

ergibt sich jeweils aus der Bremsbelastung  $P$ , dem Hebelarm der Bremse  $R$  und der Tourenzahl  $n$  nach Formel (7), S. 154 zu:

$$N_e = \frac{P \cdot R \cdot n}{716,200} = \frac{P \cdot 2,400 \cdot n}{716,200} = 0,00335 \cdot P \cdot n.$$

Bremsprobe mit Leuchtgas.

	Touren	$R$ m	$P$ kg	$PS_e$	Gasverbrauch pro Stunde cbm	Gasverbrauch pro Stunde und $PS_e$ Liter
Größte Leistung .	130	2,400	261,6	114,0	58,02	509,0
Normale Leistung .	130	2,400	230,0	100,0	53,16	531,6
Halbe Leistung .	132	2,400	130,1	75,5	38,04	661,6
Leergang . . . .	134	—	—	—	18,24	—

Gasdruck: 110 mm Wassersäule, Gastemperatur: 20° C, Luftdruck: 755 mm.

Bremsprobe mit Kraftgas.

	Touren	$R$ m	$P$ kg	$PS_e$	Gasverbrauch pro Stunde cbm	Gasverbrauch pro Stunde und $PS_e$ Liter
Größte Leistung .	130	2,400	261,7	114,0	216	1900
Normale Leistung .	131	2,400	230,5	101,0	195	1930
Halbe Leistung .	134	2,400	130,9	58,8	150	2550
Leerlauf . . . .	136	—	—	—	66	—

Gasdruck: 100 mm Wassersäule, Gastemperatur: 20° C, Luftdruck: 749 mm.

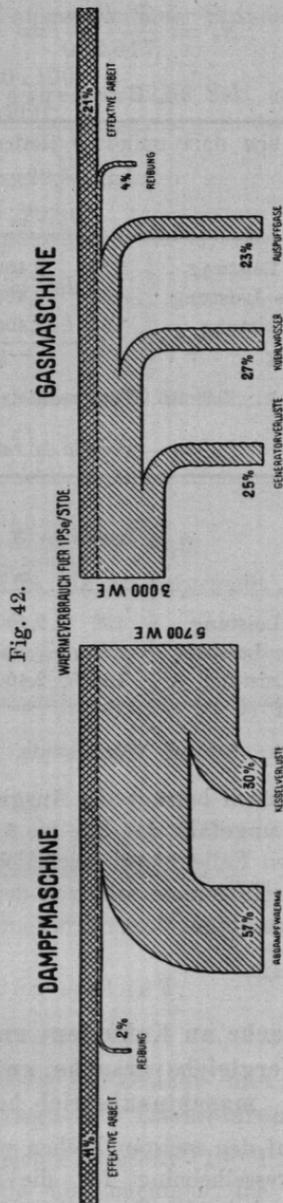
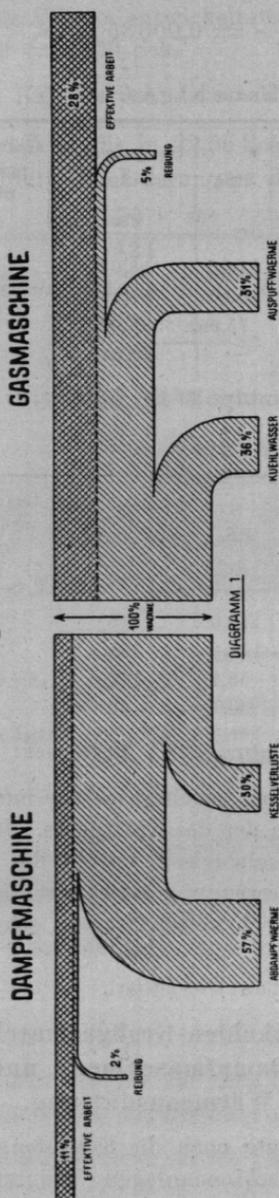
Danach beträgt die Ausgiebigkeit des Leuchtgases für motorische Zwecke ungefähr das 3,5- bis 4fache von der des Kraftgases. In jedem einzelnen Falle hängt natürlich die Ausgiebigkeit sowohl des Leucht- wie des Kraftgases sehr von der zur Gaserzeugung verwandten Kohle ab und wird obiges Verhältnis somit in ziemlich weiten Grenzen schwanken.

Fünftes und sechstes Beispiel.

**Versuche an Koksofen- und Braunkohlen-Großgasmaschinen und Vergleichsversuche zwischen Dampfmaschinen- und Gasmaschinenbetrieb bezüglich Wärmeausnutzung.**

Auf den meisten Zechen werden heute noch die Koksofengase zur Dampfkesselheizung für die Dampfmaschinenanlagen benutzt. Der Wärmegehalt der Gase wird hierbei nur wenig ausgenutzt, da selbst bei gut ausgeführten Dampfanlagen nur etwa 16 Proz. des Heizwertes der Gase in mechanischer Arbeit gewonnen werden, während bei einer erstklassigen Gasmaschinenanlage etwa 29 Proz. des Heizwertes der Gase ausgenutzt werden.

Eine vergleichende Betrachtung zwischen Dampfmaschine und Gasmaschine bezüglich der Wärmeausnutzung bei gasförmigem Brenn-

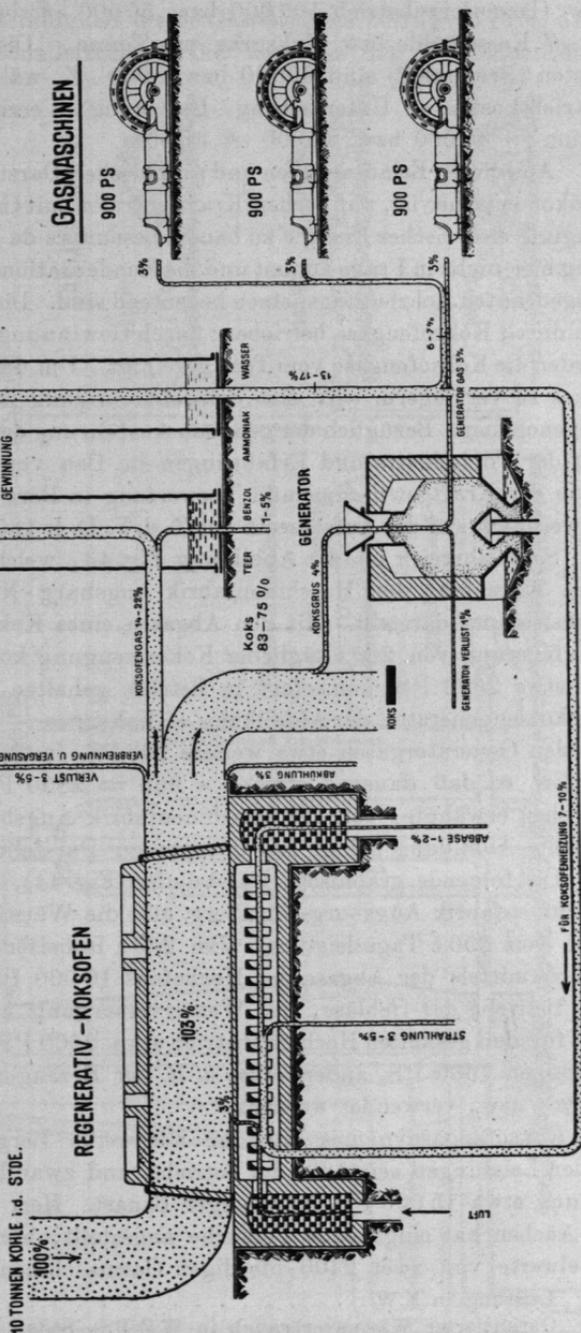


material bzw. des spezifischen Wärmeverbrauchs bei festem Brennmaterial ergeben die von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg angestellten Versuche und gegebenen graphischen Darstellungen, welche ich nachfolgend wiedergebe (Fig. 41 und 42). Bei einer Roheisenherstellung von

Fig. 43.

# WÄRMEBILANZ EINES KOKSOFENS

VON 200 TONNEN TAGESLEISTUNG



täglich 250 t werden Abgase für 4000 bzw. 10 000 PS<sub>e</sub> mit Dampfmaschinen- bzw. Gasmaschinenbetrieb geliefert. Die Jahreskosten von 1000 PS<sub>e</sub> bei 7200 Betriebsstunden betragen bei Dampfmaschinenbetrieb

bzw. Gasmotorenbetrieb 109 000 bzw. 50 000  $\mathcal{M}$  bei einem Preise von 12  $\mathcal{M}$  Kesselkohle bzw. Koksgrus pro Tonne. Die direkten Betriebskosten (Brennstoff) sind 69 000 bzw. 8000  $\mathcal{M}$ , während die indirekten Betriebskosten — Unterhaltung, Bedienung, Verzinsung und Amortisation — 40 000 bzw. 42 000  $\mathcal{M}$  ergeben.

Aus diesen Erläuterungen und graphischen Darstellungen erhellt, daß es ökonomischer ist, auf Zechen Kraftzentralen mit Gasmaschinen zur Erzeugung elektrischer Energie zu bauen, besonders da die Abdampfverwertung hier nicht in Frage kommt und die Kondensationsverluste in den sehr ausgedehnten Rohrleitungsnetzen bedeutend sind. Die Gasmaschinen werden durch Koksofengase betrieben; durch Gewinnung der Nebenprodukte werden die Koksofengase vom Teer gereinigt. Um den Schwefelgehalt des Gases zu verringern, wird eine Schwefelreinigung mittels Raseneisenerz vorgenommen. Bezüglich der genauen Ausführung der Großgasmaschinen und der Fortschritte und Erfahrungen im Bau von Großgasmaschinen, sowie der Kraftgewinnung und Verwertung in Berg- und Hüttenwerken verweise ich auf die Aufsätze in der Z. d. V. D. I. 1905, 1906 und 1908.

Sehr lehrreich ist die Abbildung Fig. 43, welche die Wärmebilanz eines Koksofens der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg von 200 t Tagesleistung darstellt. Mit den Abgasen eines Koksofens mit Regenerativfeuerung von 200 t täglicher Kokserzeugung können Gasmaschinen von etwa 2000 PS<sub>e</sub> immerfort in Betrieb gehalten werden. Wird im Feinkohlengenerator der Abfallkoks — Koksgrus — vergast, so können mit den Generatorgasen etwa weitere 950 PS<sub>e</sub> in Gasmaschinen erzeugt werden, so daß dauernd etwa  $3 \times 950 = 2850$  PS<sub>e</sub> disponibel sind. Die eben erwähnte, von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg hergestellte Abbildung bringt das Gesagte zur Darstellung.

Die folgende graphische Darstellung (Fig. 44), hergestellt von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, gibt die Wärmebilanz eines Hochofens von 250 t Tagesleistung. Bei 250 t Roheisenerzeugung pro Tag sind vermittle der Abgase des Hochofens 10 000 PS<sub>e</sub> zu erzielen. Da zum Betriebe der Gebläse, der Wasserversorgung und zum Transport, d. h. für den gesamten Hochofenbetrieb etwa 2500 PS<sub>e</sub> erforderlich sind, so können 7500 PS<sub>e</sub> anderweitig, z. B. zur Erzeugung der elektrischen Energie usw., verwendet werden.

Koksofengasdynamos sind im Eschweiler Bergwerksbetriebe mit großen Leistungen seit 1904 im Betriebe, und zwar beträgt die Gesamtleistung etwa 15 000 PS<sub>e</sub> Nürnberger Bauart. Herr Professor Langer aus Aachen hat eingehende Versuche angestellt, und ergeben sich als Mittelwerte von zwei 2400-pferdigen Gasmaschinen folgende Zahlen:

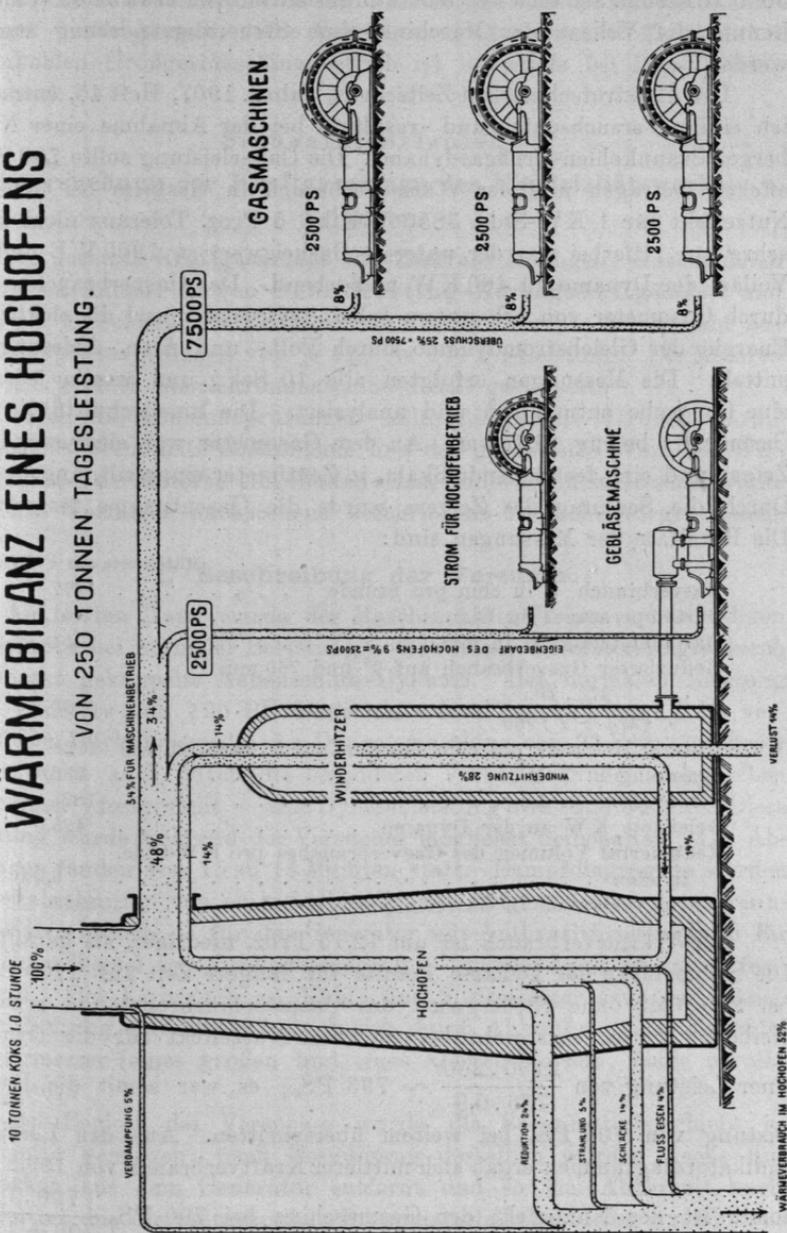
Leistung in KW . . . . .	1542
Garantierter Wärmeverbrauch in WE/PS <sub>i</sub> -Stde. . . . .	2000
Tatsächlicher Wärmeverbrauch in WE/PS <sub>i</sub> -Stde. . . . .	1736,5
Garantierter Gesamtwirkungsgrad bei $\eta = 0,945$ für die	
Dynamo . . . . .	0,794
Erzielter Wirkungsgrad bei Vollast . . . . .	0,850

Die Überlastungsfähigkeit dieser Gasmaschine betrug 16 Proz. über die garantierte Maximalleistung. Die Versuche des Parallelbetriebes

# WÄRMEBILANZ EINES HOCHOFENS

VON 250 TONNEN TAGESLEISTUNG.

Fig. 44.



der einzelnen Gasmaschinen untereinander bei verschiedenen Belastungen verliefen sehr zur Zufriedenheit. Auch ergaben die Prüfungen, daß die für Koksofengas gebauten Maschinen auch mit Koksgeneratorgas

betrieben werden konnten; hierbei brauchte keine Änderung der Steuerung vorgenommen zu werden. Sowohl bei Koksofengas- von etwa 3500 WE/cbm, als auch bei Generatorgasbetrieb von etwa 1000 WE/cbm konnte die Vollast der Maschine ohne Steuerungsänderung erreicht werden.

Der Elektrotechnischen Zeitschrift, Jahrg. 1907, Heft 45, entnehme ich einige Versuchsdaten und -resultate bei der Abnahme einer Nürnberger Braunkohlen-Großgasdynamo. Die Dauerleistung sollte 700 Pferd effektiv betragen und der Wärmeverbrauch in Gasform bei 90 Proz. Nutzeffekt für 1 KW-Stde. 3850 WE bei 5 Proz. Toleranz nicht überschreiten. Hierbei war der unterste Gasheizwert zu 1200 WE und die Vollast der Dynamo zu 460 KW maßgebend. Der Gasverbrauch wurde durch Gasometer von bekanntem Inhalt festgestellt und die elektrische Energie der Gleichstromdynamo durch Volt- und Amp.-Ableseung ermittelt. Die Messungen erfolgten alle 10 Sek., und wurde jedesmal eine Gasprobe entnommen und analysiert. Die Innenschnittfläche des Gasometers betrug 19,75 qm. An dem Gasometer war ein beweglicher Zeiger und eine feststehende Skala, in Zentimeter eingeteilt, angebracht. Durch die Senkung des Zeigers wurde die Gasentnahme festgestellt. Die Resultate der Messungen sind:

	Mittelwerte aus 4 Versuchen
Gasverbrauch $V$ in cbm pro Stunde . . . . .	1477
Gastemperatur $T$ in $C^0$ . . . . .	41,1
Barometerstand $B$ in mm . . . . .	751
Reduzierter Gasverbrauch auf $0^0$ und 760 mm	
$= V \cdot \frac{273 \cdot B}{(273 + T) 760}$ in cbm pro Stunde . . . . .	1283
Unterer Heizwert pro cbm bezogen auf $0^0$ und 760 mm	1128
Spannung in Volt . . . . .	238,4
Stromstärke in Amp. . . . .	1821
Geleistete KW an der Dynamo . . . . .	425,0
Reduziertes Volumen des Gasverbrauches pro KW-Stde.	
in cbm . . . . .	3,00
Wärmeverbrauch in Gasform pro KW-Stde. . . . .	3383

Der Wärmeverbrauch ist um 12,15 Proz. niedriger, als garantiert. Die Stromstärke der Dynamo konnte für längere Zeit auf 2100 Amp. bei 250 Volt ohne Niedergehen des Gasmaschinenregulators erhalten bleiben. Dieses entspricht bei 90 Proz. Nutzeffekt für die Dynamo einer Leistung von  $\frac{2100 \cdot 250}{736 \cdot 0,9} \sim 793 \text{ PS}_e$ ; es war somit die Dauerleistung von 700  $\text{PS}_e$  bei weitem überschritten. Aus den Leerlauf-Indikator diagrammen ergab sich mittlerer Kraftverbrauch von 199,5  $\text{PS}_e$ , somit ist der Nutzeffekt der Gasmaschine bei 700  $\text{PS}_e$   $\frac{700 \cdot 100}{700 + 199,5} = 78$  Proz. Bei einem Nutzeffekt der Generatoren von 75 Proz. und einem mittleren Heizwerte der Braunkohlenbriketts von 5000 WE pro Kilogramm entspricht bei dem ermittelten Wärmeverbrauche von 3385 WE

pro Kilowattstunde ein Brikettverbrauch von 0,9 kg pro Kilowattstunde. Der Brikettpreis betrug 9,50 *M* pro Tonne auf dem Werke Lauchhammer, woselbst die Gasmaschine in Betrieb war, so daß sich die Kilowattstunde nur auf 0,855  $\text{₰}$  stellt. Die Verringerung der Brennstoffkosten bei Braunkohlen-Großgasmaschinenbetrieb ist besonders bei Dauerbetrieb bedeutend.

### Siebentes Beispiel.

## Untersuchung der Kraftgasanlage des Elektrizitätswerkes Erlangen.

Die gesamte Kraftgasanlage der Zentrale Erlangen, einschließlich der Gasmaschinen, ist von Gebr. Körting-Körtingsdorf geliefert und dient als ausschließliche Betriebskraft für das Werk. Sie besteht aus zwei kompletten Anlagen von je 125 bis 140 PS-Leistung. Die Motoren sind mit je einer Gleichstrommaschine direkt gekuppelt.

Durch die Abnahmeprüfungen sollte festgestellt werden, ob die garantierte Brennmaterialökonomie und der garantierte Wert des Wirkungsgrades der Motoren eingehalten seien, und wurden zu diesem Zwecke von dem Verfasser nachstehend beschriebene Versuche vorgenommen.

### I. Beschreibung der Versuche.

Am ersten Tage wurde der Maschinensatz I einer achtstündigen Dauerprobe bei normaler Belastung unterworfen; dieselbe erfolgte durch die direkt gekuppelte Nebenschluß-Dynamo. Der normalen Leistung des Gasmotors von 125 PS entspricht unter Zugrundelegung des vertraglichen Wirkungsgrades der Dynamomaschine von 91 Proz. — dieser Wert wurde auch durch die besonderen Versuche an den elektrischen Maschinen<sup>1)</sup> festgestellt — eine Dynamoleistung von rund 84 KW. Diese Leistung wurde während des Versuches möglichst beibehalten. Die Ablesungen fanden von 15 zu 15 Minuten statt. Dampfdiagramme wurden in Zeitabschnitten von einer halben Stunde aufgenommen. Der Brennmaterialverbrauch — für den Generator mit Anthrazitfeuerung und für den Dampfkessel mit Gaskoksfeuerung — wurde durch Wägung festgestellt. Der Verbrauch an Kühl- und Speisewasser (aus der städtischen Leitung entnommen) ergab sich durch Ablesung zweier geeichter Wassermesser (eines großen und eines kleinen Messers, beide parallel geschaltet).

Bei Beginn des Versuches wurde die Brennmaterialschicht im Generator gemessen; nach Beendigung desselben wurden Asche und Schlacken aus dem Generator entfernt und so viel Anthrazit nachgeschüttet, bis die ursprüngliche Brennmaterialhöhe wieder erreicht war.

Vor dem Beginn des Versuches war der Motor zwei Stunden im Betriebe gewesen, davon die letzte Stunde bei Normalbelastung.

<sup>1)</sup> Siehe auch Kapitel L, viertes Beispiel.