



**Inhaltsverzeichnis:** Rickhey: Geleitwort 1939, S. 1 / Dr.-Ing. Zinner: Die Anpassung des Dieselmotors an schwer entzündliche Kraftstoffe, S. 2 / H. Skrebba: Der Schwimmerstoßdämpfer für Rohrleitungen, ein Druckwindkessel neuer Art, S. 13 / Der Leichtbau in Konstruktion und Technologie: Zwischenansprachen und Aussprachebeiträge, S. 16 / Fachschau Leichtbau, S. 23



P. 822/39

Baltes

## Männer der Technik!

*Ein Jahr angespannter Arbeit und großer Erfolge liegt hinter uns. Das Jahr 1938 wird durch die unvergleichliche Tat unseres Führers Adolf Hitler in den Annalen der deutschen Geschichte als das Jahr des wiedererstandenen Großdeutschlands für ewige Zeiten verzeichnet sein. Die Rückführung der ältesten deutschen Ostmark und des Sudetenlandes in den deutschen Reichsverband verwirklichte einen jahrhundertealten Traum aller Deutschen.*

*Nicht in letzter Linie haben die Männer der Technik durch den hohen Stand ihrer Leistungen dazu beigetragen, daß der Führer, ohne die Gewalt der Waffen sprechen lassen zu müssen, seine Politik des Friedens und der friedlichen Eingliederung der Ostmark und des Sudetenlandes vollbringen konnte. Das Jahr 1939 wird ein weiteres Jahr der Arbeit und des Vorwärtsschreitens sein. Unter schärfster Anspannung aller Kräfte und durch letzten Einsatz jedes einzelnen statten wir dem Führer unseren Dank dafür ab, daß er die drohende Kriegsgefahr des vergangenen Jahres zum Frieden wenden konnte.*

**Rickhey**  
Gauamtsleiter

# Die Anpassung des Dieselmotors an schwer entzündliche Kraftstoffe<sup>\*)</sup>

Von Dr.-Ing. Karl Zinner VDI, Dresden

Bei der Umstellung auf die Kraftstoffversorgung aus den Quellen des eigenen Landes muß Deutschland sich hauptsächlich auf die Erzeugnisse aus der Kohle stützen. Während die aus dem Erdöl gewonnenen, für den Dieselmotor in Frage kommenden Destillationsprodukte im allgemeinen keine Schwierigkeiten für ihre Verwendung im Motor bereiten, ist ein einwandfreier Betrieb mit den aus der Kohle stammenden flüssigen Kraftstoffen, die je nach Ausgangsstoff und Herstellungsart (Hydrierung, Schwelung, Synthese) sehr unterschiedliche Eigenschaften besitzen, nicht ohne weiteres gegeben. Zwar gibt uns die heutige Chemie die Mittel in die Hand, auch aus der Kohle hochwertige, zum Betrieb des Motors bestens geeignete Kraftstoffe zu erzeugen. Diese sind aber sehr teuer. Hochwertige Kraftstoffe zu verwenden ist nur dort notwendig, wo besondere Anforderungen in bezug auf Leistungsgewicht des Motors, Betriebssicherheit und geringe Wartung bestehen. Für bestimmte Verwendungszwecke jedoch, z. B. für die ortsfeste Krafterzeugung, ist eine Verteuerung des Dieselmotorkraftstoffes durch eine besondere chemische Aufbereitung nicht tragbar. Um mit dem Dieselmotor gegenüber der Dampfkraft überhaupt konkurrenzfähig zu sein, muß in diesen Fällen der meist viel wirtschaftlichere Weg der Anpassung des Motors an den Kraftstoff eingeschlagen werden.

## Die Kraftstoffeigenschaften

Die an die Beschaffenheit eines Treibstoffes zu stellenden Anforderungen werden nach Professor A. W. Schmidt in folgenden Daten zusammengestellt:

- a) Handelstechnische Daten:
  1. Flammpunkt; Feuersicherheit bei Lagerung und Beförderung.
  2. Wassergehalt.
  3. Reinheit hinsichtlich mechanischer Verunreinigungen.
- b) Betriebstechnische Daten:
  1. Stockpunkt; maßgebend für Förderung und Verhalten bei Kälte.
  2. Filtrierbarkeit; maßgebend für Bemessung der Filter.
  3. Korrosionsfähigkeit; Beständigkeit von Leitungen, Behältern und Einspritzteilen gegen Anfressungen.
- c) Motortechnische Daten:
  1. Zähigkeit als Kennzeichen für den Ablauf des Einspritz- und Fördervorganges.
  2. Zündwilligkeit als Kennzeichen des Verhaltens in der Maschine (Anlassen und Ganghärte).
  3. Verkokbarkeit als Maß für die Neigung zu Koksansätzen.
  4. Heizwert als Maß für den spezifischen Verbrauch.
  5. Leistung an der Rauchgrenze als Kennzeichen für den Verbrennungscharakter.

Von den motortechnischen Daten liegt der untere Heizwert der für den Dieselmotor in Frage kommenden flüssigen Kraftstoffe zwischen 9000 und 10 000 kcal/kg und beeinflusst seine Verwendungsfähigkeit im Motor nur in geringem Maße. Die Zähigkeit ist für den Einspritzvorgang und für die Möglichkeit einer einwandfreien Gemischbildung bei der Kraftstoffeinspritzung in den Verbrennungsraum von Bedeutung, von der Verkokbarkeit hängt das einwandfreie Arbeiten der Einspritzdüsen und mittelbar auch die Lebensdauer

der Kolbenringe ab. In der Leistung an der Rauchgrenze als Maßstab für den Verbrennungscharakter drücken sich sowohl chemische Verbrennungseigenschaften als auch physikalische Gemischbildungseigenschaften aus.

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Verwendbarkeit eines Kraftstoffes im Dieselmotor ist die Zündwilligkeit, die daher im Vordergrund der folgenden Betrachtungen stehen soll.

## Der Zündverzug

Der in die heiße Luft eingespritzte Kraftstoff erwärmt sich, vermischt sich mit ihr und tritt in Reaktion mit dem Sauerstoff ein. Diese Reaktionen werden nach Erreichen einer bestimmten Geschwindigkeit mit Zündung bezeichnet. Zwischen Einspritzung und Zündung muß sich nach einem äußeren Schema ungefähr etwa folgendes abspielen: Tröpfchenbildung, Erwärmung, Verdampfung, Mischung mit der Luft, Weitererwärmung des Gemisches und schließlich chemische Reaktion, verbunden mit Wärmeentwicklung. Der durch diese Vorgänge bedingte Zündverzug, der durch die Zeitdauer zwischen Einspritzbeginn und Verbrennungsbeginn definiert wird, setzt sich also aus einer Reihe von Vorgängen physikalischer und chemischer Natur zusammen. Die Definition des Zündverzuges im Motor ist an die durch Meßgeräte nachweisbaren Zeitpunkte des Einspritzbeginnes und des Verbrennungsbeginnes gebunden und ist unabhängig davon, ob die zuerst eingespritzten Kraftstoffteilchen auch die zuerst verbrennenden Teilchen sind. Letzteres ist allerdings, soweit sich aus unseren Kenntnissen von den Vorgängen bei der Gemischbildung und Verbrennung schließen läßt, wahrscheinlich.

Die chemischen Vorgänge bei der Zündung haben vorherrschend die Natur der von selbst verlaufenden Reaktionen im Gemisch, und nicht die einer Flammenfortpflanzung von einer Zündquelle aus. Der auf chemische Ursachen zurückzuführende Anteil des Zündverzuges ist daher der „Induktionszeit“ des Explosionsvorganges gleichzusetzen.

## Die Messung der Zündwilligkeit

Bevor ich auf die Vorgänge während des Zündverzuges, deren Kenntnis für die Beurteilung der Möglichkeiten einer Zündungsverbesserung von grundlegender Bedeutung ist, näher eingehe, möchte ich die Bewertung und Prüfung der Zündwilligkeit sowie die Zusammenhänge zwischen chemischem Aufbau der Kohlenwasserstoffe und Zündwilligkeit kurz besprechen.

Da die Zündung im Motor nicht nur von den Kraftstoffeigenschaften, sondern von dem Ablauf der die Zündung einleitenden Vorgänge und damit vom Verbrennungsverfahren, Verbrennungsraum, Temperaturzustand und Drehzahl des Motors, Temperatur, Dichte und Restgasbeimengung der Ladeluft abhängt, macht die zahlenmäßige Bewertung der Zündwilligkeit erhebliche Schwierigkeiten. Solange man die für die Zündung maßgeblichen physikalischen und chemischen Kraftstoffeigenschaften noch nicht eindeutig kennt, ist man auf die Anwendung einer Vergleichsskala angewiesen. Dabei ist es heute üblich, die Zündwilligkeit eines Kraftstoffes in Cetenzahlen auszudrücken, wobei diese, wie bekannt, angeben, daß der betreffende Kraftstoff dieselbe Zündeigenschaft hat, wie ein Gemisch aus Ceten- und  $\alpha$ -Methylnaphthalin mit so viel

<sup>\*)</sup> Vortrag gehalten im Haus der Technik Essen am 8. November 1938. Fotos und Zeichnungen: Maschinenlaboratorium TH Dresden.

Vol.-% Ceten, wie die Cetenzahl angibt. In diesem Gemisch ist Ceten (bzw. Cetan, das beständiger ist und ungefähr dieselbe Zündwilligkeit besitzt wie Ceten) der gut zündende,  $\alpha$ -Methylnaphthalin der schlecht zündende Kraftstoff. Die gleiche Zündeigenschaft ist durch den im Motor unter bestimmten gleichen Bedingungen gemessenen gleichen Zündverzug gegeben. Für die Messung des Zündverzuges durch Aufzeichnung des Einspritzbeginnes (Düsenadelhub, Kraftstoffdruck an der Düse, Strahlphotografie) und der Zündung (Drucksteigerung durch Verbrennung, Temperatursteigerung durch Verbrennung, Auftauchen der Flamme mit Nachweis auf elektrischem, fotooptischem oder fotoelektrischem Wege) gibt es eine Reihe von Verfahren, auf die ich nicht näher eingehen will.

Um einerseits die umständlichen motorischen Prüfverfahren, die kostspielige Meßeinrichtungen erfordern, entbehrlich zu machen, und um andererseits Grundlagen für eine absolute Bewertung zu finden, bemüht man sich seit jeher, Beziehungen zwischen chemischen und physikalischen Prüfmethode und Kraftstoffkennziffern auf der einen und motorischem Verhalten auf der anderen Seite zu finden.

**Molekülaufbau und Zündwilligkeit**  
 Daß zwischen Zündwilligkeit und Molekülaufbau ein enger Zusammenhang besteht, ist durch die zahlreichen Untersuchungen der letzten Jahre nachgewiesen. Wenn auch die Erstsache für das Zündverhalten nicht genau festgestellt ist, so nimmt man doch an, daß der Zerfall des Kohlenwasserstoffmoleküls in freie Radikale bei der Einleitung der Verbrennung eine maßgebliche Rolle spielt. Die Zerfallneigung hängt von dem Aufbau des Kohlenwasserstoffmoleküls in der Weise ab, daß sie um so größer wird, je größer das Molekül und je reihenförmiger die Atome im Molekül gebunden sind. Die geraden, unverzweigten Ketten (Paraffine) sind am wenigsten fest, die ringförmig gebundenen Kohlenwasserstoffe (Aromaten) sind am festesten (Abb. 1). Jeder Kraftstoff ist ein Gemisch aus zahlreichen Kohlenwasserstoffen verschiedener Molekülgröße und Bindung, die im einzelnen nach Anteil und Aufbau durch die chemische Analyse zu bestimmen nicht möglich ist. Durch die Untersuchungen der letzten Jahre kann als erwiesen gelten, daß für die Zündwilligkeit genügend genau ein additives Gesetz gilt, d. h., daß die Zündwilligkeit des Gemisches den Mittelwert der Zündwilligkeiten der einzelnen Bestandteile bildet. Mit dem Aufbau des Kohlenwasserstoffmoleküls hängen auch bestimmte physikalische Eigenschaften gesetzmäßig zusammen, aus denen daher Schlüsse auf die Kraftstoffzusammensetzung und damit auf das motorische Verhalten gezogen werden können. Da sich aber schon

im einfachsten Fall, in dem nur Kohlenstoff und Wasserstoff am Aufbau des Kraftstoffmoleküls beteiligt ist, die Einflüsse von Molekülgröße und -bindung überlagern, sind zur Bestimmung der Zusammensetzung und damit zu Voraussagen über das motorische Verhalten mindestens zwei physikalische Eigenschaften notwendig. Nach Versuchen von Heinze und Marder eignet sich zur Kennzeichnung der Zündeigenschaften am besten die Siedekennziffer als Maßstab für die Molekülgröße zu-

sammen mit der Dichte oder dem Parachor ( $p = \frac{\sqrt{\sigma}}{d}$ ,  $\sigma$  = Oberflächenspannung,  $d$  = Dichte) oder der Wasserstoffzahl oder dem Heizwert. Abb. 2 gibt ein Beispiel dafür, wie gut sich die im Motor gemessenen Cetanzahlen (Kreise) in eine durch eine Kurve dargestellte Gesetzmäßigkeit einordnen. Diese Kurve zeigt die auf gleiche Siedekennziffer umgerechneten Cetanzahlen in Abhängigkeit von der Dichte. Daß diese Einordnung nicht vollkommen ist, hat verschiedene Gründe. Einmal hängt der verwickelte Zündvorgang nicht nur von einer kennzeichnenden Kraftstoffeigenschaft ab (Zerfallneigung), sondern auch von

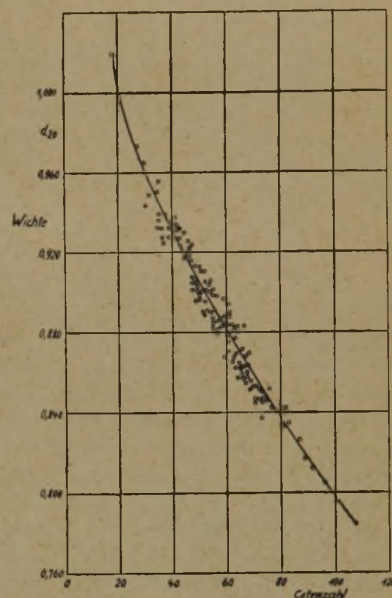


Abb. 2: Dichte und Cetanzahl für gleiche Siedekennziffer (nach Marder).

Temperaturvorgängen, deren Einfluß sich je nach den äußeren Bedingungen verschieden stark auswirkt. Weiter unterscheiden sich manche Isomere nur wenig in den physikalischen Eigenschaften, aber stark in ihrem motorischen Verhalten. Schließlich treten dann, wenn auch noch andere Elemente, wie Sauerstoff und Stickstoff, am Aufbau des Kohlenwasserstoffmoleküls beteiligt sind, die Beziehungen zwischen Molekülgröße, Bindung und Zerfallneigung nicht mehr so eindeutig hervor wie bei den reinen Kohlenwasserstoffen.

### Die Vorgänge bei der Zündung

Nach diesen Bemerkungen über Bewertung und Prüfung der Kraftstoffe wollen wir uns mit den Vorgängen beim Zündverzug etwas näher befassen. Wir hatten schon erfahren, daß sich dieser aus den hydromechanischen Vorgängen der Tröpfchenbildung und Zerstäubung, aus der Vermischung und Wärmeaufnahme, Verdampfung und Diffusion und schließlich aus chemischen Reaktionen zusammengesetzt. Da sich hierbei die verschiedenen Teilvorgänge überlagern, ist eine unmittelbare Kontrolle und Messung der einzelnen Zeitabschnitte durch das Experiment nicht möglich. Es ist jedoch zum Beispiel möglich, Aussagen darüber zu machen, wie sich die einzelnen Vorgänge mit der Temperatur ändern. Wenn daher Zündverzugsmessungen über einen großen Temperaturbereich vorliegen, können aus diesen Ergebnissen auch gewisse quantitative Schlüsse auf die Teilvorgänge gezogen werden.

Von den Teilvorgängen beim Zündverzug ändert sich die chemische Reaktion am stärksten mit der Tempera-

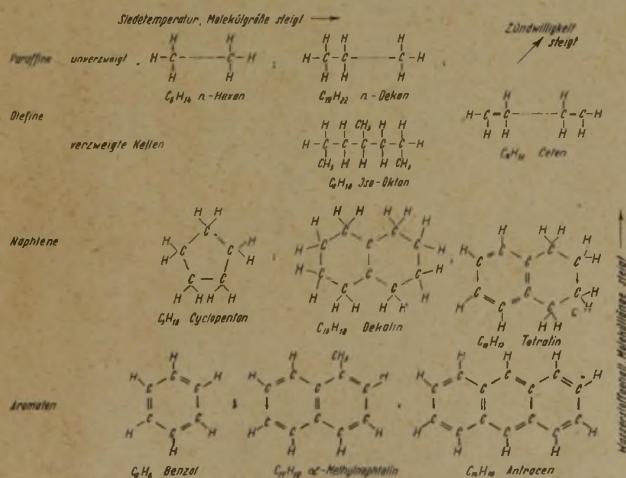


Abb. 1: Molekülaufbau, Molekülgröße und Zündwilligkeit von Kohlenwasserstoffen

tur. Aus den Messungen, die uns die physikalische Chemie über die Reaktionsgeschwindigkeit liefert, ist bekannt, daß sich diese im allgemeinen in der Nähe der Zimmertemperatur bei einer Temperaturerhöhung um  $10^\circ$  verdoppelt. Über Reaktionsgeschwindigkeiten bei hohen Temperaturen liegen wegen der Schwierigkeit ihrer Bestimmung wenig experimentelle Unterlagen vor. Wenn man Messungen, die Tizard und Pye über die Zündung von Brennstoffdampf-Luft-Gemischen bei adiabatischer Verdichtung durchgeführt haben, extrapoliert, kann man schließen, daß bei den im Motor auftretenden Temperaturen zu einer Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit eine Temperatursteigerung von nicht mehr als  $20^\circ$  notwendig ist. Gegenüber dieser starken Temperaturabhängigkeit der chemischen Reaktion fällt die Veränderung der Einspritzung und Verdampfung mit der Temperatur nicht ins Gewicht. Danach wäre zu erwarten, daß der eine Summe von Einzelvorgängen darstellende Zündverzögerung bei niedrigen Temperaturen durch die Geschwindigkeit der chemischen Reaktion bestimmt ist, während bei hohen Temperaturen die Reaktionsgeschwindigkeit so groß ist, daß sie für den Gesamtverlauf keine Rolle spielt.

#### Der chemische Zündverzögerung und seine chemisch-physikalische Deutung

Um zu richtigen Schlüssen zu kommen, wollen wir uns kurz der Vorstellungen bedienen, die sich die chemische Kinetik von den Reaktionen in der Gasphase macht. Es sind heute keine Beweise dafür vorhanden, daß die Zündung von Kohlenwasserstoffen bei der Einspritzung in den Motor nicht oder nicht vorwiegend in der Gasphase vor sich gehen soll.

Die chemische Kinetik baut auf der kinetischen Gastheorie auf, die aus einem Versuch einer einfachen und zusammenfassenden Grundvorstellung eine sehr weit ausgebaute und durch viele Experimente gesicherte Beschreibung des wirklichen Verhaltens der Gase geworden ist. Wir wissen, daß Gase aus einzelnen Molekeln bestehen, die sich in dem zur Verfügung stehenden Raum in lebhafter Bewegung befinden. Die einzelnen Molekel fliegen dabei so lange geradeaus, bis sie infolge des Stoßes an die Gefäßwand oder an andere Molekel ihre Fluggeschwindigkeit und -richtung ändern. Dabei verhalten sie sich normalerweise wie bei dem vollkommen elastischen Stoß, d. h. sie ändern Richtung und Geschwindigkeit bei Erhaltung von Impuls und Energie. Unter Umständen führen diese Stöße aber dazu, daß die Moleküle gesprengt werden und daß die frei werdenden Atome oder Atomgruppen andere Verbindungen eingehen.

#### Die Reaktionsgeschwindigkeit der Wärmeexplosion

Die Wahrscheinlichkeit, daß Molekel zweier Arten zusammenstoßen, hängt von der Anzahl der im Raume vorhandenen Molekel ab und ist für gegebene Geschwindigkeit, d. h. bestimmte Temperatur, dem Produkt aus den Konzentrationen der beiden Stoffe verhältlich; deshalb wird die Reaktionsgeschwindigkeit auch dem Produkte der Konzentrationen der beiden Bestandteile verhältlich sein, soweit sie, wie in dem einfachsten Fall der bimolekularen Reaktion, nicht über andere Zwischenglieder verläuft. Sind z. B. Joddampf und Wasserstoff bei einer Temperatur miteinander gemischt, bei der die Umsetzung zu Jodwasserstoff  $H_2 + J_2 = 2 HJ$  erfolgt, würde die Zunahme des Jodwasserstoffs in der Zeiteinheit dem Produkt der beiden Konzentrationen verhältlich sein:

$$\frac{d [HJ]}{dt} = k \cdot [H_2] \cdot [J_2] \quad (1)$$

Bei einer bestimmten Temperatur ist zwar die mittlere Geschwindigkeit aus allen Molekeln eindeutig bestimmt, jedoch ist diese Geschwindigkeit sehr ungleichmäßig verteilt. Die Geschwindigkeitsverteilung gehorcht einem Wahrscheinlichkeitsgesetz, das durch Maxwell mathematisch formuliert worden ist. Zur Reaktion ist nur ein sehr kleiner Bruchteil der Molekel, die ein Vielfaches der mittleren Bewegungsenergie besitzen, fähig. Nach der kinetischen Theorie ist der Bruchteil  $\mu$  aller Molekel, die auf ein Mol umgerechnet, die Energie  $q$  besitzen, gleich

$$\mu = e^{-q/RT}, \quad (2)$$

in welcher Gleichung  $R$  die allgemeine Gaskonstante und  $T$  die absolute Temperatur bedeutet. Zur Zerspaltung der Molekel  $H_2$  in Atome ist je Mol die Energie von 102,7 kcal notwendig und ein etwas kleinerer Betrag zur Trennung der Jodmolekel. Damit bei dem Zusammenstoß der Molekel  $H_2$  mit den Molekeln  $J_2$  eine Umlagerung in Molekel  $HJ$  erfolgt, muß zwar die Bindung  $H-H$  und  $J-J$  nicht vollständig getrennt, aber doch wesentlich gelockert werden. Der für diese Lockerung notwendige Energiebetrag ist, auf das Mol bezogen, gleich der sogenannten Aktivierungswärme  $E$  kcal/Mol. Die Anzahl der zu einer Umsetzung führenden Stöße wird also nach dem Vorhergesagten proportional dem Faktor  $e^{-E/RT}$  sein. Damit kann man die Reaktionsgeschwindigkeit für die einfache bimolekulare Reaktion schreiben zu

$$v = \frac{dn}{dt} = A \cdot e^{-E/RT}, \quad (3)$$

wobei  $v$  die Reaktionsgeschwindigkeit,  $n$  die Konzentration eines Reaktionsproduktes und  $A$  einen von den Konzentrationen der zur Reaktion gelangenden Komponenten abhängigen Faktor bedeutet. Für das Beispiel des Jodwasserstoffes würde die Reaktionsgeschwindigkeit demnach

$$(3a) \quad v = \frac{d [HJ]}{dt} = c [H_2] \cdot [J_2] \cdot e^{-E/RT} \text{ betragen.}$$

In dieser Formel ist, wenn  $E$  überhaupt nennenswerte Beträge annimmt, die außerordentlich starke Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Temperatur bemerkenswert.

Wenn bei der Umlagerung der Atome zu einem neuen Verband sich diese dabei in einem Schwingungszustand befinden, der weniger kinetische Energie bindet als der alte Verband, dann wird bei der Reaktion Energie frei, die sich bei den Zusammenstößen den anderen Molekeln mitteilt und damit deren Geschwindigkeit und Temperatur erhöht. Durch diese Geschwindigkeitssteigerung werden, wenn die Temperatur nicht wieder durch Wärmeentzug gesenkt wird, mehr Molekel in die Lage versetzt, die Aktivierungsenergie aufzubringen, zu reagieren und so nun ihrerseits die Temperatur und Geschwindigkeit der Reaktion zu steigern.

Wenn  $Q$  die frei werdende Reaktionswärme für die Einheit des Umsatzes bedeutet, dann beträgt die in der Zeiteinheit frei werdende Wärme

$$dq_1/dt = Q \cdot A \cdot e^{-E/RT}. \quad (4)$$

Durch Wärmeleitung wird an die Gefäßwandungen eine Wärmemenge abgeführt, die der Temperaturdifferenz zwischen Gas und Wand, der Wandfläche und einer Wärmeübergangszahl verhältlich ist, die in erster Annäherung für kleine Bereiche konstant angenommen werden kann.

$$dq_2/dt = a \cdot F \cdot (T - T_0) \quad (5)$$

Je nach Geschwindigkeit der Primärreaktion und der durch die Gefäßwand bedingten Wärmeableitung können wir für den Verlauf der Reaktion die in Abb. 3 dargestellten drei Fälle unterscheiden, in der die entwickelten und abgeführten Wärmemengen über der

Temperatur aufgetragen sind. Wird genau soviel Wärme entwickelt, wie abgeführt (b), dann ist die Reaktionsgeschwindigkeit unveränderlich, wenn man den Einfluß des Verbrauches der

Ausgangsprodukte auf die

Geschwindigkeit der Reaktion unberücksichtigt läßt.

Wird mehr Wärme abgeführt als zugeführt (c), dann klingt die Reaktion langsam ab. Ist die entwickelte Wärme größer als die abgeführte (a),

dann tritt nach Ablauf einer bestimmten Zeit, der Induktionszeit, Explosion ein, da Temperatur und Reaktionsgeschwindigkeit sich gegenseitig steigern. Grenzbedingung für Explosion (Zündung) ist die Bedingung, daß für  $T = T_2$  die entwickelte gleich der abgegebenen Wärmemenge ist:

$$Q \cdot A \cdot e^{-E/RT_2} = \alpha \cdot F \cdot (T_2 - T_0) \quad (6)$$

Da die Aktivierungswärme  $E$  für ein kleines Temperaturintervall sich wenig ändert und  $A$  von den Partialdrücken der Komponenten abhängt, stellen die Explosionsbedingungen eine Beziehung zwischen Partialdruck, Gefäßtemperatur, Wandungsfläche und Wärmeübergangszahl dar.

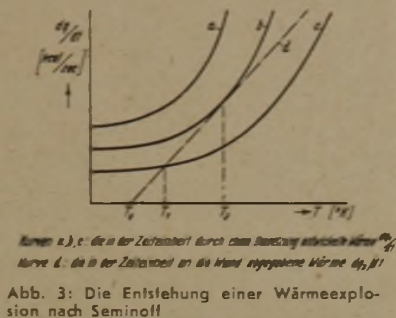
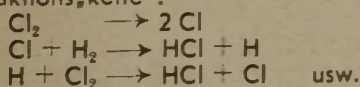
In Abb. 4 ist die Reaktionsgeschwindigkeit als Funktion der Zeit aufgetragen, und zwar bedeutet c die stationäre Reaktion, b den Grenzfall und a die Explosion mit der Induktionszeit  $\tau$ . Die Induktionszeit  $\tau$  sagt aus, daß die Reaktionsgeschwindigkeit sich dem Werte  $\infty$  nähert. Unter vereinfachenden Annahmen kann man für die Induktionszeit, d. h. für den auf chemische Ursachen zurückzuführenden Anteil des Zündverzuges einen Ausdruck von der Form

$$\tau \approx \frac{e^{+E/RT}}{p^n} \text{ ableiten.} \quad (7)$$

### Die Kettenexplosion

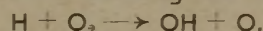
Wenn, wie in dem bisher betrachteten Fall, eine Temperaturerhöhung die Ursache für die Geschwindigkeitssteigerung der Reaktion ist, dann hat man es mit einer sog. Wärmeexplosion zu tun. Obwohl jede Explosion in einem bestimmten Stadium in die Wärmeexplosion übergeht, muß doch die Temperatursteigerung nicht immer die Erstsache hierfür gewesen sein.

Bei den meisten Reaktionen ist die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Temperatur nicht immer so eindeutig wie bei der oben geschilderten bimolekularen Reaktion. Die Bildung von Chlorknallgas aus Chlor und Wasserstoff z. B. erfolgt nicht nach der Bruttoumsatzgleichung  $H_2 + Cl_2 = 2 HCl$ , sondern über die Reaktionskette:

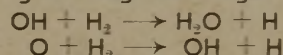


Durch einmal entstandene Cl-Atome, in diesem Fall z. B. durch Belichten, wird eine ganze Reaktionskette ausgelöst, da am Ausgang der Reaktion immer wieder freie Atome erscheinen. Die freien, vielmehr die gerade frei gewordenen Atome bzw. Atomgruppen sind in erhöhtem Maße aktiv, d. h. zur Reaktion besonders fähig, da sie eine hohe Energie als Bewegungsenergie frei mit sich tragen, die vorher als Schwingungsenergie im Molekel gebunden war. Das Wesen der Kettenreaktion besteht also darin, daß ein einmal entstandenes aktives Teilchen eine Reaktion einleitet und daß nach Ablauf der Reaktion ein neues aktives Teilchen eingeleitete Kette kann u. U. sehr lang sein. Reaktionen dieser Art können durch künstliche Erzeugung oder Vernichtung aktiver Teilchen sehr stark beeinflusst werden.

Wenn für ein aktives Teilchen am Anfang zwei oder mehrere aktive Teilchen am Ende der Reaktion entstehen, spricht man von einer Kettenverzweigung. Als Beispiel einer solchen Kettenverzweigung sei die Knallgasreaktion gebracht. Durch einen Primärvorgang seien freie H-Atome gebildet worden, die dann mit dem Sauerstoff reagieren nach:

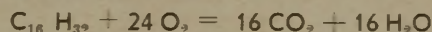


Dieser Vorgang löst folgende Folgereaktion aus:



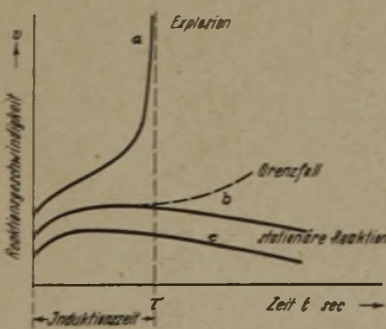
Durch Auftreten eines H-Atoms in den Ausgangsstoffen werden zwei in den Reaktionsprodukten frei. Durch diesen Vorgang der Kettenverzweigung kann die Reaktionsgeschwindigkeit auch ohne Temperaturerhöhung ansteigen, soweit dies nicht durch kettenabbrechende Reaktionen verhindert wird. Auch diese Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit durch Kettenverzweigung kann zur Explosion führen.

Es läßt sich nun durch eine Ableitung, auf die ich nicht näher eingehen will, nachweisen, daß auch die Reaktionsgeschwindigkeit durch Kettenverzweigung eine Temperaturabhängigkeit nach einer Exponentialfunktion hat. Aus der formalen Abhängigkeit der Induktionszeit von der Temperatur allein läßt sich demnach nicht entscheiden, ob es sich um eine Wärme- oder Kettenexplosion handelt. Aus verschiedenen anderen Anzeichen aber, z. B. der Beeinflussbarkeit der Vorgänge durch geringe Zusätze (Bleitetraäthyl als geschwindigkeitshemmend, organische Peroxyde oder Ozon als geschwindigkeitssteigernd) kann jedoch geschlossen werden, daß sowohl beim Klopfvorgang im Otto-Motor als auch beim Zündvorgang im Dieselmotor Kettenreaktionen eine Rolle spielen, zumal eine Bruttoumsatzgleichung einer Kohlenwasserstoffverbrennung z. B. von der Form

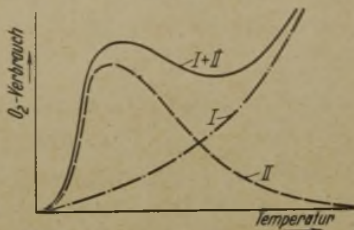


vorvornherein nicht den wahren Reaktionsablauf darstellen kann.

Bei der Oxydation von Kohlenwasserstoffen kann man manchmal die in Abb. 5 dargestellte Erscheinung beobachten: Der Sauerstoffverbrauch eines durch ein erhitztes Röhrchen geleiteten Gemisches, der in diesem Fall ein Maß für die Reaktionsgeschwindigkeit ist, wächst anfangs sehr stark mit der Temperatur, nimmt aber dann mit steigender Temperatur etwas ab, um dann später wieder anzusteigen. Dieser Verlauf kann damit gedeutet werden, daß sich bei der Gesamtreaktion zwei Teilvorgänge überlagern: ein schon bei niedrigen Temperaturen einsetzender Reaktionsvorgang infolge von Kettenverzweigung, der bei höheren Temperaturen infolge anderer Verlaufs der Reaktionseinleitung oder infolge von Bildung von



kettenabbrechenden Stoffen wieder abklingt (II), und die durch die Temperatur bedingte Wärmereaktion (I). Aus den bei bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen gemessenen Induktionszeiten läßt sich die Aktivierungswärme ausrechnen und die Durchführung dieser Rechnung führt zu folgenden Ergebnissen: Werden als Induktionszeit die bei adiabatischer Verdichtung (Tizard und Pye) von Brennstoffdampf-Luft-Gemischen gemessenen



I: Reaktion infolge Temperaturerhöhung.  
II: Reaktion infolge Kälteverzweigung.  
I+II: gemessene Gesamtreaktion.

Abb. 5: Reaktionsgeschwindigkeit von bestimmten Kohlenwasserstoff-Luft-Gemischen in Abhängigkeit von der Temperatur

Zündverzüge eingesetzt, dann ergibt sich eine Aktivierungswärme von einer Größe, die im Einklang mit anderen Meßergebnissen steht, und es zeigt sich auch die von der chemischen Reaktion zu erwartende Temperaturabhängigkeit. Die bei der Einspritzung von flüssigem Kraftstoff in die verdichtete Luft erhaltenen Zündverzüge ergeben nur bei niedrigen Temperaturen Aktivierungswärmen von der erwarteten Größe. Bei höheren Temperaturen sind die aus den Zündverzügen berechneten Aktivierungswärmen zu klein und besitzen außerdem nicht die durch die Exponentialfunktion geforderte Temperaturabhängigkeit. Wenn man die aus Messungen bei niedrigen Temperaturen gewonnenen Aktivierungswärmen als richtig ansieht, dann müßten sich bei den im Dieselmotor bei der Einspritzung auftretenden Temperaturen von 600° C und höher Induktionszeiten in der Größenordnung von wenigen Millionstel Sekunden ergeben. Da im Motor dagegen Zündverzüge in der Größenordnung von Tausendstel Sekunden gemessen werden, müssen dafür also andere als chemische Reaktionsvorgänge verantwortlich gemacht werden. Hier ergibt sich aber eine gewisse Unstimmigkeit. Bei der Kürze der Induktionszeiten bei den hohen Temperaturen dürften sich Unterschiede in der chemischen Beschaffenheit der Kraftstoffe für den gesamten Zündverzug überhaupt nicht mehr auswirken, sondern nur Unterschiede in den physikalischen, die Zerstäubung und Verdampfung beeinflussenden Eigenschaften. Dem widerspricht zunächst die Tatsache, daß nach Rechnungen, die auf Grund von an Teilvorgängen gewonnenen Unterlagen durchgeführt wurden, die für die Erwärmung und Verdampfung notwendigen Zeiten für bestimmte Teilgebiete des Strahles und die darin enthaltenen Tröpfchengrößen außerordentlich kurz sind und nur Bruchteile der gemessenen Zündverzüge ausmachen. Dieser Grund brauchte aber nicht stichhaltig zu sein, da die für eine genaue Erfassung der Vorgänge, insbesondere des Wärmeüberganges an den Strahl, vorliegenden experimentellen Unterlagen noch nicht ausreichen und da die Übertragbarkeit von an gesonderten Teilvorgängen gemessenen Werten auf die sich überlagernden Vorgänge beim Gesamtablauf nicht ohne weiteres gegeben ist. Der wichtigste Einwand aber gegen die Annahme, daß der Zündverzug bei den im Motor auftretenden hohen Temperaturen von den physikalischen und nicht von den chemischen Brennstoffeigenschaften abhängt, ist die Tatsache, daß die Zündwilligkeit der verschiedenen Kraftstoffe offenbar eine von dem Molekülaufbau abhängige Einstufung zeigt.

Daß die Zündverzugsmessungen bei hohen Temperaturen nicht die zu erwartenden Ergebnisse liefern,

kann einmal die Ursache haben, daß sich die chemische Reaktion bei der Dieseleinspritzung in wesentlich niedrigeren Temperaturen abspielt, als die gemessene Lufttemperatur angibt.

Bei der Einspritzung tritt durch die Erwärmung und Verdampfung des Kraftstoffes eine wesentliche Abkühlung der umgebenden Luft ein. Diese Abkühlung liegt bei Einspritzung von kaltem Brennstoff, wenn man sie auf die gesamte Luft- und gesamte Kraftstoffmenge bezieht, für Luftüberschufzahlen von 1,2 und übliche Dieselmotorkraftstoffe in der Größenordnung von 100° C. Für die Rechnungen der Erwärmung und Verdampfung wurde meist angenommen, daß für die günstigsten Zündvoraussetzungen, die an bestimmten Stellen des Strahlrandes, durch die Auflösungsfeinheit und Verteilung des Kraftstoffes bedingt, auftreten, mit einer von den benachbarten Vorgängen ungestörten Übertragung der Wärme und einem großen Wärmeüberschuß in der umgebenden Luft gerechnet werden kann. Gerade diese Annahme trifft aber anscheinend nicht zu.

Für die Verdampfung der Tropfen, die die Zündung einleiten, muß man die kühlende Wirkung der Nachbartropfen berücksichtigen. Zündung kann überhaupt nur bei einem bestimmten Verhältnis zwischen Kraftstoff und Luft eintreten. Wie eng diese Zündgrenzen u. U. sein können, ist von den Brennstoffdampf-Luft-Gemischen des Otto-Motors her bekannt, und ich zeige als Beispiel für diese Verhältnisse die Zündgrenzen in Abhängigkeit von der Mischung für Pentan, Abb. 6. Das Gebiet, in dem Zündung stattfindet, ist dabei durch die von der Temperatur und Zündeinleitung abhängigen, nach oben offenen Kurve eingeschlossen. Nun wird zwar bei der Dieseleinspritzung immer irgendwo am Strahlrand dieses für die Zündung notwendige Mischungsverhältnis zustande kommen, aber es ist außerdem notwendig, daß auch die Temperaturverhältnisse dieses Gemisches für die Zündung geeignet sind. Es ist denkbar, daß bei dem Zusammenwirken der verschiedenen

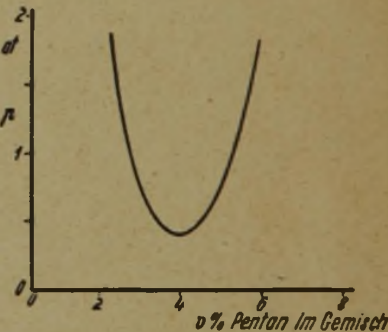


Abb. 6: Zündgrenzen von Pentan

Einflüsse gerade diese für die Zündung notwendigen Mischungsverhältnisse bei einem wesentlich niedrigeren Temperaturzustand durchlaufen werden, als die Lufttemperatur vor der Einspritzung beträgt. Schließlich ist zu bedenken, daß zudem, was wir Zündung im Motor nennen, nicht nur die chemische Reaktion von winzigen kleinen Mengen gehört, sondern daß hierzu schon ein erheblicher Anteil der Einspritzmenge umgesetzt werden, und also auch in günstigen Zündverhältnissen gestanden haben muß.

#### Einfluß der Brennstoffeinspritzung auf die Lufttemperatur

Wie stark der Einfluß der Abkühlung durch den Brennstoff sein kann, möchte ich an Hand einiger Versuchsergebnisse zeigen. Die Temperaturerniedrigung der Luft durch die Einspritzung hängt von der spezifischen Wärme der Luft und des Kraftstoffes, von der Einspritztemperatur, der Siedetemperatur und der Verdampfungswärme des Kraftstoffes, von der Zündtemperatur und von dem für die Einleitung der Zündung maßgebenden Mischungsverhältnis zwischen Luft und Brennstoff ab. In der Abb. 7 sind die bei der Voraus-

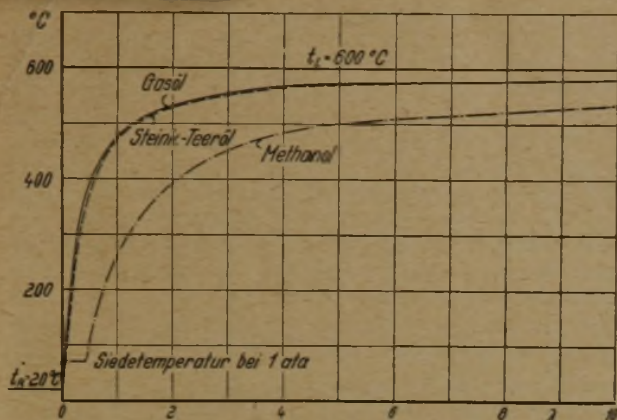


Abb. 7: Temperaturerniedrigung der Verbrennungsluft durch die Einspritzung

setzung, daß keine Wärmeentwicklung vorhanden ist, sich bei vollständigem Temperaturausgleich einstellenden Mischungstemperaturen für drei verschiedene Kraftstoffe (Gasöl, Steinkohlenteeröl und Methanol) zusammengestellt, und zwar wurde eine Lufttemperatur von 600° C und eine Temperatur des eingespritzten Kraftstoffes von 20° C angenommen. Der Absatz in der Kurve des Methanols ist durch den eindeutigen Siedepunkt dieses Stoffes bedingt, während infolge des Siedeverlaufes der anderen Stoffe bei diesen kein solcher Absatz vorhanden ist.

Der Unterschied der spezifischen Wärme und der Verdampfungswärme zwischen Gasöl und Steinkohlenteeröl ist gering; von beiden unterscheidet sich das Methanol sehr stark, Tabelle der Abb. 8. Methanol ist zwar kein Kraftstoff, der zum Betrieb des Dieselmotors in Frage kommt, aber es lassen sich gerade an ihm einige Fragen der Verdampfung und deren Einfluß auf die Zündung gut studieren. Außer in den in der Tabelle angeführten wärmetechnischen Daten unterscheiden die drei Kraftstoffe sich auch in ihrer Zähigkeit und in ihrer Oberflächenspannung.

Bei Methanol treffen mehrere für die Zündung ungünstige Eigenschaften zusammen: hohe spezifische Wärme, hohe Verdampfungswärme, niedrige Siedetemperatur und hohe Festigkeit des Brennstoffmolekels. Bei dem stöchiometrischen Mischungsverhältnis würde bei diesem Kraftstoff die Mischungstemperatur aus Luft von 600° C und Brennstoff von 20° C nur 260° C betragen. Methanol zur Zündung zu bringen, gelingt außer durch Anwendung von hohen Lufttemperaturen nur durch die Verwendung von großen Düsen und niedrigen Einspritzdrücken, d. h. Maßnahmen, die auf eine geringe Zerstäubung des eingespritzten Kraftstoffes abzielen. Wenn gut zerstäubt und die gesamte Luftmenge vom Brennstoff erfaßt wird, tritt eine so starke Abkühlung ein, daß keine Zündung mehr zustande kommt. Nur bei schlechter Zerstäubung ist es möglich, für eine Teilmenge des Strahles eine größere Luftmenge zur Erwärmung heranzuziehen und

	Gasöl	Steinkohlenteeröl	Methanol
spez. Wärme kcal/kg°C	~ 0,5	~ 0,4	~ 0,6
Verdampfungswärme kcal/kg	~ 75	~ 100	270
Siedetemperatur °C	-340	-360	69

Abb. 8: Wärmelechnische Daten von Brennstoffen

so Aufheizung über die mittlere Mischungstemperatur zu erreichen.

Eine weitere Deutung der Erscheinung, daß der Zündverzug mit der Temperatur nicht in der erwarteten Exponentialfunktion abnimmt, könnte in Vorgängen ähnlich den in der Abb. 5 dargestellten zu suchen sein. Es wäre denkbar, daß die aus Messungen bei niedrigeren Temperaturen, bei denen Kettenreaktionen für den Gesamtablauf bestimmend sind, errechneten Aktivierungswärmen für hohe Temperaturen deshalb nicht gelten, da hier keine langen Reaktionsketten auftreten. Das unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Kraftstoffe könnte durch ihre Fähigkeit zur Kettenbildung bei niedrigeren Temperaturen erklärt werden.

### Die motorischen Mittel zur Zündungsverbesserung

Nach dieser Behandlung des Reaktionsablaufes bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen wollen wir uns den Vorgängen im Motor zuwenden. Ich habe diese etwas eingehendere Behandlung der Grundvorstellungen für bedeutungsvoll gehalten, da diese für eine Kritik der im Motor anzuwendenden Mittel unerlässlich sind.

### Zündverzug und Druckverlauf

Um aus dem Motor einen guten Wirkungsgrad herauszuholen, muß nach der Verdichtung eine kräftige Wärmeentwicklung schon im oberen Totpunkt einsetzen. Der Beginn der Einspritzung des Brennstoffes in den Zylinder muß daher mindestens um die Zündverzugszeit vor dem oberen Totpunkt erfolgen. Die Einspritzung durch die feinen Düsen selbst dauert eine gewisse Zeit, so daß bis zum Einsetzen der Zündung normalerweise erst ein Teil der Hubbrennstoffmenge eingespritzt ist. Das Zusammenwirken von Einspritzung und Verbrennung läßt sich nach Ricardo am besten durch Vergleich eines idealen mit dem wirklichen Druckdiagramm beurteilen, wobei das ideale Diagramm unter der Annahme entstehen würde, daß die jeweilig eingespritzte Brennstoffmenge sofort verbrennt, Abb. 9. Den gesamten Verbrennungsvorgang pflegt man in Zündverzug, Durchbrennen, gesteuerte Verbrennung und Nachbrennen einzuteilen, wobei die Begrenzung der vier Abschnitte durch die Punkte Einspritzbeginn, Zündung, Verbrennungsausbreitung, Einspritzende und Verbrennungsende gegeben ist. Die Trennung zwischen dem zweiten und dritten Abschnitt ist allerdings nicht sehr scharf und aus dem Druckdiagramm kaum möglich.

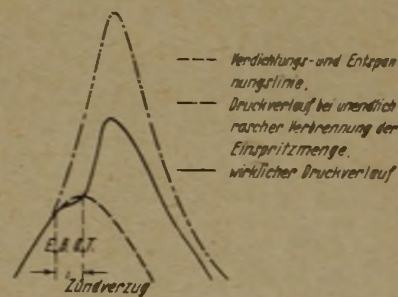


Abb. 9: Druckverlauf im Dieselmotor

Während des Zündverzuges bleibt der Druck des wirklichen hinter dem des idealen Diagrammes stark zurück, da keine Wärmeentwicklung, sondern im Gegenteil eine Abkühlung der Luft durch Brennstoff-erwärmung und -verdampfung eintritt. Nach der Zündung setzt eine starke Wärmeentwicklung ein, die um so größer ist, je größer die während des Zündverzuges eingespritzte Kraftstoffmenge war. Diese Verbrennung hat gewöhnlich eine schlagartige Steigerung des Verbrennungsdruckes zur Folge. Während des dritten Abschnittes nimmt man an, daß die Temperaturen im Brennraum so hoch geworden sind,

daß der jetzt einspritzende Brennstoff größtenteils sofort verbrennt. Im Verlaufe des Spannungshubes nähert sich die wirkliche der idealen Drucklinie, kann sie aber infolge der Wärmeverluste nie ganz erreichen. Dieser gesamte Verbrennungsvorgang ist allerdings so stark von dem Ablauf der Gemischbildung abhängig, daß die in Abb. 9 beschriebenen

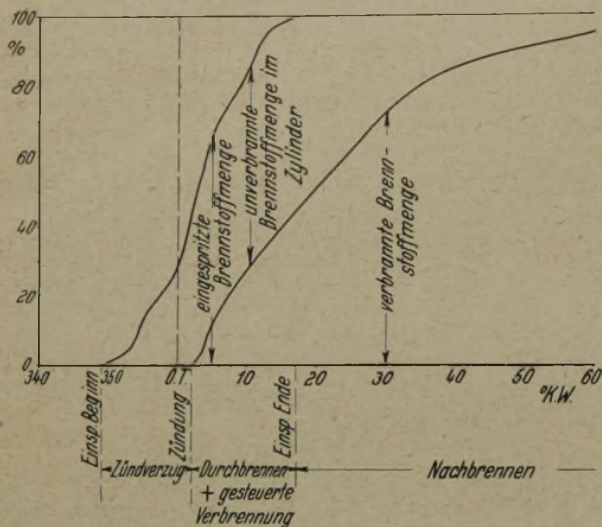


Abb. 10: Einspritzung und Verbrennung

Vorgänge nur qualitativ gelten. In Wirklichkeit würde z. B. bei den meisten Motoren, wenn bei der Zündung die gesamte bis dahin eingespritzte Menge schlagartig verbrennen würde, eine so hohe Drucksteigerung auftreten, daß das zu unzulässig hohen Beanspruchungen führen würde. Eine quantitative Auswertung dieser Verhältnisse bei einem bestimmten Motor gibt die Abb. 10 wieder, in der die in den Zylinder eingespritzte und verbrannte Kraftstoffmenge in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel aufgetragen ist. Daraus ist zu erkennen, daß nach der Zündung zwar eine kurze beschleunigte Verbrennung eintritt, daß aber bald darauf die Verbrennung mit der Einspritzung nicht mehr Schritt hält. Die unverbrannte Kraftstoffmenge im Zylinder wächst bis Einspritzung dauernd an. Es genügt aber, zu wissen, daß selbst die hier gezeigte, anscheinend nicht zu schnelle Wärmeentwicklung eine Drucksteigerung ungefähr von 25 at über den Verdichtungsdruck hervorruft, Oszillogramm Abb. 11.

Der Zündverzögerung hängt bei gleichen motorischen Bedingungen und für gleichen Brennstoff vom Einspritzzeitpunkt ab und hat für einen bestimmten Einspritzpunkt einen Kleinstwert. Wird vor diesem Punkte eingespritzt, verlängert sich der Zündverzögerung, da dann bei tieferen Temperaturen eingespritzt wird. Erfolgt die Einspritzung zu spät, dann erstreckt sich

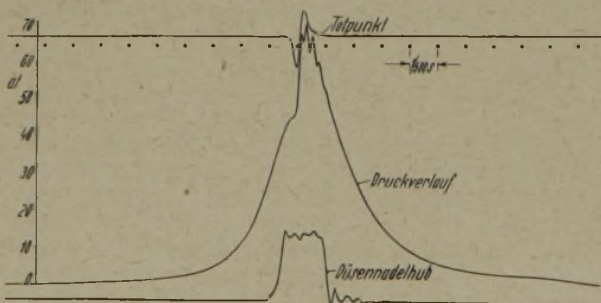


Abb. 11: Druckverlauf bei Vollast

der Zündverzögerung zu weit in das Gebiet des absinkenden Druckes und der absinkenden Temperatur und wird dadurch länger. Da die ersten Reaktionen des Brennstoff-Luft-Gemisches am meisten Zeit brauchen, liegt dieser Kleinstwert nicht bei einem Einspritzpunkt, bei dem der obere Totpunkt den Zündverzögerung in zwei gleiche Teile teilt, sondern früher. Der Kleinstwert des Zündverzögerung ist meist mit dem weichsten Lauf verbunden, allerdings nicht mit dem Bestwert des Kraftstoffverbrauches, da eine längere, während des Zündverzögerung ungestörte Gemischbildungszeit meistens vorteilhaft ist.

Bei schlecht zündenden Brennstoffen wird der Zündverzögerung länger. Die Verlängerung des Zündverzögerung macht sich bei niedrigen Belastungen infolge absinkenden Temperaturniveaus immer stärker bemerkbar und führt dann schließlich zu Aussetzern, Oszillogramm Abb. 12. Bis zu einem gewissen Grade kann man das Längerwerden des Zündverzögerung durch Vorverlegen des Einspritzzeitpunktes ausgleichen, allerdings mit dem Nachteil, daß dann die bis zur Zündung eingespritzte Menge größer und die Verbrennungsdrucksteigerung härter und störender wird.

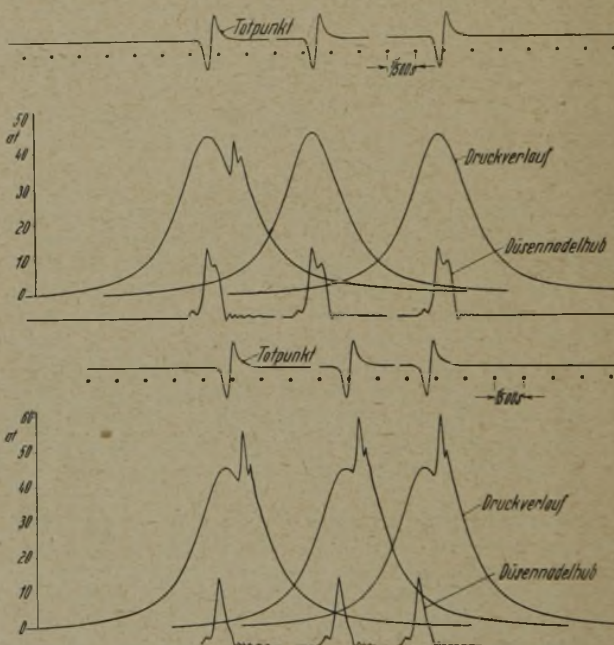


Abb. 12: Zündeinsatz bei verschiedenen Brennstoffen im Leerlauf

### Beeinflussung der Zündung durch die Einspritzung

Um die Folgen der Früheinspritzung abzuschwächen, könnte man die Einspritzcharakteristik den besonderen Bedingungen in der Weise anpassen, daß die zu Beginn eingespritzte Menge verkleinert wird. Ein solches Vorspritzen der Düse läßt sich für bestimmte Verhältnisse durch besondere Maßnahmen im Einspritzsystem oder durch besondere Düsenkonstruktionen erreichen und bringt auch in beschränktem Umfang Erfolg.

Ein schon lange mit Erfolg angewendetes Mittel, die Zündung schlecht zündender Treibstoffe im Motor sicherzustellen, ist das Vorspritzen von Zündöl; durch Vorlagern des Zündbrennstoffes in der Düse (Gasöl) kommt man sogar mit einem Einspritzventil aus. Dieses Verfahren wurde schon bei der Luftfeinbläsemaschine erfolgreich angewandt. Für kleine rasch laufende Motoren bedeutet aber die Anwendung einer zweiten Pumpe für das Zündöl einen untrag-



baren Mehraufwand. Es kommt dazu, daß die Bemessung der ohnehin schon kleinen Brennstoffmengen pro Hub praktisch undurchführbar wird; wenn man mit kleinen Anteilen an Zündöl auskommen will.

Da sich der Zündverzug aus den physikalischen Vorgängen der Tröpfchenbildung, des Wärmeüberganges, der Verdampfung, der Vermischung und Diffusion und auch chemischer Reaktion zusammensetzt, wird er durch verschiedene Mittel, die auf diese Teilvorgänge einwirken, zu beeinflussen sein. Es ist aber leicht einzusehen, daß erfolgreich nur die Mittel sein können, die auf solche Teilvorgänge wirken, die eine wesentliche Dauer des Gesamtvorganges ausmachen.

#### Zündverzug und Zerstäubung

Was die Zerstäubung und die Luftbewegung und die damit zusammenhängende Frage des Wärmeüberganges anlangt, so ist eine Beeinflussung des Zündverzuges von dieser Seite her bestimmt vorhanden; diese Beeinflussung erreicht aber nach oben hin sehr bald eine Grenze; von einer gewissen Höhe an, die von den physikalischen Eigenschaften des Kraftstoffes (Zähigkeit, Oberflächenspannung) abhängt, bringt eine Steigerung des Einspritzdruckes oder der Luftgeschwindigkeit keine Verbesserung der Zündung mehr, sondern nur eine Beeinflussung der Verbrennung. Das ist so zu erklären, daß zur Zündung die feine Zerstäubung einer Teilmenge genügt, die von einer bestimmten Relativgeschwindigkeit zwischen Luft und Kraftstoff an am Strahlrande jedes Brennstoffstrahles zu finden ist. Als Beispiel einer Strahlzerstäubung seien zwei funkenfotografische Aufnahmen einer Einspritzung aus einer Einlochdüse gebracht. Abb. 13 läßt deutlich erkennen, daß selbst bei einer geringen Aufweitung des Strahles von dem dichten Strahlkern am Rande feine Tröpfchen abstäuben, an denen dann die Zündung einsetzt. Aus Abb. 14, die das Ende einer Einspritzung darstellt, ist zu sehen, daß die Aufteilung im Verlaufe der Einspritzung besser wird und sich dann im ganzen Strahl feine Tröpfchen bilden. Eine Erhöhung der Strahl- und Luftgeschwindigkeit über ein bestimmtes Maß beeinflusst zwar durch bessere Gesamtzerstäubung die Verbrennung, aber nicht die Zündung. Zu feine Zerstäubung einer großen Brenn-



Abb. 13: Strahlinspritzung aus Einlochdüse, Strahlbeginn



Abb. 14: Strahlinspritzung aus Einlochdüse, Strahlende

stoffmenge kann sich unter Umständen, wie ich an dem Beispiel des Methanols gezeigt habe, für die Zündung ungünstig auswirken, Erhöhung der Zerstäubungsfeinheit ist kein unter allen Umständen wirkendes Mittel zur Zündungsverbesserung. Wenn natürlich die Einspritzung mit zu geringer Geschwindigkeit erfolgt, dann kann sich das zündfähige Gemisch auch am Strahlrande nicht ausbilden und die Zündung wird wegen mangelnder Zerstäubung ausbleiben, was insbesondere für dickflüssige Brennstoffe gilt. Die Unterschiede in der Zerstäubungsfeinheit bei den üblichen Kraftstoffen lassen sich aber im allgemeinen durch entsprechende Anpassung der Einspritzung ausgleichen.

#### Chemische Mittel zur Verkürzung des Zündverzugs

Eine Möglichkeit der Zündungsverbesserung besteht in der Anwendung von Stoffen, die unmittelbar in die chemische Reaktion eingreifen. Von dem Klopfvorgang beim Vergasermotor her ist bekannt, daß ein Zusatz von bestimmten Antiklopfmitteln schon in außerordentlich geringer Konzentration selbst starke Wirkung haben kann. Diese starke Wirkung kommt daher, daß durch diese Zusätze Reaktionsketten abgebrochen und so eine große Reihe von Folgereaktionen unterdrückt werden. Grundsätzlich wäre es möglich, daß auch durch geringe Zusätze von Stoffen, die Ketten einleiten und so eine große Anzahl von Folgereaktionen auslösen, eine große Beeinflussung des Zündverzuges zu erreichen wäre. Solche Stoffe, von denen ich nur organische Peroxyde und Amylnitrat nennen möchte, die bei ihrer Erwärmung zerfallen und durch ihren Zerfall die Reaktion anregen, sind im Motor vielfach versucht worden. Praktisch liegt der mit solchen Zusätzen erreichbare Erfolg bei weitem nicht in der Größenordnung, wie der bei den Antiklopfmitteln der Otto-Motoren-Kraftstoffe.

Hierzu ist zu sagen, daß eine Wirkung auf den Zündverzug auf diesem Wege grundsätzlich nur dann möglich ist, wenn tatsächlich die chemische Reaktion die Hauptursache des Zündverzuges ausmacht. Wie ich schon früher ausführte, ist das nach der geringen Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit mit der Temperatur zwar scheinbar nicht der Fall, doch ist nach den Ergebnissen der Zündwilligkeitseinstufung doch eine Abhängigkeit des Zündverzuges von der chemischen Reaktion anzunehmen.

Ferner ist eine starke Wirkung von Zusätzen in geringer Konzentration, und nur ein geringer Zusatz ist bei der Kostspieligkeit dieser Stoffe überhaupt diskutabel, nur dann möglich, wenn bei der Verbrennungseinleitung wirklich lange Reaktionsketten auftreten. Gerade bei den schwer zündenden Naphthenen und Aromaten ist es durchaus möglich, daß bei der Zündung eine Bildung von langen Reaktionsketten nicht vorhanden ist. Wir beobachten eine parallele Erscheinung ja auch beim Klopfvorgang insofern, als die Zusätze um so unwirksamer werden, je klopfester der Ausgangsbrennstoff von vornherein ist; d. h. bei der Verbrennung von stark aromatischen und alkoholischen Kohlenwasserstoffen treten anscheinend keine Reaktionsketten von der Länge auf, wie bei der Verbrennung von aliphatischen Stoffen, und damit ist die Beeinflussbarkeit ihres Reaktionsablaufes durch Zusätze gering.

Außer durch Zusätze wäre eine chemische Beeinflussung der Zündung auch durch Wandwirkung möglich. Obzwar die chemischen Vorgänge dabei noch nicht geklärt sind, ist durch Versuche eine solche

Verbesserung der Zündung durch katalytische Wandwirkung, d. h. durch den unmittelbaren Eingriff der Wand in den Reaktionsablauf, nachgewiesen. Die praktische Anwendung dieser Methode scheitert aber an der Unmöglichkeit der gleichzeitigen Durchführung zweier Forderungen: möglichst große, feingegliederte Oberfläche an wirksamer Stelle des Brennraumes, die von Luft und Brennstoffstrahl gut erfährt wird und ausreichende Widerstandsfähigkeit im Betrieb. Wenn z. B. auch fein verteiltes Platin zu Beginn seines Einbaues in den Brennraum eine merkliche Wirkung auf die Zündung ausübt, so verkrustet doch diese Oberfläche im Betriebe so stark, daß sie bald unwirksam wird.

Eine Wirkung auf die Zündung kann auch durch die von der vorhergegangenen Verbrennung stammenden Abgase eintreten. Ob diese Beeinflussung nur darin besteht, daß die Sauerstoffkonzentration durch die Anwesenheit von Verbrennungsgasen verändert wird, oder ob diese Fremdgase auch in den Reaktionsablauf eingreifen, ist noch nicht geklärt.

Wenn die Zündung von schwer zündenden Kraftstoffen durch die Zumischung von gut zündenden wesentlich verbessert werden soll, dann muß der Prozentsatz der Zumischung ziemlich groß sein. Einen an sich guten Dieseltreibstoff durch die Zumischung von minderwertigeren zu strecken, hat nur beschränkten Wert. Die Vermischung kann aber für solche Stoffe von Bedeutung sein, die für sich allein keinen idealen Dieseltreibstoff darstellen, deren Vermischung aber durch Ausgleich von entgegengesetzten Eigenschaften zu sehr brauchbaren Produkten führt, z. B. die Mischung dickflüssiger, leicht zündender Stoffe (hohe Paraffine) mit leichtflüssigen, schwer zündenden (niedrige Aromaten oder Naphthene) oder auch die Vermischung dickflüssiger, schwer zündender Stoffe (Extraktkohle) mit leichtflüssigen, leicht zündenden (Kogasin). Wie schon erwähnt, sind die Zündeigenschaften der Gemische von Kohlenwasserstoffen normalerweise gleich dem Mittelwert aus den Zündeigenschaften der Komponenten. Die Vermischung kann u. U. zu besseren Gemischbildungs- und Verbrennungseigenschaften führen, als die einzelnen Bestandteile für sich haben würden. Reines Kogasin z. B. zündet so gut, daß bei der kurzen Aufbereitungszeit während des Zündverzuges die Gemischbildung unvollkommen wird, reines Steinkohlenteeröl hat einen zu langen Zündverzug oder zündet gar nicht. Eine Mischung aus beiden ergibt einen brauchbaren Dieseltreibstoff (Abb. 15).

#### Einfluß der Temperatur

Aus den Betrachtungen über die Verbrennungseileitung geht als überragende Veränderliche zur Beeinflussung des Zündverzuges die Temperatur hervor, unabhängig davon, ob die Reaktion nun über lange Ketten erfolgt oder nicht. Denn abgesehen davon, daß von ihr auch die physikalischen Vorgänge des Wärmeüberganges abhängig sind, tritt die Temperatur in der chemischen Reaktion mit einer Potenz in Erscheinung, dergegenüber z. B. die Druckabhängigkeit eine untergeordnete Rolle spielt. Die Bedeutung des Druckes bei der Zündung scheint viel mehr in seinem Einfluß auf den Wärmeübergang und auf die Diffusion zu liegen als in seinem Einfluß auf die chemische Reaktionsgeschwindigkeit. Als das einfachste Mittel zur Temperaturerhöhung erscheint zunächst die Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses. Da jedoch der Druck mit der Verdichtung viel stärker zunimmt als die Temperatur (Abb. 16), ist die Anwendungsmöglichkeit der Verdichtungserhöhung be-

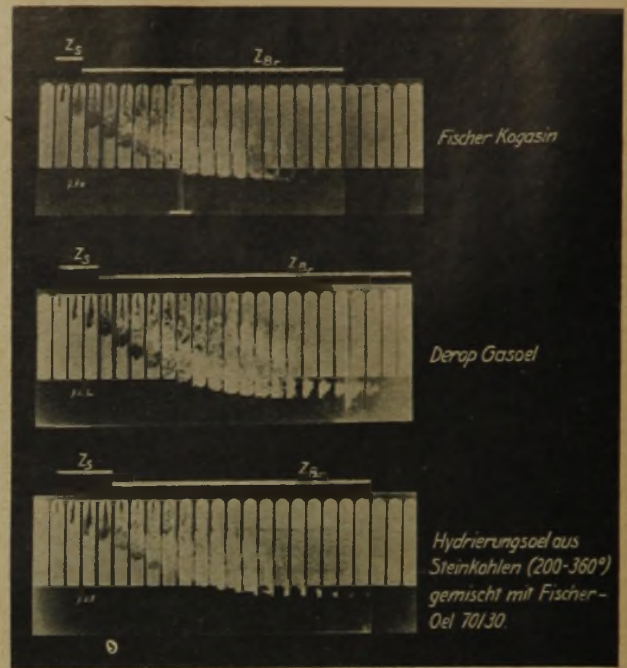


Abb. 15: Flammenbilder von der Dieseltreibstoffeinspritzung. Einfluß des Brennstoffes auf Zündverzug  $Z_{s1}$  und Durchbrennzeit ( $Z_{br}$ ) bei gleichen Bedingungen  $p_e = 35 \text{ atü Druck}$  } der Luft bei Einspritzbeginn  $t_e = 570^\circ \text{ C Temp.}$  }  
Bildwechselzeit  $t_w = 0,00133 \text{ sek}$

schränkt, da es bald zu unzulässig hohen Verbrennungsdrücken und Beanspruchungen führen würde. Die Kurven der Abb. 16 sind mit einem mittleren Polytropenexponenten von 1,35 berechnet, der Zeiger 1 bezieht sich auf den Anfangszustand. Wegen der erhöhten Wärmeverluste und wegen Abnahme der spezifischen Wärme mit wachsender Luftdichte und -temperatur wird aber in Wirklichkeit die Linie der Verdichtungsendtemperatur mit wachsendem Verdichtungsverhältnis noch flacher verlaufen als die im Bild gezeigte Linie, da bei den höheren Verdichtungen ein viel kleinerer Exponent als 1,35 einzusetzen wäre.

#### Luftvorwärmung

Aus der Abb. 16 ist aber gleichzeitig zu ersehen, welcher großen Einfluß die Anfangstemperatur auf die Verdichtungsendtemperatur hat. Bei einer Steigerung der Anfangstemperatur von 50 auf  $150^\circ \text{ C}$  wächst die errechnete Verdichtungsendtemperatur bei  $\lambda = 1:20$

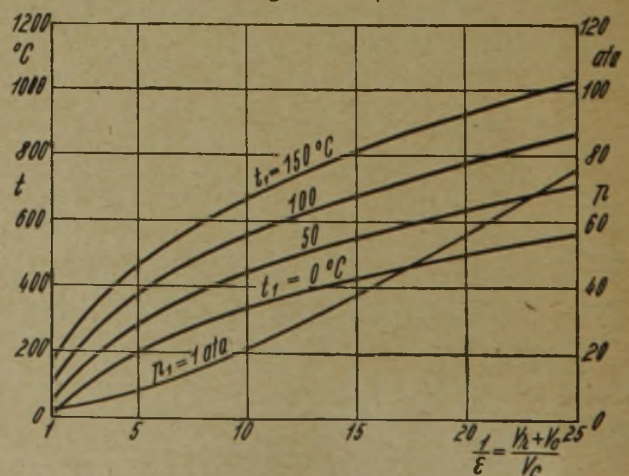


Abb. 16: Verdichtungs-temperatur und -druck bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen. Polytropen-Expon. = 1,35

um beinahe 350° C. Infolge des höheren Wärmeverlustes bei höheren Temperaturen wird allerdings die erreichte Temperatursteigerung hinter der errechneten zurückbleiben. Der Wärmeverlust ist um so geringer, je kleiner die auf das Volumen bezogene Oberfläche (großer Zylinder, unzerklüfteter Brennraum) und je höher die Wandtemperatur ist. Durch verhältnismäßig geringe Luftvorwärmung wird also schon ein beträchtlicher Effekt zu erzielen sein. Zwar wird durch diese Luftvorwärmung der Liefergrad herabgesetzt. Da eine Zündungsverbesserung hauptsächlich bei niedrigen Belastungen notwendig ist, würde das kein Nachteil sein, wenn die Luftvorwärmung so geregelt wird, daß sie nur bei Leerlauf und niedrigen Belastungen wirksam ist und bei hohen Belastungen abgestellt wird. Eine Erwärmung der gesamten Ansaugluft ist mit einfachen Mitteln nur durch eine Abgasheizung möglich. Diese in den Verbrennungsgasen zur Vorheizung der Luft zur Verfügung stehende Wärme menge ist aber leider gerade dann, wenn sie am notwendigsten gebraucht wird, nämlich bei niedrigen Belastungen und Leerlauf, am geringsten.

#### Vorwärmung des Brennstoffes

Eine andere Möglichkeit der Wärmezufuhr vor der Zündung besteht in der Vorwärmung des Brennstoffes. Um Störungen bei der Einspritzung zu vermeiden, darf diese nicht über die Siedetemperatur des Kraftstoffes getrieben werden, da sich dann Dampfblasen in der Leitung bilden würden und die Einspritzung unregelmäßig werden würde. Nicht entlastete Einspritzleitungen würden eine über die Siedetemperatur der niedrigst siedenden Bestandteile bei Atmosphärendruck hinausgehende Vorwärmung erlauben. Um möglichst nahe an die Siedetemperatur heranzukommen, ohne diese zu überschreiten, kann die Vorwärmung nach einem Vorschlag von Schimanek über ein Zwischenmittel erfolgen, als welches man am besten den betreffenden Kraftstoff selbst verwendet (Abb. 17). Bei zu hohen Vorwärmtemperaturen würde zunächst der Heizbrennstoff in dem Heizkreislauf verdampfen, dessen Temperatur aber durch Anwendung einer Thermosiphonkühlung geregelt wird; der Brennstoff in der Einspritzleitung bleibt immer etwas unter der Temperatur des Heizbrennstoffes und kann nicht verdampfen, zumal wenn er mit Hilfe eines Druckreglers unter höherem Druck gehalten wird als der Kraftstoff im Heizkreislauf.

Die Wirksamkeit der Brennstoffvorwärmung zur Zündungsverbesserung ist umstritten. Versuche von Amerikanern berichten über eine Herabsetzung des

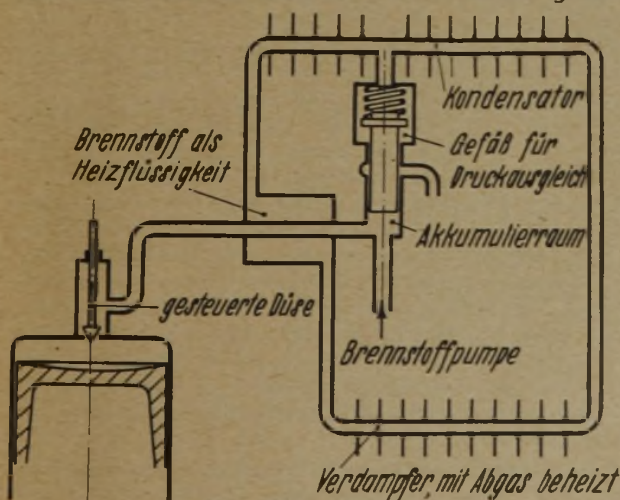


Abb. 17: Brennstoffvorwärmung nach Schimanek

Zündverzuges bei Anwendung von einer Kraftstoffvorwärmung bei Gasöl, Versuche an anderen Stellen mit anderen Kraftstoffen verliefen ergebnislos oder entsprechen nicht den Erwartungen. Dies ist meiner Ansicht nach auf folgende Ursachen zurückzuführen: Nach den vorhergegangenen Betrachtungen ist eine Beeinflussung der Zündung nur dann zu erwarten, wenn entweder die Erwärmung des Brennstofftropfens innerhalb der Gesamtdauer des Zündverzuges eine Rolle spielt oder wenn durch die mit dem Brennstoff zugeführte fühlbare Wärme das gesamte Temperaturniveau des reagierenden Brennstoff-Luft-Gemisches gehoben wird. Nach unseren heutigen Erfahrungen ist die Zeitdauer der Erwärmung der geringen, die Zündung einleitenden Brennstoffmenge außerordentlich kurz. Was die Hebung des gesamten Temperaturniveaus des Brennstoff-Luft-Gemisches anlangt, muß man sich vergegenwärtigen, daß die spezifische Wärme des Brennstoffes klein gegenüber der Verdampfungswärme und daß die Brennstoffmenge klein gegenüber der Luftmenge ist. Die auf diesem Wege zuführbare Wärmemenge und damit die Hebung des Temperaturniveaus ist also gering.

Selbst eine geringe Erhöhung des Temperaturniveaus kann sich allerdings im Zündverzug schon bemerkbar machen, wenn diese Wirkung nicht durch Vorgänge anderer Art wieder zunichte gemacht wird. Dies ist aber bei dieser Art der Erwärmung unter Luftabschluß möglich, da dann schon außerhalb des Zylinders eine Umwandlung vor sich geht, die zu noch schwerer zündenden Produkten führt. Durch diesen dem Cracken ähnlichen Vorgang zerfallen gerade die hochmolekularen Bestandteile schon außerhalb des Motors, die eben durch ihre Zerfallneigung die Zündung im Zylinder einleiten würden. Förderlich für die Zündung ist sicher nur der primäre Zerfall als Einleitung der Reaktion; die niedermolekularen Bruchstücke werden im allgemeinen schwerer oxydiert als die Ausgangsstoffe; ein Zerfall bei Sauerstoffmangel kann für die Zündung eher hinderlich als förderlich sein. Die unterschiedliche Wirkung der Vorwärmung auf verschiedene Kraftstoffe läßt sich vielleicht damit erklären, daß einmal ein geringer, zum anderen ein starker Zerfall des Kraftstoffes durch die Vorwärmung eintritt.

#### Erhöhung des Temperaturniveaus im Brennraum

Ich komme nun zu den Maßnahmen, die eine Temperaturerhöhung des Brennraumes bzw. des Zündraumes zum Ziele haben. Daß der Glühkopfmotor gegen Kraftstoffqualität ziemlich unempfindlich ist, ist ja bekannt. Mit Anordnungen, die denen des alten Akroyd-Motors ähneln, ist ein Betrieb auch mit sehr schlecht zündenden Brennstoffen möglich (Abb. 18). Der Brennstoffstrahl spritzt hier gegen eine heiße

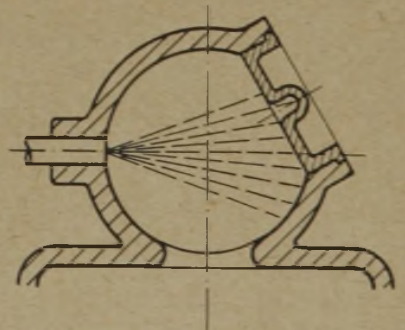


Abb. 18: Cramhoul-Akroyd-Motor

Platte, die in ihrer Mitte eine kleine Vertiefung trägt. Um die Möglichkeit einer langen Einwirkung auf den Kraftstoff zu haben, muß hier allerdings ziemlich früh eingespritzt werden. Dieses Verfahren mit glühenden Wandteilen ist allerdings nur bei langsam laufenden

Motoren und bei nicht zu hohen Ansprüchen hinsichtlich des Verbrauchers anwendbar.

Die Anwendung von Wärmespeichern in Form von nicht gekühlten Einbau- oder Wandteilen im Verbrennungsraum, die einen Teil der in den vorhergegangenen Arbeitsspielen entwickelten Wärmemengen aufnehmen und diese auf den einspritzenden Kraftstoff bzw. auf die Luft übertragen, ist in einer großen Zahl von Variationen versucht worden. Grundsätzlich sind sie aber wirksam, wenn es wirklich gelingt, einen beträchtlich höheren Temperaturzustand im Verbrennungsraum herzustellen bzw. eine ausreichende Wärmemenge den reagierenden Bestandteilen zuzuführen. Da der Brennstoff kalt ist und die Luft heiß, könnte es scheinen, daß die wirksamste Wärmezufuhr die unmittelbare Berührung des Brennstoffes mit heißen Wandteilen sei. Diese Art der Wärmezufuhr hat aber den schon erwähnten Nachteil: Durch die Erwärmung an der Wand in Abwesenheit von Luft erfahren die Kohlenwasserstoffe die schon erwähnte Umwandlung zu schwerer verbrennlichen Produkten. Die sich dabei bildenden niedermolekularen Kohlenwasserstoffe setzen der vollständigen Oxydation im allgemeinen einen größeren Widerstand entgegen als die Ausgangsprodukte. Allgemein kann die Beobachtung gemacht werden, daß ein Brennraum, der große ungekühlte Wandpartien und dazu vielleicht noch eine geringe Luftbewegung hat, nur mit hohem Luftüberschuß gefahren und also nur niedrig belastet werden kann; bei höheren Belastungen werden die Verbräuche außerordentlich schlecht.

Die Zündung geht immer von einer kleinen Teilmenge des Brennstoffes aus. Wenn die Zündung dieser Teilmenge sichergestellt ist, zündet auch der übrige Brennstoff. Am erfolgreichsten werden die Mittel sein, die ihre Wirkung auf die Zündung dieser Teilmenge konzentrieren, sei es in Form von Wärmespeichern, die nur auf eine kleine Teilmenge des Strahles einwirken und in die Verbrennung des übrigen Strahlteiles nicht eingreifen, sei es, daß sie nur den für die Zündung in Frage kommenden Teil der Verbrennungsluft stärker vorwärmen. Auf dieser Tatsache der stärkeren Vorwärmung eines Teiles der Verbrennungsluft beruht im allgemeinen die Überlegenheit der Vorkammer gegenüber anderen Verbrennungsverfahren in bezug auf die Verwendungsfähigkeit schwer zündender Kraftstoffe. Die vorhin geschilderten Nachteile bei der direkten Aufheizung des Kraftstoffes werden durch den Umweg über die Aufheizung der Verbrennungsluft vermieden, da dann ein Zerfall der Brennstoffmoleküle in Abwesenheit von Sauerstoff nicht eintreten kann.

Die Erhöhung der Lufttemperatur in der Vorkammer über das durch die Verdichtung gegebene Niveau ist dadurch möglich, daß man der Luft während des Einstromens Wärme zuführt (Abb. 19). Wärmespeicher an dem Mundstück zwischen Vorkammer und Zylinder sitzen an besonders wirksamer Stelle, und es sind mit solchen Konstruktionen in mehreren Fällen gute Ergebnisse erzielt worden. Die aus der Vorkammer ausströmenden heißen Gase erhitzen diese Einsatzkörper, die dann ihre Wärme an die in die Vorkammer strömende Luft bei der Verdichtung abgeben. Infolge der hohen Strömungsgeschwindigkeit ist der Wärmeübergang an dieser Stelle sehr gut. durch Auflösen des gesamten Durchgangsquerschnittes in eine große Zahl kleiner Bohrungen kann weiterhin die Vorbedingung für guten Wärmeübergang verbessert werden. Der Wärmespeicher muß durch einen Zwischenboden gegen den einspritzenden Brennstoff geschützt werden, und zwar hat dieses Abschirmen einen doppelten Zweck: Einmal soll die Kühlwirkung des Strahles von dem Einsatz

ferngehalten werden, zum anderen soll der Brennstoff wegen der dann eintretenden Umwandlung nicht unmittelbar auf heiße Wandteile spritzen. Der Zwischenboden erreicht, wie eingehende Temperatur-

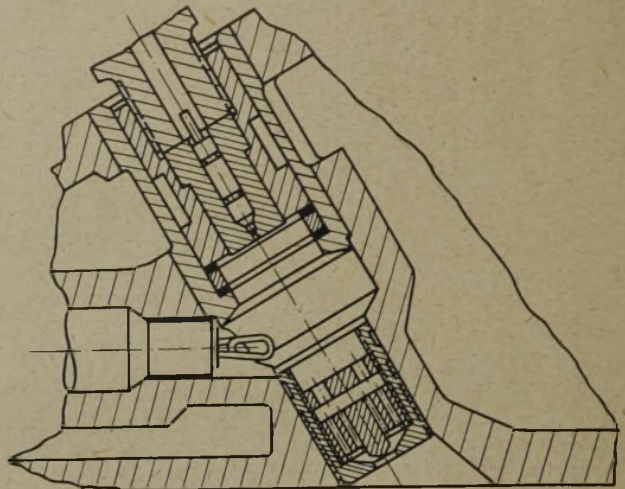


Abb. 19: Vorkammer mit Wärmespeicher im Vorkammermund

messungen gezeigt haben, wegen seiner Kleinheit infolge der Kühlwirkung des Brennstoffes im Betrieb nur mäßig hohe Temperaturen. Alle Verfahren mit Wärmespeicher haben den Nachteil, daß nur mit Zündhilfe angefahren werden kann, und daß die Wirkung des Speichers aufhört, wenn die Verbrennung eine Zeitlang aussetzt. Für diesen Fall ist dann ein Wiederanfahren nur mit Zündhilfe möglich.

#### Anspritzen von Wandteilen

Durch teilweises Anspritzen von Wandteilen läßt sich die Zündung in bestimmten Fällen nicht unbeträchtlich verbessern; während sonst bei unmittelbarer Einspritzung Brennraum- und Strahlform so aufeinander abgestimmt sind, daß ein zu frühes Auftreffen des Brennstoffstrahles vermieden wird, wird hier der Strahl absichtlich gegen den Kolbenboden gerichtet bzw. ein Teil des Strahles zur Anspritzung einer Seitenwand abgezweigt. Allerdings hat auch dieses Verfahren den Nachteil, daß bei höheren Belastungen die Verbrennung schlechter wird.

Diese Zündungsverbesserung wird gewöhnlich durch den Vorgang der Autooxydation erklärt, für die Parallelen aus dem Klopfvorgang bei Otto-Motoren-Kraftstoffen bekannt sind. Die Autooxydation spielt sich hauptsächlich an der Flüssigkeitsoberfläche von Brennstofftröpfchen bei Temperaturen zwischen 300 und 500° C ab, und man stellt sich vor, daß durch dieses Ausspritzen an Flächen mittlerer Temperatur dem Brennstoff Möglichkeit zu Vorreaktionen gegeben wird, die er bei Einspritzung in die heiße Luft nicht haben würde. Diese Vorreaktionen führen zu leicht zerfallenden Produkten, die durch ihren Zerfall die Zündung einleiten. Wahrscheinlich wegen des schon geschilderten Vorgangs des Crackens versagt das Verfahren, wenn auf zu heiße Wandteile aufgespritzt wird. Dieses Verfahren zur Zündungsverbesserung ist gegenüber Änderungen des Strahlzustandes sehr empfindlich. Ob die Wandwirkung wirklich auf Beeinflussung des Reaktionsablaufes zurückzuführen ist oder ob sie in der Hauptsache in einem thermischen Einfluß besteht, ist nicht geklärt.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, zu erwähnen, daß der gesamte Einspritzvorgang beim Betrieb mit schwer zündenden Kraftstoffen einer besonderen Beachtung

bedarf. Durch die verschiedenen physikalischen Eigenschaften bedingt, kann sich die Einspritzung bei einem Motor bei Übergang auf einen anderen Kraftstoff grundlegend ändern. Bei zu großer Zähigkeit kann der Kraftstoff u. U. beim Pumpensaughub nicht schnell genug in die Pumpe nachfließen, was dann zu Unregelmäßigkeiten bei der Einspritzung führt. Natürlich ist auch der Zerstäubungsvorgang und überhaupt die ganze Gemischbildung von den physikalischen Brennstoffeigenschaften abhängig und muß den besonderen Bedingungen angepaßt werden. Je schwerer der Brennstoff zündet, desto empfindlicher ist er gegenüber Änderungen in der Einspritzung.

#### Eignung der verschiedenen Gemischbildungsverfahren für schwere Brennstoffe

Die Eignung der verschiedenen Verbrennungsverfahren für schwer zündende Brennstoffe hängt davon ab, wie sich bei ihnen eine Temperatursteigerung des Gemischanteiles herbeiführen läßt, der wegen seiner Zusammensetzung und Aufbereitung zuerst zur Reaktion gelangt. Da bei dem Wirbelkammernotor neben der durch die hohe Luftgeschwindigkeit bedingten guten Zerstäubung auch gewöhnlich schon eine gewisse Heizwirkung der nicht gekühlten Kammerteile eintritt, ist bei ihm die Verwendung schwerer zündender Brennstoffe bis zu einem gewissen Grade möglich. Die unmittelbare Einspritzung hat den Nachteil, daß der Betrieb mit schwer zündenden Kraftstoffen zu hohen Drucksteigerungen führt. Die Möglichkeiten der Zündungsverbesserung sind hier bei großen Zylinderdurchmessern wesentlich leichter durchzuführen als bei kleinen. Je nach Ausführungsform lassen sich auch bei dem Luftpfeilmotor durch besondere Einbauten in den Verbrennungsraum Zündungsverbesserungen erreichen.

Am besten eignet sich die Vorkammer zur Verwendung schwer zündender Kraftstoffe, da diese von vornherein die höchsten Betriebstemperaturen mit sich bringt, und da bei ihr eine weitgehende Trennung der Funktionen Zündung und Weiterverbrennung des restlichen Brennstoffes vorhanden ist. Hierdurch besteht die Möglichkeit, zündungsverbessernde Mittel auf den einen Teilvorgang zu konzentrieren. Aus der Tatsache, daß der Motor mit unmittelbarer Einspritzung viel besser anspringt als der Vorkammernotor, darf man keine Schlüsse auf das Zündverhalten während des Betriebes ziehen. Denn das schlechte Anspringen der Vorkammer beruht ja darauf, daß beim Anlaufvorgang ihre großen, kalten Wandflächen der Luft zuviel Wärme

entziehen, wogegen sie aber dann, wenn diese einmal warm geworden sind, der Luft während der Verdichtung Wärme zuführen.

Bei Versuchen mit schwer zündenden Brennstoffen macht man oft die Erfahrung, daß die an einer bestimmten Motorgattung gewonnenen Ergebnisse nicht ohne weiteres auf andere übertragbar sind. Das liegt daran, daß der Zündvorgang gerade bei den schwer zündenden Stoffen so empfindlich ist, daß keine schwer erfahrbaren Veränderungen, z. B. in der Einspritzung, eine Rolle spielen und daß sich meistens eine individuelle Abstimmung der Mittel notwendig macht.

#### Zusammenfassung

Indem ich meine Ausführungen zusammenfasse, möchte ich noch einmal die Wichtigkeit des Temperaturniveaus des zuerst reagierenden Brennstoff-Luft-Gemisches für die Zündung hervorheben. Wenn man die Möglichkeit hätte, die Temperatur an den Stellen des Zündensatzes kurz vor der Zündung genau zu messen, würde man vielleicht erstaunt sein, wie sehr sich Erfolg oder Misserfolg der verschiedenen Maßnahmen zur Zündungsverbesserung im Temperaturniveau dieses Gemischanteiles spiegeln.

Wenn ich bei meinen Ausführungen über die praktisch im Motor anwendbaren Mittel zur Zündungsverbesserung nur einen summarischen Überblick gegeben habe, aber dafür bei den physikalisch-chemischen Grundlagen der Zündung etwas länger verweilt, bin ich mir bewußt, diejenigen meiner Zuhörer nicht befriedigt zu haben, die vielleicht verlockt durch den Titel des Vortrages, mit der Erwartung hergekommen sind, von mir allgemeingültige Rezepte für einen einwandfreien Betrieb des Dieselmotors mit auch noch so widerspenstigen Kraftstoffen zu bekommen. Solche Rezepte kann ich leider nicht geben; ich habe es daher für wichtiger gehalten, die Vorgänge bei der Zündung in den Zusammenhängen darzustellen, in denen sie nach den heute vorliegenden Ergebnissen und Erfahrungen fahbar sind. Wenn wir auch von einer vollständigen Klärung aller dabei sich abspielenden Vorgänge noch weit entfernt sind, so ist durch experimentelle und theoretische Arbeiten auf diesem Gebiet in den letzten Jahren doch wesentlich zu dem Verständnis der Vorgänge beigetragen worden. Bei einem wirklichen Fortschritt der Erkenntnisse läßt gewöhnlich die Nutzanwendung nicht lange auf sich warten. Denn aus den Fortschritten der Naturwissenschaft, aus den neuen Ergebnissen insbesondere von Physik und Chemie und ihrer Deutung schöpft ja der Ingenieur.

## Der Schwimmerstoßdämpfer für Rohrleitungen, ein Druckwindkessel neuer Art

Von H. Skrebba, Berlin-Siemensstadt

Die wirtschaftlich arbeitenden Kolbenpumpen (Kurbelpumpen, Simplex- und Duplex-Pumpen) sind als Kesselseispumpen in großer Zahl in Betrieb. Ihre einfache Bauart und zuverlässige Arbeitsweise werden geschätzt — sie haben nur den Nachteil, daß sie nach Menge und Druck stoßweise fördern und daß die Pumpenstöße sich in den Rohrleitungen durch die unachgiebige Flüssigkeitssäule in fast unverminderter Stärke fortpflanzen. In jeder Hubpause, d. h. wenn der Wasserkolben nach vollendetem Abwärtsgang seinen Hub wechselt und wieder aufwärtsgeht, sinkt der Druck in der Speisewasserleitung weit unter den Kesseldruck. Die Unterdruckwelle läuft über die Druckleitung und über das Rückschlagventil zum Kessel. Die Druck-

leitung ist dadurch ständig in Schwingungen und Erschütterungen, die Rohrleitungen werden zusätzlich beansprucht, Flanschverbindungen und -verschraubungen gelockert, der Vorwärmer wird stark mitgenommen, und oft werden Gebäudeteile beschädigt. Vor allem aber öffnet und schließt das Kesselrückschlagventil dauernd, weil es bei jedem Hubwechsel auf seinen Sitz geschlagen wird. Das können bei schnellaufenden Pumpen bis zu 200 Schläge in der Minute sein. Das Ventil wird häufig undicht und läßt dann bei abgestellter Pumpe Wasser aus dem Kessel zu ihr zurückfließen, wodurch sich Störungen im Pumpenbetrieb ergeben. In solch erschütterten Druckleitungen lassen sich auch Wassermessungen nach dem

Druckunterschiedsverfahren, wenn überhaupt, dann nur ungenau ausführen.

Um diese Nachteile des Kolbenpumpenbetriebes zu beseitigen, wird angestrebt, die Druckleitung zu beruhigen durch Dämpfen der stoßgeförderten Wassermenge. Dazu dient der Druckwindkessel. Das ist ein luftgefüllter Behälter, dessen Luft vom einströmenden Druckwasser zusammengedrückt wird und so als Luftpolster wirkt. Die Luft wird aber sehr rasch vom Wasser aufgeschluckt, zumal es dauernd sprudelt (Abb. 1). Der Druckwindkessel ist dann nach kurzer

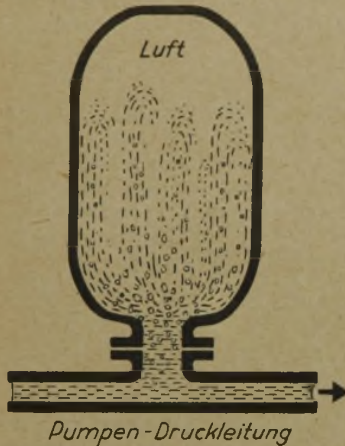


Abb. 1: Druckwindkessel im Betrieb

Zeit praktisch luftleer und die Dämpfung aufgehoben. Um das Luftpolster zu erhalten, läßt man die Pumpe gelegentlich schnüffeln, d. h. durch den Wasserzylinder Frischluft einsaugen. Dadurch bleibt das Luftpolster zwar in manchen Fällen länger erhalten, aber es zeigen sich andere Schäden: es wird viel Luft vom Druckwasser aufgeschluckt, und der mitgeführte Luftsauerstoff frißt Rohrwände und Kesselwände stark an. Häufig fängt eine schnüffelnde Pumpe auch selbst zu schlagen an, wenn Luft in den Wasserzylinder kommt; sie ist stärkerem Verschleiß ausgesetzt, und ihre Leistung geht zurück. Schwungradlose Verbundpumpen dürfen überhaupt nicht schnüffeln, weil sie gegen Luft im Wasserzylinder äußerst empfindlich sind und der Pumpengang viel zu hart wird.

Ein zweckmäßiger Druckwindkessel mußte also zwei Übelstände beseitigen: den dauernden Luftverzehr durch das geförderte Wasser, d. h. das Schwinden des dämpfenden Luftpolsters und somit auch das Mit-

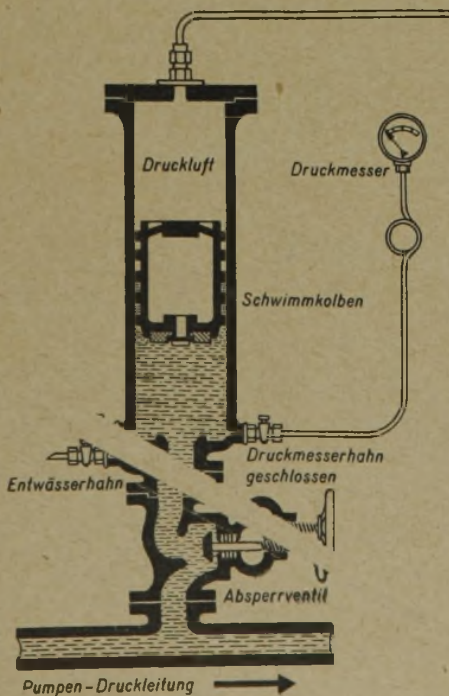


Abb. 2: Schwimmerstoßdämpfer im Betrieb

nehmen von schädlichem Luftsauerstoff durch das geförderte Wasser.

Beides gelingt durch den Knorr-Schwimmersstoßdämpfer. Das ist ein zylindrischer Druckwindkessel mit einem Schwimmkolben, der zwischen Luft und Wasser liegt, ihre Berührung nur in einem kleinen Ringspalt zuläßt und jedes Wasserspritzen vermeidet. Der Raum über dem Schwimmkolben ist mit Druckluft so gefüllt, daß sich der Schwimmkolben im Betrieb auf halber Gehäusehöhe bewegt, wie Abb. 2 zeigt. Luftpolster und Förderdruck halten sich die Waage.

Die vergleichenden Druckschaulinien (Abb. 3) zeigen eine durch den üblichen Druckwindkessel und eine durch den Schwimmerstoßdämpfer beruhigte Druckleitung. Der Druckwindkessel vermag die Stöße kaum abzufangen; sie sind besonders heftig hinter der Pumpe, verklingen aber auch kaum zum Kesselventil hin — bei der stoßgedämpften Leitung dagegen sind die Schwingungen hinter der Pumpe bereits sehr gering und verschwinden ganz beim Kesselventil. In einer derart beruhigten Druckleitung schlägt auch das Kesselspeiseventil nicht mehr, es bleibt dauernd in der Schwebelage im gleichmäßig fließenden Strom und schließt dicht, wenn die Pumpe einmal abgestellt ist. Die Pumpe arbeitet ruhig, die Wasserströmung ist so gleichmäßig, daß zuverlässige Mengenmessungen nach dem Druckunterschiedsverfahren möglich sind. Man kann den Wasserdurchfluß auf einer übersichtlichen Skala und die Wassermenge an einem mechanischen Zählwerk ablesen. Ausführliche Vergleichsversuche mit dem Schwimmerstoßdämpfer wurden schon 1935 vom Verein zur Überwachung der Kraftwirtschaft der Ruhrzechen durchgeführt, worüber Dr.-Ing. H. Werkmeister berichtete.\*)

### Stöße in der Druckleitung

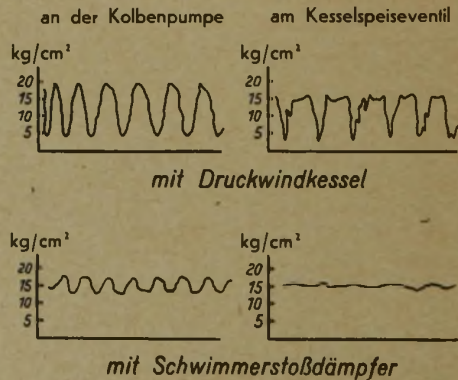


Abb. 3: Vergleichende Druckschaulinien

Der nachträgliche Einbau eines Schwimmerstoßdämpfers in die Druckleitung macht keine Schwierigkeiten. Der Anschluß an die Pumpendruckleitung erfolgt in üblicher Weise durch eine Flanschverbindung unter Zwischenschalten eines Absperrventils. Häufig genügt ein Schwimmerstoßdämpfer für die Beruhigung der gemeinsamen Druckleitung mehrerer Pumpen, wie es A b b. 4 zeigt. Oft kann die Pumpenbestleistung durch Erhöhung der Hubzahl erst nach Anbau eines Schwimmerstoßdämpfers herausgeholt werden.

Die Größe des Stoßdämpfers richtet sich nach der Pumpenleistung bzw. nach dem stündlichen Durchfluß durch die Rohrleitung. So wird beispielsweise für eine Förderleistung von 20 t/h ein Stoßdämpfer von 10 Liter Inhalt genommen, der bei einem Betriebsdruck von 40 kg/cm<sup>2</sup> etwa 80 kg wiegt. Häufig ist der Stoßdämpfer kleiner als der zuvor angebaute Druckwindkessel, da

\*) Dr.-Ing. H. Werkmeister „Der Knorr-Bremse-Schwimmerstoßdämpfer für Rohrleitungen.“ Zeitschrift „Die Wärme“ Nr. 50/1935

er ja als Luftpolster vorgespannte Druckluft benützt. Die Druckluft wird durch einen Handluftpresser eingepumpt oder einer Druckluftleitung des Werks entnommen, manchmal auch aus Flaschen gezapft. Das Aufladen des Stofhdämpfergehäuses, das bei Dauerbetrieb der Pumpe höchstens einmal wöchentlich erforderlich ist, geschieht in wenigen Minuten. Dazu wird der Stofhdämpfer durch Schließen des Absperrventils von der Druckleitung abgeschaltet, dann das Wasser abgelassen, wodurch der Schwimmkolben absinkt und sich mit seiner ventilartigen Bodenfläche auf den Sitz unten im Gehäuse setzt. Nun wird die Druckluftzuleitung geöffnet und am Druckmesser der Fülldruck abgelesen, der halb so groß wie der Förderdruck sein soll. Nach dem Druckluftfüllen wird das Absperrventil geöffnet, das Druckwasser dringt ein, der Schwimmkolben schwimmt auf, bis das zusammengepreßte Luftpolster und der volle Wasserdruck sich die Waage halten.

Wird die Pumpe vorübergehend abgestellt und die Druckleitung entlastet, dann schließt der abgesunkene Schwimmkolben ebenfalls den Druckluftraum des Stofhdämpfers dicht gegen die Druckleitung ab. Es ist in jeder Weise Vorsorge getroffen, daß keine Luft ins Speisewasser gelangen kann.

Die Erfindung des Schwimmerstofhdämpfers hat die Entwicklung der altbewährten Kolbenpumpe entscheidend gefördert und insbesondere den Bau von schnelllaufenden Simplex-Verbund-Speisepumpen ermöglicht für kleinere und mittlere Leistungen bis 80 t/h und 100 kg/cm<sup>2</sup>. Die Pumpen sind von Null bis Höchstleistung stetig regelbar, dabei ist der Dampfverbrauch auch bei kleiner Leistung äußerst sparsam. Die gedrungene Bauart, der geringe Raumbedarf und die betriebs-sichere Arbeitsweise lassen diese Kolbenpumpen das

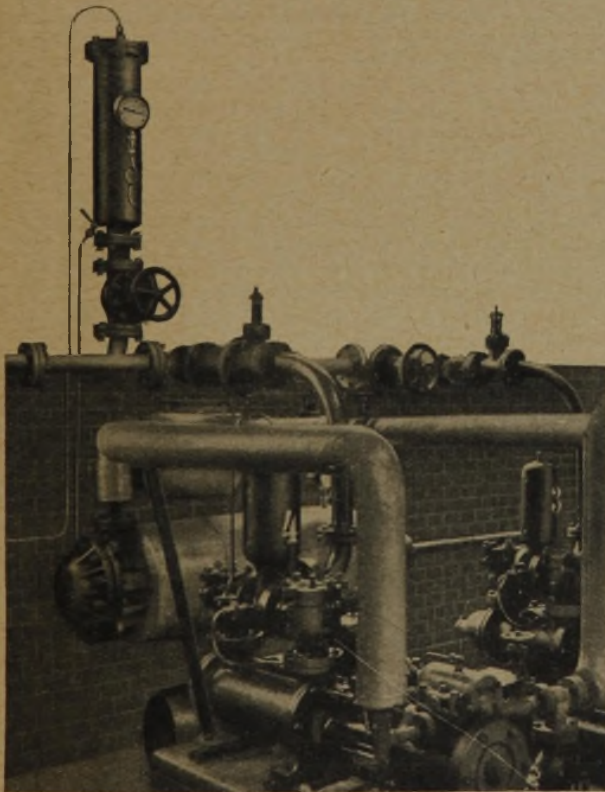


Abb. 4: Schwimmerstofhdämpfer in der Druckleitung

Feld gegenüber der Kreiselpumpe behaupten, auch bei Hochdruckbetrieb, wenn kleine und mittlere Leistungen gefordert sind. A b b. 5 zeigt eine Knorr-Kesselspeise-

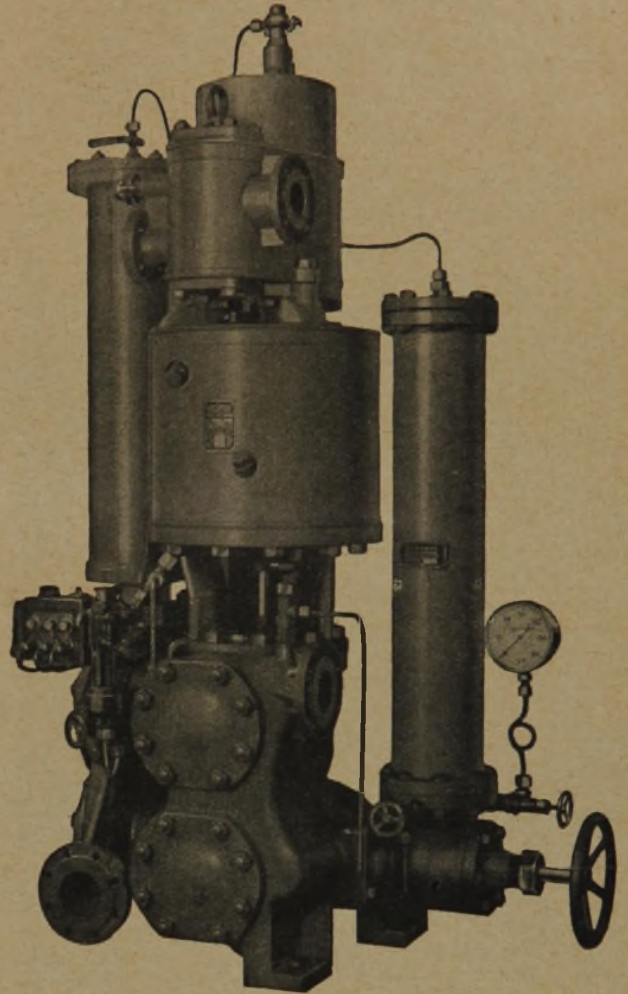


Abb. 5: Knorr-Kesselspeise-Verbundpumpe (35 t/h und 40 kg/cm<sup>2</sup> Betriebsdruck) mit Schwimmerstofhdämpfer (rechts)

Verbundpumpe für 35 t/h Leistung und 40 kg/cm<sup>2</sup> Betriebsdruck. Rechts auf der Seite der Druckventile ist über dem Wasseraustritt der Schwimmerstofhdämpfer angeordnet.

Übrigens ist das Anwendungsgebiet des Schwimmerstofhdämpfers keineswegs auf Speisewasserleitungen beschränkt. Überall, wo Flüssigkeiten durch Rohrleitungen gedrückt werden, sei es Öl, Petroleum, Benzin, Ammoniaklösungen usw., und wo die Druckstöße, mit welchen die Lieferung von der Pumpe aus erfolgt, die Druckleitung erschüttern und in Schwingungen versetzen, kann ein Schwimmerstofhdämpfer als beruhigende Ausgleichsvorrichtung eingebaut werden. Dafür sind die verschiedensten Sonderbauarten mit säurefesten Schwimmkolben, Stickstofffüllung usw. entwickelt und in Betrieb. Vor allem aber ist der Schwimmerstofhdämpfer für die Druckleitungen in Kesselhäusern wichtig. Die Einfachheit seiner Ausführung und seiner Bedienung sowie seine Betriebssicherheit ermöglichen seine Verwendung auch in Anlagen mit wenig geschulter Bedienung.

# Der Leichtbau in Konstruktion und Technologie

Unter diesem Thema wurde am 18. und 19. Oktober 1938 vom Haus der Technik im Auftrage der „Reichsstelle für Wirtschaftsausbau“ eine große Vortragstagung in Verbindung mit einer Fachschau durchgeführt, deren einzelne Vorträge in einem Fachheft „Leichtbau“ dieser Zeitschrift, Heft 22/23, vom 25. November im Wortlaut veröffentlicht sind. Wir bringen nachstehend die gelegentlich dieser Tagung gehaltenen Zwischenansprachen des Leiters sowie die Aussprachebeiträge und fügen einen Bericht über die in Verbindung mit der Tagung durchgeführte Fachschau „Leichtbau“ an.

Die Schriftleitung.

Die Tagung wurde mit der nachstehenden Ansprache des Direktors des Hauses der Technik, Dipl.-Ing. H. K u n z e, eröffnet.

**Herr Kunze:**

Meine Herren!

Mit dem heutigen Tag beginnt das Haus der Technik das 23. Semester und setzt damit eine elfjährige von steigendem Erfolge begleitete Arbeit im Interesse der technisch-wissenschaftlichen Fortbildung unserer in der Praxis stehenden Berufskameraden fort. Niemals sind jedoch die Aufgaben, die dem deutschen Techniker gestellt wurden, größer und vielgestaltiger gewesen als heute, wo es gilt, aus eigener Kraft den gewaltig gesteigerten Anforderungen gerecht zu werden. Sie alle wissen, welchen Weg die deutsche Technik eingeschlagen hat, welche staunenswerten Erfolge sie in diesen Jahren bereits verzeichnen konnte; doch unaufhaltsam weiter geht der Marsch, Aufgabe um Aufgabe wird angepackt und muß zur Lösung gebracht werden.

Hier sieht das Haus der Technik seine Aufgabe, durch Wissensvermittlung im Kampf gegen die Unkenntnis den Berufskameraden in lebendigem Kontakt mit dem gerade in der heutigen Zeit einem starken Wandel unterworfenen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis wie auch der praktischen Erfahrung zu halten. In einem ausgewählten Vortragsprogramm, das mit nicht weniger als 164 Vorträgen, zahlreichen Vortragsreihen, Kursen und Seminaren ganz erheblich über die Tätigkeit in den zurückliegenden Jahren hinausgeht, werden die drängenden Fragen aus allen Gebieten technischen Schaffens behandelt und damit in den Arbeitskreis unserer Berufskameraden hineingetragen.

An die Spitze unserer nunmehr beginnenden Jahresarbeit haben wir die heutige Tagung gestellt, die unter dem Stichwort „Leichtbau“ ein außerordentlich wichtiges Teilgebiet der Technik behandelt. Zweifellos ist hier in den letzten Jahren viel fortschrittliche Arbeit geleistet worden, doch stehen wir noch keineswegs am Ziel. Neue Wege aufzuzeigen, weitmöglichste Zusammenarbeit der am Leichtbau beteiligten Kreise anzustreben, den technischen Fortschritt durch regen Gedankenaustausch zu beschleunigen, möge als sichtbarer Erfolg dieser Veranstaltung gewertet werden können.

Die Bedeutung dieser Tagung ist überzeugend dadurch gekennzeichnet, daß sie am Auftrage der Reichsstelle für Wirtschaftsausbau in Berlin durchgeführt wird. Sie ist aber auch offensichtlich aus dem Widerhall, den unsere Einladung im ganzen Reich, ja auch im Ausland gefunden hat. Es ist mir deshalb eine Freude, zugleich auch im Namen unseres Vorsitzers, Oberbürgermeister Dillgardt, den dringende Pflichten als Oberhaupt dieser Stadt der Technik leider heute fernhalten, 1000 Berufskameraden, die aus dem Industriegebiet, darüber hinaus aber auch in so außerordentlich großer Zahl aus den anderen Gauen unseres Reiches nach Essen gekommen sind, auf das herzlichste zu begrüßen. Ich begrüße insbesondere die Reichsstelle für Wirtschaftsausbau, die in so nachhaltiger Weise unsere Bestrebungen unterstützt hat. Ich begrüße ferner Herrn Direktor Dr. Beckmann, der lebenswürdigerweise die Leitung unserer Tagung übernommen hat, ferner die Herren Vortragenden und danke ihnen herzlich für ihre Bereitwilligkeit, ihre Kenntnisse und Erfahrungen zum Nutzen aller hier Versammelten bekanntzugeben. Ich danke aber auch den Firmen, die es trotz äußerster Anspannung durch vordringlichste Aufgaben ermöglicht haben, unserer Fachschau den wirkungsvollen Inhalt zu geben, der sie zu einer anschaulichen und lehrhaften Ergänzung der Vorträge geeignet erscheinen läßt.

Meine Herren!

Vor wenigen Wochen noch lag Europa und die ganze Welt unter dem Druck schwerwiegendster Entscheidungen.

Mit Stolz und tiefer Dankbarkeit gedenken wir heute des Mannes, der unbeirrt und stark den Weg fand zu einem Frieden der Ehre und Gerechtigkeit in dem großen Reich der 80 Millionen Deutschen. Unser Dank aber liegt in dem verpflichtenden Gelöbnis, tatkräftig und entschlossen die Aufgabe zu erfüllen, die der Deutschen Führer uns Technikern gestellt hat. Mit diesem Wollen möge heute die Arbeit eines neuen Jahres in unserem Haus der Technik seinen Anfang nehmen. Wir deutschen Ingenieure grüßen unseren Führer Adolf Hitler: Sieg Heil!

**Herr Dr. Beckmann:**

Meine Herren! Die heutige Tagung „Der Leichtbau in Konstruktion“ vermittelt uns eine große Anzahl von Vorträgen, die darüber Aufschluß geben werden, welche Erfolge durch den Leichtbau auf den verschiedenen Gebieten der Technik erreicht worden sind.

Was heißt Leichtbau? Leicht bauen heißt, nicht mehr Material verwenden, als zur Aufnahme der Kräfte erforderlich ist. Dieser lapidare Satz ist schnell ausgesprochen, aber schwer in die Tat umgesetzt.

Wenn wir einige charakteristische Merkmale des Leichtbaus herausstellen wollen, so ist zu sagen, daß veraltete Konstruktionen verlassen und neue Konstruktionsideen entwickelt werden mußten. Wenn man nun diese neuen Konstruktionsideen in die Tat umsetzen wollte, so fand man, daß man in vielen Fällen von Walzprofilen Abstand nehmen und gepreßte Profile verwenden mußte, weil diese günstigere Widerstandsmomente ergaben. Auf der anderen Seite mußte man vom Guß zu geeigneten Blechverbindungen übergehen.

Die Entwicklung des Leichtbaues wäre ohne die schnellen Fortschritte der Schweißtechnik nicht möglich gewesen. Der heutige Stand der Schweißtechnik gestattet uns, alle Anforderungen, die der Leichtbau stellt, zu erfüllen. In jahrelangen Erfahrungen haben wir gelernt, die Spannungen durch geeignete Schweißmethoden in zulässigen Grenzen zu halten; auch das Schweißen von Material hoher Festigkeit bereitet heute keine Schwierigkeiten mehr. Hervorragende Konstrukteure sind am Werk gewesen, und wir werden nun hören, was sie uns heute zu sagen haben.

Ich bitte zunächst Herrn Dr. Kraemer von der Reichsstelle für Wirtschaftsausbau, das Wort zu seinem Vortrag „Die Pflicht zum Leichtbau“ zu ergreifen.

(Es folgte Vortrag Kraemer.)

Ich danke Herrn Dr. Kraemer für seine Ausführungen. Er hat zum Ausdruck gebracht, daß heute eine Pflicht zum Leichtbau besteht. Es ist erforderlich, daß die Konstrukteure sich in den heute zur Verfügung stehenden Werkstoffen auskennen. Die Konstrukteure haben die Möglichkeit des Leichtbaues beim Eisen dadurch, daß sie ihre Konstruktionen entsprechend gestalten, andererseits aber haben sie auch die Möglichkeit, neue Metalle, wie Aluminium, Magnesium und deren Legierungen zu verwenden.

Ich glaube, die heutigen Vorträge werden den Beweis erbringen, daß bereits eine große Arbeit geleistet ist; wir wollen, um diese Feststellung zu bekräftigen, nunmehr in unser Programm eintreten. Ich bitte zunächst Herrn Direktor Kreifjig, das Wort zu ergreifen zu seinem Vortrag „Der Leichtbau als Konstruktionsprinzip“.

(Es folgte Vortrag Kreifjig.)

Wir alle sind den Ausführungen des Herrn Direktor Kreifjig mit großem Interesse gefolgt, und ich glaube, daß er allen Konstrukteuren sehr viel Neues brachte. Es ist nicht zuviel gesagt, wenn man Herrn Kreifjig als Pionier der Leichtbauweise im Fahrzeugbau bezeichnet. Herr Kreifjig hat seine Konstruktionsideen in der Waggonfabrik Uerdingen in die Tat umgesetzt und ist jederzeit bereit gewesen, seine reichen



Erfahrungen anderen mitzuteilen, was wir dankbar anerkennen müssen. Ich glaube deshalb im Namen aller zu sprechen, wenn ich Herrn Direktor Kreifzig für seine wertvollen Ausführungen den Dank des Hauses ausspreche. Wir kommen nun zu dem Vortrag „Der Leichtbau beim Eisenbahnfahrzeug“. Ich bitte Herrn Reichsbahnoberrat Taschinger das Wort zu ergreifen.

(Es folgte Vortrag Taschinger.)

Hatte Herr Kreifzig in seinem Vortrag vorteilhafte Konstruktionsmöglichkeiten behandelt und vor allem den Hohlträger als ein außerordentlich günstiges Konstruktionselement empfohlen, so hat Herr Reichsbahnoberrat Taschinger uns jetzt die praktischen Belange vor Augen geführt. Er hat uns gezeigt, daß durch den Leichtbau im Wagenbau außerordentliche Betriebsersparnisse erzielt werden, und das ist ja auch der Grund für den Leichtbau im Fahrzeugbau gewesen. Der Leichtbau wurde eingeführt, nicht etwa um Material zu sparen, sondern um das Gewicht des Wagens zu verringern und dadurch Betriebsersparnisse zu erzielen. Wenn im Augenblick auch die Kosten eines Wagens bei der Leichtbauart höher sind als bei der früheren Bauart, so muß das in Kauf genommen werden. Ich glaube aber, es wird dies nur eine kurze Spanne dauern, dann werden sich auch die Preise wieder angleichen.

Von großem Interesse ist auch die Möglichkeit der Verwendung von nichtrostendem Stahl. Ich möchte glauben, daß diese Bauweise auch in Deutschland später Platz greifen wird, nachdem in Amerika bereits große Erfolge damit erzielt worden sind.

Meine Herren! Wir haben gesehen, daß auf dem Gebiet des Fahrzeugbaues außerordentliche Fortschritte gemacht worden sind, was in erster Linie der Einsatzbereitschaft tatkräftiger Ingenieure zu verdanken ist. Ich spreche Herrn Reichsbahnoberrat Taschinger für seinen ausführlichen und klaren Vortrag den Dank des Hauses aus.

Es liegen zu den Vorträgen Kreifzig und Taschinger Wortmeldungen der Herren Dipl.-Ing. Cleff (Uerdingen), Dr.-Ing. K. Schimz (Neuf), Regierungsbaumeister Reidemeister (Berlin) und Ing. Klougt (Uerdingen) vor. Ich bitte diese Herren, das Wort zu nehmen.

(Diskussionsbeitrag Nr. 1 auf der Essener Leichtbautagung)

Ich bitte Sie, meine Herren, mir einige Worte zu einer Frage zu gestatten, die das Thema der heutigen Tagung eng berührt, nämlich zur Frage der Anwendung von Leichtmetallen im Schienen- und Großstraßenfahrzeugbau im Sinne des Leichtbaues. Es ist für uns heute eine Selbstverständlichkeit, Beschlagteile und Gegenstände der Inneneinrichtung aus Leichtmetallen auszuführen. Viel mehr interessiert aber die Gesamtheit die Frage, welche Verwendungsmöglichkeiten besitzen die Leichtmetalle für die Tragkonstruktionen der Fahrzeuge selbst, sind sie hier in der Lage, noch eine weitere Steigerung des Leichtbaues zu ermöglichen?

Es sind schon verschiedentlich Leichtmetallfahrzeuge hergestellt worden, meist auf Anregung der Leichtmetallerzeuger. Diese Fahrzeuge wurden mit Rücksicht auf Vermeidung von Rückschlägen meist sehr schwer und damit in statischer Auffassung „sicher“ gebaut. Meist erwiesen sich diese Fahrzeuge als sehr kostspielig und besaßen vielfach Mängel in betrieblicher Hinsicht. Beispielsweise setzte man Omnibusaufbauten aus Leichtmetall auf die üblichen Fahrgestelle. Der erzielbare Gewichtsgewinn ist dabei aber so gering, daß er meist in einem sehr ungünstigen Verhältnis zu den entstehenden Mehrkosten steht. Diese Bauweise kann man als Leichtstoffbau kennzeichnen im Gegensatz zu dem hier zur Erörterung stehenden Leichtbau mit Hilfe von Leichtmetallen, bei dem also günstigste Formgebung und leichter Werkstoff zusammenwirken. Hier verspricht das Leichtmetall für den Leichtfahrzeugbau weitere Fortschritte. Wir haben in den letzten Jahren durch die Entwicklung der Leichtmetalle eine vollständig neue Grundlage für ihren Einsatz im Fahrzeugbau erhalten, und zwar wurden sowohl auf der Aluminiumbasis als auch auf der Magnesiumbasis Legierungen geschaffen, die besonders für den Fahrzeugbau geeignet sind.

Diese Werkstoffe sind nicht ausgehärtet und infolgedessen ebenso einfach zu handhaben wie Stahl, sie sind fest ohne Festigkeitsverlust autogen schweißbar, eine für die Reparaturfähigkeit der Fahrzeuge wesentliche Tatsache, sie sind

treibfähig und bieten damit auch eine gute Handhabung für die Instandhaltung im Betrieb. Selbst die Magnesiumlegierungen sind in bekannter Weise nach Erwärmung beispielsweise mit dem Schweißbrenner verformbar, wobei überhaupt zu bemerken ist, daß die Behandlung der Magnesiumlegierungen einem besonders geschulten Handwerker keine Schwierigkeiten bereitet, so daß in einem Großbetrieb durch Verwendung von Magnesiumlegierungen Schwierigkeiten nicht zu erwarten sind. Die neuen Werkstoffe besitzen eine hohe Streckgrenze, sie beträgt bei der Gruppe Al-Mg auf der Aluminiumbasis gegebenenfalls bis zu 36 kg/mm<sup>2</sup> und übersteigt damit die Streckgrenze des ST 37 beträchtlich. Bei den für den Fahrzeugbau in Frage kommenden Magnesiumlegierungen liegt die Streckgrenze bei 19 kg/mm<sup>2</sup>. Die Korrosionsbeständigkeit dieser besonders für den Fahrzeugbau geeigneten Werkstoffe ist gegenüber atmosphärischen Einflüssen außerordentlich gut, sie übersteigt für die in Frage kommende Aluminiumlegierung die Korrosionsbeständigkeit des Baustahls beträchtlich. Aber auch die Magnesiumlegierungen bieten bei ausreichendem Schutz durch Anstriche und Beizschichten genügenden Schutz gegen atmosphärische Korrosion.

Welche Anwendungsform ist nun für den Einsatz der Leichtmetalle im Fahrzeugleichtbau als werkstoffgerecht zu kennzeichnen? Hier ist in erster Linie ähnlich wie beim Stahlleichtbau die Blechbauweise zu nennen. Im Gegensatz zum Flugzeugbau sind die in den einzelnen Konstruktionselementen unterzubringenden Kräfte im Großfahrzeugbau meist bedeutend größer, außerdem sind die dynamischen Beanspruchungen, vor allen Dingen die schlagartigen Charaktere, erheblich stärker. Die hierdurch gefährdetste Stelle beim Leichtmetallfahrzeug ist somit die Nietverbindung, sie muß entsprechend niedrig beansprucht werden, um ein Lockern der Nieten zu vermeiden. Die Blechbauweise mit der Vielzahl der Nieten bietet ohne Zweifel die größtmögliche Sicherheit hiergegen, auf der anderen Seite kommt sie der Forderung gleichmäßiger Kraftverteilung am meisten entgegen, abgesehen davon, daß die Schwierigkeiten beim Schlagen dicker Nieten aus nicht ausgehärteten Legierungen umgangen werden. Die Magnesiumlegierungen lassen mit Rücksicht auf den beim Schlagen entstehenden hohen Lochleibungsdruck nur Nieten bis zu 12 mm Durchmesser zu. Ist also schon die Blechbauweise als eine werkstoffgerechte Leichtmetallanwendung zu bezeichnen, so gilt dies in noch stärkerem Maße von der tragenden Blechbauweise, die im Gegensatz zum Stahl nicht erst eine Folge des Leichtbaugedankens ist, sondern eine gewisse Ausschließlichkeit für die Anwendung dieses Werkstoffes besitzt. Würde beispielsweise ein stählerner Biegeträger durch einen entsprechenden Leichtmetallträger ersetzt, so würde bei den im Fahrzeugbau vorliegenden Verhältnissen, bei denen oft die Höhe der Träger durch äußere Verhältnisse gegeben ist, oder bei Trägern, bei denen die dynamische Beanspruchungsfähigkeit eine Rolle spielt, der Leichtmetallträger gegenüber dem Stahlträger ein erheblich größeres Trägheits- oder Widerstandsmoment erhalten müssen. Es hat sich gezeigt, daß in solchen Fällen der erzielbare Gewichtsgewinn der Leichtmetallkonstruktionen gegenüber der stählernen Ausführung verhältnismäßig klein ist, es ist sogar nachweisbar, daß in besonderen Fällen sogar ein Mehrgewicht gegenüber der Stahlkonstruktion auftritt. Daneben treten dann die erheblichen Mehrkosten der Leichtmetallkonstruktion auf, die in einem gegebenen Fall beispielsweise 12:1 betragen. Biegeträger sind also nicht das Anwendungsgebiet der Leichtmetalle, in denen sie eine beachtliche Steigerung des Leichtbaues nach sich ziehen. Aber besonders geeignet ist das Leichtmetall für die Verwendung in dünnwandigen, hochstegigen Schubblechträgern. Sind diese Träger schon dadurch, daß ihre Verformung in erster Linie der Länge selbst und nicht wie beim Biegeträger einer höheren Potenz der Länge proportional ist, schon besonders steif und damit das gegebene Leichtbaukonstruktionselement, so bringen sie bei der Anwendung von Leichtmetall in jedem Fall einen beträchtlichen Gewichtsgewinn gegenüber den Stahlschubblechträgern mit sich. Die bei der Berechnung dieser Träger zugrunde gelegte kritische Ausbeulspannung ist zwar direkt proportional dem Elastizitätsmodul, jedoch in der zweiten Potenz proportional der Blechstärke, wenn man einmal von der Feldteilung absieht. Auf Grund dieser Beziehung ist der Leichtmetallschubblechträger in jedem Fall leichter zu konstruieren bei gleicher Ausbeulspannung als ein entsprechender Stahlträger. Somit führt die Anwendung der Leichtmetalle im

Sinne des Leichtmetallbaues im Fahrzeugbau zur Schalenbauweise, und nur hierbei scheint der Leichtmetallbau dem Stahlleichtbau gegenüber Vorteile zu versprechen.

Auf einen besonderen Zusammenhang muß man hierbei noch hinweisen. Würde man zwei gleiche Leichtfahrzeuge miteinander vergleichen, beispielsweise zwei D-Zug-Wagen, der eine im Stahlschalenbau, der andere in Leichtmetallschalenbau, und würde man von beiden Fahrzeugen die gleiche Durchbiegung verlangen, so würde zweifellos der Leichtmetallwagen eine beträchtliche Querschnittsvergrößerung erfahren müssen. Die Bedingung gleicher Durchbiegung soll aber dem Ziel dienen, Schüttelschwingungen während der Fahrt zu vermeiden, man will also mit dieser Bedingung eine gewisse hohe Eigenschwingungslage des Fahrzeuges erreichen. Für eine Beurteilung dieser Zusammenhänge ist die Betrachtung des schwingungstechnischen Wertes Masse/Federkonstante maßgebend. Da die Federkonstante bei gleichen äußeren Wagenabmessungen infolge des niedrigeren Elastizitätsmoduls des Leichtmetalls bei dem Leichtmetallfahrzeug in jedem Fall kleiner sein wird, kann man die gleiche Eigenschwingungszahl nur dadurch erreichen, daß man die Masse ebenfalls so klein wie möglich hält. Aus diesem Gesichtspunkt heraus verlangt der Leichtmetallfahrzeugbau äußersten Leichtbau, der bis in jedes Bauelement rücksichtslos durchgeführt werden muß, es genügt in solchen Fällen nicht, sich auf die Gewichtseinsparung durch den leichteren Werkstoff zu verlassen.

Eine strenge Folgerung aus dem Gesagten ist, daß man für einzelne Konstruktionsglieder beim Leichtmetall-Leichtfahrzeug gegebenenfalls den Werkstoff auswählen wird, der der Beanspruchungsform und der Belastungsart am meisten entspricht. Man kommt also zur Gemischtbauweise, die von der korrosionstechnischen Seite bei äußerst sorgfältiger Fertigung keine Schwierigkeiten bereiten dürfte.

Der Leichtmetall-Leichtbau führt uns also zu jener äußersten Form des Fahrzeugleichtbaues, bei dem für ein gegebenes Konstruktionselement unter gegebener äußerer Belastung nicht nur die beste Formgebung, sondern auch der leichteste Werkstoff herangezogen wird. Versuchsfahrzeuge befinden sich in Deutschland im Bau und im Betrieb, an ihnen wird sich zeigen, in welchem Umfang für den Leichtfahrzeugbau das Leichtmetall der gegebene Werkstoff ist. Amerika ist uns in dieser Hinsicht weit voraus. Dort und ebenso in Norwegen werden verschiedene Leichtmetallfahrzeuge bereits serienmäßig gebaut, darunter besonders erwähnenswert, selbsttragende, chassisslose Omnibusse, die sich auch bei den sehr starken Beanspruchungen vollkommen bewähren. Wir werden also mit Hilfe der erwähnten neuen Leichtmetallwerkstoffe die Vorteile des Fahrzeugleichtbaues auch uns noch mehr zunutze machen können, jene Vorteile, die uns diese Tagung vermitteln soll.

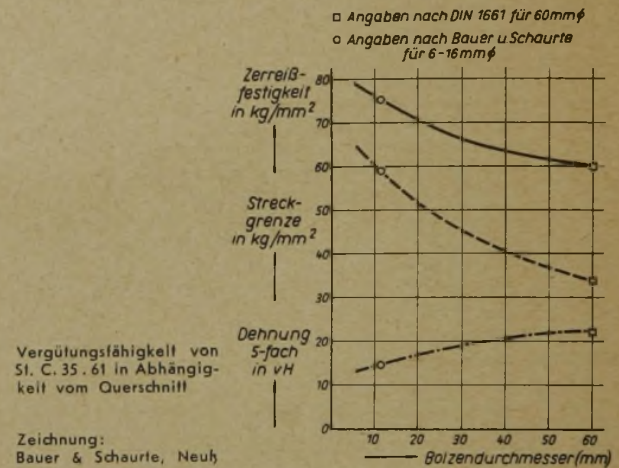
### Herr Dr.-Ing. Karl Schimz (Bauer & Schaurte, Neuf)

„Meine Herren! Gestatten Sie mir, aus meinem Arbeitsgebiet — der Herstellung hochfester Schrauben — zu den Vorträgen Kraemer und Kreißig etwas zu sagen. Herr Dr. Kraemer von der Reichsstelle für Wirtschaftsausbau hat sehr eindringlich darauf hingewiesen, daß sich der Konstrukteur zunächst einmal die Kenntnisse derjenigen Werkstoffe genauestens aneignen muß, mit denen er in seinen Konstruktionen den Weg des Leichtbaues beschreiten will. Nun entsteht zunächst die Frage, wie sich denn der Konstrukteur die Kenntnisse über diese besonderen Werkstoffe aneignen soll, die er in seinen Konstruktionen verwenden will.“

Einmal hätte er aufmerksam sämtliche Forschungsarbeiten zu verfolgen, wozu ihm in den meisten Fällen leider nicht die nötige Zeit zur Verfügung steht, wobei außerdem aber noch zu berücksichtigen ist, daß oftmals durch die Besonderheit der gestellten Aufgaben die veröffentlichten Forschungsergebnisse nur zum Teil direkt für die Zwecke des Konstrukteurs brauchbar sind, zum anderen Teil eine Meinungsverschiedenheit gerade über die letzte Auswirkung der durch mehr oder minder theoretische Versuche gefundenen Werte besteht.

Um dem Konstrukteur die Arbeit zu erleichtern und ihm auf Erfahrung und Forschung fußende brauchbare Unterlagen zur Verfügung zu stellen, möchte ich daher hier anregen, die bestehenden Werkstoff-Normblätter so zu erweitern, daß der Konstrukteur, der ja doch täglich mit Normblättern umgeht, dort die ihn interessierenden Werkstoffwerte herausgreifen kann.

Ich möchte zur Erläuterung dieses Vorschlages einmal an Hand eines Lichtbildes (Abb. 1) aufzeigen, mit welchen Fragen wir uns bei der Firma Bauer & Schaurte, Neuf, auseinandersetzen hatten, als wir begannen, vergütete Schrauben mit höheren Streckgrenzen als bisher auf den Markt zu bringen.



Allen Anfragen nach derartigen hochfesten Schrauben aus der Automobilindustrie z. B. lagen zum größten Teil die in DIN 1661, 1662 bzw. 1663 niedergelegten Streckgrenzen- und Reißfestigkeitswerte zugrunde, die, was immer leicht übersehen wird, lediglich die Vergütungsfähigkeit des Werkstoffes darstellen sollen und für einen Durchmesser von etwa 60 mm gelten. So hätten danach sehr viel höher legierte Werkstoffe für die Herstellung von Schrauben hoher Streckgrenzen verwendet werden müssen, als es notwendig ist, und die Vorschrift, hochwertige Chromnickelstähle, etwa der Zusammensetzung entsprechend VCN 45 zu benutzen, war gar keine Seltenheit.

Das Bild zeigt klar, wie mit kleinerem Durchmesser infolge der besseren Vergütbarkeit die Streckgrenzenwerte im Vergleich zu den in dem vorerwähnten DIN-Blatt 1661 erheblich ansteigen. Betrachtet wird die Vergütungsfähigkeit von St C 35.61 lediglich für die Durchmesser 12 mm (den mittleren Durchmesser der in der Schraubenfabrikation benutzten Werkstoffe) und 60 mm φ, der den Normalblattangaben zugrunde liegt. Die Streckgrenze, als Mindeststreckgrenze betrachtet, kann — wie die Abbildung zeigt — mühelos von 33 kg/mm² auf 59 kg/mm² gesteigert werden. Dasselbe gilt für St C 45.61 und die legierten Werkstoffe des Blattes 1663, so daß es aus unserer Erfahrung heraus nicht notwendig ist, um Schrauben mit 100 kg/mm² Mindeststreckgrenze herzustellen, in der Legierung höher zu gehen, als VCMo 135 vorsieht. Höhere Legierungen wären Verschwendung, die wir uns heute nicht leisten können.

Gerade die häufigen Anfragen aus der Automobilindustrie, die doch neben dem Flugzeugbau als Keimzelle des Leichtbaues gelten kann, veranlaßt mich, diese Frage einmal besonders in den Vordergrund zu stellen. Ich habe Ihnen allerdings in dem Lichtbild nur Werte für die Durchmesser 12 und 60 mm zeigen können. Die

dazwischenliegenden Werte fehlen mir; es wäre nun eine sehr dankenswerte Aufgabe, wenn sich die Forschungsinstitute der Hochschulen und der Industrie für die Untersuchungen der Vergütungseigenschaften der dazwischenliegenden Durchmesser zur Verfügung stellen würden, und wenn dann später die Normblätter für die Konstruktionsstähle in der Form erweitert würden, daß die erreichbaren Mindestwerte aus den Blättern für jeden betreffenden Durchmesser abzulesen wären.

Ich bin überzeugt, daß diese Maßnahme allein schon zwei Erfolge haben würde:

1. würde der Konstrukteur den Einfluß des Durchmessers auf die Vergütungsfähigkeit klar erkennen lernen, und
2. würde er seinen Berechnungen die tatsächlich vorhandenen Mindeststreckgrenzen zu Grunde legen, die infolge der Durchmesserabhängigkeit wohl in den meisten Fällen zu einer Verminderung der Abmessungen (Leichtbau) bzw. zur Einsparung von devisengebundenen Legierungselementen führen."

#### Herr Reg.-Baumeister Reidemelster:

„Zu der von Oberbaurat Taschinger an die Tafel geschriebenen Formel

$$A = \frac{f \cdot \sigma^2 \cdot l}{2 E}$$

möchte ich darauf hinweisen, daß der Elastizitätsmodul im Nenner steht. Da er bei Leichtmetallen bekanntlich ein Drittel so groß ist wie bei Stahl, wird diesen Werkstoffen oft der Vorwurf einer dreifach größeren Durchbiegung gemacht. Wie die Formel zeigt, ist der kleinere Elastizitätsmodul oft von Vorteil, wie zum Beispiel bei Stoßbeanspruchungen, da Leichtmetalle das dreifache Arbeitsvermögen gegenüber Stahl aufweisen. Dies ist auch in der Praxis wiederholt bei Zusammenstößen von Leichtmetallfahrzeugen festgestellt worden. So sind bei zwei amerikanischen Schnelltriebwagen, die mit einer Relativgeschwindigkeit von 132 km/h aufeinander fahren, nur die Vorräume eingedrückt worden, alle Fensterscheiben aber heil geblieben. Es ist weiter von einem Unfall berichtet worden, bei dem ein Leichtmetalltriebwagen durch Aufschneiden einer Weiche bei 110 km/h entgleist ist, sich um 180° gedreht und dabei zwei Telegraphenmaste abgeschert hat, ohne daß eine Fensterscheibe zertrümmert ist.

Weiter ist die Kostenfrage angeschnitten worden. Es ist ganz richtig, daß Leichtbau und auch Leichtmetallbau bei Fahrzeugen mehr kosten als die normale Bauart. Die Kostenfrage hängt eng zusammen mit dem Fahrwiderstand und bei diesem wieder mit seiner Gewichtsabhängigkeit. Ich habe diese Verhältnisse kürzlich in der VDI-Zeitschrift eingehend untersucht und den Fahrwiderstand analysiert. Zu dem Beharungswiderstand auf ebener, ungekrümmter Strecke ist zunächst der Widerstand in Steigungen und Krümmungen hinzuzurechnen. 70 Prozent der Reichsbahnstrecken sind geneigt, 30 Prozent gekrümmt. Zu diesem Widerstand kommt noch der Beschleunigungswiderstand; selbst der D-Zug im Fernverkehr muß je 100 km etwa viermal beschleunigt werden. Rechnet man den so ermittelten Gesamtwiderstand um in PS und kg Kohle, dann kommt man zu dem Ergebnis, daß der Mehrpreis der Leichtbaufahrzeuge, selbst bei Verwendung der teuren Leichtmetalle völlig aufgewogen wird durch die erzielte Selbstkostensparnis. Diese ist in der Lage, den Zinsendienst für den einmaligen Mehrpreis bei der Beschaffung jährlich mehr als voll auszugleichen."

#### Herr Klougt:

„Aus den Vorträgen von Herrn Kreifzig und Herrn Taschinger haben wir in einfacher Weise erfahren, welche eminenten Vorteile gerade der Leichtbau bietet und welche Umwälzung der Leichtbau auf dem Gebiete technischer Anschauungen bedeutet. Aus den beiden Vorträgen war zu entnehmen, daß die für den Leichtbau maßgebenden Faktoren in der gleichen Richtung wirken und sich gegenseitig ergänzen. Die Kenntnis der Einflüsse dieser Faktoren ist durch die technische Entwicklung und das Ergebnis langjähriger Versucharbeit in Betrieb, Konstruktionsbüro und Laboratorium mehr und mehr bekannt geworden. So wirken diese einzelnen Faktoren als Mosaiksteinchen eines Mosaikbildes wie auch erst das Zusammenwirken aller Faktoren den Leichtbau ermöglicht hat.

Ein solches Mosaiksteinchen ist in dem Vortrag von Herrn Kreifzig erwähnt worden, und zwar die Beziehungen der Festigkeitseigenschaften zum Querschnitt, wobei insbesondere auf die Querschnittsabhängigkeit hingewiesen worden ist. Wir leben allgemein in dem altbewährten Gesetz, daß sich die Lasten proportional zu den Querschnitten verhalten, d. h.

$$P_1 : P_2 = F_1 : F_2.$$

Danach wachsen die Kräfte proportional mit wachsenden Querschnitten. Dieses Gesetz ist jedoch nur eine Arbeitstheorie und kein Naturgesetz. Die Untersuchungen, die bislang auf diesem Gebiete durchgeführt worden sind, haben im großen und ganzen für den der Untersuchung zugrunde gelegten Querschnitt geringe Abweichungen ergeben. Somit hat man angenommen, daß das Gesetz von Kieck (1879) zu Recht besteht. Das Gesetz von Kieck wurde 1880 durch das Ähnlichkeitsgesetz von Barba vervollkommen. Dieses Gesetz sagt aus, daß ein Volumen jeweils die gleichen Arbeiten leiste, wenn eine geometrisch ähnliche Verformung an geometrisch ähnlichen Körpern vorgenommen wird, wobei eine Reihe von Voraussetzungen noch zu erfüllen sind. So u. a. wird der Zustand der Quasi-Isotopie vorausgesetzt, wobei man etwa 1000 Körner je Schnitt annimmt; ferner das Fehlen von Eigenspannungen und auch eine bestimmte Richtung der Kraft, welche jeweils auf den beanspruchten Kristalliten wirkt.

Gerade dieser letzte Einfluß ist von besonderer Bedeutung, da die Werkstoffe regellos gestaltet sind und daher Schubkräften neben Normalkräften ausgesetzt sind. Schließlich muß darauf hingewiesen werden, daß sich die Kräfte nicht in der einachsigen Ordnung auswirken, sondern daß jede Kraffauswirkung eine dreiaxige Spannungsverteilung hervorruft.

Die bisherigen Ergebnisse haben im großen und ganzen, wie gesagt, durchaus die Anwendung dieses Festigkeitsbegriffes gerechtfertigt. Dabei waren die Versuchsergebnisse durch die angewendeten Maschinen und durch die Untersuchungsmethoden beschränkt; auch waren metallurgische Voraussetzungen zu erfüllen, die nicht immer beachtet worden sind. Trotzdem haben einige Forscher schon einen gewissen Einfluß feststellen können; so z. B. wird von Bach (1924) angegeben, daß bei stärkeren Querschnitten ein Abfallen der Festigkeit eintritt. Auch Wawrziniok hat Untersuchungen hierüber angestellt und dabei folgende Werte an Baueisen von 28 mm bis 6 mm erhalten:

Durchm.	Streckgrenze	Festigkeit	Dehnung	Ein-schnürung
28 mm	28 kg/mm <sup>2</sup>	42 kg/mm <sup>2</sup>	30%	60%
6 mm	33 kg/mm <sup>2</sup>	44 kg/mm <sup>2</sup>	25%	70%

Auf Grund dieser Untersuchung ergab sich auch die Vorschrift, daß bei Baueisen unter 10 mm  $\varnothing$  um 10% höhere Spannungen zulässig sind.

Diese Versuche haben immerhin gezeigt, daß eine absolute Proportionalität zwischen Querschnitt und Kraft nicht besteht. Die Ursachen dieser Abweichungen liegen in der mangelnden Erfüllung der oben angegebenen Voraussetzungen. So wird tatsächlich dieses Gesetz ein Arbeitsgesetz, und es kann daher nicht als Naturgesetz angesehen werden. Dem Begriff der Festigkeit legen wir eine scheinbare Festigkeit zugrunde, d. h., wir beziehen die Festigkeit auf den Anfangsquerschnitt und auf die höchste aufzubringende Last. Als wirkliche Festigkeit muß man den jeweiligen Querschnitt und die jeweilige Last vergleichen. Dabei bekommt man ein asymptotisches Ansteigen der Spannung bis zum Bruch. Aus dem Verlauf des Diagramms ist zu schließen, daß eine Möglichkeit für eine höhere Beanspruchung bei dünneren Querschnitten besteht. Insbesondere nach Kaltverformungen lassen sich bedeutend höhere Spannungen durch dünne Querschnitte übertragen als mit normalen Querschnitten. So werden bei Uhrfedern bis zu 35 000 kg/cm<sup>2</sup> gegenüber 12 000 kg/cm<sup>2</sup> Biegespannung bei normalen Federn dauernd ausgehalten. Diese Werte von 35 000 kg/cm<sup>2</sup> reichen noch lange nicht an die Kohäsionsfestigkeit heran, die sich aus der Zusammenhangskraft des Kristallgitters errechnen läßt. Die Kohäsionsfestigkeit liegt rechnermäßig um einige Zehnerpotenzen höher, als wir sie aus den Zerreißversuchen erhalten. Von Reinköber und seinen Mitarbeitern wurde gefunden, daß an Quarzfäden mit abnehmendem Querschnitt die Tragfähigkeit bis zum Bruch anstieg, wie auch das Lichtbild, was Herr Kreißig zeigte, erkennen läßt. Die dabei erhaltenen Festigkeitswerte liegen zwar erheblich höher, erreichen aber noch nicht die Kohäsionsfestigkeit. Die gleichzeitig dargestellten Versuche an Stahl in unserem Laboratorium haben ähnliche Werte gezeigt.

Die Physiker haben sich schon eingehend um diese Differenz bemüht und haben festgestellt, daß verschiedene Ursachen dazu beitragen.

Physikalische Messungen wurden sehr eingehend an Steinsalzkristallen durchgeführt, die in ausreichender Größe und Menge zur Verfügung stehen. Die hierbei erreichte Festigkeit beträgt 50 und 200 kg/cm<sup>2</sup>, während die errechnete Gitterfestigkeit des Steinsalzes bei 20 000 bis 40 000 kg/cm<sup>2</sup> liegt.

Kleinnhanns und Joffé wollen an gewässerten Steinsalzkristallen erhebliche Festigkeitssteigerungen erreicht haben, indem sie von dem Gedanken ausgingen, daß der Bruch durch Zerstörung der Oberfläche eintritt. Smekal hat diese Werte kontrolliert. Er erreichte die angegebene Festigkeit zwar nicht, konnte jedoch immerhin eine Steigerung von mehr als dem Fünffachen gegenüber dem trockenen Kristall feststellen, etwa 1000 kg/cm<sup>2</sup>.

Es ist zu erwarten, daß weitere Versuche statischer Art zur Klärung dieses Verhaltens beitragen werden. Wenn auch scheinbar keine erheblichen Gewinne im Bereiche der statischen Beanspruchungen zu erwarten sind, so liegen die Verhältnisse auf dem Gebiete der dynamischen Beanspruchungen erheblich anders. Hier sind schon eine Reihe von Versuchsergebnissen vorhanden, und zwar wurde insbesondere von Lehr angegeben, daß die Dauerdrehfestigkeiten an einem Stab von 10 mm  $\varnothing$  gegenüber einem Stab von 100 mm  $\varnothing$  um 40% abfällt.

Alle diese Untersuchungen, die in ihrer Tragweite noch nicht übersehen werden können, werden eine Umformung unserer Anschauung über die Festigkeit erforderlich machen. Man soll im übrigen die uns über-

lieferten Vorstellungen und Anschauungen stets immer betrachten und dieselben auf Grund unserer heutigen Anschauung immer wieder überprüfen.

Wenn bei der Berechnung einer Konstruktion die Last in einem gegebenen Konstruktionsteil nicht ertragen werden kann, so hat man gemeinhin ein Mittel, indem man entweder den Querschnitt erhöht, oder man nimmt einen Stahl höherer Festigkeit. Aber gerade die Änderung der Stahlqualität durch Stahl höherer Festigkeit bringt gleichzeitig grundlegende Änderungen mit sich. So sind die Versuche, Stahl mit besseren Festigkeitseigenschaften für Achsen zu verwenden, negativ verlaufen, worauf Herr Oberbaurat Taschinger in seinem Vortrag hinwies. Die Reichsbahn verwendet nach wie vor als Stahl für Achsen den bewährten Kohlenstoffstahl von 50 bis 60 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit.

Wir haben durch Vergleiche gefunden, daß tatsächlich ein solches Verhalten gerechtfertigt ist. An einem Straßenbahnwagen liefen seit mehr als 20 Jahren Achsen aus normalem Kohlenstoffstahl mit 60 kg/mm<sup>2</sup> Festigkeit zur vollen Zufriedenheit. Aus einem äußeren Anlaß sollten die Achsen erneuert werden. Man nahm hierzu, um etwas Besonderes zu tun, Chrom-Nickel-Stahl-Achsen. Die Wagen liefen in demselben Fahrplan, also mit der gleichen Fahrleistung. Bereits nach wenigen Monaten stellten sich die ersten Brüche ein. Es wurde zuerst vermutet, daß Werkstofffehler die Ursache des Bruches seien. Die genaue Untersuchung ergab jedoch, daß Werkstofffehler nicht vorhanden waren, und daß Achsen des gleichen Werkstoffes anderer Herkunft ebenfalls brachen. Bei der Überprüfung der Eigenschaften des Kohlenstoffstahles und des legierten Stahles konnte festgestellt werden, daß ein bedeutender Unterschied in der Dämpfungsfähigkeit besteht. Die geringe Dämpfung des legierten Stahles gegenüber der starken Dämpfung des Kohlenstoffstahles hat m. E. zum Bruch geführt. Die Kraftimpulse, die durch die Fahrstöße auf die Achsen wirken, rufen Schwingungen hervor, deren Abklingkurve so kurz sein muß, daß unzulässige Schwebungen vermieden werden. Diese Voraussetzung erfüllt der Kohlenstoffstahl weitgehend, während der Chrom-Nickel-Stahl infolge seiner geringen Dämpfungsschleife längere Schwingungen ausführt.

Auf Grund dieser Überlegung wurden wieder Kohlenstoffstahlachsen eingebaut und damit hörten die Brüche sofort auf. Diese Achsen laufen bereits wieder acht Jahre und haben keine weiteren Beanstandungen gezeigt.

Herr Dr. Beckmann:

„Ich danke den Herren für ihre sehr interessanten Beiträge zur Aussprache. Herr Hoffmann hat nunmehr das Wort zu seinem Vortrag „Der Leichtlandmaschinenbau“.

(Es folgte Vortrag Hoffmann.)

Ich möchte Herrn Hoffmann unseren besten Dank für seine Ausführungen aussprechen. Ich glaube, daß es nicht einfach war, die Unterlagen zu diesem Vortrag zu beschaffen und bin erstaunt, daß der Leichtbau im Landmaschinenbau schon solche Fortschritte gemacht hat. Es ist durchaus richtig, was Herr Hoffmann sagte, daß die Kundschaft besonders schwierig ist. Die Landwirte glauben, je schwerer die Maschine ist, desto besser sei sie auch. Auf diesem Gebiet werden noch große Schwierigkeiten zu überwinden sein.

Wir fahren jetzt mit der Vortragsreihe fort. Ich erteile zunächst Herrn Bauer zu seinem Vortrag „Der Leichtbau im Eisen- und Hochbau“ das Wort.

(Es folgte Vortrag Bauer.)

Meine Herren! Im Hallenbau sind große Materialersparnisse dadurch erzielt worden, daß man die Dachhaut mit den anderen Konstruktionselementen in geeigneter Weise verschweißte und als tragendes Glied in das Ganze einfügte. Ich glaube, daß die vorgebrachten neuen Konstruktionsideen,

die Herr Bauer uns hier in großer Fülle mitteilte, das Interesse aller Anwesenden gefunden haben und spreche ihm für seinen vorzüglichen Vortrag den Dank des Hauses aus. Es folgt nun der Vortrag des Herrn Obering. Keller: „Der Leichtbau im Maschinenbau“.

(Vortrag Keller.)

Den Diskuswerken gebührt das Verdienst, eine neue Konstruktionsidee in den Werkzeugmaschinenbau hereingebracht zu haben. Sie sind von der Gußkonstruktion zur Zellenbauweise übergegangen. Wir haben von Herrn Keller gehört, daß das zunächst viel Sorge, Arbeit und Geld gekostet hat. Es ist erfreulich, daß die Diskuswerke zu einem großen Erfolg gekommen sind, indem sie den Beweis erbracht haben, daß auch leichtkonstruierte Maschinen bei geeigneter Bauweise starke dynamische Kräfte aufnehmen können. Ich spreche Herrn Keller für seinen vorzüglichen Vortrag den besten Dank aus.

Wir werden jetzt den Vortrag des Herrn Rosenbaum über „Leichtbau im Walzwerksbau“ hören.

(Es folgte Vortrag Rosenbaum.)

Vom Leichtbau im Walzwerksbau hatte man bisher noch wenig gehört. Herr Rosenbaum ist an diese Aufgabe herangegangen, und zwar als erster, das verdient hervorgehoben zu werden. Ich glaube, daß alle seine Ausführungen mit großem Interesse verfolgt und gesehen haben, daß hier ein außerordentlich tüchtiger Konstrukteur am Werk gewesen ist. Ich beglückwünsche Herrn Rosenbaum zu den Erfolgen, die er auf diesem Gebiet erzielt hat, und glaube in Ihrem Namen zu sprechen, wenn ich ihm den Dank des Hauses für seinen Vortrag übermittle.

Wir kommen nun zum letzten Vortrag des heutigen Tages. Ich bitte Herrn Dr. Croseck, das Wort zu ergreifen.

(Es folgte Vortrag Croseck.)

Wir alle sind den Ausführungen des Herrn Dr. Croseck mit außerordentlicher Spannung gefolgt. Herr Dr. Croseck hat große Erfahrungen sammeln können, die sich auf die verschiedensten Gebiete beziehen. Er hat Vergleiche angestellt über die Belastung von Flugzeugen, Schiffen, Fahrzeugen, und Aufnahme derselben durch geeignete Konstruktionen, wobei er die Schalenbauweise besonders hervorgehoben hat. Ich möchte Herrn Dr. Croseck den besonderen Dank des Hauses der Technik aussprechen, daß er seine wertvolle Zeit zur Verfügung gestellt hat, um einen so außerordentlich interessanten und lehrreichen Vortrag hier zu halten.

Es liegen einige Anfragen an die Herren Keller und Rosenbaum vor, die ich nun zu beantworten bitte.“

## Diskussionsbeitrag Keller

Herr Keller:

„Mir ist folgende Frage gestellt worden:

Wie hoch ist der Prozentsatz des Preisunterschiedes zwischen einer gegossenen und geschweißten Ausführung? Meine Herren! Ihnen da mit einer sofort greifbaren Zahl zur Hand zu gehen, ist schwer. Ich erwähnte schon, daß von Anfang an jede Technik teuer ist. So viel kann ich Ihnen aber sagen, daß wir unsere Maschinen zu den normalen Marktpreisen abgeben. Es ist aber mit Sicherheit zu erwarten, daß bei einer weiteren Vervollkommnung und Einspielung des Betriebes weitere Einsparungen möglich sind.“

Herr Rosenbaum (s. Anlage).

„Meine Herren! Herr Direktor Kreifig fragt mich, was sich an den Triebwellenteilen hinsichtlich der Leichtbaumöglichkeit ergeben hat. Bei den Wellenabsätzen der Triebwellen kann gespart werden. Der Querschnitt der Welle wird immer wieder und zum soundsovielten Male geändert. Diese Änderungen des Wellenquerschnittes sind nicht nötig. Im Bild vorhin zeigte ich eine Welle, die eine Länge von 6 Meter hat und die trotzdem keinen einzigen Absatz aufweist. Alle Teile, die auf der Welle sitzen, sind der Reihe nach aufgeschumpft. Und hier wurde nun oft gefragt, warum die einzelnen Teile geschumpft werden. Die Antwort lautet ganz einfach: Wenn man einer Längswelle eines bestimmten Querschnittes bedarf, ist damit der Durchmesser für die

Rollenlagerung gegeben. Diese Rollenlagerung ist ganz erheblich überdimensioniert. Es muß also damit gerechnet werden, daß der Teil, der rechnungsmäßig am schwächsten liegt, das ist die Welle, zuerst bricht. Es hat aber keinen Zweck, auf Teile Rücksicht zu nehmen, die eine höhere Lebensdauer versprechen, und dafür andere Teile durch Absätze ganz erheblich zu schwächen, weil dies den Kraftübergang sehr erheblich erschwert. Aus dem gleichen Grund schrumpfen wir auch die Kupplung. Man braucht also keinen Wellenabsatz, man kann nämlich auch die Zahnräder schrumpfen. Wenn man sich an die Angaben, die Direktor Kreifig heute früh bezüglich des unterbrochenen Kraftflusses gab, erinnert, so wird man mir sehr schnell recht geben, daß auch in dem hier zur Frage stehenden Fall erhebliche Materialersparnisse erzielt werden können, wenn man eine 220er Welle auf 218 oder 217 bringt. Sie wird sicherlich als glatte 218er Welle genau so viel halten, wie eine abgesetzte von 220 mm Durchmesser.“

Damit fanden die Vorträge des ersten Tages ihr Ende. Der zweite Tag war den Werkstofffragen vorbehalten.

Herr Dr. Beckmann:

„Meine Herren! Hatten wir gestern Vorträge über den „Leichtbau in Konstruktion“ gehört, so soll in der heutigen Tagung über die Werkstoffe gesprochen werden, die infolge ihrer Eigenart für den Leichtbau in Frage kommen. Der erste Vortrag behandelt den Stahl hoher Festigkeit, die übrigen Vorträge befassen sich mit Material, das infolge seines geringen spezifischen Gewichtes zum Leichtbau geeignet ist.

Wenn man hier in der Ausstellung sieht, welche Vollendung neue Werkstoffe heute schon gewonnen haben, so scheint es angebracht, darauf hinzuweisen, wie ungeheuer schwierig die Entwicklung gewesen ist. Die Entwicklung neuer Werkstoffe ist nicht nur schwierig, sondern auch sehr kostspielig. Die Praxis verlangt, daß das Material sich walzen, gießen, schmieden, schweißen, ziehen, nieten und mit geeigneten Werkzeugen verarbeiten läßt. Die Entwicklung des Materials erfordert meist eine lange Zeit und stößt häufig auf unübersehbare Schwierigkeiten; sie erfordert viel Optimismus und Zähigkeit in der Durchführung. Wir haben nun eine große Anzahl Werkstoffe, die in Konkurrenz miteinander stehen. Die Zeit wird lehren, für welche Arbeitsgebiete sie geeignet sind. Die Leichtmetalle und die synthetischen Stoffe haben den Vorteil, gar nicht oder nur in geringem Maße devisenbelastet zu sein und verdienen deshalb nachdrücklich gefördert zu werden.

Wir wollen nun mit den Vorträgen beginnen. Herr Dr. Schönrock spricht jetzt über „Stähle im Leichtbau“.

(Es folgte Vortrag Dr. Schönrock.)

Ihr Beifall zeigt, daß Sie mit großem Interesse den Ausführungen des Herrn Dr. Schönrock gefolgt sind. Ich danke Herrn Dr. Schönrock für seinen Vortrag.

Beim Leichtbau ist man natürlich bestrebt, bei den Stählen mit der Festigkeit möglichst hoch zu gehen. Wie Herr Dr. Schönrock mitteilte, sind hier aber Grenzen gesetzt. Es wird Ihnen ja nicht unbekannt geblieben sein, daß beim Schweißen des Stahls 52 erhebliche Schwierigkeiten zu überwinden waren und unangenehme Rückschläge eingetreten sind. Die Schweißtechnik wird vor solchen Schwierigkeiten nicht haltmachen. Man kann heute schon sagen, daß es Mittel und Wege gibt, um die eingetretenen Schäden in Zukunft zu vermeiden. Ich möchte Sie auch noch auf den nichtrostenden Stahl aufmerksam machen, der hohe Festigkeit und ausgezeichnete Schweißeigenschaften hat. In der Ausstellung sind Photographien von Salpetersäuretürmen zu sehen, die aus nichtrostendem Stahl hergestellt sind. Früher wurden diese Türme aus Flußeisen gefertigt, genietet und mit säurefesten Steinen ausgekleidet. Diese Salpetersäuretürme werden heute aus nichtrostendem Stahl mit einer geringen Wandstärke von etwa 3 bis 4 Millimeter hergestellt. Sie können also sehen, daß sich außerordentlich viel Werkstoff ersparen läßt, wenn die geeigneten Materialien verwandt werden.

Wir kommen nun zu dem zweiten Vortrag: „Aluminium und seine Legierungen als Konstruktionsstoff“. Ich bitte Herrn Suhr, das Wort zu nehmen.

(Es folgte Vortrag Suhr.)

Ich danke Herrn Suhr für seine interessanten Ausführungen. Herr Suhr hat auseinandergesetzt, daß das Aluminium heute für fast alle Konstruktionen geeignet ist. Man hat erreicht, Aluminium hoher Festigkeit herzustellen und gute Bearbeitungsmöglichkeiten zu schaffen. Das Aluminium hat heute bereits eine ganz ungeheure Bedeutung gewonnen. Der deutsche Anteil an der Aluminiumweltproduktion beträgt heute bereits 30 %, doch wird die Aluminiumerzeugung zweifellos noch gewaltig gefördert werden. Das Aluminium macht heute schon dem Eisen große Konkurrenz. Es gibt fast kein Arbeitsgebiet, in dem Aluminium und seine Legierungen nicht im Wettbewerb sind. Auf dem Gebiet der Brauereien, Molkereien, der chemischen Industrie, dem Fahrzeugbau, Flugzeugbau, überall ist das Aluminium bereits in starkem Aufstiege; es wird Sie interessieren, daß man jetzt auch entschlossen ist, in großem Umfang die Milchkannen aus Aluminium herzustellen, um an Zinn zu sparen. Wir kommen nun zum Vortrag „Magnesium und seine Legierungen“. Herr de Ridder hat das Wort.

(Es folgte Vortrag de Ridder.)

Ich danke Herrn de Ridder für seine Ausführungen, die für uns alle besonders lehrreich gewesen sind, weil die meisten über Magnesium und seine Legierungen noch nicht genügend unterrichtet waren. Herr de Ridder hat auseinandergesetzt, daß Magnesium und seine Legierungen sich für Konstruktionen aller Art eignen, daß sie korrosionsbeständig sind und in der Hauptsache für Gußkonstruktionen Verwendung gefunden haben, daß man aber auch Schmiedestücke anfertigen kann. Allgemein kann man sagen, daß Magnesium heute schon sehr große Bedeutung gewonnen hat. Es ist dabei beachtlich, daß Magnesium ein rein deutscher Werkstoff ist. Die Ausstellung zeigt, daß aus Magnesium schwierige Teile hergestellt werden können. Es hat wohl jeden in Erstaunen gesetzt, daß bereits Lafettenräder aus dieser Legierung hergestellt werden können. Alle haben, glaube ich, den Eindruck gewonnen, daß diesem Werkstoff noch eine große Zukunft beschieden ist.

Herr Nußbaum hat nun das Wort zu seinem Vortrag „Das Gießen als Verarbeitungsform der Leichtmetalle“.

(Es folgte Vortrag Nußbaum.)

Ich möchte zunächst Herrn Nußbaum für seine interessanten Ausführungen meinen Dank aussprechen. Herr Nußbaum hat auseinandergesetzt, daß beim Leichtmetall alle Arten des Gusses möglich sind. Er hat mit Recht darauf aufmerksam gemacht, daß gerade bei diesem schwierigen Material die Zusammenarbeit zwischen Konstrukteur und Gießtechniker unter allen Umständen erforderlich ist.

Wir setzen jetzt unsere Vortragsreihe fort und kommen zu dem Vortrag des Herrn v. Rajakovics: „Die Verarbeitung der Leichtmetalle durch spanlose Formung und Nietung“.

(Es folgte Vortrag v. Rajakovics.)

Ich danke dem Vortragenden für seine Ausführungen und glaube, daß sie in weitgehendem Maße das Interesse des Hauses gefunden haben. Der Vortragende hat in seinem Vortrag geschildert, was ich heute morgen schon erwähnt hatte, daß man beim Herausbringen neuer Legierungen darauf achten muß, daß sie auch den Erfordernissen der Praxis entsprechen. Den Ausführungen des Vortragenden ist zu entnehmen, daß umfangreiche Versuche angestellt werden mußten, um die Bleche zum Tiefziehen geeignet zu machen. Sie haben auch weiter gehört, daß das Nieteln auf Schwierigkeiten stieß und daß viel Arbeit aufgewandt werden mußte, um die Erfordernisse der Praxis zu erfüllen. Ich erteile nun Herrn Klein das Wort zu seinem Vortrag: „Die Verarbeitung von Leichtmetallen durch spangebende Formung“.

(Es folgte Vortrag Klein.)

Ich danke Herrn Klein für seine wertvollen Ausführungen. Er hat auseinandergesetzt, daß man bei Leichtmetallen die üblichen Werkzeuge nicht anwenden kann, sondern sie den einzelnen Legierungen anpassen muß. Wie das geschieht, hat er uns klar und ausführlich geschildert.

Ich bitte nun Herrn Prof. Dr. Matting, das Wort zu seinem Vortrag „Die Technologie des Schweißens“ zu nehmen.

(Es folgte Vortrag Matting.)

Ihr Beifall zeigt mir, daß die Ausführungen des Herrn Professor Matting Ihr besonderes Interesse gefunden haben. Herr Professor Matting hat als ein erfahrener Schweißfachmann zu uns gesprochen, der schon vor Uebernahme der Professur lange auf dem schweißtechnischen Gebiet tätig war und jetzt als Professor an der Technischen Hochschule Hannover die Belange der Schweißtechnik weiter im Auge behält. Herr Professor Matting hat ausgeführt, daß das Schweißen zweckmäßig ist, weil an Gewicht gespart werden kann und auch das Schweißen häufig billiger in der Herstellung ist als das Nieteln. Wenn man die Wirtschaftlichkeit betrachtet, dann möchte ich noch hinzufügen, daß die maschinelle Schweißung die Wirtschaftlichkeit in Zukunft noch erhöhen wird. Herr Professor Matting wies darauf hin, daß bei den Leichtmetallen häufig das Schweißen keine Anwendung finden kann, weil diese Werkstoffe die Erwärmung nicht vertragen. In diesem Falle ist also die Nietung am Platz. Bei den Leichtmetallen wird die Punktschweißung und die Nahtschweißung in Zukunft eine wesentliche Rolle spielen.

Wir kommen nun zum letzten Vortrag „Synthetische Werkstoffe vom Gesichtspunkt des Leichtbaues“. Herr Dr. Leysieffer hat das Wort.

(Es folgte Vortrag Leysieffer.)

Ich glaube im Namen aller zu sprechen, wenn ich Herrn Dr. Leysieffer unseren besonderen Dank abstatte, daß er den Vortrag übernommen hat, obwohl seine Zeit sehr in Anspruch genommen ist. Aus berufenem Munde haben wir die Anwendungsmöglichkeiten der synthetischen Werkstoffe gehört. Es ist gelungen, die Festigkeit zu erhöhen und neue Arbeitsgebiete zu erschließen. Diejenigen, die die Ausstellung hier im Hause der Technik gesehen haben, werden wahrscheinlich erstaunt gewesen sein, was man heute bereits aus den synthetischen Werkstoffen herstellen kann. Sie haben ja auch Gelegenheit gehabt, die Karosserieteile zu bewundern. Ich glaube, daß alle darüber klar sind, daß die synthetischen Werkstoffe für die Zukunft eine ungeahnte Bedeutung haben.

Zur Aussprache wünschte Herr Dr. v. Rajakovics das Wort.

**Herr Dr. v. Rajakovics:**

„In der ersten Tabelle, die von Herrn Dr. Leysieffer gezeigt wurde, war die Festigkeit für „Duralumin“ mit 3800 kg/qcm angegeben. Für „Duralumin 681 ZB<sup>1/3</sup>“ beträgt aber die Festigkeit etwa 4200 bis 4600 kg/qcm, für „Duralumin DM 31“ sogar bis zu 5500 kg/qcm, bei einem spezifischen Gewicht von 2,80. „Duralumin“ würde somit von der dritten Stelle an die erste Stelle in bezug auf das Verhältnis Festigkeit/spez. Gewicht rücken.“

**Herr Dr. Beckmann:**

Schlufwort

Meine Herren! Die Tagung „Leichtbau in Konstruktion und Technologie“ ist jetzt beendet. Im Namen des Hauses der Technik spreche ich allen Vortragenden den besten Dank aus. Ich hoffe, daß alle, die hierher gekommen sind, viele Anregungen erfahren haben, und daß der Zweck der Tagung, den Leichtbau zu fördern, erfüllt ist.

# Fachschau „Leichtbau“

Schu. Im Zusammenhang mit der im Auftrage der Reichsstelle für Wirtschaftsausbau durchgeführten Tagung „Der Leichtbau in Konstruktion und Technologie“ war zugleich eine zehn Tage der Öffentlichkeit zugängliche Fachschau verbunden worden. Die Schau selber gliederte sich in zwei Hauptabteilungen: „Leichtmetalle und Kunststoffe“ und „Stahl im Leichtbau“. Durch eingehende Vorbereitung war es gelungen, eine Uebersicht über die wichtigsten Erzeugnisse und Werkstoffe aus diesen Gebieten zusammenzustellen, wobei insbesondere der Beratungsstelle für Stahlverwendung (Düsseldorf) besonderer Dank für die Uebernahme sämtlicher Vorarbeiten bei der Auswahl des Materials sowie beim Aufbau der Ausstellungsgüter der Abt. „Stahl im Leichtbau“ gebührt.

Bei den Vorarbeiten wurde besonderes Gewicht darauf gelegt, daß es sich hier nicht um eine Ausstellung mit einer Vielfalt von Erzeugnissen handeln durfte, sondern daß insbesondere den an der Tagung teilnehmenden Fachmännern aus allen interessierten Kreisen der Industrie Gelegenheit gegeben werden sollte, im Rahmen einer Fachschau sich eine Uebersicht über die wesentlichen Fragen der der Tagung zugrunde liegenden Werkstoffe und ihrer Anwendungsmöglichkeiten in der Konstruktion zu verschaffen. Nach den vielen dem Veranstalter zugegangenen Aeußerungen kann mit Recht darauf geschlossen werden, daß sowohl das äußere Gesicht des Aufbaues und die damit eng zusammenhängende räumliche Aufgliederung wie auch die Auswahl und Anordnung der eigentlichen Ausstellungsgüter den ungeteilten Beifall aller an der Tagung Beteiligten gefunden hat. An dieser Stelle betrachten wir es auch als unsere besondere Pflicht, dem Architekten Hans Hörner, Essen, für seine mustergültige Arbeit hinsichtlich des architektonischen Aufbaues und der Gliederung der Fachschau unseren Dank auszusprechen.

Während der beiden Tage der Leichtbautagung war der Besuch der Fachschau den Tagungsteilnehmern ausschließlich vorbehalten. In den anschließenden 8 Tagen wurden weitere rund 1500 Besucher gezählt, so daß der Gesamtbesuch einschl. den Tagungsteilnehmern mit rund 3000 interessierten Fachleuten nicht zu hoch veranschlagt ist.

Der Aufbau der Abteilung

## I. Leichtmetalle und Kunststoffe\*)

war durch Einzelkojen gekennzeichnet, in denen die maßgeblichen Erzeuger und Verarbeitungsfirmen von Leichtmetallen und Kunststoffen vertreten waren. Infolge des beschränkten zur Verfügung stehenden Raumes war es nur möglich, die wesentlichen Unternehmen mit ihren Erzeugnissen zur Fachschau heranzuziehen. Eine gewisse Beschränkung in der Auswahl der zu veranschaulichenden Gegenstände mußte dabei in Kauf genommen werden.

Ein weiteres zu beobachtendes Moment bei der Auswahl der Ausstellungsgegenstände war durch die feststehenden Themen der Leichtmetallgruppe der Tagung gegeben. Es wurde insbesondere Wert darauf gelegt, daß sowohl den eindeutigen Werkstoff-Fragen wie den aus der Bearbeitung und den aus den Konstruktionsprinzipien herzuleitenden Aufgaben eine möglichst übersichtliche Veranschaulichung gewährleistet wurde. Es kann daher auch nicht Aufgabe dieser Schilderung sein, auf Einzelheiten des gezeigten Materials einzugehen.

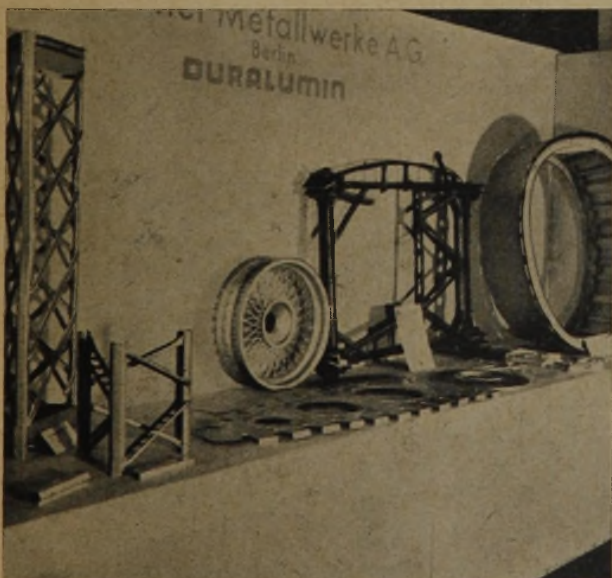


Abb. 1: Blick in den Stand der Dürener Metallwerke AG., Berlin

\*) Fotos: HdT, Essen

## Übersicht der einzelnen Fachschaugruppen

Charakteristische Teile aus dem Leichtmetallbau zeigten interessante Anwendungsbeispiele insbesondere aus dem Zeppelin- und Flugzeugbau (Abb. 1). An Konstruktionselementen wurden Knickversuche an Ringträgern verschiedener Konstruktion veranschaulicht, die bei einer Knicklänge von 1,20 m und Eigengewichten von 3 bis 6 kg Knicklasten bis zu 48 t aufnahmen. Auf dem gleichen Stand war eine Darstellung der Schalenbauweise durch einen Rumpfabschnitt eines modernen Flugzeuges vertreten, bei der durch Einbeziehung der Außenhaut in die tragende Konstruktion größtmögliche Werkstoffausnutzung und damit weitgehende Erleichterung des Flugzeuges erzielt werden kann. An einem weiteren Beispiel wurde durch ein Rennwagenrad mit Felge und Nippeln in der Ausführung, wie sie seit mehr als zwei Jahren für die Mercedes- und Auto-Union-Rennwagen verwendet werden, gezeigt, daß die Gewichts Differenz gegenüber dem leichten Stahlrad bei der Leichtmetallausführung 27,5 v. H. und gegenüber dem Schwungmoment 53 v. H. betragen. Die besondere Wirkungsweise dieser Radkonstruktion ist zugleich durch schnelleres Beschleunigen und Bremsen sowie durch Verminderung der unabgedeckten Massen und Verbesserung der Fahreigenschaften ausgeprägt. Besondere Aufmerksamkeit erregte ein Motorträger des ersten Ganzmetallflugzeuges aus dem Jahre 1917, das bis 1930 mit kleinen Unterbrechungen geflogen wurde. 1934 wurden die Duraluminiumteile dieses Trägers bei der Technischen Hochschule Aachen untersucht, wobei sich herausstellte, daß der Werkstoff nichts von seinen guten ursprünglichen Eigenschaften verloren hatte. Insbesondere erstreckte sich die Untersuchung darauf, daß an keiner Stelle des Trägers, der ohne jeden Anstrich in Betrieb war, eine nachteilige Korrosionswirkung festgestellt werden konnte.

Werkstoffe und -stücke aus Al-Cu-Mg-Leichtmetall gaben Einzelheiten von Korrosionsversuchen, Mikrobilder des Querschliffes durch Blech vor und nach dem Vergüten bekannt. Ein aus einem plattierten Block ausgewalztes Stück zeigte die gleichbleibende Qualität der Plattierung, daneben wurden plattierte Rohrstücke, Profile, Nieten u. ä. gezeigt.

In einem weiteren Stand wurden Erzeugnisse leichtester Magnesiumlegierungen gezeigt, insbesondere Rohre, Stangen und Profile für die verschiedensten

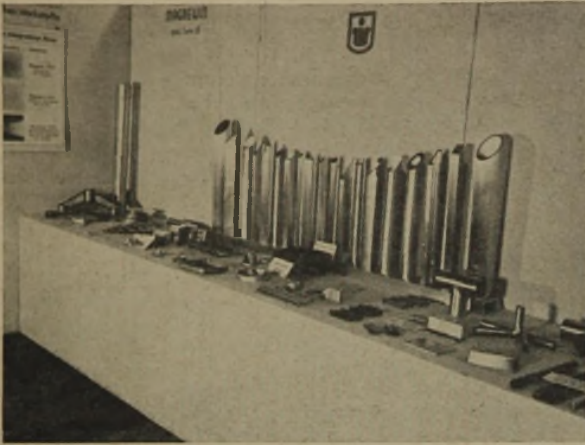


Abb. 2: Ausschnitt aus dem Stand der Wintershall AG., Kassel

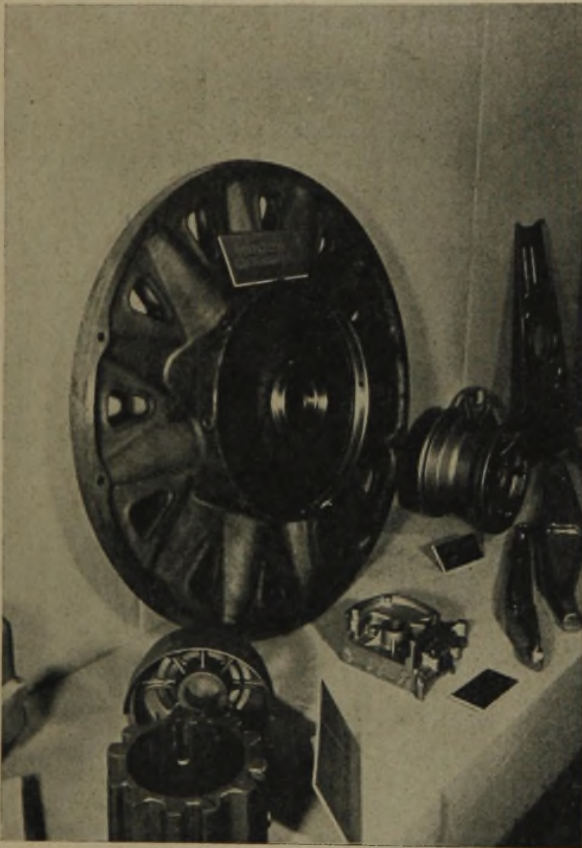


Abb. 3: Geschützrad aus Elektron-Sandguß (I. G. Farbenindustrie AG., Bitterfeld)

Verwendungsmöglichkeiten (Abb. 2). Besonderes Interesse fanden hier Blechbiegeproben sowie Nietverbindungen des ausgestellten Werkstoffes und solche von Kupfer und Eisen mit diesem Werkstoff. An Hand von Schweißproben, die eingehend durch Anschlagungstafeln mit Gefügebildern und Anwendungsmöglichkeiten der autogenen Schweißung erläutert waren, wurden Verarbeitungsmöglichkeiten dieses Werkstoffes aufgezeigt. Eine Anzahl von Schmiedestücken, gebeizten Werkteilen und solchen mit Lacküberzug für die verschiedensten Anwendungsmöglichkeiten vervollständigten diese Ausstellungsgruppe.

Eine ausgedehnte Schau war den Elektron-, Hydronalium- und Igedur-Erzeugnissen gewidmet. Hier fanden besonderes Interesse Guß- und

Schmiedestücke für den Automobilmotorenbau in Form von Sand und Kokillenguß, wie für den Flugzeugbau in Form von einprägsamen Schmiedestücken. Im Mittelpunkt dieser Schau war ein Geschützrad aus Elektron-sandguß aufgebaut (Abb. 3), das hinsichtlich seiner Formgebung und Leichtigkeit besondere Beachtung fand. Weitere Ausstellungsstücke ähnlicher Art erläuterten die verschiedenartigsten Anwendungsmöglichkeiten wie auch die Verarbeitbarkeit durch Schweißen, Polieren und Eloxieren.

Besondere Anwendungsbeispiele der Verwendung von Leichtmetall aus Al-Legierungen im Waggonbau waren auf einem besonderen Stand zusammengefaßt. Abbildungen von Großraum-Güterwagen, eines Vortriebbahn-Wagenzuges mit geschweißten Wagenkästen aus Al-Mg-Legierungen und eines geschweißten Wagenkastens aus dem gleichen Werkstoff im Bau zeigten, daß auch auf diesem Gebiete der Leichtmetallanwendung bereits erhebliche Fortschritte gemacht worden sind.

Zugleich wurden eine Reihe von Veredelungsbeispielen durch Eloxalbehandlung sowie die Anwendungsmöglichkeiten und Anweisungsvorschriften für die Lichtbogenschweißung an Guß- und Walzaluminium mit Spezialelektroden gegeben. Querschnitte durch Schweißproben der verschiedensten Al-Legierungen vervollständigten mit Gefügebildern sowie einer Reihe von geschweißten, gepreßten und fassonierten Stücken diese Schau.

Zwei besondere Stände gaben anschauliche Darstellungen des heutigen hohen Standes der Gußtechnik von Aluminium, Elektron und Hütten-Silumin. Werkstücke aus Preß-, Sand- und Kokillenguß für Gehäuse, Bremsbacken, Signalanlagen usw., wie auch Teile aus Spritzguß zeigten zugleich den sehr hohen Gütestand und, daß langjährige Erfahrung in der Herstellung von Leichtmetallguß die Vorbedingung für die hohe qualitative Entwicklung der Gußtechnik ist. So waren auf einem Stand dieser Gruppe Gußteile für die chemische Industrie in 99,5%igem Reinaluminium ausgestellt, bei denen, z. T. bearbeitet, das dichte, feine Gefüge auch dieses schwer vergießbaren Werkstoffes deutlich sichtbar wurde. Ausrüstungsteile für die Zellfädenherstellung wie für den Apparate-, Automobilbau und die Textil-, Radio-, optische und feinmechanische Industrie gaben einen Einblick in die Vielseitigkeit für die heutige Verwendung des Leichtmetalls (Abb. 4).

Ein interessantes Beispiel wurde ebenfalls auf dem Gebiete des Elektromotorenbaues in Leichtmetall- (Elektron-) Ausführung gezeigt, wobei besondere Beachtung die Einzelteile, Riemenscheibe, Flügel-

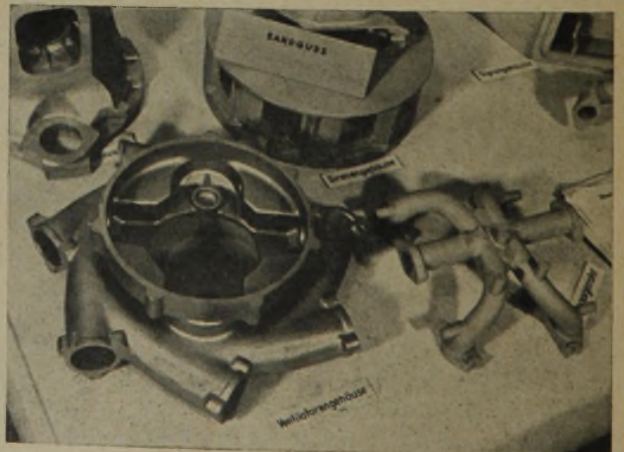


Abb. 4: Gußteile aus dem Stand der Honselwerke AG., Meschede



rad und ein Drehstrom-Sondernut-Motor fanden. Hier ist zu erwähnen, daß alle aus Leichtmetall hergestellten Teile im Preßgußverfahren erzeugt wurden, wobei die Starrheit der Bauart durch den doppelten Gehäusemantel, die dazwischen befindlichen Rippen sowie durch die entsprechende Versteifung der Lagerschilder gewährleistet ist.

Eine besonders umfangreiche Schau auf dem Gebiete der Kunststoffe veranschaulichte die Fülle der Anwendungsmöglichkeiten dieses Werkstoffes. Den besonderen Anziehungspunkt stellten Automobilkarosserieteile (Abb. 5) aus Kunstharzpreßmasse, lackiert und poliert, dar, die besonders durch die Gefälligkeit ihrer Formgebung, durch die Leichtigkeit der Masse und die farbige Behandlung allgemeines Interesse fanden. Einbauten aus Kunststoffen für Flugzeuge, wobei eine



Abb. 6: Lagerschalen, Zahnräder usw. aus Hartgewebe (AEG, Berlin)



Abb. 5: Karosserieteile aus Preßstoff (Dynamit AG. vorm. Alfred Nobel & Co., Troisdorf)

vollständige Waschanlage einer Zeppelinkabine besonders vermerkt wurde, Profilstäbe, Rohrleitungen aus den verschiedensten Kunstharzerzeugnissen sowie Spritzgußteile, Möbelbeschläge und verschiedenartigste Gebrauchsgegenstände für Technik und Haus vermittelten eine Übersicht der Vielfalt dieses heute wichtigen Industriezweiges. Bei den Fachmännern der Technik fanden auf diesen Ständen Lagerschalen, Seilrollen, Zahn- und Kegelräder aus Hartgewebe und Holzpreßmassen besondere Beachtung (Abb. 6), wobei auch geschweißte Gegenstände zu sehen waren.

Diese kurze Zusammenstellung der hauptsächlichsten Erzeugnisse auf dem Gebiete der Leichtmetalle und Kunststoffe kann nur einen ungefähren Eindruck von der vielfältigen Auswahl des Gesamtausstellungsgutes dieser Ausstellungsguppe vermitteln. Die technische Seite wurde nur in kurzem gestreift, da die Ausführungen der Fachredner alles Wesentliche auf diesem Gebiete zur Sprache gebracht haben.

**Teilnehmer an der Leichtbauausstellung Essen, Abt. „Leichtmetalle und Kunststoffe“**

- Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin;
- Aluminium-Präzisionsguß AG., Babelsberg;
- Dürener Metallwerke AG., Berlin-Borsigwalde;
- Dynamit AG., vorm. Alfred Nobel & Co., Troisdorf, Bez. Köln.
- Honselwerke AG., Leichtmetall-Gießereien und -Walzwerke, Meschede;
- I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Bitterfeld;
- H. Loher Söhne, Elektromotorenfabrik, Ruhstorf bei Passau;
- Vereinigte Aluminiumwerke AG., Lautawerk;
- Vereinigte Leichtmetallwerke G. m. b. H., Hannover;
- Wintershall AG., Kassel;

## II. Stahl im Leichtbau\*)

Ausstellung der Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, Stahlhof, auf der Fachschau „Der Leichtbau in Konstruktion und Technologie“ des Hauses der Technik in Essen.

Ho. Die Vorträge auf der Leichtbautagung in Essen haben gezeigt, daß zu dem Leichtstoffbau früherer Zeiten mehr und mehr der Leichtformbau tritt, der zwar an den Konstrukteur und Ingenieur höhere Anforderungen stellt, dafür aber die Forderungen des Vierjahresplanes auf billige Weise erfüllen hilft. Es war daher von allgemeiner Bedeutung, daß die Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, eine ganze Reihe von Anwendungsbeispielen in der Abt. „Stahl im Leichtbau“ darbot, welche die theoretischen Erkenntnisse in anschaulicher Weise unterbauten.

Seit mehreren Jahren hat sich die Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, bemüht, sowohl die verarbeitende Industrie als auch die allgemeine Öffentlichkeit darauf aufmerksam zu machen, daß man wesentlich zur Materialeinsparung beitragen kann, wenn man durch geeignete Formgebung, zweckentsprechende konstruktive Gestaltung und Verwendung hochwertigen Materials leichter baut. Den Besuchern der „Leichtbautagung“ in Essen wurde in dem Ausstellungsraum der Beratungsstelle für Stahlverwendung ein Überblick über den derzeitigen Stand der Anwendung des Stahlleichtbaues gegeben. Es wurden Konstruktionen gezeigt, die sich inzwischen in der Praxis sehr gut bewährt haben.

\*) Fotos: HdT, Essen



Abb. 1: Ausstellungsabteilung „Stahl-Leichtprofile“

Die Grundlage für die Leichtbauanwendung bilden die **Leichtprofile aus Stahl**,

die heute bereits von einer ganzen Reihe von Werken geliefert werden. Hier ist es gelungen, an Stelle der bisher verwendeten Normal- und Spezialprofile Leichtprofile herzustellen, welche wesentliche Gewichtsersparnisse bringen. Die ausgestellten Muster zeigten, daß heute schon eine Unmenge solcher Profile zur Verfügung stehen, so daß man praktisch in der Lage ist, für jeden Verwendungszweck Leichtprofile aus Stahl zu liefern (Abb. 1).

Besonders erwähnenswert sind die Hohlprofile in runder, elliptischer oder vierkantiger Form, die nicht nur Biegebeanspruchungen in mehreren Ebenen, sondern auch gleichzeitig Verdrehungs- und Knickbeanspruchungen aufnehmen können.

Große Aufmerksamkeit muß der Korrosionsanfälligkeit der leichten Konstruktionen gewidmet werden. Auf diesem Gebiet sind verschiedene Verfahren entwickelt worden, die einen sehr guten Rostschutz gewährleisten. Auch der Verwendung von metallplattiertem Stahlmaterial oder nichtrostendem Stahl kommt im Sinne des Leichtbaues erhöhte Bedeutung zu.

Einen großen Anteil an der Einführung der Stahlleichtbauweise hat die Schweißung, die im Laufe des letzten Jahres so entwickelt worden ist, daß sie in jedem Betrieb und für jede Konstruktion mit Aussicht

auf Erfolg angewendet werden kann. In einer besonderen Koje wurde auf der Ausstellung auf die durch die Schweißung gegebenen Möglichkeiten hingewiesen. Namhafte Stellen der Schweißtechnik haben sich hieran beteiligt und gaben den Besuchern dadurch die Möglichkeit, sich über alle Fragen zu unterrichten. Besonders beachtenswert war die Darstellung von guten und schlechten Schweißverbindungen, die auf die zweckentsprechende Anwendung hinwiesen und damit Anregungen für jeden Betrieb gaben. Gerade die Herstellung von Verbindungen von Profilen mit Profilen oder von Profilen mit Blechen hat sich oft als besonders schwierig erwiesen. Hier gab die Ausstellung Beispiele, die für alle Anwendungsgebiete von Bedeutung sind.

Besonderes Interesse verdient eine Zusammenstellung von Vorschlägen, die der Reichsinnungsverband des Schlosserhandwerks, Berlin, im Sinne der Materialeinsparung bei den von Schlossern hergestellten Konstruktionen herausgebracht hat. Hieraus war zu ersehen, daß auch auf diesem Gebiet durch die Verwendung leichter Profile erhebliche Materialersparnisse erzielt werden können.

Im Zusammenhang damit wurde in einer ständig wechselnden Bildreihe eine Anzahl von Gegenüberstellungen der früheren und heutigen Konstruktionen vorgeführt, bei denen jeweils die erzielte Material- und Gewichtsersparnis in Prozenten



Abb. 3: Ausstellungsabteilung „Stahl-Leichtbau im Maschinenbau“

angegeben wurde. Diese Zusammenstellung, die aus allen Gebieten der Technik erfolgt war, fand wegen ihrer Eindeutigkeit bei allen Besuchern großes Interesse.

In der nächsten Ausstellungskoje wurde die Frage der **Leichtbauanwendung im Bauwesen**

behandelt (Abb. 2). Hier waren es in erster Linie Modelle und Zeichnungen von Leichthallenkonstruktionen der letzten Zeit, welche Möglichkeiten der Stahleinsparung zeigten, die man früher nicht für möglich gehalten hätte. Die Verwendung hochwertiger Baustähle, die Anwendung der Schweißung und schließlich die Schaffung neuer Leichtbauteile aus Stahl, wie sie an Hand von Modellen, Bildern und Zeichnungen gezeigt wurden, gaben einen Überblick über die heute unter dem Sammelbegriff „Leichtbau“ verstandenen konstruktiven Maßnahmen, die den deutschen Stahlbau wettbewerbsfähig gegenüber dem Ausland machen. Sehr interessante Mastkonstruktionen der verschiedensten Ausführungen wurden gezeigt, bei denen Materialersparnisse bis zu 37% erzielt werden konnten.



Abb. 2: Ausstellungsabteilung „Stahl im Bauwesen“

Auf dem

### Gebiet des Maschinenbaues,

das in der nächsten Koje mit einigen Beispielen vertreten war (Abb. 3), lassen sich Gewichtersparnisse bis zu 65% erreichen, wobei noch eine Reihe von anderen Vorteilen nebenhergehen, wie geringere Bruchgefahr, bequemere Bauverfahren durch Pressen, Schweißen usw., leichtere Fundamente, geringere Deckenbelastungen, einfachere Lagerhaltung und niedrigere Transportkosten. Neben einigen Maschinenteilen in der Stahlbauweise, welche die Formschönheit von Leichtstahlkonstruktionen deutlich vor Augen führten, zeigte die Ausstellung verschiedene Konstruktionselemente wie Spannstifte, Spannbuchsen, Spannbolzen und dergleichen, bei denen Gewichtersparnisse an Stahlmaterial von 40 bis 70% erzielt werden konnten, wozu noch die Ersparnisse an Werkzeug und Arbeit gerechnet werden müssen. Darüber hinaus weisen diese neuen Bauelemente große Vorteile, wie federnder Festsitz, federnde Lastaufnahme und erhebliche Verschleißminderung auf. Auch die neuen Schraubenformen, die den Beanspruchungen angepaßt sind, weisen Gewichtersparnisse auf, die für die Gesamtkonstruktion von großer Bedeutung sein können.

Selbst bei Werkzeugen hat der Leichtbau nicht haltgemacht. Hier waren z. B. Meißel zu sehen, die gegenüber der früheren Ausführung Gewichtersparnisse bis zu 50% aufweisen.

Im

### Landmaschinenbau

hat die Anwendung der Stahlleichtbauweise es ermöglicht, über die schwere Zeit der Materialverknappung hinwegzukommen und der Landwirtschaft geeignete und dauerhafte Maschinen für die Durchführung des Erzeugungsprogramms zur Verfügung zu stellen (Abb. 4). Die Ausstellung zeigte einzelne Landmaschinenteile, die gegenüber den früheren Gufausführungen bis zu 75% Ersparnis bringen. Sehr interessant waren die neuen Leichttraktorkonstruktionen für Maschinen und Fahrzeuge. Die Verwendung neuer gewalzter Profile, leichter Stahlblechprofile oder besonders geformter Stahlbleche hat hier nicht nur Leichttraktorkonstruktionen ermöglicht, sondern auch in Verbindung mit der Gummiverwendung bedeutende Gewichtersparnisse der gesamten Maschinen gebracht.

Aus dem

### Fahrzeug- und Automobilbau

wies die Ausstellung eine ganze Reihe von Beispielen auf, die in erster Linie die Anwendung von Profilen aus Stahlblech und ihre Bedeutung für die

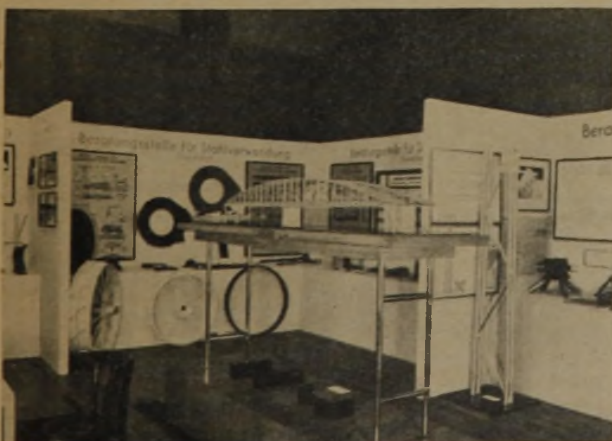


Abb. 4: Aus der Ausstellungsabteilung „Stahl im Leichtbau“. Im Vordergrund das Modell einer Leichthallenkonstruktion. Links hinten die Abteilung „Landmaschinenbau“



Abb. 5: Ausstellungsabteilung „Stahl-Leichtbau im Automobil- und Flugzeugbau“

Massenfertigung zeigten (Abb. 5). Bei diesen Stahlblechkonstruktionen besteht jederzeit die Möglichkeit, beschädigte Teile in einfachster und technisch vollbeherrschter Weise durch Schweißen wieder vollständig herzurichten. Die Materialersparnis ist hierbei deshalb so bedeutend, weil der Unterschied zwischen Rohgewicht und Fertiggewicht infolge der spanlosen Verformung sehr gering ist. Auch leichter Stahlguß findet immer mehr Anwendung, wie an den Beispielen für den Flugzeugbau zu sehen war. Besondere Bedeutung haben im Fahrzeugbau die Rohrprofile, die heute in verschiedenster Form für Kraftwagenchassis und andere Teile verwendet werden.

Die letzte Ausstellungsboje zeigte Beispiele aus dem

### Waggonbau

mit Originalstücken und Abbildungen. Besonderes Interesse fanden die Bauteile der neuen D-Zugwagen, die in gepreßter Stahlblechbauweise unter zweckmäßiger Ausnutzung des Materials und durch Fortlassung des Werkstoffes an den Stellen, an denen er nicht benötigt wird, hergestellt worden



Abb. 6: Ausstellungsabteilung „Stahl-Leichtbau im Waggonbau“

sind. Eine ganze Reihe von Leuchtbildern gab einen interessanten Einblick in die Entwicklungsarbeiten der Deutschen Reichsbahn und vermittelte einen Überblick über die neuen Wagenkonstruktionen, insbesondere von Schnelltriebwagen, die bedeutende Ersparnisse an Gewicht gebracht haben.

Außerhalb des Ausstellungsraumes wurden in der Wandelhalle noch einige interessante Beispiele gezeigt, von denen besonders auf die leichten Fahrbahnkonstruktionen sowie Leichttrampffähle, Schalungsschienen u. a. hingewiesen werden muß. Eine sehr leichte Konstruktion zeigte eine Feuerwehroleiter, die infolge der Anwendung leichter Stahlprofile in sehr großen Längen hergestellt werden

kann. Zu den Leichtbauteilen gehörten auch die Leichttradsätze mit Hohlachsen und Leichttradscheiben, welche Gewichtersparnisse bis zu 35% aufweisen und die deshalb von besonderer Bedeutung sind, weil sie das ungefederte Gewicht der Wagen herabsetzen. Eine neue Konstruktion war auch die Werkbank mit leichten Füßen aus Stahlblechprofilen, die zur Erreichung der Steifigkeit mit Beton ausgefüllt sind. In ähnlicher Weise sind auch Maschinenfundamente hergestellt, und es läßt sich denken, daß hierdurch gegenüber den früheren Gußkonstruktionen ganz erhebliche Materialeinsparungen möglich sind. Ein sehr interessantes Beispiel aus dem Landmaschinenbau sei schließlich noch erwähnt. Es wurde hier ein Schnitt durch ein Strohpressegerät gezeigt, das die Anwendung der Stahlblechbauweise veranschaulicht, bei dem gebördelte Stahlbleche mit gegeneinander verschränkter Profilbildung die große Festigkeit gegen Verwindungen geben. Hier handelt es sich um eine Präzisionsarbeit im Leichtbau, die für andere Konstruktionen ein Vorbild sein kann.

Alles in allem gab die Ausstellung einen Querschnitt durch den derzeitigen Stand der Anwendung der Stahlleichtbauweise, die im Sinne der Materialersparnis von entscheidender Bedeutung ist. Materialersparnis hilft uns nicht nur über die Zeit der Rohstoffverknappung hinwegzukommen, sie bedeutet vielmehr technischen

Fortschritt, und es ist erfreulich, festzustellen, daß der Werkstoff Stahl hierbei ein wertvoller Helfer sein kann.

Teilnehmer an der Leichtbauausstellung Essen, Abt. „Stahl im Leichtbau“

Ambi-Budd-Preßwerk, G. m. b. H., Berlin-Johannisthal  
 Arcos, Gesellschaft für Schweißtechnik m. b. H., Aachen  
 Bauer & Schaurle, Schraubenfabrik, Neuß  
 Beratungsstelle für Autogentechnik, Köln  
 Benteler-Werke AG., Bielefeld  
 Bochumer Verein für Gußstahlfabrikation AG., Bochum  
 Daimler-Benz AG., Stuttgart-Untertürkheim  
 Deutsche Metalltüren-Werke Aug. Schwarze AG., Brackwede (Westf.)  
 Deutscher Stahlbau-Verband, Berlin  
 Diskus-Werke Maschinenbau AG., Frankfurt (Main)  
 Wilhelm Hedtmann, Hagen-Kabel  
 IG, Farbenindustrie AG., Frankfurt (Main)-Griesheim  
 Klöckner-Werke AG., Abt. Mannstaedtwerke, Troisdorf bei Köln  
 Knorr-Bremse AG., Berlin-Lichtenberg  
 „Kronprinz“ AG. für Metallindustrie, Solingen-Ohligs  
 Fried. Krupp AG., Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen  
 Fried. Krupp AG., Essen  
 Heinr. Lanz AG., Mannheim  
 Mannesmannröhren-Werke, Düsseldorf  
 Mannesmann-Stahlblechbau AG., Berlin  
 Carl Metz, Feuerwehrgerätefabrik, Karlsruhe  
 Pador-Werk, Paul Ohlendorf, Berlin-Spandau  
 Hermann Raussendorf, Singwitz-Bautzen  
 Reichsbahn-Zentralamt, München  
 Reichsinnungsverband des Schlosserhandwerks, Berlin  
 Ruhrstahl AG., Witten (Ruhr)  
 Gebr. Sachsenberg AG., Dessau-Roßlau  
 Heinr. Aug. Schulte AG., Düsseldorf  
 Trierer Walzwerk AG., Trier  
 Waggonfabrik AG., Uerdingen  
 Waggon- und Maschinenfabrik AG. vorm. Busch, Bautzen  
 Eduard Wille, Wuppertal-Cronenberg  
 Theodor Wuppermann, G. m. b. H., Leverkusen-Schlebusch

## Die Kesselhefte der „Technischen Mitteilungen“

sind auch im Einzelverkauf lieferbar.

T 15/37 Fachheft „Kesselbau“

T 3/38 Fachheft „Feuerungstechnik und Kesselbau“

T 24/38 Fachheft „Hochdruckdampf“.

Zu beziehen durch den

# Vulkan-Verlag Dr. W. Classen

Essen, im „Haus der Technik“, Bachstr. 2e, Schließf. 230