert des Stromes belastet wird, wenn die zeitlichen Verläufe von Strom und Spannung übereinstimmen. Jede zeitliche Abweichung dieser beiden Größen vermindert den Mittelwert der übertragenen Leistung. Deshalb spaltet er vom Netzstrom I_L einen Anteil I_{LW} ab, der den gleichen zeitlichen Verlauf wie die Netzspannung hat. Die Amplitude des Stroms I_{LW} muß so gewählt werden, daß der Zusammenhang

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T U_L \cdot I_L dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_L \cdot I_{LW} dt$$

erfüllt ist. Der Strom I_{LW} ist also der Träger der Wirkleistung und wird daher Wirkstrom genannt. Den verbleibenden Stromanteil $I_{LQ} = I_L - I_{LW}$

bezeichnet man als Blindstrom, der unerwünscht ist und nur das Netz belastet. Bild 7 verdeutlicht die erläuternde Zerlegung für

für die idealisierte Betrachtung einer vollsteuerbaren Einphasen-Brückenschaltung, die mit einem Steuerwinkel $\alpha = 60^\circ$ betrieben wird. Man erkennt oben die zeitlichen Verläufe der Netzspannung U_L , des Netzstroms I_L und der Leistung P und unten neben der Spannung U_L die zeitlichen Verläufe des Wirbelstromes I_{LW} und des Blindstromes I_{LQ} .

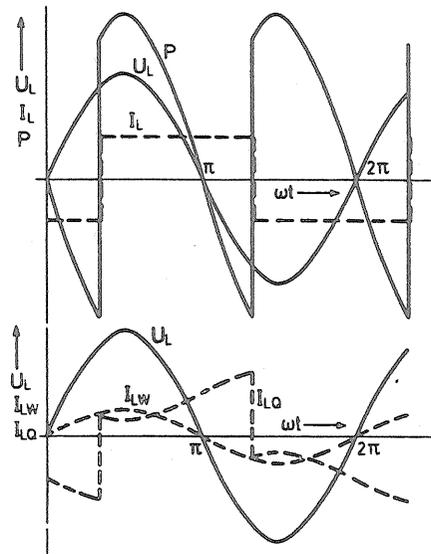


Bild 7: Zerlegung des Netzstromes I_L in Wirkstrom I_{LW} und Blindstrom I_{LQ} bei idealisierter Betrachtung des Betriebes einer vollsteuerbaren Einphasen-Brückenschaltung mit $\alpha = 60^\circ$.

Entsprechend den aus der Zerlegung des Netzstromes hervorgegangenen Stromkomponenten kann man durch die Multiplikation ihrer Effektivwerte mit dem Effektivwert der Netzspannung die folgenden Leistungsbegriffe als Rechengrößen ableiten

$$\begin{aligned} \text{Wirkleistung } \bar{P} &= \hat{I}_{LW} \cdot \hat{U}_L \\ \text{Blindleistung } Q &= \hat{I}_{LQ} \cdot \hat{U}_L \\ \text{Scheinleistung } S &= \hat{I}_L \cdot \hat{U}_L \quad S^2 = P^2 + Q^2 \end{aligned}$$

Zur Beschreibung des Zusammenhangs, wieviel vom Netzstromeffektivwert zum Wirkleistungstransport verwendet wird, wurde der Leistungsfaktor λ

$$\text{mit } \lambda = \frac{P}{S} = \frac{\hat{I}_{LW}}{\hat{I}_L}$$

geschaffen. Bild 8 verdeutlicht, wie stark mit abnehmendem Leistungsfaktor λ der Netzstromeffektivwert zunimmt und damit die Verluste im Netz ansteigen.

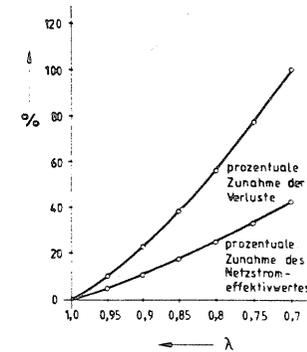


Bild 8: Abhängigkeit des Netzstromeffektivwertes und der Netzverluste vom Leistungsfaktor

Mit Hilfe von sogenannten Pulsstromrichtern kann der unerwünschte Blindstrom weitgehend eliminiert werden. Die prinzipielle Betriebsweise dieser Stromrichter zeigt Bild 9.

Der dargestellte Pulsstromrichter, der Energiespeicher enthalten soll, bildet an seinen netzseitigen Klemmen eine Spannung U_p aus, die in ihrer Amplitude und Phasenlage gegenüber der Netzspannung verschoben werden kann. Legt man die im Bild 9a angegebenen Bezugspfeile zugrunde, so sind der Netzstrom I_L und die Netzspannung U_L dann in Phase, wenn die Spannung U_p gegenüber der Netzspannung nacheilt und ihre Amplitude wie im Zeigerdiagramm

Bild 9 b gewählt wird. Das Netz verhält sich dann wie ein Generator, und der Pulsstromrichter arbeitet im Gleichrichterbetrieb. Wird die Spannung U_p voreilend (Bild 9c), nimmt das Netz Energie auf, der Stromrichter arbeitet im Wechselrichterbetrieb. Die dargestellten Zeigerdiagramme gelten jeweils für die Grundschwingungen der dargestellten Größen.

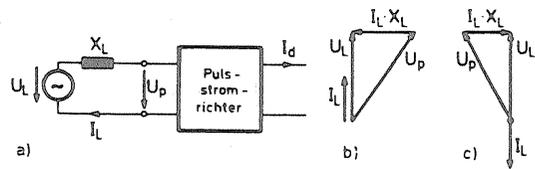


Bild 9: Darstellung der prinzipiellen Betriebsweise von Pulsstromrichtern
 a) Schaltbild
 b) Zeigerdiagramm für den Gleichrichterbetrieb
 c) Zeigerdiagramm für den Wechselrichterbetrieb

Die Pulsstromrichterspannung U_p wird bei Umrichtern mit eingepprägtem Strom durch einen Kondensator bereitgestellt, der entsprechend einem vorgegebenen Sollwert auf- und entladen wird. Die einzelnen Leitzustände im Stromrichter zeigt Bild 10. Wie Bild 10 a verdeutlicht, wird der Kondensator durch den Netzstrom I_L bzw. der Summe aus dem Gleichstrom I_d und dem Netzstrom I_L geladen und durch die Differenz $I_d - I_L$ entladen. Bild 10 b zeigt die gute Annäherung des Netzstromes an den gewünschten sinusförmigen Verlauf.

Die Pulsstromrichterspannung U_p wird bei Umrichtern mit eingepprägter Spannung durch die Grundschwingung von pulsförmigen Spannungsblöcken dadurch bereitgestellt, daß die Zwischenkreiskondensatorspannung in geeigneter Polarität zur Netzseite durchgeschaltet wird. Bild 11 a verdeutlicht die 3 Schaltzustände $U_p = 0$, $U_p = U_d$ und $U_p = -U_d$, und Bild 11 b zeigt, wie der gewünschte Netzstromverlauf angenähert werden kann.

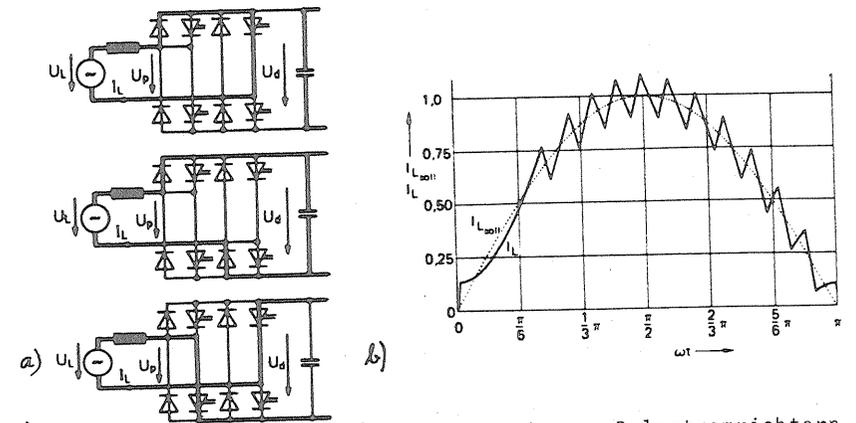


Bild 10: a) Darstellung der Leitzustände von Pulsstromrichtern für I-Umrichter
 b) Spannungs- und Stromverläufe von Pulsstromrichtern für I-Umrichter

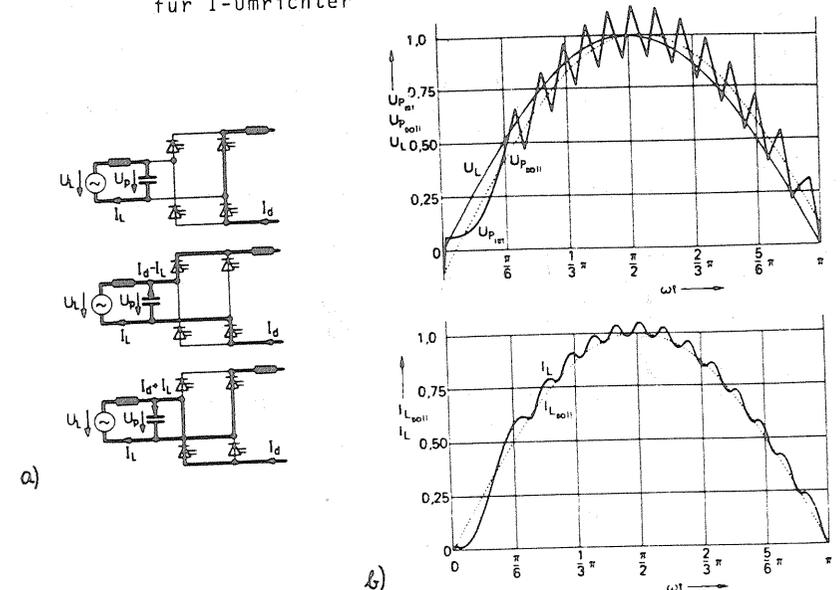


Bild 11: a) Darstellung der Leitzustände von Pulsstromrichtern für U-Umrichter
 b) Zeitlicher Verlauf des Netzstromes eines Pulsstromrichters für U-Umrichter

3. Resümee

Antriebe für Schienenfahrzeuge sollen aufwandsarm und wartungsfreundlich sein und mit geringen Netzurückwirkungen zum Netz und zum Überbau betrieben werden können. Zur Realisierung dieser Forderungen sind verschiedene Techniken vorhanden, die auch bereits auf Fahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland und in Frankreich eingebaut wurden. Diesen Techniken ist lediglich gemeinsam, daß bei allen Drehfeldmaschinen als Fahrmotoren angewendet werden.

Literaturverzeichnis

W. Teich

Dieselelektronische Triebfahrzeuge mit schleifringlosen Asynchronmotoren, Elektrische Bahnen 43 (1972), S. 74-88

S. Freyze

Wirk-, Blind- und Scheinleistung in elektrischen Stromkreisen mit nichtsinusförmigem Verlauf von Strom und Spannung

M. Depenbrock

Einphasen-Stromrichter mit sinusförmigem Netzstrom und gut geglätteten Gleichgrößen, etz-a 94 (1973), S. 466-471

W. Lienau

Untersuchung eines stromeinprägenden Wechselrichters, der zur Speisung einer frequenzgesteuerten Asynchronmaschine in einem Bahnantrieb geeignet ist. Diss. TH Aachen 1979

A. Müller-Hellmann

Pulsstromrichter am Einphasen-Wechselstromnetz, etz-Archiv (1979) S. 73.78

A. Müller-Hellmann

Übersicht über den Stand der Drehstromantriebe bei Bahnverwaltungen in der Bundesrepublik Deutschland und weltweit, Elektrische Bahnen 79 (1981), S. 374-380 und 418-422

A. Müller-Hellmann

Drehstromantriebe auf Fahrzeugen des Schienen-Nahverkehrs, Der Nahverkehr 2(1984), Heft 4, S. 15-26

Hans Dieter Hellige

Die Größensteigerung von Elektrizitätsversorgungssystemen: Eine kritische Bestandsaufnahme aus technikhistorischer Sicht

Das Problem der Technik-Geschichte in der beruflichen Bildung besteht seit langem. Im Unterricht ist sie zwischen zwei Polen zu sehen, zum einen, wo mit "schönen Demonstrationsmodellen" die Motivation der Schüler geweckt werden soll oder zum anderen die Schüler durch trockene, bedeutungslose Daten und Fakten frustriert werden.

Der folgende Beitrag fühlt sich in einem 'anderen' Technikunterricht verpflichtet.

Im Beitrag von H.D. Hellige wird Energietechnik am Beispiel des Energieversorgungssystems (EVA) nicht nur nach technischen Gesichtspunkten untersucht, sondern gefragt, unter welchen historischen und gesellschaftlichen Vorzeichen sich die elektrische Energieversorgung durch Kraftwerke im Industriesystem der Bundesrepublik Deutschland entwickelt.

Die Ergebnisse der Studie machen deutlich, daß der an einer großdimensionierten, überregionalen Energieversorgung orientierte Technologiepfad nicht unbedingt der richtige Weg sein muß.

Die Thematik wird unseres Erachtens so anschaulich dargeboten, daß sie sicher eine Umsetzung in den Unterricht möglich macht.

Nach Ansicht der Redaktion ein wichtiges Mosaiksteinchen für historisch erweiterte, berufliche Bildung, die nicht nur zu einer instrumentell technischen Handlungsfähigkeit erzieht, sondern auch die Technik selbst einer gesellschaftlichen Beurteilbarkeit unterziehen will.

Der folgende Beitrag¹⁾ möchte anhand einer zentralen Frage der energietechnischen Systemgestaltung zeigen, wie sich problemorientierte Langzeitbilanzen technischer Entwicklungsprozesse und die historisch-genetische Darstellung der jeweils vorherrschenden "Gestaltungsphilosophie" als kritische Analyseinstrumente der Technikbewertung nutzen lassen.

Durch

- die exemplarische Reevaluation technischer Entwicklungspfade,
- durch den Aufweis von mittel- und langfristigen Veränderungen, die sich im Vorverständnis von Ingenieuren und Naturwissenschaftlern gegenüber ihren Forschungs- und Entwicklungsaufgaben vollzogen haben,
- sowie durch eine Analyse der sich wandelnden sozioökonomischen und soziostrukturellen Kriterien zur Selektion von Lösungsideen

vermag die Technikgeschichte spezifische Problemlösungsmuster, aber auch Denkbarrieren und -Alternativen behindernde - Fixierungen der Ingenieurgemeinden zu identifizieren. Indem sie darüber hinaus Aussagen zu kumulativen und komplexen Langzeitwirkungen einbringt, kann sie als Korrektiv zu einem eingeschränkten Problemverhalten mit marktorientierter Perspektive und kurzem Zeithorizont wirken und auf die Notwendigkeit zusätzlicher, qualitativer Kriterien für den technischen Schaffensprozeß aufmerksam machen. ²⁾

1. Die These von der Gesetzmäßigkeit der Größensteigerung bei Kraftwerksblöcken

Wenn man technikwissenschaftliche Gesamtdarstellungen, Fachliteratur der Kraftwerkstechnik oder Energieszenarios betrachtet, dann erscheint die Entwicklung der elektrischen Energietechnik meistens als eine notwendige Stufenfolge von sehr kleinen, dezentralen Anlagen mit schlechtem Wirkungsgrad zu immer wirtschaftlicheren größer dimensionierten und stärker zentralisierten Kraftwerksaggregaten in immer großflächiger vernetzten Versorgungssystemen. Der aus dieser Langzeitentwicklung abgeleiteten technisch-ökonomischen Logik einer Effizienzsteigerung durch zunehmende Einheitsgrößen wird Gesetzmäßigkeit attestiert, und aus dem Leistungsanstieg der Maschineneinheiten sowie der Übertragungskapazitäten werden dann sogar Richtwerte und Gestaltungskriterien für die zukünftige

Konstruktions- und Entwicklungsarbeit extrapoliert. Durch bloße Fortschreibung von Trendkurven gelangt eine ganze Reihe prognostischer Studien zu dem Resultat, daß sich Elektro- und Maschinenbauingenieure auf Leistungsgrößen von 2500, 3000 oder gar 5000 MW nach 1990 einzustellen haben (vgl. Abb. 1).

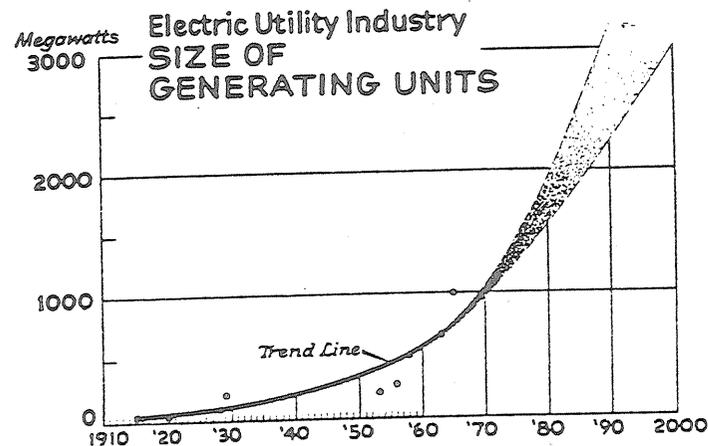


Abb. 1: Quelle: E. Vennard, The Electric Power Business, New York 1970², S. 149

Eine offizielle westdeutsche Untersuchung von 1972/74 folgert aus dem Zusammenwirken von dem "Gesetz der Kostendegression bei der Vergrößerung der Blockleistung" und der gesetzmäßigen Verdopplung des Elektrizitätsverbrauches" im Zehnjahreszeitraum, daß ein Modellkonzept für den Kraftwerksausbau der nächsten Jahrzehnte die "Strategie der Verdopplung der Blockgröße und der gesamten Engpaßleistung innerhalb von 10 Jahren" zugrunde zu legen habe. ³⁾

Da in diese bis in die 30er Jahre zurückverfolgenden Grundanschauung vieler Energietechniker ein unter bestimmten historisch-gesellschaftlichen und technisch-ökonomischen Bedingungen gültiger Variablenzusammenhang verallgemeinert und mit Hilfe mathematischer Modellbildung zum Gesetz erhoben wird, dadurch aber der energiepolitischen und technischen Gestaltungsdiskussion entzogen wird, muß m.E. die Technikgeschichte die Stichhaltigkeit der zugrundeliegenden Argumentation überprüfen. Stößt sie dabei auf eine unkritische und selektiver Verwendung quantitativen und qualitativen Faktenmaterials, so hat sie die verkürzenden Entwicklungsmodelle und Pseudogesetzmäßigkeiten mit einer komplexeren Langzeitbilanz der energiehistorischen Entwicklung zu konfrontieren. Dabei kann beispielsweise anhand einer historischen Betrachtung des Dimensionierungsproblems bei energietechnischen Systemen, wie im folgenden thesenhaft skizziert, gezeigt werden,

- daß der reale Prozeß der Größensteigerung sich nicht an die "gesetzmäßige" Regelmäßigkeit analytischer Modellkonstruktionen hielt,
- daß es Gegentendenzen und Bestrebungen für andere Entwicklungsrichtungen der Energietechnik gab,
- daß Kostendegression und Wirkungsgradverbesserung nicht durchgängig und keineswegs proportional zur Größensteigerung erfolgten und zur Begründung des vorherrschenden Entwicklungstrends oder gar zukünftigen Handelns daher auch nicht ausreichen.

2. Frühe Prägung des Problemlösungshorizonts von Energietechnikern durch großtechnische Utopien

Die Idee großflächig vernetzter Energieversorgungssysteme auf der Basis großer Umwandlungsaggregate ist nicht erst ein Resultat der Fortschreibung von technisch-ökonomischen Trends durch Ingenieure und Betriebsleiter der etablierten Elektrizitätswirtschaft. Man findet sie vielmehr schon in der "Zeit der Jugendträume der Elektrotechnik" ⁴⁾, lange bevor die technischen Grundlagen für eine

Großkraft-Verbundwirtschaft überhaupt vorhanden waren. Elektroingenieure der ersten Stunde entwarfen in ihren technischen Utopien kontinentale oder gar globale Energiesysteme, die von entlegenen Kohlevorkommen, Gezeitenkraftwerken, Windenergieparks und von den Katarakten der größten Ströme der Welt immense Energien in Form von Elektrizität in die Ballungszentren der Zivilisation leiteten.

Bereits 1862, d.h. vier Jahre vor der Entdeckung des elektrodynamischen Prinzips durch Werner v. Siemens, skizzierte der österreichische Ingenieur Joseph Popper ein Modell energietechnischer Vernetzung nach dem Vorbild von Telegraphenleitungen, in dem die Elektrizität als die "vorteilhafteste Zwischenmaschine" die Produktionsstätten mit den weitentfernten "Naturmotoren" zu einem Gesamtsystem verknüpfte. ⁵⁾ Und schon nach der Inbetriebnahme der ersten elektrischen Zentralstation im Jahre 1882 systematisierte der deutsche Elektrotechniker Athur Wilke Vorstellungen von einer "Großwirtschaft der Kraftquellen" und legte in einer der ersten Publikationen zur Ökonomie der Elektrizität das Konzept einer von einem staatlichen "Elektromonopol" verwalteten gesamtgesellschaftlichen energetischen Infrastruktur vor. Nach seiner Auffassung ermöglichte die Verstromung die Sammlung und Übertragung aller "Kraftquellen des Landes" zu einem "Centralpunkte" hin, von wo aus sie, Angebot und Nachfrage optimal ausgleichend, an die verschiedenen Konsumenten verteilt werden sollten. ⁶⁾ Die Grundstruktur dieses energiewirtschaftlichen Systemmodells war nach dem Muster zentralvermittelter Kommunikationssysteme bzw. einer Girozentrale konzipiert, bei der die Elektrizität als allgemeine Energieform, als quasi energetisches Zirkulationsmittel zwischen Energieproduzenten und -konsumenten fungierte. Von dem Ideal vollkommener "Kraftintegration" und "Energieveredelung" mußte man zwar in der Praxis wegen des hohen Umwandlungs- und Übertragungsaufwandes erhebliche Abstriche machen. Doch blieb in der Folgezeit das einheitliche, zentralisierte Elektrizitätsversorgungssystem größtmöglicher Reichweite für den technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizont von Elektro- und Kraftwerksingenieuren das bestimmende Leitbild. Dabei wurden vor allem von Ingenieuren und Direktoren der anlagenbauenden Großindustrie und der größeren Versorgungsunter-

nehmen die weitestgehenden Vorstellungen einer großtechnischen Expansion und Zentralisierung der Elektrizitätserzeugung vertreten. Ein extremes Beispiel ist hierbei der AEG-Gründer Emil Rathenau, ein Vorkämpfer monopolitischer Marktbeherrschung in der Elektroindustrie: er entwarf um 1910, d.h. noch vor der Entfaltung der Großbrauwirtschaft, als sein energiewirtschaftliches Idealbild ein gemischtwirtschaftlich organisiertes Ensemble weniger thermischer Riesenkraftwerke, die auf größtmöglicher Stufenleiter in nahezu automatischen Betrieb ganze Länder mit Licht, Kraft und Elektrowärme beliefern. Vom technischen Standpunkt aus hielt er es sogar für denkbar, "daß der ganze Bedarf Europas an elektrischer Energie an einem Ort hergestellt würde und die elektrische Fernübertragung wäre durchaus im Stande, diesen zentral hergestellten Strom über ganz Europa und noch weiterhin zu versenden." ⁷⁾

Vergleicht man derartige zentralistische Energieversorgungsmodelle mit Gegenwartsbeispielen neuartiger Energietechniken, etwa mit der Idee eines US-Solkraftwerkes von der Größe Manhattans im All zur Versorgung ganzer Kontinente und mit dem kürzlich erwogenen Plan eines einzigen ganz Europa mit Energie beliefernden Fusionsreaktors oder auch mit den Visionen extremer Zentralisierung in den Anfängen der Computernetzwerke, so wird deutlich, daß besonders vor und während der Innovationsphase neuer Techniken in den Köpfen von Erfindern und Ingenieuren oft sehr einfache Schaltpläne soziotechnischer Systeme vorhanden sind, die sich nicht selten als "Vorfixierung" ⁸⁾ auf die technischen Problemlösungen auswirken. Die Dimensionierungsproblematik stellt den Technikhistoriker daher auch vor die Frage, wie geschichtsmächtig derartige technische Utopien geworden sind, inwieweit soziale bzw. politische Leitvorstellungen (autoritär-zentralistische Gesellschaftsbilder, Allmachtsphantasien usw.), aber auch Vorbilder und Lösungsmuster bestehender Versorgungs-, Transport- und Kommunikationssysteme auf die sich entwickelnde neue Versorgungsnetz-Konfiguration übertragen wurden.

3. Der Übergang zur Strategie der Großdimensionierung in der Kraftwerksgestaltung

Mit der innovativen Durchsetzung der Kraftwerkstechnik war die Größensteigerung der Maschineneinheiten und der Leitungsnetze nicht von vornherein als technische Entwicklungsrichtung vorgegeben. Im Gegenteil, die realisierbare Technik beschränkte sich zunächst ausschließlich auf isolierte Kleinstaggregate: die Einzel- und Blockanlagen sowie die in ihrem Versorgungsradius auf 1,5 bis maximal 3,5 km begrenzten innerstädtischen Zentralen. Die "Gestaltungsphilosophie" des Edison'schen Zentralensystems war wegen der Übertragungstechnischen Restriktion des niedrig gespannten Gleichstroms darauf ausgerichtet, die bewährte kleindimensionierte Technik in möglichst vielen Exemplaren zu reproduzieren und die beste Krafternutzung mit Hilfe eines an den jeweiligen Strombedarf anpassungsfähigen Satzes kleiner Maschinen sowie durch Akkumulatorenbatterien zu erreichen. ⁹⁾ Über die reine Licht- und Kraftstromlieferung hinaus gab es im Anschluß an Birdsill Holleys US-Patent zur Abdampfverwertung für Heizzwecke von 1882 bereits seit der zweiten Hälfte der 80er Jahre in den USA und seit 1890 auch in Deutschland erste Verkoppelungen von Elektro-, Heiz- und Lüftungsanlagen in Wohnhäusern und in der Industrie. Doch das geringe Arbeitsdruckniveau der Dampfkraftwerke und die anfangs ungewöhnlich kostenintensive Kanalverlegung sowie die geringe Attraktivität der Heiztechnik überhaupt verhinderten, daß aus den bescheidenen Ansätzen der Kraft-Wärme-Kopplung ein Leitbild wärmetechnisch integrierter lokaler bzw. regionaler Energieversorgungssysteme entstand, das mit den einflußreichen großtechnischen Energieweltbildern hätte konkurrieren können. Mit der allmählichen Ablösung des notgedrungen dezentralen, kleindimensionierten Gleichstrom-Akkumulator-Kraftwerktyps durch das eine zunehmende Zentralisierung ermöglichende Wechsel- bzw. Drehstrom-Transformator-System im Laufe der 90er Jahre wurde die Größensteigerung der elektrischen Zentralen auch zur Richtschnur der p r a k t i s c h e n Kraftwerksgestaltung.

Den Anfang machten in Deutschland vor allem Oskar von Miller und die AEG, in England Sebastian de Ferranti mit dem Entwurf der Deptford-Station. Nach den ersten positiven Erfahrungen mit dem Skaleneffekt, d.h. der höheren Wirtschaftlichkeit größerer Kraftwerkseinheiten bei der Stromproduktion, gingen sie seit der zweiten Hälfte der 80er Jahre zu dem Prinzip über, bei der Elektrizitätserzeugung grundsätzlich Maschinen höchster Leistung aufzustellen.¹⁰⁾ Durch den erzielten Ökonomisierungseffekt konnten dann das Stromverbrauchsniveau und der Versorgungsradius an die höhere Leistungskapazität angepaßt werden, was wiederum die Entwicklung noch größerer Umwandlungsaggregate gestattete. Mit dem Übergang zur technischen Strategie des Einsatzes von Grenz- bzw. Höchstleistungsmaschinen als Zubaeinheiten und der entsprechenden Erweiterung der Parameter der Kraftübertragung begann für die Kraftwerkstechnik endgültig der Einstieg in die "economies of scale" mit all ihren Konzentrations- und Verselbständigungstendenzen: die Stromversorgung wurde zur Elektrizitäts-Warenproduktion, die sich ihren ständig wachsenden Absatzmarkt selbst schuf, sich nach und nach von den noch vorhandenen technisch-ökonomischen Lokalschranken (Grenzen der Dampfmaschine, der niedervoltigen Übertragungsspannung usw.) befreite und schließlich aus dem Kreise ortsgebundener, in kommunalem Querverbund betreibbarer gekoppelter Energieproduktion ausscherte.

4. Der ungleiche Kampf zweier Problemlösungsmuster:
elektrizitätslastiger überregionaler Energieausgleich
contra lokale energetische Prozeßintegration

Die Durchsetzung der Großkraftwirtschaft und die Dynamik der Größensteigerung energieumwandelnder Aggregate sind Resultate gesellschaftlicher, insbesondere ökonomischer und politischer Prozesse und Entscheidungen. Gegenüber Versuchen, für die Entwicklung der Energiewirtschaft und des Elektrizitätsversorgungssystems stringente, prognosefähige mathematische Modelle

zu entwerfen, wie dies u.a. Marchetti und andere Forscher des IIASA im Rahmen der Weltenergiestudie von 1980 unternommen haben¹¹⁾, muß der Technikhistoriker deshalb auf einer historisch konkreten Aufarbeitung und Erklärung bestehen; nicht zuletzt deshalb, weil in der mathematischen Abstraktion die unterschiedlichen Handlungsmöglichkeiten von Ingenieuren und Energiepolitikern schon vom Ansatz her ausgeblendet werden. Die Sprünge bei Block- bzw. Standortleistungen und Netzübertragungskapazitäten erfolgten nicht, wie Marchetti's quantitative Analyse nahelegt, in regelmäßigen Intervallen. Die Entwicklung der Kraftwerkstechnik weist vielmehr einen unregelmäßigen Wechsel von Phasen beschleunigten technischen Wandels, der Stagnation und Retardation auf. Sie zeigt auch trotz der angleichenden Wirkung des Weltmarktes nationale Unterschiede, die sich aus den jeweiligen ökonomischen Rahmenbedingungen, der energiewirtschaftlichen Branchenstruktur sowie spezifischen Traditionen des "power station designs" und der "Energiekultur" eines Landes erklären.¹²⁾

In Deutschland, neben den USA ein Vorkämpfer der Größensteigerung bei Kraftwerksaggregaten, wurde die Politik des "scaling up" vor allem von der anlagenbauenden Großindustrie und von - teils mit dieser teils mit der Schwerindustrie verflochtenen - Elektrizitätskonzernen getragen. Sie unternahm gegen den Widerstand der elektrotechnischen Klein- und Mittelbetriebe sowie der kommunalen und kleinen privaten Kraftzentralen nach 1910 entschiedene Anstrengungen für eine zentralisierte großtechnische Elektrizitätsversorgung auf der Basis von stadtfernen Großaggregaten. Erstmals realisiert wurde dieses von dem AEG-Direktor Klingenberg technisch durchgestaltete System gekoppelter Großkraftwerke aber erst während des Ersten Weltkrieges. Für den gewaltigen Energiebedarf der Rüstungswirtschaft, insbesondere der Kriegsrohstoff- und Chemikalienproduktion, entstanden auf Braunkohlenbasis nun auch die zeitweise größten Dampfkraftwerke mit den größten Turbinensätzen der Welt: so das Großkraftwerk Zschornowitz der reichseigenen

Elektrowerke und das Goldbergwerk des RWE. Mit ihrer wesentlich verbesserten Auslegungstechnik und mit Standortleistungen von 128 bzw. 175 MW im Jahre 1916 und 440 bzw. 300 MW 1930 waren sie die reinsten Verkörperungen der Klingenberg-Rathenau-Idee der "elektrischen Großraumwirtschaft".¹³⁾ Dieses ursprünglich extrem zentralistische Konzept ausschließlicher Fernkraftversorgung, das den gesamten nationalen Elektrizitätsverbrauch von nur wenigen derartigen "Riesenkraftwerken" aus decken sollte, erwies sich jedoch schon bald nach Kriegsende als technisch und wirtschaftlich nicht optimal. Kommunalen und regionalen Kraftwerksbetreibern gelang es mit neuen, wieder in Stadtnähe gerückten, mittelgroßen bis großen Anlagen den von hohen Fixkosten belasteten Fernstrompreis zu unterbieten und teilweise sogar die Elektrizitätsversorgung mit einer Abdampflieferung für Industrieabnehmer oder einer Stadtteil- bzw. Städteheizung zu verbinden.¹⁴⁾

Überhaupt erhielt unter dem Zwang weltweiter Kohleknappheit die "Wärmeökonomie" bei der Energieumwandlung und -anwendung einen hohen Stellenwert. Gegenüber dem bestimmenden Problemlösungsmuster der auf betriebswirtschaftliche Skaleneffekte setzenden Größensteigerung und der Teiloptimierung der unterschiedlichen, konkurrierenden Energieversorgungssysteme gewannen daher auch ganzheitliche Konzeptionen regionaler, verkoppelter Energienetze an Bedeutung. Das Gegenleitbild zur elektrischen Großraumverbundwirtschaft wurde die örtlichen Bedingungen und Nachfragepotentialen angepaßte "Energiezentrale", ein Mehrzweckkraftwerk, das mit Kraft-Wärme-Kopplung, Mehrstoffprozessen und anderen Energiespartechniken einen thermodynamischen Gesamtwirkungsgrad von bis zu 80% erlangen konnte.¹⁵⁾ Getragen wurde dieses Programm von einer kleinen Gruppe von Kraftwerksingenieuren kommunaler Betriebe, Heizungsingenieuren, einigen Hochschullehrern des Maschinenbaus sowie von den sich damals professionalisierenden Wärmeingenieuren. Sie schufen sich 1920 mit der "Hauptstelle für Wärmewirtschaft" zeitweise ein institutionelles Zentrum und propagierten ihre Ideen vorwiegend im "Archiv für Wärmewirtschaft". Ihre Kritik

am Klingenberg-Konzept richtete sich besonders dagegen, daß bei der Fernstromerzeugung mit Kondensationskraftwerken, deren Wirkungsgrad 20% nicht überstieg, riesige, kaum nutzbare Wärmepotentiale entstanden, während andererseits für Raumheizung und Prozeßwärme zusätzliche Primärenergie aufgewendet werden mußte.¹⁶⁾ Mit ihrer Forderung, die einseitig betriebswirtschaftliche Beurteilung des Wirkungsgrades zugunsten einer volkswirtschaftlichen Energierechnung aufzugeben, drangen sie jedoch nicht durch, und auch ihre "Nahkraftwerk"-Idee wurde nur in bescheidenem Maße verwirklicht. Nach dem Ende der Kohleknappheit setzte sich das durch Regeneration, Luftvorwärmung und z. T. durch Zwischenüberhitzung wärmetechnisch verbesserte zentrale Großkraftwerk als vorherrschendes, wenn auch nicht ausschließliches Energieversorgungssystem endgültig durch.

Die Rationalisierungskonjunktur der 20er Jahre, die Auswirkungen der Weltwirtschaftskrise auf die Elektrizitätswirtschaft, vor allem aber das auf große Elektrizitätspotentiale angewiesene Aufrüstungsprogramm des NS-Staates und nicht zuletzt das 1935 erlassene Energiewirtschaftsgesetz haben die großräumig vernetzte Großkraftwirtschaft schließlich zum dominanten energietechnischen Problemlösungsmuster werden lassen, während ortsgebundene Optimierungsstrategien und alle Formen "kombinierter Energiewirtschaft" nur sehr geringe Entwicklungschancen erhielten (vgl. Abb. 2).

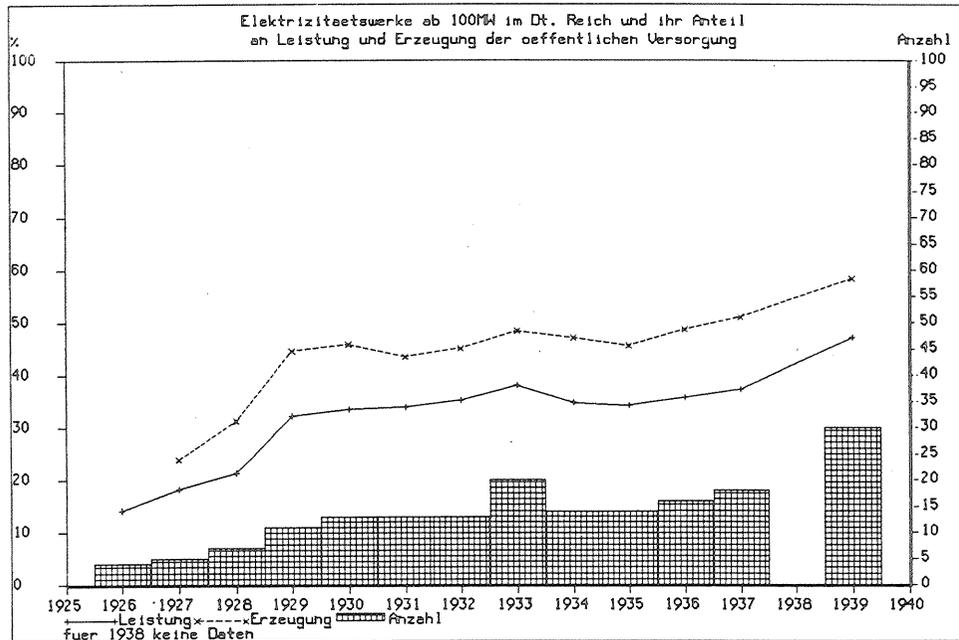


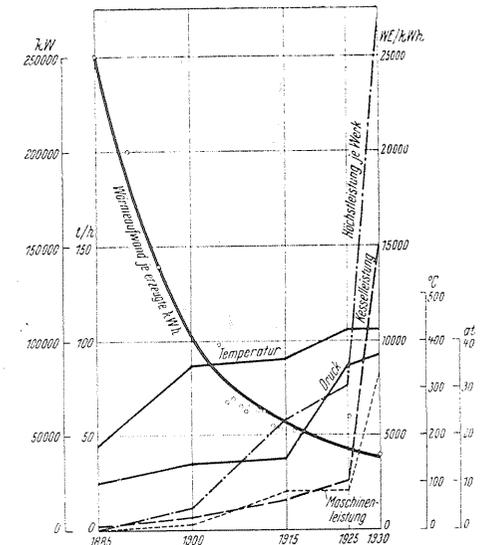
Abb. 2: Quellen: Jährliche Berichte über die öffentliche Elektrizitätsversorgung in "Wirtschaft und Statistik" (1928-1939)

Bearbeitung: H.D. Hellige

Die Technikhistoriker haben in dieser, mit bezeichnenden Unterschieden sich nach dem Zweiten Weltkrieg wiederholenden Auseinandersetzung zwischen zentralem Elektrizitätswerk und dezentralem "Energiewerk", sofern sie sie überhaupt zur Kenntnis nahmen, fast immer für die obsiegende großtechnische Richtung Partei ergriffen. Fasziniert von Größenrekorden und Grenzleistungen, haben sie angepaßtere Energiespartechneiken kaum beachtet. Es wäre jedoch eine sinnvolle technikhistorische Aufgabe, die technisch-ökonomische Strategie der Größensteigerung zu hinterfragen und mit den Argumenten der unterlegenen Konzeption zu konfrontieren.

5. Technisch-ökonomische Grenzen der Größensteigerung I:
Die Langzeitbilanz der thermischen Wirkungsgradentwicklung

Ein Hauptargument für die säkulare Entwicklungsrichtung von kleinen zu immer größeren Kraftwerken ist die diesen Prozeß begleitende Senkung des spezifischen Kohle- bzw. Wärmeverbrauchs. Die einfache Formel: je größer die Anlage, desto höher der thermische Gesamtwirkungsgrad wird in dieser Absolutheit von einer historisch-statistischen Überprüfung jedoch nicht bestätigt. Vergleicht man anhand des statistisch relativ gut belegten Beispiels der Berliner Elektrizitätswerke die Höchstleistung pro Kraftwerk mit der Entwicklung des spezifischen Wärmeverbrauchs im Zeitraum von 1885 bis 1930, so steht einem zunächst langsamen ab 1900 beschleunigten und ab 1925 steil ansteigenden Wachstum der Kilowattleistung genau gegenläufig eine zunächst steile, sich seit 1905 und noch stärker seit 1920 abflachende Kurve kcal-Verbrauchs pro kWh gegenüber (vgl. Abb. 3).¹⁷⁾



Wärmewirtschaftliche Kennziffern der Berliner Kraftwerke 1885-1930

Dieser Kurvenverlauf, der sich ähnlich auch in den USA und in England beobachten läßt, setzt sich in der Entwicklung der öffentlichen Elektrizitätsversorgung der Bundesrepublik verstärkt fort. (vgl. Abb. 4)

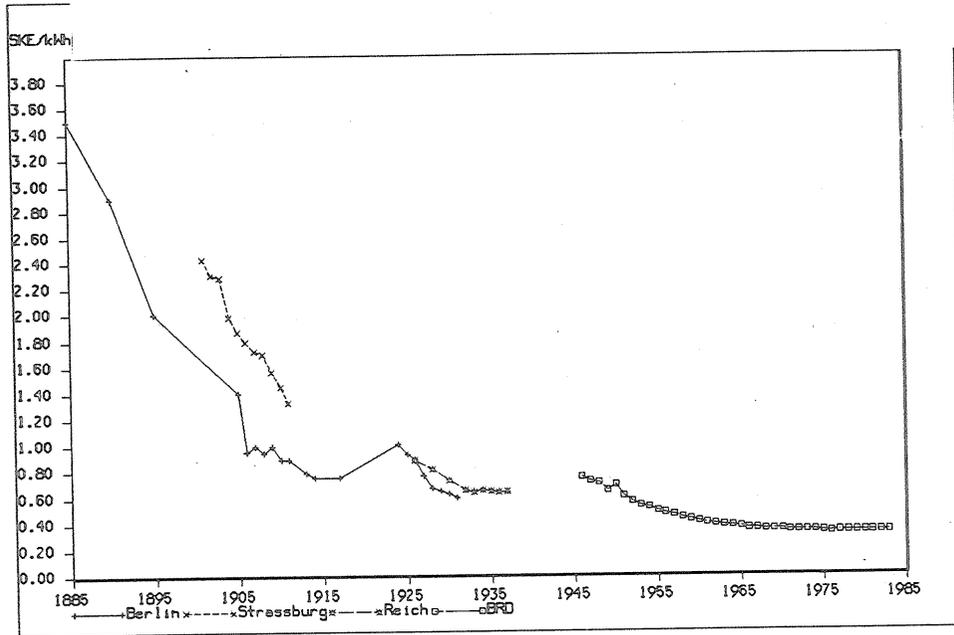


Abb. 4 Spezifischer Wärmeverbrauch deutscher Kraftwerke Bruttoverbrauch in SKE je erzeugte kWh

Quellen: Siehe Anm. 17 und Geschäftsberichte der BEWAG; Mitteilungen der VdEW Nr. 128 (1912), S. 159; Taschenbuch für Energiewirtschaft 1939; S. 66; VdEW, Die öffentl. Elektrizitätsversorgung im Bundesgebiet einschl. Berlin/West 1982, S. 48

Bearbeitung: H.D. Hellige

Der Übergang zu fossilen Blockkraftwerken von 100 MW im Jahre 1954 und 300 MW 1965 zur 600er und 700er Leistungsklasse 1974 bzw. 1976 geht parallel mit einer Minderung des spezifischen Wärmeverbrauchs von 3619 auf 2450 Kcl/kWh netto im Jahre 1983, also nur mit einer Wirkungsgradsteigerung von 22,6 auf 33,3%.¹⁸⁾ Während der mittlere Wirkungsgrad der öffentlichen Kraftwerke in der Bundesrepublik 1983 nur um 85% über dem des Jahres 1937 liegt, hat sich ihre durchschnittliche Nennleistung seitdem von ca. 8 MW bis heute nahezu verzehnfacht.

Obwohl gerade ab 1976 eine forcierte Größensteigerung der Zubaeinheiten stattgefunden hat und der Hauptteil der Elektrizitätserzeugung vor allem von den großen Blöcken getragen wird, hat sich der spezifische Brennstoffeinsatz seit 1975 nicht mehr verändert (vgl. Abb. 5 und 6).

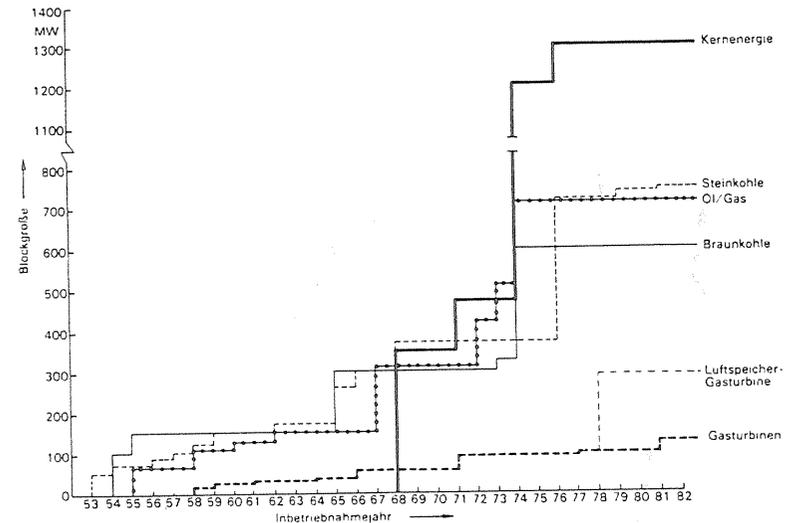


Abb. 5: Entwicklung der Blockgrößen in der Bundesrepublik Deutschland

Quelle: VGB-Tätigkeitsbericht 1982/83, S. 196

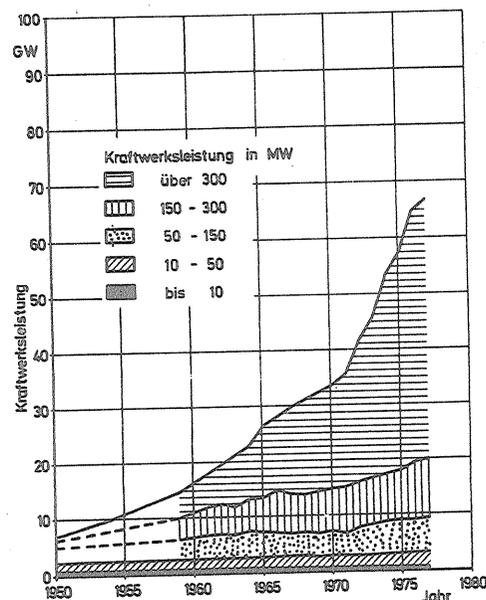


Abb. 6: Anteile der öffentlichen Kraftwerke verschiedener Größenklassen an der Bereitstellung der Engpaßleistung in der Bundesrepublik Deutschland. Quelle: Elektrizitätswirtschaft Bearbeitung: H. Schaefer, Struktur und Analyse des Energieverbrauches der BRD, Gräfelfing/München 1980, S. 56

Die Betriebserfahrungen mit Blockgrößen von 600 MW an aufwärts haben zudem gezeigt, daß minimale Wirkungsgradverbesserungen nur noch um den Preis eines verringerten Verfügbarkeitsgrades zu erlangen sind.¹⁹⁾ Immer mehr Energietechniker sehen aus wärme-wirtschaftlichen Gründen daher keinen Anreiz mehr, bei konventionellen Kraftwerken zur nächst höheren Leistungsklasse überzugehen, wie es aufgrund der statistischen Trendextrapolationen ursprünglich geplant war.

6. Technisch-ökonomische Grenzen der Größensteigerung II: Die Langzeitbilanz der spezifischen Anlagekosten

Das zweite Hauptargument für die Vergrößerung der Kraftwerks- bzw. Blockleistungen, die kontinuierliche Senkung der spezifischen Anlagekosten, bedarf ebenfalls der historisch-statistischen Überprüfung. Denn das sogenannte Gesetz der Kostendegression beruht auf technischen und ökonomischen Voraussetzungen, die keineswegs in allen Phasen gleichmäßig wirksam sind, sich nicht proportional entwickeln und somit auch nicht linear fortgeschrieben werden können. Neuere historische energiestatistische Untersuchungen und die in der ETZ und den "Mitteilungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke" abgedruckten Zahlen zeigen für die ersten Jahrzehnte des Zentralenbaus eine Degression der Anlagekosten je kW, doch läßt sich diese Tendenz seit der Jahrhundertwende nicht mehr eindeutig den verschiedenen Größenklassen zuordnen. Eine Auswertung verschiedener Statistiken durch die VdEW im Jahre 1911 kommt sogar zu dem Resultat, daß sich Kraftwerksleiter wegen der nur bescheidenen Kostendifferenzen über die Anlagengröße nicht allzu viel Gedanken zu machen brauchten.²⁰⁾ Infolge steigender Verteilungskosten bei der Expansion der Versorgungsareale wurden die durch den Bau größerer Aggregate erzielten relativen Einsparungen häufig überkompensiert, so daß ab 1906 ein Wiederanstieg der durchschnittlichen spezifischen Anlagekosten zu verzeichnen ist. Das mittlere Anlagekapital pro kW lag 1922 trotz der inzwischen eingetretenen Größensteigerung mit 1700 M über dem durchschnittlichen der Vorkriegszeit von 1500 M.²¹⁾ Bis Ende der 20er Jahre machten sich dann wieder degressive Tendenzen geltend. Um hier zu einer genauen Datenbasis mit vergleichbarem, die Übertragungskosten einbeziehenden Zahlenmaterial zu kommen, ist allerdings noch viel historisch-statistische Arbeit notwendig. Doch scheint zumindest die Kostenkurve der letzten Jahrzehnte Klingenberg's bereits 1916 ausgesprochene Vermutung zu bestätigen, daß von einer bestimmten Leistungsgröße an nur noch geringen Ersparnisse zu erzielen sind. In der westdeutschen Elektrizitätswirtschaft ist besonders seit 1973/74 beim Sprung von der 300 zu 600 MW-

Einheitsgröße ein erheblicher Rückgang des Degressionseffektes zu verzeichnen. Infolge zunehmender Beeinträchtigung der Verfügbarkeit bzw. eines größeren Aufwandes zu ihrer Erhaltung (vgl. Abb. 7

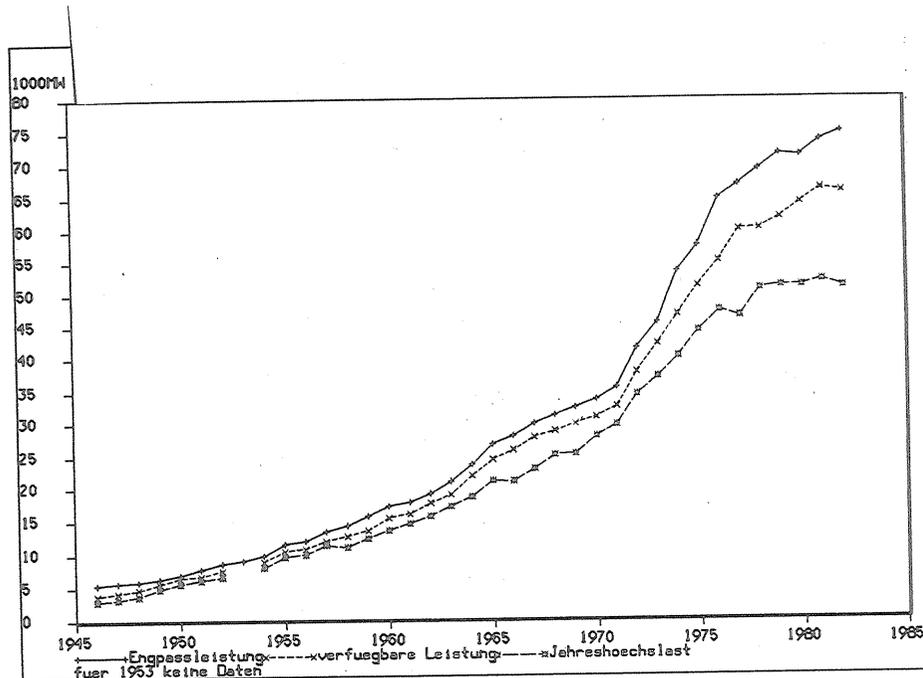


Abb. 7 Engpassleistung, verfügbare Leistung und Jahreshöchstleistung der öffentlichen Elektrizitätsversorgung

Quelle: Statistische Jahrbücher der BRD, 1953 ff.
Bearbeitung: H.D. Hellige

sowie wegen der Reserve- und Kühlprobleme gehen die rechnerisch ermittelten Kostenvorteile der Größerdimensionierung zu einem erheblichen Teil wieder verloren.

Leitende Energietechniker geben daher einer betriebs- und auslegungstechnischen Ökonomisierung des erreichten Standards den Vorzug vor einer weiteren, stärker risikobelasteten Erhöhung der Leistungen. ²²⁾ Bei einer Reihe von Kraftwerksingenieuren ist im letzten Jahrzehnt so gar ein Rückwärtstrend zu kleineren, dezentralen Einheiten zu beobachten. Anstelle der auf kapital- und arbeits-

sparende Fortschritte ausgerichteten, risikoreicheren, mit größeren Umweltbelastungen verbundenen Großdimensionierungsstrategie bevorzugen sie erneut kleinere, anpassungsfähigere Blockgrößen sowie die dadurch wieder eher mögliche, primärenergiesparende, emissionsärmere, mit geringeren sozialen Kosten arbeitende Kraft-Wärme-Kopplung. Im Interesse eines alle Energieträger und alle Stufen der Versorgungskette integrierenden, im Verbund betriebenen regionalen Energieversorgungssystems nehmen sie ähnlich wie die Kritiker der Großverbundwirtschaft nach den beiden Weltkriegen Abschied von dem energietechnischen Leitbild, durch maximale Größendimensionierung der Umwandlungsaggregate und äußerste Zentralisierung der Elektrizität zur allgemeinen Allzweckenergie zu machen.

7. Schlußfolgerungen der Technikgeschichte

Der Technikhistoriker wird in dieser sich erneuernden Auseinandersetzung zwischen großtechnisch zentralistischen und regional angepaßten Energieversorgungssystemen sicherlich nicht die Rolle des Kampfrichters spielen können. Aufgrund einer vergleichenden Reevaluation technischer Entwicklungen kann er die Debatte jedoch um historisches Erfahrungsmaterial bereichern und sie durch den Aufweis der gesellschaftlichen Entstehungsbedingungen gegenwärtiger soziotechnischer Strukturen und Sachzwänge argumentativ öffnen. Er kann durch die Darlegung der Vielfalt der historisch realisierten, aber auch der abgeschnittenen energietechnischen Problemlösungen vielleicht zu der Erkenntnis beitragen, daß sich die Frage der richtigen energietechnischen Option nicht in einer bloßen Alternative zwischen großtechnisch vernetzten Riesengagregaten und kleinen insulären 'Total energy systems' erschöpft, daß vielmehr komplexere Strukturen aus Kleinnetzen lokaler Prozeßintegration, kombinierten Energieversorgungssystemen mittlerer Reichweite und ergänzendem überregionalem Energieaustausch dem angestrebten Ziel energietechnischer Optimierung eher entsprechen würden.

Dies setzt allerdings voraus, daß der Technikhistoriker seine eigenen Darstellungskriterien und Erklärungsansätze nicht von vornherein an den derzeitig vorhandenen Technikstrukturen ausrichtet. Er sollte nicht, wie in der Regel bisher, durch die Fixierung auf den jeweiligen "Stand der Technik" als dem vermeintlichen Höhepunkt der "technischen Evolution" die dominanten Technikrends bewußtseinsmäßig noch verstärken. Die Technikgeschichte sollte vielmehr davon ausgehen

- daß sich im gesellschaftlichen Prozeß nicht automatisch "die beste Technik" durchsetzt,
- daß es durch das Übergewicht betriebswirtschaftlicher Kalküle und durch diverse politisch-gesellschaftliche Verstärkereffekte vielfach zu Fehloptimierungen und technischen Sackgassen kommen kann und schließlich
- daß die unter bestimmten historisch-gesellschaftlichen Bedingungen entstandenen technischen Lösungsmuster sehr oft ein Eigengewicht erlangen, so daß sie den Problemlösungshorizont von Ingenieuren und Konstrukteuren in spezifischer Weise einengen.

Anmerkungen

- 1) Erweiterte Fassung eines Tagungsbeitrages für das 11. Symposium des International Cooperation in History of Technology Committee "Energie in der Geschichte" im September 1984.
- 2) Vgl. ausführlicher hierzu H.D. Hellige, Die gesellschaftlichen und historischen Grundlagen der Technikgestaltung als Gegenstand der Ingenieurausbildung, in: Technikgeschichte, Bd. 51 (1984), Nr. 4, S. 276-292.
- 3) K.H. Krieb u.a., Folgerungen für die Kraftwerksprojektionierung aus der Kostenentwicklung beim Kraftwerksbau, Untersuchung der Steag-AG i.A. des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1972, 2. Aufl. 1974, S. 3,27.
- 4) R. Rühlmann, Über sekundäre Generatoren, in: Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ), Juni 1885, S. 249.
- 5) ETZ, Jan. 1883, S. 34f.
- 6) A. Wilke, Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Elektrizität und des Elektromonopols, Leipzig 1883, S. 41-56, 60, 83 ff.
- 7) F. Pinner, Emil Rathenau und das elektrische Zeitalter, Leipzig 1918, S. 322 f.; vgl. auch Wilhelm v. Siemens, 25 Jahre elektrischer Energieversorgung, in: Nord und Süd, Juni 1913, S. 397-416.
- 8) Diesen Begriff verwenden G. Pahl, W. Beitz, Konstruktionslehre, Berlin, Heidelberg, New York 1977, S. 38.
- 9) C. Matschoß, Geschichtliche Entwicklung der Berliner Elektrizitätswerke ..., in: Beiträge zu Geschichte der Technik und Industrie 7 (1915/16), S. 16.
- 10) W.L. Kristl, Der weiß-blaue Despot. Oskar von Miller in seiner Zeit, München o.J., S. 75; H. Schult, Kraftwerksbau, in: 50 Jahre AEG, als Ms. gedr. Berlin 1956, S. 244; ETZ, Nov. 1888, S. 529, Jan. 1889, S. 29 ff.

- 11) C. Marchetti, Die Energie-Insel, in: K. Strnadt, M. Porias, Großtechnische Energienutzung und menschlicher Lebensraum, TU Wien, IIASA, S. 389 ff.
- 12) Vgl. hierzu Th.P. Hughes, Regional Technological Style, in: S. Strandh (Hrsg.), Technology and its impact on society (Tekniska Museet Symposia Nr. 1), Stockholm 1977, S. 211-234; Zum technischen Stilbegriff sowie zu dem von dem dänischen Techniksoziologen J. Hoffmeyer geprägten Begriff 'Energiekultur' siehe auch den in Anm. 2 genannten Aufsatz, S. 281 ff.
- 13) G. Klingenberg, Elektrische Großwirtschaft unter staatlicher Mitwirkung, in: ETZ Juni 1916, S. 298; F. Pinner, Emil Rathenau und das elektrische Zeitalter, Leipzig 1918, S. 322 f.
- 14) Vgl. u.a. den Artikel "Großkraftwerk Klingenberg", in: Elektrizitätswirtschaft 26 (1927), Nr. 436, S. 282.
- 15) Vgl. u.a. Hauptstelle für Wärmewirtschaft: Sparsame Wärmewirtschaft, 4 Hefte, Berlin 1920, bes. H. 1, S. 5 f.
- 16) Vgl. die Zentralisierungsdebatte der Vereinigung der Elektrizitätswerke, in: Mitt. d. VdEW, Nr. 184, Jan. 1917, S. 9-53, bes. 10 f.; ebda. Nr. 200, Sept. 1917, S. 306 ff. sowie die ersten Jahrgänge des "Archivs für Wärmewirtschaft".
- 17) 50 Jahre Berliner Elektrizitätswerke, Berlin 1934, S. 147 und Zahlentafel II.
- 18) VdEW-Berechnung für die AG für Energiebilanzen.
- 19) F. Peter u.a., Stand und Entwicklung der Technik thermischer Kraftwerke, in: Brennstoff-Wärme-Kraft 33 (1981), 5, S. 207 ff.; W. Hlubek, Betriebserfahrungen mit großen Dampfturbinen, in: ebda. 35 (1983), Nr. 1/2, S. 36 ff.
- 20) H. Ott u.a., Historische Energiestatistik, in: Vierteljahrsschr. für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 68 (1981), 3, S. 335; Dir. Eswein, Elektrizitätswerke in öffentlicher und privater Verwaltung, in: Mitt. d. VdEW, Nr. 116 (1911), S. 96.

- 21) Vgl. Mitt. d. VdEW, Nr. 307 (1922), S. 86.
- 22) F.-J. Spalthoff, Kraftwerkstechnik der 80er Jahre, zit. nach BWK 32 (1980), Nr. 12, S. 530.

Eva Senghaas-Knobloch

Betriebliche Lebenswelt von Rundfunk- und Fernsehtechnikern

Hiermit wird der zweite und letzte Teil des Beitrages von Senghaas-Knobloch vorgelegt. Der erste Teil erschien in Heft Nr. 5. Die Ergebnisse entstammen einem umfassenden Forschungsprojekt über die persönliche Seite industrieller Arbeitsverhältnisse¹⁾. Die Zielsetzung einer humanisierten Arbeit und Technik scheitert oft genug nicht nur an den äußeren Gegebenheiten betrieblicher Machtverhältnisse, sondern auch an der Art und Weise, wie diese von außen gesetzten Zwänge auf je verschiedene Weise in den verschiedenen betrieblichen Statusgruppen subjektiv verarbeitet werden. Zur Erforschung dieser "Binnenseite" fanden viele Gruppendiskussionen statt, aus denen auch die im ersten Teil des Beitrags wiedergegebenen Bilder stammen, in denen die betrieblichen Gruppen jeweils ihre Diskussionsergebnisse dokumentierten, sei es zum Thema der persönlichen Bedeutung von Arbeit überhaupt (siehe z.B. in Heft Nr. 5 S. 123), sei es zum Thema "Körperliche Erfahrung bei der Arbeit" (siehe dazu beispielsweise die Körperbilder von ungelerten Arbeiterinnen auf S. 121 und von Ingenieuren auf S. 122 von Heft Nr. 5), sei es zum Thema "Humanisierung ganz bestimmter Arbeitsplätze in der Produktion". Der vorliegende Text widmet sich den Erfahrungen, die Rundfunk- und Fernsehtechniker mit der innerbetrieblichen Hierarchie und Kooperation machen.

Die Redaktion von Lehren und Lernen würde sich freuen, wenn der Beitrag die Leser dazu anregen könnte, ihre eigenen Erfahrungen mit technischem Wandel, Rationalisierung und betrieblicher Alltagswelt aufzuschreiben und ggfs. in der Reihe zu veröffentlichen.

1) Theoretischer Ansatz, Methoden und Ergebnisse sind dokumentiert in: Birgit Volmerg, Eva Senghaas-Knobloch, Thomas Leithäuser: Betriebliche Lebenswelt. Eine Sozialpsychologie industrieller Arbeitsverhältnisse, Köln und Opladen (Westdeutscher Verlag) 1985 (im Erscheinen). Eine praxisbezogene Auswertung liegt vor in diesem Band: Birgit Volmerg, Eva Senghaas-Knobloch, Thomas Leithäuser: Ergebnisperspektiven und Humanisierungsbarrieren im Industriebetrieb, Frankfurt (Campus-Verlag) 1985. (Schriftenreihe "Humanisierung des Arbeitslebens" Band Nr. 63)

Das Bild der Facharbeiter von der Zusammenarbeit in der Produktion

'Ja, als was werde ich denn vom Vorgesetzten behandelt'

Gegenüber dem Idealbild, das Reparateure und Werkzeugmacher von ihrer Arbeit haben, stellen die Weisungen und Vorgaben, anhand derer Werkstücke geschaffen und Reparaturen gemacht werden müssen, ständige Eingriffe und Übergriffe in ihren persönlichen Gestaltungsspielraum der Arbeit dar. Gestaltungsspielraum in einem unmittelbaren Sinn: 'Ich kann mal hier hingehen und mal da hingehen', und in einem übertragenen Sinn: als Raum, in dem Nähe und Distanz zur Materie persönlich geregelt werden.

Im Rahmen der innerbetrieblichen Weisungsstruktur ist der Bewegungsspielraum ein Zeitspielraum. Bewegungen verzehren Zeit. Verzehrte Zeit im Betrieb kostet Geld. Der Freiheitsspielraum bemißt sich danach, wie groß die Zeitspielräume sind, innerhalb derer man sich bei der Bewältigung der zugewiesenen Arbeit frei bewegen kann.

Für die Facharbeiter repräsentieren die Weisungen der Vorgesetzten die innerbetrieblichen Vorgaben, d.h. den Zeitraum, innerhalb dessen Arbeit fertig werden muß. Die Reparateure, d.h. Facharbeiter, die direkt der Massenproduktion zugeordnet sind, erleiden dabei die Spannung, von dem Vorgesetzten nach Reparaturstückzahlen gefragt zu werden, selbst aber die Qualität der Fehler und die je besondere Reparaturleistung zu betonen.

Ingo "Hätte mir meine Meister auch gesagt, ja, er hat er mir gesagt: 'Ja, Herr X., Ihre Stückzahl stimmt nicht'; da hat er geguckt diesen Zettel, was wir ausschreiben. Ich habe ihm gesagt: 'Ja, aber ich, ich kann ja nicht mehr reparieren,' oder so was nich. Da sagt er zu mir: 'Wieso nicht, wir haben genug Arbeit wenn Sie nicht da haben, gehen sie irgendwo anders hin, suchen Sie sich etwas Arbeit!' ... Und dann hab ich ihm gesagt: 'Wenn Sie tatsächlich wollen haben auf Papier Stückzahl, kann ja

fünfhundert dieser Striche machen und sitzen den ganzen Tag. Aber ich weiß, daß ich soll arbeiten, ich bin dafür gekommen hier in die Firma. Ich bin ja nicht gekommen, daß ich sitze oder rumspaziere.' Und ich habe ihm gesagt: 'Wenn Sie da drauf gucken, auf diesen Zettel, wieviele ich habe repariert, das ist eine reine Enttäuschung!' Ich sage ja, jetzt, 'n: 'Ich kann ja den ganzen Tag sitzen und trotzdem meine fünfhundert Striche haben oder fünfunddreißig, soviel wie Sie haben vorgesehen dafür'...

Cäsar Striche kann man genug mache!"

Ingo, ein jugoslawischer Fehlersucher, äußert sich besonders empört. Der Meister, so berichtet er, fragt nach seiner Stückzahl, so als ob er nicht wüßte, daß 'man Striche genug machen' kann, so viel wie der Meister 'dafür vorgesehen' hat. Nur das mit der Arbeit, für die man ja als Facharbeiter in die Firma gekommen ist, mit Facharbeit, nichts zu tun. Ob fünfhundert oder fünfunddreißig, dem Meister kann man Striche aufschreiben, so viel wie er möchte. Nur, wenn der Meister sich einbilden sollte, dadurch hätte er die Arbeit des Reparateurs unter Kontrolle, dann wäre 'das eine reine Enttäuschung'.

'Enttäuschung' ist ein befremdlich klingendes Wort, das man zunächst auf die mangelnden Deutschkenntnisse des jugoslawischen Kollegen schieben könnte. Aber es ist wohl doch nicht so zufällig, drückt es doch auf doppelbödige Weise den Tatbestand der Täuschung des Meisters und der Enttäuschung desjenigen aus, der, um seinen Freiheitsspielraum zu wahren, täuschen muß. Für den Facharbeiter Ingo ist das Ansinnen, so wie die Bandarbeiter arbeiten zu sollen, eine schwere Enttäuschung. Es verletzt seinen Stolz als Facharbeiter und Mann.

Ingo "Sagt der Vorgesetzte: 'wir haben Euch aus Jugoslawien geholt als eine Ungelernte', d.h. mit eine Kurs gemacht. Ich hab ihm gesagt: 'Ich habe meine Papiere, jedenfalls ich bin Radio- und Fernsehtechniker.'"

Der Meister entwertet den Facharbeiter zur Ungelernten. Vielleicht ist es wiederum nicht zufällig, daß Ingo hier für die

Worte des Meisters die weibliche Form 'eine Ungelernte' benutzt, denn das ist ja das Kränkende, daß man als Facharbeiter wie eine Frau, wie eine Ungelernte behandelt wird. Jugoslawinnen mögen ja als Ungelernte gekommen sein - Frauenarbeit ist Ungelernten-Arbeit - er, Ingo, 'jedenfalls' hat seine Facharbeiterpapiere. Er hat Radio- und Fernsehtechniker gelernt.

Facharbeit läßt sich nicht 'einmessen' wie ungelernete Arbeit, darin sind sich die Reparateure in ihrer Diskussion einig. Diese Überzeugung ändert jedoch nichts an den Versuchen der Vorgesetzten und der Arbeitsvorbereitung, die Leistung eines Reparateurs planmäßig in den Griff zu bekommen. Gegen solche Übergriffe haben Reparateure ihren Gestaltungsspielraum zu verteidigen.

Bert "Das steht alles auf dem Papier, ich weiß nicht, wie weit die Arbeitsvorbereitung selbst davon weiß, daß das im Grunde genommen gar nicht möglich ist ... Aber wenn dann nachher laut Statistik das Ergebnis da ist und es sind offiziell soviel Reparaturen gemacht worden, dann ist es ja in Ordnung. Aber man versucht, auch diese Arbeitsplätze planmäßig in den Griff zu bekommen.

Rick "Naja, rein rechnerisch ist alles möglich. Rein rechnerisch kann man jede Arbeit berechnen und sagen, das dauert soundso lange. Und daß, nicht, natürlich immer Fakten auftreten, die ganz anders sind als oben im Planungsbüro, das ist immer der Nachteil ... da man ja zusätzlich Arbeit kriegt."

Stückzahlen für Facharbeit stehen nur auf dem Papier im Planungsbüro. Allerdings müssen Facharbeiter ja damit umgehen, daß 'man versucht, auch diese Arbeitsplätze planmäßig in den Griff zu bekommen'. Die Reparateure wehren sich mit der listigen Verwendung eben jener Rechnung, die Ingo so bitter als 'Enttäuschung' beklagt. Vorgaben gibt es nun einmal; hat man einmal sein Soll vorzeitig erfüllt, weil vielleicht viele leichte Fehler, die sogenannten Routinefehler, in den zugeteilten Reparaturen waren, "kann man auch mal klönen und mal schnacken", aber man wird sich immer "n bißchen Arbeit hinstellen, daß es viel aussieht". So versucht man der Gefahr zu entgehen, immer noch mehr Arbeit hingelegt zu bekommen.

Enttäuschung und Täuschung gehören zusammen. Auf die Zumutung, daß an die Facharbeiter der Leisten einer von je Besonderem abstrahierenden Durchschnittsleitungen angelegt wird, möchte man vielleicht so reagieren, wie Ingo erzählt. In der Regel wird man aber etwas in der Art unternehmen, daß der Meister beim nächsten Mal gar nicht erst auf die Idee kommt, die Reparatoren hätten womöglich zuwenig Arbeit. Ein guter Meister weiß das natürlich, nur darf er es "auch offiziell nicht wissen, der darf es auch offiziell nicht aussprechen, deshalb diese Lügerei manchmal. Die ist dann manchmal mit einem Augenzwinkern abgetan." Der Meister gibt sein Einverständnis mit dem Augenzwinkern, weil er die Situation kennt, die von einem Reparatoren so geschildert wird: "Bei uns ist das so, daß teilweise wir ganz gefordert werden und teilweise dann eben kaum. Bei einer Bandarbeit ist das kontinuierlich" (ebenda). Die Facharbeit ist wechselhaft und unebenmäßig. Eben das ist der Unterschied, der gegen die gleichmacherische Rechnerie des Planungsbüros aufrechterhalten werden muß.

Wenn die Meister, die die Praxis kennen, allerdings nicht in augenzwinkerndem Einverständnis die Reparatoren in ihrem Versuch stützen, sich einen Freiraum zu wahren - einen Freiraum, der im Krisenfall selbstverständlich auch den Meistern zugute kommt - wenn Vorgesetzte also die Facharbeiter ernsthaft wie die Bandarbeiterinnen zu behandeln versuchen, so ruft das Bitterkeit und Empörung hervor:

Cäsar "Man hat meinetwegen einen schwierigen Fehler, ich geh' zum Nachbarn rüber und frage: 'Mensch, haste das schon mal gehabt?' Damit ich nicht komplett fehl-laufe; das passiert in der Minute. Das sieht ein Vorgesetzter und der ist sofort da: 'Was stehen Sie hier auf Ihrem Nachbarplatz rum?' ... Wenn ich sowas sehe, dann werde ich nicht als Rundfunk- und Fernsehtechniker bezahlt... sondern, daß ich arbeite nichts als arbeite. Die Stückzahl hat abends zu stimmen!' ... Arbeiten wo ich bei denken muß, kann man mir nicht ganz generell vorschreiben: 'Solange hast Du zu brauchen.' Man kanns im Prinzip im Schnitt

festhalten, braucht ne Viertelstunde pro Gerät, zugegeben; aber ... es ist eben, man wird nicht als Fachkraft behandelt, sondern rein als Maschine oder um Fehler von Maschinen eben halt auszugleichen. Das ist meine Meinung.

Isidor ... Wie Cäsar gesagt hatte, Nachbarschaftshilfe, ne, das kann manchmal so gut sein, daß man den Fehler sofort findet, wenn man den Nachbarn fragt, und der hat das vielleicht schon gehabt. Und der sagt: 'Das und das ist wahrscheinlich kaputt' oder in diesen Bereich' oder irgendwas, ne. Dann geht er wieder zum Platz und in zwei Minuten ist das fertig. Aber wenn er jetzt selbst erst anfängt zu suchen, daß dauert ganz bestimmt länger, nich?

Cäsar Ja, als was werde ich denn behandelt? Wenn in dem Moment ein Vorgesetzter kommt und sagt: 'Was stehen Sie hier auf dem Platz rum?' Man hat meinetwegen ein Schaltbild und alles in der Hand. Er sieht also praktisch, daß ich nicht nur so mit ner Tasse Kaffee durch die Gegend renne, sondern richtig was tue ..."

Zum Fachmann gehört nun einmal - so finden die Reparatoren - 'das Fachgespräch und Kollegen'. Wo montiert wird, ist man nicht mehr als Fachkraft anerkannt. Wenn es keine Unterschiede, Differenzen mehr in der Behandlung gegenüber der Bandarbeiterin gibt, die keine Fachgespräche führen muß, dann müßte man sich eingestehen, daß man trotz anderer Arbeitsaufgaben der Bandarbeiterin faktisch gleichgestellt wäre. Ihr gleichgestellt zu werden, heißt, daß man 'rein als Maschine' behandelt wird, oder 'um Fehler von Maschinen eben halt auszugleichen'. Offensichtlich unbemerkt setzt Cäsar in dieser Wortwendung die Arbeiterin an Band oder Maschine, von der er seine Arbeit, nämlich das reparaturbedürftige Teil bekommt, einer Maschine gleich. Nicht als Fachkraft behandelt zu werden, weckt die Assoziation an Behandlung von Maschine. Das Wort Maschine steht für eine unpersönliche, gleichmäßige und allein auf Quantität bedachte Weise des Produzierens. Sollte der Facharbeiter auf solch eine Produktion verpflichtet werden, so bedeutete dies das Ende der auf Qualität und Besonderheit bedachten Beziehung des Facharbeiters zu seiner Arbeit.

Die nivellierende Gleichbehandlung kommt denen, die sie den Facharbeitern zumuten, allerdings hier nicht billig zu stehen. Der Facharbeiter Isidor macht in dem vorangestellten Zitat eine Gegenrechnung auf. In zwei Minuten könnte ein Fehler behoben sein, wenn man der Fachkraft die Freizügigkeit gönnte, die ihrer Arbeitsaufgabe angemessen ist, und nicht versuchen würde, sie auf ihren Arbeitsplatz so festzunageln, wie die Arbeiterinnen am Band. Ohne Kontakte gibt es eben keinen fachlichen Austausch über Fehlerursachen; die Behebung des Fehlers muß länger dauern. Haben aber die Fehlersucher nicht allen Grund anzuzweifeln, ob es überhaupt noch auf ihre Fähigkeiten zur Fehlersuche ankommt? Wird ihnen nicht schon deutlich gemacht, daß ihre Fähigkeit zum Messen und Reparieren nicht für so wichtig erachtet werden wie die Stückzahl, die abends zu stimmen hat?

Cäsar "Wenn ein Fehler zu lange dauert - davor haben wir jetzt auch Angst ... jetzt unser neues Chassis F 8, wir können keine Module mehr wechseln, wir müssen wieder messen und reparieren - wenn das zu lange dauert, dann hört man von dem Vorgesetzten mal: 'Wechsel das Chassis aus.' Gut, aber dann bin ich doch nicht mehr als Fachkraft richtig am Platz.'

Daß es eine Tendenz gibt, die Reparateure als Facharbeiter nicht mehr für voll zu nehmen, das spüren die Fehlersucher, wenn sie statt zu reparieren nur das fehlerhafte Teil(bzw. den ganzen Corpus, das ganze Chassis) auswechseln sollen. Sie spüren das auch an den Antworten, die sie bekommen, wenn sie sich als Fachkraft um 'mehr Lohn' bemühen wollen. "Da wird man genau darauf hingewiesen, was ich hier in der Firma mache und was nicht" (ebenda). Wenn man eben nicht mehr zu messen und zu berechnen, sondern bloß zu wechseln hat, dann wird einem das als Minus verbucht. Noch schlimmer ist es wenn man zeitweilig ganz von der Reparatur weggenommen und an einen Platz fehlender Kolleginnen ans Band gesetzt wird."

Ingo "Ich bin Radio- und Fernsichttechniker, und ich arbeite direkt am Band ... ich bin hier bei der Firma acht Jahre beschäftigt, da ist der Meister gekommen und hat gesagt: 'Herr X. Sie müssen jetzt etwas anderes tun, das gehört auch in Ihr Fach.' Ich habe gesagt: 'Nein, das gehört nicht in mein Fach.' Nächsten Tag ist er gekommen oder Monat später: 'Sie müssen ans Band'. Gut, also ich bin einverstanden, einen Tag am Band arbeiten, da ablösen Leute. Und ich konnte das nicht schaffen... Ich habe gesagt: 'Herr Y, ich kann das nicht, ich habe das nicht gelernt.' "

Zu einem Tag Bandarbeit hat sich der Rundfunk- und Fernsichttechniker Ingo auf Drängen des Meisters bereit erklärt. Er soll dort Ablösungsperson sein, an die Stelle einer Bandhilfe treten, die entweder fehlt oder aber für andere fehlende Kolleginnen selbst fest am Band steht. Klar, daß er das Tempo nicht schafft. Das ist ja auch nicht, was er gelernt hat, hält er der Zumutung des Meisters entgegen. Aber seine Einwilligung in eine zeitlich begrenzte, fachfremde Tätigkeit wird ihm nicht gedankt. Man soll Qualifikationen erweisen, die man gar nicht haben möchte, nämlich Schnelligkeit, die Arbeit nicht nach eigenem Rhythmus, sondern nach vorgeschriebenem Takt erledigen. Die Reparateure in der Fertigung wissen, was Bandarbeit von einem Menschen verlangt.

Bert "Wir helfen natürlich auch manchmal am Band aus, wenn z. B. manchmal Personen fehlen, krank sind und so. Wir haben dann unsere Schwierigkeiten, wenn wir nen Platz acht Stunden gemacht haben, dann flimmern uns die Augen, nicht. Deshalb muß man sagen, Hut ab vor diesen Tätigkeiten, nicht (...). Vor einigen Arbeitsplätzen haben wir eine höllische Angst, die zu tun, nicht (...). Also wir haben Angst davor, denn wir sehen ja, wie exakt das alles eingestellt werden muß. Wir, wir bringen das so nicht. Aber wir wissen schon, was für eine Anstrengung das bedeutet, acht Stunden am Tag diese exakte Leistung zu bringen." (Sem. 3, GD, E, 15)

'Angst' 'höllische Angst' haben die Reparateure vor Arbeitsplätzen am Band. Im Grunde kann es aber nicht der einzelne Platz

die besondere Präzision sein, die Angst macht: Präzision ist ja dem Reparateur mit Sicherheit nicht fremd. Vielmehr schwingt offenbar die Angst mit, daß man den eigenen Freiheitsspielraum bei der Arbeitsbewältigung einmal endgültig so verlieren könnte wie die Frauen am Band. Als 'unmenschlich' kennzeichnen die Reparateure die Arbeit am Band. Nichtumsonst wurde sie in der Rede eines Reparateurs mit der Arbeit einer Maschine gleichgesetzt. 'Hut ab vor diesen Tätigkeiten' heißt es bei den Reparateuren. Sie äußern eine Hochachtung, der es vor allem auf den Abstand zwischen sich und diesen Tätigkeiten anzukommen scheint. Die den Bandarbeiterinnen und -arbeitern abverlangte Anstrengung wird anerkannt, aber als unmenschlich gebrandmarkt und gefürchtet. Das Bemühen der Reparateure richtet sich daher darauf, den Abstand zwischen Facharbeit und Bandarbeit gegenüber dem nivellierenden Vorgesetztendruck aufrechtzuerhalten. Das kommt auch zum Ausdruck, wenn sich die Kollegen über ihre Körpererfahrungen im Betrieb austauschen.

Rick "... daß ich ein nervöses Magenleiden hab', und das kommt wohl durch den Streßarbeit, die wir bei uns in der Firma haben, nicht. Das wirkt sich natürlich auch auf den Darm aus, auf Blähungen und sonst was, sonstige Teile (...) Ich bin also schon xmal geröntgt worden und keiner kann was feststellen (...) Das ist wahrscheinlich der Druck einmal der Druck durch die Lautstärke, die bei uns ist, und der Druck, der von oben kommt, daß man was schaffen muß, und wirkt sich irgendwie immer mit dem Ärger ... Man hat ja auch mal Ärger mit Kollegen oder Meister und Vorarbeiter. Und das wirkt sich eben auf den Darm aus."

Der Druck von oben, der Streß, das sind einfach quantitativ zu hohe Arbeitsanforderungen. In der Erläuterung, die Rick für sein nervöses Magen- und Darmleiden gibt, äußert sich ein Syndrom von Streß, Druck von oben, Stückzahl, Ärger. Als Reparateur leidet man unter der Zumutung, überhaupt unter einem Stückzahlgebot zu stehen - ganz unabhängig wie hoch dies quantitativ ist. Der Magen reagiert auf eine Situation, in der das Gefühl und Verlangen des Facharbeiters, seine Arbeit selbst einzuteilen und erledigen zu können, ständig gegen die erlebten Übergriffe

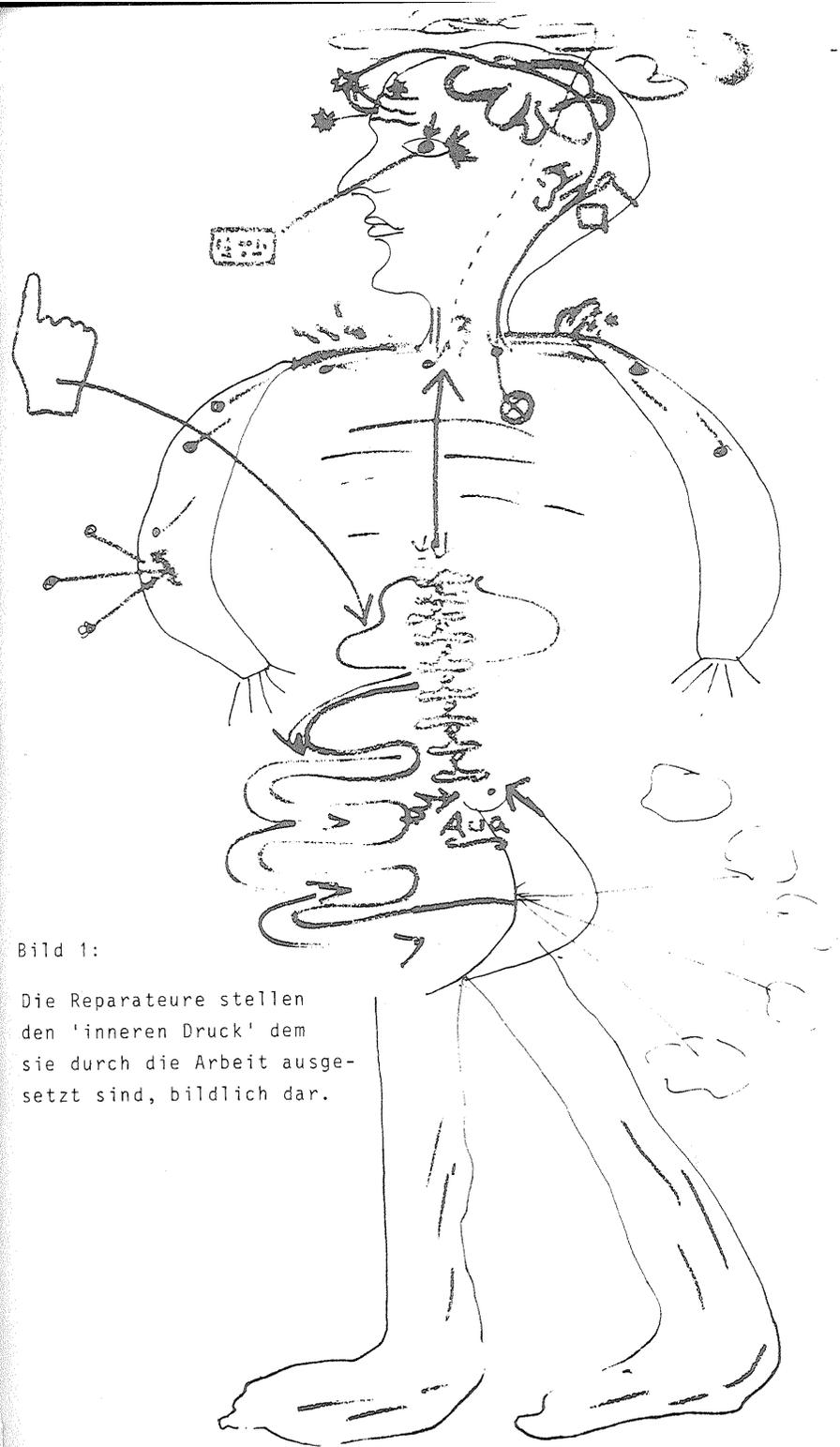


Bild 1:

Die Reparateure stellen den 'inneren Druck' dem sie durch die Arbeit ausgesetzt sind, bildlich dar.

betrieblicher Autoritäten gewappnet sein muß. Das "Sich-Beobachten", das ist es, was man da als inneren Druck spürt, verständigensich die Reparateure. An dem abgebildeten Körperbild einer Gruppe von Reparateuren lassen sich die geäußerten Zusammenhänge zwischen den Qualitätsansprüchen der Facharbeit (die Erkenntnis-Sterne und das rauchende Denkvermögen) einerseits und der Entwürdigung und Entwertung dieser Tätigkeit durch neue Techniken und Vorgesetztendruck (erhobener Zeigefinger, der auf den Magen-Darm-Bereich verweist) andererseits gut erkennen. (siehe nebenseitiges Bild)

Wenn man sich vor den Übergriffen der Vorgesetzten in den eigenen fachspezifischen Freiraum bewahren will, liegt es nahe, den Meister möglichst generell aus dem unmittelbaren Arbeitsbereich herauszuhalten. Das würde bedeuten, mit Kollegen, die dem eigenen Arbeitsplatz vor- und nachgeordnet sind, Konflikte unmittelbar kooperativ zu regeln. Eine solche Praxis ist offenbar aber wiederum davon abhängig, ob der Vorgesetzte 'mitspielt'.

Bert

"Dann vermeidet man den Instanzenweg (...)
Von Kollegen zu Kollegen, daß man dann sagt:
'Das braucht ja der Meister nicht zu wissen.
Das geht den dann ja nichts an. Das macht man
so unter sich ab, nicht? (...) Es gibt Vorgesetzte,
die darauf bedacht sind, die Kollegen untereinander
auszuspielen. Dann hat er es leichter, dem einen oder
dem anderen etwas zu sagen. Dann ist aber die Kommunikation
unter den Kollegen schlechter (...) So muß man sich
die eigene Arbeitswelt auch ein bißchen ordnen,
das kann man machen."

'Man muß sich die eigene Arbeitskraft auch ein bißchen ordnen'
sagt der Reparaturmann Bert. Der Versuch, sich die Arbeitswelt nach
eigenen Regeln einzurichten und den Autoritätsregeln eigene
kollegiale gegenüberzusetzen und zu praktizieren, ist jedoch
mühsam und ständig gefährdet. Manche jugoslawischen Fehlersucher
z. B. haben den Eindruck, daß sie als Ausländer besonders dis-
kriminieren werden; sie glauben, daß sie von den Meistern beson-
ders viel hin- und hergeschickt werden, zu der "schlimmsten
Arbeit" herangezogen werden, während der deutsche Kollege neben-

an nur erfolgreich den Anschein erweckt, er hätte ein großes Ar-
beitspensum zu erledigen und müsse verschont bleiben. Das Ge-
fühl der ungerechten Behandlung durch den Meister hat aber zur
Kehrseite das Bedürfnis, der Meister möge kraft Autorität Gerech-
tigkeit auch gegen andere Kollegen durchsetzen

Der Möglichkeit, über kollegiale Regelungen - an dem Meister
vorbei - Spielräume zu sichern, sind sicher enge Grenzen ge-
setzt. Denn weil jeder einzelne Reparaturmann darauf bedacht ist,
zunächst seinen eigenen Spielraum gegenüber den Vorgesetzten
zu sichern, hat die Kollegialität dort ihre Grenzen, wo um der
Gemeinsamkeit der Regelung willen, von den eigenen Privilegien
etwas abgegeben werden müßte. Weil an diesem Punkt nun aber das
Interesse an der Bewahrung des individuellen Spielraums über-
wiegt, gelingt es Vorgesetzten, die Kollegen untereinander aus-
zuspielen.

Berichte

Mitteilungen aus der Bundesarbeitsgemeinschaft
und der Redaktion von L & L

Wolphard Horn

Information und Einladung zur aktiven Beteiligung an unserer
Fachtagung bei den Hochschultagen 1986 in Essen

Ort und Termin der nächsten Hochschultage stehen nun endgültig fest. Sie finden vom 1. bis 4.10. 1986 in Essen statt.

Wie bisher organisieren wir unsere Fachtagung im Rahmen dieser Hochschultage. Um unsere Fachtagung vorzubereiten, hatten sich bereits am 3.5.85 die Landesvertreter unserer Bundesarbeitsgemeinschaft in Essen zu ersten Vorüberlegungen getroffen. Am 4.10.85 haben sie sich ein zweites Mal in Köln versammelt, um die Struktur der Fachtagung festzulegen. Bis Rheinland-Pfalz, dessen Vertreter in letzter Minute doch noch verhindert war, und Bayern waren alle Bundesländer vertreten. Zusätzlich war der Herausgeberkreis unserer Zeitschrift 'Lehren und lernen' anwesend.

Die Versammlung verlief außerordentlich produktiv, so daß wir eine klare, wohl überlegte Struktur vorlegen können, die jedem Interessierten die Möglichkeit zu aktiver Beteiligung eröffnet und jedem passiven Teilnehmer im Oktober 1986 in Essen einen interessanten und lohnenden Besuch sichert.

Ich möchte Sie mit dem wichtigsten Informationen hier bekannt machen:

- Wir haben unsere Fachtagung in zwei Teile gegliedert, die zeitlich nacheinander angeordnet sind, so daß keinem Teilnehmer Wahlentscheidungen aufgedrängt werden, sondern die Teilnahme an jeder Veranstaltung möglich ist.
- Zentrale und besondere Bedeutung hat der Teil unserer Fachtagung, in dem wir versuchen, mit praxisbezogenen Beiträgen die fachdidaktische Diskussion in der Bundesrepublik um einen für den Praktiker akzeptierbaren und nachvollziehbaren Schritt voran zu bringen.

+ Für diesen Teil haben wir deshalb eine Leitidee diskutiert und festgelegt, auf die hin wir die Beiträge zentrieren und besprechen werden, damit wir nicht an zu vielen Brennpunkten oberflächlich hantieren, sondern damit wir ein zentrales Problem einmal umfassend durchdiskutieren und am Ende der Veranstaltung etwas Konkretes greifen können. Diese Leitidee ist mit dem Konzept "Technikgestaltung" dargestellt, das Felix Rauner in seinem Beitrag in Heft 5 von 'Lehren und lernen' in den wichtigen Grundzügen entfaltet hat. Dieses Konzept kann ich hier nicht angemessen wiedergeben, sondern nur auf Heft 5 verweisen. Als zentral erscheint mir jedoch die Aussage Rauners: "Ziel Technischer Bildung ist es also, Jugendlichen zu befähigen, Technik in ihrem Zustandekommen, ihren konkreten Formen und ihren vielfältigen Wechselverhältnissen zur Natur, zur gesellschaftlichen und zur individuellen Entwicklung zu begreifen und sie zu befähigen, Technik mit einiger Souveränität zu handhaben und (mit)zugestalten." Das Konzept "Technikgestaltung" reizte bereits in der Landesvertreterversammlung sehr zu inhaltlicher Auseinandersetzung im Hinblick auf die Unterrichts- und Ausbildungspraxis, so daß eine sehr anregende Diskussion zu erwarten ist.

+ Es werden konkrete Unterrichts- bzw. Ausbildungsbeispiele anhand von Filmen und Unterrichts- bzw. Ausbildungsmaterial vorgestellt, damit wir nicht "über" etwas reden und auf einer Metaebene sprachlich herumturban, sondern damit sich jeder Teilnehmer mit seiner Praxis wiederfindet und etwas Konkretes "mit nach Hause nehmen" kann.

+ Wir werden uns genug Zeit zum Vorstellen und Besprechen der Beiträge nehmen, damit man neue Informationen wirklich aufnehmen und mit Fragen nachfassen kann, um präzise und konkrete Antworten zu erhalten.

- In einem anderen Teil werden wir eine Forumsveranstaltung anbieten, in der in abgeschlossenen Beiträgen unterschiedlichster Art über aktuelle Probleme informiert wird: z.B. über die "neuen" Schutzmaßnahmen, über Problemlösungstechniken in der konkreten Anwendung bei digitalen Steuerungen, aber auch z.B. über neue Ausbildungs- oder Unterrichtsvorhaben und Projekte verschiedenster Art.

- Darüber hinaus rufen wir in diesem Heft an anderer Stelle dazu auf, Examensarbeiten zu veröffentlichen. Entsprechend der bis dahin vorliegenden Beteiligung werden diese Arbeiten in unserer Fachtagung vorgestellt.

- Daneben gibt es schließlich noch Ausstellungen zu technischen Entwicklungen in unserem Fachbereich und neuen Ausbildungs- bzw. Lehr/Lernprojekten und -vorhaben.

Wenn Sie an unserer letzten Fachtagung teilgenommen haben, fällt Ihnen sicherlich auf, daß wir die Erfahrungen von Berlin in der Vorbereitung aufgenommen haben. Die positiv eingeschätzte große Bandbreite werden wir erhalten und daneben an einer besonderen bedeutungsvollen Frage mit Zeit und Sorgfalt anhand anschaulicher Präsentation der Praxis in die Tiefe gehen.

Schließlich darf ich Ihnen noch einige wichtige Hinweise geben:

Eine aktive Teilnahme mit Beiträgen in den beiden Teilen, bei den Examensarbeiten oder bei den Ausstellungen ist uns willkommen. Sie haben Gelegenheit, Ihre Praxis vorzuzeigen und zur Diskussion zu stellen, und Sie dürfen ein konstruktives Gespräch erwarten. Durch die Struktur der Tagung sind wir sehr offen für unterschiedliche Inhalte und Formen der Beiträge. Allerdings bedürfen sie der Absprache. Für Beiträge, die bis jetzt nicht schon angemeldet sind, gilt deshalb:

Machen Sie von unserem Angebot Gebrauch und melden Sie bitte Ihren Beitrag bis zum 31.1.1986 an. (Bis dahin muß der Beitrag nicht fertiggestellt, sondern nur angemeldet sein) Sie können

uns auch auf andere interessante Beiträge, die Ihnen bekannt sind, hinweisen.

Die Meldeadresse lautet: Wolfhard Horn
Kollegschule Köln
Eitorfer Str. 22-24
5000 Köln 21

In den nächsten Heften erfahren Sie weitere Einzelheiten zum Inhalt und zum Programm unserer Fachtagung. Für heute bitte ich Sie, sich vorsorglich jetzt schon den 1. bis 4. Oktober 1986 in Ihrem Terminkalender zu reservieren.

AUFRUF zur Veröffentlichung von Examensarbeiten

"So kann es geschehen, daß ein grauer Schulmann noch am Ende seiner Tage, ja daß eine ganze Generation und Reihen von Generationen von Lehrern, die immer in gleichen oder in wenig abweichenden Geleisen neben- und hintereinander fortgehen, nichts von dem ahnen, was ein junger Anfänger in der ersten Stunde durch einen glücklichen Wurf, durch ein richtig berechnetes Experiment sogleich und in voller Bestimmtheit erfährt." (Herbart)

Die Examensarbeiten der 1. und 2. Phase der Lehrerausbildung verschwinden fast ausnahmslos in den Archiven, obwohl sie häufig der fachdidaktischen Diskussion im Bereich Elektrotechnik sehr förderlich sein könnten. Es gibt eine Reihe von brennenden fachdidaktischen Problemerkreisen, zu denen in Examensarbeiten gearbeitet wurde, wie z. B.:

- Verbindung von Theorie und Praxis, Denken und Handeln, Schule und Betrieb,
- Didaktik neuer Technologien,
- Durchschaubarkeit von Technik durch präzise Begriffe oder auch mit Hilfe historischer Bezüge u.v.a.m.

Wir wollen deshalb diese Arbeiten zum Gesprächsgegenstand machen.

Dies soll in dreifacher Weise geschehen:

1. Die Examensarbeiten sollen in 'lehren und lernen' rezensiert und die wichtigen Grundgedanken und Ergebnisse dargestellt werden.
2. Besonders wichtig erscheinende Beiträge sollen in einem Buch zusammengefaßt und in der Reihe 'Berufliche Bildung' veröffentlicht werden.
3. Arbeiten, die einen Beitrag zur Fragestellung unserer nächsten Fachtagung bei den Hochschultagen 1986 in Essen leisten, sollen dort vorgestellt werden.

Damit bieten wir das Forum eines sehr interessierten Leser- und Zuhörerkreises und laden jeden ein, davon regen Gebrauch zu machen:

- Melden Sie Ihre Arbeit an - auch, wenn sie älteren Datums ist.
- Geben Sie uns Hinweise auf interessante Arbeiten, die Ihnen bekannt sind.

Das Alter der Arbeit spielt keine Rolle, wenn ihr Inhalt auch heute noch bedeutungsvoll erscheint.

Die Meldeadresse lautet: Klaus Segelke
Mövenring 2f
2000 Schenefeld

Anmeldeschluß: 31.1.1986

Mitteilungen aus der Redaktion

Themen auf der diesjährigen Jahresredaktionskonferenz am 3. Oktober in Köln waren die Finanzlage der Zeitschrift, die zukünftige Gestaltung des 3. Jahrgangs von Lehren und Lernen und eine Veränderung des Redaktionsstatus. Zur Sitzung hatten sich neben den Herausgebern auch unser Drucker sowie der Sprecher der Bundesarbeitsgemeinschaft eingefunden.

Als erstes wurde der Verkauf der bisher erschienenen Hefte diskutiert. Lehren und Lernen hat zur Zeit 500 (fünfhundert) feste Abonnenten im ganzen Bundesgebiet und wird in einer Auflage von ca. 700 Exemplaren hergestellt. Der erste Jahrgang konnte fast völlig bis auf einige Exemplare des 4. Heftes verkauft werden. Unsere Abonnenten sind Berufsschullehrer und Studenten als auch Ausbilder von verschiedensten Ausbildungseinrichtungen. Für die Zukunft steht die Aufgabe an, die Zahl der Abonnenten auf 600 zu bringen um damit die redaktionelle Qualität von Lehren und Lernen verbessern zu können. Denn im Augenblick haben wir noch keinerlei Möglichkeit, Honorare zu geben, bzw. eine aufwendige Erstellung der Beiträge zuzulassen. Darüber hinaus haben wir bisher immer wieder Schwierigkeiten mit der angemessenen Berichterstattung aus der Praxis der Berufsschule als auch des betrieblichen Alltags. Wir wollen uns zur Verbesserung dieser Situation etwas einfallen lassen. U.a. soll zur Gewinnung neuer Leser die Werbung verstärkt werden, indem noch mehr Berufsschulen, Betriebe und Organisationen, die sich um die elektrotechnische Berufsausbildung kümmern, über die Zeitschrift informiert werden. Eine Werbeaktion soll die Institutionen auf uns aufmerksam machen.

Allen Lesern sei gesagt, daß sie von der Redaktion bzw. Schriftleitung jederzeit Werbematerial zur eigenen Aktion an ihrer Schule oder Betrieb beziehen können. (Adresse siehe Impressum)

Alle, die Werbeinteressenten gefunden haben, leiten diese bitte weiter an Aron Löwenbein von der Druckerinitiative an der Werner-von-Siemens-Schule. (Adresse siehe Impressum)

Die nächsten Hefte dieses Jahrgangs sind an sich fertig konzipiert Für das Heft 7 "Elektronik verstehen" (verantwortlich Gottfried Adolph) liegen fast alle Beiträge vor. Dies gilt ebenso für Heft 8 "Wandel der Elektrofacharbeit", (verantwortlich Friedhelm Eicker).

Einsendungen von Beiträgen aus Praxis und Theorie der Berufsbildung von Elektrotechnikern werden aber trotzdem jederzeit gerne entgegengenommen.

In Köln haben wir auch noch über die Planung für die kommenden Hefte nachgedacht.

3. Jahrgang Heft 9 - Dies Heft soll sich schwerpunktmäßig der Thematik Technikgestaltung der Elektrotechnik zuwenden. Das Wissen und Urteilen über technikhistorische Zusammenhänge ist ein wichtiger Baustein zur Befähigung von Elektronikern zur sozialverträglichen Gestaltung von Technik. Das Fach selber soll damit seiner "musealen Verstaubung" entkleidet werden und in vielen praktischen Beispielen so aufbereitet sein, daß wieder Chancen für die Einführung von technikhistorischen Unterrichtselementen im Berufsbildungsalltag bestehen.

Heft 10 und Heft 11 sollen diesmal grundsätzlich als ein Doppelheft erscheinen, da wir etwas Besonderes mit diesen Heften vorhaben. Wir wollen sie nämlich in Abwandlung von der bisherigen Praxis als den Ort festlegen, wo die Beiträge für die Hochschultage Berufliche Bildung 1986 in Essen vorab erscheinen können.

Damit soll den Lesern von Lehren & Lernen möglichst frühzeitig die Möglichkeit gegeben werden, sich über die Fachbeiträge der Teilnehmer der Fachtagung zu informieren, als auch selber anhand einer Postkarte eine Auswahl der in Essen zu diskutierenden Beiträge vorzunehmen. Damit wird die Fachtagung von einer Überfülle von Beiträgen entlastet und die Möglichkeit gegeben wird, im Vorgriff auf die Hochschultage ihre Schulerfahrungen an die Leserschaft weiterzugeben. Das Heft soll so zeitig erscheinen, daß eine Rückmeldung in Form der angesprochenen Postkarte vor der Fachtagung noch möglich ist. Als Redaktionsschluß für die Einsendung von Beiträgen für Heft 11 und 12 wurde deshalb ausnahmsweise der 30. April gewählt.

Heft 12 ist dann als Auswertungsband zur Fachtagung gedacht, der neben Berichten und Meinungen zur Essener Veranstaltung weiterführende Beiträge enthalten soll. Abschließend haben wir dann noch in Köln darüber nachgedacht, wie man die Organisationsstruktur von Lehren & Lernen verbessern könnte.

Um vor allen Dingen das Machen von Lehren & Lernen zu vereinfachen, werden wir deshalb zukünftig unseren Redaktionsstatus verändern

indem wir ständige Mitarbeiter einführen, die uns in unregelmäßigen Abständen mit Beiträgen versorgen sollen. Wie schon oben ausgeführt, hapert es ja manchmal an der Bereitschaft von Berufsschulen und Ausbildungskollegen über ihre Praxiserfahrung zu berichten. Die Landesvertreter der Bundesarbeitsgemeinschaft haben sich ebenfalls in ihrer auch am selben Tag stattgefundenen Sitzung in Köln mit diesem Thema beschäftigt und sich bereiterklärt, als ständige Mitarbeiter mitzuarbeiten. Mittlerweile konnten verschiedene Experten aus unterschiedlichen Fachgebieten - Technikhistoriker, Techniksoziologen, Didaktiker - für eine Mitarbeit in dem erweiterten Mitarbeiterstab der Zeitschrift gewonnen werden. Wir hoffen, damit auch schon im nächsten Heft die "neue" Mannschaft von Lehren & Lernen vorstellen zu können. Sollte beim Lesen dieser Zeilen einer der Leser sich angesprochen fühlen an der Ausgestaltung dieser Zeitschrift mitzuwirken, so bitten wir ihn herzlich, sich an die Redaktion zu wenden.

Gez.: Ludger Deitmer

Müller, Hörnemann, Hübscher, Jagla, Larisch, Pauly:
Elektrotechnik - Fachstufe 1 und 2 Energietechnik.
Westermann Verlag, Braunschweig 1984

Ein in der Berufsschule bekanntes und erfolgreiches Buch ist nun mit der Absicht überarbeitet worden, der wachsenden Bedeutung der Mikroelektronik durch die Berücksichtigung entsprechender Inhalte Rechnung zu tragen.

Bei der Neuauflage wurden daher die Kapitel über die besonderen Halbleiterbauelemente und die Regelungstechnik überarbeitet. Neu hinzu kamen die Kapitel über Feldeffekttransistoren, Digitaltechnik, Mikroprozessortechnik und speicherprogrammierbare Steuerungen (PS). Mit den letzten drei Kapiteln aus dem Bereich der Mikroelektronik befaßt sich der vorliegende Beitrag.

Sicherlich ist es richtig und wichtig, daß bei der umfassenden Bedeutung der Mikroelektronik diese auch in der beruflichen Ausbildung für energietechnische Berufe in entsprechendem Maße berücksichtigt werden muß. Die Frage ist jedoch, ob nicht hier spezifische Eigenarten, in denen sich die Mikroelektronik dem Energietechniker darstellt, Berücksichtigung finden müßte. Hierzu einige Thesen:

1. Der Energietechniker wird mit der Mikroelektronik weniger unter konstruktiven als vielmehr unter anwendungsorientierten Gesichtspunkten konfrontiert.
2. Für den Umgang mit integrierten und hochintegrierten Schaltungen bedeutet dies, daß weniger der technische Aufbau bzw. das "Innenleben" einer Schaltung als vielmehr ihre Anwendung in den didaktischen Blickpunkt rückt.
3. Im Hinblick auf die Behandlung mikroelektronischer Geräte wie Mikrocomputer oder SPS bedeutet dies, daß hier ebenfalls nicht konstruktive Details als vielmehr Bedienung, Beschaltung, Programmierung und Anwendung für den Energietechniker potentiell von Interesse sind.

Sieht man sich die neuen Kapitel des vorliegenden Buches an, so fällt auf, daß diese offenbar unter anderen didaktischen Intentionen verfaßt worden sind.

Das Kapitel zur Digitaltechnik vermittelt knapp die wichtigsten Grundlagen, ist jedoch hier recht gut vollständig und somit im Unterricht als Nachschlagewerk gut vorstellbar. Allerdings kann bereits hier darüber nachgedacht werden, wie noch stärker an die praktische Anwendung der integrierten Digitaltechnik herangeführt werden kann; es wäre z. B. denkbar, daß bei der Realisierung digitaler Schaltungen weniger der diskrete Aufbau von Kippstufen und Gattern, als vielmehr die Beschaltung von TTL-Bausteinen in nachvollziehbaren Beispielen im Mittelpunkt steht. So, wäre es sicher sinnvoll für ein diskret aufgebautes Monoflop die entsprechende Anwendung eines TTL-Bausteines gegenüberzustellen.

Unzweifelhaft wird das Kapitel "Mikroprozessoren" jedoch den oben beschriebenen Kriterien nicht gerecht. Der Mikroprozessor wird hier - modellhaft mit viel graphischem Aufwand - durch das Zusammenwirken von internen Funktionsblöcken erklärt, die nicht einmal der Programmierer bei der Erstellung von Assemblerprogrammen für seine Arbeit benötigt. So bleibt letztlich zweifelhaft, was denn der spätere Facharbeiter mit dem so vermittelten Wissen über das interne Zusammenwirken von Steuerwerk, ALU, internen Busverbindungen, Daten- und Befehlszählern sowie diversen Registern anfangen soll. Es drängen sich Fragen auf:

- Wäre es nicht richtiger, statt dessen exemplarische Einblicke in Programmierung und Befehlsstrukturen von Mikroprozessoren zu vermitteln?
- Wäre es nicht anschaulicher - und damit letztendlich für den Erwerb von Grundqualifikationen gerade für den von Mikroelektronik eher auf der Anwendungsebene betroffenen Energietechniker wesentlicher, wenn nicht abstrakt von einem imaginären Mikroprozessor, sondern an einem konkreten Beispiel (8080, Z 80) die grundsätzliche Funktionsweise aufgezeigt wird?

- Könnte es - generell bei der Ausbildung in energietechnischen Berufen - sinnvoller sein, statt der Betrachtung der Funktion eines Mikroprozessorsystems eine Einführung in Bedienung und Programmierung eines Computers anzubieten? ¹⁾

Wenn also das Kapitel über die Wirkungsweise des Mikrocomputers zumindest Fragen offenläßt, so muß das nachfolgende Kapitel über speicherprogrammierte Steuerungen (SPS) enttäuschen. Der Leser erwartet gerade von dem Energietechnik-Fachbuch, daß es diesem für den Bereich der Energietechnik zentralen Anwendungsbereich der Mikroelektronik einen entsprechend hohen Stellenwert einräumt. Statt dessen wird der gesamte Bereich auf 8 Seiten abgehandelt (zum Vergleich: der - sicherlich ebenfalls wichtige - Bereich "Haustechnik" hat einen Umfang von 35 Seiten).

Auch zu diesem Kapitel stellen sich Fragen:

- Genügt es bei einem in der Energietechnik derart wichtigen Gegenstand wie der SPS, nur die einfachsten Grundlagen zu skizzieren?
- Sollte nicht eher ein - der Facharbeiterqualifikation angepaßtes - Gerät auf der Ebene der Kleinststeuerungen exemplarisch beschrieben und die Behandlungen auch umfangreicher Problemstellungen angeregt werden?
- Müßte nicht gerade hier die Frage der Wirtschaftlichkeit im Einsatz von SPS oder VPS problematisiert werden?
- Warum vermittelt das Kapitel nicht wenigstens einen kurzen Überblick über die gesamte Palette der SPS-Systeme von der Kleinststeuerung bis zum Großsystem und bietet dem künftigen Facharbeiter die Möglichkeit, sich wenigstens grob über die technologischen Möglichkeiten speicherprogrammierter Steuerungsprobleme zu orientieren?

¹⁾ Einen aktuellen Beitrag zu dieser Diskussion liefert z.B. Michael Schommer: Mikroelektronik im Berufsschulunterricht energietechnischer Berufe. In: Die berufsbildende Schule, Heft 5'85, S. 303 ff.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Behandlung dieses Kapitel viele offene Fragen aufweist, deren Diskussion sicher nötig ist. Insgesamt jedoch bleibt der Eindruck, daß vor allem bei den letzten beiden Kapiteln - die exemplarische Behandlung eines konkreten Gerätes auf anschaulicher Ebene eher Einblicke in die Funktionsweise mikroelektronischer Geräte vermittelt hätte, als eine kurze Übersicht mit einem derartig hohen Allgemeinheitsgrad, der für den nicht vorgebildeten Lehrer eher desorientierend wirken muß.

Diese Vielzahl kritischer Anregungen ist sicherlich nicht so gemeint, daß dieses insgesamt sehr gute Buch nun nach der Neuauflage nicht mehr für die Energietechnikausbildung geeignet sein sollte - ganz im Gegenteil. Wie bisher auch bleibt das Buch mit Ausnahme der erwähnten neu aufgenommenen Kapitel, der bewährten und erfolgreichen Konzeption der Westermann Elektrotechnik-Buchreihe treu. Auffallend ist die vorbildliche graphische Gestaltung des Buches sowie das Bemühen, technische Zusammenhänge praxisorientiert zu erklären und unter Zuhilfenahme von Beispielen und Übungsaufgaben anschaulich zu vermitteln.

Insofern handelt es sich - in den überwiegenden Teilen - um ein besonders gelungenes Fachbuch. Allerdings nehmen die Autoren ihre Chance, in der beruflichen Bildung durch eine den Anforderungen der Ergoetechnikausbildung entsprechende Berücksichtigung der Mikroelektronik Innovation zu fördern, durch die so eingearbeiteten neuen Kapitel nicht wahr.

Klaus Jennewein
Universität - GH - Duisburg
Technologie und Didaktik der Technik
4100 Duisburg 1

Stellungnahme zum Artikel "Neue Rahmenlehrpläne für die Fachstufen des Berufsfeldes Elektrotechnik in Hessen in der Erprobung" in Heft 5/85 von "Lehren & lernen - Berufsfeld Elektrotechnik".

Insgesamt ist die Reaktion von Seiten unserer Leser auf die Artikel in den bisher erschienenen Heftnummern recht schwach. Wir würden uns sehr freuen, wenn mehr Leser ihre Meinung in der Rubrik Leserbriefe kundtun.

Lehren & Lernen versteht sich ja als ein Forum für die Diskussion zwischen verschiedenen Praxisbereichen. Von Seiten der Redaktion werden wir versuchen durch möglichst "kontroverse" Beiträge die Diskussion anzuregen.

An der Werner-von Siemens-Schule in Wetzlar besteht seit einiger Zeit eine Arbeitsgruppe innerhalb der Abteilung Elektrotechnik, die mit der permanenten Aktualisierung der Rahmenlehrpläne für die schuleigenen Bedürfnisse befaßt ist. Selbstverständlich hat sich die Gruppe in der ich mitarbeite, auch bereits mit den neuen Rahmenlehrplänen auseinandergesetzt und den Artikel von Gerhard Faber mit Interesse zur Kenntnis genommen. Einer ganzen Reihe der dortigen Aussagen, vor allem in Abschnitt "Rückblick", kann man zweifellos uneingeschränkt zustimmen und über andere Punkte müßte noch diskutiert werden, was ich hier aber nicht tun will. Ansprechen möchte ich dafür einige Behauptungen im Abschnitt "Fachlich inhaltliche Aspekte", die mir ganz und gar unverständlich sind.

Da heißt es, die "... Berufstheorie ist klar und systematisch gegliedert" und es gibt "über das inhaltlich-systematische Konzept nur Positives zu sagen". Dieses Urteil ist nirgendwo begründet und von mir auch nicht nachvollziehbar. Ebenso erkenne ich "die Entrümpelung antiker Inhalte (z.B. Elektrochemie)" an diesem Beispiel überhaupt nicht. Ein Blick in den neuen RLP-Lehrgang "Elektrotechnik 2" zeigt, daß die ersten 5 Lernziele völlig identisch sind mit denen des alten Lehrgangs "Werkstoffkunde und Elektrochemie". Fragen muß man sich aber z.B. auch, ob der Handwerksberuf "Elektroinstallateur" die gleichen Berufsinhalte

haben kann wie die energietechnischen Industrieberufe. Ich jedenfalls habe erhebliche Zweifel an einem Lehrplan, der für Elektroinstallateure insgesamt 100 h "Umlaufende Maschinen" und 180 h "Elektrotechnik" vorsieht, in dem aber z.B. die Hausgerätektechnik überhaupt nicht erwähnt ist.

Inhaltlich gesehen stellt der neue RLP-Entwurf im großen und ganzen sicherlich einen Fortschritt dar. Dies kann ich von der systematischen Seite leider nicht behauptet. Meiner Meinung nach ist das Strukturprinzip des neuen RLP-Entwurfs derart mißglückt, daß eine positive Gesamtwürdigung unberechtigt ist. Ich will dies an den krassesten Beispielen erläutern.

Für den einen Ausbildungsberuf "Nachrichtengerätemechaniker" existieren z. B. zwei verschiedene Lehrpläne. Die deutlichen Unterschiede in den Halbjahren 3 und 4 sind offensichtlich (S.54 und S.78, RLP 1984) und wohl eine Novität im Lehrplanwesen. Wir in Wetzlar bilden Nachrichtengerätemechaniker aus und stehen vor dem Problem, wie wir diese beschulen sollen. Natürlich können wir hierbei auf der Grundlage unserer pädagogischen Verantwortung entscheiden, doch bei formalen Dingen bleibt oft kein Spielraum. Das trifft in diesem Fall auf die Zeugnisausstellung zu. Der "NGM-54" SS54 RLP) erhält im 3. Halbjahr keine Note im "Technischen Zeichnen", während das Zeugnis des "NGM-78" keine Beurteilung im Lerngebiet "Technische Mathematik" aufweisen darf (siehe S. 4, RLP 1984). Eine Erläuterung zu dieser Frage hätte ich mir von den Autoren des RLP-Entwurfes schon gewünscht.

Der wohl gravierendste Punkt des neuen Entwurfs ist in der Zuordnung der Lehrgänge zu den 3 Lerngebieten zu finden. Gerhard Faber zeigt die Problematik am Beispiel des Ohmschen Gesetzes auf und spricht von "einigen Kunstgriffen der Zuordnung von Lehrgängen zu Lerngebieten". Diese Zuordnung stellt in Verbindung mit den Vorbemerkungen zum RLP-Entwurf jahrzehntelange Erfahrungen teilweise völlig auf den Kopf. Auch hierfür möchte ich nur ein Beispiel anführen.

In den Vorbemerkungen (S.4) steht: "In einigen Ausbildungshalbjahren sind keine Lehrgänge in den Lerngebieten Technische Mathematik und Technisches Zeichnen ausgewiesen. Hier fehlt ein Mindestmaß an Eigenständigkeit entsprechender Lernziele und Lerninhalte. In dem Halbjahr, in dem ein Lerngebiet nicht ausgewiesen ist, entfällt daher auch die Zeugnisbeurteilung für das betreffende Lerngebiet." (Hervorhebungen von mir). Gibt es bei der Wechselstromelektronik wirklich nichts zu berechnen (vgl. S.78 und S.104) bzw. nichts zu zeichnen (vgl. S.54 und S.126)? Dies kann doch wohl nicht ernsthaft behauptet werden! Gleichwohl fehlen in den Rahmenlehrplänen entsprechende Lehrgänge!

Der Aspekt der Zeugnisbeurteilung bringt weitere Kuriositäten des RLP-Entwurfs an den Tag. Zeugnisse sollen über den Kenntnisstand des Schülers informieren. Es ist doch naheliegend, wenn der Leser eines Zeugnisses davon ausgeht, daß die Bezeichnung des Faches (hier Lerngebiet) auch mit den Lerninhalten übereinstimmt. Das trifft aber auf den vorliegenden Entwurf oft nicht zu. So enthält der Technologie-Lehrgang "Wechselstromtechnik" (z.B. S.55f) eine ganze Reihe von mathematischen Lehrinhalten und entspricht im wesentlichen dem alten Lehrgang "Wechselstromtechnik 1". Dafür findet man im Techn.-Math.-Lehrgang "Berechnung von Wechselstromkreisen" in jedem Lernziel technologische Inhalte, dieser LG entspricht dem alten Lehrgang "Wechselstromtechnik 2". Das Beispiel zeigt, daß die Zuordnung Lehrgang - Lerngebiet letztlich rein willkürlich ist und sich in keinster Weise begründen läßt. Ein Zeugnis, das unter diesen Voraussetzungen erstellt wird, kann eigentlich nur fehlinterpretiert werden.

Für mich stellt sich der neue RLP-Entwurf wegen seines Ordnungsprinzips in dieser Form als praktisch unbrauchbar dar. Ich habe versucht, dieses an einzelnen Beispielen darzustellen, weitere ließen sich anfügen. Meinem Eindruck nach wurde hier ein Wandel vom "Lernziel fetischismus" zum "Lerngebietsfetischismus" beschritten, der einfach nicht gutgeheißen werden kann. Da es sich jedoch um einen Entwurf handelt, hoffe ich, daß eine gründliche und sachliche Auseinandersetzung mit dieser Vorlage doch noch zu einem sinnvollen Rahmenlehrplan führen kann.

Literatur

Der Hessische Kultusminister: Rahmenlehrpläne für die beruflichen Schulen des Landes Hessen, Berufsschule, Fachschule, Berufsfeld Elektrotechnik, 1. Auflage: Oktober 1978 (Ausgabe 1977)

dto. 1. Auflage: Juni 1984 (Ausgabe 1984)

Adresse: Günther Letzel
Werner-von-Siemensschule
6330 Wetzlar

ERLING, Jürgen, STR i. Hochschuldienst an der Universität-GH-Duisburg, Technologie und Didaktik der Technik

ESCHEN, Rudolf u.a., Studenten für das Lehramt in der Sekundarstufe II für das Lehramt an beruflichen Schulen, Fach Elektrotechnik bzw. Metalltechnik an der Universität Bremen.

GENATH, Detlef, Elektroinstallateur, Kälteanlagenbaumeister, Langjährige Tätigkeit als Schiffselektriker, Kundendienstmonteur, Kältemonteur, Pädagogische Ausbildung für Ausbilder. Entwicklungshelfer der DED in Srisakret in Nordost-Thailand seit 1983.

GRONWALD, Detlef, Dr.-Ing., Prof.; Lehrorientierte Fachwissenschaft Elektrotechnik, Universität Bremen

HELLIGE, Hans Dieter, Dr. phil., wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bremen; arbeitet seit langem als Technikhistoriker im Fachbereich 1 Elektrotechnik.

JENNEWEIN, Klaus, Dipl. Ing., Wiss. Angestellter Universität-GH-Duisburg, Technologie und Didaktik der Technik.

MÖLLER-HELLMANN, Adolf, Dr. Ing., Fachbereichsleiter für Schienenfahrzeuge im Verband öffentlicher Verkehrsbetriebe (VÖV).

MOSCHEN, Klaus, Dr. phil., Berufsschullehrer für Elektrotechnik und Politik; Hochschulassistent für Elektrotechnik am Institut f. gewerbl.-tech. Wissenschaften der Universität Hamburg.

STAMPA, Ulrich, Ing. i.R. Flugzeugbauer, Ehemaliger Mitarbeiter bei ERNO, jetzt freier Berater für Windanlagen.

Berufsförderungszentrum Essen

**MODELLVERSUCH:
EINSATZ DER MIKROCOMPUTERTECHNIK
IN DER FACHARBEITER-AUSBILDUNG (MFA)**

REIHE: Bfz/MFA-BERICHTE

Nr. 1 WEITERBILDUNG VON AUSBILDERN UND REFERENTEN
IN DER MIKROCOMPUTER - TECHNIK
- ERGEBNISSE UND ERFAHRUNGEN

Nr. 2 TECHNISCH - ÖKONOMISCHE BEDINGUNGEN DES
MIKROELEKTRONIK - EINSATZES
- ZWISCHENERGEBNISSE DER WISSENSCHAFTLICHEN
BEGLEITUNG IM MODELLVERSUCH M F A

Nr. 3 ANALYSE BETRIEBLICHER LEHRPLÄNE FÜR DIE AUS-
BILDUNG VON FACHARBEITERN DES BERUFSFELDES
ELEKTROTECHNIK



SCHUTZGEBÜHR JE BAND DM 5,00
- ZU BEZIEHEN DURCH:

BERUFSFÖRDERUNGSZENTRUM ESSEN e.V.
ALTENESSENER STR. 80 - 84
POSTFACH 12 00 11
4300 ESSEN 12
TEL. 0201 / 3204 - 1

Band 4

Projektgruppe Handlungslernen (Hrsg.):
Handlungslernen in der beruflichen
Bildung. Wetzlar 1984, 251 Seiten,
10,- DM zuzüglich Porto und Verpackung

Viele Pädagogen klagen, daß "Verkopfung",
Bürokratisierung und Tauschwertorien-
tierung des Lernens die Schule zu einem
unwirklichen Ort mache, dem zu entflie-
hen der Wunsch nicht nur vieler Schüler,
sondern auch ihr eigener wird. Noch im-
mer gilt die Feststellung, daß sich be-
rufliche (Fach)Didaktiken in einem de-
solaten Zustand befinden und der Prozeß
sowohl ihrer theoretischen Fundierung
als auch praktischen Umsetzung nur sehr
zögernd vorankommt.

Aus dieser Lage ergibt sich der Ruf nach anderen Formen, Inhalten und
Methoden des Lehrens und Lernens, soll (Berufs)Schule nicht zum reinen
Aufbewahr-, Chancenzuweisungs- oder Disziplinierungsapparat denaturieren.

Das Konzept Handlungslernen ist gegenwärtig nicht eindeutig und klar de-
finiert; es umreißt eher ein allgemeines Programm zur Schaffung einer hu-
maneren Qualität und Binnenstruktur von Lehr- und Lernprozessen und ihrer
theoretischen Begründung, so daß sich ein facettenreiches Bild der ver-
schiedenen Ansätze ergibt. Vor allem in der Alternativschulbewegung, aber
auch in bestimmten erziehungswissenschaftlichen und psychologischen Denk-
richtungen sind Ansätze entwickelt worden, die einer ganzheitlichen und
gebrauchswertorientierten und damit weniger entfremdeten Auffassung von
Bildung entgegenkommen.

Im Band "Handlungslernen in der beruflichen Bildung" werden außer Be-
gründungsversuchen auch Beispiele und Beiträge zum Handlungslernen im
schulischen und außerschulischen Bereich dargestellt. Damit sollen Be-
rufspädagogen ermutigt und angeregt werden, an der notwendigen Verbesse-
rung der Qualität beruflicher Bildung weiterzuarbeiten.

Der Bezug erfolgt ausschließlich über:

Werner-von-Siemens-Schule
Projekt Druck
Seibertstraße 6
6330 Wetzlar/Lahn



Vorschau:

Heft 7: Elektronik verstehen! – Wandel der Erkenntnistätigkeit in der Elektronik
verantwortlich Gottfried Adolph, Köln

Heft 8: Facharbeit und betriebliche Ausbildung
verantwortlich Friedhelm Eicker, Bremerhaven

Heft 9: Technikgeschichte

Heft 10/11: Bildungsziel: Sozialverträgliche Technikgestaltung – Thema der
Hochschultage BERUFLICHE BILDUNG '86 in Essen

Heft 12: Auswertung der Tagung

Die Wiedergabe und der Nachdruck von Artikeln aus Lehren und lernen ist unter Quellenangabe und Zusendung eines Belegexemplares erwünscht. Die Redaktion fordert zur Einsendung von Manuskripten auf, kann aber für sie keine Gewähr übernehmen.