

Dieselmotoren

in der Elektrizitätswirtschaft

insbesondere für Spitzendeckung

Von

M. Gercke
Augsburg

Mit 19 Textabbildungen



Berlin
Verlag von Julius Springer
1932

ISBN-13: 978-3-642-89745-0 e-ISBN-13: 978-3-642-91602-1
DOI: 10.1007/978-3-642-91602-1

Alle Rechte, insbesondere das der
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.
Copyright 1932 by Julius Springer in Berlin.

Vorwort.

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis eines eingehenden Studiums der Entwicklung des Dieselmotors als Antriebsmaschine von elektrischen Generatoren seit dem Beginn des Jahres 1925 und stellt eine nach dem Stand vom Herbst 1931 gesichtete Zusammenfassung einer großen Reihe von Aufsätzen und Vorträgen über Einzelfragen dieses Gebietes dar, die der Verfasser im Laufe dieser Zeit ausgearbeitet hat.

Für die Überlassung der Unterlagen und für die Genehmigung zur Veröffentlichung derselben ist der Verfasser der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG., Werk Augsburg (MAN) zu großem Dank verpflichtet.

Das einschlägige Schrifttum ist in vielen Fußnoten erwähnt.

Augsburg, im März 1932.

M. Gercke.

I. Sachbegriffe und Ziele der Elektrizitätswirtschaft.

Unter „Elektrizitätswirtschaft“ ist die planmäßige Bewirtschaftung der Stromerzeugung und des Verbrauches eines Versorgungsgebietes an elektrischer Arbeit zu verstehen mit dem Ziel:

a) einer möglichst sparsamen Erzeugung der elektrischen Arbeit mit einem Mindestaufwand an Kapitalkosten, Betriebsstoffen, Menschenarbeit und Verlusten aller Art mit geeigneten Wärme- und Wasserkraftanlagen und

b) einer möglichst sparsamen und verlustlosen Verteilung der elektrischen Arbeit bis zum letzten Verbraucher nach denselben Gesichtspunkten wie unter a.

Die technischen Betriebsmittel der Elektrizitätswirtschaft umfassen:

1. Die Kraftwerke, unterteilt in

a) Überland-Großkraftwerke zur Versorgung großer allgemeiner Landesversorgungsgebiete.

b) Ortskraftwerke zur Versorgung geschlossener, meist städtischer und örtlicher Versorgungsgebiete.

c) Einzelkraftwerke zur Versorgung von einzelnen Fabriken, Häuserblocks und Einzelhäusern.

Kraftwerke nach a, b und c arbeiten in vielen Fällen planmäßig zusammen, indem Orts- und Einzelkraftwerke einen Teil der in ihren Versorgungsgebieten verbrauchten elektrischen Arbeit von Überlandgroßkraftwerken beziehen und den Rest selbst erzeugen, wobei manchmal mit Rücksicht auf die vorhandenen Betriebsmittel und deren Betriebsverhältnisse vertraglich die Einhaltung einer gewissen Höchstbeanspruchung des Strombezuges und die Bereithaltung der eigenen Kraftwerksleistung zu Reservezwecken in Störungsfällen vereinbart wird.

2. Die aus Schaltwarten, Auf- und Abspannwerken, Speisepunkten, Einzeltransformatoren, Hoch-, Mittel- und Niederspannungsoberleitungen und -kabeln und den zugehörigen Schalt-, Meß- und Sicherheitsvorrichtungen bestehenden Verteilungsanlagen.

3. Die Fernmeldeanlagen zur Befehlsübermittlung und zum Nachrichtendienst zwischen den Schaltwarten, den Kraftwerken und den Betriebsstellen der Auf- und Abspannwerke.

In besonderen Fällen noch Spitzen- und Reservekraftanlagen mit Zubehör:

a) primäre mit eigener Stromerzeugungsmöglichkeit, wie Spitzendampfkraftwerke, Spitzendieselmotoren und Spitzenwasserkraftwerke, letztere meist mit Speicherbecken mit natürlichem Wasserzufluß,

b) sekundäre oder Speicherkraftwerke mit Dampf- und Wasserspeichern mit künstlichem Wasserzufluß und mit Dampf- und Wasserspeicherturbinen zur Verarbeitung von gespeichertem Dampf bzw. Kraftwasser.

Betrachtet man nach Siegel¹ die elektrische Arbeit als „Wirtschaftsgut“, so sind noch eine Reihe von häufig gebrauchten Sachbegriffen der Elektrizitätswirtschaft von Bedeutung. Man versteht z. B. unter

a) Grundlast die meist mit 50—60% der überhaupt vorkommenden Höchstlast in $365 \times 24 = 8760$ h/Jahr erzeugte Hauptstrommenge von etwa 90—95% und mehr der Gesamtstrommenge eines Versorgungsgebietes für dauernd auftretende Verwendungszwecke.

b) Spitzenlast, die meist mit 40—50% der überhaupt vorkommenden Höchstlast, meist nur in 500—800, höchstens aber in 1000 bis 1250 h/Jahr erzeugte Zusatzstrommenge von etwa 10—5% und weniger der Gesamtstrommenge des Versorgungsgebietes für vorübergehend auftretende Verwendungszwecke, besonders für Beleuchtung mit einem Höchstwert in den Nachmittagsstunden, vor allem im Dezember.

c) Benutzungsdauer der Höchstlast = $\frac{\text{Jahreserzeugung in kWh}}{\text{Höchstlast in kW}}$ in h/Jahr, d. h. die Anzahl h/Jahre, auf welche die Jahreserzeugung in kWh umgerechnet werden kann, wenn sie mit der vorkommenden Höchstlast erzeugt worden wäre.

d) Werkbelastungsfaktor = $\frac{\text{Jahreserzeugung in kWh}}{\text{Höchstbelastung in kW} \times 365 \times 24}$ = $\frac{\text{Benutzungsdauer der Höchstlast in h/Jahr}}{365 \times 24}$ in Bruchteilen von 1 bzw. in Prozenten, d. h. den Prozentsatz der Benutzungsdauer der Höchstlast im Vergleich mit den $365 \times 24 = 8760$ h des Jahres. Dieser beträgt nach Frhr. P. v. Stritzl, Berlin²:

bei Lichtwerken etwa 0,2 = 20%,

bei Licht- und Kraftwerken etwa 0,3—0,4 = 30—40%, mitunter bis 0,6 = 60%;

mit einem Mittelwert von etwa 0,35 = 35%.

e) Verschiedenheitsfaktor³ = $\frac{\text{Summe der Höchstbelastungen aller Strombezieher in kW}}{\text{Höchstbelastung des Kraftwerkes in kW}}$ in Bruchteilen von 1 bzw. in Prozenten.

¹ Die Strompreisfrage von Dr. Gustav Siegel, Berlin. Magazin der Wirtschaft 1931, S. 546.

² Elektrotechn. Z. 1931 S. 196.

³ Nach Hausfelder: Techn. u. Wirtsch. 1929 S. 300.

Die praktischen Ziele der Elektrizitätswirtschaft sind beim heutigen Stande der Technik und Wirtschaft durch folgende Richtlinien gekennzeichnet:

1. Hebung der Benutzungsdauer der Höchstlast durch Steigerung des Stromabsatzes in Kilowattstunden mit möglichst geringer Steigerung der Höchstbelastung in Kilowatt durch Hebung des Stromverbrauches für Elektrowärmezwecke in der Industrie (technologische Arbeitsverfahren) und im Haushalt (Kochen und Heizen).

2. Ausdehnung des Geschäftsbereiches der Elektrizitätswerke durch Hebung der Abwärmeverwertung (Verkauf von Abwärme zu Heizzwecken durch Angliederung von Fernheizwerken, Treibhauseanlagen und dergleichen nach dem Muster der vorhandenen Anlagen:

A. Heizkraftwerke:

- | | |
|---|---------------------|
| a) Bewag, Berlin, | f) Forst, |
| b) Hamburgische Elektrizitätswerke Hamburg, | g) Leipzig, |
| c) Stettin, | h) Breslau, |
| d) Bremen, | i) Elberfeld-Barmen |
| e) Braunschweig, | k) Kiel und andere. |

B. Treibhauseanlagen:

- a) Bewag, Berlin,
b) E.-W. Auricher Wiesmoor und andere.

Vom wirtschaftlichen Standpunkt gesehen dürfen den Bestrebungen zur Senkung des Wärmeverbrauches für 1 nutzbar abgegebene Kilowattstunde durch

3. Höchstdruckbetrieb nach dem Muster der vorhandenen Anlagen:

- a) Großkraftwerk Mannheim,
b) Kabelwerk Berlin-Siemensstadt der S.-S.-W.
c) Grube „Renate“ der Ilse-Braunkohlen-Bergbau-AG. in Senftenberg,

d) Kraftwerk der Witkowitz Stahl- und Eisenwerke, Witkowitz. bei den heutigen Belastungsverhältnissen und Brennstoffpreisen nur bei technologischen Anlagen mit großem Wärmeverbrauch für Heizzwecke, wie Braunkohlenbrikettfabriken, chemischen Fabriken, Städteheizanlagen und dergleichen günstige Aussichten beigemessen werden. Bei dem reinen Kondensationsbetrieb normaler Dampfkraftwerke läßt sich die Wahl von Hochdruckanlagen wegen des erzielbaren Minderverbrauches an Wärme mit rechnerisch etwa 10% = 300—400 kcal/kWh gegenüber dem Wärmeverbrauch hochwertiger Mitteldruckanlagen von etwa 3000—4000 kcal/kWh nur in Einzelfällen gegenüber den heute noch vorliegenden Schwierigkeiten des Höchstdruckbetriebes rechtfertigen, da die geldliche Ersparnis sich in der Größenordnung von nur

0,1—0,2 Rpf./kWh bewegt, während die Stromerzeugungskosten in Rpf./kWh sich nach Kromer¹ nach folgender Zahlentafel 1 von 1914 bis 1929 verändert haben:

Zahlentafel 1.

Benutzungsdauer in h/ Jahr	Dampfkraftwerke			zum Vergleich Wasserkraftwerke	
	1914	Steinkohle 1929	Braunkohle 1929	1914	1929
3000	3,25	2,95	2,27	2,00	4,60
3500	3,09	2,74	2,06	1,72	3,44
4000	2,98	2,56	1,88	1,50	3,00

Stromerzeugungskosten in Rpf./kWh

Untersuchungen über den Einfluß der Benutzungsdauer auf den Wärmeverbrauch und auf die Kapitalkosten von Dampfkraftwerken für mittlere Dampfdrücke zwischen 20 und 40 atü, bezogen auf die Erzeugungskosten für 1 kWh und gerechnet ohne Betriebsführungskosten beweisen, daß die Hebung der Benutzungsdauer einen wesentlich größeren geldlichen Nutzen bringt als durch Anwendung des Höchstdruckes bei Großkraftwerken erzielbar ist. Zahlentafel 2 gibt hierüber näheren Aufschluß. Demnach kommt der Höchstdruckbetrieb außer für die oben erwähnten technologischen Betriebe bei den heutigen Verhältnissen nur für ausgesprochene Grundlastwerke der Elektrizitätswirtschaft in Betracht.

Wenn auch die häufig betonte Behauptung zutrifft, daß die Anlagekosten der Höchstdruckanlagen für 1 kW nicht wesentlich höher als die der Mitteldruckanlagen ausfallen, so kommen doch bei ersteren erfahrungsgemäß infolge der hohen Baustoffbeanspruchungen häufiger Auswechslungen von Siede- und Überhitzerrohren, Instrumenten und anderen Teilen vor, die zusätzliche Kosten verursachen und sich in den Erzeugungskosten für 1 kWh auswirken.

Dieselben Erwägungen gelten bei den heutigen Verhältnissen auch für die sogenannten Zweistoffkraftanlagen, bei denen z. B. eine Quecksilberkraftanlage der Wasserdampfanlage vorgeschaltet ist, um ein größeres ausnutzbares Wärmegefälle zu erzielen. Die bisher bekannt gewordenen Betriebsergebnisse² einer derartigen Anlage von 10000 kW nach dem Verfahren von W. Le Roy Emmet, General Electric Co. im South-Meadow-Kraftwerk der Hartford Electric Light Co. in Nordamerika, beweisen allerdings, daß dieses Verfahren fast dieselbe Wärmeausnutzung wie ein Dieselmotor, nämlich 32,5% bei einem Gesamt-wärmeverbrauch von 0,325 kg Steinkohle von 8050 kcal/kg entsprechend

¹ Arch. Wärmewirtsch. 1931 S. 144.

² Elektrotechn. Z. 1931 S. 1066.

Zahlentafel 2. Beziehungen zwischen den Erzeugungskosten¹ für 1 kWh und der Benutzungsdauer bei neuzeitlichen Dampfkraftwerken.

Grundlastwerk:

a) Großkraftwerk „Klingenberg“ der Bewag, Berlin $4 \times 80\,000$ kW = $320\,000$ kW. 37 atü, 400° C, Frischwasser, Steinkohle von 6430 kcal/kg R.M. 21.—/1000 kg, Anlagekosten R.M. 280.—/kW, Kapitalkosten 15%.	3000	2500	3000	4000	5000	6000
Benutzungsdauer h/Jahr . . .	300	400	500	750	1000	1500
Wärmeverbrauch kcal/kWh . . .	—	—	—	—	10000	5050
Brennstoffkosten für 1 kWh . . .	—	—	—	—	3,26	1,8
Kapitalkosten für 1 kWh . . .	14	10,5	8,4	5,6	4,2	2,8
Erzeugungskosten ¹ Rpf./kWh . . .	—	—	—	—	7,46	4,6
Unterschied Rpf./kWh					2,86	0,85
					0,5	0,35
					0,44	0,25
					0,25	0,17

Spitzenlastwerke:

b) „Westwerk“ der Bewag $6 \times 34\,000$ kW = $204\,000$ kW. 28/25 atü, 395° C, Frischwasser, Steinkohle von 6430 kcal/kg R.M. 21.—/1000 kg, Anlagekosten R.M. 240.—/kW, Kapitalkosten 15%.	4800	4500	4350	4050	3900	3820
Wärmeverbrauch kcal/kWh . . .	7000	6450	6200	5500	5075	4800
Brennstoffkosten für 1 kWh . . .	2,14	1,98	1,90	1,68	1,55	1,47
Kapitalkosten für 1 kWh . . .	12,45	9,34	7,47	4,98	3,74	2,49
Erzeugungskosten ¹ Rpf./kWh . . .	14,59	11,32	9,37	6,66	5,29	3,96
Unterschied Rpf./kWh	3,27	1,95	2,71	1,37	1,33	0,71
					0,43	0,27
					0,37	0,24
					0,24	0,15

c) Reservekraftwerk „Isartalsraße“ der Städt. Elektrizitätswerke München $60\,000$ kW. 22/20 atü, 400° C, Frischwasser, Steinkohle von 7200 kcal/kg R.M. 31.70/1000 kg, Anlagekosten R.M. 205.—/kW, Kapitalkosten 15%.	4600	4250	4050	3900	3820
Wärmeverbrauch kcal/kWh . . .	7000	6450	6200	5700	5400
Brennstoffkosten für 1 kWh . . .	3,08	2,84	2,73	2,51	2,38
Kapitalkosten für 1 kWh . . .	10,25	7,69	6,15	4,10	3,08
Erzeugungskosten ¹ Rpf./kWh . . .	13,33	10,53	8,88	6,61	5,46
Unterschied Rpf./kWh	2,80	1,65	2,27	1,15	1,19
					0,38
					0,22
					0,39
					0,18
					0,13

¹ Ohne Betriebsführungskosten.

2650 kcal/kWh erzielt. Es ist aber sehr fraglich, ob man bei den heutigen niedrigen Brennstoffpreisen sich zur Anwendung eines derartigen umständlichen Zweistoffbetriebes entschließen wird, noch dazu mit einem teuren und gefährlichen Wärmeträger wie Quecksilber für die Hochtemperaturstufe.

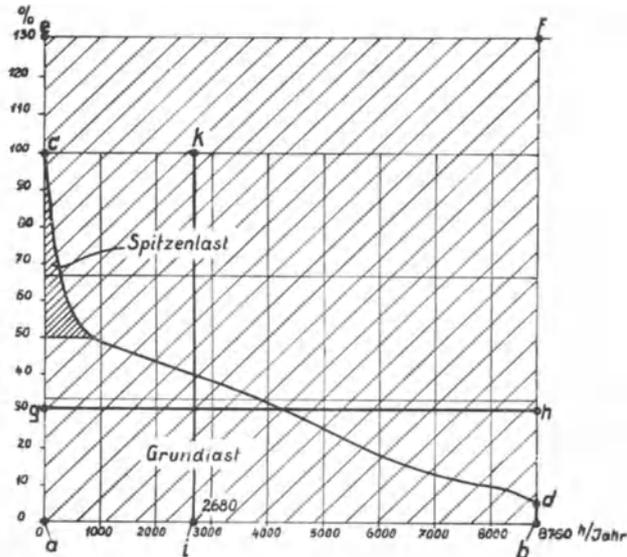


Abb. 1. Jahresbelastungsschaubild eines Elektrizitätswerkes.

Der Vollständigkeit wegen zeigt Abb. 1 ein Jahresbelastungsschaubild eines Stromversorgungsgebietes, in dem die 365 Tageslastkurven eines Betriebsjahres zu einer Gesamtkurve zusammengesetzt sind. Die Strecken und Flächen der Abb. 1 stellen folgende Werte dar:

- Fläche $abef$: Jährlich mögliche Gesamtstromerzeugung in kWh einschließlich etwa 25% Reserve an installierter Leistung.
 Strecke ae : Installierte Gesamtleistung in kW.
 Fläche $abcd$: } Jährlich erzeugte Strommenge in kWh,
 „ $abgh$: } verteilt auf etwa 96% Grundlast und 4% Spitzenlast in kWh.
 „ $aick$: }
 Strecke ac : Höchstlast in kW, verteilt auf etwa 50% Grundlast und 50% Spitzenlast in kW.
 Strecke ag : } Durchschnittslast in kW.
 „ bh : }
 Quotient $\frac{abcd}{abef}$ } Belastungsfaktor in % (einschließlich des Einflusses der Reserveeinheiten auf diesen Wert):
 „ $\frac{abgh}{abef}$ } $\frac{\text{Jährlich erzeugte Strommenge}}{\text{Jährlich mögliche Stromerzeugung}}$
 „ $\frac{ag}{ae}$ }
 Strecke ai } Benutzungsdauer der Höchstlast in h/Jahr (ausschließlich des Einflusses der Reserveeinheiten auf diesen Wert):
 „ ck } $\frac{\text{Jährlich erzeugte Strommenge in kWh}}{\text{Höchstlast in kW}}$.

An diesem Schaubild und vielleicht noch deutlicher an einem Winter- und Sommer-Wochenbelastungsschaubild Abb. 2 lassen sich die oben genannten Sachbegriffe elektrizitätswirtschaftlicher Art leicht erkennen

und besonders auch der bisher noch wenig beachtete, aber tatsächlich sehr ungünstige Einfluß der sogenannten „Wochenendbelastung“ auf die Ausnutzung der Stromversorgungsanlagen überblicken.

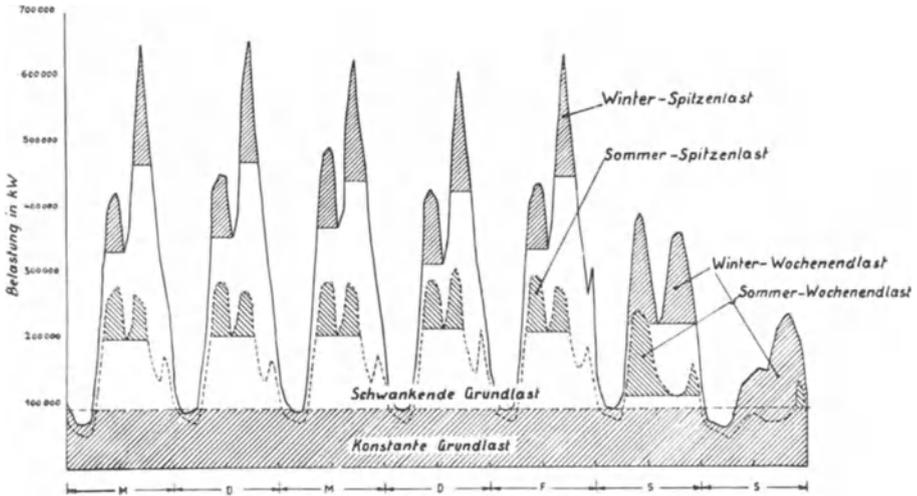


Abb. 2. Winter- und Sommer-Wochen-Belastungsschaubild eines Stromversorgungsgebietes.

II. Entstehung, Entwicklung und heutiger Stand des Dieselmotors in der Elektrizitätswirtschaft.

A. Kurzer Überblick über den Werdegang des Dieselmotors.

In Augsburg liegt bekanntlich die Geburtsstätte des Dieselmotors. Von 1893—1897 gelang es dem Münchener Ingenieur Rudolf Diesel im Zusammenarbeiten mit der damaligen Maschinenfabrik Augsburg (jetzt Werk Augsburg der MAN), die dabei keine Mühe und Kosten gescheut hat, die theoretische und ausführungsunreife Erfindung eines „rationellen Wärmemotors“ zu einer betriebsfähigen Kraftmaschine zu entwickeln. Die ersten praktisch verwendeten Dieselmotoren datieren aus den Jahren 1897/98; aber erst nach 1900 konnte der Dieselmotor nach mühevollen und kostspieligen Verbesserungen wirklich als betriebs-sichere und marktfähige Wärmekraftmaschine angesprochen werden. Dieser Erfolg ist das alleinige Verdienst der Maschinenfabrik Augsburg; außer dieser Firma haben zwar auch noch andere Firmen nach den offiziellen Abnahmeversuchen des Prof. Schröter, München, an dem ersten Augsburger Dieselmotor am 17. Febr. 1897 versucht, Diesel-

motoren zu bauen; außer Einzelausführungen zu Versuchs- und Ausstellungszwecken hat aber damals keine dieser Firmen einen betriebsbrauchbaren Dieselmotor zum Verkauf herausgebracht, sondern alle haben die Arbeit bald wieder ergebnislos aufgegeben.

Im übrigen soll auf den Streit um die Erfinderehre und um den wirklichen Anteil Diesels an der Schaffung des Dieselmotors, der seinerzeit in scharfer Form geführt wurde, hier ebensowenig eingegangen werden, wie auf die Auseinandersetzungen über die Berechtigung der Bezeichnung „Dieselmotor“ für alle Ölmotoren mit Selbstzündung des mit Lufteinblasung oder mit luftloser Einspritzung zerstäubten Brennstoffes in der hochverdichteten Luft des Arbeitszylinders. Auch soll der Anteil an der praktischen Verwirklichung des Dieselmotors, den verschiedene Veröffentlichungen der damaligen Maschinenfabrik Augsburg streitig zu machen versucht haben, hier nicht weiter erörtert werden. Es steht fest, daß es seinerzeit nur der Maschinenfabrik Augsburg gelungen ist, einen wirklich betriebssicheren und praktisch brauchbaren Dieselmotor zum Verkauf herauszubringen und regelrecht zu fabrizieren und daß erst diese Erfolge der Maschinenfabrik Augsburg eine Reihe anderer Firmen veranlaßt haben, den Bau von Dieselmotoren wieder oder neu aufzunehmen.

B. Steigerung der Zylinder- und der Gesamtleistungen des Dieselmotors im Laufe der Zeiten.

Die Entwicklung des MAN-Dieselmotores vom Jahre 1897 bis zur Jetztzeit nach Zylinder- und Gesamtleistung, Bauart und Anordnung (Viertakt- und Zweitaktbauart, stehende und liegende Anordnung und Zylinderzahl der gelieferten Maschineneinheiten) geht aus der Zahlentafel 3 hervor.

1. Die Anwendungsgebiete des Dieselmotors.

Die Anwendung des Dieselmotors gliedert sich ganz allgemein heutzutage nach der folgenden Aufstellung:

Kleine und mittlere Einheiten meist einfachwirkender Viertaktbauart:

a) als ortsbewegliche Antriebsmaschine und als Hilfsbetriebsmaschine zum Antrieb von Dynamos, Kompressoren, Pumpen usw. auf Fluß- und Seeschiffen aller Art;

b) als ortsfeste Betriebsmaschinen für kleinere und mittlere Elektrizitätswerke und für Fabrikkraftwerke;

c) als ortsfeste Spitzendeckungs- und Momentan-Reservemaschinen für kleinere und mittlere Elektrizitätswerke und für Fabrikkraftwerke.

Zahlentafel 3.

Baujahr	Zyl.-Lstg. PS _e	Zyl.-Zahl	Gesamt- leistung PS _e	Bauart und Anordnung
1879	20	1	20	Viertakt stehend einfachwirkend
1898	30	2	60	„
1901	70	1	70	„
1903	100	4	400	„
1905	150	3	450	„
1906	200	2	400	„
1908 [*]	300	2	600	Viertakt liegend doppeltwirkend
1909	200	4	800	Viertakt stehend einfachwirkend
1910/11	250	4	1000	„
1913	1000	2	2000	Viertakt liegend doppeltwirkend
1915/16	2000	6	12000	Zweitakt stehend doppeltwirkend
1916/17	300	10	3000	Viertakt stehend einfachwirkend
1925	1670	9	15000	Zweitakt stehend doppeltwirkend
1928	1170	10	11700	„
1931	1235	7	8640	„

mit luft-
loser
Brenn-
stoffein-
spritzung

Mittlere und große Einheiten meist einfach- und doppeltwirkender Zweitaktbauart:

d) als ortsbewegliche Antriebsmaschine für große Fluß- und Seeschiffe;

e) als ortsfeste Betriebsmaschine für mittlere und große Elektrizitätswerke und für große Fabrikkraftwerke;

f) als ortsfeste Spitzendeckungs- und Momentan-Reservemaschine für Großkraftwerke und deren Umspannwerke.

Schon frühzeitig nach ihrem Erscheinen auf dem Kraftmaschinenmarkt wurden die Dieselmotoren zum Antrieb elektrischer Generatoren herangezogen und damit der Elektrizitätswirtschaft nutzbar gemacht. Die erste nach damaligen Begriffen große Anlage war das Straßenbahnkraftwerk in Kiew, dessen erster Ausbau im Jahre 1902/03 4 Vierzylindermotoren von je 400 PS umfaßte und das noch heute im Betrieb ist.

In vorliegender Arbeit sollen nur die Verwendungszwecke b, c, e und f ausführlich behandelt werden, die übrigen Punkte aber unberücksichtigt bleiben. Dabei soll besonderer Wert auf die wirtschaftliche Seite dieser Fragen gelegt und besonders untersucht werden, welche

Rolle der Dieselmotor in der neuzeitlichen Elektrizitätswirtschaft spielt.

Die bauliche Anordnung und das Arbeitsverfahren der Dieselmotoren soll dabei als bekannt vorausgesetzt und hier nicht weiter in Betracht gezogen werden. Außerdem wird den heutigen Verhältnissen entsprechend in erster Linie von den mittelgroßen und großen Dieselmotoren und weniger von den Kleinmotoren die Rede sein.

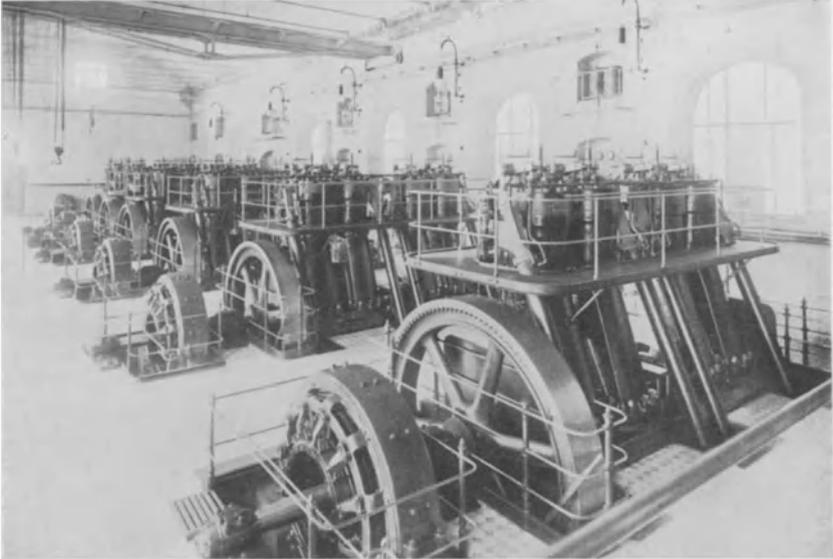


Abb. 3. Kraftwerk der Städtischen Straßenbahn Kiew.

Inbetriebsetzung des ersten Ausbaues mit 4 MAN-Dieselmotoren von je 400 PS_e mit direktgekuppelten Gleichstromgeneratoren 1903. Weiterer Ausbau mit insgesamt 13 MAN-Dieselmotoren von zusammen 4500 PS_e bis 1911. Erstes Kraftwerk der Welt mit Dieselmotorenantrieb.

a) Einfachwirkende Viertakt-Dieselmotoren kleiner und mittlerer Leistung in Tauchkolbenbauart.

Als solche kommen heutzutage nur noch kompressorlose Motoren mit mechanischer, druckluftloser Brennstoffeinspritzung in Frage. Dieselmotoren mit Drucklufteinspritzung des Brennstoffes werden nur noch in Ausnahmefällen für die Verarbeitung besonders schwieriger Brennstoffe gebaut. Die Einzelleistung der kompressorlosen Motoren ist bei einfachwirkenden Viertaktmaschinen stehender Bauart auf 3000 PS_e bei 8 Zylindern und 215 Umdrehungen/min für ortsfeste Verwendung, d. h. auf eine Zylinderleistung von 375 PS_e gesteigert. Weitere Steigerungen der Gesamtleistung auf 4500 PS sind durch Vermehrung der Zylinder auf 12 möglich; außerdem kann durch Aufladen eine weitere

Steigerung der Höchstleistung auf etwa 550 PS_e je Zylinder (größte Ausführung: 2 Burmeister und Wain-Schiffsdieselmotoren auf dem norwegischen Motorschiff „Venus“ mit je 10 Zylindern von 630 mm Durchmesser und 1150 mm Hub, $n = 161,25$, Leistung je 5500 PS_e) erzielt werden.

Durch die beispiellos schnelle und erfolgreiche Entwicklung der Überlandstromversorgung sind viele früher selbständige Dieselmotoren-Ortskraftwerke an große Überlandkraftwerke angeschlossen und damit zu Umspann- und Verteilungsstellen der Großkraftwerke ohne eigene Stromerzeugung umgewandelt worden. Die Dieselmotoren sind entweder entfernt und anderweitig verwendet worden oder dienen nur noch als Reserve- und Spitzendeckungsmaschinen. In vielen Fällen stehen die Überlandwerke und die Dieselmotoren im harten Wirtschaftskampf um den Vorrang bei der Wahl der Betriebskraft von Gewerbebetrieben aller Art. Außer den Dieselmotoren haben sich sonst in Einzelfällen nur noch Dampfkraftmaschinen (Dampfkolbenmaschinen und Dampfturbinen) zum Antrieb technologischer Gewerbebetriebe mit großem Wärmeverbrauch für Fertigungszwecke gegenüber dem Wettbewerb der Großkraftwerke gehalten. Die übrigen Kraftmaschinen, wie Lokomobilen, Sauggasmotoren und dergleichen sind praktisch vom Kraftmaschinenmarkt verschwunden.

b) Die Großdieselmotoren, in erster Linie die einfach- und doppelwirkenden Zweitaktdieselmotoren.

Die Anwendung von Großdieselmotoren umfaßt beim heutigen Stand der Technik im wesentlichen 3 Gebiete:

1. den Antrieb von Seeschiffen und großen Flußschiffen, wodurch die Entwicklung der Großdieselmotoren wirksam befruchtet wurde;
2. den Antrieb von elektrischen Generatoren für Elektrizitätswerke mit Dauerbetrieb (in ölreichen Ländern);
3. der Antrieb von elektrischen Generatoren für den Spitzendienst und für Momentanreserve bei Elektrizitätswerken mit kurzfristigem Betrieb.

Bei den Verwendungszwecken nach 1. und 2. kommt es vor allem außer auf vollkommene Betriebssicherheit besonders auf beste Wirtschaftlichkeit und lange Lebensdauer an. Deswegen kommen hierfür meist schwere und daher teure Maschinen von niedriger und mittlerer Drehzahl in Betracht. Erst neuerdings baut man auch in Schiffen schnellaufende Dieselmotoren ein, um an Gewicht und Baukosten zu sparen, und setzt die Drehzahl der Motoren mit Rädergetrieben auf die niedrige Drehzahl der Schiffsschrauben herab. Einfach- und doppelwirkende Viertakt- und Zweitaktmotoren werden für diese Verwendungszwecke nach 1. und 2. geliefert, ohne daß bisher eine bestimmte Bauart

infolge ihrer nachgewiesenen Überlegenheit die anderen verdrängt und sich allein durchgesetzt hat. Für mittelgroße Leistungen, d. h. für Einheiten von über 3000 PS_e machen sich die baulichen Vorteile der doppeltwirkenden Zweitaktbauart bereits wegen der einfacheren Anordnung, der verminderten Drehzahl und des geringeren Raumbedarfes und Gewichts besonders geltend und für große Leistungen, d. h. über 10000 PS_e für eine Maschineneinheit kommt beim heutigen Stand der Technik überhaupt nur der doppeltwirkende Zweitakt in Frage.

Doppeltwirkende Viertaktmaschinen stehender Bauart sind nur für Schiffsantrieb verwendet und neuerdings in den Hintergrund gedrängt worden; für den Antrieb elektrischer Generatoren sind sie vor dem Weltkrieg in liegender Tandemanordnung verwendet worden, seitdem aber gänzlich vom Markt verschwunden.

Für den Sonderzweck nach 3., d. h. für den Spitzen- und Momentanreservedienst der neuzeitlichen, meist auf Fernübertragung der elektrischen Arbeit eingestellten Elektrizitätswirtschaft mußten Dieselmotoren besonderer Bauart geschaffen werden, die durch folgende Anforderungen gekennzeichnet sind:

Niedrigste Anschaffungskosten, ebenso vollkommene Betriebssicherheit wie bei den Dauerbetriebsmaschinen sowie einfachste Bedienung zwecks schneller Inbetriebsetzung bei Aufstellung in den Umspannwerken der Großkraftwerke.

Auf hohe Wärmewirtschaftlichkeit und lange Lebensdauer wird — wenigstens theoretisch — weniger hoher Wert gelegt.

Diese Anforderungen zielen auf leichte Bauart bei Verwendung hochwertiger Baustoffe, hohe Drehzahlen, hohe mittlere Kolbendrücke und hohe Kolbengeschwindigkeit hin. Bei Leistungen bis 2000 kW kommen für diesen Zweck hauptsächlich einfachwirkende kompressorlose Viertaktmaschinen, für mittlere Leistungen bis etwa 5000 kW einfachwirkende und doppeltwirkende Zweitaktmaschinen und darüber für größere Leistungen nur doppeltwirkende Zweitaktmaschinen in Betracht.

2. Die Brennstoffe der Dieselmotoren.

Diese gliedern sich nach den folgenden Gesichtspunkten und Eigenschaften und weisen in Deutschland die angegebenen Bezugspreise auf:

a) Das aus Roherdöl durch fraktionierte Destillation als reines Destillat gewonnene Gasöl¹:

¹ Die bemerkenswerten großen Erdölfunde in Hannover und Thüringen eröffnen die Aussicht auf die Entstehung einer bedeutenden Erdölindustrie in Deutschland und werden der Verbreitung des Großdieselmotors zweifellos förderlich sein. Dennoch ist wohl kaum anzunehmen, daß die Preise des bei der Aufarbeitung dieses Erdöls gewonnenen Gasöles sich niedriger als die Preise des vom Weltmarkt beeinflussten ausländischen Gasöls plus Fracht und Einfuhrzoll stellen werden. So erfreulich

Spezifisches Gewicht meist 0,83—0,88, nach den Normen der Internationalen Brennstoffkonferenz London 1928 0,84—0,86.

Wasserstoffgehalt über 12%.

Unterer Heizwert etwas über 10000 kcal/kg.

Grundpreis frei Seehafentank 70 RM. je 1000 kg¹.

Einfuhrzoll seit 1. Aug. 1930 48 RM. je 1000 kg.

Bezugspreis in 15-t-Tankwagen für 1000 kg, Marktlage Frühjahr 1931:

Frachtfrei Hamburg . . .	etwa 118,— RM.	
„ Hannover . . .	„ 126,30 „	} Frachtlage Norddeutschland
„ Berlin . . .	„ 129,80 „	
„ Leipzig . . .	„ 132,40 „	} Frachtlage Mittel- und Westdeutschland
„ Essen . . .	„ 132,20 „	
„ Frankfurt a. M. „	„ 136,30 „	
„ Stuttgart . . .	„ 139,40 „	} Frachtlage Süddeutschland
„ Augsburg . . .	„ 140,40 „	
„ München . . .	„ 140,80 „	

b) „Dieselöl“, eine Mischung von reinem Gasöl (Destillat) und von Roherdöl-Destillatrückständen.

Spezifisches Gewicht nach den Normen der Internationalen Brennstoffkonferenz London 1928 0,86—0,89, sonst Eigenschaften und Preislage ähnlich wie bei a.

die Entstehung einer deutschen Erdölindustrie und die dadurch gesicherte Unabhängigkeit Deutschlands von der Einfuhr ausländischer Erdölerzeugnisse auch ist, so dürfen doch die Erwartungen bezüglich der Preisentwicklung des Gasöls auf dem deutschen Markt wohl nicht übertrieben werden, es sei denn, daß in Deutschland eine ebenso preisdrückende Überproduktion eintreten sollte, wie auf den Ölgebieten des Weltmarktes, deren Erzeugung 1929 197036000 Tonnen und 1930 188142000 Tonnen betragen hat, wie „The Oil and Petroleum Year Book 1931, London“ berichtet.

¹ Im Herbst 1931 ist infolge der Überproduktion und des Absatzmangels auf dem Weltmarkt der Preis des Gasöls auf 50,— bis 57,50 RM. und im Frühjahr 1932 zeitweilig sogar auf 36,50 RM. unverzollt für 1000 kg frei Hafentank gesunken und eine entsprechende Verbilligung des Bezugspreises für die Verbraucher eingetreten. Infolge der Weltwirtschaftskrise sind die Gasölpreise für die Verbraucher in Deutschland im Laufe des Jahres 1931 um etwa 26—29% gesunken und lagen im Frühjahr 1932 zwischen 90 und 111 RM. in Hamburg bzw. München für 1000 kg einschließlich Verzollung, einer seit dem 15. Febr. 1923 eingeführten „Ausgleichsteuer“ von 1,90 RM. und den Frachtkosten vom Hafentank Hamburg bis zum Bestimmungsort. Diesen Preisen des ausländischen Gasöls paßten sich die Preise des deutschen Gasöls und des Paraffinöls an. Die Preise der deutschen Steinkohlenteeröle sanken um ähnliche Prozentsätze und lagen im Frühjahr 1932 zwischen 63 und 80 RM. für 1000 kg frei Verbrauchsort. Dieser Preisabschlag dürfte aber nur vorübergehend sein und ist bei den weiter unten folgenden Betrachtungen und Berechnungen ebensowenig berücksichtigt, wie die durch das Sinken des Pfund Sterlingkurses (September 1931) verursachten Schwankungen der Kohlenpreise, bei denen auch absichtlich nicht die billigsten listenmäßigen Sorten Förderkohle verrechnet worden sind, sondern die tatsächlich für den Kraftwerksbetrieb verwendeten gesiebten und gewaschenen Nußkohlen.

c) Das durch Destillation von Schwelteeer aus Braunkohle und bituminösem Schiefer gewonnene Paraffinöl (Braunkohlenteeröl, Schieferöl oder Messelöl).

- Spezifisches Gewicht etwa 0,94.
- Wasserstoffgehalt etwa 9,8—10%.
- Heizwert etwa 9800 kcal/kg.

Bezugspreis frei Verbrauchsstelle annähernd wie bei Gasöl zwischen 123,30 RM. und 137,50 RM. für 1000 kg, je nach Frachtlage und Abschlußmenge (Marktlage Frühjahr 1931).

d) Das durch Destillation von Steinkohlenteer der Kokereien und Gaswerke gewonnene Steinkohlenteeröl.

- Spezifisches Gewicht 1,02—1,05.
- Wasserstoffgehalt etwa 6—6,5%.
- Heizwert etwa 8900 kcal/kg.

Bezugspreis frei Verbrauchsstelle für 1000 kg (Marktlage Frühjahr 1931) (vgl. hierzu Fußnote 1 auf S. 13):

Frachtfrei Hamburg . . .	etwa 77,— RM.		
„ Hannover . . .	„ 75,— „	}	Frachtlage Norddeutschland
„ Berlin . . .	„ 78,50 „		
„ Leipzig . . .	„ 81,— „	}	Frachtlage Mittel- und Westdeutschland
„ Essen . . .	„ 72,— „		
„ Frankfurt a. M. „	„ 75,80 „		
„ Stuttgart . . .	„ 97,50 „	}	Frachtlage Süddeutschland
„ Augsburg . . .	„ 97,50 „		

Auf diese Preise werden je nach der Abschlußmenge noch Rabatte bewilligt.

Maßgebend für die Brauchbarkeit (d. h. Zündung und Verbrennung) des Brennstoffes für den Dieselmotorenbetrieb ist in erster Linie der Wasserstoffgehalt der flüssigen Brennstoffe, der bei der luftlosen Brennstoffeinspritzung in kompressorlosen Dieselmotoren ein Mindestmaß von etwa 10% nicht unterschreiten darf. Außerdem muß der Brennstoff bestimmte Vorschriften bezüglich seines Gehaltes an Schwefel, Asche, Wasser usw. erfüllen, die durch Qualitätsvorschriften der Dieselmotoren bauenden Firmen festgelegt sind.

Die Aufzählung der Dieselmotoren brennstoffe in der Reihenfolge: a) Gasöl, b) Dieselöl, c) Braunkohlenteeröl und d) Steinkohlenteeröl stellt vom Standpunkt des Dieselmotorenbauers eine Art Rangordnung dar, die den Wert dieser Brennstoffe zum Dieselmotorenbetrieb kennzeichnet. Zweifellos sind das Gasöl, ferner das Dieselöl und das technisch gleichwertige Braunkohlenteeröl wegen des höheren Wasserstoffgehaltes für den Dieselmotorenbetrieb besonders brauchbar, da diese Brennstoffe leicht zündfähig und außerdem mit luftloser Brennstoffeinspritzung sicher zu verarbeiten sind, während das Steinkohlenteeröl beim heutigen Stand der Technik nur mit Lufteinblasung und mindestens bis zum

Warmlaufen der Maschine nur mit Zündöl¹ zum Einleiten der Verbrennung sicher verbrannt werden kann.

Das Gasöl ist also dem Teeröl technisch überlegen. Demnach ist nicht der Unterschied der Heizwerte allein bei der Preisstellung der Dieselmotorenbrennstoffe zu berücksichtigen, sondern außerdem eine Reihe von anderen Faktoren, welche die Wirtschaftlichkeit des Dieselmotorenbetriebes berühren, nämlich außer den Mehranlagekosten der Luftverdichter, der Zündölpumpen, der Luftenblasesteuerung, der geteilten Teeröl- und Zündöltanks und der zugehörigen Rohrleitungen auch noch der ungünstigere Wärmeverbrauch für die Nutzleistungseinheit infolge des Arbeitsverbrauches des Luftverdichters (6—7% der Nennleistung), ferner der etwas größere Schmierölverbrauch, die etwas größere Abnutzung infolge der unvermeidlichen Verunreinigungen des Teeröls und etwas höhere Bedienungskosten durch Mehraufwand für Reinigungsarbeiten und schärfere Überwachung der Brennstoffpumpen, Einblasedüsen und der Steuerung sowie des Luftverdichters. Alle diese Gesichtspunkte müssen bei der Preisfrage des Steinkohlenteeröls im Vergleich mit festen Brennstoffen für Dampftrieb und mit Gasöl und Dieselöl für den Betrieb kompressorloser Dieselmotoren berücksichtigt werden.

Die beim heutigen Stand der Technik noch schwierige Aufgabe, außer den hochwertigen reinen Erdölestillaten (Gasöl) und den Dieselölen (Mischungen von Gasöl und Erdölrückständen) auch noch die geringwertigen schweren Erdöle und Rückstände der Destillation des Roherdöles zu verarbeiten, um die Brennstoffkosten für die Leistungseinheit zu senken und die Unabhängigkeit der Dieselmotoren von der Beschaffenheit der Treiböle zu erweitern, beschäftigt die Dieselmotorenindustrie seit längerer Zeit in hohem Maße. Die von der MAN bisher auf dem Prüfstand und im Dauerbetrieb verschiedener Kraftwerksanlagen mit Maschineneinheiten verschiedener Größe und soweit als möglich mit luftloser Brennstoffeinspritzung sowie in Einzelfällen mit Luftenblasung des Brennstoffes erzielten Versuchs- und Betriebsergebnisse mit derartigen Brennstoffen sind auf den folgenden Seiten zusammengestellt.

Um Raum zu sparen und Wiederholungen zu vermeiden, sind alle wissenswerten Zahlenangaben und Versuchsergebnisse auszugsweise in Form von Zahlentafeln und kurzgefaßten Bemerkungen ohne ausführliche Beschreibung der im Laufe mehrerer Jahre systematisch zur Erforschung dieser Betriebsstofffragen angestellten Prüfstand- und Laboratoriumsversuche und der einschlägigen Betriebsberichte möglichst eng und übersichtlich zusammengedrängt.

¹ Verbrauch etwa 15 kg/h Gasöl auf 1000 kW Nennleistung der Dieselmotoren.

5. Nachprüfung dieser Beschaffenheitsangabe an Hand von 2 Probelieferungen von Comodoro Rivadavia Diesel Fuel Oil YPF

(23. Jan. bis 14. Sept. 1929 und 17. Febr. bis 11. März 1930)

Probe 1.	Schwarzbraunes dünnflüssiges Mineralöl
Kohlenstoffgehalt	86,9%
Wasserstoffgehalt	12,4%
Rest	0,7%
Spezifisches Gewicht bei 15° C . .	0,89
Viskosität bei 20° C	1,9 Englergrade
„ 38° C	1,4 „
„ 50° C	1,3 „
„ 70° C	1,2 „
Flammpunkt	108° C
Schwefel	0,15° C
Aschengehalt	1%
Unterer Heizwert	10030 kcal/kg
Probe 2:	
Spezifisches Gewicht bei 15° C . .	0,903
Viskosität bei 60° C	3,2 Englergrade.

Beide Proben wurden als geeignet zum Betrieb kompressorloser MAN-Viertakt-dieselmotoren mittlerer Leistung mit direkter Strahleinspritzung des Brennstoffes befunden. Vorwärmung des Brennstoffes war unnötig, solange derselbe eine Viskosität von weniger als 4 Englergrade bei 20° C aufwies.

6. Untersuchung des Ausgangsproduktes für obige Proben:

Comodora Rivadavia Rohöl,

das gemäß einem Rundschreiben des Argentinischen Handelsministeriums seit November 1928 nicht mehr an Verbraucher geliefert wird.

	Probe I	Probe II
Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,909	0,938—0,936
Viskosität bei 30° C	21,2	—
„ 50° C	9,2	44—42,1
„ 65° C	—	19,2—17,9
„ 70° C	4,5	—
„ 80° C	—	9,2—8,95
„ 95° C	—	5,5—4,95
„ 100° C	2,4	—
	Englergrade	
Flammpunkt	38° C	80—87° C
Analyse: Kohlenstoff	86,0%	85,7—85,6%
Wasserstoff	12,3%	12,25—12,3%
Rest	1,7%	2,05—2,1%
Unterer Heizwert in kcal/kg	9900	9850—9890

Dieser Brennstoff ist zum Betrieb eines großen MAN-Viertakt-dieselmotors als brauchbar gefunden, wenn derselbe mindestens auf 37° C vorgewärmt und mit Luft einblasung verarbeitet wird. Zündöl ist bei weniger als 1/3 der Normallast zum sicheren Zünden des Brennstoffes erforderlich.

Bericht aus dem Betrieb der Mühle:

Sociedad Anonima de Molinos Harineros y Elevadores de Granos, Buenos Aires
Argentinien.

Abmessungen des einfachwirkenden Fünfzylinder-Viertakt-
Dieselmotors:

Zylinderdurchmesser	800 mm	Vollastbrennstoffverbrauch	173,5 g/PSH
Kolbenhub	1000 „	Dreiviertellast	181,8 g/PSH
Drehzahl/Minute	140	Halblast	215,0 g/PSH
Leistung, normal	2000 PS		

Zum Vergleich: Untersuchungen von Kontrollproben von Comodoro Rivadaviaöl, das sich zum Betrieb von Dieselmotoren in Südamerika als geeignet erwiesen hat:

	Anlage A	Anlage B
Spezifisches Gewicht	0,9335	0,9351
Viskosität (Saybolt Furol) bei 50° C	20 Sekunden	70 Sekunden
Flammpunkt	70° C	70° C
Analyse: Schwefel	0,10%	0,15%
Asche	Spuren	0,05%
Asphalt	3,0%	8,5%
Koksrückstände	5,0%	6,5%
Oberer Heizwert	10750 kcal/kg	10750 kcal/kg
Vorwärmung des Brennstoffes erforderlich auf 45—55° C		65° C
Vorwärmung der Brennstofffilter erwünscht auf 91° C		

Filter und Rohrleitungen werden mit Heizmänteln ausgeführt, die mit heißem Wasser geheizt werden.

7. Untersuchung eines nach Brasilien zum Betrieb von Viertakt-
dieselmotoren gelieferten Gasöls mexikanischen Ursprungs
Lieferant: Anglo Mexican Petroleum Co., Rio de Janeiro

Marke	West-India Oil
Spezifisches Gewicht	0,864
Analyse: Kohlenstoff	86,4%
Wasserstoff	13,2%
Rest	0,4%
Unterer Heizwert	10170 kcal/kg
Viskosität bei 20° C	2,25 Englergrade
„ 50° C	1,4 Englergrade
Flammpunkt	105° C

Der Brennstoff hat sich als gut geeignet erwiesen.

b) Betriebsberichte von Dieselmotoren für Kraftwerks-
betrieb mit schweren amerikanischen Kesselheizölen.

α) Kompressorloser Dieselmotor Typ G6Vu60 mit 6 Zylindern von
425 mm Durchmesser und 600 mm Hub, Leistung 650 PS bei $n = 330$.
Besitzer: Loma Negra SA., Buenos Aires.

Brennstoff: Lieferant Anglo-Mexican Petroleum Co.

Marke: West-India Oil (Diesel Oil).

Brennstoffmischung lt. Lieferungsvertrag: Dieselöl = 1 Teil Gasöl
und 1 Teil Kesselheizöl.

Brennstoffmischung, die zwecks Senkung der Brennstoffkosten erfolgreich seit November 1928 verwendet wird: 1 Teil Gasöl und 3 Teile Kesselheizöl.

Das Gemisch wird mit warmem Kühlwasser auf 60° C vorgewärmt.

Versuche mit Kesselheizöl allein verliefen ebenfalls erfolgreich.

Die zur Durchführung dieses Betriebes mit minderwertigen Brennstoffen erforderlich gewesenen Abänderungen der Maschine betrafen:

1. Ersatz des mit $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser gelieferten Brennstoffzuleitungsrohres zwischen dem Brennstofftank und den Brennstoffpumpen des Motors durch ein Rohr mit 1 Zoll lichter Weite, das mit einem Heizmantel von $\frac{2\frac{3}{4}}$ Zoll umgeben war und mit warmem Kühlwasser beheizt wurde. Höchste angewendete Brennstofftemperatur war 70—80° C; höhere Erhitzung des Brennstoffes verursachte Schaumentwicklung und Störung des Brennstoffpumpenbetriebes durch Gas-säcke.

2. Heizung des Brennstofftanks mit einer Heizschlange, womit eine Brennstofftemperatur von etwa 30° C erzielt wurde (Heizmittel ebenfalls warmes Kühlwasser).

3. Filterung des Brennstoffes mit Doppelfiltern, die ohne Stillsetzen des Motors im Betrieb ausgewechselt werden konnten.

β) Kompressorloser Dieselmotor Typ G6Vu42 mit 6 Zylindern von 285 mm Durchmesser und 420 mm Hub, Leistung 300 PS bei $n = 300$, zum Antrieb eines Drehstromgenerators in einem Elektrizitätswerk in Argentinien. Störungsfrei im Betrieb mit Comodoro Rivadavia Diesel-Schweröl YPF.

γ) Kompressorloser Dieselmotor Typ G2Vu42 mit 2 Zylindern von 285 mm Durchmesser und 420 mm Kohlenhub, Leistung 119 PS bei $n = 375$ störungsfrei in einem südamerikanischen Elektrizitätswerk im Betrieb mit kalifornischem Kesselheizöl von folgender Beschaffenheit:

Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,952
Analyse: Kohlenstoff	86,0%
Wasserstoff	11,4%
Rest	2,6%
Unterer Heizwert	9805 kcal/kg
Viskosität bei 50° C	22,3 Englergrade
„ 70° C	8,9 „
„ 90° C	3,8 „
„ 100° C	2,8 „
Flammpunkt	159° C

Vorwärmung des Brennstoffes auf 50—55° C und Zündölbetrieb als empfehlenswert zur Durchführung eines sicheren Betriebes befunden. Das Anfahren muß mit Gasöl erfolgen; ein regelrechter Dauerbetrieb konnte ohne Störungen 35—46 Stunden durchgeführt werden, bevor eine Reinigung der Maschine notwendig wurde.

δ) Kompressorlose Dieselmotoren Typ G3Vu30 mit 3 Zylindern von 220 mm Durchmesser mit 300 mm Hub, Leistung 100 PS_e bei $n = 375$ und Typ G2Vu42 mit 2 Zylindern von 285 mm Durchmesser und 420 mm Hub, Leistung 100 PS_e bei $n = 300$ werden störungsfrei in einem südamerikanischen Kraftwerk mit Comodoro Rivadavia-Öl folgender Beschaffenheit betrieben:

Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,919
Analyse: Kohlenstoff	86,2%
Wasserstoff	12,15%
Rest	1,65%
Unterer Heizwert	9850 kcal/kg
Viskosität	14,25 Englergrade
Flammpunkt	53° C.

Vorwärmen des Brennstoffes auf 54—55° C war notwendig. Brennstoffeinspritzdüsen, Ventile, Kolbenböden müssen meist nach etwa 15 Stunden Betriebszeit gereinigt werden. Längste Betriebsdauer ohne Anhalten etwa 50 Stunden; infolge der Dickflüssigkeit des Brennstoffes muß die Zubringerpumpe zwischen Tank und den Brennstoffeinspritzpumpen mit 0,8 at Betriebsdruck arbeiten. Störungen der Einspritzpumpen wurden gelegentlich durch Steckenbleiben der Saugventile verursacht.

ε) Kompressorloser Dieselmotor Typ G3Vu30 von 100 PS, Abmessungen wie unter d, wird in einem südamerikanischen Kraftwerk störungsfrei mit kolumbischem Kesselheizöl folgender Beschaffenheit betrieben:

Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,929
Viskosität bei 20° C	60,1 Englergrade
„ 50° C	9,1 „
„ 70° C	4,15 „
„ 90° C	2,45 „
Flammpunkt	109° C

Vorwärmung auf 55—60° C ist erforderlich; außerdem muß die ganze Rohrleitung zwischen dem Brennstofftank und dem Motor einschließlich der Filter mit Heißwassermänteln versehen sein. Das Anfahren muß mit Gasöl erfolgen.

ζ) Je ein Drei- und Zweizylinder-Dieselmotor Typ G3Vu33 von 68 PS bei $n = 350$ und G2Vu43 von 119 PS bei $n = 320$, beide mit ventillosen Brennstoffpumpen der Robert-Bosch-AG., wurden mit Comodoro Rivadavia Dieselöl YPF erfolgreich in einer südamerikanischen Kraftanlage abgenommen.

Brennstoffverbrauch	G3Vu33	G2Vu43
bei Vollast für 1 PS _{eh}	181 g	172 g
bei 10% Überlast für 1 PS _{eh}	—	175 g
bei Dreiviertellast für 1 PS _{eh}	—	179 g
bei Halblast für 1 PS _{eh}	—	189 g
bei Viertellast für 1 PS _{eh}	—	250 g

Gute Verbrennung des Schweröls bei allen Belastungen und stundenlanger Dauerbetrieb im Leerlauf ohne Störungen wurden festgestellt.

Gute Betriebsergebnisse erzielten auch eine Reihe von südamerikanischen Dieselmotorenanlagen verschiedener Größe mit und ohne Lufteinblasung des Brennstoffes Comodoro Rivadavia Dieselöl YPF folgender Beschaffenheit:

Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,897
Analyse: Kohlenstoff	86,9%
Wasserstoff	12,4%
Rest	0,7%
Oberer Heizwert	10770 kcal/kg
Unterer Heizwert	10100 kcal/kg
Flammpunkt	88° C
Viskosität bei 20° C	1,46 Englergrade
Farbe schwarzbraun, noch flüssig bei — 10° C	

c) Betriebsberichte von Dieselmotoren für Kraftwerksbetrieb mit schweren asiatischen Kesselheizölen.

Brennstoff: Borneo-Heizöl folgender Beschaffenheit:

	I	II	III
Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,934	0,935	0,938
Viskosität in Englergraden bei 20° C	2,7	2,7	5,7
„ 50° C	1,4	1,6	1,9
Flammpunkt	118° C	90° C	95° C
Analyse: Kohlenstoff	87,8%	87,9%	86,9%
Wasserstoff	11,3%	11,2%	11,5%
Rest	0,9%	1,9%	1,6%
Unterer Heizwert in kcal/kg	9775	9900	9890

α) Doppeltwirkender Zweitakt-Dieselmotor mit luftloser Brennstoffeinspritzung Typ D6Zu 60/90 mit 6 Zylindern von 600 mm Durchmesser und 900 mm Kolbenhub, Leistung 3300 PS bei $n = 125$, geliefert in mehreren Einheiten nach Japan.

Brennstoffverbrauch im Mittel	1755 kcal/PS _h
Höchstdruck der Verbrennung	49 at
Auspuffgastemperatur am Auspuff der Zylinder	275° C

Gute Verbrennung und störungsloser Betrieb wurde erzielt, ohne daß Unterschiede gegenüber dem Betrieb mit normalem Gasöl festgestellt werden konnten, abgesehen von Schmutzrückständen in den Brennstofffiltern und unverbrannten Brennstoffrückständen auf den Kolben, die leicht zu beseitigen waren.

β) Mehrere einfachwirkende Viertakt-Dieselmotoren mit hohen und mittleren Drehzahlen und mit verschiedenen Leistungen.

Gleichgünstige Ergebnisse wie unter α, d. h. wie bei Betrieb mit Gasöl wurden erzielt. In allen Fällen mußten die Maschinen mit Gasöl angelassen werden und warm laufen, bevor auf Betrieb mit dem Schweröl umgeschaltet werden konnte. Vorwärmen des Schweröls war in allen

Fällen notwendig. Bei kleinen Maschinen traten gelegentlich Schwierigkeiten mit diesem schweren Brennstoff bei längerem Betrieb mit geringer Belastung oder mit Leerlauf auf; auch zeigten sich manchmal Abnutzungen der Maschinen und besonders der Brennstoffpumpen durch sandartige Verunreinigungen, die durch die Brennstofffilter nicht abgefangen werden konnten.

Ganz allgemein hat sich bei den Versuchen herausgestellt, daß die schweren Treiböle asiatischer Herkunft einen niedrigeren Wasserstoffgehalt (11,2—11,5%) aufweisen und eine höhere Kompression (bis 35 atü) in den Zylindern erfordern, als die amerikanischen Öle, die bei einem höheren Wasserstoffgehalt (12,3—13,2%) mit niedrigeren Kompressionsdrücken (etwa 29 atü) eine gute Verbrennung erzielen.

γ) Prüfstandversuche an einem schnellaufenden MAN-Dieselmotor Typ W 7 Vu 28/38 von 700 PS bei $n = 700$ zum Antrieb einer diesel-elektrischen Lokomotive der südmandschurischen Eisenbahn in Dairen mit asiatischen Treibölen und druckluftloser Brennstoffeinspritzung. Zylinderdurchmesser 280 mm, Kolbenhub 380 mm.

Brennstoff: 1. Taracanöl aus Borneo (dünnflüssig, dunkel).

Lieferer: Asiatic Petroleum Co., London.

	Lieferung	
	I	II
Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,939	0,944
Viskosität in Englergraden bei 20° C	5,29	8,7
„ 50° C	1,83	2,4
Flammpunkt	109° C	98° C
Analyse: Kohlenstoff	87,5%	88,0%
Wasserstoff	11,65%	11,5%
Schwefel	0,2%	0,2%
Rest	0,65%	0,3%
Unterer Heizwert in kcal/kg	9920	9780
Verkokungsrückstand	1,63%	1,87%
Unverbrennliches	0,004%	0,004%

Beide Brennstofflieferungen waren gleich gut zum Betrieb des kompressorlosen Dieselmotors geeignet. Lieferung I ergab die folgenden Brennstoffverbrauchsziffern auf dem Prüfstand:

Leistung	690	698	709	537,5 PS
Drehzahl/Minute	708	705	705	732
Brennstoffverbrauch	185,4	183,5	180,3	177,8 g/PS _h

Datum der Versuche: 27. und 28. Oktober 1930.

Lieferung II ergab die folgende Destillationsprobe:

Übergang bis 240	250	275	300	325	350	365° C
1	6	22	38	50	56	64%

Destillat trüb goldgelb; Rückstand salbenartig.

Brennstoff: 2. Fushun Shale Oil (Schieferöl aus der Schiefer-schwelanlage der südmandschurischen Eisenbahn in Fushun (Mandschurei).

Auch dieses dünnflüssige, olivgrüne Mineralöl, das dem von der Gewerkschaft Messel bei Darmstadt hergestellten Schieferöl sehr ähnlich ist, erwies sich als gut brauchbares Treiböl für kompressorlose Dieselmotoren und soll als einheimisches Erzeugnis fortan zum Betrieb der dieselektrischen Lokomotiven der südmandschurischen Bahn und für andere Dieselmotorenbetriebe in Ostasien verwendet werden. Die Untersuchung des Fushun-Schieferöls hatte folgende Ergebnisse:

Spezifisches Gewicht bei 15° C 0,898
 Viskosität in Englergraden bei 20° C 2,26, bei 50° C 1,32
 Flammpunkt 79° C; Verkokungsrückstand 1,06%; Unverbrenliches 0,17%
 Analyse: Kohlenstoff 84,6% Schwefel 0,5%
 Wasserstoff . 11,9% Rest. . . 3,0%

Destillationsprobe wie oben:

Übergang bis	229	250	275	300	325	350	360° C
	1	10	24	40	54	70	76%.

Destillat rotbraun mit grüner Fluoreszenz. Rückstand dickflüssig.

4. Dauerbetriebsergebnisse eines Großdieselmotorenkraftwerks in Südamerika (Chile) mit schwerem californischen Kesselheizöl als Brennstoff.

Allgemeines. Während die vollkommene Betriebssicherheit der zum Schiffsantrieb dienenden Großdieselmotoren längst durch die günstigen Betriebsergebnisse der Motorschiffsflotten aller seefahrenden Nationen bewiesen ist, liegen bisher noch nicht viele Betriebsausweise ortsfester Großdieselmotoren für Dauerbetrieb vor. Zum Vergleich mit den bekannt gegebenen Abnahmeversuchen der Spitzendieselmotoren im Kraftwerk Neuhof¹ der Hamburgischen Elektrizitätswerke AG., Hamburg, und im Umspannwerk Hennigsdorf² der Märkisches Elektrizitätswerk-AG. Berlin soll hiermit über die im normalen Dauerbetrieb ermittelten Betriebsausweise der ortsfesten Großdieselmotorenanlage der Anglo-Chilean Consolidated Nitrate Corporation New York berichtet werden. Diese besitzt die beiden elektrisch gekuppelten Kraftwerke „Maria Elena“ in Coya Norte bei Tocopilla und „Pedro de Valdivia“ in Lautaro (Chile), deren Stromlieferung zum Betrieb der ausgedehnten Salpeterwerke der obigen Firma dient.

Maschinenleistung und technische Einzelheiten. Die Betriebsmittel beider Kraftwerke sind ausschließlich MAN-Dieselmotoren und direkt damit gekuppelte AEG.-Drehstromgeneratoren folgender Einzelleistungen:

1. Kraftwerk „Maria Elena“ in Tocopilla (1250 m über dem Meeresspiegel): 7 einfachwirkende Viertakt Dieselmotoren mit 6 Zylindern von je 1500 PS_e bei 164 Umdrehungen/min, zusammen 10500 PS_e,

¹ Z. VDI 1926, S. 818 und 1409. ² Z. VDI 1930, S. 489 und 570.

Leistung der Drehstromgeneratoren je 1000 kW netto, 2 doppeltwirkende Zweitaktdieselmotoren mit 7 Zylindern von je 5600 PS_e Bruttoleistung bei 164 Umdrehungen/min, zusammen 11200 PS_e. Leistung der Drehstromgeneratoren je 3500 kW netto, d. h. nach Abzug des Arbeitsverbrauches der Turbospülgebläse.

2. Kraftwerk „Pedro de Valdivia“ in Lautaro (1500 m über dem Meeresspiegel): 5 doppeltwirkende Zweitaktdieselmotoren mit 7 Zylindern von je 4700 PS_e Nettoleistung bei 164 Umdrehungen/min,

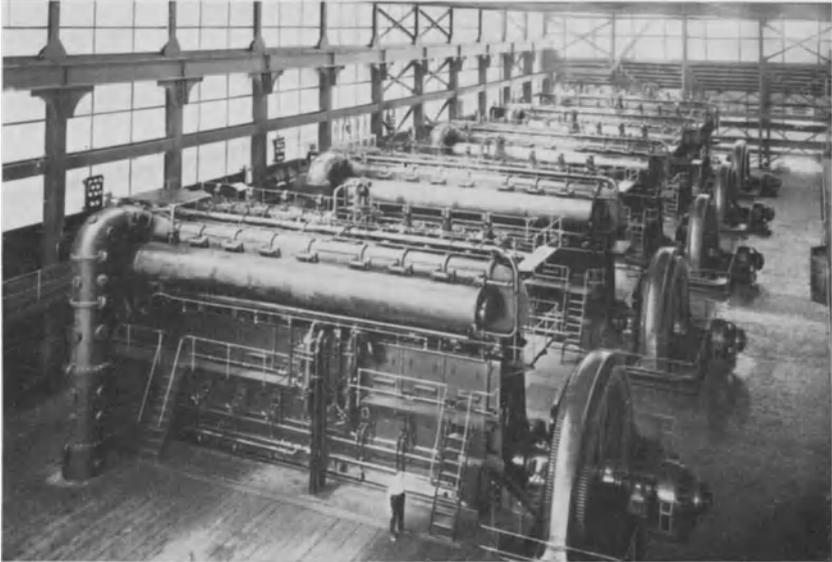


Abb. 4. Dieselmotoren-Kraftwerk „Pedro de Valdivia“ in Lautaro (Chile) der Anglo Chilean Consolidated Nitrate Corporation New York.

zusammen 23000 PS_e. Leistung der Drehstromgeneratoren je 3500 kW netto. Gesamtleistung der 14 Dieselmotoren 44700 PS_e.

Die zwei doppeltwirkenden Zweitaktdieselmotoren des Kraftwerkes „Maria Elena“ haben elektrisch angetriebene Turbospülgebläse, die 5 Maschinen des Kraftwerkes „Pedro de Valdivia“ direkt angetriebene Kolbenspülgebläse. Alle 7 Zweitaktmaschinen arbeiten nach dem bekannten Umkehrschlitzspülverfahren der MAN Augsburg. Sämtliche 14 Maschinen sind mit Luftkompressoren zum Einblasen des Brennstoffes (kalifornisches Kesselheizöl) und mit Zündölpumpen für peruvianisches Rohöl zum sicheren Zünden des schweren Treiböles beim Anlassen und bei Teilbelastungen ausgestattet.

Die bisher vorliegenden Dauerbetriebsausweise umfassen nur die 7 einfachwirkenden Viertaktmotoren und eine der beiden doppelt-

wirkenden Zweitaktmotoren des Kraftwerkes „Maria Elena“. Mittlerweile haben auch die zweite Maschine dieses Kraftwerkes und die fünf Maschinen des Kraftwerkes „Pedro de Valdivia“ programmgemäß den normalen Dauerbetrieb aufgenommen. Zahlenangaben über die Betriebsergebnisse dieser Maschinen lagen Ende 1931 noch nicht vor, abgesehen von den Betriebsausweisen für die Zeit vom 1. Juni bis 20. Dez. 1931 gemäß Zahlentafel 5a¹.

Betriebsverhältnisse. Diese sind durch eine Reihe ungünstiger Umstände gekennzeichnet, die den Maschinenbetrieb stark beeinträchtigen:

a) Luft- und Temperaturverhältnisse. Infolge der Meereshöhe von 1250 bzw. 1500 m und wegen der hohen Lufttemperatur müssen die Dieselmotoren mit verhältnismäßig dünner Luft arbeiten, wodurch die nutzbare Luftladung der Zylinder vermindert wird. Die Folge ist ein verhältnismäßig niedriger mittlerer Druck und ein hoher Arbeitsverbrauch der Spülluftgebläse; beides wirkt sich in einem verhältnismäßig hohen Brennstoffverbrauch für die nutzbar abgegebene Kilowattstunde aus. Dazu kommt die für das wüstenartige chilenische Salpetergebiet charakteristische Staubplage, die eine starke Verschmutzung der Maschinen verursacht und dadurch besonders unangenehm wird, daß der Salpetergehalt des Staubes den in den Zylindern und Auspuffrohrleitungen sich ansetzenden Krusten von Verbrennungsrückständen (Ölkohle, Schmieröl und Staub) sehr unerwünschte Eigenschaften verleiht, wenn nicht für rechtzeitige Beseitigung dieser Krusten gesorgt wird. Dazu kommt die gegenüber normalen Verhältnissen verstärkte Abnutzung der Maschinen durch die Verstaubung der angesaugten Luft.

b) Kühlwasser. Sehr ungünstig sind auch die Kühlwasserverhältnisse, da das verfügbare Kühlwasser sehr knapp und außerdem durch salpeterhaltigen Staub stark verunreinigt ist. Das von den Dieselmotoren ablaufende Kühlwasser wird in Abwärmeverwertern weiter erhitzt und in Wärmeaustauschern mit Rohwasser zurückgekühlt, das zum Auslaugen des Salpetergesteins verwendet wird. So stellt sich eine Temperatur des Kühlwassers von 43—45° C vor den Maschinen und eine Maschinenraumtemperatur von 42—52° C je nach Jahres- und Tageszeit, gemessen auf den Bedienungsplattformen, ein, was die Bedienung der Anlage sehr erschwert, da beispielsweise allein schon das Berühren der Metallteile manchmal recht unangenehm ist.

¹ Dieselmotorenkraftwerke „Maria Elena“ und „Pedro de Valdivia“. Die Gesamtstromerzeugung der beiden gekuppelten Kraftwerke beträgt bei normalen Verhältnissen rund 200 000 000 kWh/Jahr. Bei einer Installationsleistung von rund 30 000 kW entspricht diese Leistung einem Belastungsfaktor von 76% und bei einer Höchstbelastung von 24 000 kW einer Benutzungsdauer der Höchstlast von 8350 h/Jahr. Diese Zahlen sind bisher von keinem anderen Kraftwerk übertroffen und werden höchstens von einigen Gasmaschinenkraftwerken in Eisenhüttenwerken annähernd erreicht.

c) Brennstoff. Um die Stromerzeugungskosten wegen des hohen Kraftverbrauches der umfangreichen Förder- und Aufbereitungsanlagen für Salpetergestein auf ein Mindestmaß zu senken, müssen besonders die Brennstoffkosten möglichst niedrig gehalten werden. Dieses Ziel wird durch die Verarbeitung möglichst billiger Brennstoffe, ferner durch gute Durchschnittsbelastung der im Betrieb gehaltenen Maschinen und durch weitgehende Abwärmeverwertung angestrebt. Der verwendete Brennstoff ist kalifornisches Kesselheizöl der Union Oil Co. of California, Los Angeles, das in Tankfahrzeugen angeliefert und in drei großen Tanks von je 3500 Tons Fassungsvermögen gespeichert wird. Das Treiböl hat etwa folgende Beschaffenheit:

Spezifisches Gewicht	0,955
Aschengehalt	0,6—0,15%
Wassergehalt	1,1%
Gehalt an verbrennlichen festen Verunreinigungen	0,8%
Gehalt an leichten Asphalten	6—8%
Gehalt an Schwefel	1,4—1,5%
Unterer Heizwert	9700 kcal/kg.

Um es in den Maschinen verarbeiten zu können, muß das Treiböl von der Tanktemperatur von 30—32° C auf etwa 70° C vorgewärmt und mit Kreiselseparatoren durch Ausschleudern möglichst gut gereinigt werden.

Das als Zündöl beim Anlassen und bei Teilbelastungen verwendete peruvianische Rohöl hat ein spezifisches Gewicht von 0,87 und einen unteren Heizwert von 10000 kcal/kg.

Betriebsergebnisse des Kraftwerkes „Maria Elena“.

α) 7 einfachwirkende Viertakt Dieselmotoren von je 1500 PS = 1000 kW Nettoleistung.

Die Maschinen laufen mit einer durchschnittlichen Belastung von rund 900 kW = 90% der Nennleistung und einer jährlichen Betriebszeit von rund 8000 h/Jahr = 91,7% der möglichen $24 \times 365 = 8760$ h/Jahr.

Eine am 11.—13. Dez. 1930 durchgeführte Messung des Wärmeverbrauches im normalen Betriebe hatte das Ergebnis der Zahlentafel 4, das gut mit den Ergebnissen der Abnahmeversuche übereinstimmt und ohne Abwärmeverwertung zu verstehen ist.

β) Ein doppeltwirkender Zweitaktmotor von 5600 PS Bruttoleistung, entsprechend 3500 kW Nettoleistung des Generators nach Abzug des Arbeitsverbrauches des Turbospülgebläses.

Der Verlauf des im normalen Betriebe der Salpeterwerke durchgeführten Garantiebetriebes dieser Maschine geht aus der Zahlentafel 5 hervor.

Zahlentafel 4.

Dieselmotor Nr.	Nutzbelastung	Phasenverschiebung	Wärmeverbrauch für 1 nutzbar abgegebene kWh
	kW	$\cos \varphi$	kcal/kWh
I	910	0,90	2 835
II	842,5	0,92	2 740
III	867	0,905	2 945
IV	831	0,915	2 847
V	851	0,90	2 893
VI	886	0,90	2 815
VII		nicht gemessen	
Im Mittel	845,6	0,907	2 846

Verbrauch im Jahresdurchschnitt der Gesamtanlage etwa 2 777 kcal/kWh.

Zahlentafel 5. Kraftwerk „Maria Elena“, Coya Norte bei Tocopilla (Chile) der Anglo Chilean Consolidated Nitrate Co., New York. Verlauf des Garantiebetriebes¹ von 6000 Stunden eines doppeltwirkenden MAN-Zweitakt-Dieselmotors (Maschine Nr. VIII), Typ D7Z60/90 von 5600 PS_e bei $n = 164$ mit Turbospülgebläse und mit Luftenblasung des Brennstoffes: Kesselöl der Union Oil Co. of California.

Jahr und Monat	Be- triebs- tage im Monat	Mögliche Geleistete		Geleistete Mögliche in %	Leistung kWh nach Angabe des Maschinen- kWh-Meters	Mittlere Belastung ⁴	
		h min	h min			kW netto etwa	% der Nenn- leistung vor 3500 kW netto
1929:							
Juni	20	480	376 50	78,5	1 012 000	2690	75,75
Juli	31	744	557 30	75,0	1 615 200	2890	81,4
August	31	744	642 40	86,4	1 780 400	2850	80,3
September ² ...	28	672	607 15	90,4	1 732 100	2855	80,4
Oktober	31	744	607 45	81,6	1 717 500	2820	79,4
November	30	720	460 15	64,0	1 250 000	2715	76,4
Dezember	31	744	733 20	98,5	1 952 200	2662	75,0
1930:							
Januar	31	744	678 20	91,1	1 705 300	2550	71,75
Februar	28	672	606 15	90,3	1 544 400	2500	70,40
März	31	744	680 45	91,5	1 763 900	2570	73,40
April	4	96	61 05	63,6	146 300	2390	67,3
Zusammen bzw. im Mittel	—	7104	6000 —	84,5	16 219 300 ³	2700	76

Betriebsstunden im 1. Betriebsjahr 7. Juni 1929 bis 7. Juni 1930 7442 h = 85%
von $365 \times 24 = 8760$ h.

¹ Beginn 10. Juni 1929, beendet 4. April 1930.

² 2 Feiertage.

³ Angabe eines zweiten kWh/Meters 16189300 kWh, Meßfehler daher + 30000 kWh = + 0,185%.

⁴ Abhängig von den Schwankungen der Betriebsverhältnisse der Salpeterwerke.

Zahlentafel 5a. Kraftwerk „Pedro de Valdivia“ in Lautaro (Chile). Betriebsausweise der 5 doppeltwirkenden Zweitakt-Dieselmotoren I—V von je 3500 kW Nutzleistung in der Zeit vom 1. April bis 20. Dezember 1931.

Maschine Nr. und Tag der Inbetriebsetzung	Betriebsdauer		Leistung kWh	Mittlere Belastung	
	h	min		kw	% der Nennleistung
I ab 1. April 1931	4201	40	11 437 700	2652	75,7
II ab 22. Mai 1931	3544	40	9 279 020		
III ab 21. Mai 1931	3624	05	8 450 110		
IV ab 15. Juni 1931	3358	15	9 360 100		
V ab 4. Juli 1931	3081	50	8 708 600		
Insgesamt	17 810	30	47 235 530		

Der Wärmeverbrauch der Maschine Nr. VIII ohne Berücksichtigung der Abwärmeverwertung geht aus der Abb. 5 und aus der folgenden Gegenüberstellung der gewährleisteten und gemessenen Zahlenwerte hervor:

Wärmeverbrauch für 1 kWh

ohne den Arbeitsverbrauch des Spülgebläses

gewährleistet 2740 kcal/kW bei Vollast

gemessen bei verschiedenen Versuchen 2544—2672 kcal/kWh bei Dreiviertel- bis Vollast

einschließlich des Arbeitsverbrauches des Spülgebläses bei 1250 m Meereshöhe (rund 550 kW):

gewährleistet 3190 kcal/kWh bei Vollast,

gemessen . . . 2990—3025 kcal/kWh bei Dreiviertel- bis Vollast.

Bemerkenswert ist die durch Vergleiche festgestellte Tatsache, daß die Erzeugungskosten der aushilfsweise von dem ebenfalls mit demselben Kesselheizöl betriebenen Dampfturbinenkraftwerk „Chilex“ in Tocopilla bezogenen elektrischen Arbeit rund doppelt so hoch ausgekommen sind, wie die Erzeugungskosten für 1 kWh des Dieselmotorenkraftwerkes „Maria Elena“.

Abwärmeverwertung. Wegen der großen wirtschaftlichen Bedeutung der Brennstoffkosten ist die Abwärmeverwertungsanlage sehr sorgfältig durchgebildet. Die Betriebsergebnisse und eine Wärmebilanz sind in der Zahlentafel 6 zusammengestellt. Wie man sieht, wird die im Brennstoff enthaltene Wärme zu rund 30% zur Erzeugung nutzbarer elektrischer Arbeit und zu 47,7% in Form von heißem Wasser zu Fabrikationszwecken ausgenutzt und nur 22% gehen durch Strahlung und mit den Auspuffgasen verloren.

Die Versuche zur Feststellung der in der Zahlentafel 6 angegebenen Zahlenwerte wurden im normalen Dauerbetrieb ohne vorherige Reinigung der Kühlmäntel der Dieselmotoren und der Abwärmeverwerter gemacht, die demnach die unvermeidliche betriebsmäßige Verschmutzung durch Verunreinigungen der abgas- und wasserberührten Kühlflächen aufwiesen. Der sehr fühlbare Einfluß dieser Verschmutzung geht aus

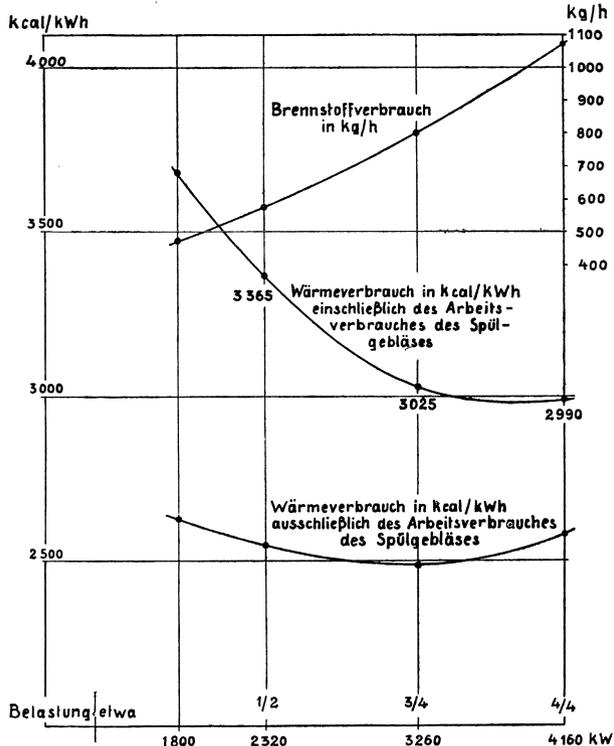


Abb. 5. Dieselmotoren-Kraftwerk „Maria Elena“ in Coya Norte (Chile) der Anglo-Chilean Consolidated Nitrate Corporation New York. Wärmeverbrauch des doppeltwirkenden Zweitakt-dieselmotors Nr. VIII von 5600 PS_e bei 164 Umdrehungen/min.

einer Vergleichsmessung hervor, die bei einer Eintrittstemperatur der Auspuffgase des doppeltwirkenden Zweitakt-Dieselmotors von 277°C bei 3970 kW Belastung, gemessen vor den 2 Abwärmeverwertern dieser Maschine eine Austrittstemperatur von 172°C bei einem ungereinigten und von 152°C bei einem gereinigten Abwärmeverwerter ergab. Der nutzbar gemachte Temperaturunterschied der Auspuffgase vor und hinter den Abwärmeverwertern betrug also $277-172 = 105^{\circ}\text{C}$ bei einem ungereinigten bzw. $277-152 = 125^{\circ}\text{C}$ bei einem gereinigten Abwärmeverwerter, was einer Verbesserung der Abwärmeverwertung durch die Reinigung der Heizflächen um rund 20% entspricht.

Zahlentafel 6. Abwärmeverwertungsanlage des Kraftwerkes „Maria Elena“ Coya Norte bei Tocopilla (Chile).

Bruttolleistung des Kraftwerkes „Maria Elena“ . . .	$7 \times 900 = 6300 \text{ kW}$	$1 \times 3500 = 3500 \text{ kW}$
	zusammen	9800 kW
Spülgebläseverbrauch		550 kW
Nettolleistung		9250 kW

Brennstoffmeßversuch zur Aufstellung einer Wärmebilanz:

Brennstoffverbrauch etwa 2625 kg/h bei 9500 kW Gesamtbruttobelastung und 8950 kW Nettobelastung

Heizwert des Brennstoffes rund 9700 kcal/kg

Gesamtwärmeverbrauch der Gesamtanlage: brutto 2679 kcal/kWh
 netto 2844 „

Mittlerer thermischer Wirkungsgrad ohne Abwärmeverwertung

$$\text{brutto } \frac{860}{2679} = 0,321 \quad 32,1\% \quad \text{netto } \frac{860}{2854} = 0,302 \quad 30,2\%$$

Maschinenraumtemperatur	42—52° C
Umlaufende Kühlwassermenge	900 t/h
Erwärmung des Kühlwassers in den Maschinen von	43,5 auf 54° C
Wärmeverlust in den Leitungen durch Strahlung	0,5° C
Erwärmung in den Abwärmeverwertern von	54 auf 57° C
Rückkühlung des Kühlwassers in den Wärmeaustauschern auf	43,5° C
Wärmeaufnahmen in den Maschinen	$900000 \times (54,5 - 43,5) = 9900000 \text{ kcal/h}$
Wärmeverlust in den Leitungen	$900000 \times (54,5 - 54) = 450000 \text{ „}$
Wärmeaufnahme in den Abwärmeverwertern	$900000 \times (57 - 54) = 2700000 \text{ „}$
Gesamtwärmegewinn	9900000 kcal/h
	2700000 „
	12600000 kcal/h
	— 450000 kcal/h
	12150000 kcal/h

Wärmebilanz:	kcal/h	%
a) Gesamtbelastung brutto	$9500 \times 860 = 8170000$	32,1
Nutzbare Abwärmeverwertung	12150000	47,7
Wärmeverluste der Abwärmeverwertungsanlage durch Strahlung	450000	1,8
Wärmeverluste der Maschinen durch Strahlung (etwa 8,6%) und mit den Auspuffgasen (etwa 9,8%)	4680000	18,4
Gesamtwärmemenge	25450000	100
davon nutzbar gemacht	20320000	79,8
verloren	5130000	20,2
b) Nutzleistung netto	$8950 \times 860 = 7677000$	30,2
Nutzbare Abwärmeverwertung	12150000	47,7
Wärmeverluste der Abwärmeverwertungsanlage durch Strahlung	450000	1,8
Wärmeverluste durch den Arbeitsverbrauch des Spülgebläses	493000	1,9
Wärmeverluste der Maschinen durch Strahlung und mit den Auspuffgasen wie oben	4680000	18,4
	25450000	100

	kcal/h	%
Von der stündlich verbrauchten Gesamtwärme- menge von	25 450 000	100
sind netto zur Erzeugung nutzbarer elektrischer Arbeit und zu Heizungszwecken in Form von heißem Wasser nutzbar gemacht	19 827 000	77,9
Durch Strahlung und mit den Auspuffgasen verloren	5 623 000	22,1

5. Die Wirtschaftlichkeit der Großdieselmotoren.

a) Anlagekosten¹.

Diese betragen überschlägig gerechnet bei kompressorlosen Einheiten des Typs Hennigsdorf (600 mm Zylinderdurchmesser,

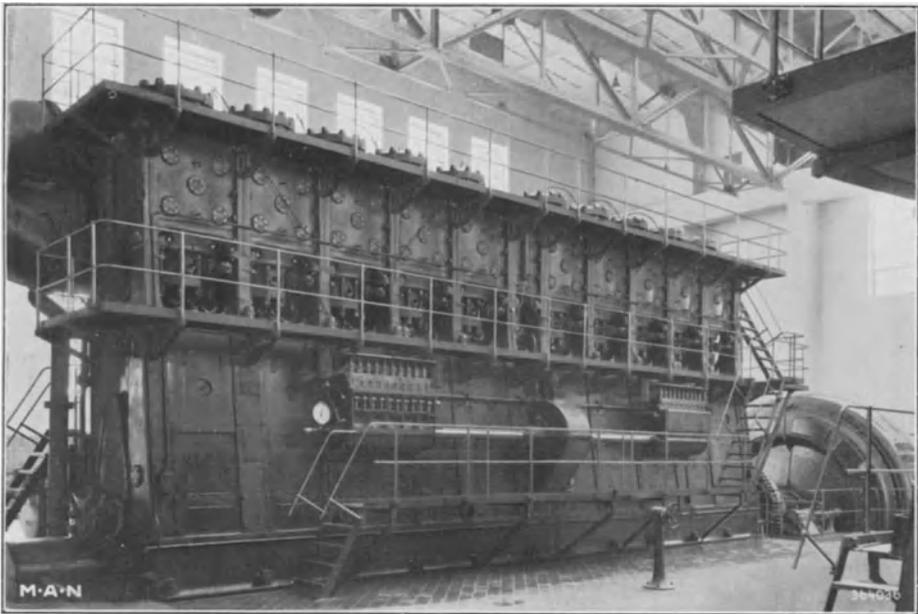


Abb. 6. Dieselmotoren-Spitzenkraftwerk Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitätswerks A.-G. Berlin.

900 mm Kolbenhub) bei $n = 215$ für reinen Spitzenbetrieb (kurzfristige Benutzungsdauer) etwa 200—190 RM. für 1 installiertes kW, bezogen auf eine Gesamtleistung von 5000—15000 kW, bei $n = 187$ für Saisonreserve- und Dauerbetrieb (höhere Benutzungsdauer)

¹ Infolge der durch die Wirtschaftskrise im Herbst 1931 verursachten Preis-senkungen aller industriellen Erzeugnisse und vieler Rohstoffe sowie wegen der Senkung der Löhne, Frachtraten usw. ist eine Ermäßigung der Anlagekosten eingetreten, die im vorliegenden Falle bei vollständigen Dieselmotorenanlagen schätzungsweise mit etwa 20% zu veranschlagen ist. Wie die weitere Preisgestaltung in der Zukunft verlaufen wird, ist vorläufig nicht zu übersehen.

bzw. mit Herabsetzung der höchsten Dauerbelastung auf etwa 80% der für reinen Spitzenbetrieb bemessenen Nennleistung sind die Anlagekosten etwa 230—220 RM. für 1 installiertes kW. Bei Maschineneinheiten mit gleichem Kolbenhub (900 mm) und gleicher Drehzahl (215), aber mit vergrößertem Zylinderdurchmesser sinken die Anlagekosten größerer kompressorloser Einheiten, beispielsweise von je 15300 kW bei einer Gesamtleistung der Spitzenkraftwerke von 30000 bis 92000 kW auf etwa 150—136 RM. für 1 installiertes kW; bei $n = 187$, wie oben, erhöhen sich diese Anlagekosten auf 180—165 RM. für ein installiertes kW, alle Werte gerechnet einschließlich des maschinellen, elektrischen und baulichen Teils, ohne Grundstück und ohne Schaltanlage.

Bei Ausstattung der Maschinen für Drucklufteinblasung des Brennstoffes (Steinkohlenteeröl) und mit Zündölpumpen tritt eine Erhöhung dieser Anlagekosten um etwa $7\frac{1}{2}$ —8% ein, teilweise infolge des vermehrten Bauaufwandes für die Luftverdichter, Zündölpumpen, Steuerung und Rohrleitungen und teilweise durch die Minderung der Nutzleistung infolge des Arbeitsverbrauches der Luftverdichter.

Großdieselmotoren für Teerölbetrieb kosten demnach:

bei mittelgroßen Einheiten (Typ Hennigsdorf) für Spitzenbetrieb	etwa 215—205 RM.
für Dauerbetrieb	etwa 250—240 RM.
für 1 installiertes kW wie oben;	
bei großen Einheiten je nach der Leistung	
für Spitzenbetrieb	etwa 160—146 RM.
für Dauerbetrieb	etwa 190—175 RM.
für 1 installiertes kW wie oben.	

Demgegenüber kosten neuzeitliche Dampfkraftwerke im Mittel etwa 260—230 RM. für 1 installiertes kW und nur ausnahmsweise weniger¹.

Großdieselmotorenanlagen sind also bei Teerölbetrieb etwas billiger bzw. annähernd gleich teuer, bei Gasölbetrieb erheblich billiger als Dampfkraftanlagen zu erstellen.

In technischer Beziehung sind die Großdieselmotoren den neuzeitlichen Dampfturbogeneratoren an Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit gleichwertig; an Einfachheit der Bedienung, Unveränderlichkeit des Wärmeverbrauches für die Leistungseinheit und an Raumbedarf sind die Dieselmotoren den Dampfmaschinen nebst Zubehör meist überlegen.

¹ Beispiele:	kW	RM./kW
Isartalkraftwerk der Städt. E.-W. München (bei Verwendung der Umfassungswände des alten Kesselhauses für den Neubau)	66000	205.—
Westwerk der Bewag Berlin	228000	234.—
Kraftwerk Plessa des Elektrizitätsverbandes Gröba.	34000	250.—
Städtisches Elektrizitätswerk Utrecht	30000	255.—
Kraftwerk Schulau des E.-W. Unterelbe Altona	45000	260.—

b) Brennstoffkosten.

Bei Dauerbetrieb mit hoher Ausnutzung spielen die Brennstoffkosten die Hauptrolle, während den Kapitalkosten eine weniger große Bedeutung zukommt. Rechnet man damit, daß neuzeitliche hochwertige Dampfturbogeneratorenanlagen bei günstigen Kraftmittelverhältnissen (hoher Dampfdruck, hohe Überhitzung und gute Luftleere) einen Wärmeverbrauch von etwa im Mittel 4200 kcal/kW bei guter Durchschnittsbelastung erreichen, denen ein Wärmeverbrauch von

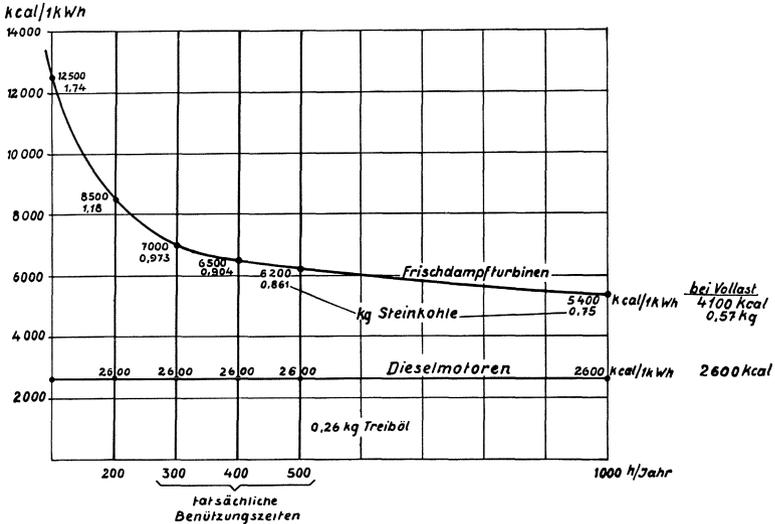


Abb. 7. Wärmeverbrauch von Dieselmotoren- und Dampfspitzenkraftwerken für 1 Spitzen-kWh. etwa 2500—2600 kcal/kWh bei kompressorlosen Großdieselmotoren mit Gasölbetrieb gegenübersteht, so errechnet sich das Preisverhältnis der Brennstoffe beispielsweise aus der Gleichung:

$$\frac{4200}{7200} \times \text{Kohlenpreis/kg} = \frac{2600}{10000} \times \text{Treibölpreis/kg,}$$

für die gleichhohen Brennstoffkosten von Dampfeinheiten und Dieselmotoren; dabei ist hochwertige Steinkohle von 7200 kcal/kg als Brennstoff der Dampfanlage und Treiböl von 10000 kcal/kg als Brennstoff der Dieselmotoranlage angenommen. Das Preisverhältnis

$$\frac{\text{Kohlenpreis}}{\text{Treibölpreis}} = \frac{2600 \times 7200}{4200 \times 10000} = \frac{1}{2,24}$$

gerechnet einschließlich der Frachtkosten zum Brennstoffspeicher des Kraftwerkes, ergibt hiernach gleichhohe Brennstoffkosten, d. h. gleichgroße Wirtschaftlichkeit des reinen Kraftwerksbetriebes bei hoher Ausnutzung ohne Abwärmeverwertung. Demnach darf 1 t Treiböl unter diesen Umständen 2,24 mal teurer sein als die

gleiche Gewichtsmenge hochwertiger Steinkohle; bei geringwertiger Kohle, beispielsweise Rohbraunkohle von 1800 kcal/kg beträgt dies Preisverhältnis

$$\frac{2600 \times 1800}{4200 \times 10000} = \frac{1}{9},$$

wobei gleichhohe Wirtschaftlichkeit des Dampf- und Dieselmotorenbetriebes erzielt wird.

Führt man dieselbe Rechnung für Steinkohlenteeröl mit Lufteinblasung und Zündölbetrieb durch, so stellt sich das äquivalente Preisverhältnis bei Anrechnung von 7% für den Arbeitsverbrauch des Luftverdichters und 15 g/kWh Zündölverbrauch wie:

$$\frac{\text{Steinkohlenpreis}}{\text{Steinkohlenteerölpreis}} = \frac{(2500 \times 1,07 + 150) \times 7200}{4200 \times 8900} = \frac{1}{1,86},$$

d. h. 1 Tonne Steinkohlenteeröl darf bei einem Wärmeverbrauch der Dieselmotoren von 2800 kcal/kWh nur 1,86 mal teurer sein als eine Tonne Steinkohlen von 7200 kcal/kg.

Das für diesen Fall errechnete äquivalente Preisverhältnis:

$$\frac{\text{Steinkohlenteeröl}}{\text{Gasöl}} = \frac{1,86}{2,24} = \frac{1}{1,2},$$

bezogen auf den Heizwert allein, verschiebt sich infolge der oben erwähnten technischen Nachteile des Steinkohlenteeröles noch um etwa 25—30% zuungunsten dieses Brennstoffes, d. h. auf

$$\frac{1 \times 0,75 \text{ bis } 1 \times 0,7}{1,2} = \frac{1}{1,6} \text{ bis } \frac{1}{1,72}.$$

Demnach darf eine Tonne Steinkohlenteeröl nur soviel kosten wie 0,625—0,58 Tonnen Gasöl einschließlich Zoll und Fracht, wenn Gleichwertigkeit beider Brennstoffe erzielt werden soll. Ein wirklicher Anreiz zum Betrieb von Großdieselmotoren mit Steinkohlenteeröl statt mit Gasöl stellt sich erfahrungsgemäß erst bei einem Preisverhältnis

$$\frac{\text{Steinkohlenteeröl}}{\text{Gasöl}} = \frac{1}{2}$$

ein, d. h. wenn das Steinkohlenteeröl nur etwa halb soviel kostet, wie die gleiche Gewichtsmenge Gasöl, also je nach der Frachtlage etwa rund 60—70 RM. für 1000 kg.

Ein wirtschaftlicher Wettbewerb mit hochwertigen Dampfkraftanlagen im Dauerbetrieb zum Decken der Grundlast ist mit Dieselmotoren auch bei diesen Teerölpreisen nicht möglich, weil die deutschen Kohlenpreise tatsächlich je nach der Frachtlage niedriger sind als

$$\frac{\text{RM. 60.—}}{1,86} = \text{RM. 32.—} \text{ bis } \frac{\text{RM. 70.—}}{1,86} = \text{RM. 37.60}$$

für 1000 kg Steinkohle frei Bunker des Kesselhauses, wie sich aus dieser Berechnung als Grenzwerte ergeben.

Tatsächlich ist das annähernd berechnete Preisverhältnis

$$\frac{\text{Steinkohle}}{\text{Gasöl}} = \frac{1}{4,55} \text{ bzw. } \frac{\text{Steinkohle}}{\text{Teeröl}} = \frac{1}{2,84} \text{ und } \frac{\text{Teeröl}}{\text{Gasöl}} = \frac{1}{1,61}$$

als Mittel der oben unter 2a und 2d angegebenen Preise in 9 deutschen Wirtschaftszentren (Zahlen-tafel 7).

Um den Sachverhalt auch für Dampfkraftwerke mit besserem und schlechterem Wärmeverbrauch für 1 kWh klarzulegen, sind ganz allgemein zum Vergleich noch auf dem Schaubild 8 die äquivalenten und die tatsächlichen Preisverhältnisse in Deutschland zwischen festen und flüssigen Brennstoffen für Dampfkraftmaschinen und Großdieselmotoren zum Antrieb elektrischer Generatoren für die Marktlage Frühjahr 1931 dargestellt. Als Abszissen sind die Wärmeverbrauchs-zahlen von Dampfkraftmaschinen in kcal/kWh im Jahresdurchschnitt zwischen 3600 für hochwertige und 5600 für ältere Anlagen bzw. 4200—5000 für Kraftwerke mittlerer Wirtschaftlichkeit aufgetragen. In Vergleich gezogen sind kompressorlose Großdieselmotoren für Gasölbetrieb mit einem Wärmeverbrauch von 2600 kcal/kWh und solche mit Lufteinblasung und Zündölbetrieb für Steinkohlenteeröl mit einem Wärmeverbrauch von 2800 kcal/kWh. Als feste Brennstoffe sind Steinkohle von 7200 kcal/kg mit dem Einheitspreis der Gewichtseinheit = 100 und Rohbraunkohle von 1800 kcal/kg mit dem Einheitspreis der Gewichtseinheit = 25 einerseits und Gasöl von 10000 kcal/kg bzw. Steinkohlenteeröl von 8900 kcal/kg andererseits als Ordinaten eingezeichnet. Der

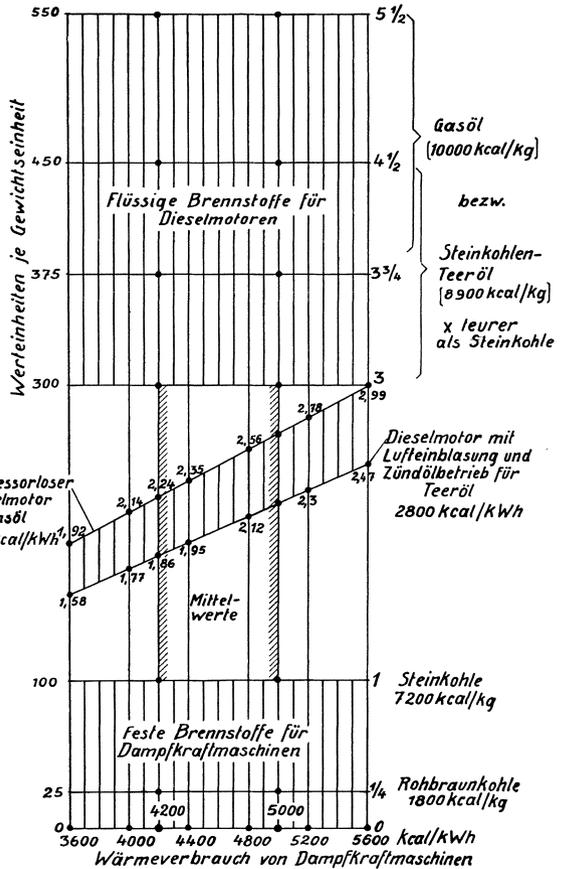


Abb. 8. Die äquivalenten und die tatsächlichen Preisverhältnisse zwischen den festen und flüssigen Brennstoffen in Deutschland. Marktlage Frühjahr 1931.

Zahrentafel 7. Preisverhältnis der Steinkohle, des Gasöls und des Steinkohlenteeröls in verschiedenen Wirtschaftszentren Deutschlands.

Marktlage: Frühjahr 1931.

Steinkohle: Ruhr-Fettnuß¹ 2 und 3 bzw. örtlich wirtschaftlichste Steinkohlen aus Schlesien, Sachsen und England nach Preis, Frachtlage und Heizwert auf Ruhr-Fettnuß von 7 200 kcl/kg umgerechnet².

Gasöl von von 10 000 kcal/kg².

Steinkohlenteeröl von 8900 kcal/kg.

Verbrauchs- ort	Preisverhältnis in RM je 1000 kg					
	Steinkohle		Steinkohle		Steinkohlenteeröl	
	Gasöl		Steinkohlenteeröl		Gasöl	
Hamburg . .	25,00	1	25,00	1	77,00	1
	$\frac{118,00}{25,00}$	$\frac{1}{4,72}$	$\frac{77,00}{25,00}$	$\frac{1}{3,08}$	$\frac{118,00}{77,00}$	$\frac{1}{1,53}$
Hannover . .	28,40	1	28,40	1	75,00	1
	$\frac{126,30}{28,40}$	$\frac{1}{4,45}$	$\frac{75,00}{28,40}$	$\frac{1}{2,64}$	$\frac{126,30}{75,00}$	$\frac{1}{1,685}$
Berlin . . .	33,10	1	33,10	1	78,50	1
	$\frac{129,80}{33,10}$	$\frac{1}{3,92}$	$\frac{78,50}{33,10}$	$\frac{1}{2,375}$	$\frac{129,80}{78,50}$	$\frac{1}{1,653}$
Leipzig . . .	32,70	1	32,70	1	81,00	1
	$\frac{132,40}{32,70}$	$\frac{1}{4,05}$	$\frac{81,00}{32,70}$	$\frac{1}{2,48}$	$\frac{132,40}{81,00}$	$\frac{1}{1,635}$
Essen	20,40	1	20,40	1	72,00	1
	$\frac{132,20}{20,40}$	$\frac{1}{6,48}$	$\frac{72,00}{20,40}$	$\frac{1}{3,53}$	$\frac{132,20}{72,00}$	$\frac{1}{1,84}$
Frankfurt a. M. . . .	29,10	1	29,10	1	75,80	1
	$\frac{136,30}{29,10}$	$\frac{1}{4,68}$	$\frac{75,80}{29,10}$	$\frac{1}{2,605}$	$\frac{136,30}{75,80}$	$\frac{1}{1,80}$
Stuttgart . .	32,60	1	32,60	1	97,50	1
	$\frac{139,40}{32,60}$	$\frac{1}{4,27}$	$\frac{97,50}{32,60}$	$\frac{1}{2,99}$	$\frac{139,40}{97,50}$	$\frac{1}{1,43}$
Augsburg . .	33,50	1	33,50	1	97,50	1
	$\frac{140,50}{33,50}$	$\frac{1}{4,18}$	$\frac{97,50}{33,50}$	$\frac{1}{2,915}$	$\frac{140,50}{97,50}$	$\frac{1}{1,44}$
München . .	33,60	1	33,60	1	97,50	1
	$\frac{140,80}{33,60}$	$\frac{1}{4,18}$	$\frac{97,50}{33,60}$	$\frac{1}{2,905}$	$\frac{140,80}{97,50}$	$\frac{1}{1,45}$
Mittelwert		$\frac{1}{4,55}$		$\frac{1}{2,84}$		$\frac{1}{1,61}$
Günstigster Wert: Berlin		$\frac{1}{3,92}$	Leipzig	$\frac{1}{2,48}$	Stuttgart	$\frac{1}{1,43}$
Ungünstigster Wert: Essen		$\frac{1}{6,48}$	Essen	$\frac{1}{3,53}$	Essen	$\frac{1}{1,84}$

mittlere Diagrammstreifen legt die Grenzwerte fest, um wievielfach Gasöl (oben) und Steinkohlenteeröl (unten) am Verbrauchsort teurer sein dürfen als die gleichen Gewichtsmengen der festen Brennstoffe, wenn gleichhohe Brennstoffkosten für 1 kWh im Dauerbetrieb, d. h. ohne besondere Zuschläge für Anheizen und Abbrand der Dampfkessel

¹ Listenpreis des Kohlensyndikats für 1000 kg plus D. R.-Fracht von Oberhausen zum Bestimmungsort.

² Konjunkturschwankungen infolge von Überproduktion, Kursschwankungen (£) usw. nicht berücksichtigt.

erzielt werden. Der obere Diagrammstreifen zeigt die in Deutschland je nach der Frachtlage tatsächlich vorliegenden Preisverhältnisse der flüssigen Brennstoffe im Vergleich mit den festen Brennstoffen am Verbrauchsort. Das Schaubild beweist, daß bei den deutschen Brennstoffpreisverhältnissen die Großdieselmotoren trotz ihrer überlegenen Wärmewirtschaftlichkeit immer höhere Brennstoffkosten für 1 kWh aufweisen, als die durch die niedrigen Preise der festen Brennstoffe begünstigten Dampfkraftmaschinen. Dieser Nachteil wird zum Teil durch die niedrigeren Kapitalkosten der großen kompressorlosen Dieselmotoren für Gasölbetrieb ausgeglichen, meist aber nicht so weitgehend, daß ein wirtschaftlicher Wettbewerb im Dauerbetrieb, d. h. zur Deckung der Grundlast mit hoher Benutzungsdauer mit Großdieselmotoren möglich wird. Für diesen Zweck werden die Dampfkraftwerke im allgemeinen ihre wirtschaftliche Überlegenheit behaupten.

Wie bereits oben bemerkt, sind infolge der Weltwirtschaftskrise einige Verschiebungen der Preisverhältnisse zwischen den festen und flüssigen Brennstoffen eingetreten. Rechnet man die obigen, wohl als normal anzusehenden Werte auf die gesenkten Krisenwerte des Frühjahrs 1932 sinngemäß um, so ergeben sich die folgenden Verschiebungen:

1. Preisverhältnis $\frac{\text{Steinkohle}}{\text{Gasöl}}$. Mittelwert für die angegebenen Verbrauchsorte von $\frac{1}{4,55}$ auf $\frac{1}{3,9}$, d. h. 1000 kg Gasöl kosten nur noch 3,9 mal soviel als 1000 kg Steinkohle, was einer Verbesserung des Preisverhältnisses um etwa 17% zugunsten der Dieselmotoren entspricht. Der günstigste Wert verschiebt sich von $\frac{1}{3,92}$ (Berlin) auf $\frac{1}{3,43}$ (München) und der ungünstigste Wert von $\frac{1}{6,48}$ (Essen) auf $\frac{1}{6,12}$ (Essen), was prozentualen Verschiebungen von etwa 14 bzw. 6% entspricht.

2. Preisverhältnis $\frac{\text{Steinkohle}}{\text{Steinkohlenteeröl}}$. Mittelwert wie oben verschoben von $\frac{1}{2,84}$ auf $\frac{1}{2,65}$; der günstigste Wert $\frac{1}{2,48}$ (Leipzig) bleibt unverändert und gilt für München; der ungünstigste Wert verschiebt sich von $\frac{1}{3,53}$ (Essen) auf $\frac{1}{3,26}$ und gilt ebenfalls für Essen. Die prozentualen Verschiebungen betragen etwa 7 bzw. 0 bzw. 8% gegenüber dem Frühjahr 1931.

3. Preisverhältnis $\frac{\text{Steinkohlenteeröl}}{\text{Gasöl}}$. Der Mittelwert für das Frühjahr 1932 verschiebt sich gegenüber dem des Frühjahres 1931 von $\frac{1}{1,61}$ auf $\frac{1}{1,46}$; der günstigste Wert von $\frac{1}{1,43}$ (Stuttgart) auf $\frac{1}{1,26}$ (Hamburg) und der ungünstigste Wert von $\frac{1}{1,84}$ (Essen) auf $\frac{1}{1,72}$ (ebenfalls Essen), was prozentualen Verschiebungen von etwa 12 bzw. 13,5 bzw. 7% entspricht. Aus diesen — voraussichtlich nur vorübergehenden — Veränderungen der Preisverhältnisse zwischen den festen und flüssigen Brennstoffen, bezogen auf die angegebenen Verbrauchsorte, ergibt sich die Schlußfolgerung, daß die Dieselmotoren jetzt etwas günstiger abschneiden als die Dampfkraftanlagen; am Gesamtergebnis der weiter unten angestellten Betrachtungen ändert sich aber hierdurch nichts.

Zahlentafel 8. Steinkohlen- und Wärme-Verbrauch für 1 kWh bei Dampfkraftwerken.

Name des Werkes	Betriebsjahr	kg Steinkohle kWh	kcal/kWh
Bewag, Gesamtanlage	1926	—	6 482
	1927	—	5 695
	1928	—	5 068
	1929	—	4 868
	1930	—	4 704
Bewag, Westwerk bei Vollast		—	3 820
Städt. E.-W. München, Isartalkraftwerk bei Vollast		—	4 100
Städt. E.-W. Breslau	1928	1,17	—
	1929	1,10	—
Städt. E.-W. Frankfurt a. M.	1928	0,92	—
	1929	0,88	—
Städt. E.-W. Stuttgart	1929	0,767	5 415
Städt. E.-W. Haarlem-Amsterdam ..	1927	0,774	5 800
	1928	0,8	6 000
aufgeteilt in:			
Grundlastwerk „Noord“	1927	0,757	5 680
	1928	0,88	5 850
Spitzenlastwerk „Oost“	1927	1,485	11 150
	1928	1,58	11 850
Städt. E.-W. Utrecht	1927	0,709	5 400
	1928	0,661	4 900
aufgeteilt in:			
Grundlastwerk „Merwedekanal“	1927	—	4 910
	1928	—	4 680
Spitzenlastwerk „Nicolaas Beetsstraat“	1927	—	7 075 ¹
	1928	—	10 675 ²

Genau umgekehrt liegt der Fall bei der Erzeugung der Spitzenlast, wofür die Großdieselmotoren wirtschaftlich allen anderen Betriebsmitteln überlegen sind und außerdem noch besondere betriebliche Vorteile technischer Art bieten.

Auch auf dem Weltmarkt liegt das nicht durch Einfuhrzölle und dergleichen beeinflusste Preisverhältnis zwischen festen und flüssigen Brennstoffen für Dampfkraft- und Dieselmotorenanlagen meist über 1 zu 3, d. h. ungünstiger bezüglich der Brennstoffkosten für die Leistungseinheiten als der Dieselmotor durch seine bessere Brennstoffausnutzung gegenüber hochwertigen Dampfkraftanlagen wirtschaftlich ausgleichen kann, wenn es nur auf die Brennstoffkosten allein ankommt. Trotzdem sind aber über 60% der im Bau befindlichen Welttonnage Motorschiffe, darunter vor allem die rein auf äußerste Wirtschaftlichkeit berechneten schnellen Frachtmotorschiffe, die heute den Seefrachtdienst auf weiten

¹ Bei einer ungewöhnlich großen Stromerzeugung des Spitzenkraftwerkes von 22,1% der Gesamtstromerzeugung.

² Bei einer Stromerzeugung des Spitzenkraftwerkes von 5,45% der Gesamtstromerzeugung. (Beachtenswerte Zunahme des Wärmeverbrauchs infolge der verminderten Ausnutzung des Spitzenkraftwerkes mit Dampfbetrieb.)

Zahlentafel 9. Steinkohlen- und Wärmeverbrauch für 1 kWh bei neuen englischen Dampfkraftwerken¹. Betriebsjahr 1929/30 (bis 31. März 1930).

Kraftwerk	Stromerzeugung Millionen kWh	Kohlenver- brauch kg/kWh	Wärmever- brauch kcal/kWh
Kearsley (Lancs)	64,3	1930/31 0,535	3550
North Tees, Newcastle	286,1	0,531	3525
Barton, Manchester	391,6	0,58	3760
Ferrybridge	128,3	0,60	3885
Deptford-West, London ..	137,2	0,62	4035
Lister Drive 3, Liverpool ..	245,4	0,63	3880
Barking, London	474,9	0,67	4230
Portishead, Bristol	59,5	0,68	3900
Spondon	128,9	0,69	4720
Hams Hall, Birmingham ..	40,4	0,71	4060
Deptford-Ost, London ...	251,4	0,725	4330
Brimsdown B	131,8	0,725	4460
		0,765	4750

Fuel Economist, Dezember 1930, S. 726.

Strecken beherrschen. Die Dieselmotoren müssen demnach doch besondere betriebliche Vorteile gegenüber den Dampfanlagen besitzen, die ihre bevorzugte Anwendung rechtfertigen, auch wenn die Brennstoffkosten allein nicht niedriger, sondern sogar höher ausfallen als bei Kohlenbetrieb von Dampfanlagen, vor allem die vorbildliche Einfachheit und Betriebssicherheit. Das gilt in erster Linie für den Schiffsbetrieb, in manchen Fällen bestimmt aber auch für Landanlagen, bei denen man grundsätzlich meist nur die rechnerisch ermittelten Betriebskosten allein in Erwägung zieht und alle anderen Gesichtspunkte betrieblicher Art unbeachtet läßt.

Liegen z. B. ungünstige Wasserverhältnisse vor, die den Dampfkessel- und Kondensationsbetrieb beeinträchtigen, z. B. in den Tropen, so erhöht sich der Wärmeverbrauch der Dampfanlage für die Leistungseinheit; dasselbe wird durch ungünstige Bedienungsverhältnisse, d. h. durch unzuverlässige Belegschaft verursacht, da der Feuerungsbetrieb der Dampfkessel in hohem Maße von der Sorgfalt der Bedienung abhängt. Handelt es sich beim Vergleich um Dampfkraftmaschinen mit kurzfristigem Betrieb, wobei die Anheiz- und Abbrandverluste meist mehr ausmachen als der eigentliche Nutzverbrauch an Wärme, so liegen die Betriebsverhältnisse offenbar günstiger für den Dieselmotor als für die Dampfkraftanlage.

Ungünstige Verkehrsverhältnisse, z. B. im Gebirge, belasten ferner den Dampfkraftwerksbetrieb erheblich höher durch die Anfuhr der

¹ Durchschnittsverbrauch 1930 von 559 englischen Kraftwerken 0,905 kg/kWh; Durchschnittsverbrauch von den 12 besten Kraftwerken 0,68 kg/kWh Steinkohle, entsprechend einem thermischen Wirkungsgrad von rund 20%. Engineering 24. Juli 1931 S. 110.

größeren Kohlenmengen und die Schlackenabfuhr als den Dieselmotorenbetrieb durch die Anfuhr des Treiböles. In diesen Fällen ist der Dieselmotorenbetrieb dem Dampfbetrieb wirtschaftlich überlegen.

Auch durch die mehr oder weniger vollkommene Verwertung der Abwärme des Kraftmaschinenbetriebes in Gestalt von Dampf, Warmwasser und Warmluft kann je nach den örtlichen Verhältnissen eine Verschiebung der wirtschaftlichen Grenze zwischen dem Dampf- und dem Dieselmotorenbetriebe verursacht werden, wie der Vollständigkeit halber erwähnt sei, ohne daß auf diesen wichtigen Gesichtspunkt hier näher eingegangen werden soll.

6. Der Dieselmotor als Spitzen- und Reservemaschine¹.

Beim Spitzenbetrieb der Elektrizitätswerke liegen die Verhältnisse ganz anders als beim Dauerbetrieb.

In technischer Beziehung weisen die Dieselmotoren den besonderen Vorteil auf, daß sie jederzeit ohne Anwärmen oder sonstige Vorbereitungen betriebsbereit und in wenigen Minuten voll belastbar sind, ohne im betriebsfertigen Ruhezustand Brennstoff zu verbrauchen. Auch können sie im Bedarfsfalle jederzeit Primärstrom erzeugen, da sie von den Grundlastwerken unabhängig sind — ein großer Vorzug gegenüber den sekundären Spitzenmaschinenanlagen, wie Ruths Dampfspeichern, Wasserspeichern für Kraftwasser oder Speicherbatterien für Gleichstrom,

¹ Eine bemerkenswerte Äußerung zu dieser Frage veröffentlicht die Elektrotechn. Z. 1931 S. 1091 und 1117 mit dem Aufsatz: Die Wahl der nach Art und Größe zweckmäßigsten Spitzenkraftquelle von Dipl.-Ing. E. M. v. Livonius und Dipl.-Ing. H. Wolle, Charlottenburg (Mitteilungen aus dem Lehrfach für Elektrizitätswirtschaft an der Technischen Hochschule Berlin).

Wenn auch „das Spitzenproblem infolge des Darniederliegens der deutschen Wirtschaft an Aktualität eingebüßt hat“, wie die Verfasser schreiben, so sind doch die günstigen Ergebnisse der Betriebskostenberechnungen eines Dieselspitzenkraftwerkes von 100 000 kW, bezogen auf die Betriebsverhältnisse der BEWAG. Berlin bemerkenswert.

Trotz verhältnismäßig ungünstig angenommener Unterlagen bez. Anlagekosten (190 R.M./kW), Kapitalkosten (6,5% Abschreibung, 8% Zinsen, 4% Betriebsführungskosten, zusammen 18,5%), Brennstoffverbrauch (310—380 g/kWh) und Brennstoffkosten (R.M. 15.—/100 kg Gasöl) schneidet das Dieselmotorenwerk sehr günstig ab. Dabei ist die Benutzungsdauer mit 1500 h/Jahr sehr hoch und das Brennstoff-Preisverhältnis:

$$\frac{\text{Steinkohle von 7000 kcal/kg}}{\text{Gasöl von 10 000 kcal/kg}} = \frac{21}{150} = \frac{1}{7,15}$$

recht unvorteilhaft für den Dieselmotorenbetrieb gerechnet.

Als günstigstes Ausbauverhältnis $\frac{\text{Dampf-Grundlastwerk}}{\text{Diesel-Spitzenkraftwerk}}$ stellt sich der Wert $\frac{100\,000\text{ kW}}{40\,000\text{—}50\,000\text{ kW}}$ heraus, d. h. das Diesel-Spitzenkraftwerk müßte für rund 50% der Leistung des Dampf-Grundlastwerkes bemessen werden.

die alle von ihren Grundlastwerken abhängen und im Falle einer Störung derselben nach dem Erschöpfen ihrer gespeicherten Arbeitsmenge zum Erliegen kommen, ohne selbst Primärarbeit liefern zu können.

Außerdem sind die Dieselmotoren als „geschlossene Einheiten“ freizügig, d. h. sie können nach Belieben überall aufgestellt werden, auch mitten in den Versorgungsgebieten, beispielsweise in den Umspannwerken oder bei besonders gegen Störungen der Stromlieferung empfindlichen Stromabnehmern der Großkraftwerke. Auch können sie ohne

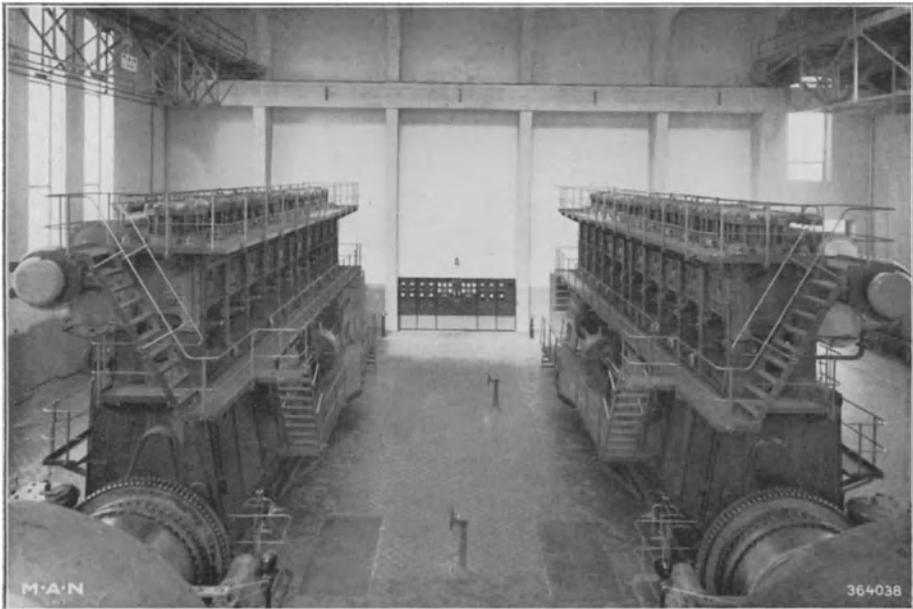


Abb. 9. Dieselmotoren-Spitzenkraftwerk Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitätswerks A.-G. Berlin.

Beeinträchtigung ihres Nutzungswertes als ganzes leicht nach anderen Betriebsstellen verlegt und anderweitig beliebig verwendet werden. Die sonst noch für Spitzendeckung in Betracht kommenden Betriebsmittel sind entweder an die unmittelbare Nähe ihrer Stammwerke (Wärmespeicher) oder an bestimmte örtliche Verhältnisse (hydraulische Speicheranlagen) gebunden und alle zusammen von der Betriebsfähigkeit der Fernleitungen nebst Zubehör abhängig. Das ist unzweifelhaft ein großer Nachteil, den die Spitzendieselmotoren nicht aufweisen.

Der wirtschaftliche Vergleich der für den Spitzendienst der Elektrizitätswerke verfügbaren Betriebsmittel fällt meist durchaus zugunsten der Großdieselmotoren aus. Entscheidend sind hier nicht die Stromerzeugungskosten für eine Spitzenkilowattstunde, die keine große Rolle

spielen, sondern die Anlagekosten für ein installiertes Kilowatt und der dadurch bedingte Kapitaldienst der Spitzeneinheiten selbst und vielmehr noch der Leitungsanlagen, die heutzutage ein Vielfaches der eigentlichen Kraftwerke für die in städtischen Versorgungsgebieten eingebaute Leistungseinheit kosten.

Tatsächlich sind die Anlagekosten der Spitzendieselmotoren — wie oben nachgewiesen — meist erheblich niedriger als die hochwertiger

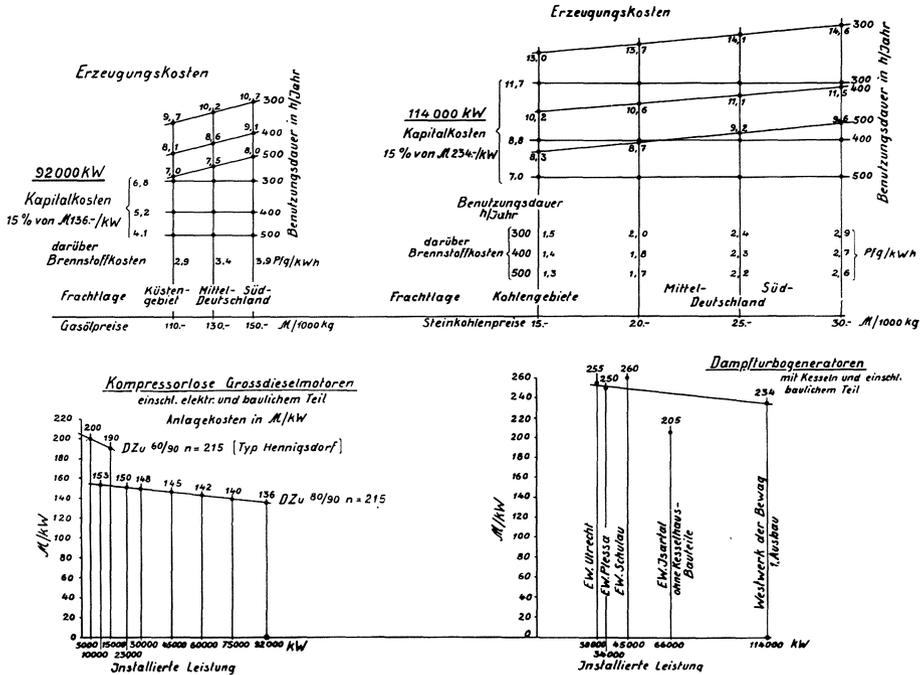


Abb. 10. Die Anlagekosten für 1 installiertes kW (unten) und die Erzeugungskosten für 1 Spitzen-kWh (oben) bei Spitzen-Dieselmotorenanlagen (links) und bei Spitzen-Dampfkraftanlagen (rechts) bei Benutzungsdauern der Nennleistung von 300 bis 500 h/Jahr.

Dampfkraftwerke und der in Betracht kommenden sekundären Spitzeneinheiten (Wasser- und Dampfspeicherwerke).

Die Brennstoffkosten spielen beim Spitzenbetrieb an und für sich nur eine verschwindende Rolle, dasselbe gilt von den Betriebsführungskosten. Daher stellen sich die Betriebskosten von Spitzendieselmotoren (Abb. 10) auch bei hohen Treibölpreisen und billigen Kohlenkosten nicht teurer, meist billiger als bei Dampfbetrieb oder bei sekundären Spitzemaschinen, die mit hohen Verlusten zu rechnen haben. Der Vorteil der sekundären Speicherkraftanlagen, daß sie während der Belastungstäler während der Nacht und in der Mittagspause nicht verwertbare Leistung der Grundlastwerke speichern und dadurch deren Belastung gleich-

mäßiger gestalten, haftet auch den primären Spitzendieselmotoren an, da diese die Benutzungsdauer der Grundlastwerke durch Abschneiden der Belastungsspitzen ebenso wirksam erhöhen, wie die Sekundärspitzen-einheiten durch Ausfüllen der Belastungstäler.

Faßt man die so gewonnenen Erkenntnisse über die Rolle der Großdieselmotoren in der Elektrizitätswirtschaft zusammen, so stellt sich heraus, daß Großdieselmotoren für die Erzeugung der Grundlast aus wirtschaftlichen Gründen gegenüber Dampf- und Wasserkraftwerken bei den deutschen Verhältnissen nicht in jedem Falle in Frage kommen, um so mehr aber für den Spitzendienst im engeren und auch im weiteren Sinne. Wie aus dem Zusammenhang ersichtlich ist, beziehen sich diese Angaben hauptsächlich auf kohlenreiche und erdölarne Länder und besonders auf solche, die das eingeführte Erdöl zum Schutze der eigenen Erzeugung flüssiger Brennstoffe und aus fiskalischen Interessen mit hohen Einfuhrzöllen und mit hohen Eisenbahntarifen belasten, wie Deutschland, wo die Verbraucherpreise für flüssige Brennstoffe absichtlich gegenüber den Preisen der festen Brennstoffe verteuert werden. Auch betreffen die obigen Darlegungen über die Wettbewerbsfähigkeit von Grundlastwerken mit Dampf-, Wasser- und Dieselmotoren hauptsächlich mittlere und große Anlagen und nicht etwa kleine Fabriks- oder Ortskraftwerke, bei denen der Vergleich zwischen kleinen und mittelgroßen Kolbendampfmaschinen oder Wasserkraftmaschinen einerseits und Dieselmotoren andererseits gezogen wird.

Um Mißverständnisse bei diesen Darlegungen auszuschließen, sei auch noch erwähnt, daß es auch eine Reihe von Ländern gibt, in denen die Verhältnisse günstiger für den Wettbewerb der mittelgroßen und großen Dieselmotoren als Grundlastmaschinen der Elektrizitätswirtschaft liegen als in Deutschland. Dazu gehört beispielsweise Italien, wo das Preisverhältnis:

hochwertige Cardiff-Steinkohle in Lire, frei Bahnwagen Mailand

	Gasöl			
sich in den Jahren	1926	1927	1928	1929
im Mittel wie	$\frac{210}{515}$	$\frac{150 \text{ bis } 160}{515 \text{ bis } 400}$	$\frac{145 \text{ bis } 155}{390 \text{ bis } 300}$	$\frac{155 \text{ bis } 165}{300 \text{ bis } 320}$
entsprechend	$\frac{1}{2,45}$	$\frac{1 \text{ bis } 1}{3,43 \text{ bis } 2,5}$	$\frac{1 \text{ bis } 1}{2,69 \text{ bis } 1,93}$	$\frac{1 \text{ bis } 1}{1,93 \text{ bis } 1,94}$

eingestellt hat. Bei diesen — wie man sieht starken Schwankungen unterworfenen — Preisverhältnissen, die in hohem Maße von den Konjunktoren des Weltmarktes, Valutaverhältnissen und von der politischen Lage abhängen, ist der Dieselmotor auch als ausgesprochene Grundlastmaschine mit der Dampfturbine wettbewerbsfähig. Ähnlich wie in Italien liegt der Fall auch beispielsweise in Spanien, Rußland und ferner in Südamerika, Australien, Indien und ganz allgemein in allen Ländern,

wo entweder keine heimischen Kohlen vorhanden sind oder wo sie durch ungünstige Transportverhältnisse oder andere Umstände gegenüber dem Erdöl verteuert werden.

Für den reinen Spitzen- und Reservebetrieb im engeren Sinne, der durch einen winzigen Anteil an der Stromerzeugung (etwa 1%) und durch eine geringe Betriebsdauer (etwa 800 h/Jahr) sowie eine kleine Benutzungsdauer der Höchstleistung (meist nur etwa 300—500 h/Jahr) gekennzeichnet ist, muß der kompressorlose, doppeltwirkende Zweitaktmotor mit Gasöl als bestgeeignetem Brennstoff wegen seiner günstigen Betriebseigenschaften besonders empfohlen werden.

Für den Spitzen- und Reservedienst im weiteren Sinne, der durch eine längere Betriebszeit und einen größeren Anteil an der Gesamtstromerzeugung für „Saisonreserve“ bei Wassermangel, Eisstörungen von Wasserkraftwerken, für den Wochenenddienst schlecht belasteter Dampfkraftwerke und dergleichen gekennzeichnet ist, kommen in manchen Fällen Großdieselmotoren mit Steinkohlenteeröl technisch und wirtschaftlich vorteilhaft in Frage, beispielsweise zu dem Zweck, das in Gaswerken, Großkokereien und Ferngasunternehmungen als schwer verwertbares, aber verlustlos speicherbares Nebenerzeugnis der Teerdestillation gewonnene Steinkohlenteeröl in hochwertige elektrische Spitzenarbeit umzuformen. 1000 kg Steinkohlenteeröl werden sicher gerechnet 3000 kWh liefern, deren Nutzungswert zweifellos erheblich höher ist als der Wert des Teeröles, der jetzt mit etwa 75—97,50 RM. je nach Fracht- und Marktlage betragen wird. Dabei ist zu betonen, daß dieser flüssige Brennstoff ein deutsches Erzeugnis darstellt, das zwangsläufig bei der deutschen Leuchtgas- und Koks- (bzw. Eisen- und Stahl-) Erzeugung proportional anfällt und einen aufnahmefähigen Markt suchen muß, der eine wirtschaftliche Verwertung in großem Maßstab ermöglicht. Die Bedeutung dieses Problems geht aus der Tatsache hervor, daß im Jahre 1929 in Deutschland 1,695 Millionen Tonnen Steinkohlenrohteer erzeugt wurden. Aus dieser Menge entstehen etwa 500 000—600 000 Tonnen Teeröl, die in Dieselmotoren verarbeitet eine Strommenge von 1,5—1,85 Milliarden kWh liefern, d. h. über rund 5% der ganzen deutschen Stromerzeugung von etwa 30,66 Milliarden kWh im Jahre 1929.

Ob diese theoretischen Zahlen jemals eine praktische Bedeutung erlangen werden, indem sie ganz oder teilweise verwirklicht werden, ist ungewiß. Tatsächlich sind im Jahre 1929 nach den Angaben der Teerölindustrie¹ selbst insgesamt in Deutschland 510 000 Tonnen Teeröle erzeugt und daraus 450 000 Tonnen schwere Öle hergestellt worden, die auf

¹ Heydenreich: Die deutsche Steinkohlenindustrie und ihre wirtschaftlichen Zusammenhänge, S. 87. Halle a. S.: W. Knapp 1931.

242000 t = 53,7% Imprägnieröle,	16000 t = 3,55% Treiböle,
82000 t = 18,2% Waschöle,	56000 t = 12,45% Heizöle

aufgearbeitet worden sind. Der Treibölanteil von 16 000 Tonnen = 3,55% ist also verschwindend klein, während vor dem Kriege überhaupt alle vorhandenen Dieselmotoren mit mehr als 50 PS Zylinderleistung mit Steinkohlenteeröl (Gesamtverbrauch etwa 50 000 t/Jahr) betrieben wurden, das damals etwa 46,50 RM. für 1000 kg frei Bahnstation des Käufers gekostet hat.

Voraussetzung für die Verwendung von Teeröl für den Großdieselmotorenbetrieb überhaupt ist natürlich, daß das Teeröl in geeigneter und dauernd gleichmäßiger Beschaffenheit geliefert wird; das ist bisher anscheinend noch nicht einwandfrei und restlos der Fall gewesen und hat zur Aufnahme von Verhandlungen über gewisse Anforderungen an die Beschaffenheit des Teeröls geführt, deren Grundlage u. a. die von der MAN durch Umstellung von 3 Dieselmotoren des Kraftwerkes im Werk Augsburg auf Teerölbetrieb gewonnenen Betriebserfahrungen sein werden. Auch von anderen Dieselmotorenfirmen werden Beiträge zu diesen Untersuchungen geliefert, so daß eine baldige Klärung der noch offen gebliebenen Fragen erwartet werden darf.

Es ist zu wünschen, daß diese schwebenden Verhandlungen zwischen der Dieselmotoren- und der Teerölindustrie über eine beiderseitig bindende Festlegung der Qualitätsvorschriften, der verfügbaren Mengen und der Preise des für den Dieselmotorenbetrieb bestimmten Steinkohlenteeröles im Interesse unserer Brennstoffwirtschaft zu einer allseitig befriedigenden Einigung führen werden mit dem Ziel, alljährlich möglichst 250 000 Tonnen Teeröl, d. h. die Hälfte der Gesamterzeugung für den Großdieselmotorenbetrieb in Deutschland abzusetzen. Diese Teerölmenge würde zu einer Stromerzeugung von rund 750 Millionen kWh ausreichen und bei einer Benutzungsdauer der Nennleistung von rund

	750	1000	1250	1500 h/Jahr
Großdieselmotoren v. rd.	1 000 000	750 000	600 000	500 000 kW

Gesamtleistung zur Aufarbeitung dieser Brennstoffmenge beschäftigen.

Alles in allem genommen, zeigen diese Betrachtungen deutlich, welche große wirtschaftliche Bedeutung der Verwendung der Dieselmotoren im Dienste der Elektrizitätswirtschaft beizumessen ist. Dabei ist klar, daß die Treibölkosten der Angelpunkt des ganzen Dieselmotorenproblems sind und mindestens ebensoviel ausmachen, wie die Kapitalkosten. Diese sind durch die Anstrengungen der Dieselmotorenindustrie gegenüber allen anderen Wärmekraftmaschinen und erst recht im Vergleich mit den Wasserkraftmaschinen sowie den Speicherkraftwerken durch die Senkung der Anlagekosten bereits zu einem Mindestbetrag heruntergeschraubt worden. Demnach müssen alle Anstrengungen dahin gerichtet werden, die Treibölkosten gegenüber dem Wettbewerb der viel

billigeren festen Brennstoffe wettbewerbsfähig zu machen, weil eine Senkung der Treibölkosten sich direkt in den Kosten der Stromerzeugung auswirkt, während eine weitere Senkung der Anlagekosten nur in einem Bruchteil der Kapitalkosten zum Ausdruck kommt.

7. Die Betriebsergebnisse von Spitzendieselmotoren.

Die günstigen Betriebsergebnisse des 10500 kW-Dieselmotors im Kraftwerk Hamburg-Neuhof der Hamburgischen Elektrizitätswerke AG. sind allgemein bekannt und von den H. E.-W. noch in der letzten Zeit wieder bestätigt worden¹. Obwohl die Leistung des Dieselmotors im

	Betriebsjahr:	1928	1929
nur		20%	bzw. 8,7%
der Leistung von		52500	bzw. 120500 kW
der dort aufgestellten Dampfturbinen betrug			
und der Dieselmotor nur		2,75%	bzw. 1,56%
der Stromerzeugung geleistet hat, wurde			
doch die Benutzungsdauer der Dampf-			
turbinenhöchstleistung um		375 h = 18%	bzw. 309 h = 10,6%
auf		2430 h/Jahr	bzw. 3226 h/Jahr
gehoben, wobei der Dieselmotor eine Be-			
nutzungsdauer der Höchstlast von . . .		320 h/Jahr	bzw. 415,7 h/Jahr

erreichte. Die Betriebszahlen für die Gesamtanlagen der H. E.-W. sind in der Zeitschrift Wärme Heft 24 (1930) S. 482 veröffentlicht. Es ist klar, daß bei diesem winzigen Anteil des Dieselmotors an dem Betriebe sein unmittelbarer Einfluß auf die Wärmewirtschaft der Dampfkrafteinheiten nicht groß gewesen sein kann, auch wäre es zweifellos möglich gewesen, die von dem Dieselmotor abgegebene Leistung durch die Überlastungsfähigkeit der Dampfeinheiten herauszuholen. Immerhin ist der von den H. E.-W. wiederholt bekannt gegebene günstige Einfluß des Dieselmotors auf den Gesamtbetrieb bemerkenswert, der fast täglich eine oder mehrere Inbetriebsetzungen des Dieselmotors verlangt hat. Jedenfalls steht fest, daß ein Dieselmotor im Falle einer Störung des Netzes schneller und sicherer die Stromlieferung nach der Anforderung aufnehmen kann als irgendeine andere Wärmekraftmaschine, von Großgasmaschinen mit gespeichertem Gas abgesehen, die den Dieselmotoren hierin gleichwertig sind.

Beim Städtischen E.-W. Bremen haben die Dieselmotoren in den

	Betriebsjahren	1926	1927	1928	1929
an der Gesamtstromerzeugung mit		2,21	0,92	1,025	0,825%
teilgenommen und doch bei einer Benutzungs-					
dauer ihrer Höchstlast von		554	319	581	242 h/Jahr
die Benutzungsdauer der Grundlastmaschinen					
um		449	318	228	530 h/Jahr
		= 14	9,57	5,94	14%

¹ Elektrotechn. Z. 1930 S. 1751.

gehoben, obwohl die Leistung der Dieselmotoren 1926—1928 10% und 1929 nur 7,3% der Leistung der Grundlasteinheiten betrug.

Zum Vergleich sei noch erwähnt, daß das Kraftwerk Haarlem-Amsterdam seinem mit Dampf betriebenen Spitzenkraftwerk „Oost“ in den

	Betriebsjahren	1927	1928
eine Spitzenstromerzeugung von		2%	3,4%
bei jährlich		197	222 Spitzentagen
und bei einer Benutzungsdauer der Höchstlast von		287	415 h/Jahr
entsprechend		1,455	1,87 h/Spitzentag
zugewiesen hat, womit eine Hebung der Benutzungsdauer der Grundlastmaschinen um		366	317 h/Jahr
		= 13,27	10,85%
auf		3125	3240 h/Jahr

erzielt wurde.

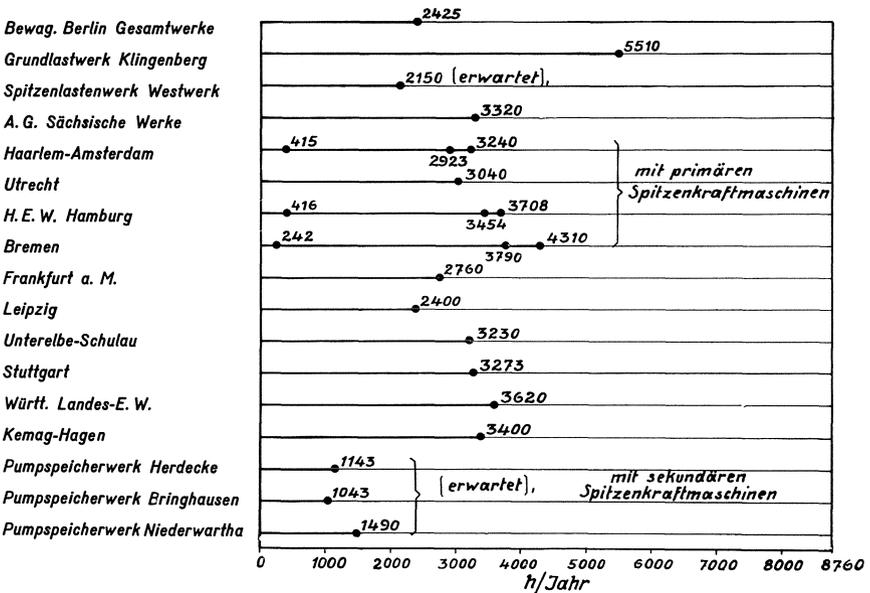


Abb. 11. Benutzungszeiten der Höchstlast von Großkraftwerken in h/Jahr. Betriebsjahr 1929.

Was diese Hebung der Benutzungsdauer praktisch bedeutet, geht aus einer Zusammenstellung der Elektrotechn. Z. Heft 46 (1930) S. 1586/87 hervor, in der für das Betriebsjahr 1929 folgende durchschnittliche Benutzungszeiten der installierten Leistungen angegeben werden:

1. Öffentliche Kraftwerke 2187 h/Jahr
2. Eigenanlagen von Fabriken 2899 „
3. Chemisch-metallurgische Kraftwerke 3928 „
4. Eisenindustrie-Kraftwerke 3540 „

Einige Einzelwerte sind in Abb. 11 zusammengestellt.

Die Aufteilung von 564 statistisch erfaßten Kraftwerken für das Betriebsjahr 1928 gibt die Elektrizitätswirtschaft 1930 Nr. 516, in bezug auf die Benutzungsdauer der Höchstlast wie nebenstehend an.

Benutzungsdauer h/Jahr	Anzahl der Werke	in % der Anzahl
bis 2000	95	16,8
2001—2500	112	19,9
2501—3000	125	22,2
3001—3500	111	19,7
3501—4000	58	10,3
4001—5000	51	9,0
über 5000	12	2,1
	564	100,0

Dabei ist zu beachten, daß die größten Werke infolge ihrer großen wirtschaftlich arbeitenden Betriebsmitteleinheiten mit den besten Benutzungszeiten arbeiten, indem ihnen bei gekuppelten Netzen der Löwenanteil der Stromerzeugung von den Lastwarten zugewiesen wird. Obige

Zahlen beweisen, daß durch Abschneiden der Belastungsspitzen die erwünschte Hebung der Benutzungsdauer der Höchstleistung auch bei mittleren Kraftwerken möglich ist. Dabei steht fest, daß man praktisch den primären, mit Wärmekraftmaschinen ausgebauten Spitzenkraftwerken nur ein Mindestmaß an der Stromerzeugung in der Größenordnung von 1 bis höchstens 5% zuweisen wird und daß die Benutzungszeit der Höchstleistung, die der Nennleistung möglichst nahekommen wird, fast ausnahmslos bei Wärmekraftspitzenwerken unter 500 h/Jahr liegt.

Benutzungsdauer der Höchstlast von Großkraftwerken in h/Jahr für 1929 und 1930 (zum Vergleich).

	1929 h	1930 h
1. Berlin, Bewag	3 395	3 067
2. Berlin, Elektrowerke	6 000	5 818
3. Biberach, Bezirksverband O. E.-W.	4 130	3 092
4. Dresden, A. S. W.	3 995	4 125
5. Ellwangen, Überlandwerk Jagstkreis AG.	3 143	2 725
6. Eßlingen, Neckarwerke AG.	3 333	3 260
7. Hamburg, H. E.-W.	3 369	3 472
8. Karlsruhe, Badenwerk.	4 345	3 415
9. Stuttgart, Städt. E.-W. ¹	3 336	3 246
10. Amsterdam, Städt. E.-W.	2 940	3 557
11. Budapest, Städt. E.-W.	3 159	3 144
12. Danzig, Städt. E.-W.	3 515	3 548
13. Hermanstadt, H. E.-W. AG.	3 118	3 207
14. Kopenhagen, Städt. E.-W.	2 267	2 363
15. Malmö, Städt. E.-W.	3 342	3 531
16. Wien, Städt. E.-W.	3 027	3 241
17. Zürich, Städt. E.-W.	3 830	4 457

Nach der Statistik der Vereinigung der Elektrizitätswerke, Berlin, Elektrotechn. Z. 1931 S. 1530.

¹ Einen bemerkenswerten Überblick über die Wandlung der Benutzungsdauer der Höchstlast des Städtischen Elektrizitätswerkes Stuttgart im Laufe der Zeiten

Bei sekundären Pumpspeicherwerken rechnet man, wie Abb. 11 zeigt, mit höheren Benutzungszeiten als bei primären Wärmekraftspitzenwerken. Diese Zuweisung einer besseren Ausnutzung der kostspieligen Wasserspeicherwerke ist ohne weiteres berechtigt bei natürlichem Zulauf von Wasser und bei Pumpspeicherung mit Nacht- oder Überschubstrom von Laufwasserkraftwerken und dergleichen. Bei Pumpspeicherwerken mit Dampfbetrieb der Stammkraftwerke ist dies unwirtschaftlich, vielmehr darf die Entladung der Wasserspeicher nur soweit getrieben werden, als der Belastungszustand der Stammkraftwerke jeweils erfordert. Jedenfalls ist stets eine direkte Belieferung des Versorgungsgebietes von den Stammkraftwerken aus anzustreben und die Lieferung von Speicherstrom möglichst einzuschränken, d. h. die Pumpspeicherwerke müssen bei Speicherung des Wassers mit Dampfbetrieb ebenso wie die primären Wärmekraftspitzenwerke grundsätzlich mit einem Mindestmaß an Benutzungsdauer ihrer Höchstlast betrieben

und unter dem Einfluß der Stromverkaufswerbung, besonders für Beleuchtungszwecke und ferner über die Wirkung der Wirtschaftskrise seit 1930 gibt die folgende Statistik, welche die planmäßig angestrebte Hebung der Benutzungsdauer der Höchstlast und die damit verbundene Zunahme der Lichtspitze als unerwünschte Begleiterscheinung der Werbemaßnahmen deutlich erkennen läßt:

Städtisches Elektrizitätswerk Stuttgart¹.

Jahr	Stromabsatz kWh	Höchstlast kW	Benutzungsdauer der Höchstlast h/Jahr	Zunahme der Lichtspitze gegen 1925 %
1925	70 014 000	35 220	1965	—
1926	75 531 000	39 650	1910	12,6
1927	96 235 000	46 800	2055	32,8
1928	109 541 000	50 737	2155	44,0
1929	121 677 000	52 722	2303	49,6
1930	119 800 000	49 325	2428	40,0

Nach L. Schneider und B. Seeger, Berlin: Die künftige Entwicklung des elektrischen Lichtbedarfs. Elektrotechn. Z. 1931 S. 1540.

Zum Vergleich mit diesen Betriebsausweisen eines einzelnen Elektrizitätswerkes mögen die entsprechenden Angaben für ganz Deutschland dienen, bei denen leider die Werte für die Höchstlast und deren Benutzungsdauer fehlen:

Jahr	Stromerzeugung kWh	Zunahme der Stromerzeugung gegen 1925 ^{0/0}
1925	20 328 000 000	—
1926	21 218 000 000	4,5
1927	25 135 000 000	23,7
1928	27 871 000 000	37,2
1929	30 660 000 000	51,0
1930	29 100 000 000	43,0

¹ Die Abweichungen zwischen diesen aus verschiedenen Quellen stammenden statistischen Angaben über die Benutzungsdauer der Höchstlast sind vermutlich darauf zurückzuführen, daß die Werte teils für die Eigenerzeugung des Kraftwerks allein und teils für den Gesamtstromabsatz im Versorgungsgebiet einschließlich des Fernbezuges gelten. Im vorliegenden Falle ist nur die Größenordnung der Werte von Bedeutung.

werden, um WärmeverSchwendung durch das Pumpen überflüssiger Wassermengen zu vermeiden.

In Störungfällen oder bei sonstigem Bedarf können die Spitzendieselmotoren natürlich auch im Rahmen ihrer Leistungsfähigkeit für den Dauerbetrieb herangezogen werden, wobei man ihre dauernde Höchstbelastung aus Sicherheitsgründen zweckmäßig auf etwa 80% ihrer Nennleistung vermindern wird.

8. Die Verbilligung des Fernstroms durch örtliche Spitzendieselmotoren in den Schwerpunkten der Versorgungsgebiete.

Zahllose örtliche Versorgungsgebiete werden jetzt von großen Überlandzentralen über Fernleitungen mit elektrischer Arbeit versorgt. Die örtlichen Belastungsschaubilder vereinigen sich zu den Gesamtbelastungsgebirgen der Großkraftwerke und ihrer Fernleitungen und Umspannwerke (vgl. Abb. 2 von Südost England). Wie man sieht, ist die Ausnutzung der Betriebsmittel meist recht ungenügend, was sich in den hohen Stromtarifen ausdrückt und bis zum letzten Stromabnehmer auswirkt. Diese Tarife beruhen meist auf einer Grundgebühr für jede Einheit der beanspruchten Höchstlast und auf einer Arbeitsgebühr für die bezogene Kilowattstunde. Es liegt nun nahe, aus dem Hochspannungsnetz nur die mehr oder weniger konstante Grundlast zu beziehen, um den Betriebsmitteln der Großkraftwerke und ihrer Verteilungsanlagen eine gute Benutzungsdauer zu sichern und damit einen günstigen Stromtarif zu erzielen, während die Spitzenlast durch eigene Dieselmotoren an Ort und Stelle erzeugt wird. Tatsächlich ist das auch schon an vielen Stellen mit gutem Erfolg geschehen, wie durch zahlreiche Betriebsausweise in der Fachpresse nachgewiesen wurde.

Über die Erhöhung der Betriebssicherheit der Stromversorgung durch örtliche Spitzenkraftwerke ist eine bemerkenswerte Stellungnahme der Städtischen Elektrizitätswerke Köln¹ bekannt geworden, die ein mit Dampf betriebenes Spitzenkraftwerk von 23 000 kW besitzen.

¹ Die Entwicklung der Kölner Elektrizitätswerke von Generaldirektor Ahlen, Köln, DKE. 1931 S. 38—42: „Die Beibehaltung einer Eigenerzeugungsanlage als Spitzen- und Reservewerk erschien ratsam, weil die Installierung von Spitzenleistungen in gut erhaltenen alten Anlagen sich sehr wirtschaftlich gestaltet, weil außerdem die Erzeugung von Spitzenleistungen im Zentrum des Verbrauches am wirtschaftlichsten erfolgt, und endlich, weil Großstädte auf eine Reserve für die Sicherstellung der lebenswichtigen Betriebe, wie Bahnen, Straßenbeleuchtung, Krankenhäuser usw. im Falle einer Störung des Fernbezuges unseres Erachtens nicht verzichten können.“

Zahlentafel 10. Betriebsergebnisse von Spitzendieselmotorenanlagen in den Ortsnetzen englischer Überlanddampfkraftwerke¹.

1. Werk „A“. Betriebszeit Oktober 1927 bis März 1928 (6 Monate).	
Höchstleistung der Fernversorgung	523 kW
Höchstleistung des Spitzendieselmotors	500 kW
Gesamthöchstleistung	1023 kW
Strombezug aus der Fernversorgung	1198040 kWh
Eigenerzeugung mit dem Spitzendieselmotor	301000 kWh
Gesamtstrommenge	1499040 kWh
Benutzungsdauer der Gesamthöchstleistung	1465 h/Halbjahr
umgestellt durch die Spaltung der Stromversorgung in Benutzungsdauer der Höchstleistung des Dampfkraftwerkes (Grundlastwerk)	2290 h/Halbjahr
des Spitzendieselmotors	600 h/Halbjahr
Jährliche Ersparnis durch die Hebung der Benutzungsdauer der Fernversorgung und durch die Verbesserung der Stromtarife	2847,— £
entsprechend rund 28 $\frac{1}{2}$ % des Anlagekapitals von	10000,— £
des Spitzendieselmotors.	
2. Werk „B“. Betriebsjahr 1926. Installationswert 1320 kW	
Höchstleistung der Fernversorgung	250 kW
Höchstleistung der Eigenanlage (Spitzendieselmotor und kleine Dampfmaschine)	643 kW
Gesamthöchstleistung	893 kW
Strombezug aus der Fernversorgung	1115000 kWh
Eigenerzeugung mit dem Spitzendieselmotor	611000 kWh
mit der Dampfmaschine	10300 kWh
Gesamtstrommenge	1736300 kWh
Benutzungsdauer der Gesamthöchstleistung	1940 h/Jahr
umgestellt durch die Spaltung wie oben in Benutzungsdauer der Höchstleistung des Dampfkraft-Grundlastwerkes von	4460 h/Jahr
und des Spitzenwerkes von	893 h/Jahr
Jährliche Ersparnis wie unter 1. rund	2000.— £

9. Senkung der Kabelkosten durch Zusatz-Dieselmotoren in den Hauptverbrauchsstellen städtischer Bezirke.

Mit den hier geschilderten Vorteilen sind die Vorzüge der Dieselmotoren als Zusatz-, Spitzen- und Reserveeinheiten der Großkraftwerke noch keineswegs erschöpft. Dieselmotoren bieten auch ein wirksames Mittel zur Senkung der Kabelkosten, die bekanntlich die Stromversorgung städtischer Absatzgebiete infolge ihrer hohen Kapitalkosten und ihrer meist ungünstigen Ausnutzung außerordentlich verteuern.

Es bleibt nun zu untersuchen, welche Größenordnung die Kabelkosten bei der Preisbildung der elektrischen Arbeit für den Strom-

¹ D. K. E.-W. vom 1. Juli 1929 S. 50—52.

abnehmer einnehmen und wie dieser Posten gesenkt werden kann. Am wirksamsten wird das durchführbar sein, indem man die Ausnutzung der hochwertigen Kabel verbessert. Dazu muß die langfristig von dem Kabelnetz zu übertragende Grundlast von der kurzfristig auftretenden Spitzenlast möglichst getrennt und letztere örtlich und möglichst im Belastungsschwerpunkt erzeugt werden. Damit wird gleichzeitig auch die Betriebssicherheit und die Lebensdauer der kostspieligen Kabel gesteigert. Diese örtliche Aufnahme der Spitzenlast mitten in den städtischen Stromabsatzgebieten ist beim heutigen Stand der Technik meist nur mit Dieselmotoren möglich.

Aus vorliegenden Untersuchungen¹ geht hervor, daß der Einfluß der Kabelkosten bei den üblichen Belastungsverhältnissen unserer Großkraftwerke zwischen Belastungsfaktoren von 30 und 50% sich in ziemlich mäßigen Grenzen bewegt, aber immerhin doch auch bei günstigen Verhältnissen bis 50% der Erzeugungskosten für 1 kWh der Grundbelastung ausmacht und bei ungünstigen Fällen mehr als die gesamten Erzeugungskosten der elektrischen Arbeit erreichen kann.

Den durch die Spaltung der Stromerzeugung und -verteilung beim Kabelnetz erzielbaren Ersparnissen gegenüber treten die beim Bau und Betrieb der Kraftwerke selbst beim heutigen Stand der Technik möglichen Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit in den Hintergrund, da nennenswerte Einsparungen an den Baukosten und Betriebskosten der Kraftwerke kaum noch zu erwarten sind.

10. Block-Spitzenkraftwerke mit Dieselmotoren.

Es ist klar, daß man Dampfkraftwerke mit Rücksicht auf die Kühlwasserbeschaffung, die Kohleanfuhr und die Aschenabfuhr, oft auch wegen der Rauch- und Flugaschenplage immer außerhalb der Städte anlegen wird. Spitzenkraftwerke mit Dieselmotoren aber kann man in vielen Fällen mitten in das Versorgungsgebiet verlegen und damit die oben angedeuteten Ersparnisse an Kabelkosten je nach den örtlichen Verhältnissen mehr oder weniger vollkommen verwirklichen. Auch ist es keineswegs ausgeschlossen, die Dieselmotoren für Spitzenzwecke in Kellerräumen oder sogar in unterirdischen Kraftwerken anzuordnen und damit die Grundstückskosten zu ermäßigen, wobei allerdings eine Erhöhung der Kosten des baulichen Teiles in Kauf genommen werden muß. Wenn man bedenkt, daß auf dem verhältnismäßig kleinen Panzerschiff „Deutschland“ von 10000 t Wasserverdrängung eine Dieselmotoranlage von über 50000 PS einschließlich des Zubehörs und der Vorräte in den unter der Wasserlinie liegenden Maschinenräumen untergebracht werden kann, so erscheint die Anlage unterirdischer Spitzen-

¹ Wärme 1929 S. 374.

kraftwerke namhafter Leistung in Maschinenräumen nach Art der Senkkästen oder in Betonkellern mitten in den städtischen Versorgungsgebieten keineswegs unausführbar, zumal doch schon unterirdische Akkumulatorenbatterien sowie Umformer- und Schaltanlagen großen Umfanges bestehen.

Bei der heute unverkennbaren Städtebauentwicklung mancher Großstädte, die durch die Zusammenballung des Geschäftslebens in großen Bürogebäuden, Warenhäusern und dergleichen in einer Art „City“ — beispielsweise in Berlin, Hamburg, Bremen, Essen usw. — gekennzeichnet ist, wird der kurzfristige Lichtstromverbrauch dieser Bauten die Lichtspitze der Stromversorgung unerwünscht vergrößern. In solchen Fällen werden schnellaufende Dieselmotoren, die in den Kellerräumen der Hochbauten aufgestellt und von dem für die Heizung und den Aufzugsbetrieb ohnehin vorhandenen Wärter nebenher mitbedient werden können, nicht nur die Betriebssicherheit, sondern auch die Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung solcher „Häuserblocks“ wirksam verbessern, einerlei, ob sie von dem Elektrizitätswerk selbst oder von dem Besitzer solcher Bauten als „Block-Spitzenwerk“ betrieben werden.

Auch für viele kommunale „Versorgungsbetriebe“, wie Gas- und Wasserwerke, Schlachthöfe usw. und ferner für gewerbliche Betriebe mit „saisonmäßig“ auftretendem Mehrverbrauch an Betriebskraft, wie Brauereien, Eiswerke und dergleichen, sind Dieselmotoren mit bestem Erfolg als Spitzen- und Bereitschaftsmaschinen geliefert worden und leisten dort gute Dienste als schlagfertiges und zuverlässiges Werkzeug der Betriebsleitung.

11. „Saison“-, Spitzen- und Reservekraftwerke.

Interessante Probleme tauchen in manchen Ländern auf, wie Norwegen, Schweden, Finnland, Spanien, Italien, dem Westen von Kanada und USA., Teilgebieten von Südafrika, Neuseeland, Japan, Indien und auch in Süddeutschland, Österreich und der Schweiz, wo die Hauptmengen an elektrischer Arbeit von Wasserkraftwerken mit „saisonmäßig“ schwankendem Wasserzufluß geliefert werden. Überschuß und Mangel an Kraftwasser treten manchmal alljährlich, manchmal in mehrjährigen Perioden von 5 und sogar 10 Jahren auf und zwingen zur Erstellung von Ausgleichsanlagen, um den Strombedarf des Versorgungsgebietes unter allen Umständen sicherzustellen. Abgesehen von den Talsperren mit natürlicher und künstlicher Wasserzufuhr sind dies meist Wärmekraftwerke mit Dampf- oder Dieselmotorenbetrieb, die natürlich auch zur Deckung der normalen täglichen Belastungsspitzen und als Reserve bei Störungen dienen. Als Beispiele seien nur folgende Fälle kurz gestreift:

a) Norwegen.

Städtisches Elektrizitätswerk Oslo. Stromlieferung von mehreren Wasserkraftwerken mit einer jährlichen Zunahme von etwa $27\frac{3}{4}$ Millionen kWh = 8% als Mittel der Jahre 1925—1929; Benutzungsdauer der Höchstlast 4891 h/Jahr bei einer jährlichen Zunahme um etwa 4375 kW = 6% auf 84500 kW (1929). Wassermangel meist im Winter, Wasserüberfluß im Sommer. Benutzungsdauer der Abendspitze 3,18 h/Tag (19. Dez. 1929). Erforderlicher Ausbau vorläufig etwa 15000 bis 20000 kW.

Städtisches Elektrizitätswerk Trondhjem. Betriebsverhältnisse ähnlich wie bei Oslo; erforderlicher Ausbau vorläufig etwa 8500 kW. Anlagekosten für 1 kW 160—200 norwegische Kronen bei Dieselmotoren und etwas mehr bei Dampfturbinen einschließlich des vollständigen Zubehörs.

$$\text{Brennstoffkosten: } \frac{\text{Steinkohle}}{\text{Gasöl}} = \frac{25 \text{ Kr.}}{75 \text{ Kr.}} = \frac{1}{3}.$$

Betriebskosten, bezogen auf den alle 5—10 Jahre vorkommenden mehrmonatigen Dauerbetrieb, bei Wassermangel der Wasserkraftwerke annähernd gleich für Dieselmotoren- und Dampftrieb; bei reinem Spitzenbetrieb sind Dieselmotoren überlegen, wozu noch ihre betrieblichen Vorzüge kommen.

b) Italien.

Elektrizitätswerk Volturmo bei Neapel. Wasserkraftwerk von 18000 kW mit Dieselmotorenwerk von 3000 kW (vorhanden) und einem bei Ansaldo-Savoia bestellten Ausbau mit 2 Achtzylinder-Dieselmotoren der doppeltwirkenden MAN-Bauart von je 6400 PS_e = etwa 4300 kW.

c) Spanien.

Elektrizitätswerk Sevilla. Reserve- und Spitzendieselmotor von 5000 PS_e = 3400 kW, einfachwirkender Viertakt-Dieselmotor mit Aufladung der Schweizerischen Lokomotivfabrik Winterthur.

Elektrizitätswerk Alicante. Desgleichen von 3100 PS_e = 2100 kW, einfachwirkender Viertakt-Dieselmotor mit Aufladung der MAN.

d) Schweiz.

Elektrizitätswerk	Basel	} Reserve- und Spitzendieselmotoren von Sulzer. Leistung 2000 bis 4000 kW zur Ergänzung von Wasserkraftanlagen (einfachwirkende Zweitaktbauart).
„	Bern	
„	Genf	
„	LaChauxdeFonds	
„	Lausanne	
„	Lugano	
„	Fribourg	(doppeltwirkende Zweitaktbauart).

e) Neuseeland.

Erster Ausbau einer Wasserkraftanlage mit 2 zehnzylindrigen MAN-Uboots-Dieselmotoren. (Auf Grund des Versailler Vertrages ausgelieferte Maschinen, Leistung 3000 PS_e bei $n = 390$ im Boot, 2000 PS_e bei $n = 300$ in der ortsfesten Saison-Spitzenanlage.) Drohender Dammbbruch des auf vulkanischem Boden erbauten Stausees der Wasserkraftanlage erforderte schnellste Lieferung von weiteren 4 gleichen Motoren, nach deren Aufstellung dies Elektrizitätswerk das größte ausschließlich mit

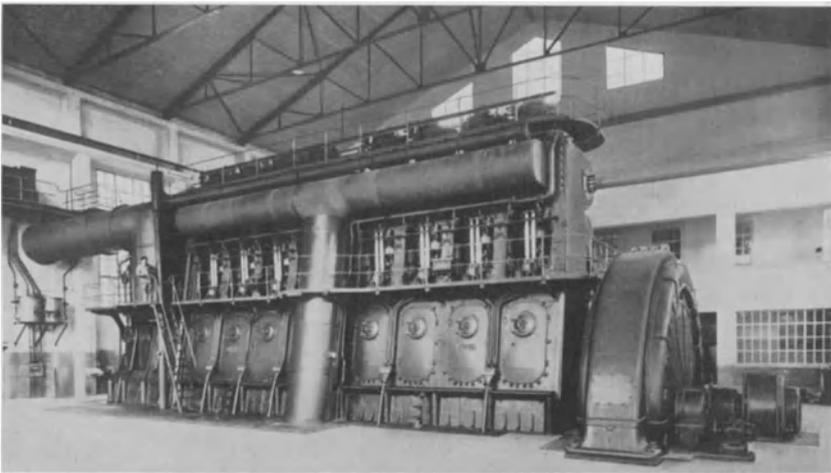


Abb. 12. Reservekraftwerk La Maigne der „Entreprises Electriques Fribougeoises“ in Fribourg (Schweiz).

1 Sulzer-Achtzylinder-Dieselmotor von 10800 PS_e Dauer- und 12000 PS_e Höchstleistung mit direktgekoppeltem B.B.C.-Drehstromgenerator.

Bauart des Dieselmotors: Doppelwirkender Zweitakt mit Querspülung, Nachladung und mit Luft-einblasung des Brennstoffs. Zylinderdurchmesser 700 mm, Kolbenhub 1200 mm; Drehzahl 150 in der Minute.

Uboots-Dieselmotoren ausgebaute Saison-Reserve- und Spitzenkraftwerk der Welt (12000 PS_e) ist. Bemerkenswert ist, daß diese Leistung mit $6 \times 10 = 60$ einfachwirkenden Viertaktzylindern von 530 mm Durchmesser und 530 mm Kolbenhub (Kolbengeschwindigkeit 5,3 m/s) erzielt wird. In der Anlage Hennigsdorf leistet ein doppelwirkender Zweitaktmotor mit 1×10 Zylindern von 600 mm Durchmesser und 900 mm Kolbenhub bei $n = 215$ (Kolbengeschwindigkeit 6,45 m/s) dieselbe Leistung, ohne viel mehr Grundfläche zu beanspruchen wie ein einziger Ubootsmotor. Dieser Vergleich unterstreicht besonders auffallend die durch die doppelwirkende Zweitaktbauart erzielten Fortschritte des Dieselmotorenbaues.

12. Bahn-Spitzenkraftwerke.

Infolge der ungünstigen Wirtschaftslage ist der Umbau der Eisenbahnen auf elektrischen Betrieb in Deutschland trotz der großen Vorteile verlangsamt worden. Außer den hohen Anlagekosten des elektrischen Ausbaues der Strecken und der Stromübertragungsanlagen spielen auch die Stromerzeugungskosten eine sehr bedeutende Rolle. Auch hier kommt es in erster Linie darauf an, dem Stromverbrauch beim elektrischen Bahnbetrieb eine günstige Benutzungsdauer der Höchstlast zu sichern, um niedrige Stromtarife zu erreichen und besonders die Grundgebühren zu senken, wenn der Strom von Großkraftwerken bezogen wird, oder die bahneigenen Kraftwerke möglichst günstig auszunutzen.

Tatsächlich liegt die Benutzungsdauer der Höchstlast bei Bahnkraftwerken nach den bisher vorliegenden Erfahrungen zwischen etwa 2750 und 3400 h/Jahr und nur ausnahmsweise höher, oft niedriger¹. Der Stromlieferungsvertrag der holländischen Staatseisenbahnen für die elektrisch betriebenen Strecken Rotterdam—Haag—Amsterdam beruht beispielsweise auf einer Benutzungsdauer der Höchstlast von 4200 h/Jahr. Diese wurde aber, wie der Geschäftsbericht² meldet, 1928 bei einem Gesamtstromverbrauch von 50 Millionen kWh nicht erreicht. Dagegen hat ein einziger Sonderzug durch zufällige Überschreitung der vertraglichen Höchstleistung Mehrkosten von 25 000 hfl. verursacht.

Aus den Untersuchungen von Wechmann³ geht für die Strecke Nürnberg—Halle—Berlin hervor, daß bei einem Strompreis von 3,3 Rpf./kWh die Stromkosten bereits 30% der Gesamtkosten ausmachen und daß bei einem Strompreis von 4,3 Rpf./kWh keine Ersparnis mehr gegenüber dem jetzigen Dampfbetrieb zu erzielen ist.

Rechnet man mit mittleren Anlagekosten der Wärmekraftwerke von 250 RM./kW (Wasserkraftwerke sind viel teurer) und mit 15% Kapitalkosten, so ergibt sich folgendes Bild:

Benutzungsdauer	2750	3250	3750	4250	4750	5000 h/Jahr
Kapitalkosten	1,37	1,16	1,0	0,88	0,79	0,75 Rpf./kWh
Rest für Brennstoff-, Betriebs-						
führungskosten u. Verluste	1,63	1,84	2,0	1,62	1,71	1,75 Rpf./kW
bei Stromkosten von 3—2,5 Rpf./kWh,						

die zur wirtschaftlichen Durchführung des elektrischen Bahnbetriebes tragbar erscheinen⁴. Dabei rechnet Wechmann an Verlusten:

¹ Gebirgsbahn Lauban—Königszelt—Breslau, Kraftwerk Mittelsteine 1926 nur 2000 h/Jahr. Wasserwirtsch. 1930 S. 451.

² Elektrotechn. Z. 1930 S. 1561.

³ Elektrotechn. Z. 1928 S. 889.

⁴ Nach einem Bericht der Elektrotechn. Z. 1931 S. 571 u. 773, hat die Schwedische Staatliche Kraftwerksverwaltung der Schwedischen Staatsbahn anfänglich einen Strompreis von 3,75 Öre entsprechend 4,2 Rpf. je 1 kWh beim Parikurs für den Betrieb der elektrifizierten Strecken verrechnet und diesen Strompreis

0,4 Rpf./100 km auf 1 kWh, gemessen am Kraftwerk für die Kraftübertragung durch die Fernleitung und 0,3 Rpf./kWh durch die Umformung des Fernstromes von 110 kV auf die Fahrspannung von 15 kV. Als tatsächliche günstigste Erzeugungskosten errechnet Wechmann für bahneigene Wechselstrom- bzw. Drehstrom-Kraftwerke 3,8—4,5 Rpf. für 1 kWh, bezogen auf die Strecke Breslau—Liegnitz—Görlitz, d. h. Strompreise, die nach obigen Untersuchungen die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Bahnbetriebes in Frage stellen.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß die oben ermittelten Benutzungszeiten und Stromkosten nur durch die vorgeschlagene Spaltung des Belastungsschaubildes verwirklicht werden können, wobei eine Benutzungsdauer der Grundlast (Wasserkraft- und Dampfbetrieb) mit 4750—5000 h/Jahr anzustreben und die Spitzenlast mit Dieselmotoren in den entlang den Strecken zu errichtenden Umformerwerken mit der Fahrleitungsspannung erzeugt wird. Im Falle von Störungen der Fernstromversorgung können diese Spitzenmaschinen auch nach Bedarf als Reserveeinheiten mit etwa 80% ihrer Nennleistung im Dauerbetrieb herangezogen werden und einen Teil des Zugverkehrs im Rahmen ihrer Leistungsfähigkeit aufrechterhalten. Für diesen Verwendungszweck, der über den eigentlichen Spitzenbetrieb hinausgeht, kommt Teerölbetrieb bei geeigneter Preisstellung in Frage, was von Fall zu Fall untersucht werden muß.

Je nach der Stromart des Fernstromes (meist Drehstrom) und des Bahnbetriebsstromes (Einphasenstrom von 15 kV und $16\frac{2}{3}$ Hertz für Fern- und Vorortbahnen und Gleichstrom von 550—800 Volt bei Straßen- und Stadtbahnen) können die Spitzendieselmotoren mittels lösbarer Kupplungen auch mit 2 Generatoren verschiedener Stromart gekuppelt werden, die dann auch im Bedarfsfalle als Synchron-Motor-Generatoren zur Umformung und zur Lieferung beider Stromarten verwendet werden können.

13. Dieselgeneratoren mit Abwärmeverwertung an Stelle von Haus- und Kleindampfturbinen zum Antrieb der Eigenbedarfsanlagen von Dampf-Großkraftwerken.

Unterlagen: Neuerdings sind einige Angaben¹ über den Einfluß der Eigenbedarfsanlagen auf die Anlage- und Betriebskosten neuzeitlicher

später für das Betriebsjahr 1928 bei einem Stromverbrauch von 66,7 Millionen kWh, an den Unterwerken gemessen, auf 2,8 Öre entsprechend 3,14 Rpf. beim Parikurs je 1 kWh gesenkt.

¹ Graßmann, A. v.: Eigenbedarfsanlagen des Dampfkraftwerkes Schwandorf der Bayernwerk-AG. AEG-Mitt. 1931 S. 75. — Schult, H.: Dampf- oder elektrischer Antrieb der Eigenbedarfsanlagen größerer Dampfkraftwerke? Elektrotechn. Z. 1931 S. 1113 u. 1140.

Dampfkraftwerke bekannt geworden, die einen Vergleich mit den gleichartigen Kosten ermöglichen, wenn die Eigenbedarfsanlagen ganz oder teilweise mit Dieselmotoren angetrieben würden, wie das z. B. mit bestem Erfolg auf den Schnelldampfern „Bremen“ und „Europa“ ausgeführt ist¹.

Bereits vor dem Weltkriege hatte übrigens das große Dampfkraftwerk am Moskaufluß der „86er Gesellschaft für elektrische Beleuchtung“ in Moskau zwei Dieselmotoren von 300 und 400 PS_e mit Gleichstromgeneratoren in einem besonderen Maschinenraum aufgestellt, um in Störungsfällen die elektrische Beleuchtung und einige lebenswichtige Eigenbedarfsanlagen des Kraftwerkes im Betrieb halten zu können.

Nach den Angaben der Elektrotechn. Z. 1930 S. 576 und 1931 haben die Eigenbedarfsanlagen des Westwerks der Berliner Kraft- und Licht-AG. (früher Bewag), Berlin (erster Ausbau 3 Hauptturbogeneratoren von je 34 000 kW und 2 Hausturbogeneratoren von je 12 000 kW) 8% der Anlagekosten des Gesamtwerkes gekostet, insgesamt 7360 000 RM.

Die bisher eingebaute Installationsleistung der Eigenbedarfsanlagen von 15 500 kW hat 475 RM./kW gekostet, wovon auf

die Erzeugungsanlage	217 RM./kW,
die Verteilungsanlage	258 RM./kW

entfallen.

Bei der Anlage Schwandorf (erster Ausbau 55 000 kW) weisen die gesamten Eigenbedarfsanlagen folgende Installationsleistungen auf:

Kühlwasserversorgungs- und Reinigungsanlage	etwa 650 kW
Kesselanlage (Braunkohlenfeuerung)	„ 600 „
Speisewasserversorgungs- und Vorwärmanlage	„ 400 „
Kohlenförder- und Entaschungsanlage	„ 400 „
Beleuchtungsanlage des Kraftwerkes und der Werksiedlung	„ 250 „
Krane, Ladeumformer, Hochfrequenzanlage, Werkstatt und Nebenbetriebe	„ 200 „
zusammen etwa	<u>2500 kW</u>

wovon etwa 1650 kW für den Antrieb der Kesselspeisepumpen, Kühlwasserpumpen, Schieber und Ölschalter als lebenswichtig anzusehen sind. Dieser Eigenverbrauch entspricht 4,5 bzw. 3% der installierten Kraftwerksleistung.

Nach den Angaben von Schult² verteilt sich die Installationsleistung der Nebenanlagen eines Großkraftwerkes wie folgt:

¹ Bei dem neuen englischen Schnelldampfer „Empress of Britain“ besteht die Hilfsmaschinenanlage aus 4 Dieselmotoren von je 450 kW, zusammen 1800 kW und 2 Turbogeneratoren von je 800 kW, zusammen 1600 kW, die installierte Gesamtleistung demnach aus 3400 kW, wozu noch einige Turbospeisepumpen und zwei Notaggregate von je 75 kW kommen. — Auf dem neuen italienischen Schnelldampfer „Conte di Savoia“ besteht die Hilfsmaschinenanlage aus 2 Dieselmotoren und 4 Turbogeneratoren von zusammen 5300 kW.

² Anmerkung siehe S. 57.

1. Maschinengruppe:		in % der installierten
Kesselspeisepumpen	}	Kraftwerksleistung
Kühlwasserpumpen		rund 1,5 %
Kondensatpumpen		
2. Kesselgruppe:		
Saugzugventilatoren	}	rund 2%
Unterwindventilatoren		
Rostfeuerungsantrieb		
Zuschlag bei Kohlenstaubfeuerung mit Einzelmöhlen		1,5%
3. Hilfsgruppe:		
Verdampfer-Speisepumpen	}	rund 0,1%
Rohwasserpumpen		
Transformatorenkühlung		
Kühlwasserreinigung		
		rund 3,6 bzw. 5,1%

bei Rost- bzw. Kohlenstaubfeuerung der Kessel.

Die Kosten werden mit 550 RM./kW bei elektrischem Antrieb (anteilige Kraftwerksleistung, Motoren und Verteilungsanlage) bzw. mit 350 RM./kW bei Dampfbetrieb bei Annahme von Kleindampfturbinen angegeben.

Schult weist dann nach, daß es wegen der Ausnutzung der Abwärme dieser Hilfsturbinen „unbedingt notwendig ist, einen möglichst hohen thermodynamischen Wirkungsgrad der Antriebsturbinen anzustreben“ und gibt diesen, auf das verarbeitete Wärmegefälle bezogenen Wirkungsgrad mit 50—55% bei kleinen Einheiten von 100 kW und mit 60% bei Einheiten von etwa 300 kW an. In vielen Fällen bereitet die restlose Verwertung der Abwärme demnach Schwierigkeiten, zumal ja auch die Abwärme der Kessel ausgenutzt werden muß.

Dieselgeneratorenantrieb der Eigenbedarfsanlagen¹. Die von Schult aufgestellten Forderungen bezüglich der Eigenbedarfsanlagen lauten:

1. Sicherheit der Energieversorgung.
2. Schnelles Anfahren nach einer Störung.
3. Regelfähigkeit, Einfachheit des Anlassens und selbsttätiger Betrieb.
4. Einfügung in den Gesamtbetrieb.
5. Wirtschaftlichkeit.

¹ Einen bemerkenswerten Beitrag zu der Frage der Eigenbedarfsanlagen von Großkraftwerken hat das Mitteldeutsche Kraftwerk in Magdeburg geliefert, indem es der AEG-Berlin einen Dampfturbogenerator vorläufig noch nicht bekanntgegebener Leistung in Auftrag gegeben hat, der zur Deckung des Eigenbedarfes des Großkraftwerkes bestimmt ist und ohne jede Bedienung in rund 30 Sekunden selbsttätig anfahren kann. Der Dampfturbogenerator wird genau wie ein Dieselnotstromaggregat (vgl. Kapitel 14, S. 74) über ein Spannungsrückgangsrelais automatisch angelassen, wobei in zwangsläufiger Reihenfolge alle für den Betrieb notwendigen Teile selbsttätig in Wirkung treten. VDI-Nachr. 1932 Nr 5, S. 3.

Der vorliegende Vorschlag geht dahin, die Eigenbedarfsanlagen zu projektierender Dampfkraftwerke ausschließlich elektrisch, und zwar bei Kraftwerken mittlerer Größe vorzugsweise mit leicht regelbaren Gleichstrommotoren anzutreiben und den dazu erforderlichen Gleichstrom von 220—440 Volt ganz unabhängig von dem Dampfbetrieb der Hauptturbogeneratoren beispielsweise mit einfachwirkenden Viertaktdieselmotoren mit möglichst vollkommener Abwärmeverwertung aus dem Kühlwasser und aus den Auspuffgasen zu erzeugen. Bei Großanlagen — besonders mit Hochdruckbetrieb, der größere Leistungen erfordert — kommen auch doppeltwirkende Zweitaktdieselmotoren, ebenfalls mit möglichst vollkommener Abwärmeverwertung hierfür in Frage; auch kann der elektrische Teil mit Drehstrom beliebiger Spannung eingerichtet werden.

Bei den technischen Einzelfragen 1—3 obiger Zusammenstellung kann wohl kein Zweifel darüber bestehen, daß die ganz von dem Kraftwerksbetrieb unabhängigen Diesel-Generatoren (Gleichstrom oder Drehstrom) diese Anforderungen in einwandfreier Weise erfüllen und zwar meist besser als dies mit Dampfbetrieb möglich ist. Auf Punkt 4 soll weiter unten näher eingegangen werden.

Wie steht es mit dem Punkt 5: Wirtschaftlichkeit?

1. Anlagekosten. Diese können an Hand der vorhandenen Unterlagen nicht auf gleicher Grundlage unmittelbar verglichen werden, weil schwer festzustellen ist, welcher Anteil der Dampfkessel- und Hauptturbinenanlage nebst Zubehör (Haustransformatoren) oder wie die Hausturbinen nebst Abdampfverwertungsanlage (Speisewasser-Aufbereitungs- und Vorwärmungsanlage) einerseits oder wie die zum direkten Antrieb der Kondensator- und Kesselspeisepumpwerke erforderlichen Kleindampfturbinen mit ihrem Zubehör andererseits verrechnet werden sollen, wozu noch die Elektromotoren und die Verteilanlagen (Rohrleitungen und Kabel) kommen. Es ist aber bestimmt anzunehmen, daß eine vollständige Dieselmotorenanlage der in Frage kommenden Leistung mit der Abwärmeverwertungsanlage und mit dem vollständigen elektrischen Teil nicht teurer, meist wohl erheblich billiger erstellt werden kann, als bei den oben angegebenen Eigenbedarfsanlagen mit dem elektrischen oder mit dem gemischten dampf-elektrischen Betrieb möglich ist. Sehr wünschenswerte Vorteile sind aus der wesentlich einfacher und billiger gestalteten Gesamtanordnung der Eigenbedarfsanlagen zu ziehen, besonders bezüglich der Rohrleitungen, Apparate, Armaturen, Meß-, Regel- und der sonstigen Nebenanlagen zur Sicherung einer sparsamen Wärmewirtschaftlichkeit des Gesamtbetriebes, die sich nach Anzahl, Größe, Gewicht und Anlagekosten auf einen Bruchteil vermindern werden.

2. Betriebskosten. Die Kapitalkosten (Verzinsung, Abschreibung

und Unterhaltung der Eigenbedarfsanlagen) werden bei diesem Vorschlag des dieselektrischen Antriebes der Eigenbedarfsanlagen nicht teurer, sondern voraussichtlich erheblich billiger auskommen als bei dampfelektrischem Betrieb oder bei unmittelbarem Dampfbetrieb der Eigenbedarfsanlagen einschließlich der zugehörigen Apparate und Rohrleitungen und des sonstigen Zubehörs.

Die Brennstoffkosten hängen von dem Brennstoffpreis, von dem Arbeitsverbrauch der Eigenbedarfsanlagen und von der Vollkommenheit der nutzbaren Abwärmeverwertung ab. Je höher der örtliche Wärmepreis der für den Dampfbetrieb verwendeten festen Brennstoffe ist, um so geringer ist der wirtschaftliche Einfluß des Treibölpreises für den dieselektrischen Betrieb der Eigenbedarfsanlagen und um so größer ist die Bedeutung einer möglichst vollkommenen Abwärmeverwertung.

Die Größenordnung des Arbeitsverbrauches der Eigenbedarfsanlagen steigt mit zunehmendem Dampfdruck der Hauptanlage infolge des vermehrten Arbeitsverbrauches der Speisepumpen. Zur Bekämpfung der mit erhöhtem Dampfdruck zunehmenden Dampfneße in den letzten Stufen der Dampfturbinen muß bei Hochdruckanlagen auch die Dampfüberhitzung gesteigert werden, beides wirkt sich in einer Verbesserung des Dampfverbrauches aus und zwingt zur Wahl möglichst hochwertiger Antriebsmaschinen der Eigenbedarfsanlagen.

Allgemein entspricht die Größenordnung des Eigenverbrauchs der Großkraftwerke rechnerisch bei einer Installationsleistung von 3,5—5% der Kraftwerksleistung und bei einer von den Betriebsverhältnissen bestimmten Benutzungsdauer der Höchstlast ungefähr der Größenordnung der Spitzenlastarbeit, allerdings mit dem Unterschied, daß der Eigenverbrauch sich aus der angegebenen kleinen Installationsleistung und einer mittelgroßen Benutzungsdauer derselben bei einer Betriebszeit bis zu $24 \times 365 = 8760$ h/Jahr ergibt, während die Spitzenlastarbeit sich aus einer großen, kurzfristigen Leistung (40—50% der Höchstlast) und einer kleinen Benutzungsdauer (300—500 h/Jahr) bei einer Betriebszeit von selten über 600—800 h/Jahr errechnet und kaum 5% der Jahresleistung des Kraftwerkes ausmacht. Wegen der anteilmäßigen Geringfügigkeit dieser annähernd gleichgroßen Arbeitsmengen im Verhältnis zur Grundlast spielen die allein auf die Arbeitsleistung bezogenen Brennstoffkosten weder bei den Eigenbedarfsanlagen noch bei den Spitzenanlagen eine besonders erhebliche Rolle. Anders aber liegt der Fall mit den insgesamt zu verarbeitenden Wärmemengen der Eigenbedarfsanlagen. Diese sind beim Dampfbetrieb derselben mit Hausturbinen oder mit Einzelturbinen sehr groß und erfordern eine durch die bekannten, meist recht verwickelten Wärmeschalt- und -fluß-Schaubilder¹ zu überwachende Betriebsführung. Diese vereinfacht sich gemäß Abb. 13 (Dreh-

¹ Elektrotechn. Z. 1930 S. 497/498.

stromdieselgeneratoren) beim Dieselbetrieb der Eigenbedarfsanlagen recht erheblich, wobei man zu folgendem, überschlägig gerechneten Ergebnis gelangt:

Beispiel: Kraftwerk Schwandorf des Bayernwerkes AG., München
Erster Ausbau 55 000 kW, Rohbraunkohlenfeuerung, Frischwasserbetrieb der Kondensation.

Eigenbedarfsanlage 2500 kW = 4,5% der Installationsleistung.

Ausbau der Eigenbedarfsanlage beispielsweise mit 3 Dieselgeneratoren von je 1250 kW, von denen zwei für den Vollastbetrieb genügen und einer in Reserve steht (50% Reserve der Eigenbedarfsanlage).

Anlagekosten der Eigenbedarfsanlage einschließlich der Generatoren, Fundamente, Rohrleitungen und einer Abhitzeverwertungsanlage ohne Gebäude etwa 780 000 RM. = 208 RM./kW fertig aufgestellt, sonst ganz allgemein je nach Wahl der Einheiten, Frachtlage usw.

- a) für die Dieselgeneratoren 180—195 RM./kW Installationsleistung,
- b) für die Abhitzeverwertungsanlage je nach der Anordnung und nach den Betriebsverhältnissen 7—10% Zuschlag, insgesamt etwa 195—215 RM./kW Installationsleistung der Eigenbedarfsanlage.

3. Wärmewirtschaftlichkeit. Bei Annahme eines mittleren Dampfverbrauches der Hauptturbinen von 4,5 kg/kWh im Jahresdurchschnitt einschließlich aller Verluste errechnet sich ein Gesamtdampfverbrauch des Kraftwerkes bei einer Benutzungsdauer von

3000 h/Jahr	von 742 500 Tonnen/Jahr
bzw. bei 4000 h/Jahr	von 990 000 Tonnen/Jahr.

Bei einem Verlust an Kondensat von etwa 3,5% ergibt sich ein Verbrauch an Zusatzrohrwasser

bei 3000 h/Jahr	von 26 000 Tonnen/Jahr
bzw. bei 4000 h/Jahr	von 34 700 Tonnen/Jahr.

Gegenüber einer nutzbaren Stromerzeugung des Kraftwerkes

bei 3000 h/Jahr	von 165 Millionen kWh
bzw. bei 4000 h/Jahr	von 220 Millionen kWh

verbraucht die Eigenbedarfsanlage beispielsweise jährlich

bei 3000 h/Jahr	etwa 7,5 Millionen kWh
bzw. bei 4000 h/Jahr	etwa 10 Millionen kWh.

Die Dieselmotoren verbrauchen zur Lieferung dieser Leistung etwa 0,25 kg Gasöl/kWh insgesamt

bei 3000 h/Jahr	etwa 1875 Tonnen Gasöl
bzw. bei 4000 h/Jahr	etwa 2500 Tonnen Gasöl

bei einem Treibölpreis von 110—150 RM./1000 kg, entsprechend 2,75—3,25 Rpf. Brennstoffkosten der dieselektrischen Eigenbedarfsanlage für 1 kWh, wozu noch ein Zuschlag von etwa 10% für Schmieröl usw. zu rechnen ist, während der Wert der durch Abwärmeverwertung zurückgewonnenen Wärme abzuziehen ist.

Die Dieselmotoren brauchen an Kühlwasser, wofür im vorliegenden Falle umlaufendes Kondensat der Dampfturbogeneratoren verwendet wird, etwa 18 Liter/PS_eh, bezogen auf eine Temperaturerhöhung von 40° C, insgesamt also bei obigem Beispiel

bei 3000 h/Jahr etwa 196500 Tonnen jährlich
bzw. bei 4000 h/Jahr etwa 262000 Tonnen jährlich,

also nur einen Bruchteil der tatsächlich umlaufenden Kondensatmenge des Kraftwerkes. Die Dieselgeneratoren der Eigenbedarfsanlage liefern an nutzbar zu machender Abwärme im Kühlwasser bzw. in den Auspuffgasen

etwa 720 kcal/PS_eh entsprechend etwa 1060 kcal/kWh¹
bzw. etwa 300 kcal/PS_eh entsprechend etwa 440 kcal/kWh¹
zusammen etwa 1500 kcal/kWh = 60%
dazu die in elektrische Arbeit umgesetzten 860 kcal/kWh = 34,4%

so daß sich eine Gesamtwärmeausnutzung des Treiböles von etwa 94,4% beim Dieselantrieb der Eigenbedarfsanlagen ergibt.

Bei 3000 h/Jahr liefert die Abwärmeverwertung der Dieselgeneratoren bei obigem Beispiel eine Ausbeute von etwa 11,35 Milliarden kcal, bei 4000 h/Jahr einer Ausbeute von etwa 15 Milliarden kcal, die restlos zur Vorwärmung des Kondensats der Dampfturbogeneratoren zur Verfügung stehen. Wie die folgenden Berechnungen für verschiedene Fälle nachweisen, können diese Wärmemengen leicht von dem Kondensat allein oder von dem Kondensat und dem zum Ersatz der Kondensatverluste verbrauchten Rohwasser aufgenommen, nach Bedarf gespeichert und nahezu verlustlos dem Kesselbetrieb des Kraftwerkes zugeführt werden.

Um den Wert dieser ersparten Wärmemengen ermäßigen sich die oben ermittelten Brennstoffkosten der Dieselgeneratoren, je nach dem Wärmepreis der festen Brennstoffe für den Dampfkesselbetrieb um etwa 10—20% bei Rohbraunkohlen- bzw. Steinkohlenfeuerung.

4. Einfügung der Eigenbedarfsanlagen mit dieselektrischem Betrieb in den Gesamtbetrieb. *Fall a.* Benutzt man die Gesamtmenge des umlaufenden Kondensates der Dampfturbogeneratoren zum Kühlen der Dieselmotoren, wobei es keinerlei Verschmutzung erleidet und auch nicht mit Luft oder Gasen in Berührung kommt, und danach zum Speisen der Abhitzekesselanlage, so tritt rechnerisch eine mittlere Erwärmung des Kondensates um rund 15° C bei Vollastbetrieb ein, d. h. bei Frischwasserkühlung der Oberflächenkondensation (10 bis 13° C) bei einem Kondensatordruck von etwa 0,04 ata von etwa 29° auf etwa 44° C und bei Rückkühlung des Kühlwassers (27° C) bei etwa 0,075 ata von etwa 40° C auf etwa 55° C.

¹ Nachgewiesen im Städt. E.-W. Schwerin und in verschiedenen Fabrikkraftwerken mit Dieselmotorenbetrieb.

21° C, d. h. bei obigem Beispiel auf 60,6 bzw. 71,6° C verwendet werden.

Diese Berechnungen vernachlässigen die Strahlungsverluste und beziehen sich auf den Grenzfall, daß die angegebene Installationsleistung der Eigenbedarfsanlagen bei Vollastbetrieb des Dampfkraftwerkes ebenfalls voll ausgenutzt wird. Das wird praktisch kaum vorkommen, weil die Eigenbedarfsanlagen nicht alle gleichzeitig und auch nicht mit voller Leistung beansprucht werden. Demnach wird es praktisch kaum vorkommen, daß die oben errechnete Vorwärmung des Dampfturbinenkondensates erreicht wird.

Bei Teilbelastung des Dampfkraftwerkes vermindert sich die umlaufende Kondensatmenge und ebenfalls die Leistung der Eigenbedarfsanlagen und die Abwärmemenge der Dieselgeneratoren; die letzteren Werte sinken allerdings in geringerem Grade, weil der Eigenverbrauch nicht so stark abnimmt wie die Nutzleistung und die derselben annähernd proportionale Kondensatmenge. Demnach wird bei Teilbelastung des Kraftwerkes eine höhere Erwärmung des Kondensates infolge der verhältnismäßig größeren Abwärmelieferung der Dieselgeneratoren eintreten als bei Vollast. Jedoch bleibt die Erwärmung des Kondensates innerhalb der Eigenbedarfsanlagen in leicht beherrschbaren Grenzen, welche es ermöglichen, das gesamte Speisewasser mit Anzapfdampf der Hauptturbinen stufenweise nach dem bekannten Regenerativverfahren vorzuwärmen, wie noch weiter unten näher untersucht werden soll. Dabei wird sich als ein besonderer Vorteil des dieselektrischen Antriebes der Eigenbedarfsanlagen herausstellen, daß dabei nur etwa 1500 kcal Abwärme auf 1 kWh des Eigenverbrauches vorweg zu Vorwärmzwecken zu verarbeiten sind, während beim dampfelektrischen Antrieb der Eigenbedarfsanlagen ein Vielfaches an Abwärme für denselben Eigenverbrauch in der gleichen Kondensatmenge unterzubringen ist, bevor das Regenerativverfahren zur Hebung der Wärmewirtschaftlichkeit des Hauptbetriebes eingesetzt werden kann.

Die sehr einfache und billige Abhitzekesselanlage der Dieselgeneratoren übernimmt nebenbei noch im Falle b die Rolle des neuerdings auf englischen Fahrgastdampfern¹ mit Hochdruck-Wasserrohrkesseln eingebauten Flammrohr-Zylinderkessels der bekannten Bauart, der leicht von Kesselstein und Salzen zu reinigen und unempfindlich gegen Korrosionen ist und der dazu dient, das aus der Zusatzwasseranlage kommende Speisewasser durch Verdampfung unter mittlerem Druck erst restlos zu enthärten, zu entsalzen und zu entgasen, bevor es den empfindlicheren Hochdruck-Wasserrohrkesseln zugeführt wird.

¹ Z. B. „Empress of Britain“. Auf dem neuen italienischen Schnelldampfer „Conte di Savoia“ sind 3 derartige Zylinderkessel aufgestellt.

Es bietet keinerlei Schwierigkeiten, die Abhitzekeesselanlage der Dieseleratoren so auszubilden, daß dieser Zweck bei ortsfesten Anlagen ebenso sicher erreicht wird, wie an Bord der Schiffe. Die damit angestrebte Ablenkung der durch feste, flüssige und gasförmige Verunreinigungen des Speisewassers verursachten Korrosionen von den Wasserrohrkeesseln auf die billigen und leicht auswechselbaren Bauteile der Abhitzekeesselanlage stellt zweifellos eine wünschenswerte Verbesserung der Betriebssicherheit des Großkraftwerkes dar und erspart kostspielige Ausbesserungen der bisher den Korrosionsschäden ausgesetzten hochwertigen Bauteile.

Im übrigen kann das Dampfturbinenkondensat nach der Vorwärmung in den Kühlmänteln der Dieselmotoren und nach der Weitererhitzung mit dem verdampften Zusatzspeisewasser noch mit Anzapfdampf der Hauptturbinen nach dem Regenerativverfahren weiter vorgewärmt oder unmittelbar den Rauchgasvorwärmern der Wasserrohrkeessel zugeführt werden. Es ist klar, daß das Regenerativverfahren der Speisewasservorwärmung wärmewirtschaftlich um so günstiger abschneidet, je größere Wärmemengen durch die mehrstufige Anzapfung aus dem Dampfstrom der Hauptturbinen auf das Speisewasser übertragen und damit dem Verlust im Kühlwasser des Kondensators entzogen werden. Die zur Vorwärmung des Speisewassers nutzbar gemachten Anzapfdampfmen gen werden aber um so größer, je mehr das Speisewasser bei der jeweiligen Temperatur an Wärme aufnehmen kann und je weniger Abwärme bereits vom Betrieb der Eigenbedarfsanlagen her vorweg zum Vorwärmen des Speisewassers verwendet werden muß. Deswegen erfordert der Regenerativbetrieb der Speisewasservorwärmung hochwertige Antriebsmaschinen der Eigenbedarfsanlagen, die wenig Abwärme liefern. Demnach ist der dieselelektrische Antrieb der Eigenbedarfsanlagen bei derartigen Dampfkraftwerken wegen seines höheren thermischen Wirkungsgrades grundsätzlich dem Dampfantrieb der Eigenbedarfsanlagen überlegen, weil ersterer die Vorteile des Regenerativverfahrens der Speisewasservorwärmung zur größtmöglichen Auswirkung gelangen läßt. Diesem günstigen Einfluß des dieselelektrischen Betriebes der Eigenbedarfsanlagen auf die Wärme wirtschaftlichkeit des Dampfbetriebes der Hauptanlagen steht allerdings der Mehrpreis des Treiböles im Vergleich mit der Kohle gegenüber, der jedoch keine ausschlaggebende Rolle spielt, da der Verbrauch nicht erheblich ist.

Sinngemäß trifft diese Betrachtung auch zu, wenn bei der Auslegung neuzeitlicher Dampfkraftwerke auf die Anzapfung der Hauptturbinen verzichtet und die Vorwärmung des Speisewassers mit Anzapf- oder Abdampf von Hausturbinen durchgeführt wird. Diese Hausturbinen werden dann als Anzapfturbinen mit einfacher oder mehrfacher An-

zapfung oder als Anzapf-Gegendruckturbinen oder als einfache Gegendruckturbinen gebaut und ausschließlich zur Deckung des Eigenverbrauches an elektrischer Arbeit und an Wärme zur Vorwärmung des Speisewassers und zur Aufbereitung des Zusatzwassers herangezogen. Auch diese Hausturbinen müssen aus den oben angegebenen Gründen als hochwertige und daher teure Maschinen ausgeführt werden, damit ihre Abwärme restlos und zwanglos mit der verfügbaren Speisewassermenge verarbeitet werden kann.

Auch gegenüber diesem Betriebsverfahren mit Hausturbinen sind die oben angedeuteten Vorteile der Dieselgeneratoren für denselben Zweck: Vereinfachung und Verbilligung der Eigenbedarfsanlagen und ihres Zubehöres und Vereinfachung des Gesamtbetriebes nachweisbar.

Über die beim dieselektrischen Antrieb der Eigenbedarfsanlagen zu erwartenden Mehrkosten infolge der in Deutschland sehr hohen Gasölpreise gegenüber den billigen Kohlenpreisen gibt die folgende Berechnung in großen Zügen zahlenmäßigen Aufschluß:

Bei Gasölpreisen von	110 bzw. 120 bzw. 130 RM.
für 1000 kg je nach der Frachtlage errechnen	
sich Wärmepreise von	11 bzw. 12 bzw. 13 Rpf.
für 10000 kcal und bei Steinkohlenpreisen je nach	
der Frachtlage von	20 bzw. 25 bzw. 30 RM.
für 1000 kg Wärmepreise von	2,78 bzw. 3,48 bzw. 4,17 Rpf.
für 10000 kcal bei einem Heizwert der Steinkohle von 7200 kcal/kg.	

Kosten der Brennstoffförderung innerhalb des Kraftwerkes und der hydraulischen Entaschung bei Dampfkraftwerken sind hierbei nicht berücksichtigt; sie wirken sich als ein Zuschlag von etwa 4—5% zu den Wärmepreisen der festen Brennstoffe aus.

Rechnet man mit den oben angegebenen Werten, so bewegt sich der Einfluß der hohen Wärmepreise der Eigenbedarfsanlage auf die niedrigen Brennstoffkosten der Hauptanlage in der Größenordnung von etwa 0,03 Rpf./kWh Mehrkosten gegenüber dem dampelektrischen Antrieb bei einem angenommenen Arbeitsverbrauch¹ der Eigenbedarfsanlagen von 2,5% der gesamten Stromerzeugung, auf die sich diese Mehrkosten beziehen (Fall 1). Bei einem Eigenverbrauch von 3,5% steigen diese Mehrkosten auf 0,04—0,045 Rpf./kWh (Fall 2) und bei einem Eigenverbrauch von 4,5% auf 0,05—0,06 Rpf./kWh (Fall 3). Dieser Mehr-

¹ Der Eigenverbrauch neuzeitlicher Großkraftwerke liegt tatsächlich zwischen etwa 1,5 und 5% der jährlichen Gesamterzeugung an elektrischer Arbeit, wobei die niedrigeren Werte für die sogenannten Nieder- und Mitteldruckanlagen und die höheren Werte für Hochdruckanlagen gelten. Je nach den örtlichen Betriebsverhältnissen müssen die hier ermittelten Zahlenwerte daher für bestimmte Fälle umgerechnet werden.

aufwand an Brennstoffkosten für den dieselektrischen Betrieb der Eigenbedarfsanlagen wird aber durch die angedeuteten Ersparnisse beim Betrieb der Hauptturbinen ausgeglichen, weil die günstigere Abwärmewirtschaft der Dieselgeneratoren für den Eigenbetrieb die Wärmewirtschaft der Hauptturbinen und damit deren Brennstoffkosten um meist höhere Beträge verbessert, wie noch nachzuweisen ist. Ohne hierbei auf Einzelheiten einzugehen, ergibt sich bei den obigen Beispielen die Beziehung:

$$\text{Fall 1. } \frac{X \times 2,78}{10000} = 0,03 \text{ und demnach } X = 108 \text{ kcal/kWh,}$$

$$\text{Fall 2. } \frac{X \times 3,48}{10000} = 0,04\text{--}0,045 \text{ und } X = 115\text{--}129 \text{ kcal/kWh,}$$

$$\text{Fall 3. } \frac{X \times 4,17}{10000} = 0,05\text{--}0,06 \text{ und } X = 120\text{--}144 \text{ kcal/kWh,}$$

wobei X die Wärmemenge für 1 kWh der Gesamtstromerzeugung bedeutet, die beim dieselektrischen Betrieb der Eigenbedarfsanlagen nach der Verwertung der Dieselmotorenabwärme mehr aus dem Betrieb der Hauptturbinen nutzbringend herausgeholt werden muß, als beim dampfelektrischen Betrieb oder beim unmittelbaren Dampfantrieb infolge der hierbei zu verarbeitenden Abwärmemengen und Speisewassertemperaturverhältnisse möglich ist. Offenbar wird der Mehraufwand für das Treiböl der Dieselgeneratoren ausgeglichen, wenn es gelingt, obige Forderung zu erfüllen, beispielsweise durch Anzapfung der Hauptturbinen nach dem bereits erwähnten Regenerativverfahren der Vorwärmung des Speisewassers. Rechnet man wie oben mit einem mittleren Dampfverbrauch der Hauptturbinen von 4,5 kg für eine nutzbar abgegebene kWh im Jahresdurchschnitt, so steht die gleiche Kondensatmenge zur Aufnahme der oben berechneten Wärmemengen zur Verfügung; die dabei eintretende Temperaturerhöhung beträgt im

$$\text{Fall 1: } \frac{108}{4,5} = 24^\circ \text{ C,}$$

$$\text{im Fall 2: } \frac{115}{4,5} = 25,6^\circ \text{ C bis } \frac{129}{4,5} = 28,7^\circ \text{ C}$$

$$\text{und im Fall 3: } \frac{120}{4,5} = 26,7^\circ \text{ C bis } \frac{144}{4,5} = 32^\circ \text{ C}$$

und bewegt sich also in leicht beherrschten Grenzen. In dem Wärmeschaltbild Abb. 13 ist diese Vorwärmungsstufe beispielsweise in den Hochdruckvorwärmer 15 verlegt, der das Speisewasser mit Anzapf- und Stopfbüchsenabdampf von 1,12 ata von 60,6 auf 94° C vorwärmen soll. Tatsächlich wird bei diesem Beispiel diese Endtemperatur bei dem durchgerechneten Vollastbetrieb nicht erreicht; die Mehrkosten des Dieselmotorenbetriebes der Eigenbedarfsanlagen werden also vermutlich durch

die Ersparnisse beim Dampfbetrieb der Hauptturbinen infolge der günstigeren Wärmewirtschaft des Regenerativverfahrens der Speisewasservorwärmung mehr als ausgeglichen.

Einen Überblick über die Größenanordnung der hierbei zu erwartenden Ersparnisse gibt die folgende Berechnung, die beispielsweise die Betriebsverhältnisse des Kraftwerkes „West“-Berlin (Frischdampf von 28 atü und 415° C, Vorwärmung des Speisewassers von etwa 29° nach dem einstufigen Regenerativverfahren um 65° auf 94° und weiter mit Anzapfdampf des Hausturbogenerators in zwei Stufen auf 150° C) mit denen eines gleichartigen Kraftwerkes vergleicht, dessen Eigenbedarfsanlagen mit Dieselgeneratoren nach dem oben erwähnten Fall a angetrieben werden. Dabei soll das Speisewasser erst mit der Abwärme der Dieselmotoren bei Vollast und bei dem angenommenen Arbeitsverbrauch des Eigenbedarfes um 15° auf 44° und dann nach dem mehrstufigen Regenerativverfahren mit Anzapfdampf der dafür besonders einzurichtenden Hauptturbinen weiter um 106° auf 150° C vorgewärmt werden. Statt 65 werden also 106 kcal, d. h. 63% mehr Anzapfwärme aus den Hauptturbinen auf das Speisewasser übertragen.

Ist X der Frischdampfverbrauch des Turbogenerators und Y die in den Kondensator eintretende Abdampfmenge = Kondensatmenge in kg/kWh, dann ist $X - Y = Z$ die durch das Regenerativverfahren der Speisewasservorwärmung um t ° C nutzbar gemachte und dem Verlust im Kühlwasser des Kondensators entzogene Anzapfdampfmenge. Rechnet man beispielsweise mit den oben angegebenen Betriebsmittelverhältnissen, so ist die Verdampfungswärme mit rund 750 kcal/kg und der Wärmeinhalt des Abdampfes bei normaler Dampfeuchtigkeit mit rund 550 kcal/kg anzunehmen. Dann bestehen bei vereinfachter Darstellung die folgenden Beziehungen:

1. $X \times 750 = Y \times 550$ plus $X \times t$ und
2. $(X - Y) \times 650 = X \times t$,

wobei eine verlustlose Verarbeitung des Wärmegefälles aus dem Frischdampf in elektrische Arbeit mit einem Wärmeäquivalent von 860 kcal je kWh und eine verlustlose Durchführung des Regenerativverfahrens mit einem mittleren Wärmeinhalt des stufenweise aus der Turbine entnommenen Anzapfdampfes mit rund 650 kcal/kg angenommen ist. Die Wirkungsgrade sind also vernachlässigt.

Der Wert t ist dann beispielsweise beim dampfelektrischen Antrieb der Nebenanlagen 65°, beim dieselektrischen Antrieb 106° C, wobei die von außen, d. h. durch die Abwärmeverwertung der Eigenbedarfsanlagen erzielte Vorwärmung des Speisewassers um 56 bzw. 15° C aus dem Betrieb der Hausturbo- bzw. Dieselgeneratoren nicht berücksichtigt ist.

Löst man obige Gleichungen auf, so ergibt sich

beim dampfelektrischen Eigenbetrieb mit	$t = 65$
ein Frischdampfverbrauch	$X = 4,6 \text{ kg/kWh,}$
eine Kondensatmenge	$Y = 4,15 \text{ ,,}$
und demnach eine Anzapfdampfmenge	$Z = 0,45 \text{ ,,}$
beim dieselektrischen Eigenbetrieb errechnen sich bei .	$t = 106$
ein Frischdampfverbrauch	$X = 4,69 \text{ kg/kWh,}$
eine Kondensatmenge	$Y = 3,92 \text{ ,,}$
und demnach eine Anzapfdampfmenge	$Z = 0,77 \text{ ,,}$

Als Auswirkung der größeren Aufnahmefähigkeit des Speisewassers für Anzapfwärme infolge der günstigeren Temperaturverhältnisse werden also beim dieselektrischen Eigenbetrieb $0,77$ minus $0,45 = 0,23$ kg Anzapfdampf je 1 kWh Gesamtstromerzeugung mehr auf das Speisewasser übertragen und dem Verlust im Kondensator entzogen als beim dampfelektrischen Eigenbetrieb. Die damit verbundene Wärmeersparnis von rund 150 kcal/kWh verursacht eine Senkung der Stromerzeugungskosten bei Kraftwerken mit Steinkohlenfeuerung und Wärmepreisen von

etwa $2,78$ bzw. $3,48$ bzw. $4,17 \text{ Rpf./10000 kcal}$
um etwa $0,042$ bzw. $0,052$ bzw. $0,062 \text{ Rpf./kWh}$.

Demnach bestätigt sich die oben ausgesprochene Vermutung, daß die an sich nicht sehr erheblichen Mehrkosten des Treibölverbrauches der Dieselgeneratoren des Nebenbetriebes durch die ebenfalls nicht sehr erheblichen Ersparnisse des Hauptbetriebes reichlich ausgeglichen werden.

Bei den besonders niedrigen Wärmepreisen, die bei Dampfkraftwerken mit billigen Abfallkohlen in den Steinkohlengebieten oder mit Rohbraunkohlenfeuerung vorkommen und die bei den letzteren je nach den Förderungsverhältnissen und Heizwerten der Rohbraunkohle zwischen etwa 1 und $2 \text{ Rpf./10000 kcal}$ liegen, macht sich naturgemäß der höhere Wärmepreis des Treiböles der Dieselgeneratoren ungünstiger bemerkbar und verursacht bei obigen Beispielen 1—3 eine Erhöhung der Brennstoffkosten des Dampfbetriebes um $0,055$ bis ungünstigenfalls $0,11 \text{ Rpf.}$ für 1 kWh der Stromerzeugung, also etwa doppelt so hohe Zuschläge bei Rohbraunkohlenfeuerung als bei Steinkohlenbetrieb.

Die entsprechenden Wärmemengen auf 1 kWh und Temperaturerhöhungen je 1 kg Speisewasser liegen dann im Vergleich mit den oben ermittelten Werten bei den Fällen 1—3 zwischen 366 und 570 kcal/kWh bzw. zwischen $81,5$ und 127° C und lassen sich ebenfalls ganz oder teilweise durch das Regenerativverfahren der Speisewasservorwärmung verwirklichen.

Demnach liegt das Anwendungsgebiet des dieselektrischen Antriebes der Eigenbedarfsanlagen hauptsächlich in Dampfkraftwerken mit hochwertigen Brennstoffen und mit hohen örtlichen Wärmepreisen, d. h.

mit Steinkohlenfeuerung und in zweiter Linie in Anlagen mit billigen Brennstoffen und mit niedrigen Wärmepreisen, z. B. in Kraftwerken mit Rohbraunkohlenfeuerung.

Da der Platzverbrauch der Dieselgeneratoren verhältnismäßig gering ist und da ihre Aufstellung in der vorgeschlagenen Weise kaum durch besondere Rücksichten auf die Kessel- und Maschineneinheiten, Rohrleitungen und das sonstige Zubehör der Großkraftwerke beeinflusst wird, sind keine Schwierigkeiten bei der Eingliederung der mit Dieselgeneratoren angetriebenen Eigenbedarfsanlagen zu erwarten; auch wird die Betriebsüberwachung derselben durch die Belegschaft nebenbei ohne besondere Mehrkosten durchgeführt werden können.

Zusammenfassend ist also festzustellen, daß der dieselektrische Betrieb der Eigenbedarfsanlagen bei niedrigen Anlagekosten und bei annehmbaren Betriebskosten die Frage der Abwärmeverwertung gegenüber dem dampfelektrischen Betrieb und gegenüber dem unmittelbaren Dampfantrieb der Eigenbedarfsanlagen bedeutend vereinfacht und verbilligt und außerdem besonders bei Hochdruckanlagen die Wärmewirtschaftlichkeit des Gesamtbetriebes verbessert. Dazu kommen noch betriebliche Vorteile infolge der vollkommenen Unabhängigkeit des Betriebes der Eigenbedarfsanlagen vom Betrieb der Hauptanlagen und von Störungen im Versorgungsgebiet des Kraftwerkes.

Es ist wohl bestimmt anzunehmen, daß die hiermit angestrebte Beseitigung der sogenannten „Abwärmeschere“ beim Dampfbetrieb — d. h. der gegenläufig gerichteten Auswirkung der ständig abnehmenden Tendenz des Dampfverbrauches und der entsprechenden Kondensatmenge je 1 kWh bei neuzeitlichen Dampfkraftmaschinen einerseits und der zunehmenden Tendenz des Eigenbedarfes dieser Kraftwerke und der proportional zur Verwertung anfallenden Abwärmemengen andererseits — das besondere Interesse der Fachkreise verdient, besonders wenn damit die erwünschte Vereinfachung der Kraftwerke und ihrer Nebenanlagen angebahnt werden kann. Dazu kommt vielleicht noch die Rücksicht auf die aus Nordamerika stammenden Anregungen, die Strom- und die Dampferzeuger der Großkraftwerke nicht mehr als räumlich getrennte Betriebsmittel aufzufassen, sondern die Dampfkessel zu selbständig arbeitenden „Dampferzeugungsmaschinen“ auszubilden und mit Dampfturbogeneratoren gleicher Leistung zu geschlossenen Betriebsmittelgruppen zusammenzufassen. Diese Einheiten können dann in gemeinsamen Maschinenhallen aufgestellt und durch automatische Regelung aller Betriebsvorgänge von der Brennstoffzufuhr bis zur Speisung des Netzes den Bedienungseingriffen der Belegschaft möglichst entzogen werden, wie das bei automatisch bedienten Wasserkraftwerken bereits geschieht.

Es ist wohl einleuchtend, daß die vollkommene Abtrennung der

dieselektrisch angetriebenen Eigenbedarfsanlagen von den Hauptanlagen den Entwurf derartiger „Gruppenkraftwerke“ erleichtert und Schwierigkeiten bei der Auslegung der Einzelteile leichter aus dem Wege räumen kann, als wenn die Nebenanlagen mit den Hauptgruppen in der bekannten Weise verflochten und die beiderseitigen Betriebe eng gekuppelt werden.

Die Brennstoffversorgung (vgl. hierzu S. 12).

Der Vollständigkeit wegen sei noch kurz die Brennstoffversorgung der vorgeschlagenen Dieselmotoren für den Eigenbetrieb von Dampf-großkraftwerken gestreift. Die an sich nicht sehr bedeutenden Treibölmengen für diesen Zweck können leicht außer durch eingeführtes Gasöl auch durch deutsches Gasöl zu annähernd gleichen Preisen gedeckt werden. Außerdem kann deutsches Steinkohlenteeröl für diesen Zweck verwendet werden. Demnach ist die Versorgung derartiger Dieselmotorenanlagen für den Eigenbetrieb der Großkraftwerke mit geeignetem Treiböl nach Menge und Preisstellung ebenso sichergestellt, wie die Versorgung der Hauptanlagen mit festen Brennstoffen.

Zu bedenken ist ferner, daß große Öltanks verhältnismäßig billige und mit einem Mindestmaß an Arbeitskräften bedienbare Speicher großer Wärmemengen sind, da 1 m³ Tankraum rund 875—1000 kg Gasöl bzw. Teeröl mit einem Wärmewert von 8,75—9 Millionen kcal fassen kann gegen etwa 900 kg Steinkohle von etwa 6,5 Millionen kcal eines m³ Kohlenbunkerraumes; so bietet sich die Möglichkeit, die Wasserrohrkessel des Großkraftwerkes mit Ölzusatzfeuerungen auszurüsten, um

1. plötzlich und unerwartet auftretenden Mehrbedarf an Dampf im Notfalle mit Ölfeuerung zu erzeugen (Spitzendeckung);

2. den Dampfbetrieb mit Ölfeuerung im Falle von Bergarbeiter- oder Verkehrsarbeiterstreiks oder sonstiger Störungen der Kohlenzufuhr einige Zeit aufrechtzuerhalten (Notreserve);

3. den Dampfbetrieb mit Ölfeuerung im Falle von Streiks der Kraftwerksbelegschaft mit wenigen Arbeitskräften einige Zeit aufrechtzuerhalten, da der mehr auf Menschenarbeit angewiesene Betrieb der Kohlen- und Ascheförderanlagen bei Ölfeuerung entfällt und da der Ölfeuerungsbetrieb kaum Menschenarbeit erfordert.

Im Zusammenhang mit diesen Betrachtungen über die Betriebsstoffversorgung von Dieselgeneratoren zum Antrieb der Eigenbedarfsanlagen von Großkraftwerken ist schließlich noch auf eine Reihe von besonderen Beziehungen zwischen den Betriebsausweisen bestimmter Dampfkraftwerke und Gaswerke hinzuweisen. Diese werden hiermit für 6 beliebig gewählte Wirtschaftszentren Deutschlands zusammengestellt und gelten für das Betriebsjahr 1929:

a) Elektrizitätswerke	Jahreselbsterzeugung in Millionen kWh (abgerundet)	Jahreseigenverbrauch in Millionen kWh bei			
		2,5 %	3,5 %	4,5 %	5,5 %
1. Bewag-Berlin . . .	1000	25	35	45	55
2. H. E.-W. Hamburg .	440	11	15	20	24
3. Frankfurt a. M. . .	134	3,5	4,7	6	7,4
4. Stuttgart	87	2,2	3	3,9	4,8
5. Breslau	78	2	2,7	3,5	4,3
6. Leipzig	129	3,2	4,5	5,8	7,1

bezogen auf Dampfbetrieb der Werke mit Mittel- bzw. Hochdruckbetrieb.

b) Gaswerke	Jahreserzeugung in Millionen			Mögliche Jahreserzeugung in Millionen kWh mit Teeröl-Dieselgeneratoren
	m ³ Gas	t Teer	t Teeröl	
1. Berlin	648	91000	30000	91
2. Hamburg	189	26400	8600	26,4
3. Frankfurt a. M. . .	82	11500	3830	11,5
4. Stuttgart	77	10750	3580	10,75
5. Breslau	72	10100	3365	10,1
6. Leipzig	65	9100	3030	9,1

Sämtliche Angaben sind überschlägig gerechnet und beziehen sich auf die Annahme:

a) bei den Elektrizitätswerken, daß die angegebene Stromerzeugung im Eigenbetriebe zunächst weiter mit Mitteldruck-, später allmählich mit Hochdruck-Maschineneinheiten durchgeführt wird und die angegebenen Strommengen für den Eigenverbrauch beansprucht;

b) bei den Gaswerken, daß nach den Angaben von Dr. F. A. Heydenreich: „Die deutsche Steinkohlenteerindustrie und ihre wirtschaftlichen Zusammenhänge“, Halle a. S. 1931 einer Gaserzeugung von 1 Million m³ ein Steinkohlenteeranfall von etwa 140 t entspricht und daß aus dieser Teermenge etwa 46,7 t Steinkohlenteeröl gewonnen werden, wobei mit Dieselgeneratoren aus 1000 kg Steinkohlenteeröl rund 3000 kWh erzeugt werden können.

Ein Vergleich der oben angegebenen Zahlenwerte läßt erkennen, daß der Steinkohlenteerölanteil der Teererzeugung obiger Gaswerke reichlich genügen würde, die Eigenbedarfsanlagen der Elektrizitätswerke derselben Versorgungsgebiete dieselektrisch anzutreiben. Es bleibt sogar ein Überschuß an Teeröl, der den dieselektrischen Betrieb der Nebenanlagen auch dann sicherstellt, wenn der Verbrauch an elektrischer Arbeit sich künftig vielleicht stärker entwickeln sollte als der Gasverbrauch oder wenn der Eigenverbrauch der Großkraftwerke sich durch Übergang auf den Hochdruckbetrieb allmählich vergrößern sollte.

Rechnerisch ist also offenbar die Möglichkeit vorhanden, daß die Dampfkraftwerke in manchen Versorgungsgebieten den dort vorhan-

denen Gaswerken und Kokereien den Teerölanteil der Nebenerzeugnisse ganz oder teilweise zum Betriebe dieselektrischer Nebenanlagen abnehmen können. Das würde den Kraftwerken die oben angegebenen betrieblichen Vorteile und den Gaswerken und Kokereien einen besseren Absatz der Nebenerzeugnisse sichern und damit die Interessengegensätze der Strom- und der Gasversorgung teilweise ausgleichen. Schwankungen der Erzeugung und des Verbrauches an Teeröl können dabei außer durch Speicherung auch durch die vorhandenen Organisationen für die Nebenproduktenverwertung der Gaswerks- und der Kokereiindustrie überbrückt werden.

14. Diesel-Notstromaggregate.

Neuerdings wird der schnelllaufende Dieselmotor mit bemerkenswertem Erfolg zum Antrieb von Notstromeinheiten in den Versorgungsgebieten von Großkraftwerken verwendet, um beim Ausfallen der Fernstromlieferung die lebenswichtigen Stromverbraucher — hauptsächlich die Beleuchtungsanlagen — mit Strom zu versorgen, bis die Störung behoben ist.

In Nordamerika sind derartige Anlagen in Hotels und Warenhäusern mit Gleichstromgeneratoren ausgeführt, die im Störfalle von einer Akkumulatorenbatterie gespeist werden, um den Dieselmotor von der elektrischen Seite aus anzulassen. Der Stromverbrauch soll hierzu nur etwa 25% der Nennleistung des Generators betragen.

In Deutschland sind derartige Anlagen vollautomatisch und halbautomatisch mit Drehstromgeneratoren ausgeführt, wobei im ersteren Falle die Netzspannung der Fernstromanlage herangezogen wird:

1. beim Eintreten der Störung durch ein System von Schützen und Nebenschlußreglern den Dieselmotor mittels einer Starterbatterie oder mit Druckluft (bei größeren Leistungen) anzulassen, Brennstoff- und Kühlwasserzufluß zu öffnen und den Drehstrom-Generator auf das örtliche Stromnetz zu schalten und die Spannung zu regulieren.

2. beim Ende der Störung den Dieselmotor durch Abschneiden der Brennstoffzufuhr abzustellen, das Kühlwasser abzustellen und den Generator von dem örtlichen Stromnetz abzuschalten, das dann wieder von dem Fernstromnetz gespeist wird.

Je nach den örtlichen Verhältnissen kann ein Teil dieser Schaltungen auch von Hand und nur der Rest automatisch vorgenommen werden (halbautomatische Notstromanlagen).

Bis Mitte Juli 1931 hat die MAN Augsburg 6 vollautomatische Anlagen und 13 halbautomatische Anlagen dieser Art mit Leistungen zwischen 34 und 480 PS_e an Fabriken, Bahnen, Postämter, Banken, Krankenhäuser, Bewässerungsanlagen und Plantagen, Flugplätze und Baustellen in Deutschland, Holland, Rumänien, Persien usw. geliefert.

Die Gesamtleistung der oben erwähnten vollautomatischen Anlagen beträgt 509 PS_e, der halbautomatischen Anlagen 1809 PS_e, die Gesamtleistung zusammen 2318 PS_e.

Infolge der ständigen Betriebsbereitschaft dieser Notstromaggregate dauert die Stromunterbrechung bei vollautomatischen Anlagen nur wenige Sekunden. Gegenüber Akkumulatorenbatterien weisen diese Dieselnostromaggregate erhebliche Vorteile bezüglich Anschaffungskosten, Lebensdauer, Betriebskosten, Platzverbrauch, Einfachheit der Bedienung und Zuverlässigkeit auf. Sie werden auch zum Betrieb von Pumpen für Feuerlöschzwecke verwendet.

15. Die Abwärmeverwertung bei Dieselmotoren.

An verschiedenen Stellen dieses Buches ist von der Verwertung der im Kühlwasser und in den Auspuffgasen der Dieselmotoren enthaltenen Abwärme und deren Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit des Dieselmotorenbetriebes elektrischer Generatoren die Rede gewesen. Zusammenfassend sind hierüber noch die folgenden Bemerkungen nachzutragen:

Allgemeines. Infolge des hohen thermodynamischen Wirkungsgrades der Dieselmotoren, der bei kompressorlosen Maschinen 38% erreicht und sogar überschreitet, kann die Abwärmeverwertung grundsätzlich bei Dieselmotoren nicht dieselbe große Rolle spielen wie beispielsweise bei den Viertaktgrößgasmaschinen in den Eisenhüttenbetrieben, deren wirtschaftliches Rückgrat im Wettbewerb um die günstigsten Stromerzeugungskosten gegen die neuzeitlichen Dampfturbogeneratoren und die hochofen- oder koksofengasbeheizten Hochleistungskessel die möglichst vollkommene Verwertung der Abwärme darstellt. Dabei wird nur in Einzelfällen die Kühlwasserwärme ausgenützt, bei der Mehrzahl der Großgasmaschinenanlagen dagegen nur die Wärme der Auspuffgase in meist horizontal angeordneten Feuerrohrkesseln mit vorgeschalteten Überhitzern und nachgeschalteten Speisewasservorwärmern zur Erzeugung von Dampf mittlerer Spannungen (meist 12—16 atü) und mittelhoher Temperaturen (meist 325—380° C) zum Betrieb von Dampfturbogeneratoren in gemischten Betrieben verwertet, wobei den Gasmaschinen meist die Grundlast, den mit den Abhitzekeßeln und Zusatzdampfkeßeln betriebenen Dampfturbogeneratoren möglichst die Spitzenlast der Hüttenwerksbetriebe zugewiesen wird.

Technisches. Während bei den Viertaktgrößgasmaschinen die Auspuffgase bei Vollast Temperaturen von 600° C und mehr aufweisen und daher zum Betrieb der Abhitzekeßel mit guten Wärmeübergangsziffern und mit entsprechend hohen spezifischen Dampferzeugungsleistungen je 1 m² Kesselheizfläche geeignet sind, arbeiten die kompressorlosen Viertakt Dieselmotoren je nach der Belastung nur mit Abgas-temperaturen von etwa 330—450° C und die kompressorlosen Zweitakt-

dieselmotoren infolge des Luftüberschusses der Spülung nur mit Abgastemperaturen von etwa $250\text{--}340^\circ\text{C}$, gemessen beim Eintritt in den Abwärmeverwerter und bei Belastungen zwischen Halblast und Vollast. Wegen dieser niedrigen Abgastemperaturen und wegen der verhältnismäßig geringen verwertbaren Wärmemengen muß bei Dieselmotoren kleiner und mittlerer Leistung meist auf die Verwertung der Abwärme zur Dampferzeugung überhaupt verzichtet und hauptsächlich auf die Verwertung des heißen Kühlwassers, das mit den Auspuffgasen weiter erhitzt werden kann, hingearbeitet werden. Erst bei einer Leistung der Maschineneinheiten von mindestens 150 PS_e und bei guter mittlerer Belastung kann erfahrungsgemäß die Erzeugung von Niederdruckdampf

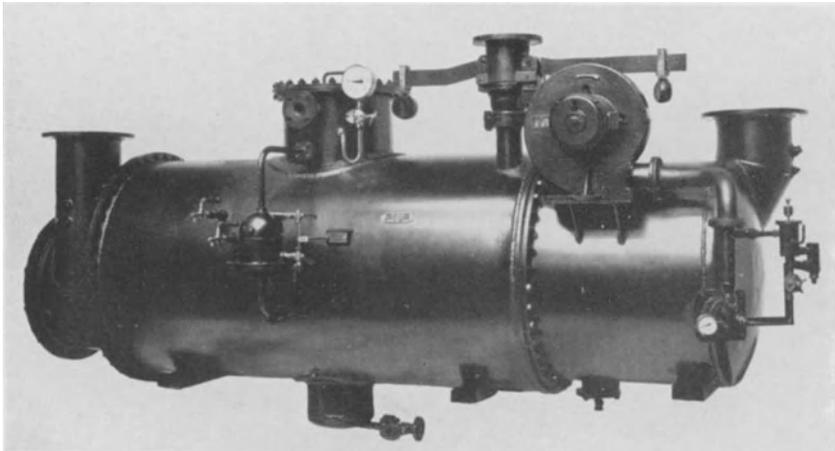


Abb. 14. Abwärme-Niederdruckdampfkessel für Dieselmotoren mit angebaute Hilfsölföuerung.

von $0,5\text{ atü}$ wirtschaftlich durchgeführt werden, und erst bei größeren Maschineneinheiten wird diese Art der Abwärmeverwertung mit Abhitze-kesseln zur Erzeugung von Nieder- und Mitteldruckdampf lohnend. Besonders auf neueren Motorschiffen werden diese mit Dampfdrücken bis zu 11 atü betrieben und mit Ölzusatzfeuerungen ausgestattet, um sie auch im Hafenbetrieb zu Heizungszwecken und zum Antrieb gewisser Hilfsmaschinen verwenden zu können, besonders für den Dynamo- und Pumpenbetrieb auf Motortankschiffen und dergleichen.

In den meisten Fällen wird bei ortsfesten Dieselmotoren das warme Kühlwasser zu Heizungs-, Bade- und Fabrikationszwecken verwendet, wobei das Kühlwasser manchmal noch ganz oder teilweise in Abwärme-kesseln weiter erhitzt wird. Im Mittel stehen bei Dieselmotoren etwa $15\text{--}18\text{ l}$ reines und durch den Betrieb nicht verschmutztes Kühlwasser je $1\text{ PS}_e\text{h}$ zur Verfügung, dessen Temperatur in den Dieselmotoren um

etwa 40° C, d. h. beispielsweise von 10 auf 50° C erhöht wird und das im Abhitzekegel bei Vollast auf etwa 67° C weiter erwärmt werden kann. Kleinere Wassermengen können entsprechend der verfügbaren Wärmemenge auf höhere Temperaturen erwärmt werden; außer Heißwasser kann ebenso günstig auch Heißluft mit den Auspuffgasen der Dieselmotoren in geeigneten Röhrenheizvorrichtungen erzeugt werden, um damit technologische Heiz- oder Trockenzwecke zu erfüllen.

Wirtschaftliches. Rechnerisch ergibt sich beispielsweise bei einem kompressorlosen Viertakt Dieselmotor von 1000 PS_e die folgende Wärmebilanz bei Vollast oder bei günstigster Abwärmeverwertung:

Gesamtwärmeverbrauch bei einem Brennstoffverbrauch von 175 g/PS_eh Gasöl von 10000 kcal/kg für 1 Vollastbetriebsstunde 1750000 kcal.

Gesamtwärmeausnutzung:

a) in mechanische Nutzarbeit umgewandelt . . .	1000 × 630 :	630 000 kcal
b) im Kühlwasser verwertbare Abwärme . .	1000 × 18 × 40 :	720 000 „
c) in den Auspuffgasen verwertbare Abwärme . .	1000 × 300 :	300 000 „
d) durch Strahlung und mit den Abgasen verlorene Abwärme.	1000 × 100 :	100 000 „
		<u>Summe 1750 000 kcal.</u>

Der hierbei erzielte günstigste thermodynamische Wirkungsgrad der Arbeits-
erzeugung und der Abwärmeverwertung beträgt $\frac{1\ 650\ 000 \times 100}{1\ 750\ 000} = 94\%$.

Im praktischen Betrieb kann natürlich nicht immer mit Vollast gearbeitet oder die zur Verfügung stehende Abwärme voll ausgenutzt werden. Tatsächlich sind aber doch bei einer Reihe von Dieselmotorenanlagen durch zuverlässige Messungen Werte der Gesamtwärmeausnutzung bis zu rund 85% im praktischen Betriebe erzielt worden. Außer den bereits früher erwähnten Fällen seien folgende Beispiele genannt:

1. Städtisches Elektrizitätswerk und Fernheizanlage Schwerin. 3 MAN-Dieselmotoren älterer Bauart (einfachwirkender Viertakt mit Luftenblasung des Brennstoffes) von 2300 PS_e Gesamtleistung mit 6 Abwärmekesseln zum Betrieb einer mit Umwälzpumpen betriebenen Fernwasserheizanlage.

Wärmebilanz bezogen auf 1 kWh.	kcal	%
a) in elektrische Arbeit umgewandelt	920	31,5
b) im Kühlwasser verwertete Abwärme.	1145	39,0
c) aus den Auspuffgasen verwertete Abwärme	412	14,0
d) verlorene Wärme der Auspuffgase	293	10,0
durch Strahlung usw.	160	5,5
Gesamtwärmeausnutzung 84,5%.	Summe 2930	100,0

2. Süddeutscher Textilbetrieb. 1 MAN-Dieselmotor älterer Bauart (doppeltwirkender Viertakt) von 1200 PS_e mit Abwärmeverwertern zur Erzeugung von Heißwasser und Heißluft.

Wärmebilanz bezogen auf 1 PS _e h.	kcal	%
a) in Nutzarbeit umgewandelt	630	31,12
b) im Kühlwasser verwertete Abwärme	825	40,76
c) in den Auspuffgasen verwertete Abwärme	260	12,9
d) verlorene Wärme	316	15,22
Gesamtwärmeausnutzung 84,78%	Summe 2031	100,0

Bei Teilbelastungen sank die Wärmeausnutzung etwas, beispielsweise bei Dreiviertellast auf 83,59% und bei Halblast auf 80,34%.

3. Kleiner Industriebetrieb. 1 kompressorloser MAN-Dieselmotor von 73 PS_e.

Wärmebilanz bezogen auf 1 PS _e h.	kcal	%
a) in Nutzarbeit umgewandelt.	630	34,0
b) in Kühlwasser verwertete Wärme.	920	50,0
c) verlorene Wärme	300	16,0
Gesamtwärmeausnutzung 84%.	Summe 1850	100,0

Die Anlagekosten der Abwärmeverwertungsanlagen von Dieselmotoren hängen natürlich von den örtlichen Verhältnissen und von den Verwendungszwecken derselben ab. Sie sind wegen der einfachen Bauart als Röhrenkessel und wegen der verhältnismäßig kleinen Abmessungen und Gewichte meist sehr niedrig und spielen gegenüber den Anlagekosten der Dieselmotoren selbst nur eine untergeordnete Rolle in der Größenordnung von wenigen Prozent. Infolge der guten Gesamtwärmeausnutzung und des meist hohen Wertes der zurückgewonnenen Abwärme ist es in den meisten Fällen möglich, die Anlagekosten der Abwärmeverwertungsanlage in wenigen Monaten, meist in 6—12 Monaten bei Dauerbetrieb mit mittlerer Belastung, durch die erzielten Wärmersparnisse herauszuwirtschaften.

Bei kurzfristigem Betrieb der Anlage, beispielsweise beim Spitzenbetrieb eines Elektrizitätswerkes oder eines Umspannwerkes kommt die Abwärmeverwertung der Dieselmotoren im allgemeinen wegen der geringen Benutzungsdauer der hierfür eingesetzten Betriebsmittel nicht in Frage, abgesehen von Ausnahmefällen, wenn beispielsweise heißes Kühlwasser an nahegelegene Dauerverbraucher wie öffentliche Badeanstalten oder dergleichen abgegeben werden kann.

III. Schlußbemerkungen.

Der Gedanke, Großdieselmotoren im Dienste der Elektrizitätswirtschaft als Spitzenmaschinen zur Hebung der Benutzungsdauer der Grundlastwerke und für Reservezwecke aufzustellen, hat in der letzten Zeit einige Fortschritte gemacht. Außer den bekannten Großanlagen Hamburg-Neuhof, Hennigsdorf und Bremen sind die folgenden — teilweise bereits erwähnten — Neuanlagen bemerkenswert:



Abb. 15. Umspannwerk Minden der Überlandzentrale Minden-Ravensberg.
 1 M.A.N.-Sechszylinder-Spitzdieselmotor von 6900 PS_e mit direktgekuppeltem S.S.W.-Drehstromgenerator.
 Bauart des Dieselmotors: Doppeltwirkender Zweitakt mit Umkehrschlitzspülung und luftloser Brennstoffeinspritzung. Drehzahl 215 in der Minute.

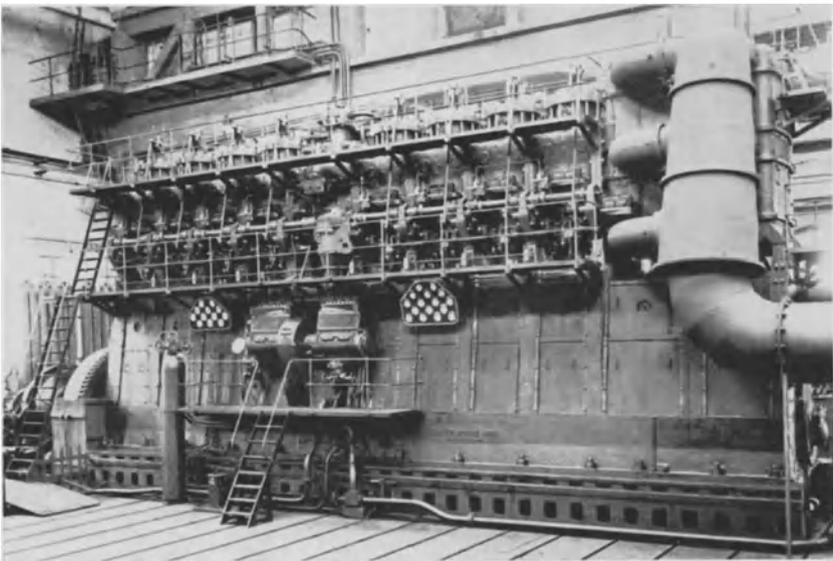


Abb. 16. Reservekraftwerk Volturmo bei Neapel
 2 M.A.N.-Dieselmotoren von je 6400 PS_e Dauerleistung auf dem Prüfstand der Baufirma: Cantieri Officine Savoia in Genua-Cornigliano.
 Bauart der Dieselmotoren; Doppeltwirkender Zweitakt mit Umkehrspülung, mit angebauten Spülgebläsen und mit Lufterblasung des Brennstoffs. Zylinderdurchmesser 600 mm, Kolbenhub 900 mm; Drehzahl 150 in der Minute.

1. E.-W. Minden-Ravensberg, Herford:
1 MAN-Dieselmotor von 6900 PS_e, $n = 215$.
2. E.-W. Volturno-Neapel:
2 MAN-Dieselmotoren von je 6400 PS_e, $n = 150$.
3. E.-W. Kopenhagen:
1 Burmeister & Wain-Dieselmotor von 18000 PS_e Dauerleistung,
22500 PS_e Spitzenleistung, $n = 115$.
4. E.-W. der City of Vernon in Californien:
5 MAN-Dieselmotoren von je 6900 PS_e, $n = 167$.
5. E.-W. Appenzell-St. Gallen:
3 Sulzermotoren von je 7400 PS_e, $n = 187$.

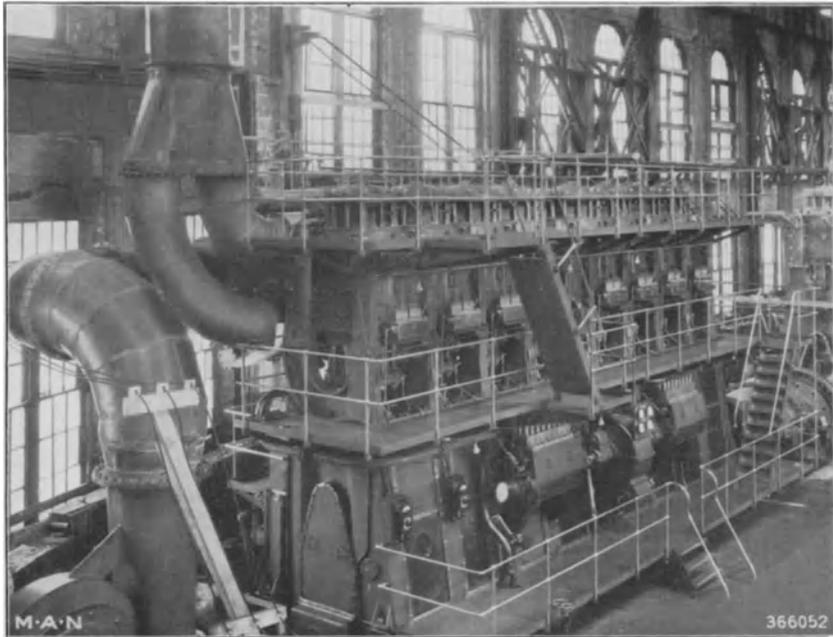


Abb. 17. Dieselmotoren-Kraftwerk der City of Vernon (Californien). 5 Achtzylinder-M.A.N.-Dieselmotoren von je 6900 PS_e Dauerleistung auf dem Prüfstand der Baufirma: The Hooven, Owens, Rentschler Co. in Hamilton/Ohio. Bauart der Dieselmotoren: Doppelwirkender Zweitakt mit Umkehrspülung mit angebauten Spülgebläsen und mit luftloser Brennstoffeinspritzung. Zylinderdurchmesser 600 mm, Kolbenhub 900 mm, 167 Umdrehungen in der Minute.

Leider ist es bisher weder in Süd- und Westdeutschland noch im rheinisch-westfälischen Industriegebiet, wo die Verhältnisse durchaus nicht ungünstig für die Aufstellung großer Dieselmotoren für Spitzen- und Reservezwecke liegen, gelungen, den Widerstand der meist auf Dampf- und Wasserkraftbetrieb mit Fernübertragung für die Grundlastherzeugung und auf Wasserpumpspeicherung für die Spitzenlastdeckung eingestellten Elektrizitätswirtschaftskreise zu überwinden und den Großdieselmotoren die ihnen gebührende Rolle bei der Stromver-

sorgung dieser Gebiete zuzuweisen. An vielen Stellen scheinen noch gänzlich unbegründete Vorurteile gegen die Großdieselmotoren vorzuherrschen, obwohl es ganz ausgeschlossen ist, mit anderen Betriebsmitteln für die Spitzendeckung gleichniedrige Anlagekosten für die Leistungseinheit und die nachweislichen Vorteile betrieblicher Art bei praktisch gleichhohen oder niedrigeren Spitzenstromerzeugungskosten zu erreichen wie mit Großdieselmotoren.

Abgesehen von dem reinen Spitzenbetrieb der Großkraftwerke haben

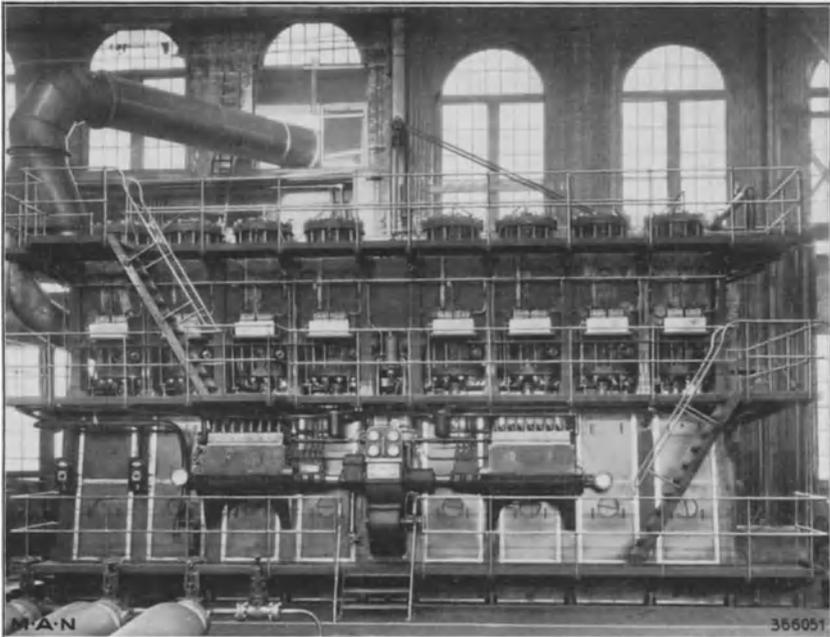


Abb. 18. Dieselmotorenkraftwerk der City of Vernon (Californien). 5 Achtzylinder-M.A.N.-Dieselmotoren von je 6900 PSe Dauerleistung auf dem Prüfstand der Baufirma: The Hooven, Owens, Rentschler Co. in Hamilton/Ohio. Bauart der Dieselmotoren: Doppelwirkender Zweitakt mit Umkehrspülung mit angebauten Spülgebläsen und mit luftloser Brennstoffeinspritzung. Zylinderdurchmesser 600 mm, Kolbenhub 900 mm, 167 Umdrehungen in der Minute.

auch die deutschen Großgaswerke und besonders der Bergbau und seine Nebenproduktenindustrie ein großes wirtschaftliches Interesse an der Einführung von Großdieselmotoren für den Steinkohlenteerölbetrieb, um dies wichtige Nebenerzeugnis der Kohlenveredelung einer wirtschaftlichen Verwertung in dem großen Maßstab der deutschen Elektrizitätswirtschaft, d. h. für die oben bereits betonte Spitzendeckung im weiteren Sinne zuzuführen. Da der Bergbau und seine Nebenbetriebe als Erzeuger der festen und flüssigen Brennstoffe auch zu den größten und wertvollsten Stromabnehmern der Elektrizitätswirtschaft gehören,

scheinen hier die tragfähigen Grundlagen einer Interessengemeinschaft zwischen Brennstoff- und Stromerzeugern und -verbrauchern gegeben. Zweifellos ist die Elektrizitätswirtschaft ebenso am Gedeihen des Bergbaues und seiner Nebenbetriebe interessiert, wie umgekehrt auch der Bergbau auf den gesicherten Absatz aller seiner Erzeugnisse — also auch des Teerölanteils der Teerdestillation — und auf eine sichere und wirtschaftliche Stromversorgung der Bergbaubetriebe bedacht sein muß. Das läßt sich sehr wahrscheinlich auf diesem wichtigen Teilgebiet der Nebenproduktenbewirtschaftung zum Nutzen beider Teile verwirklichen, wenn das bestehende Netz von Großkraftwerken, Speicherkraftwerken und Fernleitungen durch den Ausbau geeigneter Umformerwerke oder sonstiger Stützpunkte der Elektrizitätsversorgung mit leistungsfähigen Großdieselmotoren für Steinkohlenteerölbetrieb ergänzt wird. Dazu muß ein verständnisvolles und tatkräftiges Zusammenarbeiten des Bergbaues und der Elektrizitätswirtschaft auf der angedeuteten Grundlage einer Interessengemeinschaft zur bestmöglichen Verwertung der beiderseitigen Erzeugnisse durch gegenseitigen Austausch angestrebt werden, was sicherlich auf lange Sicht beiden Partnern große Vorteile bieten wird.

Anhang.

Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Spitzendieselmotoren mit Dampf- und Pumpspeicherkraftwerken.

In den letzten Jahren sind in Deutschland 5 ganz verschiedenartige Spitzenkraftwerke in Betrieb gesetzt worden, deren technische und wirtschaftliche Betriebsverhältnisse jetzt Gelegenheit zu interessanten Vergleichen geben. Es handelt sich um die Spitzenkraftwerke

Dieselmotorenkraftwerk

1. Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitätswerkes AG. Berlin (MEW) mit 2 Großdieselmotoren von je 11 700 PS_e, mit einer Gesamtleistung von 15 000 kW. Inbetriebsetzung August 1929.

Dampfspeicherwerk

2. Charlottenburg der Bewag, Berlin, mit 16 Dampfspeichern und 2 Speicherdampfturbinen von je 20 000 kW — zusammen 40 000 kW — und einem Speichervermögen von 73 000 kWh bei einer vollen Entladung. Inbetriebsetzung Oktober/November 1929.

Pumpspeicherwerke

3. Niederwartha der AG. Sächsische Werke, Dresden (ASW) mit einem Wasserspeicher von 2 000 000 m³ mit 143 m Nutzförderhöhe und

mit 4 Speicherwasserturbinen von je 18900 kW — insgesamt 75 600 kW — und mit einem Speichervermögen von 580 000 kWh bei einer vollen Entladung. Inbetriebsetzung Dezember 1929.

4. Bringhausen der Preußischen Elektrizitäts-AG. Berlin (Preag) mit einem Wasserspeicher von 760 000 m³ mit rund 300 m Nutzförderrhöhe und mit 4 Speicherwasserturbinen von je 28 750 kW — insgesamt 115 000 kW — und mit einem Speichervermögen von 500 000 kWh bei einer vollen Entladung.

5. Hengstey-Herdecke des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) Essen, mit einer Höchstleistung von 140 000 kW.

Allgemeiner Vergleich. Das Spitzendieselmotorenwerk Hennigsdorf ist eine „primäre“ Anlage mit unbegrenzter Benutzungsdauer und eigener Stromerzeugungsfähigkeit im Rahmen seiner Nennleistung und ohne Abhängigkeit von Stammkraftwerken und von mechanischen¹ oder von elektrischen² Übertragungsvorrichtungen für Dampf, Wasser oder elektrische Arbeit. Die Dieselmotoren verarbeiten nach einem nur vom Belieben der Betriebsleitung (Lastwarte) abhängigen „Belastungsfahrplan“ gespeicherten Brennstoff (Treiböl) wie jedes selbständige Wärmekraftwerk zu Primärstrom und können daher außer Spitzenlast im Bedarfsfalle auch Grundlast decken. Diese Tatsache hebt den Nutzungswert des in einem solchen Spitzendieselmotorenwerk angelegten Kapitals über den „sekundärer“ Speicherspitzenkraftwerke, wie Charlottenburg, Niederwartha und Bringhausen, deren Arbeitsverfahren durch ihre Abhängigkeit von den sie speisenden Stammwerken und von den oben erwähnten Übertragungsvorrichtungen gekennzeichnet ist. Diese Speicherkraftwerke sind zu einer eigenen, selbständigen Stromerzeugung nicht fähig, sondern sie können lediglich gespeicherten Satt-dampf bzw. mit Dampfkraft oder mit Überschußwasserkraft hochgepumptes und gespeichertes Kraftwasser in „sekundäre“ elektrische Spitzenarbeit umformen. Die Speicherleistung und die Benutzungsdauer solcher Speicherkraftwerke ist also durch deren Fassungsvermögen und den jeweiligen Ladezustand der Speicher begrenzt; ihr Betrieb kommt also nach Erschöpfung der gespeicherten Arbeit zum Erliegen und kann erst nach erneuter Aufladung wieder aufgenommen werden.

Außerdem ist der thermische Wirkungsgrad der Wärmekraftspeicherung, d. h. der Wärmeverbrauch für die gespeicherte und später an den Verbraucher der Spitzenarbeit abgelieferte Nutz-kWh nicht günstig, da ein großer Teil der in den Wärmekraftstammwerken aufgewendeten Wärme durch die Art der Umformung in elektrische Spitzenarbeit verlorengeht.

Bei der Hochwertigkeit der von ihnen erzeugten elektrischen Spitzen-

¹ Rohrleitungen und Steuerorgane.

² Hochspannungsoberleitungen, Kabel, Transformatoren und Schaltanlagen.

arbeit und bei der in Geld ausgedrückten Geringwertigkeit der von den Stammwerken verbrauchten Brennstoffe — insbesondere der mittel-deutschen Rohbraunkohle — kann dieses Verfahren der Spitzendeckung wegen der damit verbundenen Wärmeverschwendung zwar nicht als vollkommene Lösung des Spitzenkraftproblems angesehen, aber doch bei voller Anerkennung der hervorragenden technischen Leistung gebilligt werden. Eine sachliche Kritik der bisher übersehbaren Wirtschaftsverhältnisse dieser Speicherkraftwerke im Vergleich mit dem erwähnten Spitzdieselmotorenwerk wird zur Klärung dieser Fragen beitragen; die bisher bekannt gewordenen Unterlagen über die oben erwähnten Anlagen geben mit überschläglich durchgerechneten Zahlenwerten in großen Umrissen das folgende Bild:

Anlagekosten. Diese machen für die Spitzenkraftanlage selbst bei dem Dieselmotoren-, dem Dampfspeicher- und dem einen Wasserspeicherwerk ungefähr gleichviel aus und betragen etwa 185—225 RM., im Mittel etwa 200 RM. für ein installiertes kW der Nennleistung. Sinngemäß müßte bei dem Dampfspeicherwerk eigentlich ein der jährlich zur Speicherung entnommenen Dampfmenge im Verhältnis zu der Gesamtdampferzeugung entsprechender Anteil an den Anlagekosten der Dampfkessel- und Speisewasseranlage nebst Zubehör einschließlich der Kohlen- und Aschenförderanlage und des baulichen Teiles zugerechnet werden, wodurch die Anlagekosten der Dampfspeicheranlage für 1 kW sich nicht unerheblich erhöhen würden.

Die Anlagekosten der Pumpspeicherkraftwerke hängen sehr von den örtlichen Verhältnissen ab und betragen in den vorliegenden Fällen für den ersten Ausbau

des Pumpspeicherwerkes	Niederwartha	366 RM.	} für 1 kW
„ „	Bringhausen	185 „	
„ „	Hengstey-Herdecke . . .	280 „	

ohne Berücksichtigung des vorgesehenen Ausbaues und ausschließlich des Anteils der Anlagekosten der Stammkraftwerke und der Hochspannungsfernleitung zu dem Speicherwerk, der eigentlich ebenfalls hier zugeschlagen werden müßte.

Die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg-AG. (MAN), Werk Augsburg hat neuerdings auf Grund der günstigen Betriebserfahrungen mit den bisher für ortsfeste und ortsbewegliche Anlagen gelieferten Dieselmotoren des doppeltwirkenden, kompressorlosen Zweitakttyps Hennigsdorf (über 320 Zylinder bis Herbst 1930 geliefert und in Auftrag genommen) einen neuen, für den Spitzendienst besonders geeigneten Großdieselmotorentyp entwickelt, der bei gleichem Kolbenhub (900 mm) und gleicher Drehzahl (215 in der Minute) mit 12 Zylindern und mit luftloser Brennstoffeinspritzung eine Nutzleistung von 15 300 kW ergibt. Die Anlagekosten einer schlüsselfertigen Spitzenkraftanlage mit diesen

Einheiten betragen einschließlich des vollständigen elektrischen und baulichen Teiles bei normalen Bauverhältnissen, ausschließlich des Grundstückes und der Schaltanlage bei einer Nutzleistung von rund 92 000 kW nur etwa 136 RM. für 1 installiertes kW.

Dabei ist die Frachtlage West- oder Mitteleuropa und eine zweckentsprechende, einfache Bauausstattung nach den Gesamtentwürfen der MAN, Werke Augsburg und Gustavsburg vorausgesetzt. Die Gesamtanordnung ist auf der Abb. 19 dargestellt; die Wirtschaftlichkeitsverhältnisse einer solchen Anlage sind auf der Zahlentafel 11 mit den 5 oben erwähnten Spitzenkraftwerken in Vergleich gezogen, wobei diese großen Einheiten außerordentlich günstig abschneiden.

Kapitalkosten. Die Spitzendieselmotoren laufen während jeden Jahres ihrer Lebensdauer insgesamt etwa 800 Stunden, mit einer Benutzungsdauer der Vollast von höchstens etwa 300—500 Stunden und stehen die übrige Zeit betriebsbereit, aber ganz von Wärme- und Kraftspannungen entlastet und ohne Abnutzung durch mechanische oder chemische Einwirkung von Feuer, Gasen oder Flüssigkeiten im vollkommenen Ruhezustand zur Verfügung der Lastwarte, wobei nur die Druckluftbehälter zum Anfahren unter Spannung stehen.

Die Dampfspeicheranlagen sind dagegen praktisch ununterbrochen den mechanischen und chemischen Einflüssen von Dampf, Luft und Wasser und thermischen und mechanischen Spannungen, außerdem Abnutzungen durch Korrosion, Undichtigkeiten (Nieten, Stopfbüchsen, Flanschen) und dergleichen Beanspruchungen verschiedener Art ausgesetzt. Demnach werden die Spitzendieselmotoren nach Ablauf der Abschreibungsfrist so gut wie neuwertig und beliebig anderweitig verwertbar, die Dampfspeicherkraftanlagen aber mehr oder weniger durch Abnutzung entwertet sein. Das müßte eigentlich bei der Bemessung der Abschreibungen berücksichtigt werden.

Die Wasserspeicherwerke werden die längste Lebensdauer haben und daher die niedrigsten Abschreibungen erfordern; dieser Vorteil wird aber durch die manchmal höheren Anlagekosten teilweise wettgemacht. Eine Aufteilung der Kapitalkosten nach folgendem Schema dürfte wohl als angemessen anzusehen sein:

	Pump- speicherwerk	Diesel- motorenwerk	Dampf- speicherwerk
Verzinsung in %	8	8	8
Tilgung in %	2	6	9
Unterhaltung in %	1	1	1
Kapitalkosten in %	11	15	18

Tatsächlich sind aber in der vergleichenden Betriebskostenberechnung gemäß der Zahlentafel 11 durchwegs 15% Kapitalkosten und nur

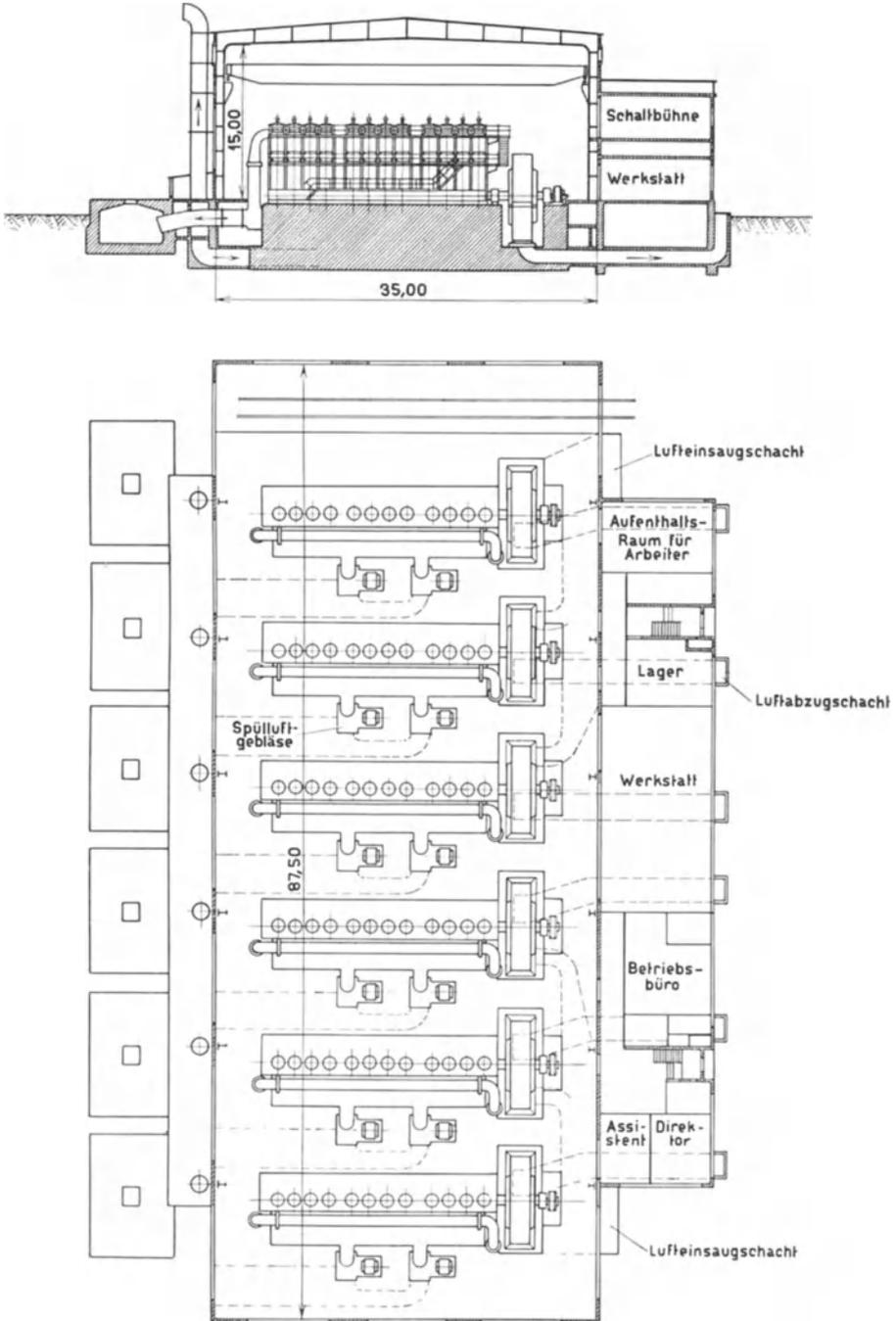


Abb. 19. Spitzdieselmotorenkraftwerk von 92000 kW Nutzleistung.

bei den Pumpspeicherwerken zum Vergleich 11 % Kapitalkosten gerechnet worden.

Wärmeverbrauch und Brennstoffkosten. Die Großdieselmotoren haben innerhalb eines großen Leistungsbereiches einen Nutzwärmeverbrauch zwischen 2460 und 2540, im Mittel rund 2500 kcal/kWh, wozu keinerlei Zuschläge für Anwärmen oder sonstige Verluste kommen. Bei einem Heizwert des Treiböles von 10 000 kcal/kg und bei Brennstoffpreisen von 120—140 RM. für 1000 kg je nach den Marktverhältnissen und der Frachtlage des Kraftwerkes errechnen sich danach die Brennstoffkosten für 1 nutzbar abgegebene Spitzen- oder Grundlastkilowattstunde zu 3—3,5 Rpf. im Jahresdurchschnitt.

Bei dem Dampfspeicherwerk ist mit einem mittleren Dampfverbrauch für eine Nutzkilowattstunde von rund 9 kg Sattdampf zu rechnen. Bei einer Verdampfungswärme von rund 635 kcal/kg und einem mittleren Kesselwirkungsgrad von rund 80% ergibt sich im Jahresdurchschnitt ein Wärmeverbrauch von etwa 5770 kcal/kWh, gemessen in Steinkohle. Bei einem Heizwert von etwa 6600 kcal/kg und einem Preis von 24—25 RM. für 1000 kg errechnen sich die Brennstoffkosten zu rund 2,1—2,2 Rpf./kWh, wozu noch je nach der Benutzungsdauer entsprechende Zuschläge für die ganzjährig auftretenden Strahlungs- und Sickerungsverluste, für Speisepumpen- und Kondensationspumpenbetrieb und für sonstige Verluste kommen. Im Jahresdurchschnitt wird daher bei etwa 180 Benutzungstagen/Jahr und der dabei höchstmöglichen Benutzungsdauer der Nennlast von 40 000 kW mit Brennstoffkosten von kaum weniger als 2,5—2,75 Rpf. für eine Nutzkilowattstunde Spitzenleistung zu rechnen sein.

Bei dem Pumpspeicherwerk wird der Gesamtwirkungsgrad der Pumpen, Wasserturbinen, Rohrleitungen und des elektrischen Teiles einschließlich der Fernleitung mit rund 50% im Jahresdurchschnitt kaum zu ungünstig anzunehmen sein, auch wenn die aufgestellten Maschineneinheiten jede für sich Rekord-Einzelwirkungsgrade¹ erreichen. Für eine sekundäre Nutzkilowattstunde Spitzenleistung sind also rund zwei primäre Kilowattstunden Grundleistung des Stammwerkes zu rechnen. Bei einem Wärmeverbrauch von rund 4500 kcal/kWh im Jahresdurchschnitt der Stammkraftwerke — besonders bei Betrieb der Kondensationsanlagen mit Rückkühlung — errechnet sich somit ein Wärmeverbrauch von rund 9000 kcal für 1 sekundäre kWh Spitzenleistung, dem beispielsweise bei einem Preis von 2,50 bis 3,37 RM. für 1000 kg Rohbraunkohle von 2000 kcal/kg Brennstoffkosten von etwa 1,1 bis 1,5 Rpf. für 1 kWh Spitzenleistung, gemessen an der Schaltanlage des Pumpspeicherwerkes, entsprechen werden, also rund die Hälfte der oben

¹ Diese betragen nach den Angaben der Escher Wyss Mitt. 1930 Heft 3 bei Vollast als günstigste Werte: (Fortsetzung S. 89).

Zahlentafel 11. Vergleichende Kennwerte von neuzeitlichen deutschen Spitzenkraftwerken.

Name des Spitzenkraftwerkes	Dieselmotorenwerk Hennigsdorf	Dampfspeicherwerk Charlottenburg	Pumpspeicherwerk Niedervartha	Pumpspeicherwerk Bringhausen	Pumpspeicherwerk Hengsvey-Herdecke	Zum Vergleich projektiertes Großdieselmotorenwerk
Besitzer	M.E.W., Berlin	Bewag, Berlin	A.S.W., Dresden	Pregag, Berlin	R.E.W., Essen	Frachtlage, Mitteldeutschland oder Süddeutschland
1. Nutzbares Nennleistung in kW . . .	2 × 7500 = 15 000	2 × 20 000 = 40 000 Höchstleistung 50 000 kW ²	4 × 18 900 = 75 600	4 × 28 750 = 115 000	4 × 35 000 = 140 000	6 × 15 300 = 92 000 kW
2. Höchstmögliche Speicherkapazität in kWh bei voller Aufladung und restloser Entladung		73 000	580 000	500 000	—	—
3. Größtmögliche Spitzenstromerzeugung in kWh						
a) bei 300 h/Jahr	4 500 000	12 000 000	22 680 000 ⁵	34 500 000	42 000 000	27 600 000
b) „ 400 „	6 000 000	13 140 000 ³	30 240 000	46 000 000	56 000 000	36 800 000
c) „ 500 „	7 500 000	bei 32 850 kW 13 140 000 ³	37 800 000	57 500 000	70 000 000	46 000 000
d) „ 180 Benetzungstagen im Jahr und jedesmaliger voller Entladung (Grenzfall)	beliebig im Rahmen der Nennleistung	13 140 000 ³	104 500 000	90 000 000	160 000 000 bei 1143 h/Jahr	beliebig im Rahmen der Nennleistung
4. Wärmeverbrauch für 1 nutzbar abgegebene Spitzen-kWh in kcal/kWh etwa	2500	5770		primär etwa 4500 sekundär „ 9000		2500
5. Thermischer Wirkungsgrad, bezogen auf 1 Nutz-kWh	34,4 %	14,9 %		sekundär „ 9,45 %		34,4 %
B. Wirtschaftliches:						
6. Anlagekosten für 1 kW der Nennleistung in RM. etwa	225,—	194,— ¹	366,— ⁴	185,— ⁴	280,—	136,—
7. Kapitalkosten in % der Anlagekosten	15 %	15 %	11 %	11 %	11 %	15 %
Kapitalkosten in Rpfl./kWh:						
a) bei 300 h/Jahr	11,25	9,7	13,4	6,8	10,27	6,8
b) „ 400 „	8,44	8,84 ⁵	10,0	5,1	7,7	5,1
c) „ 500 „	6,75	8,84 ⁵	8,0	4,1	6,16	4,1
8. Brennstoffkosten in Rpfl./kWh	3,0 bis 3,5	2,5 bis 2,75	primär 0,55 bis 0,75 sekundär 1,1 bis 1,5	4,1	primär 0,5 bis 0,6 sekundär	3,0 bis 3,5
9. Erzeugungskosten ohne Betriebsführungskosten für 1 Spitzen-kWh in Rpfl.:					0,77 bis 0,925	
a) bei 300 h/Jahr	14,25 bis 14,75	14,5 bis 14,75	14,5 bis 14,9	8,8	11,04 bis 11,20	9,8 bis 10,3
b) „ 400 „	11,44 bis 11,95	11,35 bis 11,60 ³	11,1 bis 11,5	7,1	8,47 bis 8,63	8,1 bis 8,6
c) „ 500 „	9,75 bis 10,25	11,35 bis 11,60 ³	9,1 bis 9,5	6,1	6,93 bis 7,09	7,1 bis 7,6

¹ Bezogen auf 40000 kW und ohne Anlagekostenanteil des Stammkraftwerkes gerechnet. ² Während 65 bzw. 45 Minuten durchzuhalten. ³ Höchstmögliche Benutzungsdauer der Nennleistung $\frac{13140000}{40000} = 329$ h/Jahr, Höchstleistung bei einer Benutzungsdauer derselben von 400 h/Jahr etwa 32850 kW, 500 h/Jahr etwa 26280 kW. ⁴ Ohne Anlagekostenanteil der Stammkraftwerke und ohne Berücksichtigung des vorgesehenen Ausbaues. ⁵ Nach dem Geschäftsbericht des Stadt. E.-W. Dresden hat dieses im Jahre 1930 von der A. S. W.-Dresden direkt 76,9 und mittelbar über das Pumpspeicherwerk Niedervartha 21,8 Millionen kWh bezogen und 22% des Fernbezuges von 98,7 Millionen kWh entprechend rund 22% des Fernbezuges von 171 Millionen kWh bezogen und 72,3 Millionen kWh selbst erzeugt, so daß rund 12,75% der Gesamtstrommenge von 171 Millionen kWh von Niedervartha geliefert wurden. Die dabei erzielte Benutzungsdauer der Nennleistung von Niedervartha beträgt 288 h/Jahr. ⁶ „Elektrizitätswirtschaft“, Dezember 1931, S. 722.

berechneten Brennstoffkosten des Dieselmotoren- und Dampfspeicherwerkes. Bei dem Pumpspeicherwerk Bringhausen rechnet man nur 1 Rpf. für 1 primäre kWh, beim Werk Hengstey-Herdecke sogar nur 0,5 Rpf./kWh.

Anlaufzeit und Lastaufnahme. Grundsätzlich ist es bei allen 3 Arten von Spitzenkraftanlagen in gleicher Weise möglich, die Generatoren als Phasenschieber laufen zu lassen, wobei die Kraftmaschinen entweder abgekuppelt (Dieselmotoren) oder leer mitlaufend (Freistrahlturbinen) oder mit Kühldampf beaufschlagt (Speicherdampfturbinen) von den Generatoren mitgeschleppt werden. Bei den Speicherdampfturbinen ist außer der Reibungsarbeit der Verbrauch an Kühldampf, an Sickerdampf infolge von Undichtigkeiten und an Pumparbeit der Kondensation zu rechnen. In diesem Falle erfolgt die Lastaufnahme bei Dampfspitzenkrafteinheiten automatisch und „schlagartig“ im Falle einer Störung oder eines sonstigen Bedarfes.

Wenn die Dieselmotoren aus dem betriebsfertigen Ruhezustand mit Druckluft angelassen und mit den als Phasenschieber laufenden Generatoren gekuppelt oder wenn die Einheiten der Pumpspeicheranlagen vom Pumpenbetrieb (Stromaufnahme) auf den Freistrahlturbinenbetrieb (Stromlieferung) umgeschaltet werden müssen, werden in beiden

(Fortsetzung der Fußnote auf S. 87.)

1. Transformatoren zwischen Hochspannungszuleitung und Pumpenmotoren	98%
2. Pumpenmotoren	96%
3. Speicherwasserpumpen	86%
4. Rohrleitungen zwischen dem unteren und oberen Speicherbecken bei Pumpbetrieb (Ladung)	99%
5. do. wie bei 4, bei Speicherturbinenbetrieb (Entladung).	97%
6. Speicherturbinen	89%
7. Drehstromgeneratoren	96,5%
8. Transformatoren zwischen Drehstromgeneratoren und Hochspannungsfernleitung	98%
Günstigster theoretischer Gesamtwirkungsgrad bei Vollast	64,5%

Tatsächlich arbeiten weder die Speicherpumpen noch die Speicherturbinen immer mit Vollast, weil entweder das Stammkraftwerk infolge seiner Belastungsverhältnisse nicht immer die erforderliche Überschußleistung zur Verfügung stellen kann (Ladung des Wasserspeicherbeckens) oder weil das Netz des Versorgungsgebietes nicht die volle Leistung der Speicherturbinen in Anspruch nimmt (Entladung des Wasserspeicherbeckens während der Spitzenzeit). Demnach werden die Maschineneinheiten des Pumpspeicherkraftwerkes sowie die Fernübertragung und die elektrischen Transformatoren usw. oft mit Teilbelastungen und mit wesentlich niedrigeren Wirkungsgraden arbeiten als bei Vollast. Dazu kommen noch die ganzjährig auftretenden Sickerungsverluste des Speicherbeckens und der Rohrleitungen.

Hengstey-Herdecke (gemessen): Pumpenwirkungsgrad 0,85
Gesamtwirkungsgrad 0,65

Fällen mindestens 2—3 Minuten von der Anforderung bis zum Einsetzen der Stromlieferung vergehen. Bei den Speicherdampfturbinen wird das Anlassen der Turbinen aus dem kalten Zustande und die Lastaufnahme wohl noch erheblich längere Zeit beanspruchen, wenn eine Gefährdung der Turbinen vermieden werden soll.

Als Merkmal für die Einfachheit der Bedienung einer Großdieselmotorenanlage mag die Feststellung dienen, daß zum Anlassen der beiden Einheiten des Umspannwerkes Hennigsdorf insgesamt nur einige Ventile und elektrische Schalter zu bedienen sind.

Demgegenüber sind bei einer Dampfturbine¹

von 16000 kW . . .	50 Ventile bzw.
von 20000 kW . . .	145 Ventile bzw.
von 37500 kW . . .	154 Ventile eingebaut,

von denen 30 bzw. 42 bzw. 52 zum Anfahren von Hand geöffnet und 12 bzw. 26 bzw. 27 nach dem Anfahren von Hand geschlossen werden müssen, wozu noch vielerlei Handgriffe zum Nachregulieren usw. kommen.

Platzverbrauch. Auf dem von der Speicherdampfturbinenanlage Charlottenburg eingenommenen Platz läßt sich ohne Schwierigkeiten mindestens die doppelte Leistung mit Dieselmotoreinheiten von je 15300 kW mit 12 Zylindern und 215 Umdrehungen/Minute unterbringen, wobei auch noch reichlich bemessene Brennstofftanks Platz finden.

Der Platzverbrauch einer Pumpspeicheranlage läßt sich hiermit nicht vergleichen; auch hängt die Baumöglichkeit solcher Anlagen von dem Vorhandensein geeigneter Geländeverhältnisse ab.

Wie die in großen Banken, Warenhäusern und auch auf Schiffen eingebauten Dieselmotorenanlagen beweisen, lassen sich diese in engen Maschinenräumen einbauen und betreiben, ohne daß auch bei großen Leistungen unzulässige Störungen der Umgegend durch Erschütterungen, Geräusche oder Geruchsbelästigungen zu befürchten sind. Demnach lassen sich Spitzendieselmotoren in den Schwerpunkten der industriellen Versorgungsgebiete — am besten in Verbindung mit Umspannwerken oder dergleichen — vorteilhaft unterbringen, womit auch noch erhebliche Ersparnisse an Kabelkosten erzielt werden können.

Das ist bei Speicherdampfanlagen wegen der Kesselabgase und wegen des über zehnmal größeren Kühlwasserverbrauches meist überhaupt nicht oder nur bei günstigen Lageverhältnissen (Charlottenburg) möglich und scheidet bei Pumpspeicheranlagen ganz aus.

Schlußfolgerungen. Alles in allem genommen beweisen die obigen Ausführungen und die in der Zahlentafel übersichtlich zusammengefaßte Gegenüberstellung der wesentlichen Kennwerte, daß die Großdiesel-

¹ Vortrag Dr. Peucker, Sektion 7, Nr. 17 der II. Weltkraftkonferenz Berlin 1930.

motoren den Dampf- und Wasserspeicherkraftwerken für Spitzendeckung technisch und wirtschaftlich mindestens gleichwertig, in vielen Fällen sogar weit überlegen sind, da

1. die Anlagekosten der Dieselmotoren für 1 installiertes kW meist gleich hoch, bei großen Einheiten erheblich niedriger ausfallen.

2. die Betriebskosten, auf die es bei dem kleinen Anteil der Spitzenarbeit an der Gesamtstromerzeugung allerdings nicht besonders ankommt, meist annähernd gleichhoch, in vielen Fällen und besonders bei großen Dieselmotoreinheiten erheblich niedriger auskommen als bei Speicherkraftwerken.

Rechnet man dazu die bekannten betrieblichen Vorteile der Dieselmotoren, beonders

3. die sofortige Betriebsbereitschaft ohne Brennstoffverbrauch und ohne Abnutzung im betriebsfertigen Ruhezustand und

4. die Freizügigkeit im Versorgungsgebiet ohne Hemmung durch Schwierigkeiten des Kesselbetriebes und der Kühlwasserbeschaffung der Dampfanlagen, dazu

5. die Senkung der Verteilungskosten durch Hebung der Benutzungsdauer des Kabelnetzes,

so erkennt man wohl einwandfrei die Überlegenheit der Großdieselmotoren für die Zwecke der Spitzendeckung unserer Elektrizitätswirtschaft gegenüber den Speicherkraftwerken, wenn auch deren günstige Einwirkung auf die Belastungsverhältnisse der zugehörigen Stammkraftwerke durch Ausfüllung der Belastungstäler und durch bessere Ausnutzung der Betriebsmittel durchaus nicht verkannt werden soll.

Außerdem geht nebenbei aus den Berechnungen hervor, daß beispielsweise das Dampfspeicherwerk Charlottenburg nur bis zu einer Benutzungsdauer der Nennleistung von

$$\frac{13\,140\,000}{40\,000} = 329 \text{ h/Jahr}$$

ausgenutzt werden kann, weil die Speicherfähigkeit der Dampfspeicher damit erschöpft ist. Bei 400 bzw. 500 h/Jahr Benutzungsdauer muß die Höchstlast auf 32850 bzw. 26280 kW herabgesetzt werden. Da bei den deutschen Klima- und Belastungsverhältnissen jährlich nur etwa 180 Werkstage im Winter und in der Übergangszeit als Benutzungstage in Frage kommen, während an den Feiertagen und im Sommer meist keine Spitzen auftreten, errechnet sich hieraus eine höchstmögliche tägliche Benutzungsdauer der Nennleistung von nur $\frac{329}{180} = 1,83 \text{ h}$.

Demgegenüber hat der Spitzendieselmotor des Kraftwerkes Hamburg-Neuhof der Hamburgischen Elektrizitätswerke AG. bereits im zweiten Betriebsjahr (1928) eine tatsächliche Benutzungsdauer der Höchstlast

von 320 h/Jahr und im 3. Betriebsjahr (1929) von fast 416 h/Jahr erreicht, entsprechend 1,775 bzw. 2,19 h/Tag.

Bei der steten Zunahme des Lichtverbrauches der Großstädte ist eine Erhöhung der Lichtspitze und auch wohl eine Steigerung der Benutzungsdauer der Höchstlast dieser Lichtspitze — allerdings wohl kaum über 500 h/Jahr — zu erwarten, zu deren Deckung die Spitzeneinheiten voraussichtlich mehr und mehr herangezogen werden müssen.

Großdieselmotoren sind besonders geeignet, sich diesen Bedürfnissen des Versorgungsgebietes anzupassen und sollten daher viel mehr als es bisher geschehen ist, für den Spitzen- und Reservedienst der Elektrizitätswirtschaft herangezogen werden.

***Kompressorlose Dieselmotoren und Semidieselmotoren.** Von M. Seiliger, Ingenieur-Technolog. Mit 340 Abbildungen und 50 Zahlentafeln im Text. VI, 296 Seiten. 1929. Gebunden RM 37.50

***Die Hochleistungs-Dieselmotoren.** Von M. Seiliger, Ingenieur-Technolog. Mit 196 Abbildungen und 43 Zahlentafeln im Text. VI, 240 Seiten. 1926. RM 17.40; gebunden RM 18.90

***Der Bau des Dieselmotors.** Von Professor Kamillo Körner, Ingenieur, Prag. Zweite, wesentlich vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 744 Abbildungen im Text und auf 8 Tafeln. VI, 531 Seiten. 1927. Gebunden RM 73.50

Schnellaufende Verbrennungsmotoren. Von Harry R. Ricardo. Zweite, verbesserte Auflage übersetzt und bearbeitet von Dr. A. Werner und Dipl.-Ing. P. Friedmann. Mit 347 Textabbildungen. VIII, 447 Seiten. 1932. Gebunden RM 30.—

***Der Verbrennungsvorgang im Gas- und Vergaser-Motor.** Versuch einer rechnerischen Erfassung der einzelnen Einflüsse und ihres Zusammenwirkens. Von Dr.-Ing. Wilhelm Endres. Mit 29 Textabbildungen. V, 80 Seiten. 1928. RM 6.80

***Rationeller Dieselmotoren-Betrieb.** Anleitung für Betrieb, Instandhaltung und Reparatur ortfester Viertakt-Dieselmotoren. Von Josef Schwarzböck. Mit 62 Abbildungen im Text. VI, 143 Seiten. 1927. RM 8.—; gebunden RM 9.—

***Kompressorlose Dieselmotoren.** (Druckeinspritzmaschinen.) Ein Lehrbuch für Studierende. Von Dr.-Ing. Friedrich Sass, Oberingenieur der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Privatdozent an der Technischen Hochschule Berlin. Mit 328 Textabbildungen. VII, 395 Seiten. 1929. Gebunden RM 52.—

***Schnellaufende Dieselmotoren.** Beschreibungen, Erfahrungen, Berechnung, Konstruktion und Betrieb. Von Professor Dr.-Ing. O. Föppl, Marinebaurat a. D., Braunschweig, Dr.-Ing. H. Strombeck, Oberingenieur, Leunawerke, und Professor Dr. techn. L. Ebermann, Lemberg. Vierte, neubearbeitete Auflage. Mit 143 Textabbildungen und 9 Tafeln, darunter Zusammenstellungen von Maschinen von AEG, Benz, Českomoravská-Kolben-Daněk A.-G., Daimler, Deutz, Germania-werft, Körting, L. Lang und MAN Augsburg. VI, 237 Seiten. 1929. Gebunden RM 16.50

*Auf alle vor dem 1. Juli 1931 erschienenen Bücher wird ein Notnachlaß von 10%o gewährt.