

Tabelle 1:

Die 3 Grundarten der motorischen Verbrennung.

	Ottomotor	Dieselmotor	Glühkopfmotor
Übliche Verdichtungsverhältnisse	3 - 13	12 - 20	5 - 10
Verdichtungssteigerung bringt	Klopfen	weicheren Gang	Klopfen
Temperatursteigerung bringt	Klopfen	weicheren Gang	Klopfen
Ueberlast bringt	Klopfen	weichen Gang	Klopfen
Leerlauf bringt	weichen Gang	Klopfen	weichen Gang
Klopfen tritt ein am	Ende d. Verbrennung	Anfang d. Verbrennung	Ende der Verbrennung
Unvollständige Verbrennung führt zu	Kohlenoxyd	Russ	Qualm
Das Redoxverhältnis im Brennraum ist bei Vollast	etwa neutral und bleibt unverändert	stark oxydierend u. wird im Laufe der Verbrennung weniger stark oxydierend. (Auch bei Ueberlast Sauerstoffüberschuss)	stark reduziert u. wird im Laufe d. Verbrennung weniger stark reduziert. (Auch bei Ueberlast Sauerstoffüberschuss oxydierend)
Bei Teilleistungen und Leerlauf	Redoxverhältnis unverändert annähernd neutral	stark oxydierend *)	
Zündung	örtlich an einer od. mehreren Stellen (durch Funken od. Glühstelle)	ausgehend von der Einspritzdüse nach Ueberwindung des Zündverzugs.	Im Glühkopf durch Zusammentreffen von Luft m. Kraftstoff-Crackprodukten bei genügender Temperatur (Wie weit an einer Stelle d. heißen Wand u. wie weit i. d. Gasphase, ist noch nicht erforscht)
Theoretischer Verbrennungslauf	wandernde Flammenwand	Erfassen der Luftladung durch den Strahl von Kraftstofftröpfchen	Verwirbeln von Luft mit Kraftstoffdampf und Kraftstoffnebel
Im Grenzfall angestrebter Verbrennungsablauf	zeitlose Gleichraumverbrennung	Gleichdruckverbrennung nach dem Einspritzdüsen-gesetz	theoretisch unbekannt, -praktisch Otto-ähnlich
Verbrennungsprodukte	farblos, geringer Geruch, oft CO, kein Russ	Neigung zu Russbildung, starker Geruch, kein CO	Neigung zu Qualm, starker Geruch, CO-Bildung
besondere Eignung	hohe Hubraumleistung, kleines Leistungsgewicht,	niedriger Verbrauch, geringe Feuergefährlichkeit	Kraftstoffgleichgültigkeit, Unempfindlichkeit

\*) Bei dem pneumatischen Bosch-Mercedes-Regler ist wegen Drosselung der Luft bei Teilleistung und Leerlauf der Luftüberschuss kleiner und konstanter.

Es ergibt sich zwingend, dass es nicht nur die heute allgemein anerkannten zwei Arten der motorischen Verbrennung (nach Otto und nach Diesel) gibt, sondern dass man die Luftpfeinblasung (durch den Arbeitskolben) in einen Ueberschuss von Kraftstoff, - (Sprühnebel und Dampf, welcher durch Wärmezersetzung im Schutze verbrannter Gase des in den heissen Zündkopf voreingespritzten Kraftstoffs entsteht) ebenfalls als selbständige Art der motorischen Verbrennung anerkennen muss, weil sie ganz andere Eigenschaften hat, als die beiden anderen Arten der motorischen Verbrennung.<sup>1)</sup> Diese Einsicht wird dazu führen, dieser bisher wenig erforschten Art der motorischen Verbrennung Aufmerksamkeit zu schenken, was zu entsprechenden praktischen Fortschritten verhelfen kann.<sup>2)</sup>

Die wirklichen Motoren entsprechen im Einzelnen nicht oder nur wenig den beschriebenen Grenzfällen, sondern liegen mehr oder weniger dazwischen. Man kann geradezu ein Gibbs'sches Dreieck als Feld der motorischen Verbrennung (Abb. 1) aufstellen.<sup>3)</sup>

Ebenso wie die drei Arten der motorischen Verbrennung sich deduktiv aus räumlichen und stofflichen Möglichkeiten der chemischen Reaktionen bzw. der Stoffführung ableiten lassen und sich dann in der

- 1.) Otto-Verbrennung: Die Geschwindigkeit der Wanderung der Flammenwand hängt in erster Linie vom Kraftstoffcharakter (Mischungsverhältnis, Temperatur, Druck usw.) und nur in geringem Maße von Besonderheiten (Stärke des Zündfunken usw.) ab. Der Zeitverlauf ist durch andere Mittel weniger leicht, z. B. durch Brennraumform (Ricardkopf, beste Kühlung des letztverbrennenden Gemischanteils, sinnvolle Zerklüftung des Brennraums) zu beeinflussen.
- 2.) Die Diesel-Verbrennung hängt in ihrer Geschwindigkeit in erster Linie vom Einspritzgesetz (Menge zur Zeit, Zerstäubungsgüte usw.) bei Berücksichtigung des Zündverzugs ab, - ist also durch Abwandlung des Einspritzgesetzes leicht zu beeinflussen.
- 3.) Die Glühkopfmotorische Verbrennung dürfte ähnlich der Dieselerverbrennung - nur mit Luft statt Kraftstoff - in erster Linie durch die Art und Weise der Einpressung der Frischluft in den mehr oder weniger thermisch aufbereiteten Kraftstoffüberschuss in ihrem Ablauf bestimmt werden.

Insgesamt ist also die Otto-Verbrennung hauptsächlich ein chemischer Automat, während Diesel- und Glühkopf-Verbrennung in erster Linie willkürlich regelbare physikalische Mechanismen sind.

- 2) Der Glühkopfmotor ist - wahrscheinlich auch, weil man ihn nicht als eigene Art der motorischen Verbrennung erkannte - technisch sehr wenig entwickelt und wissenschaftlich noch sehr wenig erforscht. Praktisch zeigt er im Vergleich zu den leichten hochleistenden Ottomotoren und den sparsamen Dieselmotoren eine einzigartige Kraftstoffgleichgültigkeit welche über das gesamte Bereich von Klopfestigkeit und Zündwilligkeit sich ausdehnt (vgl. Wa. Ostwald: "Der Glühkopfmotor als Beispiel der Kraftstoffgleichgültigkeit" in "Kraftstoff", Heft 1, Januar 1940). Man kann - entgegen einer weit verbreiteten Meinung - auch hohe Drehzahlen (z. B.  $n = 5000$  U/min.) bei Glühkopfverbrennung erreichen, vgl. z. B. "Automobiltechn. Handbuch", 15. Aufl., 1942, S. 227. - Wie weit gehend die Bildung von Zwischenformen sich als zweckmässig erweist, dafür ist der besonders hochwertige sog. Kugelkolbenlastwagenmotor der MAN ein Beleg. Dieser ist ein ausgesprochener Dieselmotor und verhält

sich wegen seiner eigenartigen Brennraumzerklüftung insofern wie ein ausgesprochener Ottomotor, als er im Leerlauf weich arbeitet und nur bei Ueberlastung zum Klopfen neigt.

der Wirklichkeit bestätigt finden, ganz ebenso erweisen sich die oben deduktiv abgeleiteten Begriffe der absoluten Klopfestigkeit und der absoluten Zündwilligkeit anscheinend als übereinstimmend mit der grossen Mannigfaltigkeit der praktischen Tatsachen. Es stellt sich nämlich mit zunehmender Bestimmtheit heraus, dass es sowohl für Klopfestigkeit-Klopfreudigkeit (gemessen in Oktanzahlen), wie auch für Zündwilligkeit-Zündunwilligkeit (gemessen in Cetanzahlen) je eine obere Grenze und eine untere Grenze gibt, - sowie dass die obere Grenze der Klopfestigkeit in Oktanzahlen mit der unteren Grenze der Zündwilligkeit in Cetanzahlen übereinstimmt, und das Gleiche für die untere Grenze der Klopfestigkeit in Oktanzahlen und die obere Grenze der Zündwilligkeit in Cetanzahlen praktisch gilt. Zahlenmässig liegen diese beiden Grenzwerte bei etwa 125 - 120 O.Z. oder entsprechend 0 Ca.Z. und am anderen Ende bei - 80 O.Z. oder entsprechend 100 Ca.Z.

Diese überraschende Doppeltatsache wird einmal durch die Tatsache belegt, dass man rein praktisch bei allen Messungen von Klopfestigkeit und Zündwilligkeit nach den verschiedensten Arbeitsverfahren immer seltener Werte findet, welche jenseits der erwähnten Grenzen liegen, und dass solche herausfallenden Werte regelmässig mit irgendwelchen besonderen Unsicherheiten behaftet sind. Zum anderen fanden S m i t t e n b e r g und Mitarbeiter<sup>1)</sup>, dass bei Extrapolation der in Oktanzahlen gemessenen Klopfestigkeit eines Motors auf den Verdichtungsraum Null oder die Verdichtung  $1 : \infty$  eine Oktanzahl von etwa 125 sich ergibt. Weiter haben Georg und Erika W i l l f a n g<sup>2)</sup> gefunden, dass die chemischen Kraftstoffbestandteilmfamilien bei geeigneter Auftragung (zum Molvolum oder zur Entropie) zu Kurven sich zusammenfinden, welche bei etwa O.Z. 120 Maxima haben. Umgekehrt erweist sich bei der Zündwilligkeit der "Zündverzug" praktisch als Mass dieser Eigenschaft. Bei Normalcetan und bei den nahezu gleich zündwilligen synthetischen Fischer-Kohlenwasserstoffen (Kogasin) erweist sich der Zündverzug als verschwindend klein, - sodass ein Kraftstoff mit dem Zündverzug Null ideal zündwillig wäre.

Hiernach

- 1) vgl. "Journal Inst. Petroleum" 1940, S. 294 ff und "Brennstoff-Chemie" 1941, S. 196.
- 2) vgl. "Oel und Kohle", 1944, S. 664 ff.

Hiernech möchte es aussichtsvoll erscheinen, die willkürlichen Klopfleitern der O.Z. und Ca.Z. <sup>1)</sup> zugunsten einer absoluten Leiter von Klopfestigkeit-Zündwilligkeit aufzugeben. Der Glücksfall will es, dass die Festpunkte einer solchen absoluten Klopfestigkeit-Zündwilligkeits-Leiter durch die Cetanleiter anscheinend bereits ziemlich genau gegeben sind. Ein Grund für das Verlassen der Hunderter-Teilung nach Volum dürfte zunächst nicht vorliegen. So wäre nur die Oktanleiter aufzugeben und durch das Supplement der Cetanleiter zu ersetzen <sup>2)</sup>.

Aus Tabelle 2

Tabelle 2

"Klopfestigkeit und Zündwilligkeit von Kraftstoffen und Motoren"  
-----

(siehe Anlage)

ergibt sich eine Übersicht über diese Verhältnisse. Bild 2 gibt den Zusammenhang mit den drei Arten der motorischen Verbrennung.

Insgesamt dürfte durch eine solche Betrachtung der motorischen Verbrennung nach den Möglichkeiten des Reaktionsansatzes und Reaktionsverlaufs in Übereinstimmung mit der vielgestaltigen Wirklichkeit eine überraschend einfache und durchsichtige Ordnung ohne hypothetischen Beigeschmack erreicht worden sein. Es muss sich herausstellen, ob und wie weit diese Ordnung sich weiterhin, insbesondere für den Fortschritt von Technik und Forschung, bewährt.

Während so in die Begriffe "Klopfestigkeit" und "Zündwilligkeit" und in die Grundbegriffe der drei Möglichkeiten der motorischen Verbrennung eine erstaunlich einfache Ordnung zu kommen scheint, darf nicht verschwiegen werden, dass die glühkopfmotorische Verbrennung, so wenig sie noch erforscht ist, schon jetzt interessante Besonderheiten zeigt, welche die erreichte Ordnung anscheinend zwar nicht gefährden, aber es wahrscheinlich machen, dass ausser Klopfestigkeit und Zündwilligkeit die heute so sehr in den Hintergrund getretene Eigenschaft der Selbstzündungstemperatur von Kraftstoffen eine ganz besondere Rolle spielt.

Es handelt sich um die praktische und theoretische Auswirkung der an sich wohlbekannten Tatsache, dass die Selbstzündungstemperaturen flüssiger Kraftstoffe in Luft anders und zwar niedriger sind als die Selbstzündungstemperaturen der gleichen Kraftstoffe in verdampftem oder zercracktem Zustände ebenfalls in Luft. Flüssiges

1) welche angesichts ihrer Unrechenbarkeit ineinander durch 4 Festpunkte überbestimmt sind, - 2 Festpunkte, allenfalls 3, wären zulässig.  
2) Die Umrechnungsformeln lauten ergänzt (Kl.Z. = absolute Klopfestigkeitsziffer):

- |           |            |       |       |       |       |
|-----------|------------|-------|-------|-------|-------|
| 1.) O.Z.  | = 120 - 2  | Ca.Z. | = 2   | Kl.Z. | = 80  |
| 2.) Ca.Z. | = 60 - 1/2 | O.Z.  | = 100 | -     | Kl.Z. |
| 3.) Kl.Z. | = 40 + 1/2 | O.Z.  | = 100 | -     | Ca.Z. |



*Tabella 1.*

Klopffestigkeit und Zündwilligkeit von Kraftstoffen und Motoren.

OZ	CaZ	Eichstoffe	Kraftstoffe	Motoren	In % der Grenzwerte		Bemerkungen
					Otto Klopff. (Kl.Z.)	Diesel Zündw. (Zw.Z.)	
120	0	α-Methyl-Naftalin "Iso-Oktan" (2.2.4.-Trimethyl-pentan)	Flüssiges, Methanol, Aethanol	grosse ortsf. Dieselmotoren mit Zündöltropfen Flugmotoren, Rennmotoren (Otto) Automotoren (Otto) ortsfeste Dieselmotoren Fahrzeugdieselmotoren	100	0	obere Grenze der Klopff. Zündw.  "OZ 74" entspricht 77 % Klopffestigkeit  bei Ottomotoren wird die Klopff. Ziffer durch sinnvolle Zerklüftung des Verbrennungsraums, Kühlung des letztverbrennenden Gemischanteils oder Senkung der Verdichtung herabgesetzt
110	5		Benzol, Steinkohlenteeröl		95	5	
100	10				90	10	
90	15				85	15	
80	20				80	20	
70	25		Benzin (OZ 74)		75	25	
60	30		Braunkohlen-Schwelteer		70	30	
50	35				65	35	
40	40		Dekalin		60	40	
30	45				55	45	
20	50	Gasöl	50	50			
10	55	Petroleum	45	55			
0	60	n-Heptan	40	60			
- 10	65		35	65			
- 20	70		30	70			
- 30	75		25	75			
- 40	80		20	80			
- 50	85		15	85			
- 60	90		10	90			
- 70	95		5	95			
- 80	100	n-Cetan	0	100	untere Grenze der Klopff. Zündw.		
			Kogasin (Fischer)				

Flüssiges Gasöl hat z.B. in Luft eine Selbstzündungstemperatur von etwa 280°. Die Dämpfe bzw. Crackgase des gleichen Gasöls haben aber eine Selbstzündungstemperatur in Luft von etwa 600° C.<sup>1)</sup>

Hinzu kommt die Tatsache, dass Verbrennungsreaktionen, wie die meisten Reaktionen, von dem Umfang der entwickelten Grenzfläche in ihrem Verlauf stark abhängig sind und es bekanntlich leichter ist, grosse Grenzflächen zwischen Flüssigkeit und Gas, als eine entsprechend gute Mischung zweier Gase oder Dämpfe zu bewirken.<sup>2)</sup>

Hiernach ist klar, dass es zwei Grenzfälle der glühkopfmotorischen Verbrennung gibt, nämlich die glühkopfmotorische Verbrennung flüssiger Kraftstoffe und die glühkopfmotorische Verbrennung verdampfter oder vercrackter Kraftstoffe. Die erste Art ist durch niedrige Zünd- und Arbeitstemperaturen gekennzeichnet. Ausserdem sind natürlich viele Uebergänge und Kombinationen dieser beiden Grenzfälle der glühkopfmotorischen Verbrennung denkbar.

Der Zusammenhang zwischen Zündwilligkeit - Klopfestigkeit einerseits und Selbstzündungstemperatur fest/flüssig/gasförmig andererseits, wenn er besteht, dürfte ein interessantes und praktisch wertvolles Forschungsgebiet bilden.

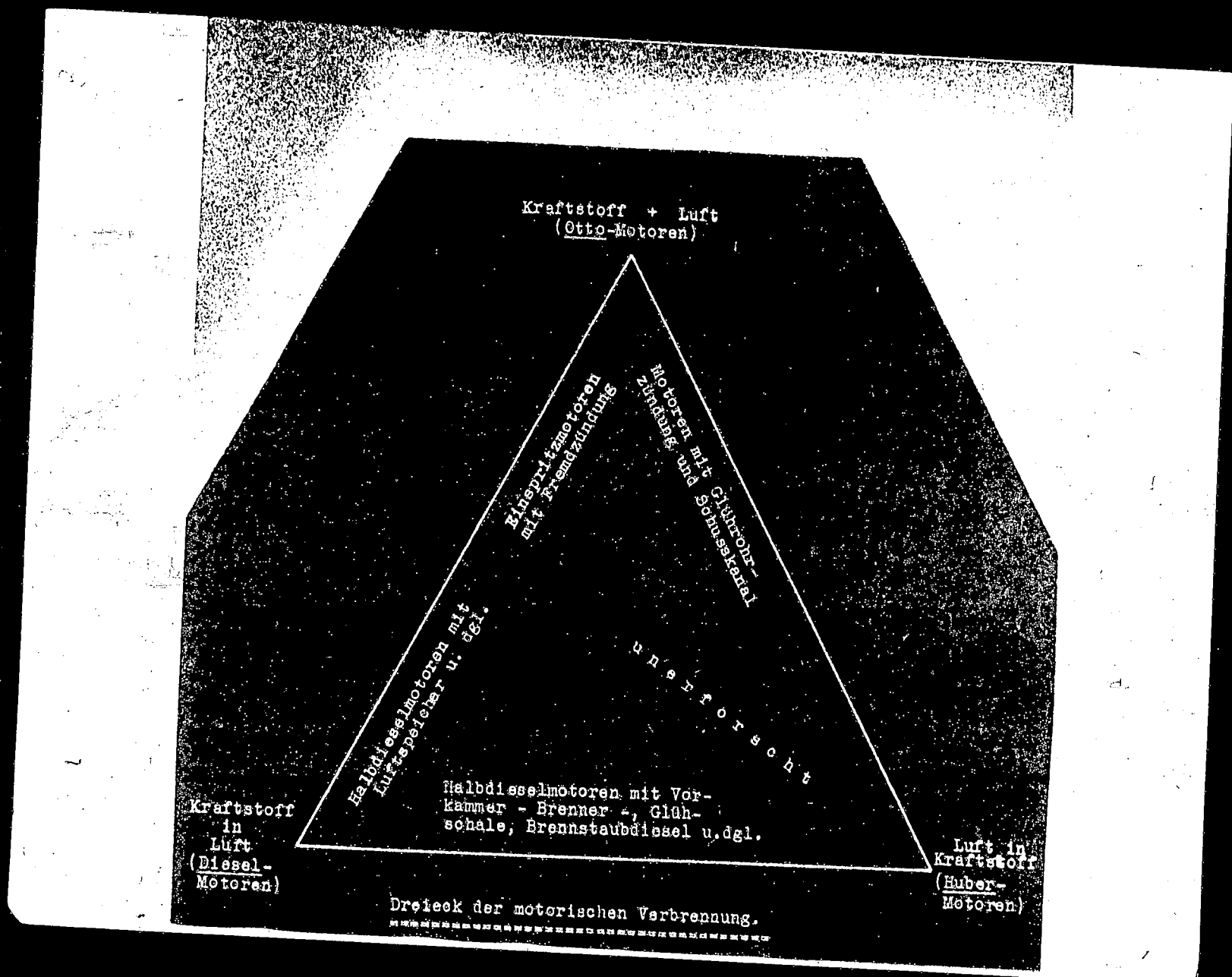
1) Anschaulich in diesem Zusammenhang ist der von Nikolaus Otto zuerst angegebene, von Prosper L'Orange und schliesslich dem Schreiber dieser Zeilen verfeinerte Versuch: Mit einer Blumenspritze vernebeltes Gasöl gibt angezündet eine helle rauschende Flamme fast ohne Rauch, Russ und Qualm. Ein in diese Flamme gehaltenes Eisenblech bringt bei Heisswerden sofort Russ und Qualm und den bekannten eindringlichen Geruch der Glühkopfmotoren hervor. - Oder: Flüssig vernebeltes Gasöl zündet an einer auf 300° erhitzten elektrischen Heizplatte; verdampftes Gasöl zündet erst, nachdem man die Heizplatte hat rotglühend werden lassen. - Oder: Beim Lenz-Glühkopfmotor, welcher rund einen Takt vor Zündung einspritzt, ist der Zündkopf rotglühend, hat also eine Temperatur von etwa 600°. Beim AEG-Glühkopfmotor, der erst unmittelbar vor dem oberen Totpunkt einspritzt, sind bei Vollast Zündkopftemperaturen von unter 400° an dem überhaupt nicht mit dem Auge erkennbar glühenden Zündkopf gemessen worden.

2) Die Fäden- und Zungenbildung ist besonders beim Sauggasbetrieb unangenehm wirksam. Die besondere Schwierigkeit, Gase miteinander zu vermischen, gilt natürlich nur für sehr rasche Vorgänge; bei langsamen Vorgängen bewirkt die Diffusion selbsttätig Mischung.

ur von  
oen aber  
onen, wie  
zfläche  
hter ist,  
ntspre-  
Lühkopf-  
Verbren-  
nung  
durch nie-  
sind  
enz-  
stigkeit  
g anderer-  
wert-

erst ange-  
er Zeilen  
bt ange-  
m. Ein  
rt Russ  
oren her-  
rhitzen  
an die  
pfmotor,  
rot-  
fmotor,  
Voll-  
it dem

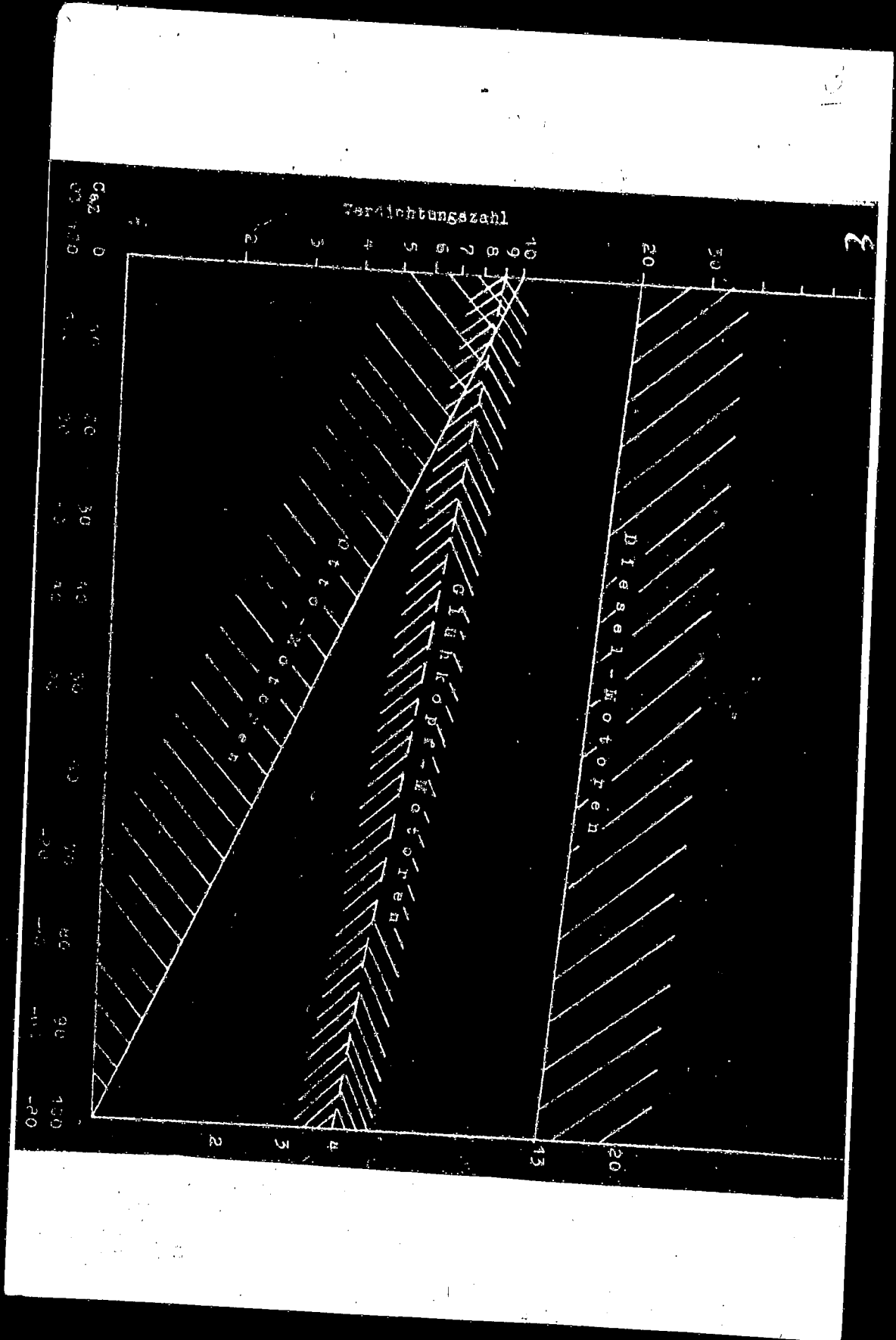
angenehm  
nen, gilt  
wirkt



Erläuterung zu Abb. 1:

Das Dreieck veranschaulicht, dass die Mehrzahl der heute praktisch benutzten motorischen Verbrennungen nicht den Grenzfällen der Ottoverbrennung, Dieserverbrennung und Glühkopfverbrennung entspricht und zwar umso weniger, je kleiner und je hochtouriger die Motoren sind. Man kann aus der Uebersicht den umgekehrten Schluss ziehen, dass es sich lohnen könnte, den bisher unerforschten Gebieten des Dreiecks grössere Aufmerksamkeit zu widmen.

er  
en  
-  
r und  
ht  
den  
samkeit



Erläuterung zu Abb. 2.

Stand der Technik in bezug auf die drei Arten der motorischen Verbrennung

Trägt man Verdichtungsverhältnis des Motors und Klopfestigkeit-Zündwilligkeit des zu dem Motor passenden Kraftstoffs (oder des Motors selbst) zueinander ab, dann erhält man diejenigen Gebiete, welche nach dem heutigen Stand der Technik für die verschiedenen Arten der Verbrennung benutzt werden. Für die Otto-Verbrennung zeichnet sich ein Gebiet ab, welches in bezug auf die Hochverdichtung sich begrenzt, - für die Dieselverbrennung ein solches, welches in bezug auf die angestrebte Herabsetzung der Verdichtung sich begrenzt, - während bei der Glühkopfverbrennung anscheinend eine einseitige Begrenzung nicht vorliegt. Im einfach logarithmischen Netz werden die Begrenzungslinien zu Geraden. Die Klopfestigkeitsziffern (Kl.Z.) bzw. Zündwilligkeitsziffern (Zw.Z.) und Verdichtungsverhältnisse, welche nach diesen Geraden gemäss dem heutigen Stande der Technik bei Otto-, Diesel- und Glühkopfmotoren zusammenpassen, lassen sich ablesen oder berechnen (Zw.Z. = 100 - Kl.Z.):

Die entsprechenden Tabellen lauten:

1.) Ottomotoren.

V	Klopfestigkeitsziffer (Kl.Z.)	(O.Z.)
1	0	
2	30	(- 80)
3	47	(- 20)
4	60	(+ 17)
5	70	(+ 40)
6	78	(+ 60)
7	85	( 76)
8	90	( 90)
9	95	( 100)
10	100	( 110)
		( 120)

2.) Dieselmotorische Verbrennung.

V	Kl.Z.	Zw.Z. (Ca.Z.)
13	0	100
14	18	82
15	32	68
16	48	52
17	62	48
18	72	24
19	87	13
20	100	0

3.) Glühkopfmotorische Verbrennung.

V	Kl.Z.	Zw.Z. (Ca.Z.)	(O.Z.)
4	0	100	(- 80)
5	27	73	(- 30)
6	50	50	(+ 20)
7	69	31	( 58)
8	85	15	( 90)
9	100	0	( 120)

Wie ein Blick in diese Tabellen zeigt, stimmen heute übliche Verdichtungsverhältnisse und Kraftstoffe bei den verschiedenen Verbrennungsarten recht gut mit den gegebenen Werten überein. Bei Ottoverbrennung haben unsere üblichen Kraftfahrzeugmotoren bekanntlich O.Z. 74 und etwa 6-fache Verdichtung. Bei Dieselmotoren sind 16- bis 18-fache Verdichtungen und Kraftstoffe mit etwa Ca.Z. 45 üblich. Glühkopfmotoren laufen bei etwa 6-facher Verdichtung mit Gasöl von Ca.Z. 45

Diese Grenzlinien kennzeichnen in ihrer Lage keineswegs Naturkonstanten, sondern sind insofern vom Stand der Technik abhängig. Sie veranschaulichen aber, inwieweit und in welcher Art die denkbaren Möglichkeiten durch die drei verschiedenen Arten der motorischen Verbrennung bisher erobert worden sind.

Anmerkung zu Abb. 2:

Die Diskussion des logarithmischen Feldes der Motoren und Kraftstoffe ist interessant genug:

Es lässt sich ohne weiteres ablesen, dass die drei motorischen Verbrennungsarten einem gemeinsamen Exponentialgesetz von folgender Form gehorchen:

$$\text{Verdichtungszahl} = a \cdot b \text{ CaZ}$$

In dieser Formel sind a die drei Verdichtungszahlen für  $\text{CaZ} = 0$ , - also die technischen Grenzwerte der Verdichtungszahlen für höchst klopfeste, sehr mündunwillige Kraftstoffe, den drei Arten der motorischen Verbrennung.

b - die Richtungsfaktoren der drei Geraden - sind Zahlen etwas unter 1,000, deren Werte ausser durch a durch den anderen Grenzwert von V für stärkste Klopfneigung, restlose Zündwilligkeit,  $\text{CaZ} = 100$ , zahlenmässig bestimmt sind. Auch diese Werte sind also vom technischen Stande der Entwicklung der drei motorischen Verbrennungsweisen abhängig.

Unabhängig vom dem jeweiligen Entwicklungsstand der Motoren steht als "Einflussstärke" auf den Richtungsfaktor der Exponent die Cetanzahl, als absolutes Mass der motorischen Verbrennungseigenschaften. Das logarithmische Feld der Motoren scheint also zum Ausdruck zu bringen, dass unabhängig vom jeweiligen technischen Entwicklungsstand der drei motorischen Verbrennungsweisen für die benötigte Verdichtung der durch die Cetanzahl gemessene Umstand wesentlich ist, welcher prozentische Anteil des Kraftstoffs als zündwillig (labil) angesprochen werden kann, - wobei dahingestellt bleibt, wie weit die wirklichen Kraftstoffe Mischungen von zwei Bestandteilen mit extremen Eigenschaften oder vielmehr Stoffe mittlerer Beschaffenheit sind, welche sich nur durch Mischungen der zwei Extremstoffe bequem in ihren verbrennungsschemischen Eigenschaften darstellen lassen.

Es entspricht also dieses Gesetz der motorischen Verbrennung

$$\text{Verdichtungszahl} = K \text{ Verbrennungscharakter (CaZ)}$$

oder:  $\text{Verbrennungscharakter (CaZ)} = U \log \text{ Verdichtungszahl}$

durchaus dem Weber-Fechner'schen Gesetz über das Verhältnis von Reiz und Empfindung zu einander, dem Gesetz von Bernoulli über Güterzuwachs und darüber empfundene Befriedigung, der allgemeinen Waahs-

(0.Z.)

(- 80)

(- 30)

(+ 20)

( 58)

( 90)

( 120)

teute übliche

enen Ver-

Bei Otto-

anntlich

nd 16- bis

blich. Glüh-

von Ca.Z.45

eswegs

k abhängig.

e denkbaren

sehen Ver-



Wachstums-Funktion, dem einfachsten Fall der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit, oder auch der Boltzmann'schen Auffassung der Entropie als Logarithmus der Wahrscheinlichkeit:

Reiz	=	$K^{\text{Empfindung}}$	;	Empfindung	=	$U \log \text{Reiz}$
Güterzuwachs	=	$K^{\text{Befriedigung}}$	;	Befriedigung	=	$U \log \text{Güterzuwachs}$
Ausmass	=	$K^{\text{Zeit}}$	;	Zeit	=	$U \log \text{Ausmass}$
"Verdünnung" <sup>+) (= <math>\frac{1}{\text{Konzentration}}</math>)</sup>	=	$K^{\text{Zeit}}$	;	Zeit	=	$U \log \text{"Verdünnung"}$
Wahrscheinlichkeit	=	$K^{\text{Entropie}}$	;	Entropie	=	$U \log \text{Wahrscheinlichkeit}$

wie ja überhaupt in der Natur - im Gegensatz zu unseren Rechengewohnheiten - das Produkt die Regel und die Summe die Ausnahme zu sein scheint.

<sup>+) oder ganz allgemein "Abklingen", z.B. - nach Newton - der Temperatur ( $\frac{t_0 - t}{t_0 - t_c}$ )</sup>

Stm 8

Colonel Faragher.

Kurzbericht über Arbeiten des Dipl.-Phys. Fritz OSTWALD, Heppenheim.

A.) Arbeiten auf dem Gebiet des Kraftfahrwesens.  
=====

- 1.) Entwicklung eines Bremsreglers zur Verhinderung des Blockierens der Fahrzeugräder beim Bremsen und Berechnung des geregelten Bremsvorgangs (Diplomarbeit, Technische Hochschule München, 1940, aus dem Institut für Techn. Physik, Prof. Meissner).
- 2.) Entwicklung und Bau eines 3-rädrigen Versuchswagens zusammen mit Oskar Widmer jr., Heppenheim/Bergstr., Mainstr.. Besondere Merkmale
  - a) Lenkung wahlweise umschaltbar auf Front-, Heck- und Allradlenkung zum Studium des Einflusses der Lenkungsart auf die Fahreigenschaften bei hoher Geschwindigkeit.
  - b) Frontantrieb.
  - c) Ideale Stromlinien-Tropfenkarosserie (durch Anordnung von 2 Rädern vorn und einem hinten) und Verschalung sämtlicher Räder. Wagen hat 2 Sitze nebeneinander.
  - d) Ultra-Leichtbau, - Gewicht ~ 250 kg.
  - e) Höchstgeschwindigkeit mit Motor von 0,5 Ltr. ~ 95 km/h.
- 3.) Mitarbeit bei den Arbeiten von Wa. Ostwald und K.W. Ostwald betr. Wirtschaftlichkeit der Reichsautobahn.
- 4.) Entwicklung einer pneumatisch angetriebenen Membran-Einspritzpumpe zur Umstellung von Ottomotoren auf den Betrieb mit Schwerölen zusammen mit Oskar Widmer jr.. Verfahren und Konstruktion zum Patent angemeldet. Es ist bemerkenswert, dass eine exakte Dosierung sowohl zeitlich, als auch mengenmässig, sowie genügend hohe Einspritzdrücke ohne jeden mechanischen Antrieb der Pumpe - Fortfall jeder Antriebswelle - mittels Membranen erzielbar sind. Eine Umstellung üblicher Vergasermotoren auf Schweröleinspritzung ist mittels dieser Pumpen daher ganz besonders einfach und billig.

B.) Arbeiten auf dem Gebiet der Torpedotriebwerke als Assistent  
im Forschungsinstitut für Flug- und Kraftwagenmotoren der  
Technischen Hochschule München (Prof. Schnauffer).

- 1.) Entwicklung und Betrieb neuartiger Prüfstände für Torpedotriebwerke. Auf diesen Prüfständen können bezüglich Drehzahl, Maschinen- drücke usw. die gleichen Verhältnisse erzielt werden, wie sie auch beim Abschuss eines Torpedos vom U- oder S-Boot oder auch beim Abwurf vom Flugzeug vorliegen. Institutsbericht Nr. 105.
- 2.) Entwicklung eines Durchflussindikators nach der Hitzdrahtmethode zur Indizierung des zeitlichen Verlaufs der Brennstoff- und Wasser- förderung im Torpedo auf dem Prüfstand und im Schuss oder Abwurf. (Messung von Förderschwankungen usw.). Institutsbericht Nr. 105.
- 3.) Messung von Kavitationsstellen am Torpedo mittels Hitzdrahtmethode.
- 4.) Entwicklung eines Durchflussindikators mittels Ovalradzähler und elektrischem Potentiometergeber. Durchflussschwingungen bis zu 23 Hz. konnten bereits bei der ersten Versuchsausführung trägheits- frei registriert werden. Das Gerät ist schuss- und abwurffest und wegen der Möglichkeit, aus dem Durchfluss auf kleinste Differenz- drücke auch bei hohen Absolutdrücken zu schliessen, auch als Differenzdruckindikator anwendbar. Als solcher von besonderer Be- deutung für Untersuchung und Beherrschung der Förder- und Betriebs- vorgänge bei Strahltriebwerken. Institutsbericht Nr. 7.
- 5.) Entwicklung eines Differenzdruckindikators für Aufgaben wie unter 2) und 4) mittels zitterndem Kolben.
- 6.) Brenn-/Kammeruntersuchungen.
- 7.) Hochtemperaturmessungen.

C.) Als Vertreter des Forschungsinstituts für Flugmotoren Meß-  
spezialist für H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Torpedos bei der Firma H. Walter, Kiel.

Heppenheim, den 30. August 1945.

*F. V. Schmidt*

agher.  
LD, Heppenheim.  
es Blockierens  
Geregelten  
e München, 1940,  
).  
s zusammen  
.. Besondere  
und Allrad-  
art auf die  
rdnung von  
sämtlicher  
5 km/h.  
Ostwald  
-Einspritz-  
b mit Schwer-  
onstruktion  
ine exakte  
wie ge-  
Antrieb der  
anen erziel-  
auf Schweröl-  
sonders  
- 2 -

Wa. Ostwald  
Heppenheim / Bergstr  
Haus Dowa (Malberg)

Colonel Faragher.

Kurzbericht über Mercedes-Benz-Diesel-Personenwagen mit Bosch-  
Ausrüstung.

Der Mercedes-Benz-Dieselwagen besitzt einen Vierzylinder-  
motor von 2,6 Ltr. Hubraum. Er ist in 1 000 oder 2 000 Stück herge-  
stellt worden und hat sich besonders als Taxi vortrefflich bewährt.  
Ich besitze ein viersitziges Cabrio, welches ich in gebrauchtem  
Zustande für Versuchszwecke erhielt und habe mit diesem etwa 15 000  
km zurückgelegt. Der Motor Mercedes-Benz OM 138 hat 4 Zylinder von  
90 mm Bohrung und 100 mm Hub. Er leistet bei 3000 Umdrehungen/min.  
(97 km/h) 45 PS. Das Fahrzeug wiegt etwa 1 500 kg. Der Motor ent-  
hält 6 Ltr. umlaufendes Schmieröl.

Nach seiner Konstruktion ist der Motor ein normaler Vor-  
kammer-Dieselmotor mit Glühkerzen in den Vorkammern zum Anlassen.  
Als Düsen dienen Bosch-Düsen, welche auf 80 - 120 atü Abspritzdruck  
eingestellt sind. Eine normale Bosch-Pumpe besorgt das Einspritzen.  
Eine übliche Kolbenförderpumpe fördert das Dieselöl zur Hochdruck-  
pumpe. Der Kraftstoff fliesst vor der Förderpumpe durch einen ge-  
wöhnlichen Seiher und zwischen Förderpumpe und Hochdruckpumpe durch  
ein Feinfilter (Filz, Papier oder Spaltfilter).

Ungewohnterweise besitzt das Fahrzeug einen Regler und  
zwar einen pneumatischen Regler, welcher den Unterdruck der Ansaug-  
seite zur Regelung der Einspritzmenge derartig benutzt, dass bei  
~~starker Saugung~~ <sup>starker Saugung</sup> wenig, bei ~~niedriger Drehzahl~~ <sup>schwacher Saugung</sup> viel eingespritzt wird.  
Dieser Regler erwies sich als notwendig, weil der Dieselmotor in sei-  
nem Verhalten sonst zu labil ist. Theoretisch ist dabei interessant,  
dass im Gegensatz zu den gewöhnlichen Dieselmotoren, welche bei  
Teilleistungen und Leerlauf ganz gewaltige Luftüberschüsse auf-  
weisen, das Mischungsverhältnis beim Mercedes-Benz-Dieselmotor mit  
pneumatischen Regler über alle Bereiche ungefähr konstant bleibt.

Das praktische Verhalten des Wagens weicht von dem eines  
Benzinwagens merklich ab. Die Beschleunigung ist geringer, - dafür  
ist das Durchziehvermögen bei Steigungen sehr merklich grösser.  
Man muss sogar vermeiden, das grosse Drehmoment des Dieselmotors  
in niedrigen Drehzahlen auszunutzen, weil sonst die Achsen leicht  
abgedreht werden können. Es gilt die strenge Regel, unterhalb von  
40 km/h nie im grossen Gang zu fahren.

Der Geruch sowohl des Kraftstoffs, wie der beim Dieselmotor  
ja keineswegs ganz geruchlosen Auspuffgase kann lästig sein.

Wenn

Wenn der Motor in Ordnung ist, merkt man nichts davon. Nach Reparaturen stinkt aber alles, weil Dieseldieselkraftstoff nicht wie Benzin leicht verfliegt.

Ein Fehler des Dieselmotors ist der Umstand, dass die Glühkerzen manchmal aus unerfindlichen Gründen nur eine sehr geringe Lebensdauer zeigen. Es dürfte aber verhältnismässig leicht möglich sein, aus Siliziumkarbid als Heizkörper und Sinterkorund als Grundmasse keramische Glühkerzen herzustellen, welche viel unempfindlicher sind.

Heimtückisch ist der Dieseldieselkraftwagen ebenso wie jeder Dieselmotor gegen die geringsten Undichtigkeiten in den Kraftstoffleitungen, zwischen Tank und Hochdruckpumpe. Hier entstehen Unterdrücke, welche Luft ansaugen, die widerwärtige und schwer auffindbare Störungen des Betriebs verursachen.

Zum Anlassen braucht der Dieselmotor mehr Energieaufwand, als ein Benzinmotor, - nicht nur wegen der höheren Verdichtung, sondern auch überhaupt wegen seines höheren Gewichtes. Dafür besitzt er den grossen Vorteil, dass man ihn durch Anschleppen auch dann jederzeit leicht in Betrieb setzen kann, wenn die elektrische Anlage ganz ausfällt.

Ich benutzte den Dieseldieselwagen zur Prüfung von Schieferöldestillaten. Diese haben eine Cetanzahl von etwa 50, springen also nicht ohne weiteres kalt an. Deshalb ist vorteilhaft ein Doppelschalthahn für Oel und Rücklauföl vorhanden, sodass man bequem mit Gasöl anlassen und mit Schieferöl fahren kann.

Schieferöl gibt etwas härtere Verbrennungen als Gasöl und eine kleine Mehrleistung. Irgendwelche Änderungen des Einspritzzeitpunktes erwiesen sich als überflüssig. Gelegentliche Reinigung und sonstige Kontrolle der Düsen ist beim Dieselmotor bei allen Kraftstoffen nötig. Korrosionserscheinungen sind nicht zu finden gewesen. Hingegen macht sich die grössere Kälteviskosität des Schieferöls im Winter im Feinfilter bemerkbar, sodass eine Beheizung des Feinfilters am Platze ist.

Das Motorschmieröl wird bei Dieselbetrieb bekanntlich durch allmähliche Oxydation <sup>Abbau</sup> und Aufnahme von Russ dicker und schwarz, sodass es zweckmässig alle 2000 - 3000 km zu wechseln ist.

Alles in allem macht der Fahrzeugdieselmotor weder mit Gasölbetrieb, noch mit Schieferölbetrieb (bei Gasöl-Kaltstart) Schwierigkeiten. Überraschend ist der bei ausgezeichneter Leistung (über 100 km/h) erstaunlich niedrige Verbrauch des Fahrzeugs von 9 - 10 Ltr. je 100 km.

30. Aug. 1945

W. C. ...

Wa. Ostwald  
Heppenheim / Bergstr  
Haus Dowa (Malberg)

Item 9 =  
Colonel Faragher

Kurzbericht über deutschen Oelschiefer

Oelschiefer kommt in Deutschland in sehr grosser Menge am Abhang der Schwäbischen Alb (zwischen Kottweil und Geislingen, besonders in der Nähe von Schömberg (Süddeutschland)) vor. Die Flöze sind viele Meter mächtig und treten offen zutage. Ein weiteres sehr grosses Vorkommen befindet sich bei Schandelah, östlich von Braunschweig (Norddeutschland) im Flachland, wenige Meter unter Tage. Dieser Oelschiefer ist nicht zu verwechseln mit Asphaltkalk, wie er z. B. westlich von Braunschweig oder mit schiefriger Braunkohle, wie sie in Messel bei Darmstadt vorkommt. Mikroskopisch kennzeichnet sich der Oelschiefer dadurch, dass der organische Anteil in Gestalt von annähernd kugelförmigen Teilen in einem offensichtlich bitumenfreien Gestein sitzt, während z. B. bei Asphaltkalk oder Asphalt sand das Bitumen die Gesteinsteile hautartig überzieht. Laboratoriumsversuche, durch Flotation bituminösen Schiefer anzureichern, waren erfolgreich (u. a. Dr. S i e d l e r), sind aber, soweit mir bekannt, praktisch nicht wirksam geworden. Versuche, das anscheinend wachsähnliche Bitumen durch Wärme, Lösungsmittel usw. unbeschädigt herauszubekommen, sind, soweit mir bekannt, bisher gescheitert. Bitumengewinnung aus Oelschiefer erfolgt jetzt praktisch nur durch Schwelen oder Vergasen. Das ist mit grossem Verlust verbunden, so dass man bei einem Gehalt von z. B. 15 % organischer Substanz nur 4 - 5 % Schwelteser erzielt.

Oelschiefer pflegt grau, manchmal gelblich zu sein. Er hat keinen Geruch und zeigt seine brennbaren Eigenschaften erst beim Erhitzen. Nicht selten findet man Spuren von Muscheln oder anderen Tieren.  
Dr. e.h. Bernhard H a u f f in Holzmaden bei Kirchheim unter Teck

hat bekanntlich aus dem Oelschiefer mit Hilfe des binokulären Mikroskops wundervolle vorgeschichtliche Pflanzen und Tiere herauspräpariert. Besonders schöne Stücke sieht man in den Museen für Naturgeschichte nordamerikanischer Städte. In Holzmaden besteht nahe der Reichsautobahn beim Wohnhaus des Dr. e.h. H a u f f ein kleines Museum mit ebenfalls wundervollen Präparaten.

Bei diesen Präparaten treten interessante Zersetzungserscheinungen gelegentlich ein, über welche schon vor sehr langer Zeit B e r z e l i u s gearbeitet hat, wobei sich ergab, dass wesentliche Teile des Schwefelgehaltes beim Oelschiefer in Gestalt von Pyrit  $\text{FeS}_2$  und in Gestalt von Schwefeleisen  $\text{FeS}$  auftreten. Während Pyrit sehr beständig und Schwefeleisen mässig beständig ist, tritt bei gleichzeitigem Auftreten beider Verbindungen wegen der elektrochemischen Verschiedenheit besonders starke Zersetzlichkeit in Erscheinung.

Nach seiner chemischen Zusammensetzung besteht der Oelschiefer aus etwa 40 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 30 %  $\text{CaCO}_3$ , 7 - 8 %  $\text{FeS}_2$ , 15 - 20 % organischer Substanz, - ferner geringe Mengen von  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Phosphaten und 0,3 N. Schieferkoks hat 80 - 85 % des Gewichtes des (trockenen) Oelschiefers und enthält 6 - 8 % (fixen) Kohlenstoff.

Der Heizwert von württembergischem Schiefer~~er~~ beträgt 11 - 1200  $\text{kcal/kg}$  derjenige von Schieferkoks etwa 750  $\text{kcal/kg}$ , derjenige von Schieferteer etwa 9 700  $\text{kcal/kg}$  und derjenige von Schwelgas etwa 5000  $\text{kcal/kg}$ . Es werden selbst bei Laboratoriumsschwelung nur etwa 43 % des Schieferheizwerts in Gestalt von Teerheizwert gewonnen.

Der Schieferteer enthält etwa 82 % Kohlenstoff, 10 % Wasserstoff, 2,3 % Schwefel, 1,5 % Stickstoff und 4,0 % Sauerstoff. Er hat eine Dichte zwischen 0,90 und 0,94. Sein Siedebeginn ist  $78^\circ$ . Bis  $200^\circ$  gehen 34 % über, bis  $300^\circ$  weitere 37 %. Bei technischer Destillation

gewinnt man aus württembergischem Schiefererteer etwa 46 % Hauptöl, welches von 200 - 380° siedet und eine Kennziffer von etwa 320 hat und ferner höhersiedende Öle und Rückstände. Die Viskosität des Hauptöls beträgt bei 20° 1,6 - 1,8° Engler.

Das Herausgewinnen des Bitumens aus dem Oelschiefer erfolgt nur durch Wärmezersetzung. Das Schwelen kann - wie beim Laboratoriumsverfahren der Fischer-Retorte - durch einfaches Erhitzen, weiter unter Anwendung von Spülgasen oder Wasserdampf und endlich durch Vergasen und Verbrennen zur Erzeugung der Spülgase und Deckung des Wärmebedarfs erfolgen.

Trotz der schlechten Ausbeute von 3 1/2 - 5 % des eingesetzten Schiefers wurde die Schieferschwelung schon im ersten Weltkriege betrieben und im zweiten Weltkriege in grossem Masse in Gang gebracht. Wirtschaftlich vernünftig dürfte sie bei den geringen Ausbeuten und entsprechend grossen Transportarbeiten in der Regel nur dann sein, wenn für den Schieferkoks oder für die Schieferschlacke gute Verwendung zu finden ist. Schieferkoks hat man als rohe schwarze Farbe gelegentlich benutzt. Ob er als Aktivkohle zu brauchen ist, scheint noch nicht eingehend untersucht zu sein. Schieferschlacke hat schon in alter Zeit zur Herstellung von Bausteinen gedient, - die allerdings bei nicht sehr sachgemässer Herstellung vermöge ihres Gipsgehaltes Treiberscheinungen zeigten. Im ersten Weltkrieg hat man aus Schieferschlacke Zement (Jurament) hergestellt.

Im zweiten Weltkrieg sind folgende Verfahren beachtet worden:

1.) Reine Erhitzungsschelung.

- a) Dotternhausener Aluminiumschmelzung. Die fast fertige Versuchsanlage arbeitet ähnlich dem Blümler-Verfahren in der Weise, dass in ein Bad von geschmolzenem Aluminium <sup>von</sup> ein feuerfestes Band der Schiefer unter den Badspiegel gedrückt und so unter günstiger



Wärmeleitung rasch erhitzt und ausgeschwelt wird. Die Anlage steht auf dem Dotternhausener Werk halb fertig, ist aber noch nicht angelaufen.

### 2.) Schwelung mit Spülgas.

- a) Nach diesem der Mondvergasung ähnlichen Verfahren arbeiten die Dotternhausener Portlandzementwerke, welche in senkrechten Kammern Oelschiefer mit überhitztem Wassergas<sup>drauf</sup> und Spülgas auschwelen. Der Schieferkoks wird dann durch Verbrennen vom fixen Kohlenstoff befreit und dient zur Herstellung von hydraulischem Kalk (durch einfaches feines Mahlen) und von Portlandzement (durch Bandsintern unter Kalkzusatz). Das Dotternhausener Werk ist seit einigen Jahren mit zunehmendem Erfolg grosstechnisch in Betrieb gewesen. Augenblicklich liegt es still, könnte aber leicht in Betrieb gesetzt werden.

### 3.) Schwelen und Vergasen bzw. Verbrennen.

Bei diesen Verfahren geht es darum, den Bedarf an Trägergas und fühlbarer Wärme aus der Reaktion selbst zu decken und zu möglichst kohlenstofffreier und nicht gesinterter Schlacke zu kommen.

- a) Untertageschwelung in Schörzingen. Die Untertageschwelung in situ ist überraschenderweise weitgehend gelungen und hat zu anscheinend ganz brauchbaren Ausbeuten geführt. Die Arbeiten fanden in Schörzingen statt, wo die Anlagen heute noch stehen und leicht in Betrieb gesetzt werden können. Betreibend war die Kohle-Oel-Union. Der verdiente Betriebsleiter H ü b n e r ist leider erschossen worden.

Der Hauptvorteil des Verfahrens beruht auf der Vermeidung der Transportarbeit und darauf, dass durch Wahl grosser Kammerquerschnitte sehr geringe - natürlich vorteilhafte - Gasgeschwindigkeiten bei trotzdem erheblichen stündlichen Ausbeuten gewählt werden können.

b) <sup>ung</sup> Primitiv-Vergaser im Meiler nach Dr. S e n n e w a l d. Ebenfalls zu überraschend guten Ergebnissen und Ausbeuten hat das ältere Primitivverfahren von Dr. S e n n e w a l d geführt, bei welchem einigermaßen gleichmässig gekörnter Schiefer über gelochten Rohren oder anderen Rosten zu grossen Meilerhaufen aufgeschichtet werden. Unter Saugen am Rost wird mit Hilfe von Torf, Kohle, Hobelspänen die Oberfläche des Meilers entzündet. Die Glutzone zieht sich während des etwa 24-stündigen Vorgangs allmählich konzentrisch zum Rost hin. Das Ende des Vorgangs zeigt sich durch rasches Ansteigen der Gastemperatur am Rost, Obwohl oder weil das Bitumen vom sehr kühlen (z. B. 60°) Gas nicht als Dampf, sondern als Nebel fortgetragen wird, sind die Ausbeuten des sehr einfachen Verfahrens bemerkenswert gut. Wunde Punkte sind der hohe Aufwand an Zündmittel, die schwierige Kontrolle und Beeinflussung des Reaktionsverlaufs (Gefahr von Sintererscheinungen) und die lästige und kostspielige Transportarbeit.

Nach dem S e n n e w a l d 'schen Meilverfahren sind in der Umgegend von Schömberg von der Deutschen Oelschiefer-Forschungs-Gesellschaft m. b. H. eine ganze Anzahl ~~grosser~~ grosser Werke errichtet worden, von denen einige mit Produktionen von rund 2000 t/Mon. im Betrieb waren. Eine ganze Anzahl dieser Werke würde sich heute mit geringer Mühe in Betrieb setzen lassen. Vereinzelt ist dies auch geschehen. Der Betrieb scheint aber wegen Kohlenmangel nicht fortgesetzt zu werden. Die Hauptmenge des gelieferten Schiefertees dürfte nach diesem Verfahren hergestellt worden sein.

3.) Generator-Vergasung nach Dr. S c h w e i t z e r in Frommern. Schon im ersten Weltkrieg hatte man - in Schandelah - Oelschiefer im Generator vergast. Es geschah dies durch die Mitgers-Werke AG. in ziemlich normalen Drehrostgeneratoren (die Rückstände der da-

Die Anlage steht  
noch nicht an-

arbeiten die  
echten Kammern  
schwelen. Der  
lenstoff be-  
k (durch ein-  
Sandsintern  
einigen Jahren  
sen. Augen-  
eb gesetzt

ergas und  
zu möglichst  
ommen.

lung in situ  
anscheinend  
n in Schör-  
cht in Betrieb  
ion. Der  
ossen worden.

g der Trans-  
erschnitte  
eiten bei  
en können.

*Ge bis  
800 t/Mon.*

maligen Fabrikation wurden gegen Kriegsende von Prof. Wittig, Braunschweig, zur Herstellung von Kunststeinen verwendet.

Dr. Schweitzer, ein Altmeister der Oelschieferverarbeitung, hat primitive Kipp-Generatoren entwickelt, welche günstige Ausbeuten gegeben haben. Nach diesem Prinzip ist ein Werk in Frommern (Süd-Deutschland) in Bau. Es ist nicht in Betrieb gekommen und dürfte erst halb fertig sein, so dass eine rasche Inbetriebsetzung auch nicht ohne weiteres möglich sein dürfte.

#### 4.) Schachtofen nach Dr. Graf - Wa. Ostwald.

Eine Schwierigkeit bei der Vergasungverschmelzung besteht darin, dass man die Reaktion nicht genau in der Hand behält, dass insbesondere unbeherrschte hohe Temperaturen oder auch ungewollte Sauerstoffüberschüsse heimlichen Schaden anrichten. Dies gilt besonders für die durch ungleichmässige Körnung des Schiefers entstandenen Verhältnisse.

Dem gegenüber liegt es nahe, die Verschmelzung und Vergasung im Schachtofen vorzunehmen und durch Einblasen von Wasserdampf, entteerten Schwelgasen, Inertgasen (sogen. "Rücklauf") empfindliche Zonen absichtlich zu verbreitern und zu sichern. Dieser von Wa. Ostwald ausgesprochene Gedanke wurde von Dr. Graf, Wien, in vorbildlicher Weise zuerst in halbertechnischem Massstab in Wien geprüft und dann ~~in~~ an einem grosstechnischen Schachtofen in Schandelah verwirklicht. Dieser Ofen war mit bestem Erfolg in Dauerbetrieb und scheint unbeschädigt zu sein. Nähere Nachricht fehlt noch.

Was die Beschaffenheit und Verwendung der Schieferteere anlangt, so ist zu sagen, dass der Dotternhausener Teer sehr gut ist, dass der Meilerteer qualitativ der schlechteste und am stärksten durch Wasser und Staub verunreinigt ist, und Schandelah-Teer und Schörzinger

Ebenfalls  
als ältere  
bei welchem  
ochten Rohren  
htet werden.  
obelspänen  
nt sich  
ontrisch zum  
s Ansteigen  
vom sehr  
bel fort-  
rfahrens  
n Zündmittel,  
everlaufs  
tspielige  
in der  
schungs-  
ke er-  
nd 2000 t/Mon.  
ich heute  
t dies  
el nicht  
iefertere  
Frommern.  
schiefer  
rke AG.  
der da-

Teer dazwischen stehen. Das ist auch ganz einleuchtend, weil bei der Dampfschwelung in Dotternhausen der Teer am meisten geschont wird, an Schandelah eine ähnliche Schonung durch das Umlaufgas und bei der Untertageschwelung durch die sehr geringe Gasgeschwindigkeit vorliegt.

Der Schiefererteer kann, so wie er ist, im Bulldog-Glühkopfmotor (in Deutschland ca. 75 000 Stück in Landwirtschaft und Verkehr) gefahren werden, - der Dotternhausener Teer, welcher in zwei Fraktionen abgefangen wird, in seiner ersten Fraktion besonders vorteilhaft. Der Teer ist stark schwefelhaltig, korrodiert aber merkwürdigerweise - angeblich im Gegensatz zum estnischen Teer - trotzdem nicht. Entfernt man einen Teil des Schwefels, dann korrodiert er.

Meilerteer wird vorteilhaft abdestilliert, wobei ein sogen. "Hauptöl" entsteht, welches in Dieselmotoren gefahren werden kann. Allerdings ist es dazu zweckmässig, die Dieselmotoren mit gewöhnlichem Dieselmotorkraftstoff anzulassen, weil die Schiefererteere Cetan-Zahlen von nur ungefähr 30 haben und entsprechend schwierig starten. Der Berichterstatter hat einen gewöhnlichen Mercedes-Diesel-Personenwagen seit Jahr und Tag mit Schieferhauptöl in Betrieb. Auch sind bei der Oelschiefer-Forschungs-Gesellschaft und bei der "Südöl" in Eislingen derartige Wagen in Betrieb gewesen oder noch in Betrieb. Die Mercedes-Dieselmotoren sind Vorkammernmotoren mit Bosch-Glühkerzen zum Anlassen, Bosch-Düsen und Bosch-Einspritzpumpen.

Eine andere Verwendung des Schiefererteers bzw. seiner Destillate sollte für einen geheimnisvollen Zweck, - vielleicht fliegende Bomben oder Strahltriebwerke - Anwendung finden, für den nur sehr grosse Kältefestigkeit gefordert wurde. Hierbei waren interessante Beobachtungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (Weida) wichtig,

Wittig,  
det.

erverarbeitung,

ntige Ausbeuten

mmern (Süd-

und dürfte

tzung auch

ht darin,

ass ins-

ewollte

s gilt be-

fers ent-

ung im

mpf, ent-

findliche

von Wa.

a f, Wien,

o in Wien

n in

g in Dauer-

t fehlt noch.

nlant,

st, dass

en durch

Schörzinger

dass nämlich gerade Schieferteeröle bei Mischung mit Erdöl-Derivaten erstaunlich grosse Depressionen ~~mit~~ der Kälteviskosität ergeben konnten. Beispielsweise ergab ein Gemisch aus 75 % Schieferöl vom Stockpunkt  $-2^{\circ}$  mit 25 % Erdölheizöl vom Stockpunkt  $-35^{\circ}$  ein Mischöl vom Stockpunkt  $-53^{\circ}$ . Zur praktischen Anwendung sind diese Untersuchungen m. W. nicht gekommen.

Es ist einleuchtend, dass die Oelschiefer-Industrie nur dann vernünftig werden kann, wenn für die Rückstände eine lukrative Verwendung zu finden ist. Diese Rückstände ergeben fein gemahlen einen wertvollen hydraulischen Kalk. Unter Kalkzuschlag gesintert erzielt man einen ausgezeichneten Zement (Dotternhausen). Auf die verschiedenste Weise kann man aus Schieferschlacken Kunststeine herstellen, wobei die Gefahr des Treibens durch Gips zu beachten ist. Schieferschlacke ist übrigens leicht schmelzbar; sie bildet dann ein Glas, welches Schlackenwolle liefert. Die Verwendung der Rückstände der Schieferschmelzung ist also keineswegs aussichtslos.

Ausserdem ist die stoffliche Ausbeute der Schieferschmelzung in allen bisherigen Verfahren noch durchaus unbefriedigend. Es muss Mittel und Wege geben, auf Grund eines Studiums der Chemie der unzeretzten Schieferbitumina weniger Kohlenstoff und Wasserstoff zu entwerten, sondern mehr als bisher in Gestalt von Kohlenwasserstoffen nutzbar zu machen. Die bisherigen Bilanzen ergaben etwa für

Energie (Schieferheizwert)	37 % Ausbeute im Teer,
Kohlenstoff	36 % Ausbeute im Teer,
Wasserstoff	31 % Ausbeute im Teer,
Schwefel	10 % Ausbeute im Teer.

*Handwritten signature*

Heppenheim, 30. Aug. 1945  
O/B.

Wa. Ostwald  
Heppenheim / Bergstr  
Haus Dowa (Malberg)

Stim 10

Niederschrift

Betr.: Rücksprache mit Colonel Faragher und Colonel  
Horne vom Headquarter am 31. 8. 1945 in Heidelberg,  
Steubenstrasse 34.

Colonel Faragher empfing uns (Wa. O, K.W. O. und F. O.) zur verabredeten Zeit von 18 Uhr Steubenstrasse 34, nahm die am Vortage noch dringend für seine Reise nach London angeforderten und von uns in aller Eile hergestellten vorläufigen Berichte und zusammengestellten Unterlagen entgegen. Er teilte mit, dass unsere Arbeiten eingehend weiter untersucht werden würden und ordnete an, dass wir über diejenigen Angelegenheiten, über welche er und Colonel Horne am 30. August 1945 uns befragt hätten und welche in den Berichten aufgeführt seien, weitere Einzelheiten für die genaue Nachprüfung vorzubereiten hätten. Diese Nachprüfung werde in aller Kürze voraussichtlich durch ihn selbst und Colonel Horne erfolgen. Ausserdem hätten wir aber auf seine Veranlassung den Besuch von anderen Experten zu erwarten.

Hiernach haben wir insbesondere folgende Angelegenheiten vorzubereiten:

Programm

A. Reichsautobahn und Strasse. Hieraus besonders auch

- A 2 Autobahn-Megler (Versuchsgerät eingebaut in DKW VH 11 366),
- A 4 Wechselzähler (eingebaut in DKW VH 11 366),
- A 5 Gaszeiger (eingebaut in DKW VH 11 366),
- A 6 Messung von Unebenheiten und anderen Eigenschaften (Volkswagen VH 25 50, leider gestohlen; ausserdem Eigenbauwagen IA 24 544).

C. Motorische Verbrennung.

- C 3 Kraftstoffgleichgültigkeit (Lanz-Bulldöge IVB 08 984, IVB 08 985),
- C 4 Schnelldrehender Glühkopfmotor (Versuchsmotor von den Kampftruppen weggenommen. Man müsste versuchen, irgendwie einen neuen zu bauen),
- C 5 Thermostatischer Glühkopf und
- C 6 Kaltstart von Glühkopfmotoren (Lanz-Bulldöge IVB 08 984, IVB 08 985),
- C 7 und C 8 Membranpumpe (eingebaut in DKW VH 17 097).

Stamm 10

Colonel  
Heidelberg,

und F. O.)  
nahm die er  
geforderten  
berichte und  
dass un-  
n und ord-  
r welche er  
hätten und  
elheiten  
Nachprü-  
lbst und  
r auf seine  
n.

n vorzu-

56),

swagen  
4 544).

VB 08 985),  
mpitruppen  
zu bauen),

IVB 08 985b),

D. Sauggas.

D 1 - D 4 Kraftwäsche - Karburiertes Generatorgas (Mercedes-Benz VH 4060)

E. und F. Oelschiefer.

Sonderbericht Oelschiefer und Kurzbericht über Mercedes-Benz-Diesel mit Boschansrüstung (Mercedes-Benz-Wagen VH 12 537).

Ausserdem sind natürlich in allen den verschiedenen Angelegenheiten, also auch hinsichtlich des grossen Fragebogens über Kraftstoff und Schmiermittel von Colonel F a r a g h e r - Colonel H o r n e und all der anderen in dem kurzen Programm und in dem auf Anordnung hergestellten ausführlichen Programm, sowie in den verschiedenen Sonderberichten erwähnten Angelegenheiten hinsichtlich der schriftlichen Unterlagen, Zeichnungen, Muster, Proben, Geräte, Druck-sachen usw. nach Möglichkeit bestens vorzubereiten.

*Ans. Schmidt*

Heppenheim, 1. Sept. 1945  
O/B.

Verteiler:

- Wa. Ostwald,
- K. W. Ostwald,
- Fritz Ostwald,
- Oskar Widmer.

Item 11

COPY

W. Ostwald  
Neppenheim/Berstr  
Haus Down (Maberg)

re: Research Work of Dr. Hans Heymann, Darmstadt

The theoretical research work of Dr. Hans Heymann on vibrations and his practical successes in producing, finding, measuring and removing vibrations of every description - m.e. such ones of ordinary frequency may be supposed as generally known. But there are other researches of Dr. Heymann except his production of measuring instruments for vibrations, whirling etc.. These he made privately, mostly together with his friend the Oberbaurat B e r k at Obberamstadt in a comparatively small laboratory. These works concerned as well unusual appliances of mechanical vibrations e.g. for removing of mines, as well and m.e. new appliances of vibrations of new quality for different tasks. The speciality of quality of the vibration used by Dr. Heymann is characterized by the especially steep characteristic - up to several 100 g - also by certain forms of the vibration waves, - most especially by vibration waves combining in several vectors in different rhythms. Such vibrations produces Dr. Heymann in different ways. One of his nicest instruments is a stripe of soft iron moved by a electric magnet in such a manner, that vibrations of several hundred g result.

I report several appliances such as I have seen in Dr. Heymann's Obberamstadt laboratory:

1.) Separating chips of iron and brass mixed or of ore and dead rock or of other mixtures of powders of different specific gravity or other different qualities.

The powdered mixture is slowly flowing over an inclined slope. By one vibration it is separated in known manner according to weight. But when a second vibration of other vector is added the two materials are separated as well according to weight as also according to quality.



2.) Mixing of Powders, water and oil etc.

On the iron sheet of an electromagnetic vibrator is fixed a glass container. Some black and white powder, oil and water or similar things are filled. After starting the vibrator the contents seem to boil. In very short time a very homogene mixture of the powders or a very fine emulsion of the fluids is produced.

3.) Mixing of tough things with powders.

It is well known how difficult, time taking and power asking is the process of mixing oils or similar viscous liquids and powders to form lutes, putties, cements and the like. If one is putting some viscous liquid on the iron sheet of the mentioned electrovibrator and is starting it the tough mass to boil and to card itself. If one is adding a dry powder this is at once accepted and in very short time worked up to a homogeneous cement.

Also I have seen at Cherremstadt a great machine which homogenized tough masses with very little power in great velocity by vibrations of several vectors.

4.) Vibrated masses of cement and concrete.

The behaviour of cement, concrete, chalkmasses and the like, created by vibrations with several vectors is very interesting. With very small percentages of water (3 %) such masses get very liquid for a short time and then coagulate. There seems to be thixotropy. There seem to be great possibilities for vibrations with several vectors for concrete, bricks, artificial rocks, road building, compressing of earth, ceramic industry and many similar purposes. The quality of concrete made with only 3 % of water by vibrations of several vectors is better.

5.) Artificial leather and artificial fibres.

By applying vibrations of several vectors to fibres suspended in liquids there is reached an orientation of the fibres in the coagulate, pressed cake etc. and thereby especially good properties of artificial leather etc.

CCBY

6.) Dry Compression of powders such as cocoa, cheese-powder, milk-Powder etc.

Dr. Heymann does know, how to make out of such powders comprettes which have one fourth or still smaller volume, which are really homogeneous (ordinary vibrations bring separations according to size, also hard and soft layers) and easily to repulverized. This process is used in great scale.

7.) Peat

Strange consequences of vibration with several vectors as Dr. Heymann demonstrated when applied to peat. These vibrations - as always of normal frequencies of about 50 liarz - seem to have the power to entle the colloid binding of water in peat, so that not only the capillarie water but also the colloid water may be pressed off. So the water problem of peat, the ground difficulty of every peat industrie, seems to be solved. Dr. Heymanns process divided the peat in two different products. One contains the fibres, the other the more powder components. By Vibrepressing these products with tar or other sticking materials interesting plastics are to be gained.

8.) Shaping by vibrations

It is self understanding to a vibrotechnical expert and surprising only for the layman, that shaping with vibrations may succeed with less powder and more especially less detriment to the strength and other quality of the material. That is true as well for forcing in cold state as the forcing in red heat, as well for iron or light metals or other materials. There seems to be rather much to be awaited for vibrepressing of sheet iron and vibroforging e.g.

9.) Homogenizing of molten materials.

By vibrations molten materials, such as molten metals, salts etc., may be cleaned. Also such molten materials which are not or only partly mixible in a molten state may be emulgated, so that in

freezing such emulsions get novel metals, artificial alloys etc.,

10.) Cleaning of gases and fluids.

Of course vibrations of several vectors may be used with good effect for cleaning gases of liquid and solid impurities, - and also liquids of gaseous, liquid and solid impurities.

11.) Vibrochemistry.

It is well known that the specific surface between two reacting phases is of importance for velocity and sometimes character of chemical reactions. The whole science of colloids may be defined as the science of the influence of specific surface. Great surfaces are the reason for the astonishing properties of more of platinum, of active coal, of silica gel and many other like materials.

By vibrations one can easily and with little energie produce enormous surfaces, e.g. between Benzole and nitric acid, - and thereby come to quite new reactions. Vibration may turn out to be of similar importance for chemistry, as temperature or pressure. Combination of these three means e.g. by vibrating catalytic reactions at high pressures and high temperatures is especially interesting.

12.) Different things.

There were given only some examples out of my memory. There are a great many other appliances of vibrations with several vectors, which have been tried with success by Dr. Heymann, - e. g. artificial leather (together with the firm Preudenberg-Weinheim, rubber-industries, vibroforging, vibromoulding of sheet metals, plastification, production of coal without ashes etc..

Neuprankheim 25. 6. 1945.

0/2

P r o g r a m m .

(Ausführliche Fassung).

A.) Reichsautobahn und Strasse.

1.) Reisegeschwindigkeit und Verbrauch auf Autobahn und Strasse.

Messungen ergaben, dass auf der Autobahn etwa 50 % höhere Reisegeschwindigkeit (bei gleichem Verbrauch) oder bei gleicher (niedrigerer) Reisegeschwindigkeit auf der Landstrasse 50 % Mehrverbrauch eintritt. Dies beruht auf der Gleichförmigkeit der Autobahnfahrt. Auf der Strasse zeigt das Fahrtdiagramm durchschnittlich je 100 km Fahrt 600 Zacken. Näheres darüber in dem beiliegenden Bericht von Dipl.-Ing. Karl W. Ostwald. (Literatur: "Die Wirtschaftlichkeit von Autobahnen", Verlag Volk und Reich, Berlin, - darüber hinaus auch zahlreiche neuere unveröffentlichte Untersuchungen).

2.) Regler für Autobahn und Strasse.

Auf meine Veranlassung wurde von der Firma K i e n z l e in Villingen (Schwarzwald) ein Gerät entwickelt, welches während der Fahrt eine beliebige eingestellte Geschwindigkeit bergauf, bergab mit sparsamster Drosselstellung einhält und sich jederzeit durch Knopfdruck ausschalten lässt. Dieses Gerät fand sinngemäss für selbstschaltende Getriebe (Panzer) versuchsweise Verwendung.

3.) Gefährliche Temperatur des Motorschmieröls.

Auf der Autobahn kamen viele Motordefekte durch ausge- laufene Lager vor, weil Automotoren nicht auf dauernde Volleistung konstruiert sind. Der Fehler liegt darin, dass das Schmieröl zu heiss wird und seine Schmierfähigkeit verliert. Man kann die Sache leicht dadurch kontrollieren, dass man den Ascheghalt des Schmier- öls verfolgt; der bei guter Schmierung proportional der Fahrstrecke zunimmt, bei Ueberhitzung des Oels aber einen sehr raschen Anstieg zeigt. Für übliche Oele und Motoren ist 100° C. die Grenztemperatur. Umkonstruktionen von Motoren, Oelkühler usw. waren die Folge dieser Arbeiten.

#### 4.) Wechselzähler.

Beim Fahrtsschreiber kann man erkennen, dass bei gleicher Reisegeschwindigkeit derjenige Fahrer umso besser ist, bei welchem die integrierte Linie des Fahrtdiagramms am kürzesten ist. Am in Deutschland weit verbreiteten Tachografen der Firma K i e n z l e wurde auf meine Veranlassung ein Wechselzähler angebracht, welcher die Fahrgüte zählt (in Abschnitten von 10 km/h). Dadurch kann man gute Fahrer von schlechten Fahrern, übrigens auch verkehrsgünstige von verkehrungünstigen Strassen zahlenmässig unterscheiden.

#### 5.) Gaszeiger.

Es handelt sich nur um einen Zeiger, welcher auf dem Geschwindigkeitsmesser angebracht ist und die jeweilige Stellung des Gashebels dem Fahrer veranschaulicht. Dieses lächerlich einfache Gerät ermöglicht es, Fehler an Fahrzeugen zu finden, indem dann der gleichen Gaszeigerstellung in der Ebene eine geringere Fahrgeschwindigkeit entspricht als gewöhnlich. Ebenso kann man kraftstofffressende Strassen dadurch erkennen, dass für gleiches Tempo eine solche Strasse eine viel grössere Drosselklappenöffnung benötigt. Vor allem aber ist man als Fahrer überrascht darüber, was der Fuss am Gashebel unsichtbar für Unsinn treibt und mit wieviel weniger Gas man gleiche Beschleunigung und gleiches Tempo erreichen kann.

#### 6.) Messungen der Unebenheiten (und anderer Eigenschaften) von Autobahn und Strasse.

Auf Veranlassung von Dr. Todt wurden Geräte entwickelt, welche die Unebenheiten von Fahrbahnen zählen, - darüber hinaus Kreiselgeräte, welche die Trassierung kontrollieren. Näheres darüber in dem beiliegenden Bericht von Dipl.-Ing. Karl W. Ostwald.

#### 7.) Trassierung von Autobahn und Strasse.

Ein Vortrag, in welchem viele neue Gesichtspunkte gegeben sind, findet sich im Trassierungsheft der Schriftenreihe der "Strasse" (Verlag Volk und Reich, Berlin). Ebenda ist der theoretische und experimentelle (schwarze Spur auf Autobahnen, - Schne Spur auf Autobahnen und Strassen) Nachweis dafür erbracht, dass die Klothoide nicht die richtige Form des Kurvenübergangs ist, sondern eine andere von W a . O s t w a l d angegebene und von Dr. Peter B. R. a u e r berechnete Kurve. Ebenso findet man dort das von W a . O s t w a l d angegebene Verfahren, durch doppelte graphische Differenzie-

Faragher.

Strasse.

a 50 % höhere  
hoher (nie-  
Mehrverbrauch  
hnfahrt.  
e 100 km  
icht von  
chkeit von  
us auch zahl-

i e n z l e  
ährend der  
bergab  
durch  
für  
g.

n ausge-  
leistung  
Bl zu  
e Sache  
Schmier-  
arstrecke  
Anstieg  
emperatur.  
e dieser

Differenzierung von Grundriss und Aufriss Fahrbarkeit und Schönheit von Strassenentwürfen zu verbessern.

8.) Wechselwirkung von Fahrbahn und Fahrzeug.

Die bereits überreichte kleine Schrift für Strassenbauingenieure enthält eine Menge neue Dinge, so über die Transportziffer. Durch die Transportziffer ist es möglich, die Transportleistung ganz verschiedener Fahrzeuge miteinander zu vergleichen und beispielsweise die bedauerliche Tatsache festzustellen, dass man für die gleiche Transportleistung von Sauggaskraftwagen die etwa 8-fache Anzahl benötigt, wie Benzinmotorwagen.

B.) Messung von Klopfestigkeit und Zündwilligkeit.

1.) Absolute Leiter.

Man misst heute die Klopfestigkeit in Oktanzahlen. Die Oktanleiter ist durch Normalheptan und Isooktan festgelegt. Die Zündwilligkeit misst man in Cetanzahlen, wobei die Leiter durch Normalcetan und Alphamethylnaphthalin festgelegt ist. Aus verschiedenen Gesichtspunkten heraus, die sich in der beiliegenden Arbeit angeführt finden, ergibt sich, dass in Wirklichkeit nur eine einzige Klopfestigkeits-Zündwilligkeits-Leiter bestehen kann, welche noch dazu nicht durch künstliche Punkte festgelegt zu werden braucht, sondern als Glücksfall durch naturgegebene Eigenschaften sich selbst definiert. Ob die Auswirkung dieser Festlegung sich, wie ich hoffe, zunehmend in allen Einzelheiten bewähren wird, konnte angesichts der Kriegsverhältnisse noch nicht ausreichend genau nachgeprüft werden. In jedem Fall aber dürfte für normale Verhältnisse die grosse praktische Vereinfachung und die theoretische Säuberung sich empfehlen, welche sich durch die Erkenntnis von den gemeinsamen natürlichen Grenzwerten der Klopfestigkeit und der Zündwilligkeit ergibt.

C.) Motorische Verbrennung.

1.) Das logarithmische Feld aller Motoren.

Wenn man gemäss Anlage die Verdichtungszahlen der Motoren als Ordinaten logarithmisch und die Cetan- und Oktanzahlen der für diese Motoren besonders geeigneten Kraftstoffe als Abszissen in elementarerer Teilung anträgt, dann erhält man sehr interessanterweise für die nach dem Ottokreisprozess arbeitenden Benzinmotoren und die Dieselmotoren je ein durch eine Gerade abgetrenntes Feld. Nach der technischen

13  
technischen Entwicklung versuchen die beiden Felder einander zu nähern. Zwischen drin liegt ein ziemlich unbestimmtes, aber im wesentlichen anscheinend auch geradliniges Feld der Glühkopfmotoren. Aus den Zahlen der beiliegenden Arbeit ergibt sich die praktische Brauchbarkeit dieser überraschend einfachen Uebersicht.

2.) Es gibt 3 und nur 3 verschiedene Sorten von motorischer Verbrennung und von Verbrennungsmotoren.

13  
Für gewöhnlich unterscheidet man nur Otto- und Dieselmotoren. Ottomotoren verbrennen ein Gemisch von Kraftstoff und Luft. Dieselmotoren spritzen Kraftstoff in Luftüberschuss ein. Logisch ergibt sich, dass man auch Luft in Kraftstoffüberschuss einspritzen kann, und dass dies die einzige grundsätzlich abweichende Art von motorischer Verbrennung ist, die es noch geben kann. (Von Abarten, wie Gleichstrom, Gegenstrom, Stufenverbrennung usw., sei abgesehen). Dass tatsächlich die glühkopfmotorische Verbrennung ganz abweichend ist, ergibt sich aus der Gegenüberstellung in der beiliegenden Tabelle.

13  
Interessant ist dabei der Umstand, dass es sogar zwei ganz verschiedene Sorten von Glühkopfmotoren gibt, solche mit etwa 600° C. heissem Glühkopf, und solche mit nur etwa 300° C. heissem Glühkopf. Der Unterschied liegt mechanisch im Einspritzzeitpunkt, der im ersten Fall um eine halbe Umdrehung vorher erfolgt, - chemisch darin, dass nach dem bekannten Versuch von Otto, L'Orange, Wa. Ostwald die Selbstzündungstemperatur von flüssig-Luft z.B. für Gasöl unterhalb 300 C., diejenige von dampfförmig-Luft jedoch ungefähr bei 600° C. liegt.

13  
Das beiliegende Gibbs'sche Dreieck zeigt, dass die praktisch gebauten Motoren nur zum kleinen Teil Spezialmotoren nach einer der drei Möglichkeiten sind, vielmehr Mischverbrennung in weit aus den meisten praktischen Motoren (mit Ausnahme der Ottomotoren) angestrebt wird.

3.) Kraftstoffgleichgültigkeit.

Aus naheliegenden Gründen hat der Glühkopfmotor die Beschaffenheit, durch die ganze Oktan-Cetan-Leiter und weitgehend ohne Rücksicht auf Flüchtigkeit alle Kraftstoffe mit nur geringen Abänderungen zu verarbeiten. Das ist praktisch noch längst nicht genügend ausgenutzt worden.

#### 4.) Schnelldrehender Glühkopf.

Der Glühkopfmotor ist eine embryonale Bauart, die möglicherweise eine grosse Zukunft hat, schon wegen ihrer Kraftstoffgleichgültigkeit. Die Auto-Union hatte einen kleinen schnelldrehenden Glühkopfmotor für Benzinbetrieb konstruiert, bei welchem der Glühkopf nur zur Ersparung der elektrischen Zündung dienen sollte. Das kleine Gerät lief 5 000 Touren. Ich erbrachte den Nachweis dafür, dass dieser Motor, welcher weder Vergaser, noch Einspritzpumpe, sondern nur ein Tropfventil hat, nicht nur mit Benzin, sondern beliebigen anderen flüssigen Kraftstoffen (Gasöl, Schieferöl, Steinkohlenteeröl) tadellos lief, und mithin schnelldrehende Glühkopfmotoren möglich sind.

#### 5.) Thermostatischer Glühkopf.

Glühkopfmotoren haben die Schwierigkeit, dass der Glühkopf bei Vollast zu heiss, bei Leerlauf zu kalt wird, was im ersten Fall zu rascher Zerstörung, im zweiten zu Betriebsstörungen führt. Es handelt sich um nur kleine Differenzbeträge an Wärme, welche man durch thermostatisch geregelte Kühlung und (elektrische) Heizung zweifellos in Ordnung bringen kann. - Uebrigens ist die Herstellung von Glühköpfen wahrscheinlich schon aus Temperguss anstelle der heute benutzten hochlegierten Stähle zweckmässig, - vielleicht noch zweckmässiger aber aus Sinterkorund (also keramisch).

#### 6.) Kaltstart von Glühkopfmotoren.

Heute werden Glühkopfmotoren gestartet, nachdem man mit Hilfe einer Lötlampe den Glühkopf erhitzt hat. Das ist feuergefährlich, lästig und betriebsunsicher. Nachrechnung ergab, dass es sich nur um sehr bescheidene Wärmemengen handelt, sodass für die meisten Zwecke elektrische Heizung aus der Lichtdose in Frage kommt. Andere Wege zum Starten sind Thermit und (für Kolonialverhältnisse) Holzkohle.

#### 7.) und 8.) Membranpumpe.

Während alle sogen. "Schwerölvergaser" in Wirklichkeit nur mittelsiedende Kraftstoffe in Ottomotoren notdürftig und mangelhaft verbrennen lassen und deshalb keinen rechten Erfolg haben, gelingt es, wirklich hochsiedende Kraftstoffe, wie Gasöl, Schieferöl, Steinkohlenteeröl usw., dadurch erfolgreich motorisch zu verbrennen, dass man sie unter Druck - gegebenenfalls auf den heissesten Teil des Verbrennungsraumes - einspritzt. Das weiss man von den Bosch-Pumpenher.



her. Bosch-Pumpen sind aber teuer und empfindlich. Man hielt es nicht für möglich, die winzigen Kraftstoffmengen mit einer ja sehr viel einfacheren Membranpumpe ausreichend genau dosieren zu können. Fritz Ostwald hat zusammen mit Oskar Widmer festgestellt, dass dies doch möglich ist, und dass man einer solchen Differential-Membranpumpe einfachster Bauart sogar nicht einmal einen mechanischen Antrieb zu geben braucht, sondern mit einem pneumatischen Antrieb durch die Abgase des Motors selbst auskommt. Auch elektromagnetischer Antrieb der kleinen Pumpe dürfte nicht schwierig sein. Die Angelegenheit wurde auch zusammen mit der Zentralversuchsabteilung der Auto-Union entwickelt. Dort ist sogar ein kleiner luftgekühlter Schnellläufer (250 ccm) bereits erfolgreich durch den 100-Stunden-Test gegangen (vgl. im übrigen den beiliegenden Bericht Fritz Ostwald).

D.) Sauggas.  
=====

1.) Kraftwäsche.

Sauggasfahrzeuge haben schlechte Leistung und schlechte Lebensdauer. Das beruht auf Unreinheit des Gases und auf ungenügendes Beschleunigungsvermögen des Motors wegen schlechter Gasqualität, grossem Gaswiderstand und Trägheit des Generators. Durch Kraftwäsche, wie in der chemischen Technik üblich, - d.h. wasser- oder teerbespülten Ventilator, zweiten Ventilator zur Entnebelung, kann man dies alles in Ordnung bringen. Die vom Motor dafür angewendete Arbeit wird durch die Beseitigung des Saugwiderstandes mehr als aufgewogen. Die Entwicklung geschah leider sehr langsam durch Prof. Kirschbaum, Prof. Spannhaake und Obering. Harnisch in Zusammenarbeit mit meinem ältesten Sohn (vgl. anliegenden Bericht von Karl W. Ostwald).

2.) Bube-Generator.

Direktor Dr. Bube, ehemals Braunkohlenwerk Werschen-Weissenfels, ein Studienkamerad von mir, hat folgenden Gedanken ortsfest verwirklicht, der in Zusammenarbeit mit meinem ältesten Sohn (vgl. Anlage) von Herrn Dittling (Schweizer Royal-Generator) entwickelt wird:

<sup>ist</sup> Volle Benzinleistung wird nur vorübergehend gebraucht und nur durch ein Gas mit sehr hohem Heizwert erreichbar. Bei den meisten Betriebszuständen braucht man nur halbe Leistung, also auch

nur

nur ein schwaches Gas. Bei Braunkohle lässt Dr. B u b e also Braunkohlenschwefkoks im Kreise laufen, wobei er durch Vergasung Schwachgas von 1000 WE/obm liefert. Setzt man diesem Kreislauf etwas Frischkohle zu, dann entsteht dadurch zuerst Starkgas von 5 000 WE. Man kann also im selben Generator wünschweise Starkgas für Vollleistung und Schwachgas für Teilleistung herstellen. Man kann sogar für längere Zeit Starkgas herstellen, indem man nicht bis auf Asche vergast, sondern einen grösseren Kohlenstoffverlust für diese Zeit in Kauf nimmt.

### 3.) Zweizonen-Generator.

Merkwürdigerweise ist das Stufenprinzip, dessen Vernünftigkeit so allgemein anerkannt und z.B. in der Feuerungstechnik (Sekundärluft) ganz üblich ist, beim Gasgenerator noch nicht systematisch angewendet worden. Auf meine Anregung hin haben Dr. R ü h l, Recklinghausen (Imbert) und andere mit bestem Erfolg Mehrzonen-Vergaser gebaut, welche schwierige Kraftstoffe, wie Braunkohlenbriketts, besser zu verarbeiten gestatten.

### 4.) Karburiertes Generatorgas.

Man kann Generatorgas dadurch karburieren, dass man vorteilhaft unter Ausnutzung der fühlbaren Wärme - verdampfbare Kohlenwasserstoffe zusetzt oder - besser - dadurch, dass man der Verbrennungsluft zersetzbare Kohlenwasserstoffe (Teer) so zusetzt, dass sie zu flüchtigen Kohlenwasserstoffen <sup>(nicht verbrannt)</sup> zercrackt werden (vgl. den beiliegenden Bericht von Karl W. Ostwald).

### E. und F.) Oelschiefer.

Im Auftrage von Staatssekretär M i l c h (Hauptmann v. K r u s e n e r), - später Prof. Dr. K r a u c h (I.G. Farbenindustrie, - Reichsamt für Wirtschaftsausbau), Planungsamt (Reichswirtschaftsministerium) und Präsident K e h r l (Rohstoffamt) habe ich mich mit der Oelschiefer-Angelegenheit befasst. Ein Sonderbericht darüber liegt bei.

### G.) Motor, Mensch, Tier und Pflanze.

Das atomprozentische CHO-Dreieck gibt einen verblüffend tiefen Einblick in das Zusammenwirken von Tier und Pflanze in der Welt, in die Lebensvorgänge, in die Algebra der organischen Chemie

(das

(das System der Alkohole geht z.B. zu einem Strahlenbüschel im Dreieck zusammen), in die Vorgänge der Verkohlung und Inkohlung, in die Verbrennungsvorgänge u.v.a.m.. Das Dreieck ist gleichzeitig eine stöchiometrische Rechenmaschine, da es graphisch die Mengenverhältnisse angibt. Die energetischen Verhältnisse werden, wie angesichts der chemischen Energetik ohne weiteres klar, nur nach ihrer Tendenz, aber nicht quantitativ wiedergegeben. Wohl aber lässt sich z.B. die schon Liebig bekannt gewesene Tatsache zahlenmässig im CHO-Dreieck verfolgen, dass die Atemanalyse eines Menschen oder Tieres verschieden ist, je nachdem im Augenblick Zucker, Fett oder Eiweiss verdaut wird, und wie diese Änderungen zahlenmässig sind.

A n h a n g .

=====

Ich glaube, folgende Punkte nicht unerwähnt lassen zu sollen:

- 1.) Auf eine an mich gekommene Anregung hin habe ich ein Prinzip zum Aufsuchen und Beseitigen von Landminen durch Panzer angegeben. Ich wurde bald aus der Angelegenheit entfernt, nachdem sie sich als brauchbar erwies. (vgl. anliegenden Bericht an die Militär-Regierung).
- 2.) Ich bin fachlich gut bekannt mit Dr. H e y m a n n und seinen auch für die Chemie höchst interessanten Schwingungsforschungen. Ich habe selbst dazu eine Anzahl Anregungen gegeben (vgl. beiliegenden Bericht "Research work of Dr. Hans Heymann, Darmstadt").

Heppenheim, den 31. August 1945.

*Handwritten signature*

e also  
Vergasung  
islauf etwas  
n 5 000 WE,  
ur Voll-  
kann sogar  
s auf Asche  
diese Zeit

en Ver-  
ngstechnik  
cht syste-  
r. R ü h l,  
zonen-  
kohlen-

ss man -  
dfbare  
an der  
zusetzt,  
n (vgl.

uptmann  
I.G. Farben-  
(Reichs-  
amt) habe  
ader-

bluffend  
in der  
Chemie  
(das

W. Ostwald  
Heppnerstr. 11 / Bergstr.  
Haus 1. Stock (Mailberg)

Stm 13

Colonel Faragher.

Kurzbericht über Mercedes-Benz-Diesel-Personenwagen mit Bosch-  
Ausrüstung.

Der Mercedes-Benz-Dieselmotor besitzt einen Vierzylinder-  
motor von 2,6 Ltr. Hubraum. Er ist in 1 000 oder 2 000 Stück herge-  
stellt worden und hat sich besonders als Taxi vortrefflich bewährt.  
Ich besitze ein viersitziges Cabrio, welches ich in gebrauchtem  
Zustande für Versuchszwecke erhielt und habe mit diesem etwa 15 000  
km zurückgelegt. Der Motor Mercedes-Benz OM 138 hat 4 Zylinder von  
90 mm Bohrung und 100 mm Hub. Er leistet bei 3000 Umdrehungen/min.  
(97 km/h) 45 PS. Das Fahrzeug wiegt etwa 1 500 kg. Der Motor ent-  
hält 6 Ltr. umlaufendes Schmieröl.

Nach seiner Konstruktion ist der Motor ein normaler Vor-  
kammer-Dieselmotor mit Glühkerzen in den Vorkammern zum Anlassen.  
Als Düsen dienen Bosch-Düsen, welche auf 80 - 120 atü Abspritzdruck  
eingestellt sind. Eine normale Bosch-Pumpe besorgt das Einspritzen.  
Eine übliche Kolbenförderpumpe fördert das Dieselöl zur Hochdruck-  
pumpe. Der Kraftstoff fliesst vor der Förderpumpe durch einen ge-  
wöhnlichen Seiher und zwischen Förderpumpe und Hochdruckpumpe durch  
ein Feinfilter (Filz, Papier oder Spaltfilter).

Ungewohnterweise besitzt das Fahrzeug einen Regler und  
zwar einen pneumatischen Regler, welcher den Unterdruck der Ansaug-  
seite zur Regelung der Einspritzmenge derartig benutzt, dass bei  
~~hoher Drehzahl~~ <sup>starker Last</sup> wenig, bei ~~niedriger Drehzahl~~ <sup>schwacher Last</sup> viel eingespritzt wird.  
Dieser Regler erwies sich als notwendig, weil der Dieselmotor in sei-  
nem Verhalten sonst zu labil ist. Theoretisch ist dabei interessant,  
dass im Gegensatz zu den gewöhnlichen Dieselmotoren, welche bei  
Teilleistungen und Leerlauf ganz gewaltige Luftüberschüsse auf-  
weisen, das Mischungsverhältnis beim Mercedes-Benz-Dieselmotor mit  
pneumatischem Regler über alle Bereiche ungefähr konstant bleibt.

Das praktische Verhalten des Wagens weicht von dem eines  
Benzinwagens merklich ab. Die Beschleunigung ist geringer, - dafür  
ist das Durchziehvermögen bei Steigungen sehr merklich grösser.  
Man muss sogar vermeiden, das grosse Drehmoment des Dieselmotors  
in niedrigen Drehzahlen auszunutzen, weil sonst die Achsen leicht  
abgedreht werden können. Es gilt die strenge Regel, unterhalb von  
40 km/h nie im grossen Gang zu fahren.

Der Geruch sowohl des Kraftstoffs, wie der beim Dieselmotor  
ja keineswegs ganz geruchlosen Auspuffgase kann lästig sein.

Wenn

Wenn der Motor in Ordnung ist, merkt man nichts davon. Nach Reparaturen stinkt aber alles, weil Dieseldieselkraftstoff nicht wie Benzin leicht verfliegt.

Ein Fehler des Dieselmotors ist der Umstand, dass die Glühkerzen manchmal aus unerfindlichen Gründen nur eine sehr geringe Lebensdauer zeigen. Es dürfte aber verhältnismässig leicht möglich sein, aus Siliziumkarbid als Heizkörper und Sinterkorund als Grundmasse keramische Glühkerzen herzustellen, welche viel unempfindlicher sind.

Heimtückisch ist der Dieseldieselkraftwagen ebenso wie jeder Dieseldieselmotor gegen die geringsten Undichtigkeiten in den Kraftstoffleitungen zwischen Tank und Hochdruckpumpe. Hier entstehen Unterdrücke, welche Luft ansaugen, die widerwärtige und schwer auffindbare Störungen des Betriebs verursachen.

Zum Anlassen braucht der Dieseldieselmotor mehr Energieaufwand, als ein Benzinmotor, - nicht nur wegen der höheren Verdichtung, sondern auch überhaupt wegen seines höheren Gewichtes. Dafür besitzt er den grossen Vorteil, dass man ihn durch Anschleppen auch dann jederzeit leicht in Betrieb setzen kann, wenn die elektrische Anlage ganz ausfällt.

Ich benutzte den Dieseldieselwagen zur Prüfung von Schieferöledestillaten. Diese haben eine Cetanzahl von etwa 30, springen also nicht ohne weiteres kalt an. Deshalb ist vorteilhaft ein Doppelumsehalthahn für Oel und Rücklauföl vorhanden, sodass man bequem mit Gasöl anlassen und mit Schieferöl fahren kann.

Schieferöl gibt etwas härtere Verbrennungen als Gasöl und eine kleine Mehrleistung. Irgendwelche Änderungen des Einspritzzeitpunktes erwiesen sich als überflüssig. Gelegentliche Reinigung und sonstige Kontrolle der Düsen ist beim Dieseldieselmotor bei allen Kraftstoffen nötig. Korrosionserscheinungen sind nicht zu finden gewesen. Hingegen macht sich die grössere Kälteviskosität des Schieferöls im Winter im Feinfilter bemerkbar, sodass eine Beheizung des Feinfilters am Platze ist.

Das Motorschmieröl wird bei Dieseldieselbetrieb bekanntlich durch allmähliche <sup>Schieferöledestillation</sup> Oxydation und Aufnahme von Russ dicker und schwarz, so dass es zweckmässig alle 2000 - 3000 km zu wechseln ist.

Alles in allem macht der Fahrzeugdieseldieselmotor weder mit Gasölbetrieb, noch mit Schieferölbetrieb (bei Gasöl Kaltstart) Schwierigkeiten. Ueberraschend ist der bei ausgezeichneter Leistung (über 100 km/h) erstaunlich niedrige Verbrauch des Fahrzeugs von 9 - 10 Ltr. je 100 km.

30. August 1945

gez. Wa. Ostwald

M. Mendelbauer

Stem 14

1st May 1945.

Heppenheim / Bergstr.  
Hans Dowa (Maler)

G/Er.

We beg protection against confiscation or damage, or permission to bring to Heppenheim, of certain apparatus, cars, lorries and parts in Chemnitz (Saxony), Grossbothen (near Grimma, Saxony) and Hermsdorf (near Jena, Thuringia). These things are important for german nourishment (order of General Eisenhower to the Germans) and perhaps even of technical interest for USA.

Our request is recommended by Prof. Dr. Bergsträsser (Civil government Darmstadt), Prof. Dr. König (Civil government Bergstrasse) and Mr. Flock, the mayor of the city of Heppenheim a.d.Bergstrasse, our dwelling place.

We know how to drive motors by coal tar oil, shale oil, ordinary oil residues etc. We were ordered by Prof. Dr. Krauch, the chief of the I.G. Farbenindustrie A.-G. and German General manager of Chemistry in wartime, to develop these processes. The first of us (Wa. Ostwald) ist scientific collaborator of the I.G. Farbenindustrie A.-G. since 20 years. Commander Hagel of the Transporteinheiten Speer gave the cars, Praesident Kehrl of the office for raw materials gave the fuels. We worked together with the central research department of the Auto-Union (Chemnitz) and with the firm Lenz (Mannheim). We had experimental places in Chemnitz (Auto-Union), Grossbothen, Borkhoido, Hermsdorf (Lenz) and Heppenheim (Widmer and Ostwald). In Heppenheim USA-soldiers carried away our only small experimental motor for lectures and demonstrations, although it cannot be of any imaginable use for them.

We are afraid that similar damage to our other outfits is possible in all 3 places as well by soldiers as by Germans misusing the disorder of wartimes. Therefore we ask for military or civil protection of the stuff or permission to remove it to Heppenheim where our work is acknowledged by the German civil authorities as in the interest of agriculture and transport, where is security and the possibility to work and immediate use for our results.

Our task is to make horsepower out of heavy fuels of

of difficult character, which are easily procured in Germany, - such as coal tar oil, shale oil, oil residues etc.. We work in 4 directions:

1.) heavy fuel in ordinary 2 stroke-motors (with carburetter).

2 stroke motors are in general use in Germany, - motor cycles by millions, small cars (DKW) by hundredthousands, fixed and movable motors in agriculture etc. also by hundredthousands. These motors - cooled by air or water - may be driven by heavy fuels up to an average boiling temperature (a.b.t.) up to 250° C, which means gas oil and similar mixtures. This process is proved and ready for immediate use, - the only changes necessary being a simple device for starting with gasoline and for water cooled motors a thermostat or other device for regulating a temperature of about 90° C.

2.) heavy fuel, also coal tar oil, in ordinary motors (without carburetter).

We have developed a very simple small membran pump with pneumatic impulse by the gases in the cylinder (without any gears). This pump is easily fitted to existing motors and does measure and inject finely divided the heavy fuel to the passage canal of ordinary 2 stroke motors and to the hottest part of other motors (hot bulb in hot bulb motors, exhaust valve in four stroke motors). This process is not yet ready for 4 stroke motors. But we succeeded in driving a 2 stroke motor car with coal tar oil, and the Auto-Union had run 2 stroke motors on gasoils of 300° C a.b.t. for more than 100 hours (bench-tests). We are occupied to work this process with a Ford BB lorry. Also this process seems to be very important for light hot bulb engines with 2500 and more rotations every minute. (The small experimental motor, mentioned above, taken away by USA-soldiers (Ammo Convoy 1311 Control car CN 7; 103.4111), ran 5 000 rot./min. on shale oil, gas oil, coal tar oil, kerosene etc.).

3.) slow running hot bulb engines (Lanz bulldog tractors).

There are about 80 000 Lanz Bulldogs in use in Germany, most of them in agriculture, many also in road transport. These engines are slow running (540 - 850 rot./min.), have only one cylinder and are working usually on gas oil. They are started after heating the bulb by a big gasoline lamp. The engines are

very

very good, i.e. foolproof, powerful and of long life, - but are heavy, noisy, have not a good fuel consumption ( 250 g/PSH) and give rather smelling exhaust gases.

We found out together with Lenz (Mannheim) that the hot bulb motor is astonishing indifferent to fuel quality, the bulldog running without any change with shale oil, coal tar oil mixture etc. and after small change with unmixed coal tar oil, raw alcohol (85 %), oil residues etc., covering the whole octan- and cetan-range of fuels. This indifference was not yet known and is ready for immediate use. Great use has yet been made of raw shale oil and also of 85 % raw alcohol (made from waste liquids of the production of paper for example).

The bulldog motor is an embryo construction, held back by the development of the Dieselmotor and the electric motor. We are occupied - together with Lenz - to make the hot bulb motor - used in a similar embryonical state in Russia (local), Hollandia, Norway, Suede, Denmark (fisher boats) - a better and more convenient motor with easy starting, better combustion, less consumption, less smoke and smell etc..

#### 4.) Quick running light hot bulb motors.

We are occupied to develop quick running hot bulb motors and have proved by the small experimental motor mentioned, that this is rather easily possible. We do not think of new constructions of motors, but only of change of ordinary 2 stroke and 4 stroke motors, also of automobiles and motor cycles. The changes mean affixing of hot bulbs and pneumatic membran fuel pumps and removing the electric ignition.

#### summed up:

We do think that our work will be of immediate and future use for the german nourishment and beg for protection of our experiaental material at Chemnitz, Hermsdorf and Grossbothen or permission to get it to Heppenheim. We are prepared to go to these 3 places by our experiaental Mercedes-Diesel-Car running on shale oil as soon as we get permission by the USA military authorities here and recommendations to the USA military authorities of the 3 places.



Of course we are ready to give particulars to USA technical experts to proof the earnest and the importance of our work - perhaps also for U.S.A.

Heppenheim a.d. Bergstr., 1.5.1945.

Wa. Ostwald.      Dipl.-Ing. K.W. Ostwald.      Oskar Widmer jr.

Recommendation by Mr. Fleck, the mayor of the city of Heppenheim a.d. Bergstr. (Hessen-Nassau).

Recommendation by the Civil chief of the district Bergstrasse Prof. Dr. König.

Recommendation by the Civil chief of the country Darmstadt (Hessen-Nassau) Prof. Dr. Bergsträsser.

We can

drive motors by shale oil, coal tar oil etc.

We know

important facts of the motoric combustion, leading as well to important theoretical progress as to perhaps still more important practical progresses

We are

- 1.) Wa. Ostwald, father, 60 years, since 20 years scientific collaborator of the I.G. Farben Industrie, 25 years editor of the Automobil Technische Zeitschrift, Chemist and engineer.
- 2.) Dipl.-Ing. Karl W. Ostwald, automobile engineer, - son
- 3.) Dipl.-Phys. Fritz Ostwald, technical physicist, - son

We have

1.) The third and last of the 3 Ostwald-Libraries, - the first and greatest at Grossbothen (Saxony) together with the Wilhelm Ostwald-Archiv having gone to the Russians, - the second (Prof. Dr. Wa. Ostwald) having been destroyed by bombs at Leipzig. Several thousands books and printed matter concerning chemistry, physics, engineering, philosophy, measuring of colours, mathematics, sociology, geography, biographies, souvenirs and letters of celebrated scientists etc.

2.) Some experimental motor cars and laboratory equipment. It has not been possible to save the equipments of Grossbothen, Chemnitz and Hornsdorf. The experimental motor of Heppenheim has been taken away by USA-troops and not returned.

We try

to get on with our work, - together with our Swiss friend Mr. Oskar Widmer jr., owner of a plant at Heppenheim. But we do not succeed, owing to want of equipment, labor and money.

We want

to see USA experts who are willing to make sure if our knowledge is important and true, - and if so to give or procure the necessary protection (against requisitions etc.) and assistance (tools, fuels, money).

fuels, money).

We are in connection

with the Lanz works, the I.G. Farben Industrie (Prof. Dr. Krauch, Direktor Dr. Pier etc.), the Auto-Union (Chemnitz, - now taken away by the Russians) etc.

We are known

to the Opel werke (General Motors), the Vacuum Oil Co, the Deutsch Amerikanische Petroleum Gesellschaft (Standard), the entire German Automobile Industry, to Prof. Dr. Kamm, to all German and many foreign experts. The mayor of Heppenheim Dr. Fleck, the chief of the Civil Government Bergstrasse Prof. Dr. König and the president of Hessen-Nassau Prof. Dr. Bergsträsser also do know and recommend us and our work.

Wa. Ostwald  
Huppenheim / Bergstr  
Haus Dowa (Maibere)

A.) Reichsautobahn and road.  
=====

- 1.) velocity of travelling and consumption on RAB and road
- 2.) automatic regulating device for use on RAB and road
- 3.) dangerous temperatures of lubricating oil
- 4.) automatic counting of "changes" (in velocity) for better driving and judging of "traffic-velocities" of roads
- 5.) "gas-needle".- device for better driving and for controlling cars and roads
- 6.) measuring of the unevenness of RAB and roads
- 7.) devising of RAB and roads (e.g. the "correct" form of a <sup>curve</sup> curb)
- 8.) mutual action of road and vehicle

B.) Measuring of knockrating and willingness to ignite (OZ and CaZ)  
=====

- 1.) There seems to be only one scale with two natural end points (not four arbitrary ones, as now).  
(earth)

C.) Motoric combustion.  
=====

- 1.) The logarithmic field of all motors
- 2.) There are 3 and only 3 kinds of motoric combustion and of combustion motors
  - 1) according to Otto-cycle (mixture of A and B)
  - 2) according to Diesel-cycle (A injected into B)
  - 3) hot bulb-motors (B injected into A)

- a) hot bulb temperature about 600 Grad C., - e.g. Lanz
- b) hot bulb temperature about 300 Grad C., - e.g. A.E.G.
- 3.) "fuel indifference" (the hot bulb motor is indifferent against fuels and may be used with fuels of any OZ or CAZ, - gasous, liquid, more or less volatile)
- 4.) hot bulb motors with high rotation figure (e.g. 5000 rot/min).
- 5.) thermostatic hot bulb (puts away with the difficulties in idling hot bulb motors)
- 6.) cold starting of Lanz hot bulb motor (instead of gasoline torch)
  - a) by electric heating
  - b) by thermit
  - c) by wood coal
- 7.) small pneumatic membrane pump for injecting fuel (driving ordinary motors by heavy fuels, such as shale oil or coal tar oil).
- 8.) small electric membrane pump for the same purposes

D.) producer gas.  
=====

- 1.) gas washing "by force" leads to
  - a) clean and dry gas
  - b) more power by taking away the pneumatic resistances
- 2.) Bube-generator will give full "gasoline-power"
- 3.) generator with several zones (e.g. Dr. Rühl) is working with difficult fuels.

4.) carburetted producer gas (oil generator")

E.) Shale.  
=====

- 1.) kiln according to Dr. Sennewald, - Schömberg etc.
- 2.) shaft furnace according to Dr. Graf - Wa. Ostwald, - Schandelah
- 3.) smouldering with air and vapour according to Dr. Mond at Dotternhausen
- 4.) smouldering deep in the mountain at Schörzingen
- 5.) smouldering in/molten aluminium metall at ~~Schörzingen~~ *Dotternhausen*
- 6.) hydraulic chalk and cement at Dotternhausen
- 7.) bricks (Schömberg and Prof. Wittig at Braunschweig)
- 8.) slag wool at Dotternhausen.

F.) Shale oil.  
=====

- 1.) viscosity in the cold (depression of viscosity by mixing)
- 2.) corrosion by sulfur
- 3.) extraction of sulfur by sulfite of sodium (Prof. Theilacker)
- 4.) use of shale tar and distillates in hot bulb engines and Diesels.

G.) Motor, man, beast and plant.  
=====

(In a Gibbs triangle giving contents of carbon, hydrogen and oxygen in atomic percents there is to be seen not only an astonishing order of great parts of the organic chemistry, but also a great part of the working of nature in plants, beasts etc.. Also this triangle is a calculating device for mixtures and exhaust gases of motors, industrial combustions, of the digesting in man and beast etc..)

andelah

at

er)

Item 15

# Motor, Mensch, Tier und Pflanze

Von WA. OSTWALD, VDI  
Heppenheim a. d. Bergstrasse

SCHWEIZERISCHE BAUZEITUNG

Sonderdruck aus Bd. 124, Nr. 3 vom 15. Juli 1944

Druck Jean Frey AG., Zürich



tem 15

### Motor, Mensch, Tier und Pflanze

Von WA. OSTWALD, VDI, Heppenheim a. d. Bergstrasse

[Vorbemerkung der Redaktion. Wenn wir zu Beginn der Ferienzeit mit diesem Aufsatz den Blick des Lesers über die Grenze unseres technischen Arbeitsfeldes hinaus lenken, so geschieht dies aus folgender Erwägung unseres geschätzten Fachberaters. Es scheint uns nützlich, wieder einmal vor Augen geführt zu erhalten, und darüber nachzudenken, wie sehr alles in der Natur aufeinander abgestimmt ist, wie alle Energie, deren wir uns bedienen, letzten Endes Sonnenenergie ist, und wie Oxydationsprozesse verschiedenster Art und Reduktionsprozesse ineinander greifen und sich ergänzen.]

Der Mensch und das Tier haben viel Ähnlichkeit mit dem Motor. Beide atmen Luftsauerstoff ein und Kohlensäure und Wasserdampf aus. Kohlensäure und Wasserdampf entstehen durch Verbrennung der Nahrungsmittel oder Kraftstoffe mit Luftsauerstoff. Nahrungsmittel und Kraftstoffe enthalten als wesentliche Bestandteile Kohlenstoff und Wasserstoff, von denen der erste vom Sauerstoff zu Kohlensäure, der andere zu Wasser entwertet wird. Die Verbrennung findet in unseren Motoren unter Feuererscheinung bei hoher Temperatur von 1000° C und mehr, im Tierkörper unsichtbar bei einer Temperatur von nur 36° C oder darunter statt. Durch die Verbrennung wird aus Kohlenstoff und Wasserstoff Energie frei. Ein Motor verbraucht für eine Pferdekraftstunde zwischen 200 und 400 gr oder 2000 bis 4000 WE an Kraftstoff — ein Mensch, der täglich etwa 1 PSh leisten kann (10 Stunden lang  $\frac{1}{10}$  PS Leistung), benötigt täglich 3000 bis 4000 WE an Nahrung — unterscheidet sich also chemisch-physikalisch gar nicht sehr vom Motor<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Nimmt man (vgl. Prof. Dr. G. Lehmann: Die Bewertung der körperlichen Arbeit auf physiologischer Grundlage. «Stahl und Eisen» 1914, S. 35 ff.) an, dass der menschliche Körper allein zu seiner Erhaltung 1800 kcal Nahrung benötigt, dann muss man den Muskelmotor als vorzüglichen Motor ansprechen, der für 1 PSh z. B. nur 4000 — 1800 = 2200 kcal Nahrung benötigt. Das erinnert an die Tatsache, dass die «motorische Verbrennung» im Muskelmotor ohne Zwischenbildung fühlbarer Wärme vor sich geht und deshalb auch nicht (ebenso wenig wie etwa galvanische Elemente) dem grossen Zwangsverlust nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik unterliegt.

Das Gegenteil von Menschen, Tieren und Motoren ist die Pflanze. Sie ist ein zwiespältiges Ding. Einerseits lebt sie auch ganz wie Mensch, Tier und Motor, indem sie Kohlenwasserstoffverbindungen (aus dem eigenen Körper) mit Luftsauerstoff zu Kohlensäure und Wasser bei sehr mässiger Temperatur verbrennt. Aber in viel grösserem Umfange tut die Pflanze mit Hilfe ihres grünen Chlorophyll-Apparates auch das Entgegengesetzte. Sie atmet Kohlensäure ein, die sich in unserer Luft in einer Menge von 0,34%, merkwürdig konstant findet, und holt sich dazu aus Boden und Luft Wasser heran. Diese beiden entwerteten Abfallstoffe des tierischen und motorischen Lebens verwertet der pflanzliche Chlorophyll-Apparat in verbrennliche Kohlenwasserstoffverbindungen, Kohlehydrate, Stärke, Zellulose, Fette usw. zu verwandeln, also aufzuwerten. Die Energie dazu bezieht die Pflanze aus der Sonnenstrahlung. Die Pflanze ist also gleichsam ein rückwärts laufender Motor, der Auspuffgase sich zusammenholt und dafür Kraftstoffe liefert.

Menschen, Tiere und Motoren könnten ohne die Pflanzen gar nicht existieren. Die von den Pflanzen als Pflanzenkörper oder Samen hergestellten verbrennlichen Stoffe würden zwar auch ohne Mensch, Tier und Motor allmählich sich mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure und Wasserdampf vereinigen (verkohlen, verrotten, verwildern). Aber Mensch, Tier und Motor schalten sich gleichsam als Nutzniesser zwischen das pflanzliche Leben und das natürliche Vergehen seiner Reste ein, indem sie in sich selbst dieses Oxydieren lenken und beschleunigen.

So kommt es, dass man sich sehr leicht eine einsame Insel vorstellen kann, auf der jahraus, jahrein ein üppiges Pflanzenwachstum in Abwesenheit aller Tiere stattfindet. Das Umgekehrte, eine pflanzenlose und nur von Menschen oder Tieren bevölkerte Insel kann man sich nicht so leicht vorstellen; ihre Bewohner müssten verhungern, nachdem die Stärkeren die Schwächeren aufgefressen hätten, weil menschlicher und tierischer Organismus keinen Apparat haben, um Sonnenenergie für den Lebensvorgang nutzbar zu machen.

Uebrigens ist das Pflanzenleben doch nicht der einzige Weg, Sonnenenergie nutzbar zu machen. In viel grösserem (etwa 3000-fachen) Umfange noch als durch das Pflanzenleben wird Sonnenenergie dadurch für menschliche Zwecke zugänglich, dass auf dem Boden und besonders auf den Wasserflächen durch die Sonnenwärme Wasser verdunstet und als Wasserdampf in Wolkenhöhe gebracht wird. Herunterregnend und auf der Erde den Welt-

meeren zulaufend leistet es auf Wunsch dann in Wasserkraftwerken Arbeit<sup>1)</sup>. Entsprechend dankt die noch wenig ausgenutzte, sehr grosse Windkraft der Sonnenstrahlung ihr Entstehen. Welt-raumenergie lässt sich ferner noch durch Flutkraftwerke gewinnen, die auf gegenseitiger Anziehung der Himmelskörper beruhen — im Prinzip auch durch arbeitleistendes Ausgleichen der Niveaunterschiede (Berge und Täler) auf unserer Erde. Man könnte sich also doch eine mit Menschen allein bevölkerte Insel ohne Pflanzenwuchs dann auch für eine Dauereistenz vorstellen, wenn auf dieser Insel Wasserkraft, Windkraft, Wellenkraft gewonnen und zur Herstellung synthetischer Nahrungsmittel eingesetzt würden. Das ist aber gar nicht so einfach. Der lebendige Apparat der Pflanze dagegen arbeitet erstaunlich vor- teilhaft.

Man muss sich darüber klar sein, dass dank der jahrmillio- nenlangen Tätigkeit der Pflanzen, die jene der Tiere weitaus überwiegt, unsere Erde so einer Art Pulverfass oder einem unan- geseckten Heustadel in etwa gleicht. Wir leben in einem Ueber- schuss von Sauerstoff, in einer oxydierenden Atmosphäre. Dabei sind unsere eigenen Körper, die Tierkörper, die Pflanzenkörper und vieles Andere verhältnismässig leicht verbrennlich, oxydier- bar. Man braucht nur die Oxydation «auszulösen». Das zeigen die verheerenden Waldbrände als Folge eines weggeworfenen Zigarettenstummels ebenso, wie die Brände in Erdölfeldern, die Feuerstürme in bombardierten Grossstädten. Aber auch sonst gibt es sehr viel Oxydierbares in unserer Welt. Man denke nur an das Rosten des Eisens.

Mensch und Tier beruhen in ihrem Lebensvorgang u. a. auf einem Oxydationsvorgang. Wir sitzen also buchstäblich als Nutz- niesser des pflanzlichen Lebens zwischen dem freiwilligen Ver- rotten und Verrotten unserer stark oxydierbaren Welt und der fleissigen Arbeit der Pflanzen und heute immerhin schon eines merklichen Teiles von eingesetzter Wasserkraft, auch schon Windkraft, die alle bemüht sind, die durch Mensch, Tier, Ver- rotten und Verrotten fortschreitende Oxydation der Erdober- fläche durch Reduktion aufzuhalten.

Auch unsere ganze Zivilisation ist unter dem Strich oxy- dierend. Unsere Feuerungen oxydieren Kohle, Holz, Oel zu Kohlen- säure und Wasser. Unsere Haustiere, Dampfmaschinen, Motoren — alle oxydieren. Wo wir für zivilisatorische Zwecke reduzieren,

<sup>1)</sup> Als «Wasserkraft» wird allerdings nur etwa  $\frac{1}{2}$  so viel Sonnenenergie fassbar, wie die Pflanzen binden.



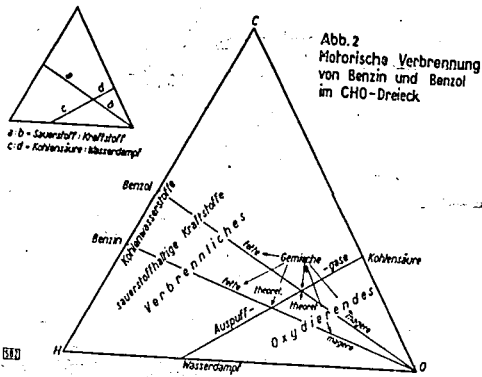


Abb. 2  
Motorische Verbrennung  
von Benzin und Benzol  
im CHO-Dreieck

von der Sauerstoffecke unsere Kohlenäure ( $\text{CO}_2 = 33 \text{ At.-% C}$ ). Nun ist aber mit diesen beiden Punkten etwas Merkwürdiges: Wasser und Kohlenäure sind energetisch entwertet. Sie haben keinen Heizwert mehr. Da auch alle Mischungen von Wasser und Kohlenäure energetisch entwertet sind, können wir die beiden Punkte durch eine gerade Linie der energetischen Entwertung verbinden, die unser Dreieck in zwei Teile teilt — ein großes Feld der verbrennlichen (reduzierenden) CHO-Verbindungen und ein kleines Dreieck der verbrannten, energetisch entwerteten oder sogar oxydierenden, CHO-Stoffe.

Auf dieser Linie liegen ausser den entwerteten Abgasen übrigens auch alle Verbindungen und alle Gemische, bei denen Verbrennliches und Oxydierendes gerade zueinander passen, wo also die Sauerstoffbilanz bei der Verbrennung richtig aufgeht. Auf dieser Linie haben wir das theoretische Benzingemisch unserer Motoren zu suchen. Magere Gemische liegen im Dreieck, fette im Trapez. Hier in der Nähe (schon im oxydierenden Dreieck) finden wir z. B. auch den Sprengstoff Nitroglycerin oder — weit im reduzierenden Trapez — die Pikrinsäure. Diese enthalten ja noch Stickstoff; dieser geht aber bei vollständiger Verbrennung als solcher unverändert heraus.

Im Innern des «verbrennlichen» Dreiecksfeldes finden wir die verschiedensten Verbindungen, von denen einige Beispiele eingeschrieben sind<sup>1)</sup>. Das oxydierende kleine Dreieck hingegen bleibe leer, weil es nur wenige allgemein bekannte oxydierende CHO-Stoffe gibt.

Nun ist aber etwas Seltsames: Wenn man (vgl. Abb. 2) irgend einen Kohlenwasserstoff durch eine gerade Linie mit der Sauerstoffecke verbindet, wie dies in Bild 2 mit Benzol und mit einem Benzin geschehen ist, dann schneiden diese Linien natürlich unsere neutrale Kohlenäure-Wasserdampf-Linie. Aus den Längenverhältnissen der vom Schnittpunkt der beiden Geraden gebildeten vier Abschnitte kann man aber ohne weiteres die atomprozentische Zusammensetzung des richtigen Mischungsverhältnisses Kraftstoff-Sauerstoff (oder Kraftstoff-Luft) und des entstehenden Auspuffgases aus Kohlenäure und Wasserdampf ablesen. Die ganze Verbrennungsberechnung geschieht also ganz natürlich auch für andere CHO-Verbindungen, also etwa für Alkohol oder Zellulose.

Aber unser Dreieck gibt uns nicht nur Luftbedarf und Abgasanalyse, sondern auch tiefen Einblick in das Wesen des Lebens überhaupt. Das reduzierende Feld ist das Gebiet des organischen Lebens von Mensch, Tier und Pflanze, das oxydierende Dreieck das Gebiet des energiespeichernden Chlorophyll-Apparates der Pflanze. Beide sind getrennt durch die «Lebenslinie» Kohlenäure-Wasserdampf. Wir leben aus dem schiefen Trapez und verwandeln unsere Nahrung zusammen mit dem Sauerstoff von gegenüber zu Kohlenäure und Wasser der neutralen Linie. Die Pflanze wiederum nimmt Kohlenäure und Wasser der neutralen Linie und spaltet sie in Nahrungstoffe des schiefen Trapezes und den Sauerstoff der Ecke rechts unten.

Man kann dabei der Pflanze noch genauer in ihre Geschäftsgeheimnisse hineinschauen. Zu diesem Zweck ziehen wir (vgl. Abb. 3) noch eine Gerade, nämlich die Verbindungslinie zwischen

<sup>1)</sup> Wer das fortsetzt, wird mit einiger Ueberraschung finden, dass alle chemischen Verwandten (z. B. Kohlehydrate, Alkohole, einbasische verwandte Stoffe zu Büscheln von Geraden sortieren und dass insgesamt gleichsam wie wenn unser CHO-Dreieck mehr Chemie verstände, als wir bekannnten algebratischen Formeln für die homologen Reihen der organischen Chemie.



ähneln also überraschend weitgehend dem sehr langsamen Inkohlungs-  
vorgang der Natur.

Das CHO-Dreieck ist unwahrscheinlich inhaltsreich. Darum mag mancher Leser dieser Arbeit die Geduld verloren haben. Wahrscheinlich wird er aber in irgendeiner stillen Stunde auf der Eisenbahn oder in einem Wartezimmer Bleistift und Taschenblock zücken, um sich selbst in das CHO-Dreieck zu vertiefen, sei es für Verständnis und Rechnung auf dem Gebiete der motorischen Verbrennung, sei es für das Eindringen in das Wesen des organischen Lebens auf der Erde, sei es wegen der gesetzlichen Schönheit der organischen Chemie, sei es wegen unserer Energiewirtschaft, d. h. Nahrung für Mensch, Tier und Maschine.











Wa. Ostwald  
Heppenheim / Bergstr  
Haus Dowa (Maiberg)

Abschrift!

Stem 17 7

27. Juli 1945.

O/B.

An die  
Militär-Regierung

Betr.: Apparat zum Schutz von Panzern gegen Landminen.

Ich teile mit, dass es einen Apparat zur Zerstörung von Landminen vor Panzern gibt. Dieser Apparat wurde von mir angeregt. Er wurde von Dr.-Ing. Hans Meymann, Darmstadt (Auerbach) entwickelt. Der Apparat kann vielleicht von Nutzen im Kriege gegen Japan sein.

Im Herbst 1943 erhielt ich den Besuch von Major Weicke, Adjutant von General Guderian, General der Panzertruppen. Major Weicke war Vorgesetzter und Freund meines in Russland gefallenen Sohnes Oberleutnant Max Ostwald gewesen. General Guderian war mir von früheren Jahren her aus dem Motorsport persönlich bekannt. Major Weicke kam, um mit uns über meinen toten Sohn zu sprechen.

Bei dieser Gelegenheit erzählte Major Weicke, der inzwischen auch im Osten gefallen ist, von grossen "Tiger"-Verlusten durch Landminen und fragte mich, ob ich nicht ein Mittel dagegen wüsste. Ich sagte, dass ich von Panzern nichts verstehe, dass meiner Meinung nach aber durch Anwendung der physikalischen Gesetze, insbesondere mechanischer Schwingungen, ein Gerät möglich sein müsse, welches Landminen in ungefährlicher Entfernung vor dem Panzer zur Detonation bringe. Major Weicke war sehr aufgeregt und bat mich, weiteres in der Sache zu tun.

Darauf habe ich Dr. Hans Meymann aufgesucht, dessen erstaunliche Forschungen über mechanische Schwingungen mir bekannt waren, und mit ihm das Problem besprochen. Später habe ich erfahren, dass ein Angestellter des Herrn Dr. Meymann, Herr Obering. Dipl.-Ing. Preissmann, die gleiche Aufgabe für Herrn Dr. Meymann vom Heereswaffenamt in Berlin etwa gleichzeitig gestellt erhalten hatte.

Jedenfalls wurde unter meiner Beteiligung schleunigst eine Konstruktion für einen Versuchsapparat entwickelt, bei welchem Rollen vor dem Panzer unter Federdruck liefen und durch einen Motor mit Unbalancen mit Schwingungen stark gegen den Boden gepresst wurden. Zur Erprobung dieses Geräts wurde der Firma Meymann ein Panzer zur Verfügung gestellt. Es fand in Gegenwart eines Oberstleutnants vom Heereswaffenamt eine Vorführung statt, welche erfolgreich verlief. Dann wurde ich aus mir unbekanntem Gründen von der weiteren Entwicklung der Angelegenheit ausgeschaltet. Dank und Aneerkennung habe ich in der Angelegenheit ebenso wenig erhalten, wie irgendeine Vergütung. Ein Patent habe ich nicht angemeldet.

gez. Wa. Ostwald.

Item 18

### Zur räumlichen Theorie der Straße.

Von P. Brauer in München.

**1. Einleitung und Aufgabenstellung.** Beim Anlegen einer Straße wird heute die Forderung erhoben<sup>1)</sup>, daß dies fahrzeuggesetzlich geschieht, d. h., daß die Kinematik und die Dynamik des die Straße später durchlaufenden Fahrzeugs die Linienführung und Querneigung bestimmend beeinflusst.

Eine Straßenoberfläche läßt sich im Prinzip darstellen durch Grundriß, gestreckten Aufriß und Angabe der Querneigung. Der Verfasser hat aber gezeigt, daß die für das Fahrzeug unmittelbar wichtigen und maßgeblichen Koordinaten nicht die genannten drei Größen sind, sondern die sogenannte geodätische Krümmung, die Normalkrümmung und die geodätische Torsion<sup>2)</sup>. Die Gründe waren folgende: Die geodätische Krümmung bestimmt den Lenkeinschlag (kinematischer Grund) und die Zentrifugalseitenkraft, die durch Bodenreibung aufgenommen werden muß (dynamischer Grund). Die Normalkrümmung bestimmt bei Fahrzeugen mit in Längsrichtung gesehen mehr als zwei Bodenberührungsstellen (Drei- und Mehrachser, Zweiachser mit angebaufem Schneepflug) die notwendige Verschieblichkeit in der Senkrechten zur Straßenoberfläche (kinematischer Grund) und die Zentrifugalkraft senkrecht zur Straßenoberfläche (dynamischer Grund). Die geodätische Torsion bestimmt die Verwindung des Fahrgestells, die Verwinkelung der Achsen gegeneinander usw. (kinematischer Grund) und die bei Drehung des Fahrzeugs um seine Längsachse auftretenden Kräfte (dynamischer Grund). Diese drei Größen sind es, die den Straßenbenutzer eigentlich interessieren, und die sich aus Grund- und Aufriß nebst Querneigung bzw. aus deren Differentialquotienten nicht unmittelbar ansehen lassen. Umgekehrt lassen sich geodätischen Krümmung, wie sie die Klothoide (Örley)<sup>3)</sup> oder besser die Kurve von Wa. Ostwald<sup>4)</sup> und dem Verfasser<sup>5)</sup> darstellt, ermitteln. Wir stellen uns deshalb die Aufgabe, Formeln zu entwickeln, welche es gestatten, die für das Fahrzeug wichtigen geometrischen Größen aus denjenigen zu berechnen, welche sich dem Grundriß, dem Aufriß und der Querneigung entnehmen lassen und umgekehrt.

**2. Lösung der Aufgabe.** Zur Lösung dieser einfachen Aufgabe definieren wir für den Wagen auf der Straße zunächst ein „begleitendes Dreibein“<sup>6)</sup>, bestehend aus dem Einheitsvektor  $t$  der Tangente, dem hierzu senkrechten, in der zur Straßenebene parallelen Radachse liegenden Einheitsvektor  $\bar{t}$  und dem zu beiden senkrechten Einheitsnormalvektor  $\mathfrak{N}$  (Abb. 1 und 2).

Damit wir die notwendige Bezugsmöglichkeit zur Schwerkraftrichtung  $-t$  ( $t$  sei der Einheitsvektor der Senkrechten) haben, definieren wir bei festgehaltener Fahrspur ein gedachtes Straßenband ohne Querneigung durch das Dreibein  $t^* = t, \bar{t}^*, \mathfrak{N}^*$  (Abb. 2). Die Bedingung für verschwindende Querneigung ist das Senkrechtstehen des Vektors  $\bar{t}^*$  auf  $\bar{t}$ , d. h. es ist

$$\bar{t}^* \cdot \bar{t} = 0. \tag{1}$$

Außerdem ist der Steigungswinkel das Komplement  $\eta$  des Winkels zwischen  $t$  und  $\bar{t}$ . Endlich definieren wir noch ein Dreibein im Grundriß  $t^{**}, \bar{t}^{**}, \mathfrak{N}^{**}$ , wobei  $\mathfrak{N}^{**} =$

<sup>1)</sup> L. Örley, Übergangsbogen bei Straßenkrümmungen. Berlin 1937. — Wa. Ostwald, Straße 7 (1940) S. 144. — P. Brauer, Straße 7 (1940) S. 352.

<sup>2)</sup> P. Brauer, Deutsche Math. 4 (1939) S. 241.

<sup>3)</sup> L. Örley, a. a. O.

<sup>4)</sup> Wa. Ostwald, a. a. O.

<sup>5)</sup> P. Brauer, Straße 7 (1940) S. 352.

<sup>6)</sup> M. Lagally, Vorlesungen über Vektorrechnung, S. 60ff. Leipzig 1928.

$t = \text{konst.}$  ist. Die Bogenlänge der Kurve (und des Aufrisses) sei  $s$ . Die Bewegung der Dreieinvektoren lassen sich durch geodätische Krümmung  $G$ , Normalkrümmung  $N$  und geodätische Torsion  $T$  beschreiben mit Hilfe folgender Gleichungen<sup>1)</sup>:

$$\frac{dt}{ds} = G\bar{t} - N\bar{q}, \quad (5a)$$

$$\frac{d\bar{t}}{ds} = -Gt + T\bar{q}, \quad (5b)$$

$$\frac{d\bar{q}}{ds} = Nt - T\bar{t}. \quad (5c)$$

Für jedes unserer drei Dreieine denken wir uns ein derartiges Gleichungssystem aufgeschrieben.

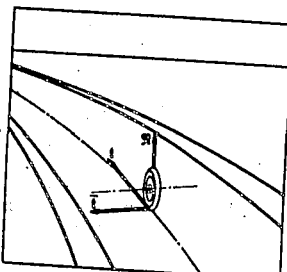


Abb. 1. Begleitendes Dreiein auf der Straße.

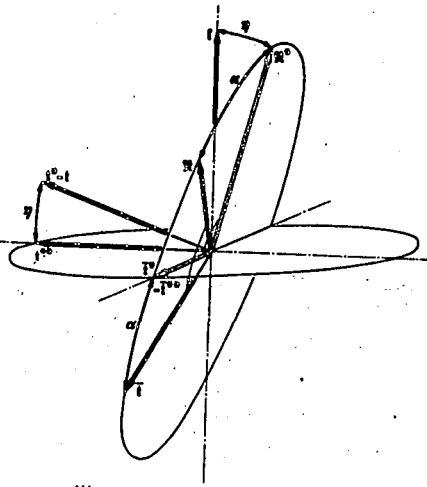


Abb. 2. Die drei begleitenden Dreieine.

Dann gilt für das Grundrißdreiein wegen  $q^{**} = \bar{t}$ , wenn  $s^{**}$  die Bogenlänge im Grundriß bedeutet,

$$\frac{dq^{**}}{ds^{**}} = 0,$$

$$N^{**} = 0, \quad T^{**} = 0$$

weiter  
und

$$\left| \frac{dt^{**}}{ds^{**}} \right| = \left| \frac{d\bar{t}^{**}}{ds^{**}} \right| = G^{**} = \frac{d\zeta}{ds^{**}}, \quad (6)$$

wenn  $\zeta$  der Winkel zwischen  $t^{**}$  bzw.  $\bar{t}^{**}$  und den Anfangslagen von  $t^{**}$  bzw.  $\bar{t}^{**}$  ist. Der Winkel zwischen Kurven- bzw. Aufrißtangente  $t = t^*$  und der Horizontalen  $t^{**}$ , also der Steigungswinkel der Straße, heiße  $\eta$ . Bezeichnet  $s$  die Bogenlänge der Kurve, dann lehrt Abb. 3, daß

$$ds \cos \eta = ds^{**},$$

also

$$G^{**} = \frac{1}{\cos \eta} \left| \frac{d\bar{t}^{**}}{ds} \right|$$

ist oder wegen  $\bar{t}^{**} = \bar{t}^*$

$$G^{**} = \frac{1}{\cos \eta} \left| \frac{d\bar{t}^*}{ds} \right|. \quad (7)$$

Für das Dreiein  $t^*$ ,  $\bar{t}^*$ ,  $q^*$  der steigenden und fallenden aber nicht quergeneigten Straße mit den Krümmungen  $G^*$ ,  $N^*$ ,  $T^*$  ergibt sich folgendes. Wegen  $\bar{t}^* \cdot t = 0$ ,

<sup>1)</sup> M. Lagally, a. a. O. S. 69.

also auch  $\frac{d\bar{t}^*}{ds} \cdot t = 0$  erhalten wir aus Gleichung (5b)

$$\frac{d\bar{t}^*}{ds} \cdot t = 0 = -G^* t^* \cdot t + T^* \bar{q}^* \cdot t.$$

Bedenkt man, daß  $\angle(t^*, \bar{t}^*) = 90^\circ - \eta$  ist, so folgt hieraus

$$G^* \sin \eta = T^* \cos \eta. \quad (8)$$

Aus (5a) erhalten wir

$$\frac{d\bar{t}^*}{ds} \cdot \bar{t} = G^* \bar{t}^* \cdot \bar{t} - N^* \bar{q}^* \cdot \bar{t}$$

oder

$$\frac{d(\bar{t}^* \cdot \bar{t})}{ds} = \frac{d}{ds} \cos(t^*, \bar{t}^*) = -N^* \sin(t^*, \bar{t}^*)$$

und schließlich

$$N^* = \frac{d}{ds} [\angle(t^*, \bar{t}^*)] = -\frac{d\eta}{ds}. \quad (9)$$

Dieselbe Gleichung (5b), hingeschrieben für das zweite Dreiein, läßt uns außerdem  $|\frac{d\bar{t}^*}{ds}|$  in (7) berechnen. Es ist

$$\left| \frac{d\bar{t}^*}{ds} \right|^2 = \frac{d\bar{t}^*}{ds} \cdot \frac{d\bar{t}^*}{ds} = G^{*2} + T^{*2},$$

also

$$G^{**} = \frac{1}{\cos \eta} \sqrt{G^{*2} + T^{*2}} \quad (10)$$

und wegen (8)

$$G^{**} = \frac{G^*}{\cos \eta} \sqrt{1 + \tan^2 \eta}$$

oder

$$G^* = \cos^2 \eta G^{**}. \quad (11a)$$

Analog bekommen wir

$$T^* = \sin \eta \cos \eta G^{**}. \quad (11b)$$

Gleichung (9) können wir auch schreiben

$$N^* = N^{**}. \quad (11c)$$

Die Gleichungen (11) lassen uns aus Grund- und Aufriß die gesuchten Größen für die nicht quergeneigte Straße berechnen.

Wir halten jetzt die Kurve, d. h. die Fahrspur fest im Raum, drehen aber jeweils um den Tangentenvektor als Achse das Straßenband um den Querneigungswinkel  $\alpha$ . Wir erhalten dann unser erstes Dreiein, dessen Vektoren  $t$ ,  $\bar{t}$ ,  $q$  heißen, wobei  $t \equiv t^*$  und  $\angle(\bar{t}, \bar{t}^*) = \alpha$  ist. Die zugehörigen Krümmungen heißen  $G$ ,  $N$ ,  $T$ , die, worauf wir hingewiesen hatten, für das Fahrzeug maßgeblich waren. Beiden Straßenbändern gemeinsam ist die durch die ihr eigenen Größen  $K^0$  (erste Krümmung) und  $T^0$  (Torsion) festgelegte Kurve. Zwischen  $G$ ,  $N$ ,  $T$  einerseits und  $K^0$  und  $T^0$  andererseits bestehen die Beziehungen<sup>1)</sup>

$$G = K^0 \cos \sigma, \quad (12a)$$

$$N = K^0 \sin \sigma, \quad (12b)$$

$$T = T^0 + \frac{d\sigma}{ds}, \quad (12c)$$

worin  $\sigma$  den Winkel zwischen der Schmiegungeebene der Kurve und der Tangentialebene des Straßenbandes bedeutet. Entsprechende Gleichungen bestehen aber auch für das nicht quergeneigte Straßenband:

$$G^* = K^0 \cos \sigma^*, \quad (13a)$$

<sup>1)</sup> M. Lagally, a. a. O. S. 68.

$$N^* = K^* \sin \sigma^*, \quad (13b)$$

$$T^* = T^* + \frac{d\sigma^*}{ds}. \quad (13c)$$

Quadrieren und Addieren von (13a) und (13b) gibt

$$K^{*2} = G^{*2} + N^{*2}. \quad (14)$$

Dividieren gibt

$$\frac{N^*}{G^*} = \frac{\sin \sigma^*}{\sqrt{1 - \sin^2 \sigma^*}}$$

oder

$$\sigma^* = \arcsin \sqrt{\frac{N^{*2}}{G^{*2} + N^{*2}}}. \quad (15)$$

Abb. 4 führt die anschauliche Bedeutung der Winkel  $\sigma$  bzw.  $\sigma^*$  vor Augen und lehrt, daß der Querneigungswinkel

$$\alpha = \sigma - \sigma^* \quad (16)$$

ist. Unter Benutzung von (13c), (14), (15) und (16) erhalten wir endlich aus (12)

$$G = G^* \cos \alpha - N^* \sin \alpha, \quad (17)$$

$$N = N^* \cos \alpha + G^* \sin \alpha,$$

$$T = T^* + \frac{d\alpha}{ds}.$$

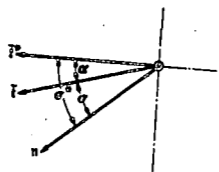


Abb. 4. Blick in Richtung des Tangentialvektors; n ist der in der Schmiegeebene der Kurve liegende Binormalvektor ( $\alpha = \sigma - \sigma^*$  ist hier negativ).

Diese Gleichungen vermitteln zwischen quergeneigter und nicht quergeneigter Straße. Durch Einsetzen von (14) in (17) erhalten wir schließlich die gesuchten Beziehungen

$$G = G^{**} \cos^2 \eta \cos \alpha - N^{**} \sin \alpha, \quad (18a)$$

$$N = N^{**} \cos \alpha + G^{**} \cos^2 \eta \sin \alpha, \quad (18b)$$

$$T = G^{**} \sin \eta \cos \eta + \frac{d\alpha}{ds}. \quad (18c)$$

zwischen den Größen  $G^{**}$ ,  $N^{**}$ ,  $\eta$  und  $\alpha$ , die den Plänen der Straße zu entnehmen sind, und den für den Wagen maßgeblichen Größen  $G$ ,  $N$ ,  $T$ . Der Wert dieser Gleichungen besteht nun darin, daß sie das Mittel in die Hand geben, jederzeit auf dem Papier untersuchen zu können, wie es einem Wagen ergeht, was für Bewegungen er machen muß, und welche Kräfte auf ihn wirken, wenn er die Straße durchfahren würde, die lediglich durch Grundriß, Aufriß und Querneigung gegeben ist.

Die Umkehrung der Gleichung (18), d. h. die Berechnung aller übrigen Größen aus  $G$ ,  $N$ ,  $T$  stößt auf mathematische Schwierigkeiten. Wohl aber lassen sich Lösungen rasch angeben für die Aufgabe, daß statt der Torsion  $T$  die Querneigung  $\alpha$  gegeben ist. Dann erhalten wir aus (18a) und (18b)

$$\begin{aligned} G^{**} &= \frac{1}{\cos^2 \eta} (G \cos \alpha + N \sin \alpha) \quad \text{mit} \quad \eta = \int N ds, \\ N^{**} &= -G \sin \alpha + N \cos \alpha. \end{aligned} \quad (19)$$

Wir können hieraus z. B. mit Erfahrungshöchstwerten für  $G$ ,  $N$ ,  $\alpha$  und  $\eta$ , d. h., eine Ausbaugeschwindigkeit vorausgesetzt, mit Erfahrungshöchstwerten für Seitenkraft, Kraft senkrecht zur Straßenoberfläche, Quer- und Längsneigung, die Höchstwerte für  $G^{**}$  und  $N^{**}$ , d. h. für Grund- und Aufrißkrümmung angeben.

Man kann der Querneigung die Bedingung auferlegen, daß jeweils ein bestimmter Bruchteil  $\nu$  der Seitenbeschleunigung durch die Schwerkraft kompensiert wird. Als Bedingung ergibt sich, wenn  $v$  die Geschwindigkeit und  $g$  die Schwerkraftbeschleunigung ist,

oder

$$\sin \alpha = -\frac{\nu v^2}{g \cos \eta} G$$

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{G^{**}}{\frac{g}{\nu v^2} \cos^2 \eta} \quad (20)$$

Durch Einsetzen in (18) erhält man die für diesen Fall geltenden Seiten- und Normalbeschleunigungen.

3. Folgerungen. Eine erschöpfende Diskussion der Gleichungen (18) wollen wir ihrer Einfachheit wegen nicht geben. Wir wollen an wenigen Fällen zeigen, was man

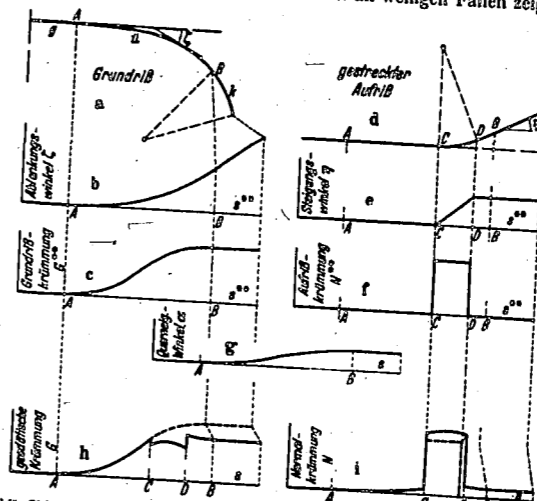


Abb. 5. Beispiel für Gleichung (18). Eine Straßenkrümmung mit beginnender Steigung. Die Seitenkrümmung  $G$  (b) der vom Wagen tatsächlich durchfahrenen Bahn ist nicht die Grundrißkrümmung  $G^{**}$  (c). Die Normalkrümmung  $N$  (i) ist nicht die Wannenkrümmung  $N^{**}$  (f).

unter Umständen mit ihnen anfangen kann. Wichtig ist, einzusehen, daß der Verlauf der Normalkrümmung  $N$  auf die Seitenkrümmung (geodätische Krümmung)  $G$  einwirkt und umgekehrt, und zwar um so mehr, je größer die Querneigung  $\alpha$  ist. Es ist also im allgemeinen

$$G \neq G^{**}, \quad N \neq N^{**}, \quad T \neq \frac{d\alpha}{ds},$$

d. h., daß die seitliche Krümmung  $G$  der Bahn des Wagens nicht gleich derjenigen des Grundrisses der Straße ist usw. Gleichheit besteht vielmehr nur bei ebenen (horizontalen) Straßen ( $\cos \eta = 1$ ) ohne Querneigung ( $\cos \alpha = 1$ ).

Ein in mancher Beziehung übertriebenes Beispiel soll veranschaulichen, wie etwa die Mühe, die man sich mit einem Übergangsbogen im Grundriß gegeben hat, nutzlos war, wenn der Aufriß ungünstig gewählt wurde. Abb. 5 zeigt in a den Grundriß, in d den Aufriß eines Straßenstückes; b und c zeigen den ersten und zweiten Differentialquotienten des Tangentialwinkels  $\zeta$  gegen die Anfangsrichtung<sup>1)</sup>, e und f zeigen dasselbe für den Aufriß. Im Grundriß wurde zwischen Gerader  $g$  und Kreis  $k$ ,

<sup>1)</sup> P. Brauer, Straße 7 (1940) S. 352. Siehe S. 353.

wie man aus c ersieht, ein besonders guter Übergangsbogen  $\bar{u}$  gemäß einem Krümmungsgesetz der Form  $G^{**} = -a(\cos bs - 1)$  eingelegt, wie er von **Wa. Ostwald**<sup>1)</sup> und dem Verfasser<sup>2)</sup> vorgeschlagen und von letzterem gemeinsam mit **E. Brauer** auch tabelliert<sup>3)</sup> wurde. Der Aufriß enthält die heute übliche kreisförmige Wannenausrundung. Die Querneigung (Abb. 5g) wurde der Grundrißkrümmung proportional gewählt<sup>4)</sup>. Was am Ende für die Krümmung, die der Wagen durchfährt, gemessen an seinem Lenkradausschlag oder an der auf ihn wirkenden Seitenkraft, herauskommt, zeigt h, wo zum Vergleich c nochmals gestrichelt eingezeichnet ist. Von dem glatten Übergangsbogen c ist nichts mehr zu bemerken, und würden wir uns die zugehörigen Rückkurven zeichnen, so würden diese ursprünglich stetig, jetzt aber mit zwei Unendlichkeitsstellen verlaufen. Abb. 5i zeigt die wirkliche Kurve der Normalkrümmung, gemessen z. B. an der Federbelastung des Fahrzeugs, die in diesem besonderen Fall wegen der Güte des Grundrißübergangsbogens wenig geändert erscheint. Zum Vergleich ist auch hier die Aufrißkrümmung f gestrichelt eingezeichnet. Wie eine Überschlagsrechnung zeigt, werden die gegenseitigen Beziehungen für sehr wenig quergeneigte Straßen mit großen Krümmungshalbmessern sehr klein und verlieren an Wichtigkeit. Doch muß man sich auch dann die Beziehungen (18) vor Augen halten; denn es gibt Fälle, wo sie selbst dann eine erhebliche — sogar kinematische — Bedeutung erlangen können. Dies zeigen z. B. Schwierigkeiten, die beim Schneerräumen auf der Autobahn aufgetreten sind. Und zwar sind es Normalkrümmung und Torsion des Straßenbandes, die, wenn sich das Schneerräumfahrzeug der normalgekrümmten und tordierten Straßenfläche nicht anpassen kann, die Ursache für die von **Neubert**<sup>5)</sup> beschriebenen gefährlichen Erscheinungen bilden.

4. Zusammenfassung. Es werden Gleichungen abgeleitet und an Beispielen diskutiert, welche eine Verbindung herstellen zwischen Grundriß, gestrecktem Aufriß und Querneigung einer Straße einerseits und den kinematisch und dynamisch wichtigen Größen geodätische Krümmung, Normalkrümmung und geodätische Torsion andererseits.

<sup>1)</sup> Wa. Ostwald, a. a. O.

<sup>2)</sup> Vgl. Fußnote 1, S. 13.

<sup>3)</sup> P. u. E. Brauer, Z. angew. Math. Mech. 21 (1941) S. 177.

<sup>4)</sup> Streng genommen müßte sie nach Gleichung (20) auf S. 13 berechnet werden.

<sup>5)</sup> Neubert, RAB-Straßenmeister 3 (1941) S. 7.

(Eingegangen am 9. September 1941.)

Stern 19

### Julius Robert Mayer und seine Sendung. (100 Jahre Energiesatz und mechanisches Wärmeäquivalent.) Von Wa. Ostwald in Heppenheim (Bergstraße).

Damit etwas Großes geschehe, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein. Ein großer Mann muß da sein, und die Zeit muß reif genug sein für eben diese große Tat.

Für den großen Mann kennzeichnend sind ein großer Gedanke und außerdem sein Wollen und Können, den großen Gedanken durchzusetzen. Von dem Maß seines Wollens und Könnens hängt es ab, ob es gelingt, den Gedanken lebendig werden zu lassen oder ob dieser bis zur Erfüllung seiner Zeit warten muß. Ein bekanntes Beispiel für einen großen Mann, dessen Willenskraft nicht ausreichte, die fehlende Reife seiner Zeit zu überbrücken, war Willard Gibbs in seinen gedankentiefen thermodynamischen Studien<sup>1)</sup>.

Beispiele für große Männer, welche die Zeit mitzureißen verstanden, waren Gottlieb Daimler und Carl Benz mit ihrer Erfindung der Kraftfahrt; und doch findet man bei Carl Benz die Angabe, daß Anwendungsbereich und vor allem Fahrgeschwindigkeit der von ihm selbst geschaffenen Kraftfahrzeuge weit über seine eigenen Wünsche und Vorstellungen hinausgingen<sup>2)</sup>.

Julius Robert Mayer<sup>3)</sup> hat einen der größten und entscheidendsten Gedanken für das Verhältnis des Menschen zur Natur, für das Verständnis der Natur überhaupt gehabt. Die Zeit war nahezu reif für seinen großen Gedanken, wie das fast gleichzeitige Auftreten verwandter Gedanken bei verschiedenen hervorragenden Männern jener Zeit in verschiedenen Ländern — Clapeyron, Clausius, Helmholtz, Joule, W. Thomson, Tyndall — beweist. Trotzdem war die Spanne, welche zwischen Nichtwissen und Erkenntnis damals auf diesem Gebiete klaffte, doch so sehr groß und gleichzeitig Julius Robert Mayers Persönlichkeit so zart, daß J. R. Mayers Lebensglück für den Sieg seines Gedankens in Scherben gehen mußte.

Wir Heutigen empfinden den ersten Hauptsatz der Thermodynamik, das Wissen um die Wandlungen und die

Unzerstörbarkeit der Energie, geradezu als Denknöwendigkeit und können uns nur schwer mehr in eine Zeit zurückversetzen, welche wohl Dampfmaschinen, aber noch nicht dieses Wissen hatte. Kaum glaubhaft ist es für uns Heutige, daß dieses Wissen im Jahre 1842 erst 100 Jahre alt ist. Unverständlich gar muß es bleiben, wenn man sich nicht innig in jene alten Arbeiten und ihr Gedankengut vertieft, daß der geniale Sadi Carnot<sup>4)</sup> den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, daß nur durch Temperaturgefälle eine, und zwar berechenbar anteilige Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit erfolgt, entdeckte und anwendete<sup>5)</sup>, — ohne den ersten Hauptsatz zu kennen. Schwer faßbar endlich ist es auch, daß der dritte Hauptsatz von Walther Nernst<sup>6)</sup> — nach welchem beim absoluten Nullpunkt Gesamtenergie A und freie Energie U nicht nur einander gleich werden, sondern einander asymptotisch nähern — anscheinend noch so gar keinen unmittelbaren Erkenntnisinhalt hat.

Je tiefer man sich in die Energetik und ihre Anwendungen vergräbt, um so unwiderstehlicher wird das Empfinden, daß Julius Robert Mayers erster Hauptsatz eine Erfahrungstatsache von größter Sicherheit und Klarheit, die Grundlage unseres ganzen Verhältnisses zur Natur bildet, während der zweite Hauptsatz zwar wichtigsten Erfahrungsgehalt umfaßt, aber irgendwie noch nicht seine Endform gefunden zu haben scheint, und der dritte Hauptsatz weder bereits ein bequemes und sicheres Denk- und Rechenwerkzeug bildet, noch auch den erschnten gedanklichen Abschluß der Energetik bildet, schon weil in den bisherigen drei Hauptsätzen der Faktor Zeit nicht enthalten ist.

So blieb selbst Julius Robert Mayer, vielleicht nicht ohne Einfluß der angedeuteten äußeren Hemmungen, die volle Erkenntnis der Auswirkung seines Satzes versagt. Er erkannte wohl die Unzerstörbarkeit und gleichzeitig die Umwandelbarkeit der Energie, während schon vor ihm die Sonderstellung der Wärme als Ende der Wandlungen der Energie bekannt gewesen war. Er wußte also um die Unmöglichkeit des Perpetuum mobile erster Art (Erzeugung von Energie aus nichts) und zweiter Art (Umwandlung von Energie ohne Intensitätsgefälle). Aber er dachte

<sup>4)</sup> Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. Paris 1824. Uebers. u. hrsg. von W. Ostwald. Leipzig 1909. In: Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 37.

<sup>5)</sup> U. a. zur Ermittlung des thermischen Wirkungsgrades der Dampfmaschine.

<sup>6)</sup> Theoretische Chemie, 7. Aufl. Stuttgart 1913. S. 732. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Klasse 1906, Nr. 1; Kraftstoff 10 (1940) S. 299.

<sup>1)</sup> Gibbs, J. W.: Trans. Conn. Acad. 1874/78, S. 3, 108 ff. u. 343 ff.; deutsch: Thermodynamische Studien. Leipzig 1892.  
<sup>2)</sup> Benz, C.: Lebensfahrt eines Erfinders. 1936. S. 88 ff.  
Horch, A.: Ich baute Autos. 1937. S. 58 ff.  
<sup>3)</sup> \* 25. November 1814, † 20. März 1878. 1840 beobachtete er als Schiffsarzt auf der Reede von Surabaja (Inselindien), daß beim Aderlassen das Venenblut in den Tropen hellrot ist und dem Arterienblut gleicht. Von dieser Beobachtung kam er zur Erkenntnis der Wandelbarkeit und Unzerstörbarkeit der Energie (1. Hauptsatz) und zur ersten Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalents (aus den beiden spezifischen Wärmen der Luft). Seine erste Abhandlung darüber („Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“) erschien vor hundert Jahren in: Liebigs Annalen 42 (1842) S. 239 ff. Siehe auch Mittasch, A.: Kraftstoff 10 (1940) S. 207/71.

noch dualistisch in Energie („Kraft“) und Stoff, und erkannte noch nicht die Bedeutung der Tatsache, daß unser Sinnesausschließlich auf energetische Geschehnisse reagieren, mithin wir außer von Energieverhältnissen über die Welt nichts unmittelbar Erlebtes aussagen können. Dieser Schluß zur einheitlichen energetischen Weltanschauung wurde erst 1895 auf der Naturforscherversammlung in Lübeck von Wilhelm Ostwald<sup>7)</sup> gezogen. In neuerer Zeit hat diese rein energetische Auffassung eine unerwartete Bestätigung in der Äquivalenz von Masse und Energie gefunden<sup>8)</sup>.

Der durch Julius Robert Mayer geschaffene Energiebegriff — er benutzte noch den Ausdruck „Kraft“ für den gleichbedeutenden Begriffsinhalt<sup>9)</sup> — hat nicht nur die Abwehr der Perpetuum-mobile-Erfinder erleichtert, sondern die ganze wissenschaftliche, technische, wirtschaftliche und philosophische Denkweise der Welt auf eine neue, nützliche und sichere Grundlage gestellt. Dies wirkt sich in der allseitigen Anwendbarkeit und Brauchbarkeit von Wilhelm Ostwalds energetischem Imperativ<sup>10)</sup> aus: „Vergeude keine Energie, sondern verwerte sie“, der in seiner Schlichtheit sich gleichermaßen für die Gestaltung des täglichen Lebens, wie der Lebensgewohnheiten, für die Organisation eines Betriebs, für die Konstruktion einer Maschine, für wirtschaftliche, wissenschaftliche und philosophische Gedankenreihen als hilfreich erweist.

Durch J. R. Mayer kam der Begriffsinhalt der Energie zunächst der Wissenschaft zugute. Mit einem Schlage wurden Dinge klar, über welche man bis dahin nur gefühlsmäßige Vorstellungen gehabt hatte. Man lernte in der Wissenschaft die Energie als das Wesentliche, ihre Wandlungen als den wirklichen Inhalt aller Naturvorgänge zu erkennen und zunehmend zu berechnen.

Technik ist angewandte Wissenschaft. Die Technik hatte just damals begonnen, Sklavenarbeit und Tierarbeit zunehmend durch Dampfmaschinen und Verbrennungsmotoren, — biologische Arbeitssklaven durch nichtlebende Arbeitsmaschinen zu ersetzen. Nicht mehr Brot und Hafer, sondern Holz und Kohle wurden zu entscheidenden Energielieferern. Das Maß der von der Technik eingesetzten Energien wuchs mit größter Geschwindigkeit. Die Grundlage alles technischen Denkens und Handelns auf diesem Gebiet ist der Energiegedanke von J. R. Mayer.

Als nicht weniger durchschlagend erwies sich dieser Gedanke bei allen chemischen Umwandlungen. Die Wirtschaftlichkeit des Eisenhüttenprozesses, der Wärmeverbrauch eines beliebigen metallurgischen oder Wärmefens ließ sich erst beurteilen und verbessern, nachdem der Energiebegriff allgemein geworden war. Ohne den Gedanken der Wandlung gibt es keinen „Wirkungsgrad“. Was endlich dort, wo Mechanik und Chemie zusammenspielen, wie bei den Verbrennungsmotoren, der Energiebegriff bedeutet

<sup>7)</sup> Ueberwindung des wissenschaftlichen Materialismus. Abhandlungen und Vorträge. Leipzig 1916. S. 220 ff. Lebenslinien, Bd. 2. Berlin 1927. S. 179 ff.

<sup>8)</sup> Bavinck: Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften, 7. Aufl. 1941. S. 192.

<sup>9)</sup> Wir nennen „Kraft“ den einen Faktor der Energie, z. B.: Arbeit = Kraft  $\times$  Weg.

<sup>10)</sup> Zuerst öffentlich ausgesprochen 1910 oder 1911; vgl. Ostwald, W.: Lebenslinien, Bd. 2, S. 314 ff.

<sup>11)</sup> Der energetische Imperativ scheint wortwörtlich genommen dem ersten Hauptsatz insofern zu widersprechen, als man unter „vergeuden“ auch „vernichten“ verstehen kann. Der Sinn des Wortes „vergeuden“ im energetischen Imperativ ist natürlich der des „verderben“. Man kann Energie nicht vernichten, sondern nur entwerfen, verderben und dadurch vergeuden.

hat und nach wie vor bedeutet, bedarf an dieser Stelle erst recht keiner Erwähnung.

J. R. Mayers Energiebegriff brachte ferner Klarheit in alle möglichen wirtschaftlichen Fragen, nicht nur diejenigen der Wirtschaftlichkeit technischer Vorgänge. Aus ihm entsteht z. B. heute eine Energiepolitik des Großdeutschen Reiches, von Kontinentaleuropa, der ganzen Welt, — welche dafür sorgen wird, daß die in der Welt als Vorräte vorhandenen und unmittelbar oder mittelbar von der Sonne uns zufließenden Energiebeträge zunehmend besser für das Wohl der Menschheit eingesetzt werden. Der Energiebegriff machte es klar, daß z. B. auch Geld nur ein zugeordnetes Zeichen für Energie, für Arbeit ist und mithin Gold an sich sehr geringen Wert hat —, eine Einsicht, welche erst in der Gegenwart ihre erstaunlichen politischen Auswirkungen nach sich zieht.

J. R. Mayers Energiebegriff, der für uns geradezu zur Denknöwendigkeit geworden ist, bildet auch die Grundlage unseres philosophischen Denkens. Energie ist die sicherste Unveränderliche des Seins, die wir kennen. Bei den tiefsten Fragen des Lebens, die ein Mensch sich nur selbst zu stellen pflegt, ist der Energiebegriff ein ebenso treuer Freund, wie er ein gefälliger Helfer für die lächerlichsten kleinen Tagesfragen ist. Er kennzeichnet uns ebenso den Bürokratismus, aber auch den eigenen bürokratischen Verstoß als Energievergeudung, wie er es uns zur sittlichen Pflicht macht, nicht nur im Kriege, sondern stets mit den der Menschheit vom Geschick anvertrauten Energievorräten und Energiezuflüssen pfleglich umzugehen.

Es ist wohl ein gigantisches Stück geistiger Arbeit, das J. R. Mayer in seinem Energiebegriff und dem ersten Hauptsatz geschaffen hat. Seltsam, daß dieser süddeutsche Kleinstadtarzt im Ringen um diesen Gedanken noch die Kraft fand, weitere Ueberlegungen von ähnlicher Grundsätzlichkeit anzustellen. Hier liegen noch besonders in seinen Gedanken über Kausalität im allgemeinen, über die Lösungskausalität im besonderen<sup>12)</sup> Schätze vor, deren Auswertung und allgemeine Nutzbarmachung erst heute nach 100 Jahren im Gang ist. Sind doch der Begriff der Auflösung, im einzelnen z. B. die Katalyse, und ganz allgemein die Zeitlichkeit der Geschehnisse brennende Fragen, deren allgemeine Beantwortung wir auf der Grundlage von Mayers Energiebegriff von dem weiteren Fortschritt der Energetik erhoffen. Nicht umsonst ist die Mechanik zeitlos. In ihr pflegt t im Quadrat zu stehen, so daß  $(+t)^2 = (-t)^2$ , die Formel für Vorwärts- und Rückwärtsgang gleichmäßig gilt, die Einsinnigkeit der Zeit also nicht zur Geltung kommt<sup>13)</sup>. Wohl aber ist die Einsinnigkeit der Zeit stets begleitet davon und uns nur wahrnehmbar dadurch, daß in energetischen Vorgängen Energieintensitäten sich angleichen, während die zugeordneten Energiekapazitäten gleichbleiben, daß freie Energien zu energetischen Gleichgewichten und je nach den gegebenen Möglichkeiten in dem großen Energiebehälter der ruhenden Wärme zusammenfließen.

Wenn man uns Technikern den Energiebegriff nehmen wollte oder könnte, stürzte unser ganzes Wissen und Können zusammen. So unvollständig die Energetik heute noch ist, so grundlegend und anscheinend unbedingt dauerhaft ist ganz besonders auch für unsere Arbeit J. R. Mayers erster Hauptsatz. Wir ehren unsere Arbeit, unser Volk und diesen bescheidenen deutschen geistigen Heros, wenn wir uns und anderen Klarheit darüber schaffen, was die Welt Julius Robert Mayer verdankt.

<sup>12)</sup> Mittasch, A.: J. R. Mayers Kausalbegriff, seine geschichtliche Stellung, Auswirkung und Bedeutung. Berlin 1940.  
<sup>13)</sup> Vgl. Ostwald, W.: Ueberwindung des wissenschaftlichen Materialismus. Abhandlungen und Vorträge. S. 220 ff.



Item 20

SONDERABDRUCK AUS

# PETROLEUM ZEITSCHRIFT

für die gesamten Interessen der Mineralöl-Industrie und des Mineralöl-Handels  
Verlag für Fachliteratur, G. m. b. H., Wien

BERLIN SW 68, Wilhelmstraße 147

WIEN XIX, Vegagasse 4

XXXIII. Jahrg.

9. Juni 1937

Nr. 23

## Über die Lenkbarkeit der motorischen Verbrennung.

Von Wa. Ostwald, Heppenheim a. d. B.

(Nachdruck aus der ÖPI-Veröffentlichung Nr. 6\*)

Vor nunmehr 60 Jahren wagte es Nikolaus Otto, die motorische Verbrennung durch Vorverdichtung zu voller Kraftleistung zu erheben. Die motorische Verbrennung ist seitdem zu einem Grundstein unserer Technik und Wirtschaft, ja unserer Zivilisation geworden. Man braucht sich nur ihrer Anwendung in etwa 35 Millionen Kraftfahrzeugen, in Hunderttausenden von Luftfahrzeugen, in Schienenfahrzeugen, in ortsfesten Motoren und Wasserfahrzeugen zu entsinnen und an die militärische Bedeutung des Verbrennungsmotors zu denken, um diese Tatsache anschaulich zu erkennen. Während die Dampfmaschine in Eisenbahn und Dampfschiff durch die Eigenart des Dampfkessels den Fortschritt der Herrschaft des Menschen in Zeit und Raum an die Beschränkung des kollektiven Verkehrs band, ermöglicht die speicherlose Energieumwandlung der motorischen Verbrennung den Fortschritt der Verkehrsfreiheit auch kleiner Gruppen und des Einzelmenschen.

Der Verbrennungsmotor verwandelt, um eine zweite Banalität als Ausgangspunkt der folgenden Betrachtungen zu nehmen, chemische Energie des Kraftstoffs auf dem Umwege über Gasdruck in mechanische Arbeit.

Der Vorgang der motorischen Verbrennung erfolgt augenscheinlich sehr eigengesetzlich. Wenn zum Beispiel der Zündfunke im verdichteten Gemisch überspringt, scheint ein Automatismus entfesselt zu sein, ähnlich wie beim Abschießen einer Kanone.

Drum schossen ja die alten Verbrennungsmotorenkonstruktoren gern ihre Kolben frei in die Luft — so Huygens mit Schießpulver, Otto mit Leuchtgas — und ließen sie erst beim Rückweg durch ihr Gewicht oder den Luftdruck Arbeit leisten.

Aber man kann natürlich den Verlauf der motorischen Verbrennung mit vielen Mitteln lenken. Es fragt sich zunächst, warum und in welcher Richtung man ihn lenken will.

Es ist von jeher üblich, Wärmekraftmaschinen vor allem vom Standpunkt der Wärmewirtschaftlichkeit aus zu beurteilen. Der in dieser Richtung bestmögliche Grenzfall ist bekanntlich der Carnotsche Kreisprozeß (Abb. 1).

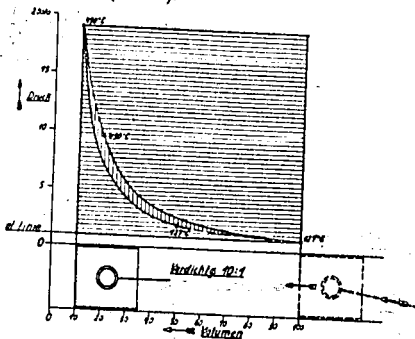


Abb. 1. Carnot- und Vollruckdiagramm.

Der Carnotsche Kreisprozeß gibt aber einem gegebenen Motor natürlich nicht die größte Leistung, welche er nach seinen Ausmaßen und seiner Drehzahl hergeben könnte — vielmehr nur einen Bruchteil, in der Regel kaum ein Zwanzigstel davon.

Größere Leistung eines gegebenen Verbrennungsmotors, als dem Carnotschen Grenzfall entspricht, muß also unter allen Umständen mit schlechterer Wärmewirtschaftlichkeit bezahlt werden.

Größte Wärmewirtschaftlichkeit — also Carnot — ist aber keineswegs stets die beste technische Lösung einer Aufgabe. Die Technik schwebt nicht in der leeren Luft, sondern muß die Tatsache berücksichtigen, daß es billige und teure Kraftstoffenergie gibt. Die beste Geldwirtschaftlichkeit eines Verbrennungsmotors kann schon hinsichtlich des Geldverbrauchs je erzeugte Pferdekraftstunde — erst recht bei Berücksichtigung anderer Umstände — weit entfernt vom wärmewirtschaftlichen Grenzfall des Carnotschen Kreisprozesses liegen. Hohe Leistung eines Motors kann viel wichtiger sein als geringer Verbrauch. Hoher

\*) Die Originalbroschüre des Österreichischen Petroleum-Instituts (Ö.P.I.) ist durch den Verlag für Fachliteratur Ges. m. b. H., Wien XIX, Vegagasse 4 zum Preise von 4 S = 2 RM zu beziehen.

Wärmeverbrauch in billigem Kraftstoff kann weit vorteilhafter sein als große Wärmewirtschaftlichkeit, wenn diese teuren Kraftstoff bedingt.

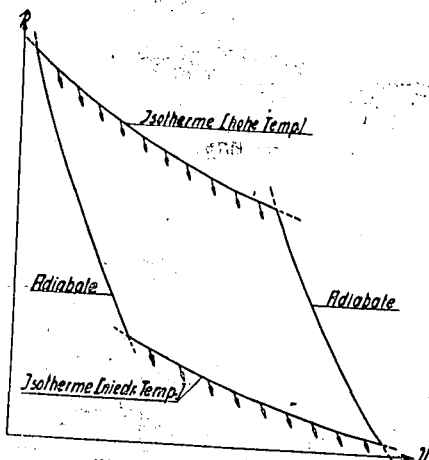


Abb. 2. Carnotdiagramm (schematisch).

Der Grenzfall — das Gegenstück zu Carnot —, die größte Leistungserzeugung je Spiel bei gegebenem Hubraum, ist dadurch gegeben, daß der Kolben während seines ganzen Laufes unter dem vollen Druck des Arbeitsmittels steht, daß also das Kolbenweg-Druck- oder PV-Diagramm ein Rechteck bildet.

Bei dem Höchstleistungsdiagramm ist der höchste Arbeitsdruck gleich dem mittleren Arbeitsdruck. Die Wärmewirtschaftlichkeit dieses Grenzfalls versteht sich von selbst. Praktisch benutzt man solche Arbeitsweisen bekanntlich nur für Anlaufvorgänge von Dampf- und Preßluftmotoren, für das vom Oesterreicher Triebnigg erdachte geniale Humboldt-Deutzer-Anlaufverfahren der getriebelosen Diesellokomotive und ähnliche Sonderfälle.

Bei unseren wirklichen Motoren beträgt der mittlere Kolbendruck immerhin etwa ein Fünftel bis ein Zehntel des Spitzendruckes, also zwei- bis viermal soviel wie bei Carnot — und zwar um so mehr, je höher die Leistung und Verbrauch —, um so weniger, je leistungsschwächer und je sparsamer der Motor ist. Die Spitzendrucke bestimmen aber die Triebwerkstärke, Motorgewicht und Motorpreis.

Sobald man Carnotdiagramme berechnet, kommt man zu dem Ergebnis, daß ihre Sparsamkeit mit großer Magerkeit, das ist mit Leistungsschwäche, bezahlt werden muß. Um bei gegebener Drehzahl mehr Leistung, mehr Diagrammfläche in die Maschine hineinzubekommen, mußte man vom Carnotkreisprozess abgehen. Das fiel um so leichter, als es sich als außerordentlich schwierig erwies, mit der motorischen Verbrennung dem Carnotideal auch nur nahe zu kommen. Alle unsere heutigen Motoren sind also — notens volens — Kompromisse zwischen der Notwendigkeit einer geräumigen Diagrammfläche und der

Sehnsucht nach der Sparsamkeit des Carnotdiagramms.

Das Carnotdiagramm bildet bekanntlich einen Schlauch aus zwei energiedichten Adiabaten, welcher oben und unten durch je eine für Wärme durchlässige Isotherme geschlossen ist. Es kann gleichsam von oben die hochtemperierte Wärme zur Arbeitsleistung in das Diagramminnere eintreten und unten entwertet austreten (Abb. 2).

In der rechten Adiabate erfolgt dabei ein Temperatursturz, in der linken ein Temperaturanstieg. Ein Verbrennungsmotor, der den Carnotschen Kreisprozess verwirklichen wollte, müßte mithin so arbeiten, daß er

1. einen Teil des Verdichtungsdruckes unter Kühlung isotherm,
2. den zweiten Teil des Verdichtungsdruckes ohne Kühlung unter Heißwerden adiabatisch verrichtete, worauf
3. während eines Teiles des Kolbenrückganges eine isotherme Verbrennung unter Druckverringering erfolgt, und
4. nach Abschluß dieser Verbrennung eine wärmedichte (adiabatische) Entspannung abkühlend sich anschließt.

Es ist bisher nicht gelungen, den Carnotkreisprozess im Verbrennungsmotor auch nur annähernd genau zu verwirklichen. Rudolf Diesel hatte sich das bekanntlich vorgenommen und wollte vor allem durch langsames Einspritzen die Verbrennung auf der druckabfallenden Isotherme verwirklichen. Es ist in seinem Buch über die „Entstehung des Dieselmotors“ geradezu tragisch nachzulesen, wie sein Versuchsmotor erst dann kraftvoll zu laufen begann, als er von dieser Absicht abging und durch rasches Einspritzen die abfallende Isotherme durch eine Art Horizontale ersetzte, und wie er als Wissenschaftler innerliche Hemmungen überwinden mußte, um diese von der Wirklichkeit erzwungene krasse Abweichung von seinem Grundgedanken und von Carnot vor sich und anderen zu rechtfertigen.

Im einzelnen können wir von vorwirklichen motorischen Komprimierverbrennungsweisen heute drei Arten unterscheiden. Sie entstehen gleichsam dadurch, daß man dem Carnotdiagramm durch kennzeichnende gerade Schnitte die beiden mageren Zipfel vorn und hinten wegschneidet und nur das leistungsstarke Mittelstück übrigläßt.

Die Verschiedenheit der drei Verbrennungsweisen beschränkt sich auf die Art des vorderen Schnittes. Hinten wird einfach durch „frühzeitigen Auspuff“ fast die ganze Verdichtungsisotherme zusammen mit dem Rest der Arbeitsadiabate, damit der ganze magere Schwanz abgeschnitten.

Je nach der Art des vorderen Beschnittes des Carnotdiagramms unterscheidet man also (Abb. 3):

1. Die Otto-Verbrennung, welche als Grenzfall die Gleichraumverbrennung oder „isochore“ Verbrennung anstrebt,
2. die „wirkliche“ Diesel-Verbrennung, welche als Grenzfall die „isobare“ oder Gleichdruckverbrennung anstrebt, und

3. die Misch- oder „Fahrzeug-Diesel“-Verbrennung, welche den ersten Teil der Verbrennung als Otto-Gleichraum, den zweiten Teil als Diesel-Gleichdruckverbrennung durchführt.

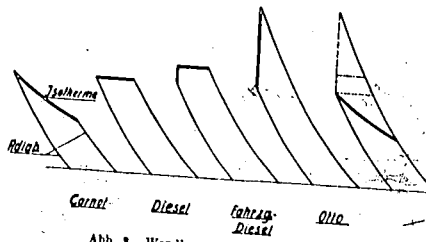


Abb. 3. Wandlungen der Diagrammspitze.

Die Otto-Verbrennung pflegt man bekanntlich so darzustellen, daß zwischen zwei energiedichten Adiabaten ohne Volumenveränderung, also zeitlos, die Verbrennung erfolgt, der ab Hubende ebenso zeitlos der „verlorene Druckabfall“ folgt. Die Vorstellung, daß die Verdichtung und daß der Arbeitshub energiedicht oder adiabatisch verliefen, ist natürlich ungenau. Sie wird um so genauer, je höher die Kolbengeschwindigkeit, je größer der Zylinderdurchmesser und je höher die Zylindertemperatur ist. Die Vorstellung, daß die Verbrennung „isochor“, das heißt ohne Volumenveränderung, also zeitlos, erfolge, ist ebenfalls ungenau. Im Gegenteil mußte man sich bemühen, durch Zündzeitpunktverstellung, durch sinnvolle Zerküftung des Verbrennungsraumes, durch Beeinflussung des Kraftstoffes und andere Mittel einen erfahrungsmäßig vorteilhaften zeitlichen und zugleich volumabhängigen Verlauf der Otto-Verbrennung zu erzielen. Nicht einmal die Annahme des zeitlosen Weglassens des „verlorenen Arbeitsdruckes“ am Ende des Arbeitshubes trifft genau zu. Durch Voröffnung der Steuerorgane und andere Mittel muß man dem Umstand Rechnung tragen, daß auch das Auspuffen Zeit und damit Leistung kostet.

Auch die Dieselverbrennung, wie sie in Abweichung von Diesels ursprünglichem Plan in unseren heutigen Dieselmotoren verwirklicht wird, pflegt man so darzustellen, daß adiabatische Verdichtung und adiabatische arbeitstunende Entspannung erfolgen, wobei am Schluß der Entspannung der verlorene Arbeitsdruck wieder zeitlos abblasen soll. Nur die Verbrennung selbst soll nicht zeitlos im Totpunkt, sondern unter Raumveränderung und Zeitverbrauch bei gleichbleibendem Druck erfolgen.

Alle diese Annahmen sind natürlich wieder ungenau. Die höheren, im Dieselmotor vorkommenden Temperaturen beeinträchtigen die Energiedichtigkeit der Adiabaten besonders stark. Die Anpassung des Pumpengesetzes der Kraftstoffeinspritzung und der Eigengesetzlichkeit der Verbrennung im durch das Ausweichen des Kolbens sich ändernden Raum an die Forderung des gleichbleibenden Druckes gelingt nur unvollkommen, zumal der Zündverzögerung aus der Reihe tanzt.

Die Fahrzeug-Dieselverbrennung hat sich ebenso wie die beiden anderen Arbeitsverfahren nicht aus der Theorie heraus entwickelt. Vielmehr stellt die Folge von Otto-Verbrennung und Diesel-Verbrennung, wie sie Abb. 3 schematisch zeigt, nur die nachträgliche Beschreibung desjenigen Vorganges dar, welchen man — schon wegen des Zündverzögerung — in jedem Dieselmotor mehr oder weniger beobachten kann und den man nur im schnellrotierenden Fahrzeugmotor durch Vorkammer, Luftspeicher usw. aus der Not zur Tugend entwickelt hat.

Man hat also statt der abfallenden Verbrennungsisotherme von Carnot die Diagrammspitze ausgebaut und dadurch die Literleistung des Motors auf Kosten der Literleistung des Kraftstoffes erhöht.

Abb. 3 zeigt klar, warum man mit Otto-Verbrennung die leichtesten, das heißt leistungsstärksten und mit Dieselverbrennung die sparsamsten Motoren heute baut.

Vereinzelte Spitzenleistungen — wie Junkers-Flug-Diesel mit über 38 PS/L Hubraumleistung — bestätigen als Ausnahmen die Regel.

Es dürfte sich lohnen, über die bestehenden einzelnen Möglichkeiten zur Lenkung der motorischen Verbrennung zwischen Carnot und Volldruck systematisch Rechnung zu legen. Bisher hat man neue Motoren mehr oder weniger frei „erfunden“. Sobald man das Gebiet zu ordnen beginnt, erkennt man leicht, welche vielleicht noch nicht versuchten Möglichkeiten es außerdem gibt.

Man kann den Verlauf der motorischen Verbrennung beeinflussen

- I. durch die Art der Stoffführung,
- II. durch die Beeinflussung der chemischen Reaktion als solcher,
- III. durch Verbrennungsraum- und -wandeneinfluß,
- IV. durch Beeinflussung der zeitlichen Volumenveränderung des Verbrennungsraumes.

Diese vier Einflüsse sind zwar nicht vollständig unabhängig voneinander, gestatten aber immerhin eine ziemlich gute Übersicht.

#### I. Stoffführung.

Hinsichtlich der Art der Stoffführung muß man fragen:

Welche Möglichkeiten gibt es überhaupt, Kraftstoff und Luft miteinander zur Reaktion zu bringen?

Voraussetzung für die Verbrennung ist, daß jedes reagierende Kraftstoffteilchen rechtzeitig das ihm zugeordnete Sauerstoffteilchen findet. Infolgedessen ist der elementare Fall der einer homogenen Mischung gasförmigen Kraftstoffes mit der mehr oder weniger richtigen Menge von Luft und die Zuführung dieses fertigen Gemisches in den Verbrennungsraum. In dieser Art arbeiten unsere Gas- und Benzinmotoren, die sogenannten Ottomotoren.

Ein solches Kraftstoff-Luft-Gemisch kann auf vier verschiedene Weisen verbrennen:

1. Flammenfrontverbrennung des ruhenden homogenen Gemisches. Die Flammenfront wandert von einer Zündstelle weg mit einer Geschwindigkeit von einigen Metern in der Sekunde. Diese Verbr-

nungsart kommt in heutigen Motoren nicht vor. (Aber wahrscheinlich bei Lenoir.)

2. Flammenfrontverbrennung wirbelnden Gemisches. Es ergeben sich durchschnittliche Flammengeschwindigkeiten von etwa zehnfacher Größe. Das ist die normale Verbrennung in Ottomotoren. Wirbela verkürzt die Brennwege. Gleiches erreicht man durch Anwendung mehrerer Zündstellen.

3. Flammenfrontverbrennung bei Überschreitung der chemischen Beständigkeitsbedingungen des Kraftstoff-Luft-Gemisches. Die Geschwindigkeit der Flammenfront wird zur Schallgeschwindigkeit unter den betreffenden Umständen, steigt also bis auf etwa 600 m in der Sekunde und bildet dabei die sogenannten Berthelotischen oder Dixon-Wellen. Diese Verbrennungsart verursacht die Klopferscheinung in den Motoren.

4. Homogene Verbrennung durch Überschreiten der chemischen Beständigkeitsbedingungen ohne Ausbildung einer Flammenfront. Diese Erscheinung ist nur bei Selbstzündung denkbar und praktisch noch nicht sicher verwirklicht worden. Sie bildet den Grenzfall der Otto-Verbrennung.

Wie die praktisch bislang also allein vorkommenden Verbrennungsweisen 2 und 3 sich im wirklichen Motor auswirken, zeigt schematisch Abb. 4.

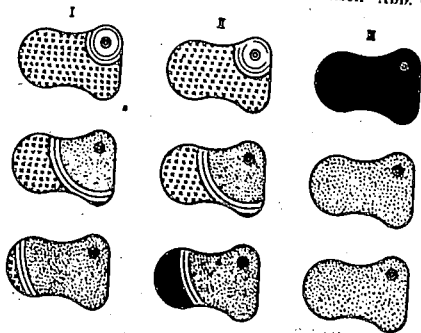


Abb. 4. Verbrennungsweisen in homogenen Gemischen.

Reihe I zeigt die weiche Verbrennung wirbelnden Gemisches, wobei eine mehr oder weniger saubere Flammenfront sich mit einer Geschwindigkeit von 20 bis 30 m/sec fortpflanzt. Die Wirbelung des Gemisches ist durch Zusammenwirken der Füll- und Entleerungsvorgänge mit dem Kolbenspiel gegeben.

Wenn (durch frühzeitige Entzündung oder andere Umstände) die durch die Verbrennung eintretende Druck- und Temperatursteigerung die Beständigkeitsbedingungen des Kraftstoff-Luft-Gemisches überschreitet, weil der Kolben nicht rechtzeitig hat ausweichen können, dann verbrennen die dann noch vorhandenen Gemischreste durch eine mit Schallgeschwindigkeit fortschreitende Flammenfront wie in Reihe II. Das Hochspringen der Flammenfrontgeschwindigkeit zur Schallgeschwindigkeit ist schon vor vielen Jahren

im Laboratorium durch Dixon verwirklicht worden. Das tatsächlich das Klopfen im Ottomotor am Ende der Verbrennung stattfindet, hat wohl zuerst Whetmough behauptet und ist neuerdings experimentell durch Schnauffer und andere vielfältig bewiesen worden.

Klopfen des Motors ist eine unerwünschte Tatsache. Abgesehen von dem unangenehmen Geräusch entstehen Spitzenbelastungen der Lager, steigt die Motortemperatur und sinkt die Leistung.

Das ist merkwürdig. Eigentlich müßte ein Ottomotor mit Momentanverbrennung ja doch die bestmögliche Verwirklichung des Ottokreisprozesses ergeben, dessen anzustrebender Grenzfall ja eben die Momentanverbrennung gemäß Reihe III unserer Abbildung ist.

Warum passen hier Theorie der Gleichraumverbrennung und Praxis des klopfenden Motors nicht zusammen?

Wie mir scheint, liegt die gesuchte Ursache darin, daß die klopfende Verbrennung gemäß Reihe 3 doch eine gerichtete Verbrennung mit Flammenfrontbewegung ist, während eine Gleichraumverbrennung nach dem Grundsatz des Ottokreisprozesses ja eine ungerichtete Verbrennung, eine im ganzen Verbrennungsraum gleichzeitig auftretende momentane Druckerhöhung sein müßte.

Der praktische Unterschied liegt darin, daß eine gerichtete Verbrennung gerichtete Kräfte erzeugt, während eine ungerichtete Verbrennung alle Energie in Druck- und Temperatursteigerung umsetzen muß. In anderen Worten: Wenn eine klopfende Verbrennung mit Flammenfront erfolgt, dann werden Gasmengen in Richtung der Flammenfrontbewegung an die Verbrennungsraumwände geworfen, wo sie einen Teil ihrer Schwingkraft in nutzlose Wärme umwandeln. Erfolgt hingegen eine ungerichtete momentane Verbrennung, dann muß es möglich sein, näher an den vorteilhaften Grenzfall des Ottokreisprozesses der Gleichraumverbrennung heranzukommen.

Für die Richtigkeit dieser Anschauung spricht die Tatsache, daß durch Störung der Ausbildung einer Flammenfrontes — also zum Beispiel durch besonders starke Wirbelung oder Anordnung mehrerer Zündkerzen — das Klopfen verschwindet.

Es läßt sich übrigens durch eine Überschlagsrechnung ermitteln, daß die beim klopfenden Motor beobachteten Verhältnisse, insbesondere die Leistungsverringerung und die Temperaturerhöhung, mit der Annahme der gerichteten Schnellverbrennung zusammenstimmen. Wenn tatsächlich die Klopferscheinungen darauf beruhen, daß die Bewegungsenergie der mit Schallgeschwindigkeit verbrennenden Gase durch Aufprall auf Verbrennungsraumwände unter Wärmeentwicklung vernichtet wird, dann muß diese bei Schallgeschwindigkeit, und nur bei Schallgeschwindigkeit, einen erheblichen Bruchteil der Motorarbeit ausmachen. Die Rechnung ergibt, daß für die zur Herstellung einer Pferdekraftstunde etwa nötigen 300 g Benzin und 4,5 kg Luft, also 4,8 kg Gemisch, die gesamte Bewegungsenergie ausmacht:

bei 2,5 m/sec Flammenfronttempo, also ruhigem Abbrennen, 1,5 m/kg oder etwa 1/100000-Pferdekraftstunde,

bei 25 m/sec Flammenfronttempo, also bei normaler Verbrennung, 150 m/kg oder 1/1000-Pferdekraftstunde, und

bei 600 m/sec Flammenfronttempo, also Dixonwelle, nicht weniger als 86.400 m/kg oder 24% einer Pferdekraftstunde.

Wenn also im Grenzfall das Klopfen so stark auftritt, daß die gesamte Gasmasse Schallgeschwindigkeit annimmt und diese durch Anprall an die Zylinderwände vernichtet wird, dann kann die Motorleistung bis um ein Viertel sinken.

Entsprechend kann die Wärmeabgabe an die Zylinderwandung um solche Wärmebeiträge steigen, die bis zu einem knappen Viertel der Motorleistung entsprechen.

Derartige Temperaturerhöhungen bei klopfenden Zylindern sind bekanntlich ebenso beobachtet worden wie Leistungsverringerungen klopfender Motoren von erheblichem Ausmaß.

Wenn noch größere Leistungsabnahme eintritt, hört übrigens das charakteristische helle Klopfen auf und es tritt das Stampfen der vorzeitigen Verbrennung in Erscheinung.

Umgekehrt möchte man aus dieser Überschlagsrechnung schließen, daß eine Verwirklichung der zeitlosen homogenen Gleichraumverbrennung dann möglich werden wird, wenn es gelingt, trotz der praktisch im Motor ja stets vorhandenen örtlichen Temperaturverschiedenheiten eine verdichtete Ladung derartiger allseits zu entzündender, daß wegen der Kürze und Vielfältigkeit der Brennwege die Möglichkeit zur Ausbildung von Flammenfronten und Dixonwellen entfällt.

Das scheinen die metallorganischen Antiklopfmittel, wie Bleitetraäthyl und Eisenkarbonyl, möglich zu machen. Während also andere Antiklopfmittel, wie Benzol und Alkohol, das Klopfen dadurch verhindern, daß sie die Brenngeschwindigkeit verringern und auf diese Weise dafür sorgen, daß der Kolben zu rechtzeitigem Ausweichen Zeit findet und deshalb der Ladungsrest nicht diejenigen Temperatur- und Druckbedingungen überschreitet, welche zur Hochpeitschung der Flammenfront in eine Schußwelle führen, haben die metallorganischen Antiklopfmittel anscheinend eine andere Wirkung. Sie verändern zunächst den Lauf der Flammenfront überhaupt nicht. Erst für den unstabil gewordenen Gemischrest bringen sie eine Erleichterung des Durchzündens, eine Annäherung an die Gleichraumverbrennung. Mit metallorganischen Zusätzen sollte man also der homogenen Gleichraumverbrennung näher kommen können, nicht aber durch Alkohol, Benzol, Temperatur, Mischungsverhältnis, Vorzündung usw., welche nur das Tempo der Flammenfront, nicht aber die Verbrennungsweise des Gemischrestes beeinflussen.

Die Verbrennung von Kraftstoffnebeln und Brennstauben unterscheidet sich grundsätzlich nicht von derjenigen homogener Gasgemische. Die Schwierigkeit liegt nur darin, derartige Aerosole am Absitzen zu verhindern. Geringe Teilchengröße ist dabei, ent-

sprechend dem Stokeschen Gesetz, günstig. Wirbelung hat einen Bestwert. Zu starke Wirbelung wirkt als Folge von Zentrifugalkräften entmischend.

Insgesamt lehrt die Betrachtung der Verbrennung homogener Gemische, daß durch das fertige Gemisch eine weitgehende physikalisch-chemische Eigengesetzlichkeit der motorischen Verbrennung gegeben ist. Wenn man statt dessen die beiden Bestandteile, Kraftstoff und Luft, einzeln handhabt, möchte es leichter möglich erscheinen, den Verbrennungsablauf wünschgemäß zu beeinflussen.

Es kommt hinzu, daß die Einrichtungen zur Herstellung homogener Gemische, die Mischventile und Vergaser, weitgehend der Zwangsläufigkeit entbehren, die man bei technischen Dingen gern hat.

Geht man nun vom Grundsatz der inhomogenen Verbrennung, also der Erzeugung des Reaktionsgemisches am Reaktionsort, aus, dann erkennt man, daß es sechs verschiedene Möglichkeiten der Stoffführung hierbei gibt:

1. Fall: Man kann den Kraftstoff in die Luft einführen.
2. Fall: Man kann die Luft in den Kraftstoff einführen.
3. Fall: Man kann Luft und Kraftstoff im Gegenstrom miteinander in Berührung bringen.
4. Fall: Man kann Luft und Kraftstoff im Gleichstrom miteinander zur Reaktion bringen.
5. Fall: Man kann den Kraftstoff mit einem Teil der Luft vermischt nach Fall 2, 3 und 4 mit dem Rest der Luft zusammenbringen.
6. Fall: Man kann die Luft mit einem Teil des Kraftstoffes vermischt nach den Fällen 2, 3 und 4 durch Einblasen, ferner im Gegenstrom oder endlich im Gleichstrom mit dem Rest des Kraftstoffes zusammenbringen.

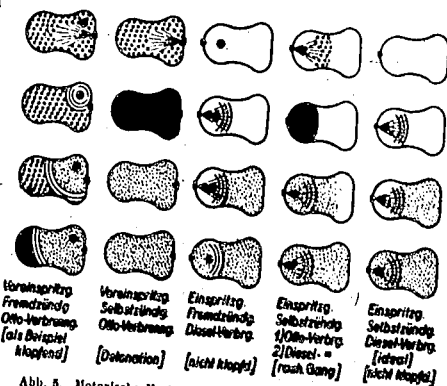


Abb. 5. Motorische Verbrennung bei Einspritzung der Kraftstoffe („Inhomogene“ Verbrennung).

Jeder dieser sechs Hauptfälle kann seinerseits wieder für gasförmigen, flüssigen und festen Kraftstoff verwirklicht werden.

1. Fall: Die Einführung des Kraftstoffes in Luft ist die weitaus verbreitetste Ausführungsform der — kurz gesagt — inhomogenen Verbrennung.

Bild 5 zeigt für den praktisch heute wichtigsten Fall des flüssigen Kraftstoffes die möglichen Abwandlungen.

Im ersten Beispiel wird die Gesamtmenge des Kraftstoffes vor der Zündung eingespritzt, so daß durch Wirbelung und Verdichtungswärme der Kraftstoff möglichst verdampft. Es tritt dann bei erfolgreicher Zündung eine normale Flammenfrontverbrennung ein, welche zu einem Klopfvorgang führen kann, aber nicht braucht. Motoren dieser Art hat man als gewöhnliche Einspritzmotoren gebaut. Sie zeichnen sich besonders beim Betrieb mit synthetischen klopf-festen Kraftstoffen (z. B. dem sogenannten „safety fuel“) und hoher Verdichtung durch Mehrleistung aus, welche sich unter anderem durch Wegfall der drosselnden Wirkung des Vergasers erklärt.

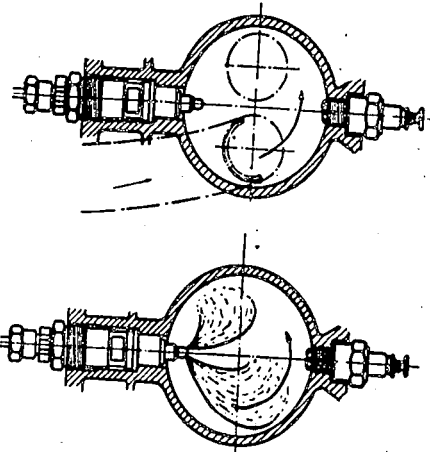


Abb. 6. Wirbelung beim Hesselmanmotor.

Ein betrieblich bewährter Gasölmotor dieser Art ist bekanntlich der Hesselman-Motor (Abb. 6), der nach langer Entwicklungszeit, z. B. im Stockholmer Omnibusbetrieb, befriedigend läuft. Bei ihm wird durch Ventilabschirmung eine Wirbelung der Ladung erzeugt, welche das Ausfallen des Kraftstoffnebels verringert und die Brenngeschwindigkeit mechanisch vergrößert.

Das zweite Beispiel in unserer schematischen Übersicht (Abb. 5) benutzt gleichfalls die Einspritzung zur Bildung eines homogenen Gemisches. Hier wird aber von Fremdzündung abgesehen und die Verdichtung bis zur Selbstzündung getrieben. Ein solcher Motor ist heute nicht klopfrei betriebsfähig, sehr wahrscheinlich, weil die Selbstzündung stets von einem Punkt der heißesten Stelle ausgehen würde und deshalb eine zum Klopfen führende gerichtete Verbrennung eintr.ü. Vielleicht wird es durch metallorganische Antiklopfmittel, vielleicht sogar unter gleichzeitigen Zusatz von Proklopfmitteln, möglich sein, die Gleichraumverbrennung dieser Art nicht-

klopfend zu machen. Es klingt paradox, daß man hier Fortschritte in der Richtung gleicher technischer Endwirkung von Pro- und Antiklopfmittel erwarten möchte.

Die dritte Abbildung betrifft die Einspritzung während der Verbrennung, und zwar mit Fremdzündung zu Beginn. In diesem Fall wird unter Mithilfe der Luftwirbelung der Kraftstoff unmittelbar von der Düsenmündung weggebrannt. Man bringt es auf diese Weise fertig, an sich zum Klopfen neigende Leichtkraftstoffe in hochverdichtenden Motoren klopf-frei zu verbrennen. Ebenso interessant ist aber die gleichsam umgekehrte Anwendung der gleichen Maßnahme dazu, Dieselmotoren durch Ausschaltung des Zündverzuges klopfrei zu betreiben.

Das Klopfen bei Dieselmotoren ist das Gegenteil des Klopfens bei Ottomotoren. Während bei Ottomotoren der zuletzt verbrennende Gemischanteil das Klopfen verursacht, beruht bei Dieselmotoren das Klopfen umgekehrt auf dem zuerst verbrennenden Gemischanteil und ist eine Folge des Zündverzuges. Nur dadurch, daß der Kraftstoff im Diesel sich nicht sofort entzündet, wenn er aus der Düse tritt, sondern vermöge des Zündverzuges eine gewisse Menge verbrennlichen Gemisches sich bilden kann, ist die Möglichkeit gegeben, daß beim Einsetzen der Zündung an irgend einer Stelle eben diese Gemischmenge mit gerichteter Flammenfront verbrennt und dadurch klopf. Verhindert man durch Fremdzündung die Auswirkung des Zündverzuges oder, in anderen Worten, sichert man durch eine Fremdzündung das punktliche Einsetzen der Verbrennung, dann läuft der Diesel auch mit weniger zündwilligen Kraftstoffen klopfrei. Die Fremdzündung tut hier also nichts anderes als der Zündzünder im Teordiesel.

Man hat die Fremdzündung besonders für schnelllaufende Dieselmotoren schon in Amerika mit Erfolg angewendet und beschäftigt sich auch in Deutschland zunehmend mit ihr (z. B. Korde).

Den durch das Verfahren der dritten Bildreihe vermiedenen rauen Gang oder Klopfvorgang im Diesel zeigt die vierte Bildreihe in einzelnen. Man kann geradezu sagen, daß bei diesen Motoren ein Teil der Ladung zuerst fast zeitlos nach Otto abbrennt, worauf erst die Gleichdruckverbrennung nach Diesel den Vorgang vervollständigt.

Dieses Zwischenspiel von „erst Otto und dann Diesel“ hat man unter Beherrschung der Ottoverbrennung mittels Vorkammer, Luftspeicher usw. für schnelldrehende Diesel praktisch brauchbar gemacht.

Die fünfte Bildreihe (Abb. 5) endlich zeigt im Schema den Verbrennungsverlauf des „idealen“ Dieselmotors, wie er bei langsam laufenden, hochverdichtenden und großräumigen Dieselmotoren weitgehend genau verwirklicht wird.

Den ersten Fall der Einführung des Kraftstoffes in die verdichtete Luftmenge kann man sinngemäß natürlich in gleicher Weise für Flüssiggas und Hochdruckgas zur Anwendung bringen. Das ist versuchsweise auch schon mit Erfolg geschehen, ohne daß die Praxis bisher davon besonderen Fortschritt verspürt hätte.

Die Anwendung des ersten Falles (der Einführung von Kraftstoffen in Luft) auf festen Kraftstoff ist nicht ohne weiteres möglich, weil man bisher noch keinen Weg kennt, festen Kraftstoff ohne Zuhilfenahme von Luft oder anderen Trägern genügend oberflächenentwickelt in der Luftladung zu verteilen.

Der zweite denkbare Fall der getrennten Stoff-führung ist die Umkehrung. Ebenso wie man den gesamten Kraftstoff in die Luft einführen kann, könnte man auch die nötige Luft in den Kraftstoff einführen. Von dieser Möglichkeit hat man bis heute, soweit mir bekannt, keinen praktischen Gebrauch gemacht. Die Einführung von Teilmengen der Luft in Kraftstoffüberschuß gehört ja erst unter Fall 5.

Wir kommen zum dritten Fall der Stoffführung. Dieser ist dadurch gegeben, daß Kraftstoff und Luft im Gegenstrom zueinander geführt werden. Das Gegenstromprinzip ist vom chemischen Standpunkt aus ideal, weil es erschöpfende Ausnutzung ermöglicht. Es kann bei Entzünden nur eines Reaktionsproduktes — bzw. einer Reaktionsphase —, wie vorliegend, auf drei verschiedene Weisen ausgeführt werden:

1. Entweder es wandert das Reaktionsprodukt mit der Luft dem Kraftstoff entgegen,
2. oder mit dem Kraftstoff der Luft entgegen,
3. oder es weicht seitlich aus.

Die verbrannten Gase mit der Luft dem Kraftstoff entgegenzuschicken ist zweifellos unwirtschaftlich, weil dadurch die Luft in bezug auf wirksamen Sauerstoff verdünnt, mithin energetisch nur entwertet wird.

Die verbrannten Gase mit dem Kraftstoff der Luft entgegenzuschicken wird in der Regel ebenfalls unwirtschaftlich sein (obwohl auf diese Weise unverbrannte Kraftstoffreste in der vergleichsweise billigen Luft verbrannt werden können), weil durch die Verdünnung mit Verbrennungsgasen trotz Aufheizung eine energetische Entwertung des Kraftstoffes eben auch nicht zu vermeiden ist.

So hat man sich bisher der dritten Möglichkeit des Gegenstromprinzips angenähert und durch sogenannte „Luftspeicher“ bei der Dieselverbrennung Kraftstoffstrom und einen Luftstrom so gegeneinander geleitet, daß die Abgase quer abströmen können. Es leuchtet ein, daß dadurch, daß sowohl die Gesetzlichkeit der Kraftstoffpumpenförderung, wie auch die Gesetzlichkeit des Ausblasens eines Luftspeichers weitgehend in der Hand des Konstrukteurs ist, solche Verfahren eine sehr willensgemäße Lenkung der motorischen Verbrennung gestatten. Dieser Gedanke ist in den Motorenbau wohl erstmals durch Franz Lang hineingekommen. Das Arbeitsverfahren Bosch-Acro und das weitere Arbeitsverfahren Lanova sind die wertvollen praktischen Auswirkungen dieses folgenreichen Gedankens.

Als vierten Fall halten wir die Möglichkeit vorgesehener, Kraftstoff und Luft im Gleichstrom in den Verbrennungsraum einzuführen. Diese Arbeitsweise ermöglicht einleuchtenderweise eine besonders genaue Beherrschung des Verbrennungsablaufes, ist aber schwer auszuführen. Sie hat beispielsweise praktische Anwendung gefunden bei dem Humboldt-Deutzer-Anlaßverfahren der getriebelosen Diesellokomotive.

Hier diene sie dazu, erstaunlich füllige und zugleich wärmeunwirtschaftliche Diagramme herzustellen, welche eben das Anfahren eines Verbrennungsmotors aus dem Stand unter Last ermöglichen. Man kann dieses Triebniggische Arbeitsverfahren so beschreiben:

„Durch Verbrennung von Gasöl in Profluß wird die Leistungsfähigkeit der Profluß vervielfacht.“ Zum Dauerbetrieb von Kolbenmotoren hat das Verfahren, soweit mir bekannt, noch keine Anwendung gefunden, obwohl es recht aussichtsreich erscheinen möchte, damit Versuche zu machen, wenn billige Kraftstoffkalorien vorliegen. Hingegen hat man sich dieses Verfahrens z. B. für die Fällung der Verbrennungskammern von Gasturbinen bedient, bei denen es ja allerdings auf genaue zeitliche Lenkung des Verbrennungsvorganges weniger ankommen dürfte.

Interessant übrigens, daß man ein ähnliches Arbeitsverfahren schon 1873 bei einem der allerersten Verbrennungsmotoren — demjenigen von Brayton — findet.

Wir kommen zu den beiden letzten Fällen, bei denen die Gesamtmenge des Kraftstoffes mit einem Teil der Luft vorgemischt oder umgekehrt die Gesamtmenge der Luft mit einem Teil des Kraftstoffes vorgemischt wird. Man möchte solche Arbeitsweisen auf den ersten Blick für unnützig umständlich halten. Tatsächlich haben sie aber sehr erhebliche praktische Bedeutung. Für Otto-Verbrennung wird z. B. in Vergasern von Packard, Holley-Ford und Katalix die ganze Kraftstoffmenge im Vergaser ohne Arbeitsleistung zu einem heißen Vorgemisch verbrannt — das mit Zusatzluft im Motor arbeitstendfertig verbrannt wird.

Der Terres-Sechstaktmotor verbrennt im ersten Arbeitsspiel die Gesamtmenge des Kraftstoffes mit einem Teil der Verbrennungsluft arbeitstendfertig zu einem aus Kohlenoxyd, Wasserstoff, Ruß usw. bestehenden verbrennlichen Vorgemisch, welches erst im zweiten Arbeitsspiel unter Zusatz des Luftrestes arbeitstendfertig verbrannt wird.

Jeder Vorkammerdieselmotor endlich verbrennt in seiner Vorkammer den eingespritzten Kraftstoff mit einem kleinen Teil der Verbrennungsluft zu einem Vorgemisch, welches durch die sogenannten „Brenneröffnungen“ in den Rest der Verbrennungsluft eingeführt wird. Besonders schön ist die Gleichstromführung von Vorkammer und Luftspeicher im MAN-Verfahren, das bekanntlich im reichsdeutschen Einheitsmotor angewendet wird. Man geht so weit, daß man beim Thomas- und Stuhl-Dieselmotor (Abb. 7) sogar auf die Pumpenzerstäubung des Kraftstoffes verzichten kann, diesen nur einlagert und durch die Vorverbrennung allein zerstäuben läßt.

Auch die Kohlenstaubvorverbrennung und -zerstäubung in der Pawlikowskischen Beikammer des Brennstaubdiesels erfolgt nach dem gleichen Gedanken.

Es ist wohlbekannt, daß durch das Vorkammerprinzip und die dadurch verbesserte Beherrschung des zeitlichen Ablaufes der motorischen Verbrennung ungemein wertvolle praktische Erfolge erzielt wor-

den sind. Derartige Motoren laufen keineswegs besonders sparsam. Sie laufen aber vergleichsweise weich und gestalten außerdem hohe Drehzahlen. Fast alle Fahrzeugdieselmotoren sind entweder Vorkammernmotoren oder Luftpumpenmotoren oder beides.

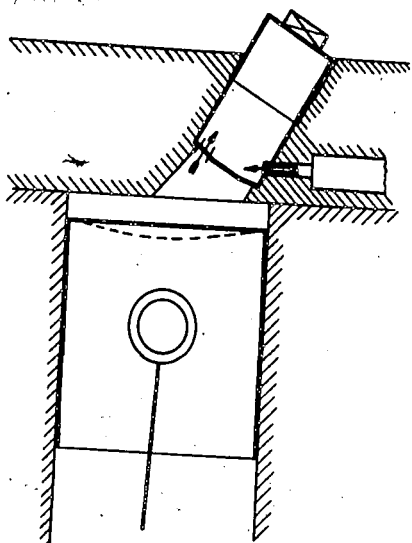


Abb. 7. Schema des Thomas- u. Sindr-Vorkammerdieselmotors.

Eine derartige „unvollständige“ Vorverbrennung kann, chemisch gesehen, kollektiv oder selektiv unvollständig erfolgen: das heißt die ungenügende Luftmenge kann entweder einen bestimmten Prozentsatz des Kraftstoffes vollständig verbrennen und den anderen unangegriffen lassen, oder aber sie kann die Gesamtmenge des Kraftstoffes angreifen und diese unvollständig verbrennen. (Außerdem kann natürlich das Vorgemisch überhaupt unverbrannt sein, wie etwa bei der Einspritzung des Brennöls mit Preßluft in ortsfeste Dieselmotoren.)

Es liegt also selektiv unvollständige Verbrennung vor, wenn die ungenügende Luftmenge die leichtest verbrennlichen Bestandteile herausbrannt, und kollektiv unvollständige Verbrennung, wenn ein Teil des Kraftstoffes unverändert blieb. Beim Terresmotor z. B. scheint im wesentlichen selektiv unvollständige Verbrennung, bei den Vorkammerdieselmotoren und in der Pawlikowski-Beikammer vorwiegend kollektiv unvollständige Verbrennung vorzuliegen.

Im übrigen zeigen nach den neueren Untersuchungen die Verbrennungsvorgänge in Vorkammer und Hauptbrennraum Verschiedenheiten, welche man zusammenfassend so beschreiben kann, daß der Vorkammerinhalt wesentlich nach Otto, also im Gleichraum, verpufft, während im Hauptbrennraum die aus der Vorkammer abblasenden brennbaren Gase wesentlich nach Diesel, also im Gleichdruck, ver-

brennen. Verbrennung nach der Carnotschen druckabfallenden Isothermie im wachsenden Raum gibt es auch hier noch nicht.

Im einzelnen kann man das Abblasen eines Vorgemisches in den Luftrest natürlich direkt im Gegenstrom (wie bei Lanova) und indirekt im Gleichstrom (wie bei MAN) verwirklichen.

Hierher gehören übrigens auch solche Motoren, welche einen Teil der Luft in einen Kraftstoffüberschuß hineinschicken und das entstehende fetten Vorgemisch mit der Hauptmenge der Luft verbrennen.

Die bekanntesten Vertreter dieser Motorenart sind der Lanz-Bulldog-Motor und die Reihe der übrigen Glühkopfmotoren.

Der Glühkopfmotor spritzt nämlich erheblich zu früh ein und hat entsprechend in seinem Glühkopf einen Kraftstoffvorrat meist für mehrere Zündungen.

Noch ausgesprochen findet sich dieser Gedanke bei dem uralten Feuerkopfmotor (amerikanischer Verdampfermotor, Abb. 8) für rohes Erdöl verwirklicht, bei dem in einem glühkopfählichen Behälter dauernd ein Überschuß von Kraftstoff erhalten wird, aus dem ein eingepreßter Teil der Luft das Erforderliche sich herausbrennt.

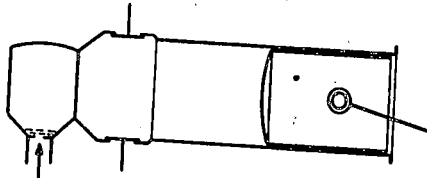


Abb. 8. Amerikanischer Verdampfermotor.

Endlich finden wir den gleichen Gedanken wieder bei dem für feste Kohle von Dr. Schnürle vorgeschlagenen Rostkammermotor (Abb. 9).

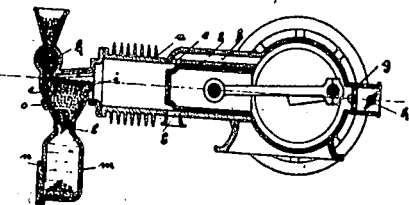


Abb. 9. Schnürlemotor.

Den umgekehrten letzten Fall der Vormischung der gesamten Luftmenge mit einem Bruchteil von Kraftstoff hat man interessanterweise auch verwirklicht. Es handelt sich dabei um Versuche, zündwillige Diesellole dadurch zum glatten Abbrennen zu bringen, daß man der Ansaugluft so geringe Mengen von Wasserstoff oder auch von einem anderen verdampfenden oder gasförmigen Kraftstoff beigibt, daß für sich die Zündgrenze unter voller Verdichtung nicht erreicht, beim Eintreten des übrigen Kraftstoffes aber sogleich überschritten wird. Solche Ver-

suche sind schon mit Erfolg kurz nach dem Kriege vom englischen Luftfahrtministerium durch Zusatz von Wasserstoff zur Ansaugluft angestellt worden. Es sind aber bis heute keine praktischen Auswirkungen bekannt geworden.

## II. Beeinflussung der chemischen Reaktion.

Der zweite Weg zur wünschenswerten Steuerung des zeitlichen Ablaufes der motorischen Verbrennung — und eigentlich der nächstliegende — besteht darin, die chemische Reaktion als solche zu beeinflussen.

Hierfür ist in erster Linie maßgebend der Charakter des Kraftstoffes. Wasserstoffreiche Kraftstoffe und hochmolekulare Kraftstoffe zünden besonders leicht mit Fremd- bzw. mit Selbstzündung, wasserstoffarme und Alkohole schwerer. Mit dem Begriff der Zündwilligkeit geht aber derjenige der Leichtverbrennlichkeit keineswegs parallel. Schmieröl z. B. zündet leicht und verbrennt schwer, Methanol zündet schwer und verbrennt leicht.

Man kann den Verbrennungscharakter eines Kraftstoffes durch Mischen stark ändern. Benzolzusatz z. B. verringert die Verbrennungsgeschwindigkeit und verhindert so das Klopfen dadurch, weil der Kolben Zeit zum Ausweichen erhält. Wasser tut gleiches durch Temperaturherabsetzung, Verdünnung des Reaktionsgemisches und Zwischenreaktionen. Alkohole wirken ähnlich.

Durch Zusätze von organischen Nitraten, Ozon und ähnlichen Stoffen kann man Zündwilligkeit und Verbrennungsgeschwindigkeit steigern. Amylnitrit wirkt also so, daß es dadurch zum Klopfen führt, daß der Kolben keine Zeit zum rechtzeitigen Ausweichen findet.

Ganz anders wirken, wie erwähnt, die klopfhindernden metallorganischen Kraftstoffzusätze, z. B. Bleitetraäthyl und Eisenkarbonyl. Sie verändern die Geschwindigkeit der Flammenfrontverbrennung überhaupt nicht, wohl aber den dann gegebenenfalls anschließenden Detonationsvorgang, und zwar anscheinend im Sinne einer Zerstörung der Flammenfront.

Das im übrigen das Mischungsverhältnis oder die Konzentration des Reaktionsgemisches, daß insbesondere auch die Verdünnung mit Abgas, daß das Verdichtungsverhältnis und die Temperatur des Reaktionsgemisches starke und in einzelnen wohlbekannte und benutzte Einwirkungen auf den Verbrennungsablauf haben, versteht sich ja von selbst.

Daß die vielfach verbreiteten Geheimmittel — Tabletten und Tröpfchen — als Antiklopf- und Sparmittel wirkungslos zu sein pflegen, sei nur erwähnt. In Deutschland sind sie nach jahrzehntelangem kinodramatischem Kampf verschwunden, weil eine Verordnung Nachweis von Unschädlichkeit und der Wirkung durch staatliche Stellen verlangt.

Von großer Bedeutung für den zeitlichen Ablauf der Verbrennung ist natürlich der Reaktionsbeginn nach Zeitpunkt und Art. Nicht nur durch Frühzündung, sondern auch durch verschieden große Zündenergie beispielsweise kann man, wie neuerdings

Taub wieder festgestellt hat, die Verbrennungsgeschwindigkeit verändern.

Die motorische Verbrennung neigt auch dann stark zur Ausbildung bestimmter Flammenfronten, wenn keine ausgesprochene Fremdzündung, etwa durch Zündkerze, vorliegt. Darum pflegt man in Motoren ohne eigentliche Fremdzündung einen heißesten Punkt festzulegen, der sich bis zum Glühstift, zur Glühkammer, zum Glühkopf entwickeln kann.

Bei solchen Zündungsweisen, also beim Wegbleiben einer ausgesprochenen Fremdzündung, gewinnt der Zündverzöger als durch Voreinspritzung zu berücksichtigende Kraftstoffeigenschaft eine besondere Bedeutung. Umgekehrt kann man, wie erwähnt, durch — auch ungezeitete — Fremdzündung den Zündverzögerungsschaden vermeiden.

Es liegt nahe, die Flammenfront dadurch zum Verschwinden zu bringen, daß man die Reaktion an einem festen Körper vor sich gehen läßt, also Oberflächenverbrennung oder katalytisch geförderte Verbrennung in Anwendung bringt. Diese Möglichkeit ist noch kaum untersucht.

Der Chemismus der motorischen Verbrennung ist trotz der nunmehr ein Vierteljahrhundert alten grundlegenden Arbeit von Nernst und der unglücklichen Fülle von Forschung auf diesem Gebiet immer noch wenig bekannt. Darum möchte ich von Wasserstoffgleichgewicht, Peroxyden, Aktivierungsenergie, Spektralbanden usw. schweigen. Hier sind zwar in jüngster Zeit, besonders durch Neumann, anscheinend sehr erhebliche Fortschritte unserer Erkenntnis gemacht worden. Bis zur willensgemäßen Nutzbarmachung ist diese Erkenntnis aber noch nicht vorgedrungen.

## III. Einfluß der Verbrennungsraumwandungen.

Der dritte starke Einfluß auf den Ablauf der motorischen Verbrennung ist derjenige von Form und Wandung des Verbrennungsraumes.

Dieser Einfluß beginnt bereits mit der absoluten Größe des Verbrennungsraumes. Je größer ein Verbrennungsraum, um so kleiner seine spezifische Oberfläche. Eine kleine spezifische Oberfläche bedeutet geringe Abkühlung und dadurch bessere Wirtschaftlichkeit, aber zugleich höhere, schmierungstechnisch schwerer zu beherrschende Temperatur und größere Gefahr der Entwicklung einer Flammenfront zum Klopfen. Infolgedessen ist man trotz der dadurch bedingten geringeren Wirtschaftlichkeit für alle schnell-drehenden Motoren zu starker Unterteilung des Zylinderdraumtes gegangen. Große Hubraumeinheiten machen, wie z. B. von den Flugmotoren bekannt, bei schnell-drehenden Motoren Schwierigkeiten. Wie schwer es ist, in größeren Verbrennungsräumen die Strömungsverhältnisse und Wärmestauungen zu beherrschen, zeigt das Beispiel der bei kleinen Zweitaktmotoren so einfachen und sparsamen Umkehrspülung. Es war bislang nicht möglich, bei schnell-drehenden Motoren dieser Art eine Hubraumgröße von 400 ccm zu überschreiten.



hat, die Verbrennungsge-

rennung neigt auch dann bestimmter Flammenfronten, eine Fremdzündung, etwa Darum pflegt man in Motoren die Zündung einen heißesten bis zum Glühstift, zur Entwicklung kann.

weisen, also beim Weg- Fremdzündung, ge- durch Voreinspritzung zu eigenschaft eine besondere man, wie erwähnt, durch Zündung den Zündver-

menfront dadurch zum man die Reaktion an gehen läßt, also Ober- analytisch geförderte Ver- gt. Diese Möglichkeit ist

motorischen Verbrennung Vierteljahrhundert alten rust und der ungläub- diesem Gebiet immer nichte ich von Wasser- Aktivierungsenergie, n. Hier sind zwar in Neumann, anschlei- ito unserer Erkenntnis lensgemäßen Nutzbar- aber noch nicht vor-

rennungsraum-

en. auf den Ablauf der mo- enige von Form und nes.

teils mit der absoluten Je größer ein Ver- mer seine spezifische che Oberfläche be- dadurch bessere Wirt- ere, schmieringstech- de Temperatur und einer Flammenfront an trotz der dadurch hkeit für alle schmel- unterteilung des Zy- braumeinheiten ma- otoren bekannt, bei gigkeiten. Wie schwer gräumen die Strö- rungen zu beherr- i kleinen Zweikakt- en Umkehrspülung, ei schnell drehenden rgröße von 400 cm

Entsprechend ist man von der theoretisch erwünschten, weil wärmeersparnen Form mit der kleinsten spezifischen Oberfläche, also vom halbkugelförmigen Verbrennungsraum, in der Regel abgekommen. Zerkülfelte Verbrennungsräume bedeuten zwar unter allen Umständen größeren Kraftstoffverbrauch für die Pferdekraftstunde. Sie geben aber sowohl bei Otto-Verbrennung wie bei Diesel-Verbrennung die weit aus bequemste, billigste und sicherste Möglichkeit, Flammenfront und Gasbewegung zu vorgeschriebenem Verhalten zu zwingen. Ich brauche nur an die benzinfesten Zylinderköpfe von Ricardo, Whatmough und Janeway, an die ebenfalls zur Regelung des Verbrennungsablaufes getroffenen vielfältigen Zerkülfungen neuzeitlicher Dieselmotor-Zylinderköpfe und -kolben zu erinnern, um diese Angabe zu belegen. Ganz ebenso wie man einen Flußlauf durch Dämme, Ausbaggern und Wehre reguliert, ganz ebenso regelt man den Lauf der motorischen Verbrennung durch sinnvolle Gestaltung ihres Reaktionsraumes.

Diese zum Zwecke der Beherrschung des Verbrennungsablaufes ausprobierte Zerkülfung geht so weit, daß man heute geradezu von Stufenverbrennung — und nicht nur bei Vorkammerbetrieb — sprechen kann. Durch Verlegung des Verbrennungsablaufes in einzelnen Stufen gelingt es, jede einzelne dieser Stufen und damit die Gesamtheit der Verbrennung besser zu beherrschen.

Der Einfluß der Raumgestaltung läßt sich bis in Feinheiten der Oberflächenausbildung verfolgen. Geeignete scharfe Kanten im Zuge des Flammenweges bewirken etwa die Bildung von Wirbelwalzen, welche erwünscht sein kann. Rauhe Oberflächen erleichtern nicht nur das ungünstige Absetzen von unerwünschter Ölkohle, sondern vergrößern selbst bei sauberem Zustand den Wärmeverlust. Entsprechend hat es sich umgekehrt als vorteilhaft erwiesen, nicht nur die Kolbenoberfläche spiegelnd hochglänzend zu machen, sondern auch den Verbrennungsraum selbst zu bearbeiten und zu glätten.

Die Leichtmetallkolben brachten seinerzeit nicht nur dadurch Fortschritt, daß sie solche Glättung erleichtern, sondern auch durch ihre Materialeigenart. Leichtmetall spiegelt besser, nimmt also weniger Wärme auf als Eisen, und leitet außerdem die aufgenommene Wärme besser weg. Man hat diese Erfahrungen des Kolbenbaues neuerdings auch mehr und mehr für die übrigen Verbrennungsraumwände benutzt, also die Zylinderköpfe aus Bronze, besonders aber auch aus Leichtmetallen mit bestem Erfolg hergestellt.

Versuche, die Verbrennungsraumwände durch Überziehen mit Zinn oder Chrom chemisch neutral oder umgekehrt durch Überziehen mit katalytisch wirksamen Schichten für die Verbrennung chemisch wirksam zu gestalten, haben allerdings bis heute ebensowenig zu praktischen Ergebnissen geführt, wie die immer wiederholten Versuche, die Reaktionsraumwände durch Aufbringen wärmeisolierender Schichten — neuerdings etwa elektrolytisch aufgetragener Tonerschichten — energiedicht zu machen.

Umgekehrt muß man in den Glühköpfen der Glühkopfmotoren, den teilweise recht hohe Temperaturen annehmenden sogenannten „Brennern“ der Vorkammerdieselmotoren, den für Steinkohlenteerbetrieb solcher Motoren bestimmten Wärmespeichern nach Broche, Nägel und Zinnor, den Glühchalen nach Oberhänsli oder Bagnulo schon die ersten praktisch erfolgreichen Versuche erblicken, mindestens wärmestauende, vielleicht auch schon katalytisch wirksame Großoberflächen zur Steuerung der motorischen Verbrennung zu benutzen. Möglicherweise sind hier wieder die Anfänge einer weiteren Entwicklung in Richtung einer motorischen Oberflächenverbrennung im Sinne von Schnabel und Bone unter Verschwinden einer freien Flammenfront zu erkennen.

#### IV. Zeitgesetz der Volumenänderung.

Eine besonders interessante Eigenart der üblichen motorischen Verbrennung besteht endlich noch darin, daß sie in einem Raum stattfindet, welcher sich durch Kolben und Kurbeltrieb nach einem eigentümlichen Kosinusetz zeitlich verändert und jeder plötzlichen Abweichung von diesem Gesetze widerstrebt. Man hat heute alle die verschiedenen erörterten Mittel zur Beeinflussung des Ablaufes der motorischen Verbrennung in erster Linie auf solche Verbrennungsräume mit Kurbeltriebkolben eingestellt.

Man kann es aber auch anders anfangen und versuchen, statt des zufälligen Gesetzes des Kurbeltriebes andere Gesetze für die zeitliche Veränderung des Verbrennungsraumes und damit des Druckes anzuwenden. Vereinzelt Versuche dieser Art, welche mit anderen Triebwerken, so auch mit Kurven- oder Taumelscheiben (z. B. Michel-Motor) verwirklicht wurden, haben ganz günstige, aber nicht eigentlich aufregende Ergebnisse gezeitigt. Der Kurbeltrieb ist nun einmal sehr bequem und zuverlässig, so daß man ihn ungern durch weniger erprobte Triebwerke ersetzt.

Auch der entgegengesetzte Weg, den Kurbeltrieb dadurch seiner Zwangsläufigkeit für das Reaktionsvolumenspiel zu berauben, daß man den Verbrennungsraum durch einen zweiten, etwa durch Federkraft oder Luftdruck belasteten Kolben abschloß, so daß die Verbrennung sich nach Bedarf selbst Raum schaffen und dadurch freier verlaufen konnte, ist versucht worden, ohne zu besonders günstigen Ergebnissen zu führen.

Daß aber die Befreiung der motorischen Verbrennung vom Zwang des Kurbeltriebes sich lohnen kann, das hat ja schon seinerzeit der Ottosche Flugkolbenmotor mit seiner für damalige Begriffe ganz erstaunlichen Wirtschaftlichkeit bewiesen. Der geringe Gasverbrauch dieser Maschine ist wohl zuverlässig in erster Linie darauf zurückzuführen, daß die motorische Verbrennung vollständig frei von jedem anderen Zwang, als der Schwerkraft von Kolben und Triebstange, erfolgen konnte.

Man hat eine ganze Anzahl anderer Wege zum gleichen Zweck beschritten. Erinnert sei an den Bucherer-Motor, bei welchem Zylinder und Kurbelwelle gegenläufig umliefen, wodurch eine verhält-

nismäßige Befreiung des Ablaufes der motorischen Verbrennung möglich war. Erinnert sei an die Versuche, einen elastischen Wasserring nach Art der Elmpumpe als Arbeitskolben für die Verbrennungsmaschine einzuspannen oder den größeren Verbrennungsraum der Verbrennungskraft-Gaspumpe mit Wasser zu füllen. Erinnert sei auch an die neuen Pläne von Professor Föttinger, den Kohlenstaubmotor als Gasturbine mittels eines Wasserstrudels zu verwirklichen.

Die äußerlich überraschendsten mechanischen Lösungen der hier vorliegenden Aufgabe stellen der bekannte Delmag-Frosch zur Bodenverdichtung im Bauwesen und besonders die Diesellamme für Pfähle und Spundwände nach Professor Seidl dar. Bei der Diesellamme stützt sich bei jedem Arbeitshub über den frei dastehenden Arbeitskolben der als Rammhämmer ausgebildete Arbeitszylinder, der durch zwei Gleitstangen geführt wird. Am Kolben befinden sich Ölbehälter und Einspritzpumpe. Der niedersauende Rammhämmerzylinder betätigt die Einspritzpumpe. Die motorische Verbrennung wirkt den Zylinder-Rammhämmer — der  $\frac{1}{2}$  bis 3 t wiegt — je nach der eingespritzten Kraftstoffmenge in Sekundenfolge bis über 1 m frei in die Höhe, so daß man auf dem entblöhten Kolben die Reste der motorischen Verbrennung sieht. Die motorische Verbrennung verläuft ohne zwangsläufiges Triebwerkgesetz zwischen Rammhämmer und Pfahlwiderstand. Das Ganze bildet, wenn man will, eine Art neuzeitliche Wiederkehr des Ottoschen Flugkolbenmotors.

Praktisch besonders überzeugend durchgebildet wurde der gleiche Gedanke der freien motorischen Verbrennung aber schon früher beim Junkers-Flugkolbendieselmotor (Abb. 10).

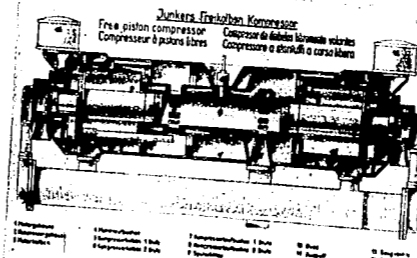


Abb. 10. Junkers-Freiflugkolbenkompressor (Schaltz).

Hier wird die motorische Verbrennung zwischen zwei in einer Zylinderröhre frei beweglichen Kolben erzeugt. Sie stützt sich beiderseits auf Luftpolstern ab. Diese erstaunliche Maschine dient als Luftkompressor und zeigt neben überraschend niedrigem Kraftstoffverbrauch einen so ruhigen Gang, daß sie ein Fundament nicht nötig hat.

Was auf diese Weise erreicht werden kann, erhellt daraus, daß eine ausgeführte Maschine dieser Art

mit stündlich 9 kg Gasöl 120 cbm Luft auf 205 atü verdichtet.

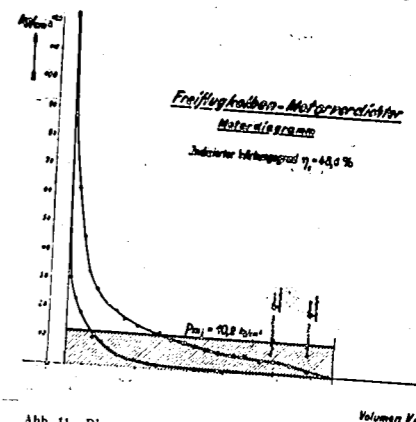


Abb. 11. Diagramm des Junkers-Freiflugkolbenverdichters.

So überzeugend es ist, daß eine Doppel-Freiflugkolbenmaschine vollkommen ausgeglichene Kräfte hat und infolgedessen kein Fundament benötigt, so schwer linderröhre auseinander explodierten Kolben nicht aus dem Takt kommen sollten. Tatsächlich sind beide Kolben auch durch ein leichtes Zahnstangenwerk miteinander verbunden, welches etwa durch verschieden starke Kolbenringreibung oder anders auftretende Ungleichmäßigkeiten aufnimmt und zugleich die Einspritzpumpe antreibt. Es hat sich aber praktisch gezeigt, daß die vorkommenden Kräfte so klein sind, daß man diese Verbindung zwischen den beiden Freiflugkolben kaum noch als Triebwerk ansehen kann.

Es ist erstaunlich, wie sich bei der Verwirklichung des Freiflugkolbens alles ändert. Rückblickend wird dadurch manches beim Otto-Freiflugkolbenmotor, bei dem Delmag-Frosch und der Seidl-Ramme klar.

Die Verdichtungshöhe eines solchen Motors ist bestimmt durch Masse der Kolben und elastische Eigenschaften der in den Kompressorfortritzen enthaltenen Luft. Ein Grund, hohe Verdichtungen zu scheuen, liegt hier nicht vor. Es ist ja kein Triebwerk vorhanden, dessen Lager beschädigt werden könnte, und für die Dieselverbrennung ist sehr hohe Verdichtung der Luft ja nur vorteilhaft. Praktisch geht man ohne weiteres bis zu Verdichtungsdrücken von 60 atü, wobei Zünddrücke von nicht weniger als 100 bis 120 atü auftreten.

Durch diese sehr hohen Drucke arbeitet die Maschine natürlich wärmewirtschaftlich günstig. Das mit Hilfe des DVL-Indikators hergestellte Diagramm (Abb. 11) läßt nicht weniger als 48,6% indizierten Wirkungsgrad und nicht weniger als 10,2 atü indizierten mittleren Druck erkennen.

Es leuchtet ein, daß durch das Fehlen des Triebwerkes die Kolbengeschwindigkeiten sich keineswegs dem Kosinusetz eines nicht vorhandenen Kurbeltriebes unterwerfen, sondern weitgehend der Eigen-

luft auf 205 atü

Verdichter

44%

Volumen V<sub>1</sub>

Verdichters.

Doppel-Freie Kräfte hat ... so schwer ... in der Zy- ... sind beide ... sind beide ... verschie- ... tretende Un- ... h die Ein- ... traktisch ge- ... kleinst sind, ... beiden Frei- ... sehen kann. ... r Verwirk- ... ickblickend ... benmotor, ... nime klar. ... Motors ist ... elastische ... unen ent- ... ungen zu ... Triebwerk ... n könnte, ... Verdich- ... geht man ... n 60 atü, ... 100 bis

die Ma- ... Das mit ... mn (Ab- ... liziert in ... ü indi-

s Trieb- ... neswegs ... Kurbel- ... Eigen-

gesetzlichkeit der motorischen Verbrennung sich anpassen.

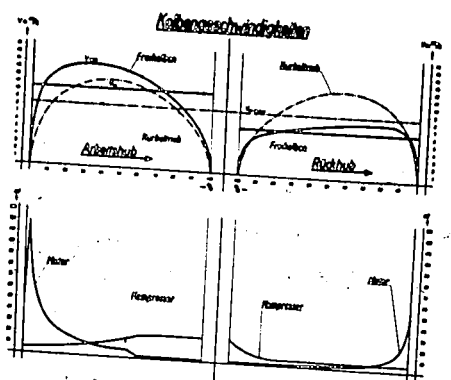


Abb. 12. Vorgänge im Junkers-Freiflugkolbenmotor.

Auf der oberen Zeile von Abb. 12 sind die Kolbengeschwindigkeiten eines Kurbeltriebes punktiert eingetragen und die gemessenen Kolbengeschwindigkeiten des Freikolbens ausgezogen. Unten sind die zugehörigen Drücke des Verbrennungsraumes und einer Kompressorseite abzulesen. Man erkennt, wie bei der Zündung die Kolben eine geradezu ungeheure Beschleunigung erfahren. Diese steigt bis zu 4000 m/Sek<sup>2</sup>, also bis zum Mehrhundertfachen der Erdbeschleunigung — bis zum Mehrhundertfachen der denkbar größten Beschleunigung oder Bremsverzögerung eines Kraftfahrzeuges.

Umgekehrt sinkt die Kolbengeschwindigkeit tief unter das Ausmaß eines kurbelbetätigten Kolbens beim Rückhub. Das heißt in anderen Worten, daß für den zeitraubenden Ausschub- und Spülvorgang mehr Zeit, und zwar 50% mehr Zeit, zur Verfügung steht, als für die Kraftumwandlung nötig und vorteilhaft ist.

Besonders deutlich sind diese Verhältnisse in der auf Grund von Messungen hergestellten Abb. 13 zu erkennen.

### Druck-Hub-Kurven des Freikolben-Kompressors

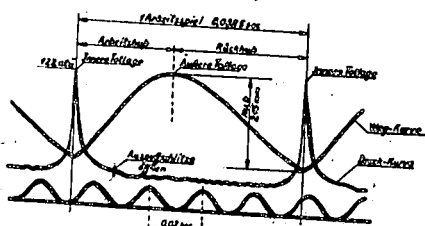


Abb. 12. Druck-Hub-Kurven des Freikolbenkompressors.

In Abb. 13 erscheinen übereinander gezeichnet unten die Zeitmaßkurve mit 1/100-Sekunde Maßlänge,

darüber die Druckkurve mit den gewaltigen Drucksteigerungen der inneren Totlage, und darüber gezeichnet die ungemein interessante Zeitwegkurve der Kolben. Diese setzt im inneren Totpunkt mit einem Knick stark ansteigend ein, um in vier Zehnteln der Spielzeit den äußeren Totpunkt zu erreichen und langsam in sechs Zehnteln der Spielzeit zum inneren Totpunkt unten zurückzukehren.

Die Regelung dieser eigenartigen Maschine erfolgt sehr einfach dadurch, daß der Kolbenhub sich mit zunehmender Last vergrößert, mit abnehmender Last verkleinert, weil in Abhängigkeit vom Preßluftdruck mehr oder weniger Gasöl eingespritzt wird.

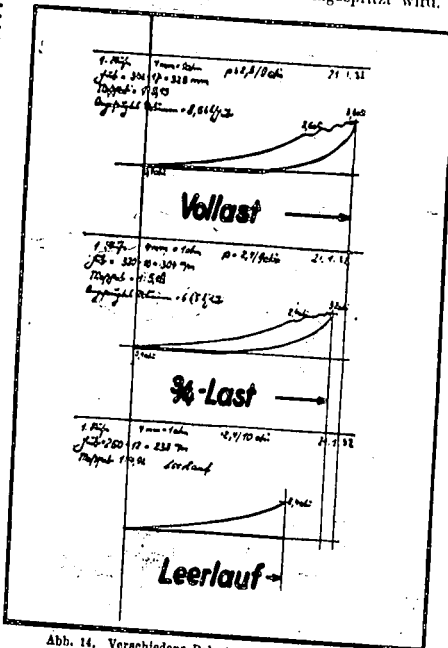


Abb. 14. Verschiedene Belastungsstufen und Leerlauf des Freiflugkolbenkompressors.

Abb. 14 zeigt diese Verhältnisse auf der Preßluftseite des Kolbens. Man sieht, wie das Leerlaufdiagramm unten ganz kurz ist, weil die Kolben im Leerlauf nur wenig auseinandergehen, und bei Vollast ganz lang, weil der volle mögliche Kolbenhub ausgenutzt wird. An jeder Maschine befindet sich ein mechanischer Hubzeiger, an dem man den jeweils stattfindenden Kolbenhub und daraus die Belastung ablesen kann.

Erstaunlich ist, daß bei Belastungswechsel die Verdichtungshöhe im Verbrennungsraum praktisch gleich bleibt, obwohl doch die zurückpuffernden Luftkissen bei Leerlauf groß, bei Vollast klein sind und immer gleichen Druck haben. Tatsächlich läßt sich das auch nur durch Benutzung des Umstandes erreichen, daß bei einem Verhältnis von 3,3 zwischen Förder- und Saugdruck die von der Federkraft der

Luft im Totraum gelieferte Arbeit sich als unabhängig von der Kolbenspielweite erweist.

Die praktisch benutzte Hubzahl beträgt 650 bis 850 Doppelhube pro Minute. Der Gasölverbrauch beträgt weniger als 200 g/PS pro Stunde.

Für die Otto-Verbrennung ist der Doppel-Freiflugkolbenverdichter leider noch nicht verwirklicht.

Insgesamt scheint diese Maschine besonders gut zu beweisen, daß die Befreiung der motorischen Verbrennung von jeder mechanischen Zwangsläufigkeit Vorteile baulicher und wärmewirtschaftlicher Art bringt. Leider ist die wissenschaftliche Untersuchung dieser und ähnlicher Maschinen noch nicht so weit gediehen oder soweit bekanntgegeben worden, daß der durch die praktischen Ergebnisse bewiesene technische und wirtschaftliche Fortschritt in seinen Auswirkungen schon ganz übersehen werden kann.

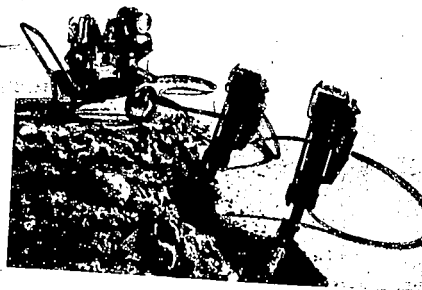


Abb. 15. Beton-Aufreißhämmer (Preßluft + Benzin).

Praktisch reizt der beschriebene Freiflugkolbenverdichter dazu, auch Kraftfahrzeuge mit einer solchen Maschine als Kraftquelle zu bauen, wobei die Kraftübertragung entweder mit schlechtem Wirkungsgrad durch Preßluft, z. B. als Allradantrieb, ausgebildet werden könnte, oder aber auch die Preßluft zugleich mit Kraftstoffespritzung zum Betrieb des eigentlichen Antriebsmotors verwendet werden könnte, ein Arbeitsverfahren der motorischen Verbrennung, welches gleichzeitig nach Triebnigg riesige Anlauf- und Überladungsdiagramme ermöglichen würde.

Ein derartiges motorisches Arbeitsverfahren — allerdings noch nicht für den Autobetrieb — gibt es

bereits in den Knorrchen Preßluft-Hämmern, welche z. B. im Baugewerbe zum Aufreißen von Beton benutzt werden.

Abb. 15 zeigt einen kleinen fahrbaren Motor-kompressor von nur 3 1/2 PS. Dieser liefert Preßluft von nur 1,5 bis 2,0 atü. An jedem der Hämmer selbst befindet sich ein Benzinbehälter. Preßluft und Benzin liefern gemeinsam die verblüffende Arbeitsleistung dieser Werkzeuge. Dies geschieht dadurch, daß die niedrig gespannte Preßluft den Arbeitskolben anhebt, den Verbrennungsraum mit Benzin-Luft-Gemisch erfüllt und dieses verdichtet. Die verbrennende Ladung bewirkt mit 20 atü entgegen der Masse des Gerätes und der Gegenhalterkraft des Arbeiters in triebwerkfreier Entfaltung den Vorschlag des Meißels, Rückprall und Preßluft bewirken gemeinsam das neue Arbeitsspiel.

Vom allgemeinen Standpunkt aus ist es bemerkenswert zu sehen, wie die alte Lebensregel „divide et impera!“ auch für die Beherrschung der motorischen Verbrennung gilt. Ob man an die Einzelheiten der Stoffführung oder an die Unterteilung der Verbrennung durch Zerklüftung (von den Luftspeicher- und Vorkammervorfahren bis zur Stufen- und Oberflächenverbrennung) denkt, ob an die chemischen Zusätze, welche nur bestimmte Teile des Verbrennungsvorganges beeinflussen oder an die Zweckmäßigkeit geringer absoluter Größe der Verbrennungsräume für hochtourige Motoren, ob endlich an die offensichtlich überraschende Fortschritte bringende Unterteilung der ganzen Energieumwandlung, wie in den letzten Beispielen — stets findet sich das alte Gesetz bestätigt.

Die Kunst des Technikers liegt eben hier wie stets darin, den eigengesetzlich und unberechenbar erscheinenden Naturvorgang in seinen Einzelheiten zu untersuchen, dadurch die Einzelheiten beherrschbar zu machen und aus den beherrschten Einzelvorgängen ein harmonisches Ganzes zur Steigerung der menschlichen Wohlfahrt zusammenzusetzen.

So hoffe ich, hiermit einen Überblick über die überraschend große Mannigfaltigkeit der Mittel gegeben zu haben, mit denen man die scheinbar so eigenwillige motorische Verbrennung nach seinem Willen lenken oder umgekehrt ihre Eigenwilligkeit vorteilhaft benutzen kann.

Karl Wilhelm Ostwald:

## Fahrbahnprüfschreiber nach Angaben des Generalinspektors für das deutsche Straßenwesen

Über grundsätzliche Fragen der Ebenheitsmessungen auf Straßen und über die „Teleskop-Meßeinrichtung“ wurde bereits an dieser Stelle (Heft 8/39 und Heft 17/18/40) berichtet. Gemäß einem von Herrn Reichsminister Dr. Todt erteilten Auftrag wurde inzwischen ein neuartiges Gerät entwickelt, das nicht nur die Ebenheit von Straßen nach zwei Methoden gleichzeitig zu messen ermöglicht, sondern auch die übrigen vom fahrenden Kraftwagen aus meßbaren, für den Straßenbauer wesentlichen Daten aufzeichnet. Dieser sogenannte Fahrbahnprüfschreiber Abbildung 1 besitzt als wesentliches Merkmal die Einrichtung, daß der Registrierstreifen in seinem Vorschub kraftschlüssig mit den Fahrzeugrädern gekoppelt ist und auf ihm das Aufzeichnen der betreffenden Daten während der Fahrt vollautomatisch erfolgt. Im Gegensatz zu sonstigen Entwicklungen wurde beim Entwurf dieses Meßgerätes der Frage der Auswertung entscheidendes Gewicht beigelegt und daher nicht an den Schluß, sondern an den Anfang aller Überlegungen gestellt. Um die Auswertung beim Fahrbahnprüfschreiber so einfach wie möglich zu machen, wurde der Vorschub des Registrierpapiers nach Kopplung mit den Fahrzeugrädern (Antrieb über eine biegsame Welle) so übersetzt, daß er den gebräuchlichsten Kartenmaßstäben von 1 : 100000, 1 : 25000 und 1 : 10000 entspricht. Auf diese Weise kann nicht nur die Frage: „Bei welchem Kilometer befindet sich die betreffende Unebenheit?“ jederzeit beantwortet werden, sondern die Meßstreifen können den betreffenden Kartengrößen desselben Maßstabes über- oder unterlegt werden, beziehungsweise mit den betreffenden bautechnischen Daten und einer durchgehenden Kilometerleiste zum „kompletten“ Meßprotokoll beziehungsweise Streckentestat zusammengepaust werden.

In Erwägung wurde zunächst die Verwendung von normalem Registrierpapier gezogen, auf dem mit über den Schreibspitzen angeordneten Tintentrichtern mit Federn geschrieben werden kann. Da bei stark unebener Fahrbahn ein Verspritzen der Tinte sicher ist sowie bei Fahrtunterbrechungen ein Eintrocknen der Tinte erfolgt, wurde von dieser Methode abgesehen. Selbstschreibendes Papier (Wachspapier)

schien daher für diesen Zweck bestverwendbar zu sein. Da es jedoch pausfähiges, selbstschreibendes Papier bisher auf dem Markt nicht gab, wurde ein solches entwickelt. Die Pausfähigkeit gestattet — was bisher noch nicht möglich war —, daß in kürzester Zeit nach der Meßbefahrung beliebige Anzahlen von Meßprotokollen hergestellt werden können.

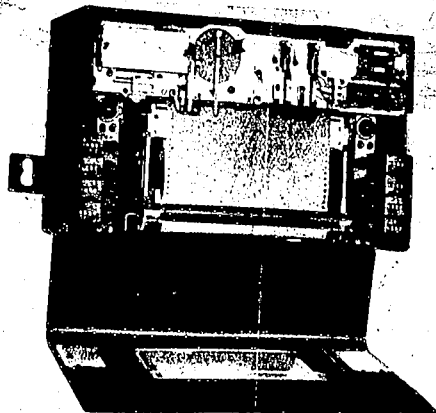
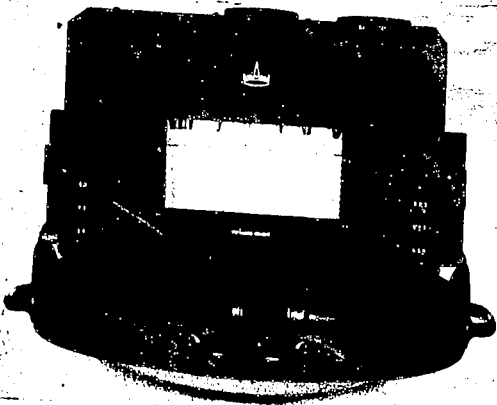
Nachdem somit die Frage der Auswertung gelöst war, wurde nunmehr versucht, die verschiedenen Anzeigeräte für die Ebenheit, die Fahrgeschwindigkeit, die Höhenlage, für die Steigungs- und Gefällswinkel, für die Querneigungswinkel und für die Krümmungshalbmesser der Kurven baulich so anzuordnen, daß sie auf engstem Raum untergebracht werden konnten — möglichst im Format eines Radio-Koffergerätes. Dieser baulichen Forderung traten ganz erhebliche Schwierigkeiten entgegen. Es sei deshalb des Humors wegen nicht verschwiegen, daß Fachleute behaupteten, „ein solches Gerät mit Zubehör- aggregaten benötige raum- und gewichtsmäßig einen 6,5 Tonne Lastkraftwagen“! In Zusammenarbeit mit den Askania-Werken Berlin<sup>1)</sup> gelang es jedoch schließlich, die Abmessungen der Anzeigeräte mit der Raumaufteilung so abzustimmen, daß die jetzigen Geräteabmessungen 38×22×18 cm betragen. Auch diese Abmessungen werden nach den inzwischen vorliegenden Betriebserfahrungen in Zukunft noch verringert werden können. Das Ergebnis des jetzigen Entwicklungsstandes zeigt die Ansicht des geöffneten Fahrbahnprüfschreibers (Abb. 2). Die Anordnung der Meßgruppen werden dabei gemäß der Schreibspitzenfolge von links nach rechts nachstehend erläutert:

### 1. Wegmarkenschreiber

Die erste Schreibspitze ist für die Wegmarkierung vorgesehen. Bei eingeschalteter Untersetzung von 1 : 100000 für den Papieranschub entspricht eine Zacke des Wegmarkenschreibers gleich einem Kilometer.

<sup>1)</sup> Bei der Entwicklung des „Fahrbahnprüfschreibers“ hat sich Herr Dipl. Ing. H. Behrmann von den Askania-Werken besondere Verdienste erworben.

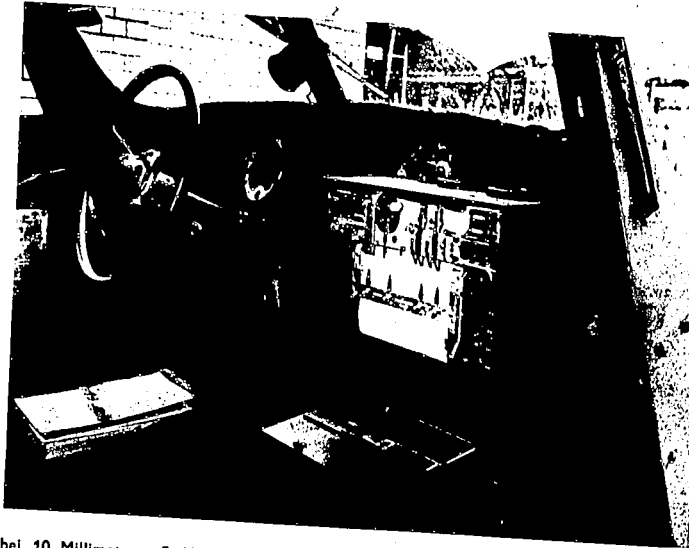
Abb. 1 und 2. Der Fahrbahnprüfschreiber. Links: Gesamtansicht des Fahrbahnprüfschreibers. Der Fahrbahnprüfschreiber ist (auf dieser Abbildung) auf eine „Schwing-Kalotte“ montiert, um die Wirkungsweise an Hand einer Tischvorführung praktisch demonstrieren zu können. Der fehlende Antrieb durch die biegsame Welle von den Rädern des Kraftwagens ist dabei durch den in der Mitte der Abbildung sichtbaren Elektromotor ersetzt, dessen Geschwindigkeit mittels Vorschaltwiderstand regelbar ist. Rechts: Fahrbahnprüfschwindigkeitsschreiber (Kienzle-Fliehkraftsatz), 1 mm Stiftweg = 10 km/h. — 3. Federweg — mittels Teleskop — der linken Radspur, 1 mm Stiftweg = 10 mm Federweg. — 4. Federweg — mittels Teleskop — der rechten Radspur, 1 mm Stiftweg = 10 mm Federweg. — 5. Höhen-schreiber (gefesselter Kreisler) für alle Unebenheiten. Schreibspitzenamplitude abhängig von  $d_1/d_2$  um die Höhenunterschied. — 6. Nickschwingungs-schreiber des G. I. — 7. Steigungs- und Gefälltschreiber (Kreislerhorizont), 1 mm Stiftweg = 1 Winkelgrad Steigung oder Gefälle. — 8. Kurvenschreiber (gefesselter Kreisler). Amplitude abhängig  $d_1/d_2$  um die Hochachse.  $d_1/d_2 \rightarrow V, R$ . Bei 70 km/h 1 mm Stiftweg = 3000 m Radius, 3 mm = 1000 m Radius. — 9. Querneigungsschreiber (Kreislerhorizont), 1 mm Stiftweg = 1 Winkelgrad Links- oder Rechtsüberhöhung.



Verfasser des Aufsatzes: Dipl. Ing. Karl Wilhelm Ostwald, beim Generalinspektor für das deutsche Straßenwesen, Berlin



Abb. 3. Fahrbahnprüfchreiber in den Meßwagen eingebaut; betriebsfertiger Zustand



meter Weg und einem Zentimeter Papiervorschub. Der Untersetzung 1 : 25000 entspricht 4 cm Papierweg und 1 : 10000 = 10 cm Papierweg. Der Zackenabstand von einem Kilometer bleibt also jeweils für die Auswertung bei allen Papiervorschüben gleich. Zur Erleichterung der Auswertung ist je 10 Kilometer die Amplitude des Zackenaufschriebs verdoppelt.

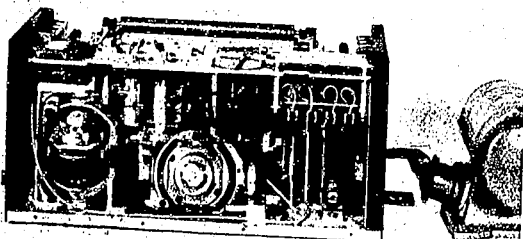
### 2. Geschwindigkeitsschreiber

Zur Aufzeichnung sowie zur Überwachung der Fahrgeschwindigkeit, die zweckmäßig konstant gehalten werden soll (70 Kilometer pro Stunde), ist als zweite Meßgruppe ein Geschwindigkeitsschreiber eingebaut, der aus einem normalen Kienzle-Flehkraft-Satz besteht, wie er in den bekannten Kienzle-Tachographen Anwendung findet. Die Stiftwegübersetzung ist so abgestimmt, daß jeder Millimeter Stiftweg gleich 10 Kilometer in der Stunde entspricht.

### 3. und 4. Federwegschreiber mittels Teleskop

Die dritte und vierte Schreibspitze schreiben den Federweg der linken und rechten Radspur auf. Jedem Millimeter Stiftweg entsprechen dabei 10 Millimeter Federweg. Über die Teleskopmeßmethode wurde bereits eingehend an dieser Stelle in Heft 8/39 berichtet. Im vorstehenden Fahrbahnmeßverfahren wurde aus mehreren Gründen auch die Teleskopmeßmethode gleichzeitig angewandt: einmal muß bei der Ebenheitsmessung mit dem Fahrbahnprüfchreiber die Möglichkeit bestehen, auf die Vorjahresergebnisse mittels Teleskopmessung zurückgreifen zu können, um zuverlässig die Streckenschlechterung und Verbesserung festzustellen; außerdem ist somit erstmalig die Möglichkeit gegeben, beide Meßmethoden — Federausgangsmessung mittels Teleskop und Wagen-Nickschwingungsmessung mittels Kreisels — (die nachstehend noch besprochen wird) auf einem Meßstreifen zu vergleichen. Nachdem bei der bisherigen Teleskop-Methode Zahl und Stärke der Straßenunebenheiten über Teleskopstab und Teleskopkugelhaken in Form von gestuften Stromstößen in den Zählwerken festgehalten wurden, sind beim Fahrbahnprüfchreiber zusätzlich für jeden Federwegschreiber vier Hubmagnete vorhanden, die die in gestufte Stromstöße zerlegte Federbewegung wieder zu einer synchronen Bewegung mit zehnfach verkleinerter Amplitude zusammensetzen.

Abb. 4. Fahrbahnprüfchreiber, geöffnet, Ansicht von oben. Unter anderem sind die beiden Kreiselhoriizonte mit ihrer kardanischen Aufhängung zu sehen. Der nebenstehende Umformer (Aufnahmeleistung = 120 Watt) formt den Gleichstrom der 6-Volt-Wagenbatterie in Drehstrom von 36 Volt und 500 Hertz um, mit dem die vier Kreisels betrieben und auf 28000 U/min gebracht werden.



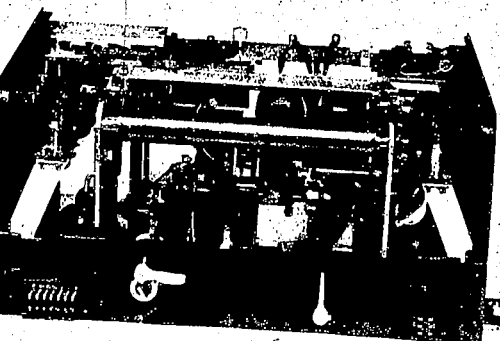
### 5. Höhenschreiber

Die 5. Schreibspitze wird von einem Barographen gesteuert. Er ermöglicht, die jeweilige Höhenlage des Meßwagens beziehungsweise der Strecke über dem Meeresspiegel (N. N.) aufzuschreiben. Die Schreibspitze ist so übersetzt, daß jedem Millimeter Stiftweg 10 Meter Höhenunterschied entspricht. Bei Antritt jeder Meßfahrt muß zum Ausgangsstand der Schreibspitze die jeweilige Höhenlage über (N. N.) kann durch Drehung der Meßdose das Meßbereich beliebig erweitert und so auf eine neue Normallinie gebracht werden.

### 6. Nickschwingungsschreiber (Gefesselter Kreisels)

Als neue Methode zur Ebenheitsmessung wird beim Fahrbahnprüfchreiber erstmalig ein „gefesselter Kreisels“ verwandt. (Ein gefesselter Kreisels ist ein solcher, in dem der eine Freiheitsgrad durch eine Feder von dem Maß der durch die Unebenheiten der Straßenoberfläche hervorgerufenen Nickbewegungen des Wagens; oder wissenschaftlich ausgedrückt: von der Winkelgeschwindigkeit  $d\varphi$ -Wagen/dt um die Querachse.

Abb. 5. Fahrbahnprüfchreiber, geöffnet, Ansicht von unten. Von links nach rechts: Vielfachstecker für die Teleskopkabel und ein Stromzuführungskabel von der Batterie, Anschluß für biegsame Welle vom Adapter, Kupplungshebel für mechanischen Antrieb, Schalttheil für Getriebe: 1:100000, 1:25000, 1:10000. Vielfachstecker für Umformeranschluß.



### 7. Steigungs- und Gefällsschrieb. (Kreisels-Horizont)

Aufzeichnungen der Steilheit der jeweils vorkommenden Steigungen und Gefälle gibt die 7. Schreibspitze. Sie ist wiederum mit einem Kreisels verbunden, der jedoch nicht gefesselt ist. Die Achse dieses Kreisels stellt sich immer nach dem Erdmittelpunkt zeigend ein, so daß Schräglagen des Gehäuses somit als relative Bewegungen erfassbar sind. Ein Millimeter Stiftweg entspricht dabei einem Winkelgrad Steigung oder Gefälle. Da die relative Bewegung der Winkelfunktion verhältig ist, muß eine Umrechnung in Prozente nachträglich erfolgen.

### 8. Kurvenschreiber (Gefesselter Kreisels)

Dieselbe Kreiselsbauart, wie die beim Nickschwingungsschreiber angewandte, findet beim Kurvenschreiber Anwendung. Jedoch ist der wirksame Freiheitsgrad um 90° versetzt angeordnet, so daß die Schreibspitzen-Amplitude abhängig von  $d\varphi$ -Wagen/dt um die Hochachse ist. Diese Anwendung ermöglicht, daß bei der konstanten Meßgeschwindigkeit ein Millimeter Stiftweg 3000 Meter Kurvenhalbmesser entspricht beziehungsweise 3 Millimeter gleich 1000 Meter Kurvenhalbmesser. — Der Kurvenschreiber kann grundsätzlich auch zur Aufzeichnung des Übergangsbogens Verwendung finden bezugnehmend auf. Im Rahmen der dem Fahrbahnprüfchreiber gestellten Aufgaben sind jedoch Kreiselsgröße und Schreibbereich des Kurvenschreibers bisher nicht so ausgebildet, daß Übergangsbögen mit der erforderlichen Genauigkeit aufgezeichnet werden können. (Über weitere Möglichkeiten des Fahrbahnprüfchreibers sowie über rechnerische und wissenschaftliche Fragen soll eine besondere Arbeit Aufschluß geben.)

### 9. Querneigungsschreiber (Kreisels-Horizont)

In der letzten Rubrik erfolgen die Aufzeichnungen der jeweils vorkommenden Querneigungen. Hier findet wieder ein nicht gefesselter Kreisels Anwendung, der im Aufbau dem Steigungs- und Gefällsschreiber

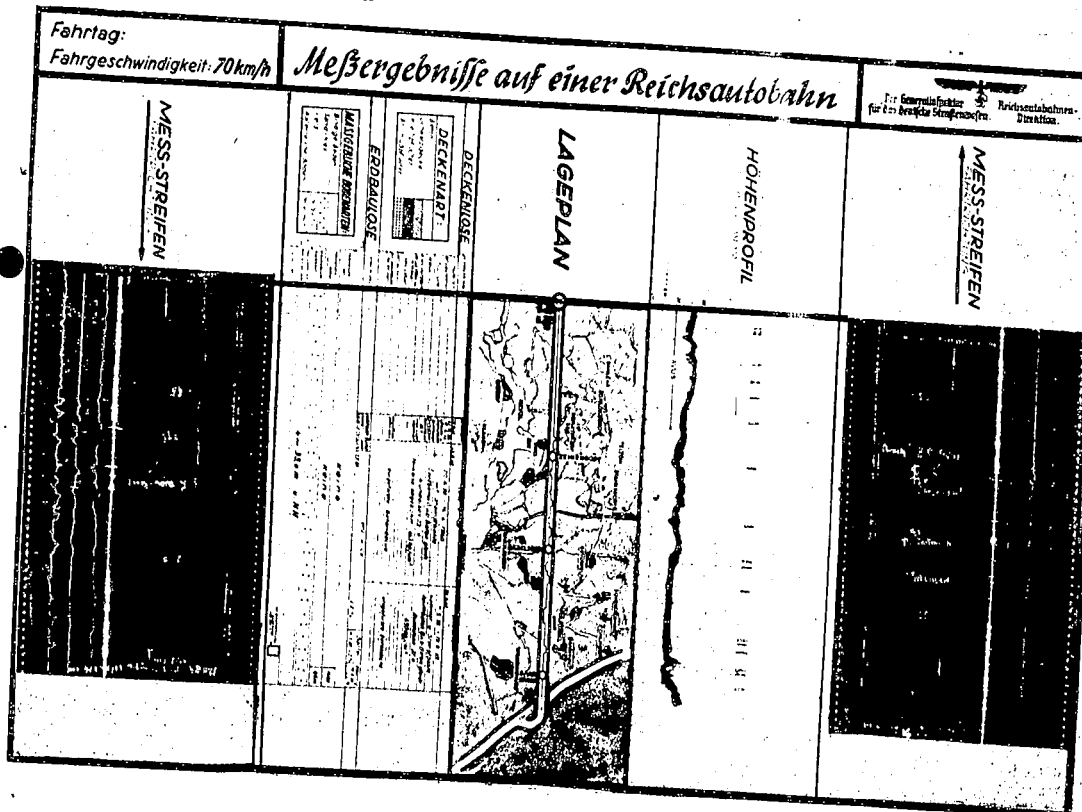
gleich, dessen wirksamer Freiheitsgrad jedoch um 90° versetzt gegenüber jenem angeordnet ist. Ein Millimeter Stiftweg entspricht hier einem Winkelgrad Überhöhung. Ob rechts oder links Überhöhung zum Ausdruck, daß die Aufzeichnung rechts oder links von der betreffenden Null-Linie liegt.

### Anbringung und Anschluß des Meßgerätes

Wie Abbildung Nr. 3 zeigt, ist der Fahrbahnprüfchreiber an der rechten Armaturenbretthälfte des Meßwagens befestigt, so daß alle Aufzeichnungen während der Fahrt von den Insassen überwacht werden können. Um den mechanischen Teil in Betrieb zu setzen, wird von einem Zwischengetriebe (Adapter) des Tachometeranschlusses eine biegsame Welle mit dem Gerät geführt. Die Drehzahl der biegsamen Welle wird mit Hilfe des Adapters so abgestimmt, daß bei einem Meter Wagenweg eine Umdrehung erfolgt. (Wegdrehzahl gleich 1,0). Der mechanische Teil des Fahrbahnprüfchreibers ist durch die Kupplung (Abb. 5) an- und abschaltbar. Der mechanische Antrieb wird dabei vom Geschwindigkeitsschreiber und vom Papiervorschub benötigt.

Die elektrischen Anschlüsse erfolgen über 2 Vielfach-Stecker (Abb. 5). Der linke Vielfach-Stecker enthält die Zuleitungen für beide Teleskope und das Stromzuführungskabel von der Batterie. Der rechte Vielfach-Stecker enthält die Anschlüsse für den Umformer (Abb. 4), der eine Aufnahmeleistung von 120 Watt besitzt. Er formt den Gleichstrom der 6-Volt-Wagenbatterie in Drehstrom von 36 Volt und 500 Hertz um, mit dem die 4 Kreisels betrieben und auf 28000 Umdrehungen in Gleichstrom- und Drehstromteil wunschgemäß an- und abgeschaltet werden. — Der Vorrat an Registrierpapier ist so bemessen, daß er Rollenwechsel ausreicht. Ähnlich wie bei manchen Photoapparaten für eine Strecke von 3000 Kilometern (Meßmaßstab 1 : 100000) ohne wurde dafür gesorgt, daß Meßstreifenstücke mit Aufnahmen von kürzeren Strecken vorzeitig entnommen werden können.

Abb. 6. Meßpause eines Reichsautobahnteilstückes



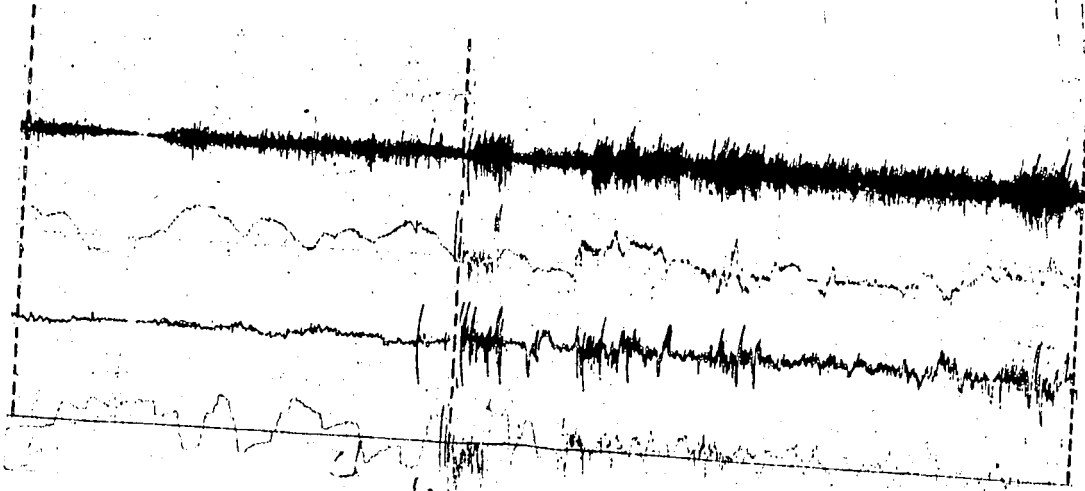


Abb. 7. Meßstreifenausschnitt zum Vergleich von Reichsautobahn und Landstraße, links: Reichsautobahn, rechts: Landstraße

Der innere Aufbau des Gerätes ist aus Abbildung 4 und 5 ersichtlich. Die kardanische Aufhängung der beiden Kreiselhorizonte zeigt Abbildung 4 besonders deutlich.

Als Bewährungsprobe wurden mit dem Fahrbahnprüfeschreiber bisher einige wenige Meßfahrten vorgenommen. Die dabei gewonnenen Betriebserfahrungen bilden die Voraussetzung für den Friedenseinsatz. Die Durchführung der Meßfahrten wurde analog der der Teleskop-Meßeinrichtung (siehe „Straße“ 8/39) vorgenommen. Die Meßstreifen für Hin- und Rückfahrt von dem betreffenden Autobahnstück wurden mit den bautechnischen Daten zusammen in eine Meßpause gepaust, wie Abbildung 6 als Beispiel zeigt. Die bautechnischen Daten sind in den drei Rubriken des Mittelstückes untergebracht, und natürlich in demselben Maßstab, wie der der Meßstreifen (hier 1 : 100000) aufgezeichnet. Die erste Rubrik enthält neben der durchgehenden Kilometerleiste das kartenmäßige Höhenprofil der Strecke nebst Auf- und Abtrag und besonderer Markierung der Brücken. Die Mittelrubrik enthält den Lageplan mit einer Darstellungsweise, nach der die RAB als Gerade aufgefaßt, jedoch das zugehörige „Soll-Kurvenband“ mit eingetragen ist. Ebenso sind alle Anschlußstellen und Betriebsanlagen verzeichnet. In der dritten Rubrik ist unter den Firmen- und Fertigstellungsdaten der Erd- und Deckenbaulose der für die bautechnische Beurteilung der Unebenheiten wichtigste Teil der Baugeschichte mitverzeichnet.

Die fertige Meßpause ermöglicht auf diese Weise dem Bauingenieur, einer besonders ebenen oder unebenen Stelle — zum Beispiel an einer Brücke — „nachzugehen“ und Ursachen und Zusammenhänge an Hand der vorerwähnten Daten festzustellen. Für besonders eingehende Untersuchungen kann zudem bei einer nochmaligen Befahrung des selben Teilstückes mit der Papervorschubuntersetzung für 1 : 25000 oder 1 : 10000 ein Meßstreifen erzeugt werden, der, um das 4- beziehungsweise 10fache „goreckt“, im Bild des Aufschriebs noch mehr Einzelheiten erkennen läßt.

Wie sieht nun ein Stück RAB im Vergleich mit einem Stück Reichsstraße oder Landstraße im Aufschrieb-Bild des Fahrbahnprüfeschreibers aus? Abbildung 7 zeigt sehr anschaulich einen solchen Unterschied; diese Streckenaufnahme stammt von einer mitteldeutschen RAB, bei der eine noch vorhandene Lücke zur Umfahrt auf Reichs- und Landstraßen zwingt. Dieser Meßstreifen-Ausschnitt „spricht“ so für sich, daß sich eine Erläuterung erübrigt.

Die Eichung des Fahrbahnprüfeschreibers wurde auf einem elektrisch betriebenen „dreikomponenten“ Neigungsdrehtisch vorgenommen. Die erreichte Eichgenauigkeit entspricht der Strichstärke des Aufschriebs. In ähnlicher Weise — jedoch nicht für Eich- sondern für Ausstellungszwecke (siehe zum Beispiel Ausstellung „Technik im Bauwesen“, Deutsches Museum, München) — ist der Fahrbahnprüfeschreiber auf eine „Schwing-Kalotte“ (Abb. 1) montiert, um die Wirkungsweise an Hand einer Tischvorführung praktisch demonstrieren zu können. Der fehlende Antrieb durch die biegsame Welle von den Rädern des Kraftwagens ist dabei durch den in der Mitte des Bildes sichtbaren

Elektromotor ersetzt, dessen Geschwindigkeit mittels Vorschaltwiderstand regelbar ist.

Schließlich sei auf eine grundsätzliche Schwierigkeit hingewiesen, die bei allen derartigen Messungen vom fahrenden Kraftwagen aus anfällt: Die Meßstreifen werden länger als „kartenmäßig zulässig“. Das hat folgenden Grund: Wie bei allen bisherigen Darstellungsweisen so sind auch in den Streckenbauplänen, die mit als Grundlage für die Rubriken der bautechnischen Daten dienen, die angegebenen Längen nur die Horizontalprojektionen der Fahrbahn. Der Meßwagen fährt aber nicht die Horizontalprojektionen, sondern auf der tatsächlichen Fahrbahn! Diese ist naturgemäß besonders in bergigem Gelände immer länger als ihre Projektion. Die Längenunterschiede haben jedoch nach den bisherigen Befahrungen 3% nicht überschritten. Immerhin ist es einer Überlegung wert, ob die „Einebnung der Topographie“ eine Darstellungsweise ist, die für diese Art von Aufgaben ausreicht.

Die Anzeige-Empfindlichkeit des Fahrbahnprüfeschreibers wirft noch eine weitere Frage auf. Kann das Kontrollgerät bei der Herstellung der Fahrbahndecke — die 4-m-Latte — und das Kontrollgerät im Meßwagen für die Abnahme der Decke verschiedene Empfindlichkeiten beziehungsweise verschiedene Toleranzen besitzen? Nein, beide Geräte müssen aufeinander abgestimmt sein. Aus diesem Grunde wird zur Zeit eine für die Deckenherstellung bestimmte Meßplatte entwickelt, über die demnächst an dieser Stelle berichtet wird.

Bei der Wechselwirkung von Straße und Fahrbahn sei nicht vergessen auf die Frage „Straßenkonstanten und Fahrzeugkonstanten“ hinzuweisen. Straßenmeßgeräte werden, beispielsweise je in einen Omnibus, einen Lastkraftwagen, einen großen PKW und einen Volkswagen eingebaut, beim Befahren derselben Strecke verschiedene Ergebnisse liefern, die sich jedoch nur durch die Fahrzeugkonstanten verändern. Das Beispiel zeigt, daß hier unter „Fahrzeugkonstante“ der Einfluß von Wagengewicht, Dämpfungsfaktor der Federung, Radstand, Spurweite und anderes mehr verstanden werden soll. Zur Ermittlung der Fahrzeugkonstanten wird deshalb der Fahrbahnprüfeschreiber in verschiedenen Fahrzeugarten erprobt werden. An diesen Ergebnissen hat auch umgekehrt der Fahrzeugkonstrukteur Interesse, um die Neukonstruktion von Kraftwagen auf die vorkommenden „Straßenkonstanten“ abzustimmen.

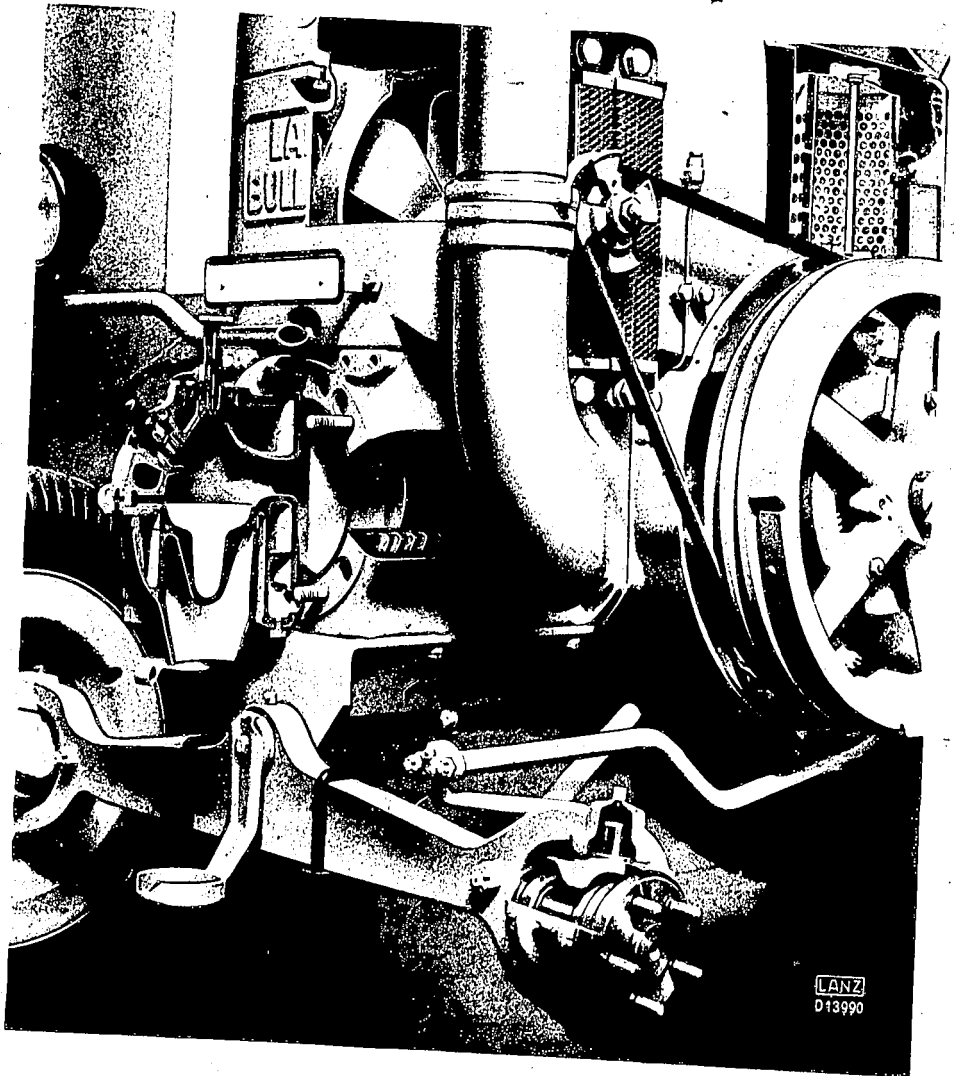
Zusammenfassend ist zu sagen, daß der neue Fahrbahnprüfeschreiber einen ersten Versuch darstellt, die von fahrenden Kraftwagen aus meßbaren für den Straßenbauer wesentlichen Daten selbsttätig aufzuzeichnen. Die Verwendung von aus dem Flugzeugbau stammenden hochtourigen Kreiseln, die für den vorstehenden Zweck erstmalig zu maßstäblichem Schreiben der Fahrbahnkennwerte entwickelt wurden, ist technisches Neuland, das wohl noch manche weitere Entwicklungsmöglichkeit bieten wird. Der Fahrbahnprüfeschreiber wird durch seine Eigenschaft, den Ebenheitszustand längerer Strecken in kurzer Zeit aufnehmen zu können, wertvolle Unterlagen auch für das Straßenaufbau- und Instandsetzungsprogramm nach dem Kriege liefern können.

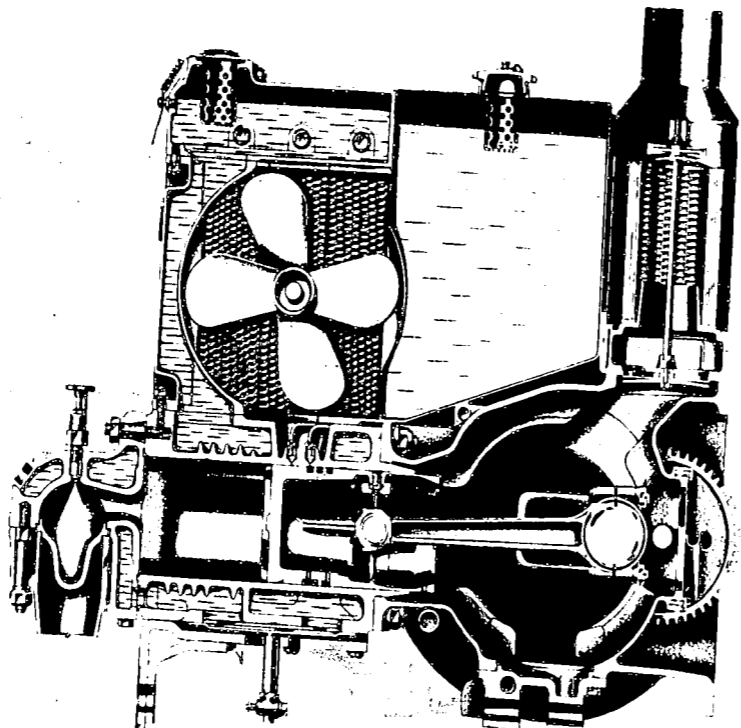
Item 22

SONDERDRUCK AUS DER ZEITSCHRIFT „DIE TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT“,  
BAND 22 (1941) HEFT 12, SEITE 222 bis 225

## Der Bulldog-Motor

Von WA. OSTWALD, VDI, Heppenheim, Bergstraße





LANZ  
013567

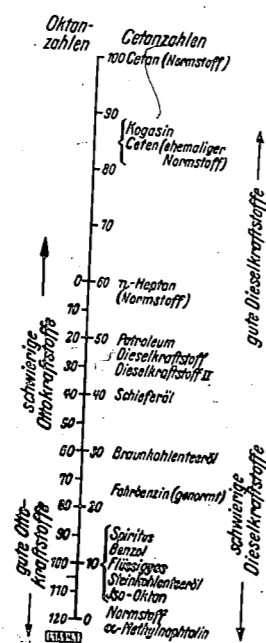
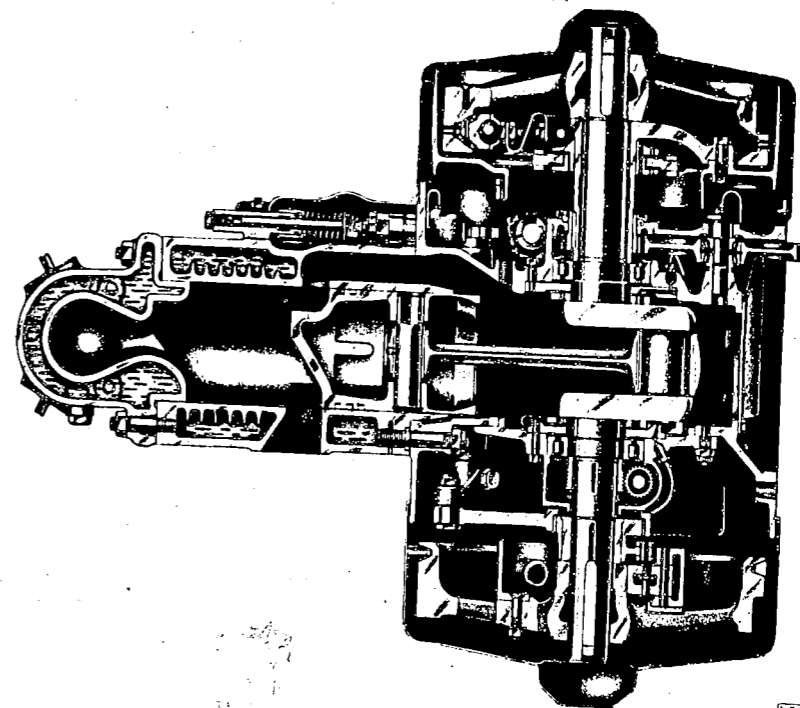


Bild 1. Gegenüberstellung der Oktan- und Cetanzahlen in der sog. „Oktanleiter“. Je höher die Oktanzahl, desto klopfteiler, je höher die Cetanzahl, desto zündwilliger ist der Kraftstoff

Der Bulldogmotor oder, wie er nach seiner bahnbrechenden Beschaffenheit eigentlich heißen müßte, „Huber-Motor“ ist auch heute noch eine ungewöhnliche Kraftmaschine. Man unterscheidet Ottomotoren, für welche Zündkerze und Vergaser, sowie Leichtkraftstoff kennzeichnend zu sein pflegen, und Dieselmotoren, deren Eigenart durch Hochdruckeinspritzung des Kraftstoffs während der selbstzündenden Verbrennung und sehr hohe Verdichtung gegeben ist. Der Bulldogmotor steht als Glühkopfmotor<sup>1)</sup> zwischen diesen beiden Grundbauarten von Verbrennungskraftmaschinen. Er verdichtet mäßig und spritzt unter Niederdruck vor dem Einsetzen der kraftleistenden Verbrennung ein. Zündung erfolgt bei ihm durch einen Glühkopf, der während des Betriebes von selbst glühend bleibt, — zum Anlassen mit einer Lötlampe erhitzt oder durch besonderen Anlaßbetrieb mit Benzin und Zündkerze zum Glühen gebracht wird. Der Bulldogmotor ist so recht geeignet, den Motortheoretiker in Verlegenheit zu setzen. Gleichzeitig ist er so einfach, daß jedes Kind ihn verstehen kann: Ottomotoren und Dieselmotoren sind empfindlich auf Kraftstoffbeschaffenheit. Bei Ottomotoren muß man

<sup>1)</sup> Vor dem Bulldogmotor hat es schon ortsfestes und fahrbares Glühkopfmotoren gegeben. Erst der Bulldogmotor brachte aber den großen Erfolg als Schleppermotor.



LANZ  
D176984

Motor und Kraftstoff auf „Oktanahlen“ hin abstimmen. Bei Dieselmotoren, in denen schlechte Ottokraftstoffe vorzüglich laufen und gute Ottokraftstoffe unbrauchbar sind, erfolgt die Abstimmung nach „Cetanzahlen“, welche die gegensätzliche Eigenschaft der Oktanahlen bemessen, Bild 1. Jeder Ottomotor läßt sich mit Kraftstoffen von höheren Oktanahlen bei entsprechenden Maßnahmen betreiben, — nicht oder mangelhaft jedoch nur mit Kraftstoffen von erheblich niedrigeren Oktanahlen, als der Oktanahl des Motors (bei deutschen Fahrzeugmotoren genormt auf O.Z. 74) entspricht. Ebenso verarbeitet der Dieselmotor bei entsprechender Einstellung befriedigend Kraftstoffe mit höherer Cetanzahl, — macht jedoch Schwierigkeiten bei Kraftstoffen mit erheblich niedrigerer Cetanzahl. Der Bulldogmotor ist weitgehend kraftstoffgleichgültig. Man kann mit verhältnismäßig kleinen Abänderungen den Bulldogmotor dazu bewegen, beliebige Kraftstoffe aus der ganzen bekannten Leiter der Klopfestigkeit-Zündwilligkeit, der Oktanahlen und Cetanzahlen, befriedigend zu verarbeiten<sup>2)</sup>. Während man also die größten Schwierigkeiten hat, einen Dieselmotor mit Gasöl (Dieselmotorkraftstoff) oder einen Ottomotor mit Benzol zu betreiben, läßt sich der Bulldogmotor gleichermaßen vorteilhaft zum Betriebe nicht nur mit diesen beiden Kraftstoffen, sondern auch mit 65er Rohsprit, Steinkohlenteeröl, Masut, Eukalyptusöl, Petroleum, Benzin, Flüssiggas, Sauggas usw.

<sup>2)</sup> Oktanahlen und Cetanzahlen sind nach Professor W. Wilke ineinander umrechenbar nach der Formel: O.Z. = 120 - 2 Ca.Z.

einrichten. Der Bulldogmotor ist in anderen Worten ein einzigartig kraftstoffgleichgültiger Motor<sup>3)</sup>. Diese Kraftstoffgleichgültigkeit erstreckt sich gleichermaßen auf Klopfestigkeit bzw. Zündwilligkeit, wie auch auf Siedelage bzw. Formart (Aggregatzustand) des Kraftstoffes.

Sind diese ungewohnten Eigenschaften des Bulldogmotors für den Fachmann außerordentlich interessant, theoretisch sehr anregend und für die künftige Entwicklung des Verbrennungsmotorenbaus überhaupt sehr wichtig, für den Motorbenutzer natürlich sehr angenehm, — so ist dieser so eigenartige Motor andererseits kindlich einfach in seiner Arbeitsweise und sehr leicht zu verstehen.

Wie die Bilder 2a und 2b zeigen, handelt es sich beim Bulldogmotor um einen einfachen Zweitaktmotor mit Ladung durch das Kurbelgehäuse, — also um denselben Grundgedanken, den all die kleinen Fahrzeug-Zweitaktmotoren von DKW., Fichtel & Sachs usw. haben. Luft wird in das Kurbelgehäuse angesaugt, wenn der Kolben nach außen geht und dadurch den Kurbelgehäuseraum vergrößert. Diese Luft wird im Kurbelgehäuse verdichtet, wenn der Kolben nach innen geht und den Kurbelgehäuseraum verkleinert. Sobald der Kolben weit genug unten ist, legt er einen Zylinderschlitz frei, durch welchen die im Kurbelgehäuse verdichtete Luft in den Arbeitszylinder rasch überströmt. Eine Kolbennase — es wird also nicht die

<sup>3)</sup> Vgl. Wa. Ostwald: Der Glühkopfmotor als Beispiel der Kraftstoffgleichgültigkeit. Kraftstoff Bd. 16 (1940) S. 15/18.

Zahlentafel 1. Klopffestigkeit und Zündwilligkeit einiger Kraftstoffe

Kraftstoff	Wichte	%C	%H	O. Z.	Ca. Z.	Bemerkungen
Spiritus	800	52	31	100	0	Normalstoff
Benzol	875	92	8	100	0	
Methylnaphthalin	1020	93	7	120	0	
Flüssiggas	540	83	17	102	0	
Steinkohlenteeröl	1050	89	7	100	10	
Is-o-Ktan	971	85	15	100	10	Normalstoff genormt
Fahrbenzin	735	85	15	74	23	
Braunkohlenteeröl	920	84	11	60	30	
Diesekraftstoff	890	85	13	50	35	
Schleieröl	875	85	13	40	40	
Diesekraftstoff	900	86	14	34	43	Normalstoff
Diesekraftstoff II	830	85	15	30-20	45-50	
Petroleum	800	85	15	30-20	45-50	
n-Heptan	680	84	16	20	50	
Kogasin	775	85	15	0	60	
Cetan	780	86	14	0	85	Normalstoff
Cetan	775	85	15	0	100	

bekanntes Umkehrsprüfung nach Dr. Schnürle angewendet — lenkt den Luftstrahl in gewünschter Weise. Etwas früher als der Frischluftschlitz im Zylinder wird auch ein Auspuffschlitz durch den Kolben freigelegt, so daß im Arbeitszylinder vorhandene verbrannte Gase in die Auspuffleitung entweichen können und der Zylinder durch die Frischluft rein gespült und mit sauberer Luft erfüllt wird.

Der Schwung des Schwungrades schiebt nun den Kolben wieder nach außen. Dadurch schließen sich die beiden Schlitze in der Zylinderwand. Die im Arbeitszylinder vorhandene frische Luft wird verdichtet. Aber der Ausspülvorgang hat natürlich nur dort stattgefunden, wo die Frischluft hinkommt. Am äußeren Ende des Zylinders befindet sich aber eine Verengung, an der ein Sack herabhängt, der Glühkopf. Dieser Glühkopf ist noch vom vorherigen Arbeitspiel her mit verbrannten Gasen erfüllt. Während des Verdichtungshubes spritzt die Niederdruckkraftstoffpumpe durch die Düse in den Glühkopf eine abgemessene Kraftstoffmenge ein. Die heißen Restgase im Glühkopf und die Wärmestrahlung der glühenden Wänden bewirken eine Aufbereitung und Verdampfung des Kraftstoffes. Nach dem Leidenfrost-Phänomen tanzen dabei die Kraftstofftropfen auf den glühenden

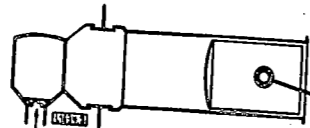


Bild 3. Amerikanischer Verdampfmotor

Wandungen, bis sie gänzlich verdampft sind<sup>1)</sup>. Es entsteht dabei ein Kraftstoffdampf, der etwa den Glühkopf erfüllt.

In dem Maße, als der Kolben die frische Luft verdichtet, wird dieser Kraftstoffdampf an seinem Ausdehnungsbestreben gehindert und in den Glühkopf hineingepreßt. Sobald genügend Frischluft die glühenden Wände des Glühkörpers erreicht, wobei natürlich eine Vermischung von Frischluft und Kraftstoffdampf stattfindet, entzündet sich die Ladung an der glühenden Wand, und es tritt eine lebhaftere Verbrennung mit Temperatur- und Drucksteigerung ein. Diese wirft den Kolben arbeitsleistend zurück, bis die Schlitze erreicht werden, durch welche die verbrannten Gase auf der einen Seite herausgelassen werden, während auf der anderen Seite der Kolbennase der Frischluftstrom aus dem Kurbelgehäuse wieder einbläst.

Der ganze Bulldogmotor ist also nichts anderes, als ein sehr einfacher Luftverdichter, bei dem jeweils auf der Höhe der Verdichtung die Luft verbrannt und dadurch in ihrem Druck bis zur Arbeitsleistung erhöht wird.

In früheren Zeiten gab es einen ähnlich einfachen Verbrennungsmotor, den sogenannten Feuertopfmotor, Bild 3, bei welchem dieser einfache Grundgedanke eines Heißluftmotors mit Luftdurchgang und Innenheizung ebenfalls durchgeführt war. Hier verzichtete man sogar auf das jedesmalige Einspritzen von Kraftstoff in den sogenannten Feuertopf, so daß in diesem dauernd ein Ueberschuß von Kraftstoff aufrechterhalten wurde, aus welchem jede neue Luftladung einen kleinen Teil herausbrannte. Aber dieser einstmals in den Erdölfeldern benutzte Feuertopfmotor war bei aller Einfachheit so mangelhaft in der Leistung und vor allem so verschwenderisch im Kraftstoffverbrauch, daß man seine Verwendung und Fortbildung als aussichtslos schon vor Jahrzehnten aufgegeben hat. Der Bulldogmotor ist nur sehr wenig komplizierter als dieser alte einfache Feuertopfmotor und doch im Gegensatz zu jenen eine neuzeitliche sparsame Kraftmaschine.

<sup>1)</sup> Vgl. Dr. F. Huber: Zwischen Diesel- und Glühkopfmotor. Kraftstoff Bd. 16 (1940) S. 375/377.

Zahlentafel 2. Flüssige Kraftstoffe für den 45-PS-Bulldog

Brennstoffsorte	Ursprungsland	Siedekennziffer	Wichte kg/dm <sup>3</sup>	Flammpunkt °C	Unterer Heizwert kcal/kg	Verdichtungsraum cm <sup>3</sup>	Spez. Bestverbr. gr/PSch	Höchstleistung PS	Ausrüstung
Benzin	Deutschland	97,4	0,740	25	11 000	1300	220	Normal-Ausrüstung mit verkleinertem Verdrichtungsraum	
Zuckerrohr-Sprit	Brasilien	75,0	0,825	12	5 404	1000	350		
Spiritus	Polen	80,0	0,846	12	5 300	1000	400		
Benzol	Deutschland	91,7	0,868	15	9 650	1000	230		
Traktoren-Treibstoff	Deutschland	221,0	0,878	39	10 030	1300	215		
Petroleum		242,3	0,830	72	10 670	1950	240	Normal-Ausrüstung	
Diesel-Treiböl		271,4	0,847	76	10 301	1950	235		
Alt-Schmieröl		401,6	0,847	76	10 250	1950	235		
Ruhröl D mit 30% Gasöl	Deutschland	263,5	0,858	103	9 778	1950	235		
Fuel-Oil-Domestique	Frankreich	306,3	0,858	103	10 157	1950	235		
Braunkohlenteeröl	Deutschland	234,1	0,879	73	10 000	1950	240	Normal-Ausrüstung mit Wasser-Einspritz-Vorrichtung	
Fuel-Oil-Léger	Frankreich	337,2	0,909	107	10 947	1950	240		
Großny-Naphtha	UdSSR		0,875	40	10 400	1950	225		
Großny-Marut	UdSSR		0,888	54	10 400	1950	225		
Baku-Naphtha	UdSSR		0,891	70	10 400	1950	225		
Baku-Marut	UdSSR		0,902	89	10 400	1950	225	Normal-Ausrüstung mit Wasser-Einspritz-Vorrichtung	
Pacura D	Rumänien		0,928	85	10 400	1950	225		
Kogasin	Deutschland	265,0	0,766	79	10 400	1950	245		
Roßtzer Heizöl	Deutschland	279,0	0,912	85	9 500	1500	250		
Riebeckisches Heizöl 2	Deutschland	293,0	0,959	117	9 295	1600	245		
Braunkohlen-Heizöl	Deutschland	255,0	0,995	92	8 400	1300	260	Teeröl-Ausrüstung	
Schleierheizöl	Estland	297,0	1,002	102	9 109	1500	220		
Karbolneum	Deutschland	290,0	1,057	76	9 080	1000	235		
Schweleer	Deutschland	342,0	1,040	57	9 092	1001	250		
Steinkohlenteeröl	Deutschland	295,0	1,065	100	9 028	1000	235		
Ruhröl H Mittelöl	Deutschland	304,7	1,073	117	9 500	1000	225		

ten wurde, aus welchem jede neue Luftladung einen kleinen Teil herausbrannte. Aber dieser einstmals in den Erdölfeldern benutzte Feuertopfmotor war bei aller Einfachheit so mangelhaft in der Leistung und vor allem so verschwenderisch im Kraftstoffverbrauch, daß man seine Verwendung und Fortbildung als aussichtslos schon vor Jahrzehnten aufgegeben hat. Der Bulldogmotor ist nur sehr wenig komplizierter als dieser alte einfache Feuertopfmotor und doch im Gegensatz zu jenen eine neuzeitliche sparsame Kraftmaschine.

Der Grund für die Kraftstoffgleichgültigkeit des Glühkopfmotors dürfte leicht einzusehen sein: Beim Ottomotor durchläuft von der Zündkerze ausgehend eine Flammenfront das brennertige Kraftstoffgemisch. Es ist einleuchtend, daß der Lauf dieser Flammenfront und ein etwaiges selbsttätiges Losgehen eines Gemischrestes am Schluß der Verbrennung von den Eigenschaften des Kraftstoffes stark abhängt, mithin das Klopfen der Ottomotoren stark von der Kraftstoffbeschaffenheit beeinflusst wird.

Ebenso ist einleuchtend, daß der Dieselmotor seinen Kraftstoff in glühende Luft einspritzt und das Einsetzen, sowie der Verlauf der raschen Gemischbildung und Verbrennung von der Kraftstoffbeschaffenheit beeinflusst wird. Während bei einem sehr hochverdichtenden Dieselmotor eine solche Verbrennung ohne wesentlichen Zündverzögerung einsetzt und dem Fördergesetz der Einspritzpumpe sich weitgehend anpaßt, wird bei niedriger verdichtenden Dieselmotoren, wie man sie zur Vermeidung von Spitzendrücken und Erleichterung des Anlassens gern baut, ein Zündverzug leicht löslich werden und zu Anfang der Verbrennung ein Klopfen hervorrufen.

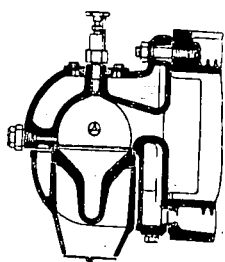
Beim Glühkopfmotor wird die Verbrennung aber nun in anderer Weise verwirklicht. Frischluft wird in Gegenwart glühender Wände in Kraftstoffdampf hineingewirbelt. Der Ablauf der Verbrennung hängt also im wesentlichen von der Bewegung der Frischluft ab, so daß Verschiedenheiten der Kraftstoffe sich nur wenig auswirken können.

Diese Kraftstoffgleichgültigkeit des Bulldogmotors hat natürlich sehr großen praktischen Wert. Wenn der Motorenbesitzer mit kleinen Änderungen (Auswechseln des Glühkopfes, Einsatz in den Glühkopf, Doppelpumpe) in ein und demselben Motor die verschiedensten Kraftstoffe verbrennen kann, dann vermag er sowohl sich allen Änderungen in der Kraftstofflage vorteilhaft anzupassen, als auch bei gegebener Kraftstofflage den Motor von vornherein günstig einzusetzen. Beispielsweise wird man in Südamerika, wo aus Zuckerrohrabfällen billiger Rohsprit zur Verfügung steht, den Bulldog mit Rohsprit betreiben. Es hat sich herausgestellt, daß die Wärmenutzung (in Litern braucht man natürlich vom energiearmen Spiritus mehr) und die Leistung sogar eher noch günstiger sind als beim Betrieb mit Gasöl. Diese Tatsache legt es auch nahe, daß Brennereigüter ihren eigenen Rohsprit verfahren, statt daß er unter Aufwendung von Frachten und Kosten mit geringem Wirkungsgrad als Autokraftstoffbestandteil verbraucht wird, und statt daß unter Aufwendung von Frachten Dieselmotoren auf eben diese Brennereigüter hinausgefahren wird. Heute stehen für das Altreich einem solchen Einsatz des Bulldogs noch Schwierigkeiten aus der Monopologesetzgebung entgegen. Vielleicht wird man diese vorteilhafte Arbeitsweise zuerst in besetzten Gebieten wirksam werden lassen und möglicherweise

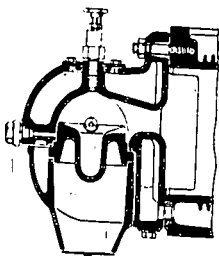
dann auch Mittel und Wege finden, die erwähnten Schwierigkeiten für den Rohspritbetrieb im Altreich zu beseitigen. Für manche Länder und die Kolonien kann wieder sehr wichtig sein, daß der Bulldogmotor mit allen möglichen tierischen und pflanzlichen Ölen, wie Fischtran, Eukalyptusöl usw., sich betreiben läßt. Für Europa ist wichtig, daß auch der Sauggasbetrieb des Glühkopfmotors sich voll befriedigend lösen ließ. Man täte aber dem Bulldogmotor unrecht, wollte man nur von seiner Kraftstoffgleichgültigkeit sprechen, so erstaunlich und wichtig diese auch ist. Mit seiner verhältnismäßig niedrigen Drehzahl, robusten Bauart und narrenfesten Konstruktion ist der Bulldog vielmehr das oft nachgeahmte und noch nicht erreichte Musterbeispiel eines zählebigen landwirtschaftlichen Motors. Ähnlich dem kleinen Hanomagauto, das jünger ist als der Bulldog, und das der Bulldog heute schon um über ein Jahrzehnt überlebt hat, ist ein Bulldogmotor selbst bei schlechter Behandlung erfahrungsgemäß nicht tot zu kriegen. Dies beruht einmal auf seiner Arbeitsweise, welche keine Ventile kennt und in der Glühwandzündung selbst dann noch Arbeitsfähigkeit ergibt, wenn Zylinder und Kolben sehr weitgehend

verschlissen sind. Zum anderen hat dies aber seinen Grund darin, daß der in allen seinen Teilen überbemessene und übersicher konstruierte Motor besonders hochwertig in Werkstoff und Ausführung ist. Es sei in diesem Zusammenhang nur auf den LANZ-Perlitguß und seine wohlbekannte besondere Verschleißfestigkeit verwiesen. Der Bulldog ist in seiner glücklichen Konstruktion seit nunmehr fast zwei Jahrzehnten im wesentlichen unverändert geblieben. Man hat ihn natürlich in jeder Hinsicht entsprechend dem Fortschritt der Technik verfeinert. Am Bulldog sind z. B. einige besonders erfolgreiche Fortschritte im Einsatz neuer Werkstoffe zu beobachten und zu begrüßen. Aber alles in allem waren einschneidende Aenderungen an seiner Arbeits- und Bauweise bis heute nicht nötig. Sein Kraftstoffverbrauch in der praktischen Arbeit auf dem Feld, an der Dreschmaschine oder als Zugmaschine auf der Straße und Autobahn unterscheidet sich nicht wesentlich von dem jüngerer Bauarten, selbst solchen mit Dieselmotoren. Er gilt nach wie vor als ebenso bewährter wie neuzeitlicher unermüdlicher Helfer besonders auch des Landwirts.

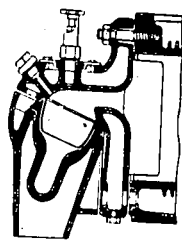
Mit geringen Veränderungen kann der Motor des Bulldog alle flüssigen, gasförmigen und festen Kraftstoffe verarbeiten. Eine Kraftstoffgleichgültigkeit, die ihm den Namen „Allesresser“ gegeben hat



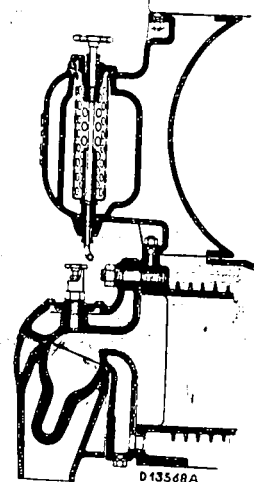
Brennräume für: Gasol



Benzol



Spiritus



Teeröl (mit Vorwärmer)

SD 4120  
aprod.

0/0682

Su  
Er

REPORT ON VISIT TO  
BRABAG I PLANT  
AT BOHLEN

EDITED BY:  
MAJOR J. F. ELLIS, MINISTRY  
OF  
FUEL & POWER.

Target No. 30/4.05

REPORT ON VISIT TO  
BRABAG I PLANT  
AT BOHLEN

EDITED BY:  
MAJOR J. F. ELLIS, MINISTRY  
OF  
FUEL & POWER.

Target No. 30/4.05



SERIES G.

Reel      Target No:  
8            30/4.05.

REPORT ON VISIT TO BRABAG I PLANT AT BOHLEN.

Edited by:  
Major J.F. Ellis. Ministry of Fuel and Power.

1. Table of contents.
2. Object of Visit.
3. Summary.
4. Personnel Interviewed.
5. History of Plant.
6. Sources of Raw Materials.
7. Production Figures.
8. Exports.
9. Quality of Fuels - 1943
10. Description of Plant.
11. Description of Operation.
12. Water Gas Production (R.J. Morley and H. Badgett)
  - a. Oxygen
  - b. Winkler Generators.
  - c. H<sub>2</sub>S Removal
  - d. CO Conversion.
  - e. Compression.
  - f. CO<sub>2</sub> Removal.
  - g. CO Removal.
13. Preparation of Tar for Hydrogenation.
14. Description and Operation of the Liquid Phase Hydrogenation System.
15. Description and Operation of the Vapour Phase Stalls.
16. Gas Circulation Plant and Gas Washing Plant.
17. Injection Plant.
18. Liquid Phase Distillation Plant.
19. Vapour Phase Distillation.
20. Gas Distribution and Recovery System.
21. Treatment of H<sub>2</sub>S.
22. Treatment of Water.
23. Iso-Butane Plant.

SERIES G.

24. AT-244 Installation.
25. D.H.D. Plant.
26. Extraction of Tar & H.O.L.D. Fugal Sludge.
27. Labour Strenght.
28. Running Costs.
29. Construction Costs.
30. Construction of Pipe Bridges.

RESTRICTED

REPORT ON VISIT TO BRASG I PLANT

AT BORDEN

Edited by:

Major J. H. Ellis, Ministry of Fuel and Power.

TARGET NO. 30/A. 05

RUSKS AND AMERICANS

COMBINED INTELLIGENCE OBJECTIVES SUB-  
COMMITTEE

G-2 DIVISION, SHAEN (Rear) APO 4-13

RESTRICTED

PAGE 1

SECRET

REPORT ON VISIT TO MADAGASCAR  
AT D'ARRE

Edited by:-

Major J.P. Ellis, Ministry of Fuel and Power  
on behalf of  
British Ministry of Fuel and Power and American  
Technical Industrial Intelligence Committee.

TARGET NO. 30/4. 05.

ALFA AND BETA.

Section 1 (a) 4. 05.

COMBINED INTELLIGENCE OBJECTIVES SUB-  
COMMITTEE

G-2 DIVISION, WARE (rear) APO 413

TABLE OF CONTENTS

<u>SECTION</u>	<u>PAGE NO.</u>
Table of Contents	2
Object of Visit	3
Summary	3
Personnel Interviewed	3
History of Plant	4
Sources of Raw Materials	4
Production Figures	5
Reports	6
Quality of Anals - 1943	9
Description of Plant	9
Description of Operation	11
Water for Hydrogenation (L. S. Hydrogenation System)	11
a. Oxygen	15
b. Sulfur Compounds	15
c. H <sub>2</sub> Removal	15
d. CO Conversion	15
e. Oxidation	17
f. CO <sub>2</sub> Removal	17
g. CO Removal	17
Preparation of Gas for Hydrogenation	18
Description and Operation of the Liquid Phase Hydrogenation System.	19
Description and Operation of the Vapour Phase Still.	22
Gas Circulation Plant and Gas Washing Plant.	25
Injection Plant	27
Liquid Phase Distillation Plant.	28
Vapour Phase Distillation	28
Gas Distillation and Recovery System	29
Treatment of H <sub>2</sub>	30
Treatment of Water	30
Ice-Melting Plant	30
AP-24 Installation	30
H.P. Plant	31
Extraction of Bar 3 H.C.L.D. Dryal Sludge	32
Labour Strength	33
Running Costs	33
Construction Costs	34
Construction of Edge Bridges	37

OBJECT OF VISIT

The plant was visited between May 4th and 13th 1945 for the purpose of obtaining information on the operation of the plant.

The investigators visiting the plant were:-

British

Lt. Col. H. Hollings  
 " J.C. King  
 Major R.J. Morley  
 " M. Spivey  
 " H. Rardgett  
 " T.P. Marley  
 " J.P. Ellis

American

Dr. H.H. Weir  
 Dr. L.L. Hirst  
 Dr. L.L. Newman  
 Mr. W.A. Horne  
 Mr. G.F. Bays  
 Mr. A.L. Mackenzie  
 Mr. P.K. Kuhne  
 Mr. E.H. Peck

The report has been written from notes given by Major Rardgett, Major Morley, Major Simpson (C.A.F.C.) and Major J.P. Ellis.

SUMMARY

The Bohlen plant of the Braunkohle Benzol A.G. (BRABAG) is situated near the village of BOHLEN south of Leipzig. It makes from Brown Coal Tar by the Hydrogenation Process, in two stages at 300 Atmospheres, Petrol and Diesel oil. The plant was capable of producing either 300,000 Tonnes/year Motor Petrol and Diesel Oil, 250,000 Tonnes/year Motor Petrol, or 200,000 Tonnes/year Aviation Petrol.

PERSONNEL INTERVIEWED

Managing Director  
 Works Manager  
 Deputy Works Manager  
 Brabag Chief Design Engineer  
 Works Engineer  
 Deputy Works Engineer  
 Gas Section Manager  
 Gas Section Asst. Engineer  
 Low Pressure Section Manager  
 Low Pressure Section Asst. Manager  
 High Pressure Section Manager  
 Compression Plant Engineer

Dr. von Felbert  
 Dr. Friedrich Kott.  
 Dr. Schneider.  
 Herr Richard Lackner.  
 Dr. Wolf  
 Herr R. Hartmann  
 Dr. Hausmann  
 Dr. Muller  
 Dr. Wilhelm Spruck  
 Dr. Heinz Fleissig.  
 Dr. Carl Schritzer.  
 Dipl. Ing. Rudolf Vollmer.

HISTORY OF PLANT.

The IRADAG concern was founded in 1935 to make liquid fuels from brown coal by the Hydrogenation and Fisher-Tropsch processes or by any other processes which might seem to be economic under the prevailing conditions in Germany. The first plant built by the company was at Bohlen and was begun in 1935. The first petrol stall started up in the early part of 1936, nine months after the start of erection. Full output was reached in August 1936.

The original plant had four stalls, two liquid phase and two vapour phase, and the minimum equipment for the production of Hydrogen and other services, in order to keep the capital cost of the plant down to a minimum. All the stalls were to operate at 300 Atmospheres and 5053 catalyst was used in the vapour phase.

In July 1937 the vapour phase catalyst was changed to 6,34 in order to improve the quality of the petrol. Until the extension of the plant in 1939 the plant ran to make Motor Petrol only, with one occasion when they made a trial run on the production of Aviation Petrol. The average output when on 5053 catalyst was 150,000 Tonnes/year of Motor Petrol and 6,000 Tonnes/year of Treibgas. When they changed to 6,34 catalyst they made on the average 165,000 Tonnes/year of Petrol and 12,000 Tonnes/year of Treibgas. The quality of the petrol with 5053 catalyst was 59 Octane Number with an FMP of 120°C, and with 6,34 catalyst 66 Octane Number with an FMP of 130°C.

The plant was extended in 1939 by installing two spare equipment and then extending the stalls to make use of the greater average gas production available and also to ensure steadiness of production. The four stalls were increased to seven, three liquid phase and four vapour phase, the two Winkler generators to three and various other small additions made. After these extensions the plant did not run to produce any single fuel as had been the case but ran to produce Motor Petrol, Aviation Petrol, Diesel Oil, according to the requirements of the Reich.

Since 1945 a new site to the west of the main site has been developed to enable the works to produce higher grade Aviation Spirit but this development has not been in production.

12415

REPORT OF INVESTIGATION

The plant reported the following raw materials

Green Coal Tar	A.S. Bollen
	A.S. Hirschfelde
	A.S. Espenhain
	Kulleritz
Heavy Gas Tar	A.S. Bollen
Schwarzhennin	A.S. Bollen
	A.S. Hirschfelde
	A.S. Espenhain
	Kulleritz
Steam (Low pressure)	A.S. Bollen
Electricity	A.S. Bollen
Water	A.S. Bollen
Gas	A.S. Bollen

[Faint, mostly illegible text from the reverse side of the page]



PAGE 6

PAGE I

PRODUCTION FIGURES

YEAR	MONTH	PROD. AVIATION DIST. CH. DIST. CH. TOTAL	DISP. CH. TOTAL	TOTAL	
1956	August	12,000			
	September	11,800		100	12,100
	October	12,900		150	14,950
	November	12,300		160	14,060
	December	13,500		200	12,500
		<u>63,500</u>		<u>350</u>	<u>13,850</u>
1957	January	13,500		260	14,160
	February	12,300		150	13,650
	March	11,100		400	12,700
	April	10,200		400	11,500
	May	9,800		600	17,500
	June	8,100		650	10,450
	July	12,200		400	8,500
	August	12,450		600	12,800
	September	15,600		600	15,430
	October	16,000		400	16,000
	November	9,700		400	16,400
	December			300	10,000
		<u>137,550</u>	<u>9,100</u>	<u>300</u>	<u>9,400</u>
1958	January	17,200		500	18,200
	February	12,600		500	17,700
	March	13,200		600	15,100
	April	11,800		600	13,800
	May	11,100		600	12,400
	June	13,000		600	14,900
	July	16,100		800	13,800
	August	15,500		1,200	17,380
	September	13,500		1,100	16,400
	October	14,000		1,050	14,550
	November	8,300		1,000	15,000
	December	15,000		600	8,900
		<u>164,100</u>	<u>9,780</u>	<u>950</u>	<u>15,950</u>
				<u>9,780</u>	<u>175,830</u>

YEAR	MONTH	INDEX INDEX	AVG. IN INDEX	DIESEL OIL	SPRINGAS	TOTAL
1939	January	15,500			1,100	16,400
	February	14,800			1,000	15,800
	March	15,800			1,200	17,000
	April	12,700			1,100	15,800
	May	14,400			1,350	15,750
	June	14,400			1,600	16,000
	July	13,400			1,350	14,750
	August	15,300			1,600	16,900
	September	7,800			500	8,500
	October		12,000		1,000	13,600
	November		10,000		1,300	12,300
	December		11,400		1,600	13,000
		<u>125,900</u>		<u>14,900</u>	<u>173,600</u>	
1940	January	7,600	3,800		950	12,350
	February	10,200			600	10,800
	March	13,800			1,100	14,900
	April	15,900			1,600	17,500
	May	16,300			1,800	18,100
	June		11,500		2,600	14,100
	July		15,200		3,100	16,300
	August		14,900		3,350	18,250
	September	7,000		12,000	650	19,650
	October	8,600		13,000	850	22,450
	November	5,600		12,000	600	16,200
	December	4,400		13,000	600	18,000
	<u>86,800</u>	<u>39,600</u>	<u>10,600</u>	<u>17,700</u>	<u>195,100</u>	
1941	January	4,000		12,600	650	17,250
	February	4,600		14,000	850	19,450
	March	8,100	2,800	6,300	600	15,000
	April	9,700	2,800	5,500	400	16,400
	May	10,200	4,600	4,700	400	19,900
	June	9,900	4,600	3,600	500	18,650
	July	10,500	4,900	3,700	500	19,300
	August	9,500		7,700	500	17,500
	September	6,000		7,500	600	13,900
	October	13,800		14,200	850	28,850
	November	8,600		10,800	400	19,800
	December	11,200		12,600	450	24,250
	<u>105,900</u>	<u>16,900</u>	<u>100,600</u>	<u>6,350</u>	<u>229,950</u>	

TOTAL

16,400  
 15,800  
 17,000  
 15,800  
 15,750  
 16,000  
 14,750  
 16,900  
 8,300  
 13,600  
 12,300  
 13,000  
 73,600  
 12,350  
 10,800  
 14,300  
 17,500  
 18,100  
 14,100  
 16,300  
 18,250  
 19,650  
 22,450  
 16,200  
 18,000  
 20,100  
 17,250  
 19,450  
 15,000  
 16,400  
 19,900  
 18,650  
 19,300  
 17,300  
 13,900  
 10,850  
 19,800  
 24,250  
 21,950

PAGE 8

YEAR	MONTH	AVIATION FUEL	DIESEL OIL	REPAIRS	TOTAL
1942	January	9,500	10,000	400	19,900
	February	9,600	5,200	400	15,200
	March	12,700	4,700	1,150	26,550
	April	10,500	4,600	1,000	21,700
	May	11,700	5,200	1,000	21,700
	June	12,700	4,400	1,100	25,600
	July	9,800	2,300	850	19,850
	August		14,000	2,100	16,900
	September		15,000	2,400	18,000
	October		16,400	3,000	19,400
	November		16,000	2,600	18,600
	December		15,100	2,400	18,500
		<u>76,500</u>	<u>103,800</u>	<u>18,400</u>	<u>298,900</u>
1943	January	19,800		1,600	21,400
	February	19,400		1,800	21,200
	March	4,200	12,600	3,850	20,850
	April		16,400	3,950	20,350
	May		16,400	3,850	20,250
	June	6,800	8,200	2,200	22,200
	July	15,000		900	26,900
	August	12,400		750	22,150
	September	15,000		1,100	25,100
	October	17,100	15,500	1,100	33,700
	November	4,500	9,000	2,750	16,250
	December	10,000	7,300	1,700	19,000
		<u>125,000</u>	<u>76,500</u>	<u>21,000</u>	<u>222,500</u>
1944	January	12,000		2,500	20,700
	February		11,200	1,800	13,000
	March	10,600	11,000	2,800	24,400
	April	26,200		1,000	27,200
	May	8,700		650	9,350
	June	11,000		850	11,850
	July				
	August	5,200		150	5,350
	September	10,300		850	11,150
	October	3,600		400	4,000
	November	4,200		100	4,300
	December	3,400		300	3,700
		<u>77,500</u>	<u>23,000</u>	<u>11,200</u>	<u>113,700</u>
1945	January	4,400	7,600		12,000

TOTAL

19,900  
 18,200  
 26,550  
 21,700  
 21,700  
 25,800  
 19,850  
 16,900  
 18,000  
 19,400  
 18,600  
 18,500  
 17,900  
 21,400  
 21,200  
 20,850  
 20,350  
 20,250  
 22,200  
 26,900  
 22,150  
 23,100  
 8,200  
 9,550  
 9,700  
 11,850  
 10,700  
 13,000  
 14,400  
 13,000  
 13,550  
 13,850  
 1111  
 13,550  
 14,500  
 13,000  
 13,300  
 13,700  
 13,000

PAGE 9

NOTES

The petrol and diesel oil were sent to MFO depots according to instructions. The Freigas exports were split up so that the pure propane was sent to MFB for use on the propane powerplant there and for use as fuel for home heating, the Iso-butane to Leuna until May 1944, and the remainder was sent away as liquefied gas for motor fuel. The composition of the latter varied considerably but the only limit set was the maximum vapour pressure - 25 Atmospheres.

The Diesel fuel was a special fuel made for the Campaigns in North Africa. The Diesel Oil made in Nov. and Dec 1940 and Jan. and Feb. 1941 was a special fuel made with a low flash point at the expense of the heavy ends of the petrol, with an I.P.T. of 110°C., a specific gravity of 0.8, a flash point of 27°C. and a Cetane No. of 42.

PROPERTY OF FUELS - 1943.

When running to make petrol and diesel oil the petrol had:-

- An I.P.T. of 51°C.
- An I.P.T. of 185°C.
- A distil. loss giving 32 at 100°C.
- An aniline point of 39.5
- A Reid Vapour pressure of 0.5-0.8 Atm at 40°C.
- An Octane Number of 65 (Motor Method)
- A specific gravity of 0.75

The Diesel Oil had:-

- A setting point of -15 to -20°C.
- An Aniline point of 42.2
- A Cetane Number of 40
- A specific gravity of 0.856 at 20°C.
- A Flash Point of 45°C.

When the plant was running to produce Motor petrol only, when the petrol had:-

- An I.P.T. of 33.5°C.
- An I.P.T. of 195°C.
- A Reid Vapour pressure of 0.6-0.8 Atm.
- An Octane Number of 65
- A specific gravity of 0.74
- A distillation giving 44 at 100°C.
- An Aniline point of 43

PAGE 10

When the unit was started to make aviation petrol only, the petrol had:-

- An IBP of 43°
- An EB of 145°
- A distillation giving 99% at 100°.
- An Aniline point of 40.6
- A Reid Vapour pressure of 0.5 Atm
- An Octane Number of 68
- A Specific Gravity of 0.718

According  
at the  
ing  
partanc  
or  
mpour

n  
/na.  
at  
of  
a

and:-

DESCRIPTION OF PLANT.

The Hellen plant or P.M.H.C. consists of two sections, the old part containing the original plant and its extensions and the new part the site known as the east site containing the new plants which do not have a 300 atm hydrogenation section.

The old section contains a Winkler water-gas generating plant, using crude Coke and Oxygen, a gas purification section a tar settling plant, a 300 atm liquid phase hydrogenation plant containing a pre-washing plant and dope preparation plant, a vapour phase hydrogenation plant, the distillation plants connected with these two hydrogenation plants, an alkali plant for the hydrogenation gas, a shale plant for the separation of butane and propane and a Claus plant for the recovery of sulphur. See Fig. I for rough plan.

In the new section in various stages of completion there are a boiler plant, a light ends recovery unit, an iso-butane unit, a second liquid propane and butane separation plant, a two stall D.H.S. plant with distillation units, a complete butane dehydrogenation unit, an alkylation unit, an isomerisation unit, and the accompanying distillation units, and a third liquid phase distillation unit. The necessary tanks for the operation of the units are also in the area. See Fig. II for rough plan.

DESCRIPTION OF OPERATIONS.

Water gas is made in three Winkler generators, using crude coke and oxygen made in Winkler-trunk units. After deducting H<sub>2</sub>S is removed in an Alkali plant, followed by dry oxide boxes, using kaustic soda. After conversion of CO with steam the catalysed gas is compressed to 300 atm, CO<sub>2</sub> being removed by a water wash at 23 atm and CO being removed by copper liquor at 300 atm. The make-up hydrogen passes to the reaction of the hydrogenation plant circulators.

The raw tar delivered to the plant is filtered to remove water and dust and then passed to the feed tanks of the liquid phase stills where it is mixed with the crude product from the liquid phase stills, and the lightest or Schmelboil. The mixture is set in the still so that the portion boiling heavier than 340°C is fed to the liquid phase stills and the portion boiling below 340°C is sent on to the A section of the vapour phase stills.

When running to make petrol and diesel oil the product from the vapour phase stills is distilled to give the desired end point of the petrol and the bottoms from the still are exported as diesel oil. There is no recycle of oil from the still to the

vapour phase stills, and no vapour phase stills are run.

When running to make either motor or aviation petrol the product from the A vapour phase still is distilled with the product from the B vapour phase still. The B vapour phase stills are run on the middle B obtained from the bottom of the distillation unit and no fresh oil from the liquid phase still is fed to the B stills.

The richer gases from the let-down of the hydrogenation crude products and the distillation of the products are collected and the light scrubbed out in an alkaloid plant. They then pass to the light-oils recovery unit where the pentane and heavier hydrocarbons are scrubbed out and then on to a lime plant for the separation of the propane and butane. The residual gas then goes to the fuel gas system.

Some of the gases containing higher proportions of hydrogen and H<sub>2</sub>S are recycled via the recycle compressors to the vapour phase circulating system to save hydrogen, but H<sub>2</sub>S into the gas, and to achieve some removal of organic sulphur from the propane and butane. One or two of the gases recycled this way are water washed to remove the moisture so that the vapour phase catalyst is not poisoned.

The other lean gases are collected and scrubbed in another alkaloid plant to remove the H<sub>2</sub>S and then sent to the fuel gas system.

The drain water from the various plants are collected and treated to remove the phenols. The liquid phase distillation water drains are treated with sodium hydroxide and the resulting phenols are sent to town.

The H<sub>2</sub>S is treated in a Claus plant to get sulphur.

UNIT DATA

(a) Oxygen. There are five fine-frank units, each having a capacity of 2,500 - 3,000  $\text{m}^3/\text{hr}$ . of 98%  $\text{O}_2$ . Typical performance figures for one unit are as follows:-

Low pressure air	13,150 $\text{m}^3/\text{hr}$ . (of which 350 $\text{m}^3/\text{hour}$ sent on each to factory)
High pressure air	671 $\text{m}^3/\text{hr}$ .
98% oxygen made	2,275 $\text{m}^3/\text{hr}$ .
Pure nitrogen made	196 $\text{m}^3/\text{hr}$ .
Oxygen recovery	70 to 85.6.
Cooling water	470
Power for turbo-compressors	0.60 to 0.64 $\text{kWh}/\text{m}^3 \text{O}_2$ .

(b) Winkler generators. There are three Winkler generators, including two in use. The output of each can be varied from 12,000 to 25,000  $\text{m}^3/\text{hour}$ , but the normal output is about 20,000  $\text{m}^3/\text{hour}$ .

There are no outstanding design features; they were designed by Lurgi and are very similar to the type at Soltau and Ingolstadt. The generator itself is a brick-lined vessel, with an I.D. of 4.5 m and a height of 20 m, with the boiling bed maintained at a depth of about 1.5 m.

Grade coke (C.V. 5,300 to 5,400  $\text{kcal}/\text{t}$ ) is obtained from the adjoining A.S. works and has a grading of 60  $\mu$  to 5 mm. All bunkers are kept under 60% pressure; the generator bunker, holding approximately 125  $\text{m}^3$ , is fed through a star-feeder and the level can be determined by dip-stick. The grade is fed into the generator, at a point about half way up the bottom cone piece, by screw-conveyor, operating at 2 to 5 r.p.m. The feed tube actually entering the generator is made of MS.128 steel. The stationary grate is made of cast iron bricks, about 12" long, 2" wide at the top and 1" at the bottom; they are packed in threes, with very fine openings (1/16" or less), at the top, with a spacer between every three. A water-cooled scavenger arm revolves over the grate, sweeping ashes into a hole in the grate, from which they are removed by screw-conveyor, dumped into a water channel and sluiced away to a settling pit. The whole grate can be lowered and washed away for maintenance, whilst being replaced by a spare grate, without cooling off the whole generator.

The oxygen-steam blast enters the grate through a wind-box, fitted with explosion plates, and passes through the grate; at least 80% of the oxygen is added in this way, the remaining 20% being added above the fuel bed. Pressure drop through the fuel-bed



is about 50 mm water. The fuel bed is maintained at a temperature of about 900° C, at which temperature gas also leaves the generator.

The dust-laden gas passes through a 1.4 m. I.D. pipe to a waste heat boiler, raising steam at 18 ats. The water-tube boiler has two drums, the lower of which is insulated and hangs in the gas space. A baffle wall from drum to drum protects the cold down flow tubes and also forces the gases to take a U-shaped path. The gases then pass through an economizer and, now cooled to 200° to 300° C, then pass through a set of multicyclones. After passing through a water seal, final dedusting is carried out in a water wash tower and a Tholoum deaerator. The dry dust collected (C.V. 4000 g. ash/100 g. carbon) is used as boiler fuel, either at the AFZ works or at Leitz. The wet slurry is sometimes dried and used as boiler fuel, but is often dumped. The dust content of gas leaving the generator is about 200 to 250 g/m<sup>3</sup> and about 25% of the calorific value of the fuel is lost in this way. 90% of the ash is blown overhead and only 10% is abstracted through the grate. The gas after the multicyclones has an ash content of 25 g/m<sup>3</sup> of gas.

Typical operating data are as follows:

Gas Analysis

H <sub>2</sub>	24.7	} H <sub>2</sub> + CO 72.5
CO	27.1	
H <sub>2</sub>	45.4	}
H <sub>2</sub>	0.8	
CH <sub>4</sub>	1.5	}
H <sub>2</sub> O	0.45 to 0.85	

GENERATOR/3 WATER GAS

Grude	0.32 to 0.56	H <sub>2</sub>
28% Oxygen	0.22 to 0.26	H <sub>2</sub>
L.P. Steam (4.9 Atm. G. 162° C)	0.61 to 0.69	H <sub>2</sub>
Cooling water	0.016	H <sub>2</sub>
H.P. Steam Produced	0.55 - 0.68	H <sub>2</sub>

Ashes (40% carbon) 27 to 32% of grude.



L.H. steam source is about 21 kg/sec. it, about one-third being direct and two-thirds indirect.

(iv) Oxide trays. The plant consists of the standard design of four boxes, used chiefly to save ground space. There are two sets in parallel, each set consisting of four boxes, each box having an L.H. of 6.5 ft. and containing 240 g (520 lb) of lanterns in 12 trays. The maximum space velocity is 15 hrs<sup>-1</sup>. All 12 trays in a box run in parallel, not in series. Sequence and flow can be changed as required; oxygen is added to the inlet as the reviv. floater but not III<sub>2</sub>. The mass is changed with SO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O but comes out with S<sub>2</sub> and containing 40 to 45 sulphur, when it is then sold. The inlet H<sub>2</sub>S is 5 to 10 g/l and the outlet is about 20 g/l<sup>2</sup>.

(d) CO Conversion. The plant consists of 3 sets working at ordinary pressure, together with three saturation towers and three combined water heating and gas cooling towers.

Each set has a normal throughput of 6,000  $\text{m}^3/\text{hour}$  water gas, with a maximum of 8,000  $\text{m}^3/\text{hour}$  (or 7,500 and 10,000  $\text{m}^3/\text{hour}$  catalysed gas respectively). Each set consists of a single tower, with No. 1 converter at the top, then water injection with a tray of rings, then No. 2 converter and finally the double interchanger at the bottom. Saturated gas, injected by steam, passes through the interchanger and enters No. 1 converter at about  $550^\circ\text{C}$ . Gas leaves No. 1 converter at  $460^\circ$  to  $500^\circ\text{C}$  and is then cooled to about  $420^\circ\text{C}$  by injection of condensate through a single spray playing on to 1 m. of steel rings. At the bottom of the tray of rings the whole gas is brought through a restriction to ensure good mixing. The gas leaves the No. 2 converter at about  $470^\circ$  to  $490^\circ\text{C}$ , passing out through the interchanger.

The catalyst used is  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  brown oxide, costing 1.65 to 2  $\text{Rs}/\text{kg}$ . Catalyst life averages 2 years, but in some cases 4 years; the spent catalyst is thrown away. Each converter contains 12  $\text{t}$  of catalyst and (assuming a density of  $4.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) this corresponds with a space velocity of  $400 \text{ hr}^{-1}$  on inlet gas at maximum rate of  $300 \text{ hr}^{-1}$  on  $\text{H}_2 + \text{CO}$ . The CO content of inlet gas (a mixture of purified water gas and regenerated gas or CO removal) is about 52, which is reduced to about 7 in catalysed gas, which is close to equilibrium. The pressure drop between each converter is about 50 to 70 mm Hg. No troubles result from the use of condensate, provided it is kept free from oil, etc.

Water is circulated round the water heating and saturation towers, giving a saturation temperature of  $65^\circ$  to  $70^\circ\text{C}$ ; both are wood-packed towers. The gas cooling tower, which forms the upper half of the water heating tower, is wood-packed and fed with two streams of circulating water; water at  $19^\circ$  to  $20^\circ\text{C}$  is fed into the top and water at  $29^\circ$  to  $30^\circ\text{C}$ , after use elsewhere, is fed half-way down.

Steam used (1.2 at. g. 15 $\text{kg}/\text{t}$ )	0.32 to 0.40 $\text{kg}/\text{m}^3$ catalysed gas
	0.55 to 0.72 $\text{kg}/\text{m}^3$ $\text{H}_2 + \text{CO}$
Condensate used	0.57 $\text{kg}/\text{m}^3$ catalysed gas.

(e) Compression. Seven six stage compressors are installed, starting at 200 mm Hg and ending at 28 atm.

(f) CO<sub>2</sub> Removal. There are 7 washers, having an I.D. of 1.75 m. at the bottom and an I.D. of 1.44 m. at the top, with a total height of 48 m. They are filled with  $50 \times 50$  mm. stacked rings, packed to a total height of 48 to 49 m. in two halves.

and six pumps a normal capacity of 3,000 HP/hour inlet gas, taking 30 HP inlet/1,000 HP in winter (10°C) and 60 HP/1,000 HP in summer (20°C to 27°C). The CO<sub>2</sub> is reduced from 4.0 to 1.6.

Centrifugal pumps are used, with gear, motor and volition, letting down the water, on the same shaft. The water is recirculated after concentration in the wooden towers.

(c) CO Removal. There are 3 towers operating at 300 atms. The copper liquor used contains no ferric acid and has the composition

- 1.2 g. atoms Cu/l
  - 0.2 g. atoms Cu/l
  - 2 g. mols H<sub>2</sub>O/l
  - 2.5 mols CO<sub>2</sub>/l
- 2.5 g. in solution

There is no trouble in controlling cupric content and there is no trouble from oil or sludge.

Three let-down engines are used for injecting SO<sub>2</sub> of the copper liquor: each engine has a capacity of 7.5-8.0 HP/hour, with a bore of 0.8 m. and a stroke of 1 m; they are supplemented by three 3-throw injectors, each with a capacity of 15 HP/hour against 250 psi and three centrifugal pumps, each having a capacity of 80 HP/hour against 12 to 15 atms. These let-down engines gave little trouble. The original valves were of the normal mushroom type which had not been entirely satisfactory and they had changed them over to the piston valve type which was becoming standard in Germany. After two years' experience they have come to the conclusion that the new type of valve would last about a year and would then have to be changed because of heavy wear. They said that this wear was not in the face of corrosion. For the packing of the glands of these machines the wear on the let-down engines are of carbon steel unhardened and ground, whilst the wear on the injectors are the same steel hardened and ground. In both cases they re-grind the rods every 18 months. The wear on the let-down engines are lubricated with an ammonia solution continuously and are oiled once a shift with lubricating oil.

The engineer also said that it was not safe to weld branches into lines which had already been used for copper liquor and use them again for the same job. It was not possible to remove all traces of the copper which had been deposited on the steel and after welding there was a crack with copper in it and in service this crack grew in size and caused a burst.

Power consumption on both CO<sub>2</sub> and CO removal is 252 kWh/1,000 HP.

DESCRIPTION AND OPERATION OF THE LIQUID PHASE RECOVERY SECTION.

The raw tar imported to the plant is first filtered to remove the solids and water. The average tar which composed about 7% of the oil fed to the works, had about 2% distilling off below 140°C, contained about 5% phenols, 5% asphalt, and had a gravity of 0.95, these being average figures. The solid content averaged about 1.0%.

The raw tar was heated up to a temperature which would make the filtering and pumping in charges of 500 to 600 liters to the Agula. There are 11 solid bowl Agulas made by Hausolt of Germany having a diameter of 2000 mm and a speed of 600 RPM. Of the 11, 8 to 9 were required to handle the feed to the tar stills and the remainder to handle the residues, sludge and dirty oil which were accumulated in the other section of the works.

The cleaning of the Agula required about 1 1/2 to 2 minutes, the Agula in the 3 minutes, the time to remove the clean oil 2 minutes and the time to remove the emulsion about 3 to 4 minutes. The oily solid sludge at the rim of the bowl was only removed once or twice a shift. The Agula are kept under an atmosphere of CO<sub>2</sub> as a fire precaution. They had had some trouble with air entrainment in the oil leaving the Agula when it was being discharged and had finally fixed up a head which totally enclosed the exit from the Agula and arranged for a small quantity to be by-passed through a sight glass so that they could see whether they were getting oil, water, emulsion or solids.

The clean oil from the Agula (amounting to 98.7% of the raw tar feed) had a solid content of about 0.5%. This oil was then sent with the benzobenzoin, amounting to 26% of the total oil fed to the works, and with the crude oil obtained from the liquid phase stills to the liquid phase stills.

The liquid phase stills were operated to cut the oil into two fractions, one boiling below 140°C and the other above 310°C.

DESCRIPTION AND OPERATION OF THE LIQUID PHASE RECOVERY SECTION.

There are three liquid phase stills each comprising 3 converters of reaction volume 6.8 m<sup>3</sup> each, 2 interchangers of 200 m<sup>2</sup> area (approx), a pre-fired preheater, a cooler, a cold catchpot, and a hot catchpot. There were also 5 hot recycle pumps on the three stills for the recycle of hot oil from the hot catchpot to the inlet of the preheater.

The converters were 1000 mm bore and 18 m long with an insulation of either stacked asbestos cement or diatomite bricks the lining being 40 mm thick. They said that they had to be very careful to see that the steel lining, which protected the insulation, was in position or else they had trouble with the insulation when using the diatomite brick. They had seven temperature points in each converter.

The interconverters were 18 m long and had a bore of 600 mm. There were 122 tubes in each tube bundle.

The preheater tubes were made from H.S. steel and were 120 mm bore 177 mm outside diameter and the elements were about 15 m long. The hairpin elements were centered at 500 mm distance and the fins were 4 mm thick and 40 mm apart and 300 to 400 mm square. There are 15 hairpins all round in the preheater with 5 in each pass.

The operation of a stall is carried out as follows:-  
15 to 20 m<sup>3</sup> of heavy oil, viz. G. 2007 from the base of the liquid phase still is fed to the stall with 5 m<sup>3</sup> of catalyst paste together with reaction gas. These are fed through the interconverters and then into the preheater having been mixed at the inlet to the preheater with 5 to 10 m<sup>3</sup> of hot recycle from the base of the hot catalyst. They are heated up to 400°C at the inlet to the first converter in the preheater and allowed to heat up to 170°C in the converters. The catalyst used is the L.C. 1007 from catalyst supplied from Leuna. The make up of this is about 0.5 to 1.5 on the feed according to the asphalt in the H.C.L.D. and is varied to hold the asphalt at 0.5 to 0.5 in the H.C.L.D.

The H.C.L.D. has 25% of solids (ash) in it and 4 to 5 m<sup>3</sup> are let down each hour. A portion of this is recycled to remove solids and the clean oil used to make fresh catalyst paste. The residue from the flyalls contains about 50 oil and is dumped. At one time there was a plant for the extraction of the oil from this residue but it was destroyed in an air-raid.

The catalyst paste is mixed in 3 ball mills run in series to give a paste with 40 solids in it and mixing 8 times of catalyst in 30 hours. This paste is mixed with the remainder of the H.C.L.D. not treated in the flyalls and injected to the stall as the catalyst paste, containing on the average about 25 solids.

The cold catalyst product from the stall is mixed with the cleaned tar and the naphthalene and distilled in the liquid phase still to give an end point of the A middle oil of 310°C.

About 45 of the cold catalyst product boils below 310°C. and has a sulfur content of about 1.5 and a specific gravity of 0.922.

The hydrogen circulation was 120 m<sup>3</sup>/hr of liquid phase still heavy oil fed to the still, the circulating gas being 1540 m<sup>3</sup>/hr of oil. This liquid phase heavy oil was made up of 49 m<sup>3</sup> and 51 m<sup>3</sup> recycle from the still cold catalyst product.

The feed rate was 0.65 m<sup>3</sup>/hr and the "A" middle oil leaving 0.25 m<sup>3</sup>/hr, which means that the "A" oil flow was 30. A typical flow sheet is given in Pl. III.

The cold product was let down in two stages i.e. 10 and 10 to allow for fractionation of the dissolved gases.

They had noticed very little corrosion in the preheaters and estimated that the various elements had a life of 5 years in the hot zone and about 10 years in the other zones. They held the maximum temperature at not greater than 500°C in order to avoid overheating the metal of the tubing. They had average values for the heat transfer across the elements of 10 kJals/m<sup>2</sup>/hr based on the outside surface of the element. They had made trials with five elements to improve the heat transfer and distribution by fitting along the whole length of the elements between the fins of the two legs a steel spacing piece which filled the whole of the space between the fins. The trials with this modification had shown an marked difference from the normal type of element.

The inter-charge on the liquid phase stills are changed about every six months to be rebuilt because the K value for the tube bundle has fallen off from 300 to 100 KJals/m<sup>2</sup>/hr/°C.

They had had a few troubles with the hot catalysts resulting from the coking up under operating conditions. They were cleaned out on the average once every six months. They had made alterations to the pots so that there was a continuous injection of cold circulating gas to the base of the pot via a gas ring in the bottom of the cone and had also arranged to add cold gas to the reaction between the last converter and the hot catalyst in order to cool them. This resulted in a lower temperature in the hot catalyst and therefore less coking.

An interesting feature of the operation of the liquid phase stills was the fact that they were not blown down during air-bleeding and yet they had no coking troubles. On receipt of a warning they shut off oil and then shut off the gas after 5 minutes circulation. A small blow-down was then commenced by opening a

with an  
bricks  
to be very  
the  
even temper-

of 600 m<sup>3</sup>.

were  
about  
distance  
10 m<sup>3</sup>  
with 5

of the  
catalyst  
the inter-  
the  
from the  
the  
to heat  
C.  
this is  
the  
in the

5 m<sup>3</sup>/hr  
remove  
The  
At  
in this

erion

er of  
ball  
wills.

in the  
phase



PLANT

valve in the top of the cold outlet to reduce the pressure from 200 to 100 lbs in 2 hrs. This had been done 40-50 times and they had been able to keep the straight run after the cold. This was attributed to the excessive quantities of catalyst used and the low sulphate in the system.

DESCRIPTION AND FUNCTION OF THE VAPOR PHASE STALLS.

There are four vapor phase stalls each comprising four converters, two preheaters, an electric preheater, a cooler and a cold catalyst. The catalyst volume of each converter is 3 ft<sup>3</sup>.

Each converter is 1000 in. bore and 18 ft long with an insulation of 60 mi of the same material as the liquid phase stall converters. In the liquid phase stalls there are seven beds of catalyst, in the normal, vertical, fourth five beds of catalyst. In all the converters there is provision for the injection of cold circulating gas to the reactor between the beds of catalyst, with the normal design of sliding plates. The direction of flow is either up or down except for the last converter, when they arrange that it shall always be downward. They said that providing that the total gas flow did not exceed 40,000 ft<sup>3</sup>/hr. they had no trouble on special flow converters with catalyst change-over.

The interstage gas and the main gas in the liquid phase stalls.

The preheaters use the L. electric type and are fitted in the stall cross-section. They are run with a voltage of about 40 to 50 volts so that the water is not subject to electric shock from the plant. This precaution is necessary because it is not possible to insulate the preheater from the stall electrically. The preheater consists of a number of steel tubes arranged in the form of a helix connected in series and packed into a sheet steel cylinder and insulated against heat losses. The electric heating current is passed into the steel tubing in four places and taken out in four places, i.e. there are four parallel paths. It is so arranged that the current does not have to pass through the return leads at the end of each length of tubing but is led from one tube to another by leads which are the return leads. They had trouble at the start up of the plant owing to getting up of the preheater owing to having some unburnt tubing. They had overcome the difficulty by fitting temperature points to all the lengths of tubing and regulated the current at each section according to the load and the temperature of the local elements, and since adopting this procedure they had not had any more trouble with the electric preheaters. The cold product was hot from the stages. 20 Ats 2 1/2 ft. to give some fluctuations of the dissolved gases.

Each stall was run with a reaction gas rate of 30,000 l<sup>3</sup>/hr under all running conditions. The feed rate varied, with a normal feed rate of 16 l<sup>3</sup>/hr. and maximum rates of 25 l<sup>3</sup>/hr. They had been up to 30 l<sup>3</sup>/hr. but had found that they were getting very unsteady temperatures and that they could not run the stall under such conditions.

The stalls were run under three different sets of conditions according to the products being made.

When making Petrol and Diesel Oil they ran the stalls on straight through operation, feeding a middle oil from the liquid phase still and distilling the stall cold catch of product to give petrol and Diesel Oil. There was no recycle of the middle oil from the vapour phase still to the stall.

When making either Motor Fuel alone or Aviation Petrol alone (they were never made in conjunction) the vapour phase stalls were split into two sections, one section operating on a middle oil under straight through conditions and the other section operating on the middle oil from the vapour phase still. The products from both sections were distilled together so that the second stall system was really operating under recycle conditions with middle oil from the first stall system as make-up.

Running conditions are summarized in Table II.

Table II.

	Type of production		
	Petrol & Diesel Oil	Motor Petrol	Aviation Petrol
Feed to A system Spec. Grav.	0.860	0.860	0.860
Product A system Spec. Grav.	0.795	0.795	0.795
Feed to B system Spec. Grav.	-	0.848	0.805
Product B system Spec. Grav.	-	0.755	0.735
Middle oil. Spec. Grav.	-	0.848	0.805
L. M. °C.	-	198	125
P.M.P. °C.	-	310	500
Sulphur ppt.	-	0.55	0.28
Petrol in still Feed.	53	60	45
Circulating Gas per tonne feed to all stalls.	2150 l <sup>3</sup>	2150 l <sup>3</sup>	2150 l <sup>3</sup>
Hydrogen consumption per tonne A Mid. Oil.	570 l <sup>3</sup>	525 l <sup>3</sup>	660 l <sup>3</sup>

Table II (cont'd)

	Type of Production		
	Petrol & Diesel Oil	Motor Petrol	Aviation Petrol
Gas make-up in A system in °C.	370		
Wall temperature A system in °C.	410		
Gas make-up in B system in °C.			
Wall temperature B system in °C.			
Ratio of feeds to A and B stalls		2:1	1:1
Petrol Density (gms/cc)	0.21	0.25	0.185
<u>Petrol quality</u>			
Specific Gravity	0.754	0.740	0.718
W. P.	51	30.5	48
W. P.	185	195	145
Octane Number - prior to final	39	45	46.6
Wald Vapour pressure at 40°C. Atg	65	65	68
distilling up to 100°C.	0.6	0.7	0.5
	32	41	59
<u>Diesel Oil quality</u>			
Specific Gravity	0.956		
Walding Point	42		
Octane Number	40		
Setting Point	-15		
Sulphur cont.	0.21		

(Diagrams showing the three types of operation are shown on Fig. IV)

The output of the plant as a whole was limited by the sections as follows:-

When making petrol and Diesel Oil the liquid phase stalls and the A system vapour phase stalls limited the plant about equally.

When making Motor Petrol only the limitation was the A system vapour phase stalls.

When making Aviation Petrol the limitation was the B system vapour phase stalls.



stalls but this is normally kept closed. There is a similar normally closed connection on the exit header of the stall system. The gas washing plant is connected into the liquid phase system only and is placed on the exit line from the stall so that the gas is washed to remove the nitrogen and hydrocarbons before the make-up gas is added to the system.

The make-up gas to the vapour phase system is controlled so that the density of the inlet gas to the stall is held at 0.230 kg/m<sup>3</sup> which will be approximately 32% hydrogen. The system is also added the gas from the "nitrogen" compressor. Both these gases are added to the suction of the circulators.

There is also a connection from the inlet of the vapour phase system, before the point of addition of the fresh gas, to the exit of the gas washing plant and the valve on this was permanently open. Because the gas to the vapour phase system was more than the operation of the stall regulated on the basis of the absorption of hydrogen by the oil, there was a purge of gas from the vapour phase system to the liquid phase system via this latter line.

The wash oil rate to the gas washing plant was normally run at 10 l/hr. to maintain the purity of the inlet gas to the stalls at a density of 0.23 to 0.24 kg/m<sup>3</sup> i.e. 32 to 36% hydrogen. If the stall rate was low the wash oil rate was halved. The make-up gas to the liquid phase system was then added to keep the system pressure constant at 300 atm at the inlet side.

The circulators were run to maintain a boost of 30 Atm. under normal operation but they had been run at 25 Atm. on a number of occasions.

In the main compression plant there are also four "nitrogen" compressors which normally work in connection with the hydrogenation stalls circulating gas system.

The nitrogen was made up from the 18 Atm. let-down gas from the vapour phase stall product, some H<sub>2</sub> from the Alkacid plant, the H.O.L.O. let-down gas, the 1 Atm. gas from the Gas-washing plant, the gas from the liquid phase Distillation units, and the water-washed gas from the 1 Atm. let-down gas from the liquid phase stall product. The mixture had a hydrogen content of 30%. The H<sub>2</sub> was regulated to give 0.2 kg/m<sup>3</sup> by volume in the vapour phase stall exit gas, which corresponds to 0.4% at the inlet. The recycle was said to be carried out to save hydrogen, which is doubtful from the hydrogen content of the gas, since the H<sub>2</sub> requirement for the stalls and to break down the organic sulphur content of the propane and butane obtained from the liquid phase stalls.

The ammonia in the system was kept down by the injection of water to all the stall coolers at a total rate of 6 H<sup>2</sup>O/hr.

The ammonia contents of the circulating gases were quoted as follows:

Inlet liquid phase stalls		5.5 (120/115)	
Outlet liquid phase stalls		10	
Inlet vapour phase stalls		7.7	
Outlet vapour phase stalls		3.0	
Inlet gas		3.0	
Outlet gas		1.1	

The ammonia figures for the vapour phase stalls are very high but without temperatures of the catalyst it is difficult to comment on their probability.

They were hoping to wash the whole of the hydrogen with water in order to reduce the amount of ammonia being recycled to the vapour phase stalls but they had not got any design work in hand. They were however convinced that it would be a good thing, because it would reduce the ammonia content of the vapour phase stall circulating gas still further.

ENGINE ROOM.

For the injection of the feed to the liquid and vapour phase stalls were used injectors of the same design, each being electrically driven by variable speed motors and having a maximum capacity of 25 H<sup>2</sup>O/hr. There were four machines available for the liquid phase stalls and one for the vapour phase stalls. One of these latter machines was also available as a spare for the gas washing injectors. All these machines were fitted with gland packing of the type used by the I.C. for their paste injectors, i.e. a 6 slinged metal ring in a circular housing; a number of these sets of rings being used to make up one stuffing box.

In addition to these pumps there were three three-throw pumps and two oil-driven I.C. paste pumps, of the direct acting type, all of which had a capacity of 5 H<sup>2</sup>O/hr. each. The three-throw pumps were the original design and had given considerable trouble owing to the high speed and the curved nature of the construction and they had in general been superseded by the I.C. paste pumps which run very much more slowly. These pumps were used for the injection of the catalyst paste.

There were also other units in the existing for the injection of water, wash oil, and for other services.

#### DIETHYL AROMATIC DISTILLATION (A, C & D) Distillation).

The crude oil from the liquid phase stills is collected in tanks and mixed with the cleaned tar and the schmelzenin. This mixture is then distilled at atmospheric pressure to give an overhead boiling below 240°C and the remainder being taken off at the bottom of the tower to be fed to the liquid phase stills. The stills, of which there are three, two being on the old site and one on the new site, are mixed fractionating units with gas-fired heaters.

The old stills are fitted with bubble cap trays but the new still is fitted with bubble rings. They had made the alteration to the packing of the towers because towers packed with carbonaceous material were no longer operating satisfactorily and can be overloaded more without losing general cutting efficiency, despite the fact that at specified loads the bubble tray towers will cut better.

The new distillation unit has a capacity of 100 Tons/hr, the old ones having capacities of 75 T/hr each.

The furnaces of the stills are fitted in the main with stainless steel tubing in order to reduce the corrosion of the metal by the tar acids in the feed oil. Some of these tubes have lasted almost ten years.

The old units are fitted with a side stream take off so that the oil overhead is lighter than it would be if all the middle oil were taken overhead thereby achieving an easier separation of the water from the overhead oil. The new still is not fitted with a side stream take-off but they do not have any trouble from bad water separation, which is not surprising with an oil specific gravity of 0.960.

#### VAPOR PHASE DISTILLATION.

The vapour phase distillation units are known as the A and B units, and the various towers are numbered according to their duty.

A.1 is a tower running at 2 Atm pressure with a steam heated reboiler to stabilise the vapour phase crude oil before it is distilled in the A.2 tower.

A.2 is an atmospheric pressure tower cutting the stabilised oil from A.1 into petrol and middle oil. No gas is evolved from the top of this tower.

It is a very important part of the process to remove the  
propane and butane from the gas which is being worked up, as  
these are the most valuable products which the plant is making.

The gas is then separated at atmospheric pressure working  
at a low temperature from the vapour, these vapours being the oil to  
be separated from the gas.

The gas is then separated at 100 lb pressure stabilizing  
the gas and removing the oil and benzene.

The gas and oil are then separated by means of gas-liquid  
contactors, the gas being the lighter and the oil the heavier.

THE GAS SYSTEM

In all hydrocarbon gas there is a trace of gas in the  
propane and butane, this is a mixture of gas, the one  
relatively low in propane and butane and the other relatively  
rich in these gases.

At which certain of the gases are separated to the extent  
as considered in the section on gas utilization. The propane gases  
and the butane gases are then separated separately  
through an alkaline scrubber. In this plant they are scrubbed with  
the 10% NaOH solution. The scrubber of the plant  
is built of aluminium and they have little corrosion in this  
scrubber. The two streams then the gas absorption are mixed  
and are separated in a vertical separator.

The lean gas after removal of light ends goes to the  
Factory Gas-plant system.

The rich gas is sent to either a tower known as the P.S.  
tower which is 100 ft. diameter to have the propane and butane  
liquors removed, or another similar tower on the west side  
of the plant which is smaller.

After the removal of the heavy ends from the gas it is  
sent to the gas-liquid separator plant. Here the propane and  
butane are separated out. There is also a smaller plant under  
construction, about 50 feet high, on the west side. The residual  
gas from this plant is then sent to the final gas system.



PAGES

The ratio of Hydrogas was quoted as 4:1 on Petrol when making Petrol & Diesel Oil.  
10-12 " " when making Motor petrol.  
15-18 " " when making Aviation Petrol.  
When making Motor Petrol the ratio was: 50 Propane 50 Butane.  
" " Aviation " " " " 42 " 58 "

In 1941 the Liquid Phase stills took 45% of the fuel gas generated, the Liquid Phase stills 25%, the Vapour Phase stills 21%, the remainder going to the Claus Sulphur Plant.

RECOVERY OF H<sub>2</sub>S.

The H<sub>2</sub>S recovered from the plant gases and not recycled to the stills is sent to a Claus plant where it is converted into sulphur. Some of the sulphur is converted into sulphuric Acid but the process used was not ascertained.

RECOVERY OF WATER.

Certain of the waters draining from the plants, such as the Liquid phase distillation units and the Winkler generators are washed with tri-cresyl-phosphate to remove the phenols. These Phenols are sold to the I.C. at Larna.

ISO-BUTANE PLANT.

On the West site there is a small plant for the production of Iso-butane for export to Larna. The plant consists of two towers, the one separating Iso-butane from the Normal-butane and the other separating propane from the Iso-butane. The butane separation tower is filled with Raschig rings and is short in length. The final product had a purity of 96% Iso-butane and they did not consider the unit a very good one for the production of Iso-butane.

AS-214 INSTALLATION.

This installation was not complete and appeared to be about 70% finished. The installation comprised a Normal-butane Dehydrogenation plant, a Butane Isomerisation Plant, an Alkylation Plant and the necessary distillation units for these plants. Output figures for the plants were not obtained for the sections by interrogation as it was felt that sufficient information would be in the documents. The documents are not at present available.

The Isomerisation unit was a unit with three reactors and the usual HCl stripping tower. The catalyst to be used was Aluminium Chloride in the form of chips.

The Butane dehydrogenation plant was made up of four dehydrogenation furnaces with two regeneration furnaces. The loose sleeves at the base of the furnace tubes were not slitted as at Leuna but had long teeth at the lower end. This arrangement of slitted or serrated tubes is necessary for the separation of the catalyst and the reactants.

The Alkylation plant was made up of two six unit batteries the design being similar to that at Leuna except that the fresh acid feed eggs were independent for each reactor instead of a common one for the whole battery. The compressors were single stage electric driven reciprocating machines.

The gases from the isomerisation unit were to be distilled in a 70 tray tower, the Iso-Butane being fed to the Iso-Butane stream going to the Alkylation plant after depropanising. There were also to be two similar 70 tray towers working on the product from the Alkylation plant. The Normal Butane from these three towers was split up, one portion going to the dehydrogenation plant from whence the products went to the Alkylation plant, and the remaining Normal-Butane fed to the Isomerisation unit.

The crude Alkylate from the first distillation plant was to be sent to another unit where the remaining Normal-Butane was to be stripped out and the resulting product distilled to give the desired Alkylate for blending into Aviation Petrol.

#### D.M.S. PLANT.

This installation comprises two stalls with the attendant control room, compressors and distillation units.

One stall was almost ready for operation and the stills appeared to be in the same state of readiness. It was the hope that they would be given the opportunity to run the one unit, but they were of the opinion that the process would be uneconomic under present conditions.

Each stall consisted of six converters having a total volume of 36 M<sup>3</sup> of catalyst. The arrangement of the converters was markedly different from the arrangement seen at Leuna in that there were three converters each with a reaction volume of 5 M<sup>3</sup> followed by two of 7 M<sup>3</sup> each and the sixth converter, placed between the two interchangers, had a reaction volume of 7 M<sup>3</sup>. The stall had the

usual convection preheater where the feed to the stall was heated up to reaction temperature and the heat of reaction put in between each of the first five converters.

The injection pumps each had a capacity of 33 1/2 hr

The catalyst to be used was the normal I.C. D.H.D. catalyst except that the last converter was filled in the last half with a refining catalyst to help to hydrogenate the olefines which were made in the other converters.

The reason for the two different sizes of converter was said to be because the reaction per converter with equal sized converters was not equal and they wanted to achieve equal work per converter and thus equalize the load on the various sections of the preheater.

The plant was to be fed of the 100° to 170° C fraction of the petrol made in the main hydrogenation plant. To get this feed they had a simple column distillation plant to make the separation.

They also had a plant to distill the stall product to remove the heavy fractions formed in the process.

The aromatic content of the feed to the stall was 15% and there was 45 to 50% aromatics in the stall product, with a gas make of 25% in the stall. These figures compare favourable with the make Leistung and gas rate at Louisa, if the average feed to the stall stalls in 20 1/2 hr, which feed rate is necessary for the D.H.D. units to aromatise the whole of the aviation petrol make of the stall plant.

EXPERIMENTAL USE OF THE D.H.D. PLANT

Early in the war experiments were made with a small plant to extract the oil from the solid residue they were getting in the tar plant. The plant operated for a period but was destroyed by bombing.

The plant consisted of a number of tanks, pumps, and two filter presses of the usual design.

The flyash residue, containing 50% oil 40% solids and 2% water, was mixed with an equal weight of Schwalbenmin, 130° F.M.P. and the mixture stirred. 5 tons of this mixture were then heated to 80-90° and pumped into the filter press. The filling of the press lasted

100133

about 1/2 hr. The press was then flushed out with 20-25 tons of methanol over a period of two hours, the wash oil having been heated to 80-90°. After this washing the press was started with 150 lbs/sq. in. steam for about 30 minutes, the amount of steam being about 1/2 ton.

All the oil from the press was sent to a settling tank where the water was separated off and the oil from the tank sent to the liquid plant distillation plants. The solid residue had 2% oil in it.

They had tried to extract the residues from bituminous coal liquid residues and had achieved some success but the details are only available in the laboratory.

LABORATORY TESTS

From plant records it was noted that the plant had employed 70 staff, of whom 10 were included in the operating office staff for the control of the engineering office, and 250 workers when the feed to the plant had been 200,000 tons/yr and the make of finished products 222,000 tons/yr.

They estimated that to reproduce the conditions with the 1,000 and 1,500 installations in existence they would require 3,000 men.

They had been employing 4,500 men recently because of hot change and because of the construction programme. The men had been matched from one class of work to the other according to the need.

PLANT COSTS

The following costs for raw materials were given:-
Steam at 1.5 lbs. pressure per sq. in. . . . . 1.20 lbs/ton.
Water at 4.0 lbs. pressure per sq. in. . . . . 0.20 lbs/ton.
Electricity per kWh. . . . . 0.05 lbs/ton.
Gas from 100% methanol . . . . . 62.50 lbs/ton.
Gas from other sources . . . . . 78 to 95 lbs/ton.

The plant was said to require about 2,000 tons/hr of fresh water but not all this was for cooling purposes. They did not want to go in for cooling towers and this quantity of water was the maximum they could draw from the local river without prejudicing the water supply to other plants in the area.

The following descriptions of materials were also given based on a ton of feed to the plant.

	Motor Petrol	Motor Petrol.	Aviation Petrol.
	Miscel Oil.		
H.C. Steam to the engine.	0.3 to 0.35	- Depending mainly on the weather.	
H.C. Steam 1.5 lbs pressure.	1.8 to 3.7	- Depending on the outside temp.	
Gas Oil.	7.0 to 9.00		
Electricity K. W.	350	1125	1100
Hydrogen 1 <sup>st</sup>	505	720	24.0
Hydrogen 2 <sup>nd</sup>	40 to 60	- Depending on the weather.	
Miscel - Petrol	70	75	68

GENERAL COSTS

Mr. Lachner gave information concerning the capital cost of the plant based on 1935 prices and this is given in the following table.

GENERAL COSTS AND OTHER EXPENSES OF REFINERY

1955 Basis

DESCRIPTION AND QUANTITY	IS CHEMICAL EQUIPMENT	CIVIL STRUCTURES	TOTAL
Oxygen production	2 800 000	600 000	3 400 000
3 Sulfur Generators	2 700 000	300 000	3 000 000
Alkylid	400 000	100 000	500 000
Oxide boxes	1 000 000	300 000	1 300 000
60 Conversion	1 600 000	200 000	1 800 000
7 Compressors	3 000 000	400 000	3 400 000
600 Removal	1 000 000	200 000	1 200 000
60 Removal	800 000	200 000	1 000 000
Refrigerator	700 000	100 000	800 000
<b>I. Total Hydrogen production</b>	<b>15 000 000</b>	<b>2 400 000</b>	<b>16 400 000</b>
3 Liquid phase stills	4 900 000	500 000	5 400 000
4 Vapour phase stills	7 000 000	300 000	7 300 000
Catalyst handling & H.C.J.O.	550 000	100 000	650 000
Circulation	600 000	1 000 000	1 600 000
Injection	700 000		700 000
Gas washing	400 000	50 000	450 000
Hydrogen compressors	450 000	250 000	700 000
<b>II. Total Conversion</b>	<b>16 400 000</b>	<b>2 700 000</b>	<b>17 100 000</b>
For Pulpals	650 000	250 000	900 000
Intermediate Oil storage	550 000	200 000	750 000
3 Liquid phase stills	2 300 000	600 000	2 900 000
2 Vapour phase stills	1 900 000	500 000	2 400 000
Stabilisation and light-end Recovery	200 000	50 000	250 000
Petrol wash	150 000	50 000	200 000
Propane Butane separation	700 000	200 000	900 000
Filling Station	100 000	200 000	300 000
Finished product storage	850 000	350 000	1 200 000
<b>III. Total Refinery</b>	<b>7 350 000</b>	<b>2 400 000</b>	<b>9 750 000</b>
Carried forward	35 750 000	7 500 000	43 250 000

1961 36

	MECHANICAL SECTION	CIVIL SECTION	TOTAL
Amount forward	35 750 000	7 500 000	43 250 000
Hydrogenation Gas Sulphur Removal Plant	300 000	100 000	400 000
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Plant	200 000	50 000	250 000
IV. Total by-products.	500 000	150 000	650 000
Ammonia Removal	600 000	200 000	800 000
Waste Water Treatment	300 000	800 000	1 100 000
V. Total Waste Water Treatment	900 000	1 000 000	1 900 000
Pipe Bridges with Pipes	4 000 000	2 000 000	6 000 000
Underground Pipes	1 500 000	600 000	2 100 000
Cooling Towers	300 000	300 000	600 000
VI. Total Piping	5 800 000	2 900 000	8 700 000
Electric Cable Network	700 000	150 000	850 000
Substations	650 000	200 000	850 000
Alarms & Signalling Installations	100 000	200 000	300 000
VII. Total Electric	1 450 000	550 000	2 000 000
Railways & Equipment	500 000	700 000	1 200 000
Gas	400 000	000 000	400 000
Liquefied Gas Cylinders	1 000 000	000 000	1 000 000
Roads	000 000	1 200 000	1 200 000
Wear & Tears	000 000	300 000	300 000
Wastebags & Stoves	3 000 000	500 000	3 500 000
Offices, Laboratories etc.	000 000	600 000	600 000
Land	000 000	300 000	300 000
Site Development	000 000	400 000	400 000
Fire Services	200 000	100 000	300 000
Power Station	150 000	50 000	200 000
Inventory materials & Plant	3 000 000	000 000	3 000 000
etc. catalyst charge	3 000 000	000 000	3 000 000
VIII. Total - General	14 050 000	4 150 000	18 200 000
<b>GRAND TOTAL</b>	<b>55 050 000</b>	<b>16 150 000</b>	<b>71 200 000</b>

For estimation purposes on the basis of 1933 costs he used 1000 lbs per ton of steel in the finished plant on the assumption that the plant did not include power generation, steam production, water supply. For erection purposes he said that an allowance would be required for every 0.5% of the estimated total capital cost.

Substitution of brick columns:

At Bollen the use of concrete for pipe bridges instead of the usual steel was noticed. A photograph of one of these was taken and copies are attached. At other factories signs had been seen of the substitution of brick columns for steel but the spans themselves had always been made of steel. On the new west site the form of the supporting structure was made up of concrete in the form of a stable member to which were attached the concrete spans and beams. The only comment the engineer had to make about the use of brick columns was that there was to be the effect that they would not stand up to the effect of bombs. If a bomb fell near by the shock, as they would expect, jolted the concrete and attached it with the usual result that any beams which carried them and let the pipes on them sag. See Mr. V. for photograph.

TOTAL

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000

250 000

400 000



**FIGURE I**  
**ROUGH MAIN SITE PLAN**  
**BRABAG - WERK BOILEN**

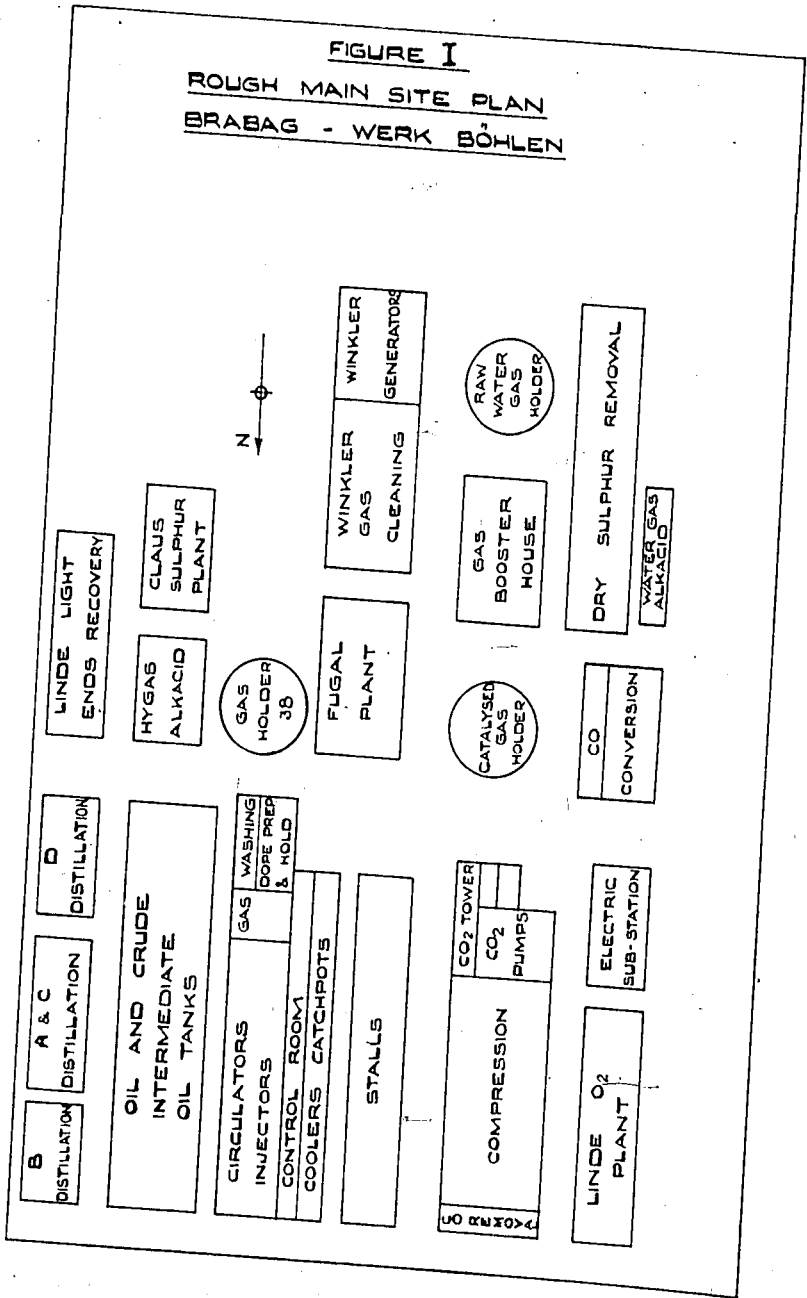


FIGURE II  
ROUGH WEST SITE PLAN  
BRABAG - WERK BOHLEN

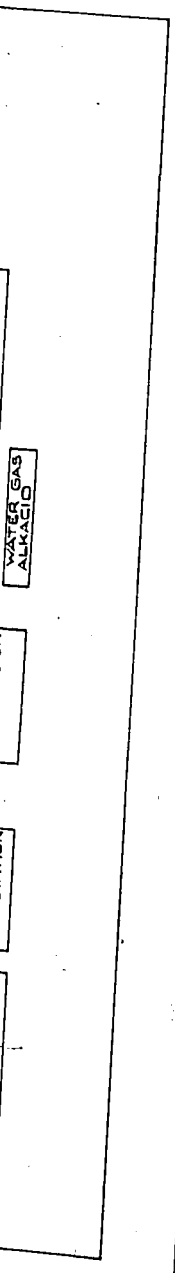
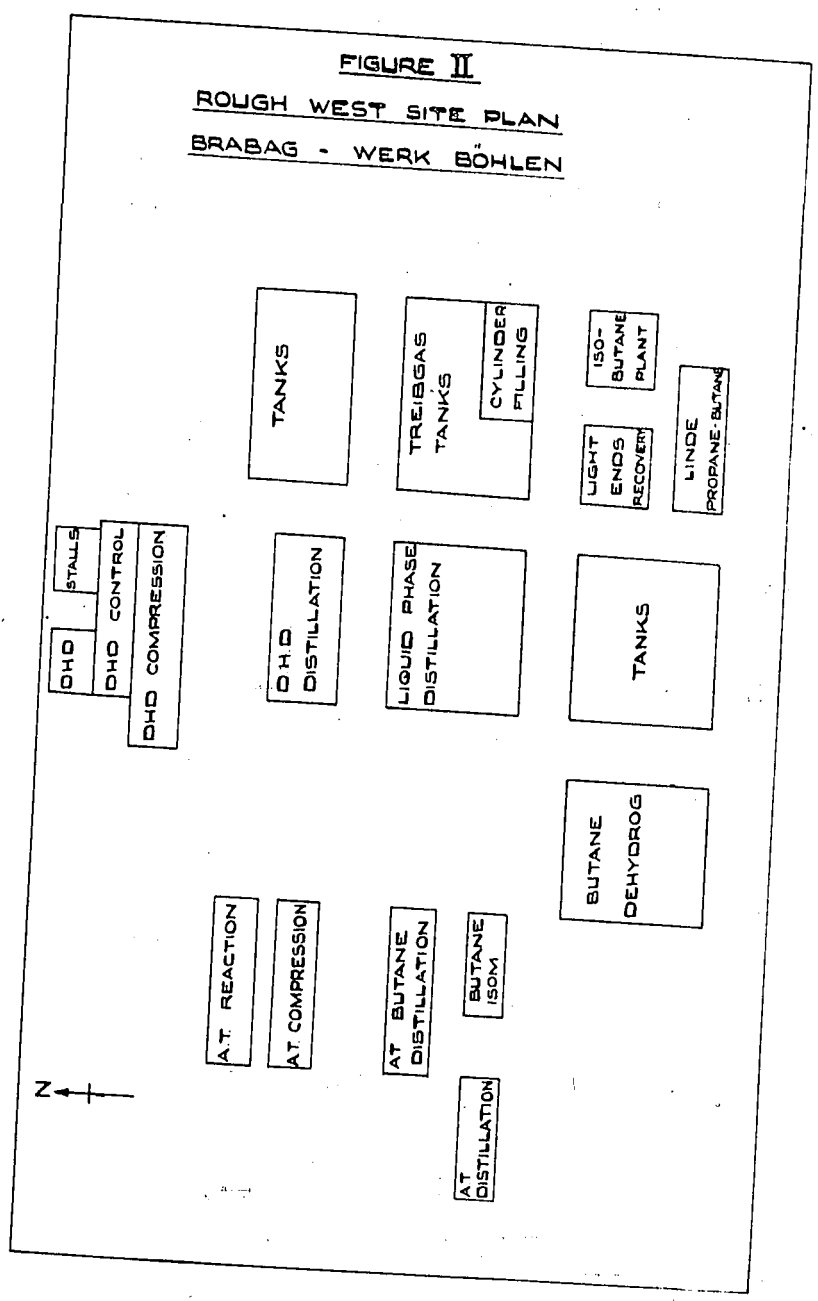


FIG. III

LIQUID PHASE FLOWSHEET - 1943

ALL FIGURES IN TONNES.

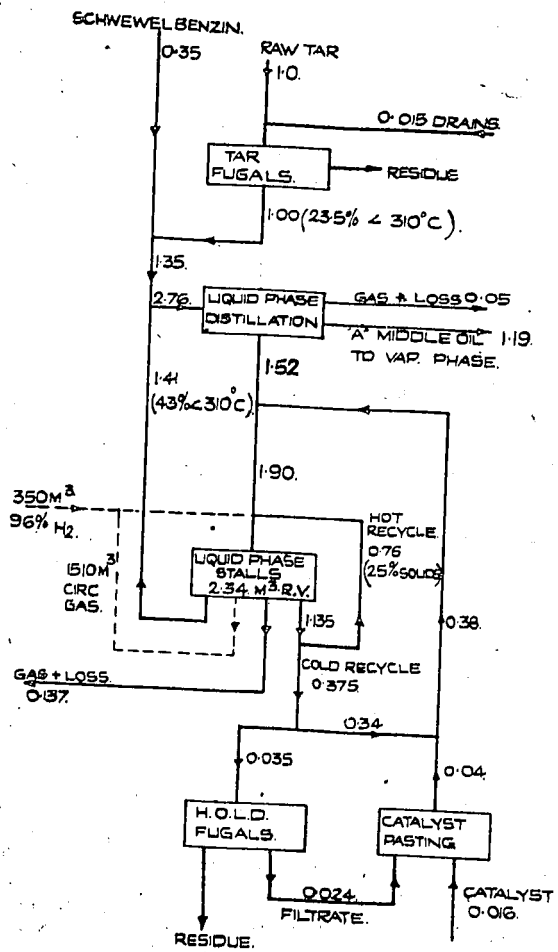
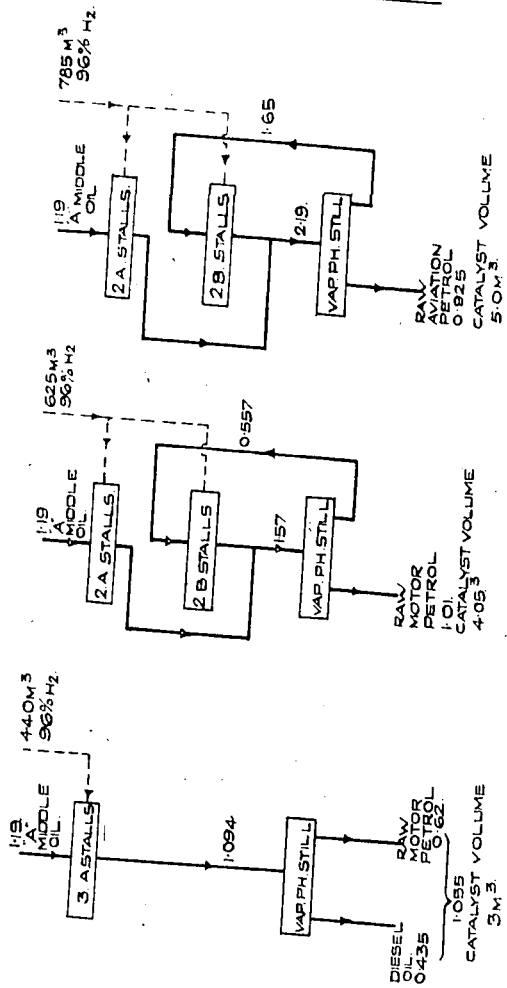


FIG IV

VAPOUR PHASE HYDROGENATION - 1943

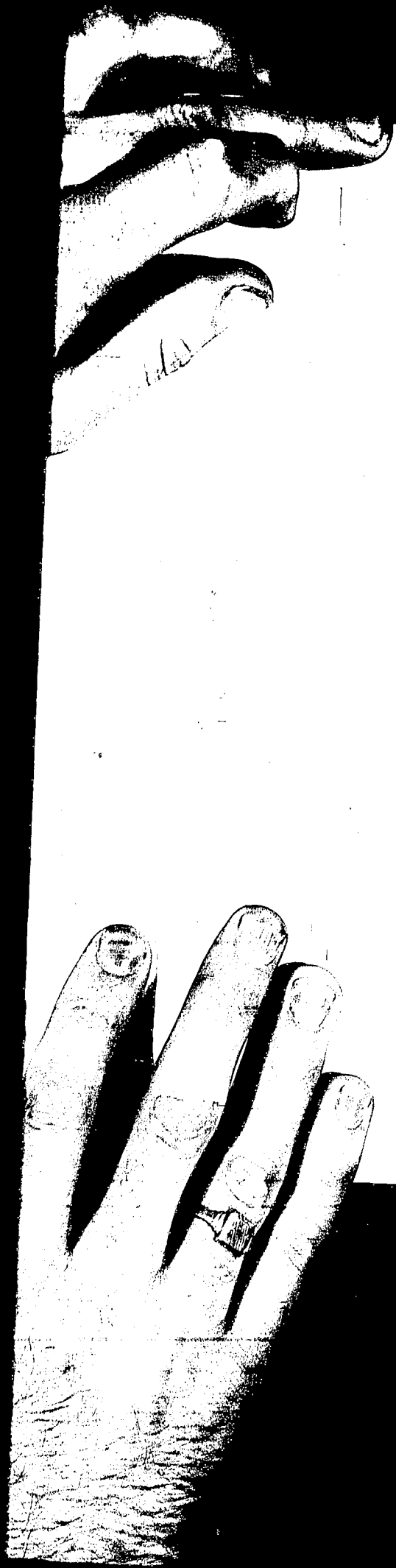
ALL FIGURES IN TONNES.





COLLEGE FIRE ADGES.  
PHILIP.

SCIENCE FOR AIDERS.  
CHIL.





.....

LUFTFAHRTFORSCHUNGSANSTALT  
HERMANN GOERING - BRAUNSCHWEIG

REPORT OF FUELS & LUBRICANTS  
TEAMS VISIT MAY 6~~th~~/11~~th~~ 1945.

REPORTED BY:

LT. COL. H.C. TETT, M.O.F.F. & P.

TARGET No. 30/1.05.

(7 ITEMS.)



0LT  
14

LUFTFAHRTFORSCHUNGSANSTALT  
HERMANN GOERING - BRAUNSCHWEIG

REPORT OF FUELS & LUBRICANTS  
TEAMS VISIT MAY 6~~2~~/11~~2~~ 1945.

REPORTED BY:

LT. COL. H. C. TETT, M. O. F. & P.

TARGET No. 30/1.05.

(7 ITEMS.)

SERIES G.

Reel.      Target No.  
8            30/1.05.

LUFTFAHRTFORSCHUNGSANSTALT HERMANN GOERING - BRAUNSCHWEIG.

Report of Fuels & Lubricants Teams Visit May 6th/11th 1945.

Reported by:

Lt.Col.H.C.Tett, Ministry of Fuel and Power.

1. Object of Visit.
2. Summary.
3. Inspection of Engine Institute Laboratories
4. Interrogation of Professor E.Schmidt.
5. Photographs.
6. Appendix A. Map of Institute.
7. Appendix B. Detailed Interrogation of Professor O.Lutz.

SERIES G.

Reel.      Target No.  
8            30/1.65.

LUFTFAHRTFORSCHUNGSANSTALT HERMANN GOERING - BRAUNSCHWEIG.

Report of Fuels & Lubricants Teams Visit May 6th/11th 1945.

Reported by:

Lt.Col.H.C.Tett, Ministry of Fuel and Power.

1. Object of Visit.
2. Summary.
3. Inspection of Engine Institute Laboratories
4. Interrogation of Professor E.Schmidt.
5. Photographs.
6. Appendix A. Map of Institute.
7. Appendix B. Detailed Interrogation of Professor C.Lutz.

~~RESTRICTED~~

Luftfahrtforschungsanstalt - Braunschweig. C.I.O.S.  
Black List  
Item 30/1.05.

Reported by

Lt. Col. H.C. Tott, M. of P.F.

C.I.O.S. Black List Item 30  
Fuels and Lubricants

COMBINED INTELLIGENCE OBJECTIVES SUB-COMMITTEE  
G-2 Division, SHARP (Rear) APO 413.

~~SECRET~~  
RESTRICTED

<u>Subject</u>	<u>Page No.</u>
OBJECT OF VISIT.....	3.
SUMMARY.....	3 & 4.
INSPECTION OF ENGINE INSTITUTE LABORATORIES	5 to 9.
INTERROGATION OF PROFESSOR E. SCHMIDT.....	10 to 15.
PHOTOGRAPHS.....	16 to 22.
APPENDIX A. MAP OF INSTITUTE.....	23.
APPENDIX B. DETAILED INTERROGATION OF PROFESSOR O. LUTZ.	24 to 30.

RESTRICTED

~~SECRET~~

Luftfahrtforschungsanstalt Hermann Göring - Braunschweig

C.I.C.S. Target No: 39/1.05.  
Name of Field Team Leader: Lt. Col. H.C. Tett.  
Agencies Represented: Ministry of Fuel and Power,  
U.S.S.T.A.F.

Report of Fuels and Lubricants team

Date of visit May 6th/11th 1945.

Lt. Col. H.C. Tett U.S.S.T.A.F.  
Major E.L. Bass " "  
Major L. Rosenfeld " "  
Mr. G.P. Barnard U.S.S.T.A.F.

OBJECT OF VISIT

To investigate research activities on fuels and lubricants.

SUMMARY

The Institute comprises four main sections dealing with Weapons, Aerodynamics, Structures and Engines. The present report deals only with the Engine section.

The target did not yield as much information as was hoped on practical problems concerning fuels and lubricants.

Such work of a practical nature on rocket propulsion was proceeding and has presumably been reported by other investigators.

The engine section of the institute was largely engaged on rather fundamental studies of combustion and thermodynamics and the work would obviously repay detailed investigation by scientists interested in these fields.

Documents were being collected and arranged by the staff in charge of the target and when this work is complete, valuable information may be obtained particularly regarding reports from outside sources. No documents were evacuated or studied by the present team.

The engine Institute was most lavishly built and equipped but in our opinion was understaffed and the direction of the work was insufficiently related to problems of real practical importance under war conditions.

INSPECTION OF ENGINE INSTITUTE

The Engine Section is located in the northeast corner of the Institute and comprises an area of approximately 100 acres. Its exact location is shown in the map Appendix A. The buildings are of good quality, brick and masonry construction, and are all located within the heavily wooded area. The buildings are well separated and (with one exception) are about 100 yards apart, connected by bituminous surface roads. A summary of the installation is given in the following table in which the various buildings are listed in accordance with the numbering system employed at the institute and in order of their apparent position in the operation of the engine research division.

<u>Building.</u>	<u>Principal Use.</u>	<u>Overall Approximate Dimensions.</u>	<u>Approximate Gross Area.</u>
M-12	Chemical & Combustion Research	40' x 240' (3½ floors)	35,000 Sq.ft.
M-11	Physical Research	40' x 200' (3½ floors)	28,000 "
M-1	Power Plant Research	30' x 220' (1½ floors)	10,000 "
M-5	Power Plant Research	100' x 200' (1½ floors)	30,000 "
M-5a	Power Plant Research	46' x 150'	8,000 "
M-9	Machine Shop	120' x 180'	17,000 "
M-6	Electrical Substation.	60' x 140'	8,400 "
Total Gross Building Area (Approximately)			<u>137,000 "</u>

COMMENTS ON INDIVIDUAL BUILDINGS

Building M-12

This building, having approximately 20,000 square feet of floor space available for experimental purposes, serves as the head of the Engine Division. It contains the Offices of Professor Schmidt who directed the division,



and was otherwise devoted largely to chemical and physical laboratory work. It also contained the offices of the principal section heads reporting directly to Professor Schmidt. In addition to the chemical research work, elaborate installations were provided for combustion research with open and closed tubes and for ionization studies. A part of the flame tube installation comprised an outdoor installation of tubes ranging from about 4 inches to 16 inches in diameter and nearly 100 yards long. These are shown in photographs 1 and 2.

#### Building B-11.

Building B-11, having approximately 16,000 square feet of floor area available for experimental purposes, is connected with building B-12 by a two storey passage-way approximately 100 feet long and which contains an elaborate switch board for directing electric current of a wide variety of voltages and types to the individual rooms. The work conducted in building B-11 is apparently an extension of that being carried out in building B-12 with rather more emphasis upon physical facilities, shops, and both light machine work and instrument construction. At one end, this building contains a sizeable dynamometer laboratory with provisions for installation of several full scale single cylinder engines. At the time of the inspection, two Daimler-Benz twin cylinder units were installed, each being operated as a single cylinder engine. One was evidently being employed for research on oxidation processes during compression, while the other was being used for measurement of piston temperatures. The thermocouple installations employed were expertly carried out as is shown by the accompanying photographs 3, 4 and 5. A small wind tunnel and several low pressure and low temperature chambers were installed in the basements of Building B-11 and B-12.

#### Building B-1.

Building B-1 was L shaped with one leg being approximately 30 x 140 feet while the other was about 30 x 100 feet. It was primarily a large scale dynamometer laboratory in which, however, only a relatively small part of the facilities were in active use. A BMW 003 turbine jet power plant was installed on a thrust stand on one of the engine beds. This is shown in photograph 6. The unit had not been run and there was no evidence of special installation or instrumentation in connection with it. The other full scale bed contained an old type BMW vertical "V" liquid cooled engines. (Professor Schmidt stated that both power plants were installed merely for orientation of research personnel and were not to be used in connection with any particular experimental work.) Other engines were located in the

building including one C-8, one P-1, one 1-litre I.V.L. and two large I.V.L. variable compression engines. Apparently, none of this equipment had been recently used.

#### Building M-5.

Building M-5 is a large engine test laboratory containing six full scale test beds and much auxiliary equipment for operating engines under altitude conditions. (Photograph 7). The latter consists of sufficient cooling and exhaust capacity to handle the intake air and the exhaust of 4500 brake horse power (for piston engines). At the time of inspection, three of the test beds had apparently been converted for use with turbine and jet experiments, the nature of which was not obvious although one appeared to have been modified for work upon the combustion tubes from such units as the JU 804. On one of the test beds, an obsolete model of a single stage DB 603 engine was installed. (Photograph 8). The engine was new and unused and several spares, also unused, were available. Nothing about the installation indicated that tests of any specific nature were to be run. One of the test beds was fitted with a water brake capable of absorbing 1500 HP and 3000 RPM. Another test bed was apparently in use for low temperature oil cooler tests. At another location, a small experimental 4 stage axial flow turbine had been installed, but obviously had not been run.

#### Building M-5a.

This building was in process of construction. It contained several small test cells and a large cold room; the internal dimensions of which were approximately 40' by 25' by about 18 feet in height. It contained no experimental installations. Of the auxiliary equipment, only the excavations for compressor foundations had been completed.

#### Building M-9.

This building was in use as a general machine shop. It contained a sizeable installation of general purpose shop tools of good quality, but no special tools or equipment for work of high precision. Equipment for grinding operations was noticeably lacking. It appeared that, while a large amount of work was going on in this building, it was of the simple machine shop variety.

#### Building M-6.

This was primarily an electric sub-station, principally comprising motor generator sets, converters, and switch gear for supplying the engine research division with the great variety of electric current apparently desired.

#### ADDITIONAL FACILITIES.

Adjacent to Building M-5a were located components of a

large pressure chamber (Photographs 9 and 10) which, according to information received from Professor Schmidt, were to have been installed in order to provide a test cell which could be exhausted and refrigerated to simulate altitude conditions. According to the described plans, the unit would have been installed outdoors, probably adjacent to Building M-5a and drawing upon the projected refrigeration facilities of that building for its services. While there were no definite indications as to its probable ultimate use, it seems possible that it was projected for use in connection with turbine combustion studies. Buildings M-10, M-8, and J-2 were respectively a storage shed for surplus materials, a cooling tower, and water pumping station. Building M-14, apparently in use as a guard house, was apparently the gate-keeper's lodge.

#### GENERAL COMMENTS.

The engine research division was being operated by about 40 qualified research workers with the aid of about 100 technical and non-technical assistants. On this basis and with the usable floor area available, the facilities could scarcely have been efficiently employed (for work of this type, an average of 300 to 400 square feet per technical worker usually provides ample space). To all appearances, each individual worker had been given virtually unlimited quantities of apparatus as individual laboratories were heavily stocked with all of the supplies needed by the particular worker. There appeared to be no general apparatus or supply stock rooms with the possible exception of the machine shop. Most of the equipment consisted of general purpose instruments of the type to be found in the various manufacturers' catalogues. Of these, a great profusion had been provided. A significant example was offered by the gauging shop which was generously stocked with micrometers, dial indicators, and measuring implements of the conventional variety, but which contained no facilities for the precision measurement of internal dimensions (particularly cylinder bores) nor any equipment for determining surface finish. Metallographic facilities were conspicuously absent. In general, the impression received was that of an overgrown university laboratory rather than one developed for directed research in a specialized field.

TEMPERATURE MEASUREMENT ON FAIRBANKS-BENZ PISTON  
DESCRIPTION OF PISTON FITTED WITH THERMOCOUPLES EVACUATED FROM  
BUILDING M-11.

The method adopted is based on the intermittent contact principle and in this case enables temperatures to be measured independently and simultaneously at the ring belt and crown area, the E.M.F. from each couple being recorded at the bottom dead centre.

The piston contacts are mounted on two steel blocks set at 90° to each other on the thrust or anti-thrust side at the base of the piston skirt. Eight contacts mounted in two steps of four are connected to the leads from the four thermocouples allocated to each block (see photographs 3, 4, and 5). The thermocouple wires are insulated with mica and peened into grooves which run either parallel to the under crown cooling fins or radially to the piston walls, then vertically to two circumferential grooves near the base of the skirt. The two wires to each couple are peened into separate nipples 3/16" apart.

Two blocks, each with eight laminated spring contacts, are fitted to the base of the cylinder bore; these contacts, connect with the piston contacts at the bottom of the piston travel (possibly for 30° crank angle).

The eight couples are situated, one each behind the first and second ring grooves (thrust and anti-thrust), one above each gudgeon pin boss, one at the centre of the piston crown, and one to correspond with the exhaust valve area.

RESTRICTED

INTERROGATION OF PROFESSOR E. SCHMIDT - 9TH MAY, 1945.

(Lt. Col. H. C. Tett, Ministry of Fuel & Power.  
Interrogators (Major R. S. Bass, " " " "  
(Major L. Rosenfeld, " " " "  
(Mr. D. P. Barnard, F.S. S.A.F.)

Prof. E. Schmidt.

Professor Schmidt was head of the Engine Institute and professor of thermo-dynamics at the Technical High School, Brunswick. His technical staff consisted of about 100, of which only 40 were fully qualified. He said that more could be usefully employed but it was difficult to get them particularly in wartime, although they were never above 120 before the war. Prof. Schmidt said he thought the size of the Institute was about on the limit for one man to manage. If larger, the head would become organizational only and could not work scientifically. The Engine Institute co-operated with other laboratories e.g. D.V.L. Stuttgart, L.S. Ludwigshafen. Professor Schmidt was also chairman of the Combustion Panel of the Academy of Air Force Research, of which Dr. von Holt of Messag and others were members.

On the question of co-operation with other laboratories and the activities of the Combustion Panel mentioned above, Prof. Schmidt did not appear anxious to volunteer much information. The Engine Institute was engaged almost entirely on fundamental research as distinct from the D.V.L. which Schmidt referred to as undertaking the more "technical" work.

The main activities of the principal assistants to Schmidt were given as follows:-

(I) THERMO-DYNAMICS - Prof. Eckert.

This Department covered the thermo-dynamics of piston engines, internal combustion turbines, blade design and compressors. The interferometer was used largely in the observation of flow and blade shape. The interference technique could only be used with parallel blades and studies were conducted on single stage turbines with divergent blades using pitot tubes. The high velocity wind tunnel was also used in this work. This Department was concerned with the use of ceramic blades for turbines and the improving of the thermal efficiency of the turbine by the use of heat exchangers to recover exhaust heat.

Generally speaking, the fundamental work of the Institute was passed on through a central organization (the Z.W.B.) to the manufacturing firms but it was not known at Brunswick to what extent these used the information given to them.

In particular reference to the use of heat exchangers in conjunction with turbine driven propellers, Prof. Schmidt

was not aware of the extent of the development which had taken place in industry. The main interest of this Department was on internal combustion turbines.

(II) HEAT TRANSFER - Dr. Hilpert.

This Department had lately been concerning itself very largely with oil cooler and engine coolant designs, particularly at low atmospheric temperatures and pressures. Apparently very severe trouble had been encountered with the oil coolers of certain Heinkels at altitude and work had been directed to show how the air flow should be controlled to equalize cooling throughout the cooler to prevent "freezing" of the oil in certain sections of the cooler.

A certain amount of work had been done on the heat transfer of air-cooled cylinders, design of finning, etc. A design had been worked out for the use of aluminium fins in steel cylinders. This work was to be continued in the new cold room (12 metres x 5 metres x 5 metres). The work of this Department also covered performance of motor vehicles and field generators at low temperatures, particularly those using wood charcoal as fuel with which considerable trouble had been experienced in the Russian campaign.

A certain amount of work on tank engines was also done but this was mostly carried out by the manufacturing firms and the Wehrmacht. Anti-aircraft gun lubrication was also studied. An altitude chamber was in the course of construction for use in the Engine Institute. This chamber had previously been installed at the D.V.L. but was damaged by an internal explosion, but it was considered that it could be used for a certain amount of work at Brunswick not involving the running of engines.

Incidentally, Prof. Schmidt referred to the fact that he was the patentee of Alfol.

(III) COMBUSTION - Dr. Sellschopp.

The latest problem to be studied in this Department was combustion at low pressures particularly re-starting of turbine engines at altitude. Most of this work was carried out in glass laboratory apparatus and it had been shown that size was an important factor - the smaller the surface volume ratio the less difficult it was to start. Efficient combustion is difficult to attain at pressures lower than one third of an atmosphere. Detonation was studied in tubes using Schlieren photography. Spark illumination was used up to 24,000 per second from which the detonation waves could be clearly studied. Propane and air and propane oxygen mixtures were used. However, other hydrocarbons were to be studied later.

In the tube experiments flame velocity was measured by the ionisation method. The normal rate of burning was around 10 metres per second but this increases to 2,000 metres per second under detonating conditions. The mechanism of ignition was also studied in this Department by ultra-violet and visible spectroscopy.

A further problem was that of measuring piston temperatures for which an apparatus had been designed to run in a Daimler-Benz engine. The urge for this work apparently came from piston troubles in the Daimler-Benz due to excessive crown temperatures. Eight thermocouples per piston were used making contact with fixed spring loaded contacts at the bottom of the stroke.

The use of added oxygen and  $N_2O$  to boost engine powers was also studied in this department and Schmidt volunteered the information that for high altitude performance he preferred the two-stage blower which had been seriously neglected in Germany. Boosting by means of  $N_2O$  and  $O_2$  was of too short duration. Work on water injection for boosting power was done at the D.V.L.

#### (IV) CHEMICAL RESEARCH - Dr. Edse.

This work was in charge of Dr. Edse, who had recently succeeded Dr. Dankahler, who committed suicide in February. Building 112 served as the Chemical Division Headquarters. In it was carried out work on the mechanism of combustion including studies of the intermediate stages of oxidation, the formation of formaldehydes, etc. This work was done in tubes, burners and a single cylinder engine operated without ignition. Some of this work was published by Mulner about two years ago. Work was also carried out on condensation at altitude in an effort to reduce vapor trails left by aircraft engines. It was found that the saturation pressure must be no greater than one-fourth of the total air pressure if such trails are to be avoided. (Interesting, but scarcely a solution - F.P.D.) It was also noted that fuels of high carbon-hydrogen ratio showed less tendency to form vapor trails. Professor Schmidt has written an article on this subject. The Division also conducted work on rocket propellants with particular attention to the use of ammonium nitrate instead of cellulose nitrate. Studies have been made on pulsating rocket combustion particularly at low pressures, in which conditions combustion is incomplete. Catalysts were being studied but no results had yet been obtained. This work was all being conducted for the Army on ordnance rockets and was located in a small concrete

building north of building -12. Other work was also being conducted on combustion equilibria.

#### GENERAL.

##### Engine Performance at Altitude.

High altitude studies were being carried out in an installation capable of supplying 4 kg. per second of air at conditions corresponding to 12 km. altitude. For this operation the air was compressed, dried, expanded through a turbine near the engine, and then delivered to the engine at the appropriate temperature and pressure. The engine exhaust was then passed through coolers and finally exhausted through compressors which boosted it to atmospheric pressure. Experiments have been conducted with the D.M. 603 engine but no results have been obtained due to breaking connecting rods and the fact that the supercharger provided was not balanced to engine requirements.

##### DETONATION.

Detonation of single-cylinder units had been studied by means of a Quartz indicator which had been developed in the Engine Institute.

No full-scale detonation work was done at the Engine Institute but the Quartz indicator they had developed had been sent to engine firms. No results had been returned. Schmidt expressed the view that their indicator would be perfectly suitable for flight work. An electric rev. counter for high velocities had also been developed using two induction coils mounted on a torsion shaft. Dr. Gahlke had done this instrumentation work.

##### FUEL TESTING.

Routine examination of fuels were always carried out for Brunswick by the D.V.L. which was the main fuel testing laboratory in Germany. Schmidt had no knowledge of the recent whereabouts of von Philippovitch. The problem of getting fuel of constant quality for experimental purposes was very difficult indeed due to manufacturing and transport difficulties as well as the lack of tankage in Germany. Schmidt said that the high aromatic content used in some German fuels was simply to give improved octane number because aromatics were easier for them to manufacture than iso-paraffins.

##### INTERCAL COMBUSTION TURBINES.

The B.M.W. 003 engine was installed and was practically



ready to run. There is no specific programme for this engine but it was installed to get the staff acquainted with its operation.

On the question of fuels for internal combustion turbines, Schmidt said that the fact that they could use high sulphur and unsaturated materials made them very attractive in Germany from the fuel supply angle. The turbulence in the combustion chambers was extremely important and this had been studied and reports issued on it. Schmidt regarded the possible use of Diesel fuel in internal combustion turbines as being somewhat unlikely due to the larger size of the fuel droplets from the injector. He said he had heard claims for the use of coal dust in internal combustion turbines but he personally did not believe this possible, based on his boiler experience. He did not believe there was any future in the use of dopes in internal combustion turbine fuels as these would only increase velocities in static air by three to four metres per second, whereas more than 100 times this figure was required and correct turbulence was the real answer i.e. the design of the combustion chamber was the critical point and much more important than fuel changes or the use of dopes.

Schmidt was also working on a four-stage axial flow turbine with internal cooling of the blades. Water was used for this purpose and the steam expanded in subsequent stages. Examples of this turbine were available in the Works but it was not intended for aviation. It was thought that R.A.F. were interested in it. Most of the single combustion chamber work for internal combustion turbines was done by the firms Messerschmitt, Heinkel, Hirth, S.M.E., Junkers. Schmidt did not believe in the use of small combustion chambers for this purpose.

SUMMARY INFORMATION REPORT OF O. LUTZ - 9/5/1945.

Prof. O. Lutz.

Although Lutz worked chiefly in the engine department, his main interest was in the building of the new Munich Institute which was to concentrate on jets, turbines and rockets. Lutz was a teacher at the Technical High School, Brunswick on aircraft engines and also technical adviser to the Füssing Wag. This organization was concerned with the development of certain of Lutz's patents e.g. G.I and a free piston engine operating as a gas generator for a turbine for long-range aircraft.

In connection with the new Munich Institute, this was originally intended to employ 250 people but it was now down to about a quarter of the original size and would

employ 40 to 50 people.

Lutz also referred to a new wind tunnel of 100,000 h.p. capacity and 8 metres diameter. No altitude or pressure control was to be provided and water power was to be used. Location was 50 kms. west of Innsbruck at Götztan. This project was not quite ready and Prof. Peters of Munich was to be in charge.

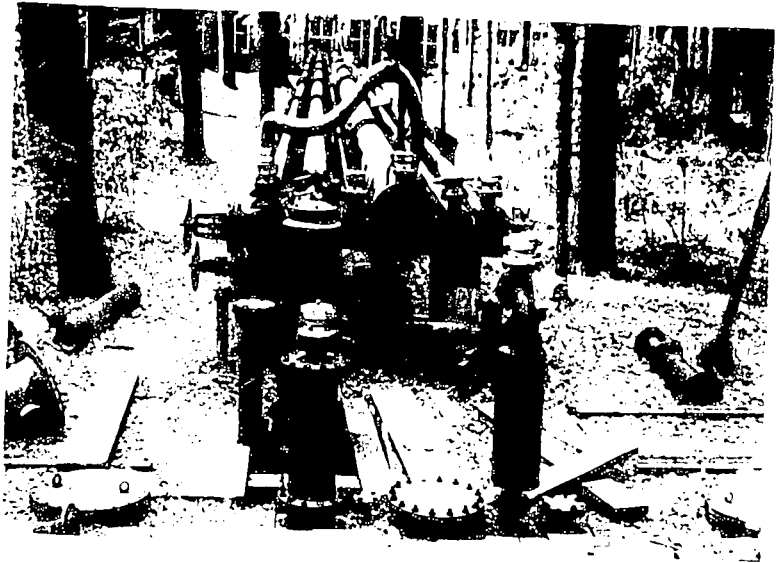
Lutz was mainly interested in thermo-dynamics and his main interests lately appear to have been on the internal combustion turbines and rockets. He regarded the G.M.I. as having considerable possibilities even in the two-stage supercharged piston engines. He said that after the transfer of the rocket and internal combustion turbine research to Munich, the Brunswick Institute would concern themselves more with the fuel side but no programme had been drawn up for this work. A great deal of their work recently, however, had been in the direction of finding substitutes for rocket fuels due to the increasingly difficult supply situation.

Lutz said that they had no lubrication difficulties with the internal combustion turbines they were using; that the blade material was still the limiting factor and he was responsible for a good deal of the work done on ceramic blades.

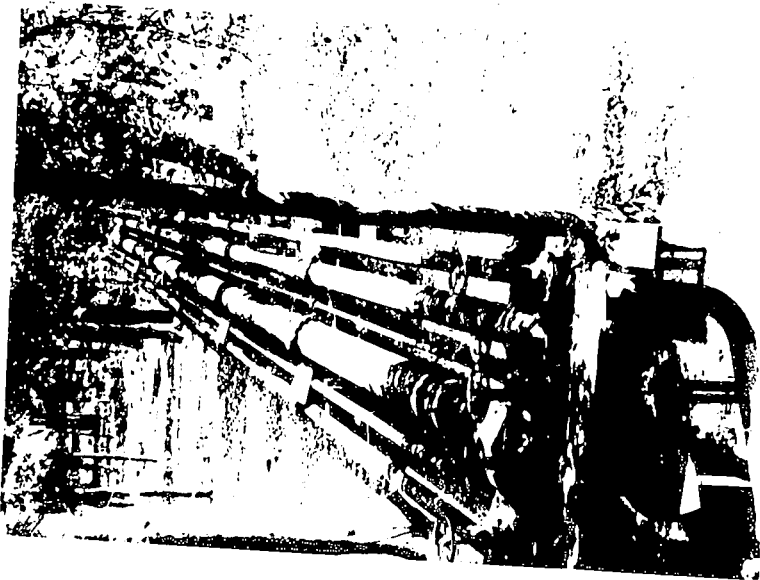
Lutz was in touch with the following:

- The altitude research station at Kranienburg.
- Lt. Col. Kreyner was chief of development for the German Air Force at the German Air Ministry.
- Professor Fennner at Stuttgart.
- Professor Prandtl at Göttingen.
- F.R.G. Darmstadt.
- F.R.G. Arnring.

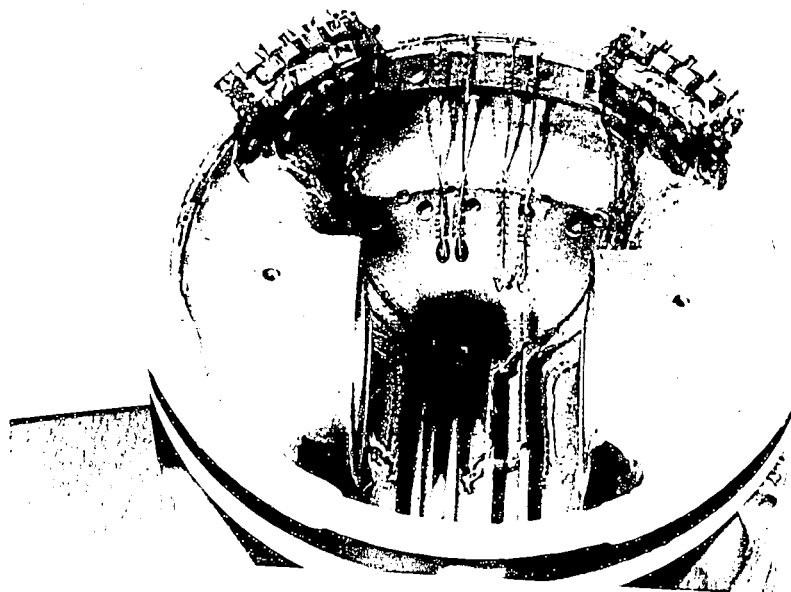
A full record of the interrogation of Lutz is given in Appendix B since some of the information on rocket and turbine development may be of interest to other C.I.O.S. Groups.



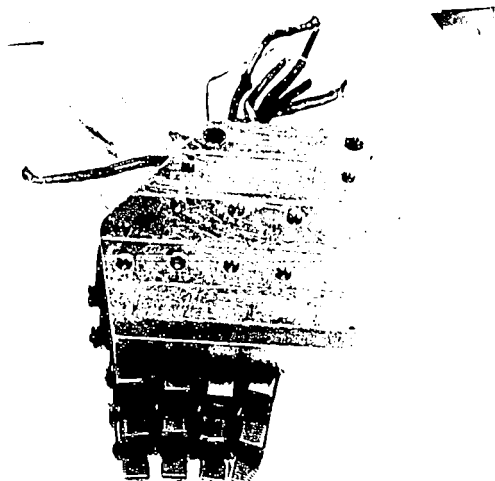
PHOTOGRAPH No. 1.



PHOTOGRAPH No. 2.



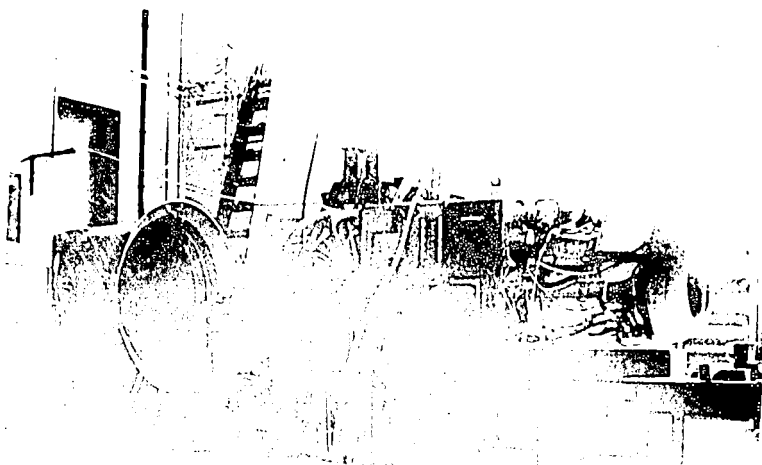
PHOTOGRAPH No. 7.



PHOTOGRAPH No. 4.



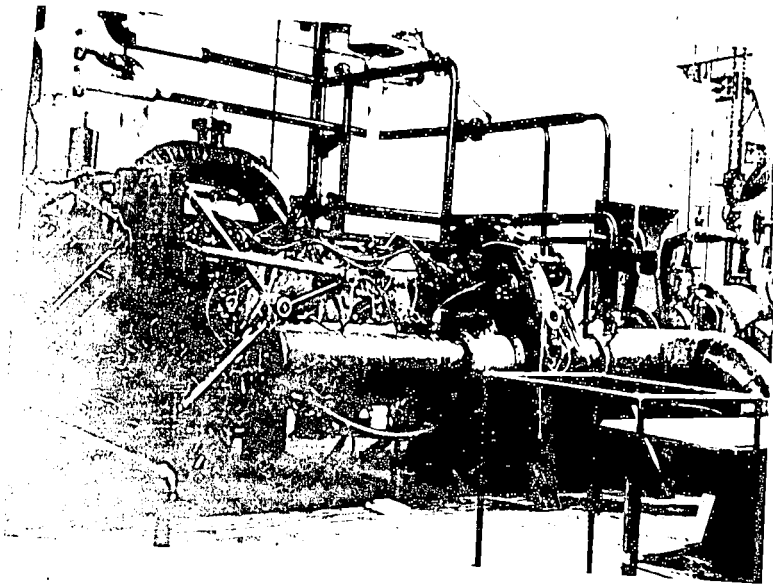
PLATE No. 5.



PHOTOGRAPH No. 6.



PHOTOGRAPH No. 7.



PHOTOGRAPH No. 8.



PHOTOGRAPH No. 9.





Photograph No. 10.



- ▼ ▼ M L I F ▼ Y T E F A S
- Q. What was the nature of this unit (new type turbine in which 'stator' contra-rotates with second stage external to and concentric with first stage?)
- A. It involved a two-cycle engine in combination with the turbines.
- Q. What was the general arrangement of the Leist combination?
- A. I do not know.
- Q. Where is Leist now?
- A. He was in the Technical Hochschule at Braunschweig until recently and may well be in Brunswick.
- Q. What have Junkers and BMW been doing in this line?
- A. Junkers finished their development most quickly but I do not know about the BMW Unit except that both were to be built. I believe that both were to give about 800 kgs thrust.
- Q. How about other developments?
- A. Hirth started a 1200 kg unit and still larger ones were projected. I understand that a unit of 3000 kg thrust was required.
- Q. How about the O28 Unit?
- A. This was the BMW 3000 kg thrust unit and was not made. The O28 model which was to be combined with the propeller also did not reach production.
- Q. What was the latest fuel combination actually used in the ME-163?
- A. Hydrazine-hydrate 30 per cent middle oil plus methyl alcohol plus water 70 per cent. The oxygen carrier was an 80% hydrogen peroxide solution. The supply of hydrazine-hydrate was very short and we were engaged in trying to find substitutes. The catalysts used were copper salts, chiefly potassium Cupro Cyanide.
- Q. What can you tell us about the pilotless anti aircraft rocket having a span of about 13 feet and which is located in one of the hangers here?
- A. I know very little about it. It was not made here. The drive developed for it (called a Hecht drive) was made only for test purposes. The rocket was developed by Prof. Blenck's Dept., I understand that its directional equipment gave difficulties.
- Q. What fuels were used?
- A. Tests were made with nitrous-Oxide and Methyl Alcohol plus water. Trials were also made with nitrous-Oxide plus Coal because of the difficulty of fuel supply. Coal was first tried in the form of coke and was found to be unsatisfactory then coal and graphite were pressed into tubes and formed into bundles. With such an arrangement no combustion control was necessary.
- Q. How was it started?
- A. With a small priming unit electrically ignited.
- Q. What thrust was obtained?
- A. Tests were only made with small units of about 100 Kg thrust.
- Q. What specific fuel consumption was realised?
- A. At high gas temperatures about 6 grams per kg/sec.

Q. ... have been trying to reduce the fuel consumption. With liquid nitric acid plus oxygen high temperatures and high thrusts can be obtained. Professor Haussmann has obtained consumption as low as 4 grams per kg/sec with oxygen. Very low consumptions are difficult to obtain because of cooling difficulties. Best all round success has been realized with hydrogen-peroxide as an oxygen carrier.

Q. What are the fuels of the anti aircraft rocket?

A. Methyl Alcohol plus Water, Hydrogen Peroxide, sodium Permanganate.

Q. What are the advantages of Hypergol over Monergol fuels?

A. The Monergol system provides good control because there are no stability problems and because low temperatures are realized. However fuel consumption is high - about 9 gms. per kg/sec. Hypergol was introduced in 1936 and consisted of the fuel plus the oxygen carrier. It was developed by Dr. Haussmann of IG - Ludwigshafen. After its destruction this work was moved to Schkopau which is near the Buna Werke at Leuna. The oxygen carrier reacting directly with the fuel was eventually generally adopted as it simplified construction. The first such combination used was hydrazine-hydrate with T-Stoff. When these two fuels are burned directly higher temperatures are obtained than with the decomposition of hydrogen peroxide alone. This is the so called "Hot" process. The first installations used the "Cold" process but were later changed to use the "Hot" process.

Q. How does it compare with the straight peroxide-hydrazine hydrate arrangements.

A. I do not know - perhaps you can get this information from Prof. Noeggerath. Our work was to find out how to reduce the hydrazine hydrate requirements. This included the substitution of chloroform for hydrazine hydrate.

Q. What proportions of methyl alcohol and hydrazine hydrate are used in the liquid cooled venturi of the FW-163.

A. I believe 30% H.M. - 70% H.A. This information can best be obtained from Prof. Noeggerath.

Q. What areas at the German Rocketing Institute were under your direction?

A. I was chiefly engaged with the Hypergol development. I came in 1936 to be in charge of the engine development area and planned a part of this area. At that time I was Chief of the Engine Division of which Prof. Schmidt later became head. Since 1941 I have been principally engaged in the Munich laboratory development and would have gone to Munich if the building had gone ahead as planned.

- Q. Was the engine research unit directly under Prof. Blenck?
- A. It was under Schmidt. The West area (rocket) buildings were under Dr. Roessmann etc.,
- Q. Were you responsible to Roessmann for work carried on in his area?
- A. My work was independent of Roessmann and I merely borrowed his facilities when necessary.
- Q. What was the Munich laboratory to work on?
- A. Munich was to work on all aspects of Aircraft Propulsion except conventional piston engine units. As originally planned it was to involve a total expenditure of twenty million Reich Marks. One building at Munich was to be devoted to jet propulsion turbine and Loren tube research. Two buildings were to be developed to rocket drive research. Other facilities were to be provided for chemistry and combustion research. A large wind tunnel was recommended for research on propulsion units. It had been decided that the aero-dynamics of power plants was quite important and therefore a special tunnel would be necessary having an 8 meter throat diameter and high air speed possibilities. Cooling was not possible as with a flow of 15,000 kg per second the requirements would be too great. This flow represented a power requirement of 10,000 hp. As this amount of energy was not available at Munich it was decided to obtain it with water power and therefore a site was selected at Oetzal about 50 km west of Innsbruck. The tunnel has been built but has not been operated. Prof. Peters of Munich is in charge.
- Q. What is the state of completion of the Munich Institute?
- A. The Turbine-Jet Research Building is almost ready for use. The equipment for supplying 20 kg of air per second however is not yet installed. The original plan was reduced to 25% because of unavailability of building materials and labour. The rocket research buildings were not constructed for this reason.
- Q. What technical employment was projected?
- A. The original plan called for 250 but as finally carried out only 40 - 50 were to be employed. The original construction cost of the buildings probably was to be from 6 - 8 million Reich Marks.
- Q. What are considered to be the principal fuel problems for turbo power plants?
- A. I do not know. Test benches for work on this subject were to be installed at Munich.
- Q. What work along this line have you carried out thus far?
- A. Only theoretical studies using water injection to increase thrust. The first Munich experiments were on control, of jet propulsion combustion and the use of water injection. In preparation for this work I had prepared a Mollier diagram for saturated air.

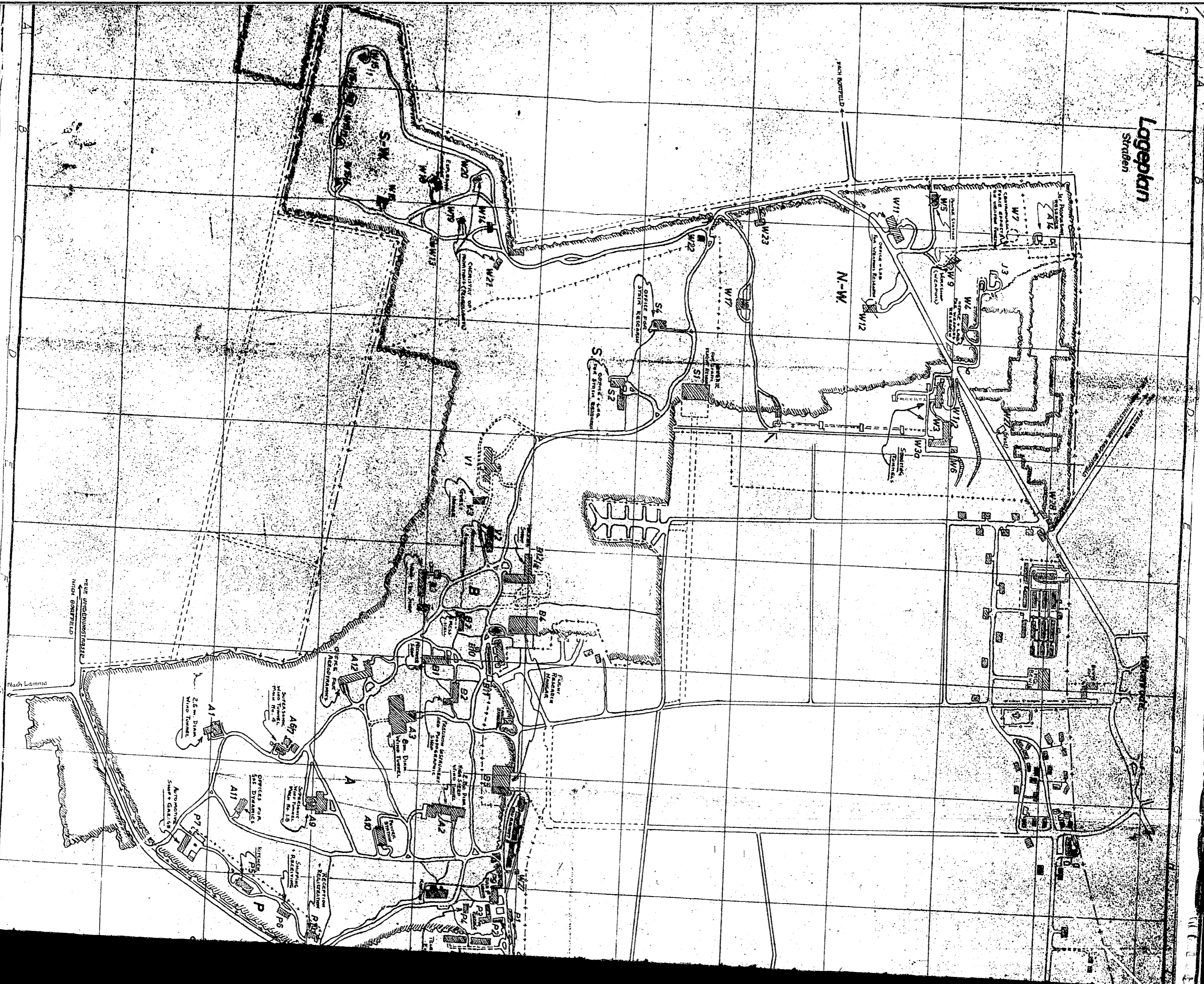
- Q. What fuels are used in current jet propulsion engines?
- A. The fuel used is designated as J-2. I do not know the origin of the symbol. I understand that it was chosen primarily because it is more available than petrol.
- Q. What are the ideal jet propulsion fuel characteristics?
- A. I have no definite information or experience. This can best be obtained from Junkers and BMW. I think that turbines are less sensitive than piston engines but difficulties are experienced at altitudes due to "flaming" at low air pressures.
- Q. How were these problems to be attacked at Munich?
- A. The chief object of the first test was to improve starting thrusts. The work on rocket fuels was to have been moved to Munich in about one year. No plans were made for fuel research. During the past two or three years all such work was directed to obtaining substitute fuels.
- Q. Where else would jet propulsion fuel work be carried out?
- A. Prof. Schmidt may know. Also Dr. von Phillipovich, although I do not know where he is. Personnel from I.V.L. may know where he can be found. Prof. Lorenbaum and Prof. Van der Mull of I.V.L. are in Brunswick. Prof. L. is the Propeller expert while Prof. Van der Mull is the supercharger specialist.
- Q. Who was in charge of fuel work at Junkers and BMW?
- A. Dr. Frantz was in charge of this work for the 004 at Junkers and Dr. Gestrich for the 003 at BMW.
- Q. What did you know about fuels S1, S2 and S3?
- A. I do not know anything about them.
- Q. What can you tell us about Turbine Lubrication problems?
- A. The thrust bearing gave difficulty at first but this has been overcome. The most serious problems were in connection with turbine valve material. Work has been carried out on ceramic blades.
- Q. Was the GM-1 development regarded as final?
- A. The exhaust driven turbine supercharger is considered best for high altitude work. The GM-1 was suggested by me in 1942 as a quick method of increasing altitude performance. Its advantages for the piston engine are that it reduces detonation, causes no corrosion, and can be applied without engine modification. By its use the Ju-88 can be brought to 700 km. per hour at 8 km altitude directly matching the Spitfire. This application was so successful that it was used more widely than was originally projected. Cooling was satisfactory because of the speeds obtained. Exhaust turbines gave less improvement in air speeds both at ground and altitude level.
- Q. Would you plan to use the GM-1 or supercharger in new designs?

- A. The GM-1 was suggested to fill in the gap between rocket propulsion and the Turbo supercharger for long range work.
- Q. Is  $N_2O$  regarded as permanent in the picture?
- A. General Udet called it "Rejuvenating" procedure. In my opinion chemical supercharging will always be useful for periods of half an hour or so, that is for defense purposes. It does not involve the added radiators and supercharging problems otherwise involved at high altitude.
- Q. What other chemical beside Nitrous Oxide had been considered?
- A. Nitrous Oxide is best. Oxygen was tested but overstressed the engine. The GM-1 increased the output of the 801 engine by 100% at 10 km altitude. This was impossible with oxygen because of over heating. This engine developed 700 h.p. at 10 km without GM-1 injection.
- Q. What information has been given to Japanese?
- A. All information on the GM-1 was given to Japanese about 6 weeks ago. Details may be obtained from Lussing. I do not know whether it has been or is being used by them.
- Q. What are the advantages of the free piston engine?
- A. The turbo alone has about 100% fuel consumption more than the piston engine. Some exhaust heat can be recovered but at 5 km and higher, regeneration is impossible. For long range the conventional piston engine is required or the turbine must be combined with the engine such as the Pescara. The Junkers free piston engine is too heavy for aircraft use. For very large cylinder capacity its weight increases too greatly.
- Q. How do you coordinate your work with that of other laboratories?
- A. By correspondence, with other laboratories in the U.S.A. setup. I used to go to the P.L. and to the Oranienburg Research Station for Altitude Research. Contacts were made with Colonel Rowehl and Lt. Colonel Kneemeyer who in 1944 became Chief of development for the Air Ministry. He has not been seen for six months. As to his background, he was primarily a reconnaissance pilot. He did not finish his University studies and has no degree. In general he was a practical man and an executive and not a technical specialist. The station at Oranienburg is known as the Versuchestelle fur Hohenflug. This is a military station.
- Q. With what other stations did you correspond?
- A. With Prof. Karmann at Stuttgart on the GM-1 and with Gottingen, with the Deutsches Forschungsgestalt fur Segelflug at Darmstadt, and with the Aero-dynamic Institute of Prof. Prandtl at Ailing near Salzburg.

- Q. Did you have contact with Prof. Pulver at Stuttgart?
- A. I knew no such person in Stuttgart. There is however a Pulver under Prof. Schmidt here at the Goering Institute.
- Q. What work was being done at Travemunde?
- A. Nothing much was carried out there. It was only a station for seaplane testing. There was no V-1 engine research station in that vicinity.
- Q. Can you tell us more about the work on Loren tubes?
- A. I have developed a graphic solution for the thermodynamic behaviour of these tubes.
- Q. What can you tell us about the combination of rocket and athodyd?
- A. Dr. Zobel has worked on combination of rocket and Loren tubes under Prof. Blenck.
- Q. What work has been programmed on the V-1 type of turbine?
- A. Attempts have been made to increase its range. However there is no possibility of improving its thermal efficiency. Attempts have been made to reduce or eliminate the use of compressed air by employing combustion pressure to drive auxiliaries.
- Q. What has been done about employing V-1 power for piloted aircraft?
- A. A number of projects were submitted but none have been adopted as the vibration problem was too severe.
- Q. Has any fuel work been carried out in an effort to improve the range of the V-1?
- A. Such work was chiefly done at Peenemunde. Some work has been projected in an effort to improve fuels for the V-1.
- Q. Did you know of any work on pilot fuels for the V-1, for the jet propulsion, etc.?
- A. I know of nothing for the V-1. However, it was intended in the case of jet propulsion to use Hypergols to initiate combustion and then change to heavy fuels such as lignite and tar oils etc., Petrol and an Oxygen carrier were also considered.
- Q. What reports were regularly received and from what establishments did they come?
- A. All information on Rocket fuels was generally received here. We also exchanged and received reports from Peenemunde. Other exchanges included BMW at Munich, and Schmidding at Bodenbach (near Dresden).
- Q. When was Monergol fuel invented?
- A. I suggested it in 1936 - 37. It consisted of a mixture of methyl nitrate ammonia - ammonium nitrate and nitrous oxide. Work was not continued on this fuel as it was too pressure sensitive. This mixture was solid at 300°C. Work has recently been resumed by the Goering Works at Salzgitter.



Lageplan  
Strahlen



NACH JANGENUNSTADT  
NACH BOITZELD

Nach Lammia

N-W

S-W

S

A1

A11

A10

A12

A9

A8

A7

A6

A5

A4

A3

A2

A1

P7

P6

P5

P4

P3

P2

P1

W11

W10

W9

W8

W7

W6

W5

W4

W3

W2

W1

W23

W22

W21

W20

W19

W18

W17

W16

W15

W14

W13

W12

W11

W10

W9

W8

W7

W6

W5

W4

W3

W2

W1

S4

S3

S2

S1

W12

W11

W10

W9

W8

W7

W6

W5

W4

W3

W2

W1

W13

W14

W15

W16

W17

W18

W19

W20

W21

W22

W23

W24

W25

W26

W27

W28

W29

W30

W31

W32

W33

W34

W35

W36

W37

W38

W39

W40

W41

W42

W43

W44

W45

W46

W47

W48

W49

W50

W51

W52

W53

W54

W55

W56

W57

W58

W59

W60

W61

W62

W63

W64

W65

W66

W67

W68

W69

W70

W71

W72

W73

W74

W75

W76

W77

W78

W79

W80

W81

W82

W83

W84

W85

W86

W87

W88

W89

W90

W91

W92

W93

W94

W95

W96

W97

W98

W99

W100

W101

W102

W103

W104

W105

W106

W107

W108

W109

W110

W111

W112

W113

W114

W115

W116

W117

W118

W119

W120

W121

W122

W123

W124

W125

W126

W127

W128

W129

W130

W131

W132

W133

W134

W135

W136

W137

W138

W139

W140

W141

W142

W143

W144

W145

W146

W147

W148

W149

W150

W151

W152

W153

W154

W155

W156

W157

W158

W159

W160

W161

W162

W163

W164

W165

W166

W167

W168

W169

W170

W171

W172

W173

W174

W175

W176

W177

W178

W179

W180

W181

W182

W183

W184

W185

W186

W187

W188

W189

W190

W191

W192

W193

W194

W195

W196

W197

W198

W199

W200

W201

W202

W203

W204

W205

W206

W207

W208

W209

W210

W211

W212

W213

W214

W215

W216

W217

W218

W219

W220

W221

W222

W223

W224

W225

W226

W227

W228

W229

W230

W231

W232

W233

W234

W235

W236

W237

W238

W239

W240

W241

W242

W243

W244

W245

W246

W247

W248

W249

W250

W251

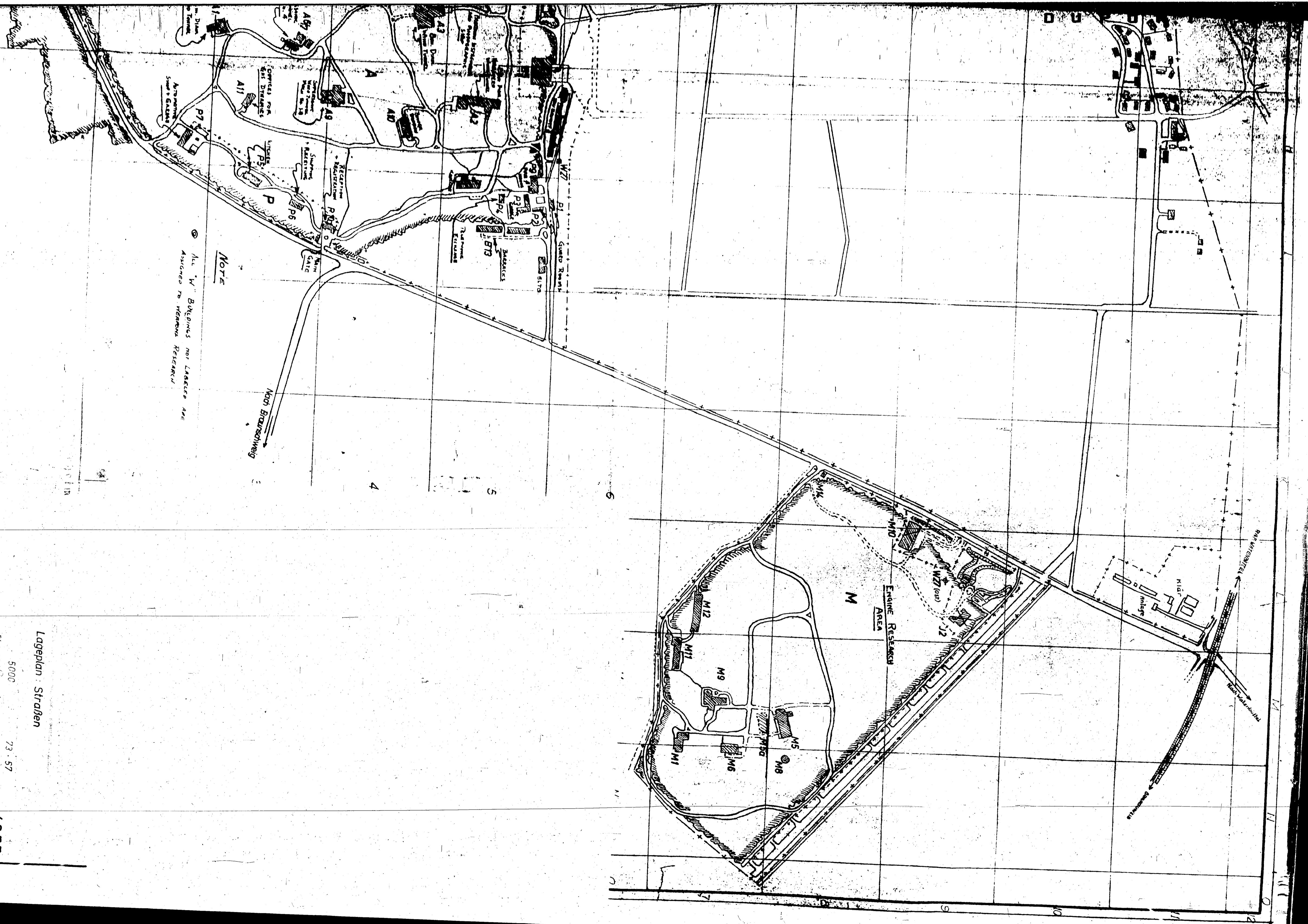
W252

W253

W254

W255

W256



Note  
 All "W" Bunkers not located are  
 marked in narrow rectangles.

Lageplan : Straßen

5000  
 Maßstab  
 73 : 57

4255

C108 BAG 2925  
(FORMERLY BAG 1814.)

---

TIIIC ACCESSION

LIST - PAGE 29.

ITEMS 12, 13 & 14.

---

TIIIC ACCESSION

LIST - PAGE 32.

ITEMS 37 & 40.

---

SERIES G.

Reel      Box No.  
8            2925. ( Formerly 1814 )

TIIC ACCESSION LIST - Page 29.

Items 12, 13, & 14.

12. Distillation of Ethyl Benzene - Schkopau.
13. Distillation of Styrene - Schkopau.
14. Styrene Flow Sheet.

TIIC ACCESSION LIST - Page 32.

Items 37 & 40.

37. Distillation of Butadiene - Schkopau.
40. Development of Buto Distillation.- Schkopau.

ITEM 12.

---

DISTILLATION OF ETHYL  
BENZENE-SCHKOPAU.

---

Die  
Äthylbenzol-Destillation  
in Schkopau



Vortrag  
auf der 6. Tagung der Destillations-Konferenz  
in Leuna und Schkopau  
von Dr. Winkeler

Buna - Werke  
Schkopau

6. Tagung der Destiko  
11./12. November 1940

Die Äthylbenzoldestillation Schkopau.



er Destiko  
ember 1940

#### Die Aethylbenzoldestillation Schkopau.

Das Ausgangsmaterial für das Styrol, eine Komponente des Buna S, ist das Aethylbenzol, das durch Einwirkung von Aethylen auf Benzol bei Gegenwart von Aluminiumchlorid gewonnen wird. Bei dieser Anlagerung von Aethylen an Benzol bildet sich ein Gleichgewicht zwischen Benzol, Aethylbenzol und höher alkylierten Produkten wie Di-, Tri- und Tetraäthylbenzol und einem Rückstand.

Die höher alkylierten Produkte lassen sich z.T. mit Benzol und Aluminiumchlorid unter Bildung von Aethylbenzol wieder umalkylieren, wobei sich wieder ein Gleichgewicht einstellt.

Das Verfahren der kontinuierlichen Herstellung von Aethylbenzol ist, ebenso wie die Ausarbeitung der technischen Herstellung von Styrol, in Ludwigshafen erfolgt,

Das die Alkylierung verlassende Alkylierungsgemisch wird als Rohäthylbenzol bezeichnet und hat durchschnittlich folgende Zusammensetzung:

50 % Benzol  
35 % Äthylbenzol  
15 % höher alkylierte Produkte.

Die Trennung des Rohäthylbenzols erfolgt in der Aethylbenzoldestillation. Es sind 3 Kolonnen nötig. In der ersten Kolonne wird das Benzol abdestilliert und läuft von dort über das Tanklager wieder in die Alkylierung. Der Blasenabzug der Kolonne I ist ein benzolfreies Gemisch von Aethylbenzol und höher alkylierten Produkten und läuft in die Kolonne II, die Reinäthylbenzolkolonne, in der das Reinäthylbenzol ebenfalls bei Normaldruck überdestilliert wird. Die dritte Kolonne, die Diäthylbenzolkolonne, ist eine Vakuumkolonne, in der nach Möglichkeit nur die noch umalkylierbaren Produkte abdestilliert werden sollen, weil bei der Anreicherung nicht mehr umalkylierbarer Produkte die Zusammensetzung des Rohäthylbenzols beeinträchtigt werden würde. Vorhanden ist ferner noch eine Ausquetschblase, in der ursprünglich nicht genügend ausdestillierter Rückstand völlig ausdestilliert werden sollte.

Die Anlage ist ausgelegt für eine Leistung von ca. 700 Moto Aethylbenzol und hat 100 % Reserve.





stillation ent-

len von 1600 mm  $\phi$ .  
wird in einem  
Kondensat und  
tt am 14. oder  
rch einen stehen-  
ch einen Vor-  
m Verdampfer  
Am Boden 10  
erden, wenn  
gen die Tempe-  
ls zwischen  
gehalten. Das  
Die Kolonne  
um 10 Böden  
stungen wird

Aethylbenzoldestillation, Benzolkolonne 1600 mm  $\phi$ , 35 Böden

Belastung: 897 Moto Äthylbenzol 31.8.40  
Zulauf: 4210 kg/h Rohäthylbenzol  
Destillat: 2280 kg/h Benzol  
Rücklauf: 4780 kg/h Benzol  $\rightarrow$  2,1-fach  
Blasenabzug: 1930 kg/h  
Gasgeschwindigkeit: = 0,35 m/Sek.

Belastung: 1395 Moto Äthylbenzol 7.9.40  
Zulauf: 6590 kg/h Rohäthylbenzol  
Destillat: 3625 kg/h Benzol  
Rücklauf: 5680 kg/h Benzol = 1,57-fach  
Blasenabzug: 2965 kg/h  
Gasgeschwindigkeit: = 0,46 m/Sek.

t Verdampfer: 153°  
t Boden 10: 143°  
t Boden 25: 123°  
t Übergang: 83°  
Druck Sumpf: 125 mm Hg  
Druck Übergang: 18 mm Hg  
Differenzdruck: 107 mm Hg  
Siedebereich des Benzols: 15,0°

t Verdampfer: 152°  
t Boden 10: 143°  
t Boden 25: 120°  
t Übergang: 83°  
Druck Sumpf: 140 mm Hg  
Druck Übergang: 10 mm Hg  
Differenzdruck: 130 mm Hg  
Siedebereich des Benzols: 16,5°

Die Reinäthylbenzolkolonne hat einen Durchmesser von 1100 mm und besitzt 42 Böden in einem Zonenabstand von 300 mm. Der Blasenabzug der Benzolkolonne wird in einem Wärmeaustauscher auf 140° aufgeheizt und tritt am 12. Boden in die Kolonne ein. Auch der Rücklauf wird in einem Wärmeaustauscher durch das abgehende Kondensat auf 120° erwärmt. Der Verdampfer hat eine Heizfläche von 30 m<sup>2</sup>. Die Temperatur des Verdampfers liegt je nach der Belastung bei nicht mehr gedrosseltem Dampf bei 192-188°. An den Böden 19 und 32 entsprechen die Temperaturen mit 144° und 141° unter Berücksichtigung des Kolonnendruckes bereits dem Siedepunkt des Aethylbenzols, das bei 137° übergeht. Infolgedessen können wir, wenn der Blasenabzug der Kolonne I benzolfrei ist, ein sehr reines Aethylbenzol mit einem Siedebereich von 0,3 - 0,4° herstellen und wir können mit Sicherheit vermeiden, daß Diäthylbenzol im Aethylbenzol enthalten ist. Diese scharfe Trennwirkung nach oben hat aber auch ihre Nachteile. Es gelingt uns nicht, den Blasenabzug bei höherer Belastung äthylbenzolfrei zu machen, so daß ein Teil des Aethylbenzols in die höher alkylierten Produkte übergeht und von dort in die Alkylierung zurückkehrt.

35 Böden  
 Äthylbenzol 7.9.40  
 Rohäthylbenzol  
 Benzol  
 Benzol = 1,57-fach  
 kg/h  
 = 0,46 m/Sek.

152°  
 143°  
 120°  
 83°  
 140 mm Hg  
 10 mm Hg  
 130 mm Hg  
 zols: 16,5°

1100 mm und  
 er Blasenabzug  
 140° aufge-  
 der Rücklauf  
 ndensat auf  
 30 m<sup>2</sup>. Die  
 g bei nicht  
 9 und 32 ent-  
 icksichtigung  
 benzols, das  
 Blasenabzug  
 nzol mit einem  
 mit Sicherheit  
 ist. Diese  
 teile. Es ge-  
 äthylbenzol-  
 e höher alky-  
 ng zurück-

Die Ursache für das unerwartete Verhalten der Kolonne liegt darin, daß infolge eines Fehlers der Herstellerfirma auf den einzelnen Böden nur ca. 60 % der üblichen Glockenanzahl angebracht wurden. Es ergab sich infolgedessen ein sehr hoher Druckabfall in der Kolonne, so daß die im Verdampfer erreichbare Temperatur zur restlosen Verdampfung des Äthylbenzols aus dem Diäthylbenzol nicht mehr ausreicht. Wir geben auch von dieser Kolonne den Betriebszustand bei verschiedener Belastung in der folgenden Tabelle:

Äthylbenzoldestillation: Äthylbenzolkolonne, 1100 mm Ø, 42 Böden

Belastung: 897 Moto Äthylbenzol 31.8.40  
 Zulauf: 1930 kg/h  
 Destillat: 1246 kg/h Äthylbenzol  
 Rücklauf: 1830 kg/h Äthylbenzol → 1,47  
 Blasenabzug: 684 kg/h fach  
 Gasgeschwindigkeit: = 0,28 m/Sek.

Belastung: 1395 Moto Äthylbenzol  
 Zulauf: 2965 kg/h  
 Destillat: 1938 kg/h Äthylbenzol  
 Rücklauf: 1880 kg/h Äthylbenzol → 0,21  
 Blasenabzug: 1027 kg/h fach  
 Gasgeschwindigkeit: = 0,35 m/Sek.

t Verdampfer: 191°  
 t Boden 19: 143°  
 t Boden 32: 141°  
 t Übergang: 137°  
 Druck Sumpf: 150 mm Hg  
 Druck Übergang: 13 mm Hg  
 Differenzdruck: 137 mm Hg  
 Siedebereich des Äthylbenzols: 0,58°  
 Siedebeginn des Diäthylbenzols: 167°

t Verdampfer: 190°  
 t Boden 19: 144°  
 t Boden 32: 141°  
 t Übergang: 138°  
 Druck Sumpf: 160 mm Hg  
 Druck Übergang: 20 mm Hg  
 Differenzdruck: 140 mm Hg  
 Siedebereich des Äthylbenzols: 0,55°  
 Siedebeginn des Diäthylbenzols: 160°

Für den endgültigen Ausbau des Buna-Werkes sind 2 Kolonnen von 1600 mm Ø mit 45 Böden vorgesehen.

Die Diäthylbenzolkolonne ist eine Vakuumraschigsäule von 800 mm Ø und 7 m Höhe. Der Verdampfer besitzt eine Heizfläche von 10 m<sup>2</sup>. Der Zulauf wird aus der Äthylbenzolkolonne angesaugt und tritt im oberem Drittel der Kolonne ein. Die Verdampfer Temperatur liegt je nach der Belastung zwischen 165° und 175°, die Übergangstemperatur zwischen 80° und 95°. Die Verdampfer Temperatur wird so eingestellt, daß das sogenannte Diäthylbenzol ein Siedende von 220 - 230° hat. Der Siedebeginn des Diäthylbenzols schwankt in Abhängigkeit von der Belastung der Äthylbenzolkolonne zwischen 150° und 170°. Die Destillation erfolgt ohne Rücklauf.

e liegt darin,  
n einzelnen B8-  
t wurden. Es  
in der Kolonne,  
restlosen Ver-  
t mehr ausreicht.

bei verschie-

42 Böden

thylbenzol

thylbenzol

thylbenzol → 0,21

h 0,35 m/Sek.

o

o

o

mm Hg

mm Hg

mm Hg

enzols: 0,55°

enzols: 160°

nen von

800 mm ø

10 m<sup>2</sup>. Der

itt im oberen

je nach der

r zwischen

t, daß das

t. Der Siede-

r Belastung

llation ex-

Die Betriebsdaten bei starker und mittlerer Belastung werden in der folgenden Tabelle wiedergegeben:

Aethylbenzoldestillation: Diäthylbenzolkolonne, Raschigsäule, 800 mm ø

Belastung: 897 Moto Aethylbenzol 31,8.40

Zulauf: 684 kg/h

Destillat: 608 kg/h Diäthylbenzol

Blasenabzug: 76 kg/h Rückstand

Gasgeschwindigkeit: = 41,2 cm/Sek.

t Verdampfer: ca. 170°

t Übergang: ca. 85°

Druck Sumpf: 140 mm Hg

Druck Übergang: 136 mm Hg

Differenzdruck: 4 mm Hg

Siedebereich des Diäthylbenzols: 167-221°

Belastung: 1395 Moto Aethylbenzol

Zulauf: 1027 kg/h

Destillat: 938 kg/h Diäthylbenzol

Blasenabzug: 89 kg/h Rückstand

Gasgeschwindigkeit: = 53,5 cm/Sek.

t Verdampfer: ca. 167°

t Übergang: ca. 92°

Druck Sumpf: 170 mm Hg

Druck Übergang: 165 mm Hg

Differenzdruck: 5 mm Hg

Siedebereich des Diäthylbenzols: 160-225°

Die Richtigkeit der Druckmessung ist zu bezweifeln. Der Rückstand dieser Kolonne ist ein praktisch nicht mehr unalkylierbares Gemisch höher molekularer Produkte. Nach Entfernung eines von 210° - 240° siedenden Vorlaufs ist der Rückstand ein geeigneter Weichmacher für Buna. Dieser Vorlauf wird in der Ausquetschblase abdestilliert.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß bei der z.Z. von der Aethylbenzoldestillation geforderten Leistung von 1200 - 1500 Moto Aethylbenzol zwar die Herstellung eines reinen Aethylbenzols möglich ist, aber Kreisläufe von Aethylbenzol im Benzol und Diäthylbenzol in beträchtlichem Umfange in Kauf genommen werden müssen.

Die Temperaturregelung der Benzolkolonne erfolgt mit einem GST-Regler. Die Aethylbenzolkolonne wird mit vollem Dampfdruck gefahren und bei der Diäthylbenzolkolonne wird der Dampfdruck mit einem Sansonreduzierventil eingestellt. Sämtliche Sumpfe und Vorlagen haben automatische Standregelung. Die ein- und ausgehenden Produkte werden mit Ovalradzählern gemessen, Zuläufe und Rückläufe mit Durchflußanzeigen eingestellt. Die Haupttemperaturen werden automatisch registriert. Beanstandungen an den Einrichtungen der Betriebskontrolle haben sich nicht ergeben.

ng werden in

Skala, 800 mm  $\phi$

Aethylbenzol

Diäthylbenzol

Rückstand

= 53,5 cm/Sek.

ca. 167°

ca. 92°

170 mm Hg

165 mm Hg

5 mm Hg

thylbenzole: 160-  
225°

Der Rückstand

erbares Gemisch

in 210° - 240°

weichmacher für

destilliert.

on der Aethyl-

00 Moto Aethyl-

s möglich ist,

benzol in be-

einem GST-Regler.

Fahren und bei

n Sensorredu-

haben automa-

te werden mit

schflußanzei-

sch regie-

bskontrolle

- 6 -

Bei den strengen Frost des vorigen Winters ergaben sich eine ganze Reihe von Schwierigkeiten in der Aethylbenzoldestillation, die als Freiluftanlage gebaut ist. Ein Teil der Schwierigkeiten hing damit zusammen, daß die Kondensatoren fast aller Kolonnen auf Grund von Einwalzfehlern undicht waren. Dadurch kam Wasser in die Kohlenwasserstoffe, die mit Wasser nicht mischbar sind und setzte sich besonders bei der durch Aethylmangel verursachten schwachen Belastung in Säcken der Rohrleitungen ab. Die durch Vereisung der Rohrleitungen zum Tanklager entstandenen Störungen waren so schwerwiegend, daß wir uns entschlossen haben, die besonders gefährdeten Leitungen in einen beheizten Rohrschacht zum Tanklager zu führen. Allerdings liegt das in Laufe des weiteren Ausbaues errichtete neue Tanklager ca. 150 m weiter weg. Unangenehm waren auch die durch den niedrigen Gefrierpunkt des Benzols hervorgerufenen Störungen. Belüftungsleitungen, Standregler, Reservepumpen, Reserveovalradzähler und Standgläser waren dauernd eingefroren. Da wir bei der Erweiterung der Aethylbenzoldestillation durch die Benzoldestillation in der Benzoldestillation mit denselben Schwierigkeiten in verstärkter Maße rechnen mußten, haben wir uns entschlossen, den Pumpenraum mit Rolljalousien im Winter zu verschließen und mit Heißluftventilatoren, die Frischluft ansaugen, zu heizen.

gez. Dr. Winkler

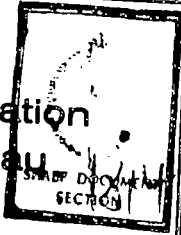
ITEM 13.

DISTILLATION OF  
STYRENE-SCHKOPAU.

---

B. 2927

Die  
Styrol-Destillation  
in Schkopau



Vortrag  
auf der 6. Tagung der Destillations-Konferenz  
in Leuna und Schkopau  
von Dr. Winkeler

Buna-Werke  
Schkopau

6. Tagung der Destiko  
11./12. November 1940

Die Styroldestillation Schkopau.



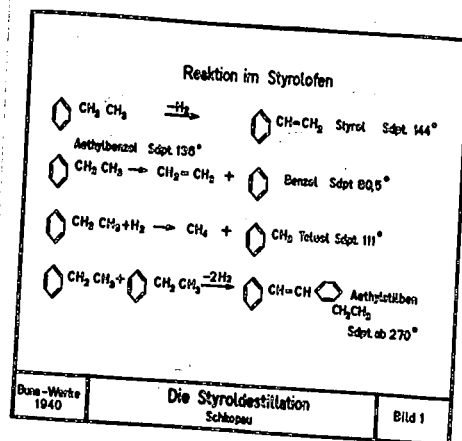
Destiko  
ber 1940

- 1 -

### Die Styroldestillation Schkopau

Das Styrol ist einer der Kohlenwasserstoffe, die seit langem bekannt sind aber erst mit der Entwicklung der Kunststoffe Bedeutung gewonnen haben. Das polymerisierte Styrol spielt als Erolitul eine beachtliche Rolle unter den Kunststoffen. Von noch größerer Bedeutung aber ist mengenmäßig die Verwendung des Styrols bei der Herstellung des synthetischen Kautschuks. Der Buna S ist ein Mischpolymerisat aus Butadien und Styrol.

Das Styrol wird hergestellt durch katalytische Dehydrierung von Aethylbenzol bei ca 600° über oxydischen Kontakten. Die Reaktion verläuft nicht einheitlich, da bei einem Durchgang durch den Ofen neben ca 40 % Styrol und unverändertem Aethylbenzol ca 1,5 - 2,5 % Benzol, 3 - 3,5 % Toluol und 2 - 2,5 % Rückstand, bestehend aus Stilbenen und anderen höher molekularen Produkten, erhalten werden.



- 2 -

Die Aufgaben der Styroldestillation sind damit klar umrissen. Zunächst müssen quantitativ die niedriger siedenden Begleiter des Styrols Aethylbenzol, Toluol und Benzol entfernt werden. Dann muß in einer weiteren Destillation das Styrol vom Rückstand abdestilliert werden. Aus dem Aethylbenzol, das wieder über die Öfen geschickt wird, muß das frisch gebildete Benzol und Toluol laufend entfernt werden, um eine Verarmung des Ofenzulaufs an Aethylbenzol zu vermeiden.

Eine besondere Gefahrenquelle in der Styroldestillation ist die große Polymerisationsfreudigkeit des Styrols, das trotz Verwendung von Stabilisatoren in der Wärme und besonders leicht in der Wärme bei Gegenwart von Luftsauerstoff polymerisiert. Auf Grund der Ludwigshafener Erfahrungen mußte damit gerechnet werden, daß in Abständen von  $\frac{1}{2}$  Jahr Kolonnensäulen oder Kolonnenschüsse ausgebrannt werden mußten, da auf andere Weise das Blockpolymerisat nicht entfernt werden konnte. Die ganze Planung der Schkopauer Anlage war also darauf gerichtet, das Styrol unter möglichst schonenden Bedingungen zu destillieren.

Für die Trennung des Styrols (Sdpt.  $144^{\circ}$ ) vom Aethylbenzol (Sdpt.  $136^{\circ}$ ) und dem in geringen Mengen vorhandenen Toluol (Sdpt.  $111^{\circ}$ ) und Benzol (Sdpt.  $80,5^{\circ}$ ) kam die Verwendung von Raschigsäulen nicht mehr in Frage, da bekanntlich Raschigsäulen nicht willkürlich über einen bestimmten Durchmesser hinaus vergrößert werden können, ohne eine ganz erhebliche Beeinträchtigung der Trennwirkung in Kauf zu nehmen, falls nicht komplizierte und gegen Verschmutzung empfindliche Verteilervorrichtungen eingebaut werden.

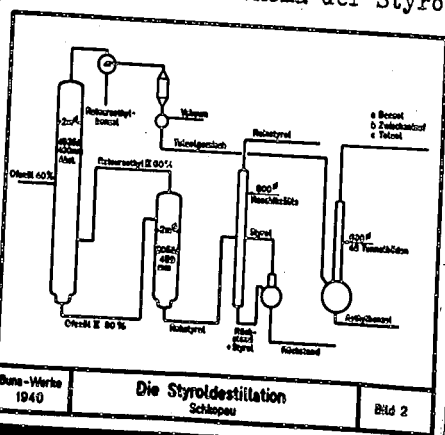
Bei der in Schkopau zunächst vorgesehenen Produktionsgröße von 600 Tono Styrol blieb uns daher, wenn wir nicht eine ganze Reihe von kleinen Destillationen - ca 8 - 10 - aufstellen wollten, keine andere Wahl als trotz der entgegenstehenden Bedenken zu Glockenbodenkolonnen überzugehen. Für die Trennung

des Styrols von den oben erwähnten Kohlenwasserstoffen wurde eine Glockenbodenkolonne von 2000 mm  $\phi$  und 65 Böden berechnet. Das hätte trotz eines Endvakuums von 10 mm Hg bei einem Druckabfall von ca 180 mm Hg eine Verdampferetemperatur von erheblich mehr als 100° erfordert. Da nun das Styrol trotz Stabilisierung bereits bei 95° anfängt, merklich zu polymerisieren, wurde die 65 Bodenkolonne unterteilt in eine Anreicherungskolonne von 45 Böden und eine Rohstyrolkolonne von 20 Böden. Es wurden insgesamt drei derartige Aggregate aufgestellt, jedes Aggregat war mit einem Durchmesser von 2 m für eine Leistung von 300 - 350 Moto Styrol berechnet. Ein Aggregat bildete die Reserve.

Für die Reindestillation des Rohstyrols, bei der das Styrol von einem hochmolekularen Rückstand - Siedebeginn ca 250° - abgetrieben werden muß, wurden zwei Raschigkolonnen von 800 mm  $\phi$  vorgesehen, von denen eine die Reserve darstellt. Mit Rücksicht auf die erheblichen Siedepunktdifferenzen zwischen Styrol (144°) und dem Rückstand (250°) und die schlechte Wärmeübergangszahl des zäh viskosen Rückstandes wurde darauf verzichtet, in einer Kolonne eine 100%ige Trennung von Styrol und Rückstand zu erreichen. Für die Entfernung der letzten Mengen Styrol aus dem Rückstand wurde eine Blase erstellt, die diskontinuierlich ausdestilliert und entleert wird.

Für die Abtrennung des ständig anfallenden Benzols und Toluols aus dem in den Glockenbodenkolonnen überdestillierten Aethylbenzol wurde eine diskontinuierlich arbeitende Tunnelbodenkolonne vorgesehen.

Es ergibt sich also folgendes Schema der Styroldestillation:



Die Styroldestillation  
Schäpper  
Bld 2

Das als Ofenöl I bezeichnete Reaktionsprodukt der Styrolöfen läuft vom Tanklager der Kolonne I etwa in der Mitte zu. Das Destillat wird fraktioniert kondensiert. Im Kondensator, der mit Rückkühlwasser gekühlt wird, wird ein Aethylbenzol erhalten, das etwa 6 % Benzol und Toluol enthält. Die im Kondensator nicht niedergeschlagenen Brüden passieren einen Solekühler und werden dort kondensiert zu einem Gemisch von 15 - 20 % Benzol, 30 - 35 % Toluol und ca 50 % Aethylbenzol. Es ist offensichtlich, dass die Ansaugleistung der Dampfstrahler und die im Kondensator gefahrenen Kühlwassertemperaturen weitgehende Variationen in Menge und Zusammensetzung des sogenannten Toluolgemisches hervorzurufen vermögen.

Das Retouräthylbenzol wird wieder über den Styrolkontakt geschickt. Das Toluolgemisch wird teils in der diskontinuierlichen Toluolkolonne aufdestilliert, teils in das Retouräthylbenzol zurückgegeben.

Der Blasenabzug der Kolonne I ist ein 75 - 85 %iges Styrol, das mit Siphumpen ziemlich oben in die Kolonne II, die Rohstyrolkolonne, gefördert wird. Das Destillat der Kolonne II, das sogenannte Retouräthylbenzol II, ist ein Gemisch von 55 - 65 % Styrol und 45 - 35 % Aethylbenzol und wird am 9. Boden in die Kolonne I zurückgegeben. Der Blasenabzug der Kolonne II ist ein praktisch Aethylbenzolfreies Rohstyrol und wird entweder über das Tanklager oder direkt der Reinstyrolkolonne zugeführt. Das Destillat der Kolonne III ist Reinstyrol, das unstabilisiert ins Tanklager geht. Der Blasenabzug ist ein Gemisch von ca 50 % Rückstand und 50 % Styrol. Er wird in einer Blase diskontinuierlich ausdestilliert. Das übertriebene Styrol wird wieder in die Reinstyrolkolonne zurückgefördert.

Der interessantere Teil der Styroldestillation sind die Glockenbodenkolonnenaggregate. Ein Aggregat besteht, wie bereits erwähnt, aus einer 19 m hohen 45 Boden- und einer 10 m hohen 20 Bodenkolonne. Der Durchmesser beträgt 2 m, der Bodenabstand 400 bzw.

Styrolöfen  
te zu. Das Destillat  
der mit Rück-  
halten, das etwa  
nicht nieder-  
werden dort  
30 - 35 % To-  
ch, dass die  
sator gefah-  
en in Menge  
zu  
ervorgerufen ver-

kontakt geschickt.  
chen Toluolko-  
l zurückgege-

Styrol, das  
Rohstyrolko-  
das sogenannt  
Styrol und  
lonne I zu-  
praktisch  
das Tanklager  
tillat der  
anklager geht.  
l und 50 %  
destilliert.  
olkolonno

die Glocken-  
eits erwähnt,  
Bodenko-  
100 bzw.

450 mm. Die Kolonnen sind verzinkt, da Eisen die Polymerisation begünstigt. Wegen der Polymerisationsgefahr, die am unteren Teil der Kolonnen wegen der dort herrschenden hohen Temperaturen am größten ist, wurden die untersten 5 Böden abnehmbar ausgeführt. Um kurze Verweilzeiten zu erreichen, wurde der Sumpf eingezogen.

Die Verdampfung erfolgt in einem stehenden Umlaufverdampfer von 20 m<sup>2</sup> Heizfläche. Der Zulauf vom Sumpf zum Verdampfer wurde ursprünglich durch einen Schieber reguliert. Da sich aber herausstellte, dass diese Vakuumschieber ständig undicht waren und dort Luft eingezogen wurde, wurde der Schieber durch ein in Form einer Düse ausgebildetes Paßstück ersetzt. Sämtliche Flansche an der Kolonne haben Nut und Federdichtung. Als Dichtungsmaterial wurden für große Flansche Götzedichtungen aus gewelltem Kupferasbest, für kleinere Flansche teils Europil-, teils Klingerringdichtungen verwendet. Diese Dichtungen haben zu Beanstandungen keinen Anlaß gegeben.

Dagegen waren wir uns von Anfang an darüber klar, dass die Klingerringventile, die in großer Anzahl zwischen dem Sumpf bzw. Verdampfer und den Blasenabzugspumpen eingebaut waren, die Ursache für erhebliche Luftansaugung sein konnten. Denn die üblichen Packungen dieser Klingerringventile sind nicht kohlenwasserstofffest. Die Fa. Klingerring hat zwar auf unsere Anregung die Herstellung kohlenwasserstoffester Packungen in Angriff genommen und uns vor kurzer Zeit auch durchaus ansprechendes Material bemustert, aber wir mußten doch 1 1/2 Jahre mit ungeeignetem Dichtungsmaterial fahren. Um nun diese akute Gefahr weitgehend zu beseitigen oder zumindest zu erkennen, haben wir unmittelbar am Sumpfablauf und kurz vor den Pumpen Luftabscheider eingebaut, die über ein Schauglas mit der Vakuumleitung vor dem Solekühler verbunden sind. Entsprechend dem in der Kolonne herrschenden Differenzdruck stehen diese Leitungen 1-2 m hoch voll Flüssigkeit. An aufsteigenden Luftblasen ist mit Sicherheit jede Undichtigkeit an Ventilen und Pumpen zu erkennen. Auf Grund der von uns gemachten Erfahrungen müssen die verwendeten Klingerringe ca alle 4 Wochen ausgewechselt werden. Die uns bemusterten neuen, kohlenwasserstofffesten Packungen waren nach 6 Wochen noch völlig intakt. Die Umstellung auf die neuen Klingerringe ist eingeleitet.

Polymerisation  
am unteren Teil  
peraturen am  
r ausgeführt.  
pf eingezogen.  
erdampfer von  
fer wurde ur-  
aber heraus-  
waren und  
h ein in Form  
e Flansche an  
ngsmaterial  
ltem Kupfer-  
Klingeröltit-  
nstandungen

ass die Klin-  
bzw. Verdampfer  
che für erheb-  
Packungen die-  
. Die Fa. Klin-  
lenwasser-  
kurzer Zeit  
wir mußten  
ahren. Um nun  
ndest zu er-  
vor den Pum-  
mit der Va-  
rechend  
diese Lei-  
uftblasen  
Pumpen zu  
müssen die  
t werden.  
ungen wa-  
uf die

- 6 -

Wie haben sich diese vorsorglichen Maßnahmen gegen die Polymerisationsgefahr bewährt? Wir haben im Oktober nach 1 1/2 jähriger Betriebszeit nacheinander die beiden in Betrieb befindlichen Aggregate abgestellt und auf Polymerisat untersucht. Verdampfer und Sumpf waren an allen Kolonnen völlig frei von Polymerisat. Wir fanden lediglich in der Mitte der beiden Rohstyrolkolonnen oberhalb eines etwas undichten Mannlochdeckels geringe Mengen eines lockeren Polymerisats, das durch Auskochen mit Benzol leicht entfernt werden konnte. Das gefürchtete Blockpolymerisat konnte in nennenswerten Mengen nicht gefunden werden.

Man kann also feststellen, dass der wegen der großen Polymerisationsgefahr nur ungern und nicht ohne stärkste Bedenken unternommene Übergang von Raschigsäulen auf Glockenbodenkolonnen ein voller Erfolg gewesen ist.

Ich sagte bereits vorhin, dass wir bei Verwendung von Raschigsäulen ohne Spezialverteiler nur mit einer Leistung von 60 - 70 Moto Styrol hätten rechnen können, dass also für eine Leistung von 600 Moto Styrol die Aufstellung von 8 - 10 Kolonnenaggregaten erforderlich gewesen wäre.

Die Leistung der Glockenbodenkolonnen ist eine ungleich höhere, berechnet waren sie für eine Leistung von 300 - 350 Moto Styrol. Es war aber doch ziemlich überraschend, dass es gelang, die Leistung eines Aggregates bis auf 600 Moto Styrol zu steigern, ohne dass eine Beeinträchtigung der Qualität des Styrols eintrat. Wir haben die Hauptdaten der Kolonnen bei dieser hohen Belastung in dem folgenden Schema angegeben.

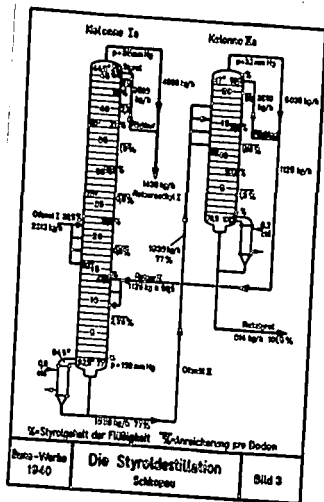
- 7 -

die Polymeri-  
 1 1/2 jähriger  
 indlichen Aggre-  
 dampfer und  
 risat. Wir  
 blonnen ober-  
 Mengen eines  
 leicht ent-  
 konnte in

Polymeri-  
 enken unter-  
 blonnen ein

Raschig-  
 on 60 - 70  
 Leistung  
 enaggre-

ch höhere,  
 oto Styrol.  
 s, die Lei-  
 gung, ohne  
 ntrat. Wir  
 astung in



Die Temperatur im Verdampfer der Kolonne I ist mit  $94,5^{\circ}$  gerade noch, im Sumpf mit  $92,5^{\circ}$  deutlich unter der kritischen Temperatur von  $95^{\circ}$ . Die Verweilzeit im Sumpf beträgt ca 15 Min., ist also außerordentlich kurz. Der Rücklauf der Kolonne ist das 2,3-fache des Destillats. In dem abdestillierten Aethylbenzol sind ca 3 % Styrol enthalten. Das ist ein Schönheitsfehler, denn dieses Styrol läuft im Kreis. Wir haben aber diese Versuche vor 1 1/4 Jahr gefahren. Nach den guten Erfahrungen, die wir inzwischen gemacht haben, bestehen keine Bedenken, die Temperatur im Sumpf der Kolonne um  $1 - 2^{\circ}$  zu erhöhen. Damit würde erreicht werden, dass bei etwas höherem Rücklauf das Aethylbenzol styrolfrei und der Blasenabzug gleichzeitig styrolreicher - ca 80 % - würde. Die Gasgeschwindigkeiten am Kopf der Kolonne betragen ca 2,30 m bei einem Vakuum von 36 mm Hg. Die Wärmeübergangszahl des Verdampfers liegt bei ca  $1400 \text{ Kcal/m}^2 \text{ } 1^{\circ} \text{ C h}$ .

Bemerkenswert ist noch, dass bei der Kolonne I die Trennwirkung der einzelnen Böden in der Mitte der Kolonne nur mäßig ist. Ob die Einläufe falsch liegen oder ob eine Abschreckung einzelner Böden durch die kalt zulaufenden Produkte erfolgt, wird erst klar gestellt werden, wenn die zur Vorwärmung der Zuläufe vorge-

schenen Wärmetauscher eingebaut sind.

In der Kolonne II ist die Verdampfer und Sumpftemperatur mit 80,5 bzw. 78,5° unerwartet niedrig. Der Rücklauf beträgt das 3,5 fache des Destillats. Die Wärmeübergangszahl des Verdampfers liegt mit ca 1000 deutlich unter der des Verdampfers der Kolonne I. Die Gasgeschwindigkeit am Kopf der Kolonne liegt bei ca 2,40 m bei 32 mm Hg.

Der Unterschied im Styrolgehalt zwischen dem der Kolonne II zulaufenden Ofenöl II und dem Destillat der Kolonne II beträgt in dem gezeigten Beispiel 18,5 %. Normalerweise fahren wir auf einen Unterschied von 20 - 22 %.

Die Abhängigkeit der Mengen der im Kreis laufenden Produkte von diesem Unterschied im Styrolgehalt zwischen dem Ofenöl II und dem Retouräthylbenzol II wird durch die folgende Tabelle wiedergegeben:

Belastung: 1000 kg/h Ofenöl I 40 % = 600 kg Retouräthylbenzol  
400 kg Rohstyrol

Ofenöl II			Retouräthylbenzol II		
2000 kg/h	80 %	Styrol	1600 kg/h	75 %	Styrol
1200 "	"	"	800 "	70 %	"
800 "	"	"	400 "	60 %	"
600 "	"	"	200 "	40 %	"
2800 kg/h	70 %	Styrol	2400 kg/h	65 %	Styrol
1600 "	"	"	1200 "	60 %	"
1000 "	"	"	600 "	50 %	"
800 "	"	"	400 "	40 %	"

Aus dieser Tabelle ist klar ersichtlich, dass die Kolonnen nur dann auf Höchstleistung gefahren werden können, wenn die Kolonne I möglichst hoch anreichert und die Kolonne II im Styrolgehalt ein möglichst niedriges Destillat liefert. Dabei hat sich im Betrieb herausgestellt, dass der Styrolgehalt im Destillat der Kolonne II nicht unter 55 % fallen darf, weil sonst die Qualität des Styrols merklich beeinflusst wird.



temperatur mit  
auf beträgt das  
al des Verdampfers  
pfers der Kolonne I.  
t bei ca 2,40 m

r Kolonne II zu-  
ne II beträgt in  
ren wir auf einen

en Produkte  
dem Ofenöl II und  
Tabelle wieder-

auräthylbenzol  
tyrol

enzol II

tyrol

"

"

"

Styrol

"

"

"

Kolonnen nur

an die Kolonne I

tyrolgehalt ein

ch im Betrieb

der Kolonne II

ät des Styrols

9 -

Um mit Sicherheit die für den endgültigen Ausbau des Bunawerks erforderliche Leistung von 650 Moto Styrol pro Kolonnenaggregat zu erreichen, ist vorgesehen, die Rohstyrolkolonnen um 10 Böden aufzustocken.

Die Reinstyrolkolonne, eine verzinnte Raschigsäule von 800 mm  $\phi$ , arbeitet einwandfrei. Der Rücklauf ist das 0,4 - 0,5 fache des Destillats. Der Wärmeübergang am Verdampfer ist infolge des ziemlich viskosen Rückstandes nur mäßig. Die Wärmeübergangszahl liegt bei 200 - 300. Der Druckabfall beträgt ca 50 mm Hg. Die Temperaturen am Verdampfer liegen bei ca 90° und am Übergang bei ca 40°. Die Gasgeschwindigkeit beträgt bei höchster Belastung bei einem Vakuum von 30 mm Hg und einer Temperatur von 40° ca 7,30 m. Das Molekulargewicht des Styrols ist 104. Auch bei dieser Kolonne, die für den endgültigen Ausbau des Bunawerkes nicht erweitert zu werden braucht, haben wir nennenswerte Polymerisation nicht feststellen können.

Die Toluolkolonne, in der das Gemisch von ca 50 % Aethylbenzol, 35 % Toluol und 15 % Benzol, diskontinuierlich aufdestilliert wird, ist eine Tunnelbodenkolonne von 600 mm  $\phi$  Heckmann'scher Bauart, die mit 48 nur jeweils den halben Querschnitt ausfüllenden Böden ausgerüstet ist. Wir sind gezwungen, diese Kolonne stark überlastet zu fahren, da die Produktion des Styrols bereits um mehr als 50 % über der Planung liegt. Wir erhalten infolgedessen nur verhältnismäßig unreine Produkte. Das Benzol hat bei ca 3,5-fachem Rücklauf einen Siedebereich von ca 1°, das Toluol bei 3,3-fachem Rücklauf von ca 1,5°. Das Benzol kann in der Aethylbenzolfabrik wieder verwendet werden; das Toluol wird in Bitterfeld noch einmal reindestilliert. In einem Ansatz wurden ca 500 l Benzol, 5 - 600 l Zwischenlauf und ca 800 l Toluol erhalten. Die Gasgeschwindigkeit, bezogen auf den halben Kolonnenquerschnitt, liegt bei ca 80 cm/sek. Der Bodenabstand von zwei halben Böden ist 300 mm.

Das Vakuum der gesamten Styroldestillation wird mit Dampfstrahlern erzeugt. Bei der Planung der Anlage bestanden erhebliche Unklarheiten über die Dimensionierung dieser Strahler. Wir haben aus der Summe der Angebote die Mittel -

u des Bunawerks  
 Kolonnenaggregat  
 innen um 10 Böden  
 le von 800 mm  $\phi$ ,  
 0,5 fache des  
 infolge des ziem-  
 ergangszahl liegt  
 Hg. Die Tempera-  
 rgang bei ca  
 Belastung bei  
 n 40° ca 7,30 m.  
 i dieser Kolonne,  
 ht erweitert  
 isation nicht

Aethylbenzol,  
 destilliert  
 kmann'scher  
 itt ausfüllenden  
 olonne stark  
 s bereits um  
 infolgedessen  
 at bei ca 3,5-  
 Toluol bei  
 n der Aethyl-  
 rd in Bitter-  
 urden ca 500 l  
 erhalten. Die  
 querschnitt,  
 alben Böden

Dampfstrahl-  
 iche Unklar-  
 haben aus

werte errechnet und demnach folgende Dampfstrahler bestellt:

Dampfstrahler für:	Ansaug- leistung	Dampfver- brauch	Wasser- verbrauch
Kolonne I 45 Bö- den	3000 m <sup>3</sup> /h Luft 20 mm Hg = 122 kg/h	1350 kg/h	30 m <sup>3</sup> /h
Kolonne II 20 Bö- den	1800 m <sup>3</sup> /h Luft 20 mm Hg = 73 kg/h	780 kg/h	18 m <sup>3</sup> /h
Kolonne III Raschigsäule	500 m <sup>3</sup> /h Luft 20 mm Hg = 20 kg /h	230 kg/h	5 m <sup>3</sup> /h

Wir haben aber gleichzeitig bei der Montage die Lei tungsführung  
 so ausgestaltet, dass jede Kolonne mit jedem Dampfstrahler ge-  
 fahren werden kann.

Es stellte sich nun heraus, dass wir je 2 Kolonnen I und II, also  
 4 dieser Glockenbodenkolonnen mit dem kleinen Dampfstrahler der  
 Kolonne III einwandfrei fahren können. Die Vorteile liegen neben  
 der ganz erheblichen Einsparung von Energien und Verminderung der  
 Verluste durch Absaugung der Brüden auch darin, dass wir auftreten-  
 de Undichtigkeiten, die zur Polymerisation führen können, viel  
 schneller merken als bei Verwendung der größeren Strahler.

Durch Einbau neuer Düsen wird die Leistung der zu großen Strahler  
 auf die Hälfte reduziert. Das Fallwasser der Strahler, das noch  
 Kohlenwasserstoffe enthält, läuft über eine 60 m<sup>3</sup> Grube, in der  
 sich der größte Teil der tensionsmäßig abgeführten Kohlenwasserstof-  
 fe in Form einer Emulsion abscheidet. Diese Emulsion wird durch  
 Wasserdampfdestillation zerlegt und die Kohlenwasserstoffe, die  
 viel Benzol und Toluol enthalten, in der Toluolkolonne aufdestil-  
 liert. Die Menge der so gewonnenen K.W. beträgt 2 - 2,5 % des Sty-  
 rols.

Die Gesamtverluste, die in der Styroldestillation auftreten, betra-  
 gen nur wenige Bruchteile eines Prozentes. Die einzige Verlust-  
 quelle, die wir nicht beseitigt haben, ist die Löslichkeit der  
 K.W. in dem Fallwasser der Dampfstrahler, die 0,01 - 0,02 % be-  
 trägt.

bestellt:

Wasser-  
verbrauch  
30 m<sup>3</sup>/h

18 m<sup>3</sup>/h

5 m<sup>3</sup>/h

tungsführung  
strahler ge-

I und II, also  
strahler der  
liegen neben  
minderung der  
wir auftreten-  
nnen, viel  
strahler.

ßen Strahler  
r, das noch  
be, in der  
hlenwasserstof-  
wird durch  
stoffe, die  
e aufdestil-  
5 % des Sty-

treten, betra-  
Verlust-  
keit der  
0,02 % be-

Die dort auftretenden Verluste sind aber so gering, dass eine Aufarbeitung sich nicht lohnt.

Noch einige Worte über die Betriebskontrolle. Sämtliche ein- und ausgehenden Mengen werden mit Ovalradzählern gemessen. Die Zulaufe und Rückläufe der Kolonnen werden mit Durchflußanzeigern eingestellt. Die Temperatureinstellung der Verdampfer erfolgt automatisch mit G.S.T.-Reglern mit Ausnahme der Reinstyrolkolonnen, wo der Dampfdruck durch Samson-Reduzierventile eingestellt wird. Sämtliche Kolonnensümpfe und Vorlagen haben automatische Standregelung wiederum mit Ausnahme der Reinstyrolkolonne, in der der Stand wegen der Zähflüssigkeit des Rückstandes von Hand geregelt werden muß.

Die wichtigsten Temperaturen, Drucke und Differenzdrucke werden geschrieben. Sämtliche Regelinstrumente arbeiten zu unserer vollsten Zufriedenheit.

Die Styroldestillation ist eine Freiluftanlage. Wir hatten bei der scharfen Kälte des letzten Winters Gelegenheit, die Sicherheit der Anlage gegen die Einfrierungsgefahr zu studieren. Unangenehm bemerkbar machte sich ein geringer Wassergehalt im Ofenöl und, da das Wasser überdestilliert wird, im Retouräthylbenzol. Diese Ursache von Störungen, die in der Vereisung von Ovalradzählern bestand, ist durch Chlorcalciumtrocknung des Ofenöls beseitigt.

Wesentlich unangenehmer waren die Störungen, die an den Dampfstrahlern auftraten. Wir hatten, um die nicht in Betrieb befindlichen Dampfstrahler gegen das Einfrieren zu schützen, Schleichdampf aufgemacht und dabei nicht bemerkt, dass der Dampf in den seitlich abgehenden Ansaugleitungen kondensierte. Diese Leitungen waren vollständig zugeseist. Als man der in Betrieb befindliche Dampfstrahler infolge Verstopfung einer Fallwasserleitung durch Rost ausfiel, gelang es uns nicht, einen anderen Strahler in Betrieb zu nehmen. Wir mußten bei 24° Kälte die Destillation abstellen und konnten erst nach Auftauen der zugeseisten Leitungen nach 1 1/2 Tagen wieder anfahren. Materielle Frostschäden konnten vermieden werden.

ng, dass eine

entliche ein- und  
ssen. Die Zu-  
flußanzeigern  
pfer erfolgt  
instyrolkolon-  
s eingestellt  
automatische  
kolonne, in der  
von Hand ge-

drucke wer-  
en zu unserer

r hatten bei  
die Sicher-  
dieren. Un-  
ehalt im Ofen-  
räthylbenzol.  
n Ovalradzäh-  
enöls beseitigt.

den Dampfströh-  
befindlichen  
eichdampf auf-  
en seitlich  
ngen waren  
liche Dampf-  
durch Rost  
in Betrieb  
abstellen  
en nach 1 1/2  
n vermieden

Auch diese Gefahrenquelle ist heute beseitigt. Die nicht in Be-  
trieb befindlichen Dampfstrahler werden sorgfältig entleert, wo-  
bei über undichten Schiebern evtl. Blindscheiben gesteckt werden  
müssen. Ferner sind in den seitlich abgehenden Anscugleitungen  
der Dampfstrahler jetzt Heizschlangen und Abscheider für Wasser  
eingebaut worden.

Zum Schluß noch einige Bemerkungen über die Qualität des Styrols.  
Wenn gute Polymerisate erhalten werden sollen, muß das Styrol  
ebenso wie die anderen Ausgangsmaterialien außerordentlich rein  
sein. Ein Aethylbenzolgehalt des Styrols ist nicht störend, da  
das Aethylbenzol nur als Verdünnungsmittel wirkt. Außerordentlich  
unangenehm ist dagegen Divinylbenzol, das durch Dehydrierung von  
im Aethylbenzol bei unsauberer Destillation enthaltenem Diäthyl-  
benzol entstehen kann. Mehr als 0,1 % Divinylbenzol im Styrol  
führen zu einer starken Beeinträchtigung der physikalischen Ei-  
genschaften des Buna S.

Die Qualität des erhaltenen Styrols wird laufend untersucht.  
Der Divinylbenzolgehalt liegt demnach weit unter 0,02 %. Der Rein-  
heitsgrad des Styrols ist im Durchschnitt mit 99,5 - 99,7 % ermit-  
telt worden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Styroldestil-  
lation Schkopau ein Styrol von guter Qualität liefert, dass die  
Leistung der Anlage die Berechnung um fast 100 % übertrifft und  
dass es gelungen ist, die äußerst unangenehme Polymerisation des  
Styrols in der Destillation zu verhindern.

gez. Dr. Winkeler

ITEM 14.

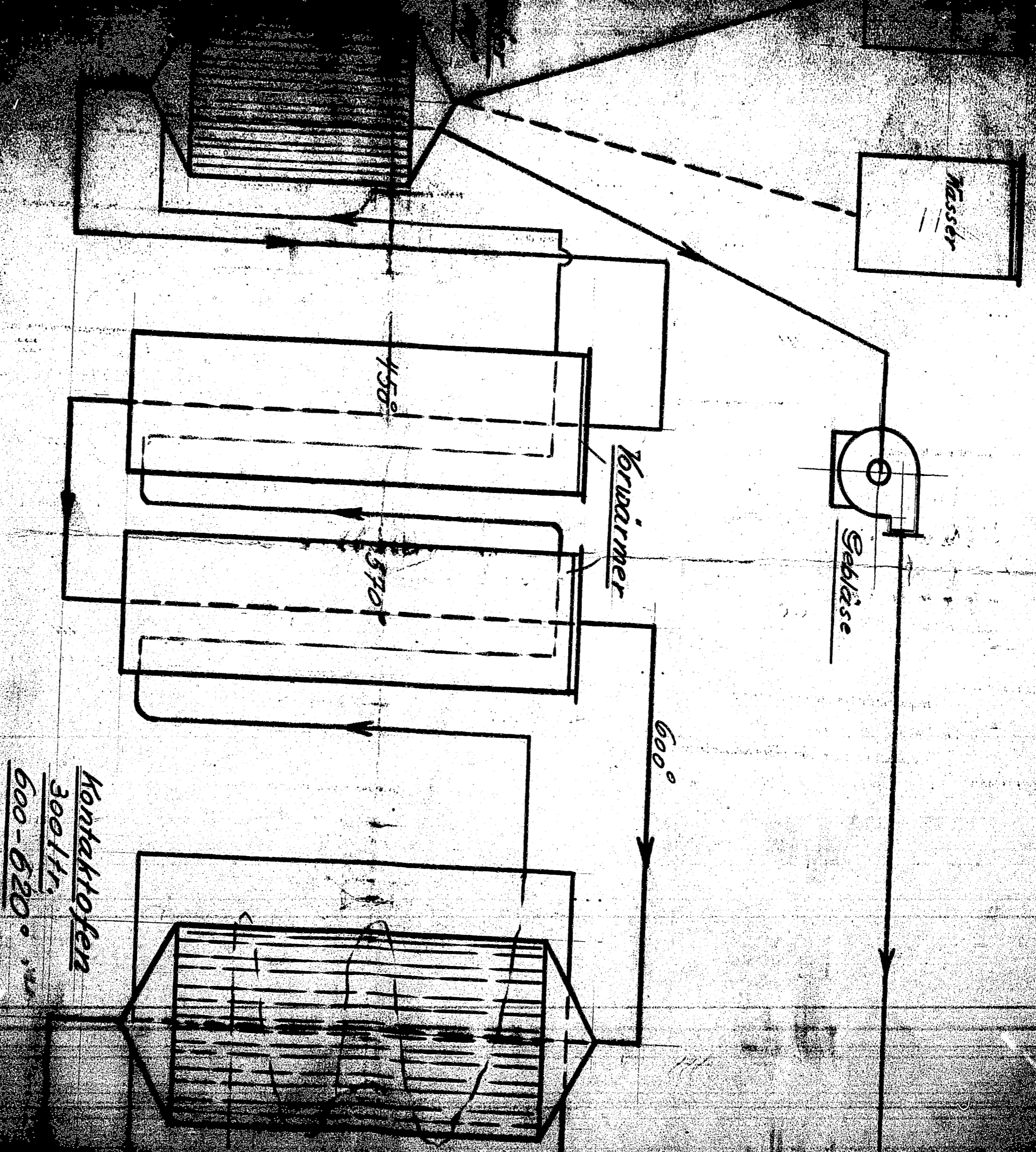
---

STYRENE FLOW  
SHEET.

---

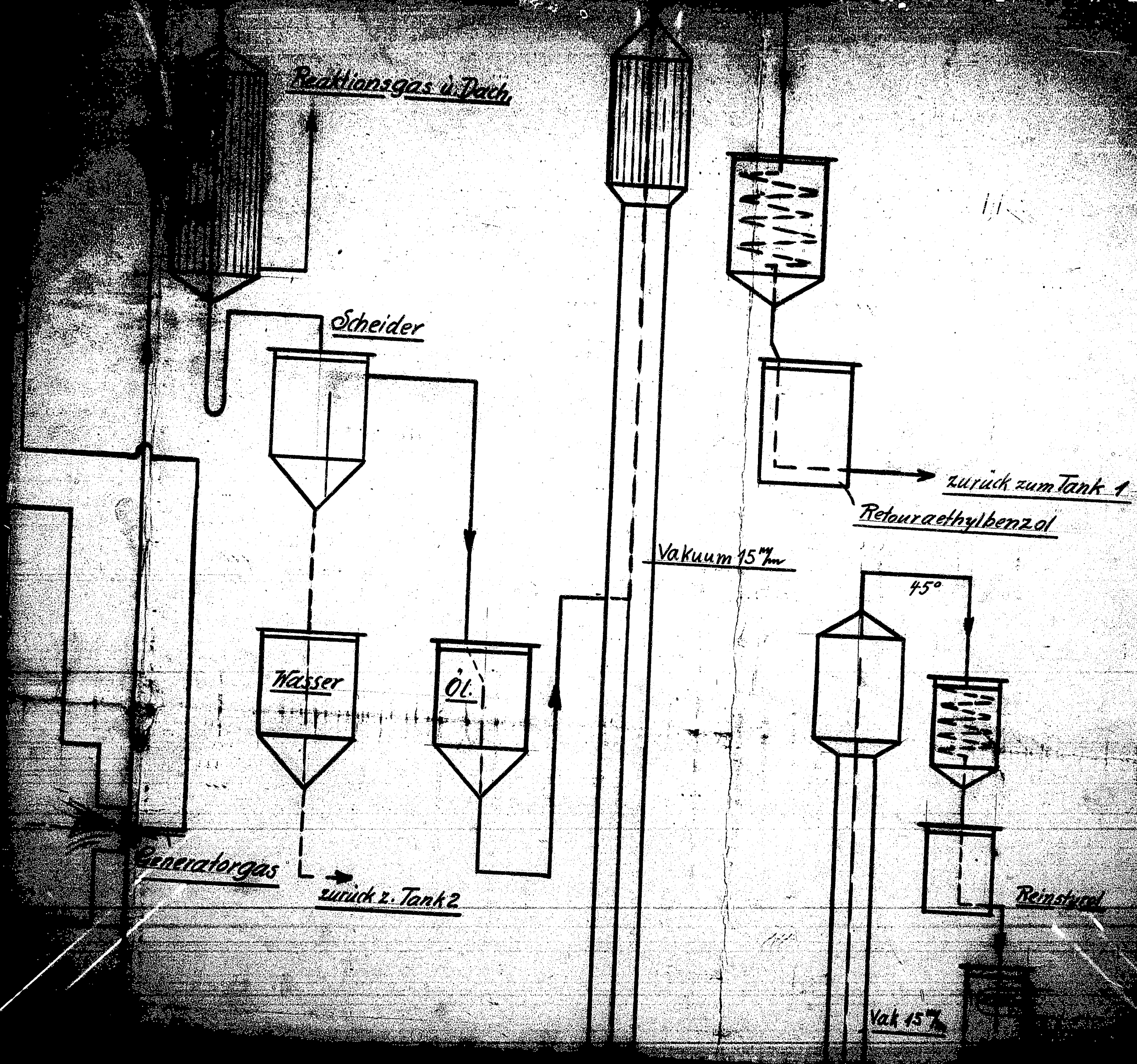
Schema der Öl- und -Apparate

Durchsatz: 38 kg Aethylbenzol / Std. / Dampfdruck: 1.100  
76 kg Wasser



Kontaktofen  
300 ltr.  
600-620°





Reaktionsgas ü Dach

Scheider

Wasser

Öl

Vakuum 15<sup>mm</sup>

45°

zurück zum Tank 1  
Retouräthylbenzol

Generatorgas  
zurück z. Tank 2

Reinstuhl

Vak 15<sup>mm</sup>

Generatorgas

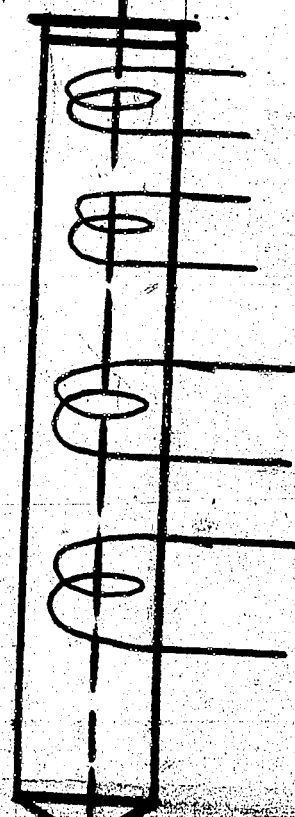
→  
zurück z. Tank 2

Kontinuierl. Trenndest.



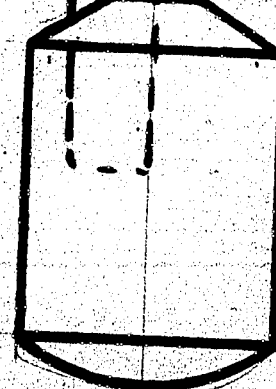
Vak 15 mm

Reinstyrol



180-200°

Reindest.





ITEM 37.

DISTILLATION OF  
BUTADIENE-SCHKOPAU.

---

ITEM 37.

---

DISTILLATION OF  
BUTADIENE-SCHKOPAU.

---

177 Die  
Butadien-Destillation  
in Schkopau



Vortrag

auf der 6. Tagung der Destillations-Konferenz  
in Leuna und Schkopau  
von Dr. Broich

Buna - Werke  
Schkopau

6. Tagung der Destiko  
11./12. November 1940

Die Butadienestillation Schkopau.