

# DIE INNEREN VORGÄNGE DER DIESELMOTOREN MIT GEMISCHBILDUNG DURCH FILMVERDAMPFUNG BEI KALTSTART\*

Von

Z. FÜLÖP

Lehrstuhl für Kalorische Maschinen, Technische Universität Budapest

Vorgelegt von Prof. Dr. G. BASSA

Eingegangen am 11. April 1981

In diesem Aufsatz werden die Startvorgänge und deren Begleiterscheinungen in Dieselmotoren mit Gemischbildung durch Filmverdampfung bei niedrigen Außentemperaturen behandelt. Die Quelle der Ergebnisse ist die mit dem Motor RÁBA-MAN 2156 durchgeführte Forschungsarbeit, aus deren Ergebnissen die Grenztemperatur des hilfsmittellosen Startes und die den Start bestimmenden einzelnen Größen sowie die Anlaßdrehzahl und die Anlaßkraftstoffdosis zu bestimmen sind. Aus den Ergebnissen werden auf die im Motor während des Anlassens ablaufenden Vorgänge Schlußfolgerungen gezogen.

## 1. Entzündungsmechanismus beim Kaltstart\*\*

Die Starteigenschaften eines Motors mit Gemischbildung durch Filmverdampfung werden bei gegebener Außentemperatur durch die Anlaßdrehzahl und die sogenannte „Anlaßkraftstoffdosis“ (Startmenge) bestimmt.

Bei dem MAN — M-Verfahren gelangt der überwiegende Teil der aus der Einspritzdüse austretenden Kraftstoffdosis auf die Kolbenwand, der kleinere Teil in die im Brennraum befindliche Luft. Wenn in diesem Raum die für die Verbrennung erforderlichen Bedingungen erfüllt sind, wird die Entzündung stattfinden.

In der späteren Phase der Verbrennung — bei einer Drehzahl von  $n = 900 - 2000 \frac{1}{\text{min}}$  — hat der bei dem Ansaugvorgang auftretende Luftdrall eine entscheidende Bedeutung. Die an der Wand vorbeiströmende Luft bildet mit dem von der Brennraumwand des Kolbens verdampfenden Kraftstoff ein Gemisch.

\* Zu der in diesem Aufsatz besprochenen Versuchsarbeit hat die Fabrik Magyar Vagon- és Gépgyár, Győr bedeutende Unterstützung geleistet.

\*\* Die Feststellungen sind auf den Fall eines hilfsmittellosen Startes bezogen.

Während des Startvorganges wird diese Ablösung — wegen Fehlens des Dralles und der tiefen Wandtemperatur — nicht zustande kommen. Die nach der Entzündung ablaufende Verbrennungsphase ist von den Mischungsverhältnissen der Luft und dem in den Brennraum eingespritzten, aber die Wand nicht erreichenden Kraftstoff bestimmt. Die Kaltstartvorgänge wurden an einem 6-Zylinder-Motor RÁBA-MAN 2156 untersucht, der in einer sogenannten Kühlkammer aufgestellt wurde. Das Kühlmittel strömte durch das Kühlsystem des Motors bzw. durch den an der Kammerinnenwand eingebauten Wärmeaustauscher. Der Motor war von außen — mit veränderlicher Drehzahl — zu drehen. Während des Versuches war nur der 6. Zylinder in Betrieb. In den Zylinder und in die Kraftstoffleitung wurden ein Piezoquarzgeber zu den Druckmessungen und ein induktiver Geber zum Registrieren der Bewegung der Ventilmadel eingebaut, und alle dem Drehbeginn folgenden Zyklen wurden registriert. Bei den Startvorgängen waren Drehzahl und Kraftstoffdosis durch eine Sprungfunktion  $t < 0,005$  s einstellbar.

## 2. Entzündung einleitende Vorgänge im Motorzylinder

### 2.1. Verdichtung, Expansion, Auspuffgastemperatur ohne Verbrennung

Wenn beim Anlassen infolge der tiefen Außentemperatur die Entzündung in dem ersten Zyklus nicht zustande kommt, dann spielen sich, neben Kraftstoffeinspritzung, im Zylinder nur Verdichtung und Expansion ab ( $t < -5$  °C), und aus dem Auspuffrohr entweicht ein dichter weißer Kraftstoffnebel.

Der wirkliche Prozeß im Motor kann in solchen Fällen durch elementare Vorgänge angenähert werden (Abb. 1). Am Anfang der Verdichtung wird das im Umgebungszustand befindliche Medium auf den Druck  $p + \Delta p$  adiabatisch verdichtet (Prozeß 0–1). Dann wird dem Medium abgeführt längs einer Isochore  $v = \text{konst.}$  Wärme entzogen (Prozeß 1–2), wonach ein Teil des

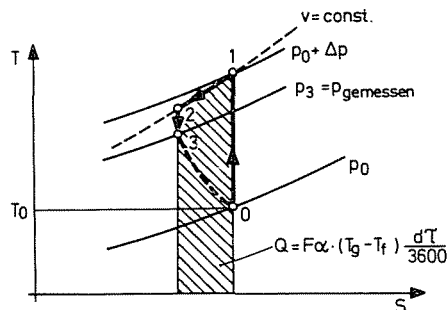


Abb. 1. Die Elementarvorgänge im  $T-s$  Diagramm zur Bestimmung der Zustandsänderung während der Verdichtung

Mediums adiabatisch expandiert und zwischen der Zylinderwand und dem Kolben abströmt (Prozeß 2–3). Infolgedessen ist die wirkliche Verdichtung durch die Kurve 0–3 dargestellt. Durch mehrfache Wiederholung dieses Teilprozesses läßt sich der totale Verdichtungsverlauf beschreiben.

Wenn wir die Verdichtung als eine Reihe elementarer Teilprozesse vorstellen, dann wird die Temperatur der Ladung nach einer  $\Delta\varphi$  Kurbelwinkeldrehung bei adiabatischer Verdichtung die folgende (Prozeß 0–1):

$$T_1 = T_0 \left( \frac{V_0}{V_{0+\Delta\varphi}} \right)^{k-1}$$

wobei das Zylindervolumen im Punkt 0  $V_0$  und im Punkt 1  $V_{0+\Delta\varphi}$  beträgt.  
Der Druckanstieg der Ladung ergibt sich zu

$$p_1 = p_0 \left( \frac{V_0}{V_{0+\Delta\varphi}} \right)^k$$

Die aus dem Medium (Punkt 1) bei konstantem Volumen abgeführte Wärme ist

$$Q = F_\varphi \cdot \alpha (T_1 - T_f) \frac{\Delta\varphi_\tau}{3600},$$

wo  $F_\varphi$  die momentane Fläche der den Zylinderraum begrenzenden Wände,  
 $\alpha$  die Wärmeübergangszahl zwischen Ladung und Zylinderwand,  
 $T_f$  die Temperatur der Zylinderwand,  
 $\Delta\varphi_\tau$  die zur gegebenen Kurbelwinkeldrehung gehörige Zeit sind.

Die Wärmeübergangszahl zwischen der Ladung und der Zylinderwand wurde aus der Gleichung

$$\alpha = \left[ 4,144 + 5,144 \frac{s \cdot n}{30} \right] \sqrt[3]{p_x^2 \cdot T_x}$$

bestimmt, da deren Gültigkeitsgrenze mit den Anlaßverhältnissen des Motors übereinstimmte (Verdichtung, Expansion bzw. Kolbengeschwindigkeit) [1].

Die Masse der im Moment 0 in dem Zylinder befindlichen Ladung ist

$$G_0 = \frac{p_0 V_0}{R T_0},$$

deren innere Energie im Punkt 1:

$$U_1 = G_0 c_v T_1$$

Nach *Wärmeabfuhr* beträgt die innere Energie der Ladung

$$U_2 = U_1 - Q$$

wovon die Ladungstemperatur

$$T_2 = \frac{U_2}{c_v G_0}$$

Der Ladungsdruck beträgt nach der Wärmeabfuhr bei isochorer Zustandsänderung;

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1}$$

Das aus dem Brennraum den Kolben entlang ausströmende Medium vermindert den Druck im Brennraum. Dieser Druck ist der im Indikatordiagramm zu dem Ort  $\varphi + \Delta\varphi$  gehörige Druck.

Dementsprechend beträgt die Temperatur im Punkt 3

$$T_3 = \frac{T_2}{\left(\frac{p_2}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}}}$$

Das Ergebnis unserer Rechnung, beispielweise bei einer Drehzahl von  $n =$

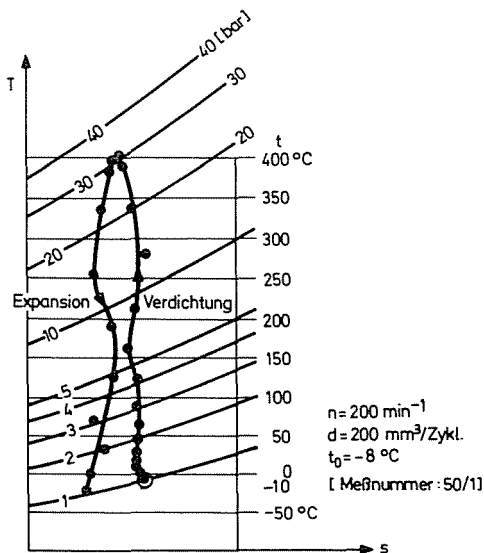


Abb. 2. Berechnete Temperaturen und Drücke während der Verdichtung und Expansion im  $T-s$  Diagramm. (Die angegebene Punkte sind Meßergebnisse)

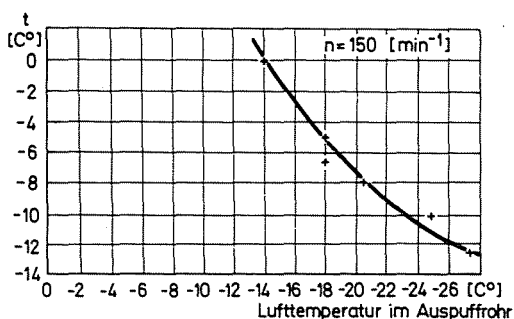


Abb. 3. Die Lufttemperatur im Auspuffrohr bei verschiedenen Umgebungstemperaturen ohne Verbrennung

=  $200 \text{ min}^{-1}$  und bei einer Temperatur von  $t_0 = -8 \text{ }^\circ\text{C}$ , ist im  $T$ - $s$ -Diagramm in Abb. 2 dargestellt. Die Abbildung zeigt, daß am Ende der Expansion die Ladungstemperatur niedriger ist, als die Anfangstemperatur, folglich ist die Gastemperatur im Auspuffrohr während des Auspuffes niedriger als der Anfangswert. Bei gegebenen Anfangstemperaturen im Auspuffrohr — ohne Verbrennung — gemessene Temperaturen sind in Abb. 3 dargestellt.

Die bei der Drehzahl  $n = 150 \text{ min}^{-1}$  durchgeführte Messung zeigt, daß die Abgastemperatur um  $\Delta t = 14 - 13 \text{ }^\circ\text{C}$  kleiner ist, als der Anfangswert. Bei verbrennungslosem Durchdrehen bleibt also im Brennraum eine Ladung mit niedriger Temperatur zurück, als angesaugt wurde. Das ist für den Startvorgang ungünstig, da während des Startes auch die Wandtemperatur sinkt, infolgedessen die von dem vorigen Zyklus zurückgebliebenen und verdampften Kraftstoffteilchen zum Teil ausscheiden, das im nächsten Zyklus eine Reduktion der zur Verbrennung notwendigen minimalen Kraftstoffkonzentration zur Folge hat.

## 2.2. Änderung des Verdichtungsdruckes in Abhängigkeit von Drehzahl und Abkühlungstemperatur

Der Verdichtungsdruck beeinflusst die Starteigenschaft des Motors bedeutend, da die Verdichtungstemperatur von der Anfangstemperatur und vom Verdichtungsdruck abhängig ist.

Bei den aus Verdichtung und Expansion (ohne Verbrennung) bestehenden Arbeitsprozessen besteht zwischen dem aus dem Indikatordiagramm bestimmten Verdichtungsdruck sowie der Abkühlungstemperatur und der Durchdrehzahl der im Abb. 4 dargestellte Zusammenhang.

Das Ergebnis zeigt, daß die Herabsetzung der Durchdrehzahl eine Senkung des Verdichtungsdruckes zur Folge hat. Wenn sich der Enddruck verringert, verringert sich die Verdichtungstemperatur ebenfalls.

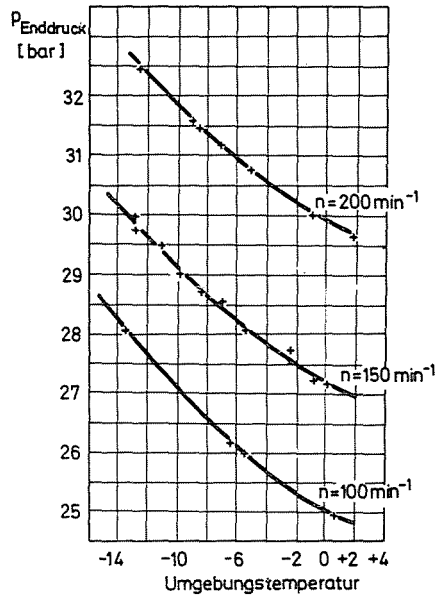


Abb. 4. Der maximale Verdichtungsdruck bei verschiedenen Umgebungstemperaturen ohne Verbrennung. Die konstante Drehzahl als Parameter

Die Senkung der Außentemperatur bewirkt bei gleichbleibender Drehzahl die Erhöhung des Verdichtungsdruckes. Die Viskosität des Öles nimmt nämlich mit der Temperaturabnahme zu und die größere Viskosität steigert die Abdichtungsfähigkeit des Kolbens.

### 2.3. Der Kraftstoffdruck vor der Einspritzdüse und die Einspritzzeitdauer

Der Kraftstoffdruck vor der Einspritzdüse bestimmt im allgemeinen bei konstanter Drehzahl die Zeitdauer der Einspritzung fest. Ein Faktor, der diese Zeitdauer determiniert, ist das Brenngesetz des Motors.

Im Brennraum muß beim Anlassen zur guten Gemischbildung kurzfristig ein Kraftstoffstrahl großer Energie zur Verfügung stehen, der durch die Außentemperatur und die der Drehzahl beeinflusst wird.

Der Kraftstoffdruck ändert sich bei der Drehzahl  $n = \text{konst.}$  mit der Außentemperatur (Abb. 5).

In Abb. 5 ist auch zu erkennen, daß die unter *statischen* Bedingungen auf 175 bar Öffnungsdruck eingestellte Einspritzdüse während des Startes bei einem von dem eingestellten abweichenden Druck arbeitet.

Die Änderung des Einspritzdruckes im System Einspritznadel + Feder wird durch die Bewegung infolge Temperatursenkung verursacht.

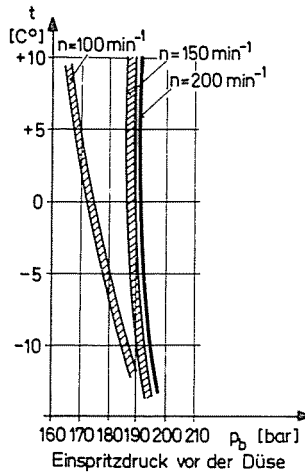


Abb. 5. Der Druck des Kraftstoffes vor der Düse bei verschiedenen Umgebungstemperaturen

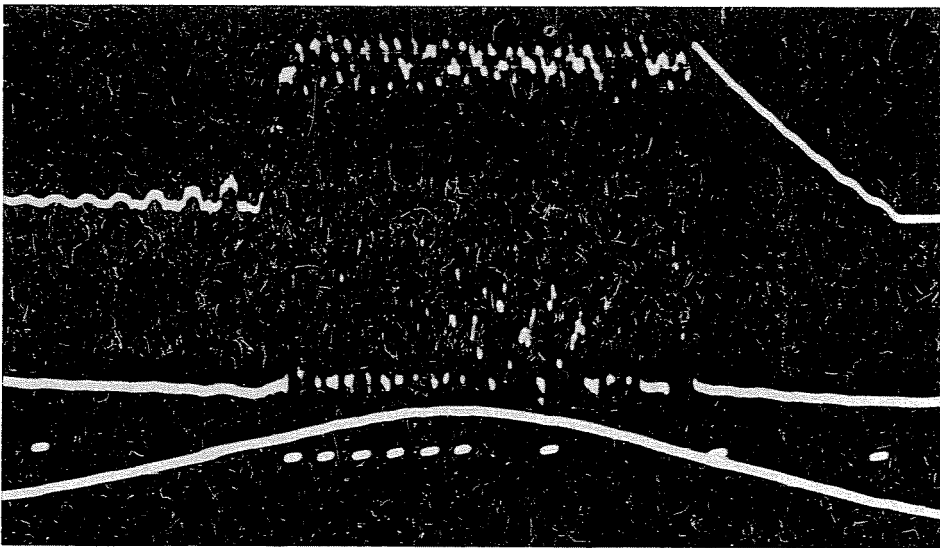


Abb. 6. Die Vorgänge im Motor bei Kaltanlassen. Die Kurven von oben: — Druck in der Kraftstoffleitung vor der Düse; — Bewegung der Düsennadel; — Druck der Luft bzw. der Verbrennungsgase; — Winkelmarke der Kurbelwelle; Drehzahl des Anlaßmotors  $n=100 \text{ min}^{-1}$ ; Startkraftstoffdosis  $d = 220 \text{ mm}^3/\text{Zykl.}$ ; Umgebungstemperatur  $t = -7,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; Durchschnittlicher Kraftstoffdruck vor der Düse während der Einspritzung  $p_{\text{Einspr.}} = 182 \text{ bar}$ ; Einspritzdauer, Öffnungsdauer der Düsennadel in Kurbelwinkelgraden  $\Delta\varphi = 24,84 \text{ }^\circ\text{kW}$ ; Hub der Düsennadel am Ende des Einspritzvorganges  $s = 0,148 \text{ mm}$ . Während der Einspritzung hat die Nadel wegen ihrer Schwingung 19mal gesperrt. Eine lange Schließzeit ist unmittelbar nach der ersten Öffnung der Nadel gut zu beobachten, die Schließ- bzw. Öffnungszeiten sind danach gleichmäßig. In der Kraftstoffleitung schwingt der Druck vor der Düse ähnlich der Düsennadelbewegung. Der Öffnungszeitpunkt der Düsennadel ist  $12,47 \text{ [Grd. KW]}$  nach dem Anstieg des Kraftstoffdruckes

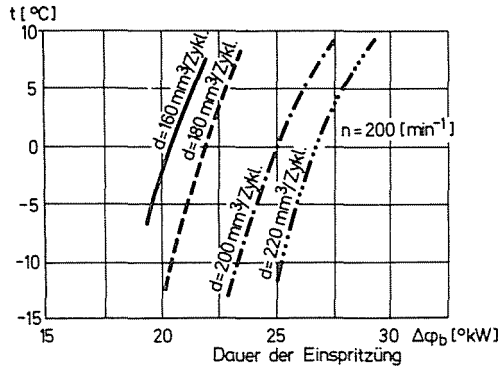


Abb. 7. Zusammenhang zwischen Einspritzdauer und Umgebungstemperatur bei  $n = 200 \text{ min}^{-1}$

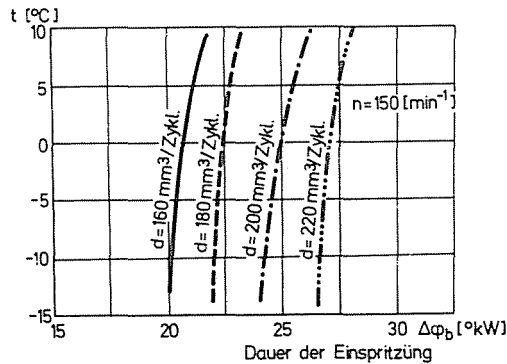


Abb. 8. Zusammenhang zwischen Einspritzdauer und Umgebungstemperatur bei  $n = 150 \text{ min}^{-1}$

Die Nadel bleibt während des Einspritzens nicht ständig offen, sondern sie öffnet und schließt sich mehrmal. Dadurch wird das Einspritzdruckniveau der Kraftstoffdosis wesentlich beeinträchtigt.

Die Bewegung der Nadel innerhalb eines Zyklus ist in Abb. 6 dargestellt.

Der Zusammenhang zwischen der Einspritzdauer (bezogen auf  $\Delta\varphi_b$  Grad Kurbelwinkeldrehung) Drehzahl, Dosis und Außentemperatur sind in den Abb. 7—9 dargestellt. Aus den Abb. 7—8 ist ersichtlich, daß die Einspritzdauer mit der Außentemperatur abnimmt. Wenn der Kraftstoffdruck konstant gehalten wird, muß mit der Temperatursenkung die Nadelbewegung größer werden, bzw. die effektive Öffnungszeit der Nadel oder deren Vibration müssen geringer werden. Diese Erscheinung geht aus dem Indikatordiagramm eindeutig hervor (siehe Abb. 6).

Bei einer Drehzahl von  $n = 100 \text{ min}^{-1}$  (Abb. 9) steigt der Kraftstoffdruck mit abnehmender Temperatur, die  $\Delta\varphi_b$  Zeitdauer der Einspritzung bleibt aber



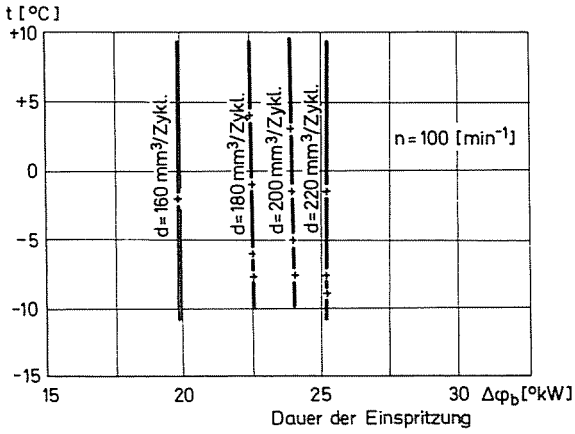


Abb. 9. Zusammenhang zwischen Einspritzdauer und Umgebungstemperatur bei  $n = 100 \text{ min}^{-1}$

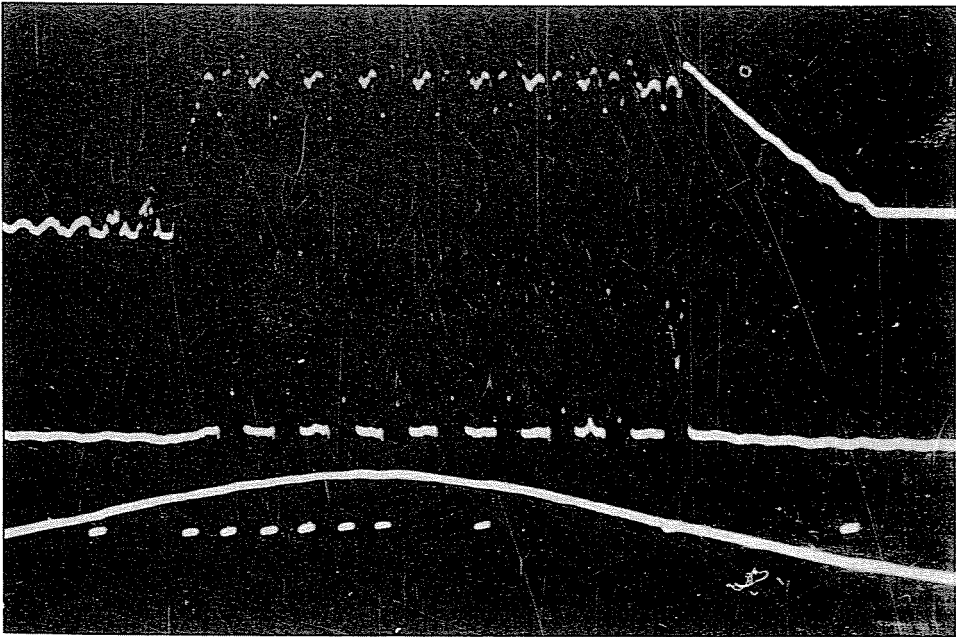


Abb. 10. Indikatorgramm der Meßreihe 71/1

Kraftstoffdruck vor der Düse während der Einspritzung  $p = 180 \text{ bar}$ ; Einspritzdauer  $\Delta\varphi = 23,55$   $[\text{Grd.KW}]$ ; Enddruck der Verdichtung  $p = 27 \text{ bar}$ ; Umgebungstemperatur  $t = -7,5$   $^{\circ}\text{C}$ ; Drehzahl des Anlaßmotors  $n = 100 \text{ min}^{-1}$ ; Startmenge  $d = 200 \text{ mm}^3/\text{Zykl.}$

unverändert. In diesem Fall muß sich der effektive Querschnitt der Düse vermindern. Dies kann auf zwei Wegen zustande kommen, entweder wird die Nadelbewegung kleiner oder die Vibration der Ventilsnadel verstärkt sich. Beide Erscheinungen sind im aufgenommenen Indikatordiagramm zu beobachten. Bei einer Drehzahl von  $n = 100 \text{ min}^{-1}$  ist während der Temperatursenkung eine starke Nadelresonanz zu beobachten (siehe z. B. Abb. 10 aus Meßreihe 71/1, wo die Nadel lange geschlossen blieb).

Der die Düse verlassende Kraftstoffstrahl bewegt sich wegen des Ventilschlusses bis zum Erreichen der Kolbenwand immer mit Nullgeschwindigkeit wo er aufgetragen wird. Die geringe Energie des Kraftstoffstrahles ermöglicht jedoch keine Abspaltung von Tropfen mit kleinen Durchmessern, die für das für die erste Entzündung erforderliche Kraftstoff — Luftgemisch ausreichen wärend. Diese Erscheinung ist die eine Komponente, der bei einer Drehzahl von  $n = 100 \text{ min}^{-1}$  beobachteten geringeren Startwilligkeit.

### 3. Der Entzündungsablauf beim Anlassen

Für die Entfaltung des Entzündungsablaufes soll die Meßreihe No. 41 als Beispiel dienen (Drehzahl  $n = 200 \text{ min}^{-1}$ ; Startmenge  $d = 160 \text{ mm}^3/\text{Zykl.}$ , Anfangstemperatur  $t = + 1^\circ\text{C}$ ). In Abb. 11 wurden alle Vorgänge, in denen Zündung stattgefunden hat, eingezeichnet bis zum Auftreten zusammenhängender Entzündungsvorgänge. (Die Zykluszahl seit dem Anlaßzeitpunkt ist im Index zu finden). Die vom Anlassen an gezählte erste Entzündung entsteht im 11. Zyklus in der Spätphase der Expansion. Die Druckerhöhung ist nicht meßbar, der Zündverzug beträgt

$$\Delta\varphi_{\text{zyk}} = 26,6^\circ,$$

einen Wert, der im Vergleich mit dem Wert im Normalbetrieb zu hoch ist.

Der große Zündverzug weist auf den großen Zeitaufwand für die der Entzündung vorangehende Gemischbildung, für die Aufwärmung und die die Entzündung einleitenden chemischen Reaktionen hin. (In diesem Fall war die Startkraftstoffdosis minimal, der zur Gemischbildung verwendete Kraftstoffanteil war also auch zu klein.)

Die im 11. Zyklus eintretende Entzündung weist darauf hin, daß ein Teil des in den vorangehenden Zyklen eingespritzten aber nicht entzündeten Kraftstoffes zurückblieb. (Die exakte Messung des Zündverzuges wurde durch die von den vorangehenden Zyklen zurückgebliebenen Kraftstoffteilchen erschwert, da der Zündverzug neben den ermittelten Variablen auch noch von der Zykluszahl abhängig ist.) Der Zündverzug mäßigte sich im 12. Zyklus im Vergleich zum vorherigen, da die im vorigen Zyklus eingeführte Wärme und

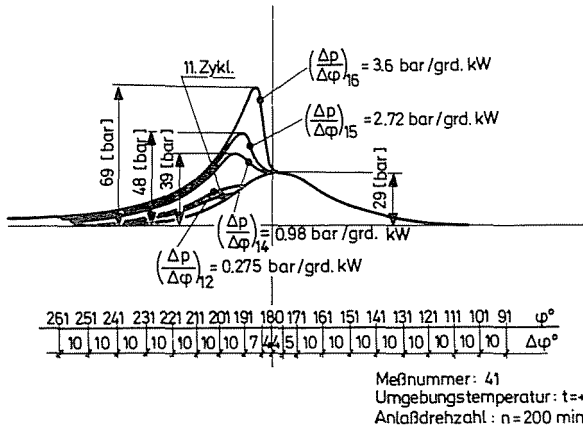


Abb. 11. Indikatordiagramme des Dieselmotors beim Anlassen in den Zyklen 1; 11; 12; 14; 15; 16

die nach dem Auspuff zurückbleibenden wärmeren Verbrennungsprodukte günstige Umstände für die weitere Entzündung schaffen. Im 13. Zyklus entsteht keine Entzündung, von dem 14. Zyklus an wird aber die Verbrennungsintensität mit abnehmendem Zündverzug und ansteigendem Druckgradienten  $\frac{\Delta p}{\Delta \varphi}$  größer. Die Zeit der Ingangsetzung des Motors kann vom

Erreichen des Druckgradienten  $\left(\frac{\Delta p}{\Delta \varphi}\right) > 2 \text{ bar/Grad}$  bzw. der Drehzahlerhöhung gerechnet werden.

Aus dem oben angeführten Startvorgang folgt, daß die Vorbedingungen der kontinuierlichen Entzündung günstig beeinflusst wird durch

- die direkte Gemischbildung der Kraftstoffmenge beim Anlassen im Motorzylinder,
- die Ansammlung des von vorigen Zyklen zurückgebliebenen Kraftstoff — Luft Gemisches,
- die Wirkung der vorigen Verbrennung geringer Intensität auf den nachfolgenden Zündvorgang.

#### 4. Der Zündverzug

Während der Zeit von dem Zeitpunkt an, wo die Kraftstoffdosis in den Motorzylinder gelangt, bis zu dem wahrnehmbaren Druckanstieg als Folge der Verbrennung — also während des Zündverzugs — spielen sich zahlreiche Reaktionen ab, die von der Ansauglufttemperatur (Zylinderwandtemperatur), von der Kraftstoffdosis und von der Durchdrehzahl beeinflusst werden.

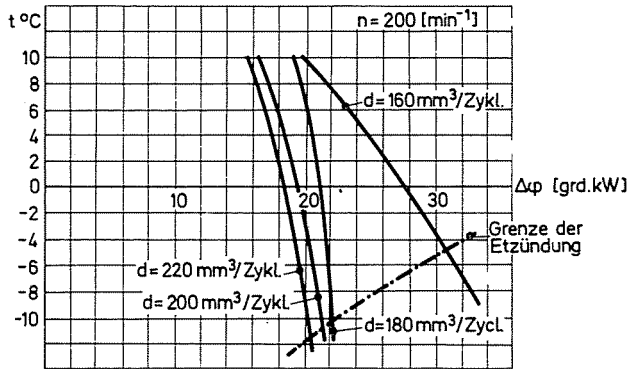


Abb. 12. Zusammenhang zwischen dem Zündverzug und der Umgebungstemperatur bei  $n = 200 \text{ min}^{-1}$

Der aus dem Indikatordiagramm ermittelte, zur ersten Entzündung gehörige  $\Delta\varphi_{\text{gyk}}$  Wert wurde als Funktion von  $t = f(\Delta\varphi)$  für konstante Drehzahl und Dosis als Parameter in Abb. 12 dargestellt.

Aus dem Diagramm läßt sich feststellen, daß in der Umgebung von  $t < 10^{\circ}\text{C}$  der Zündverzug praktisch von der Kraftstoffdosis unabhängig ist, deren Größe  $\Delta\varphi_{\text{gyk}} = 16\text{—}20^{\circ}\text{KW}$  beträgt. (In einem solchen Fall springt der Motor sofort an.) Mit der Senkung der Temperatur des Motorkörpers und der Ansaugtemperatur steigt der Zündverzug bei geringer Kraftstoffdosis so, daß der mit der geringeren Verbrennungsgeschwindigkeit zusammenhängende, scheinbar große Luftüberschuß sich bei der niedrigen Temperatur langsamer abspielende chemische Reaktionen zur Folge hat. Während der Senkung der Temperatur steigt der Zündverzug bei Steigerung der Kraftstoffdosis  $d > 180 \text{ mm}^3/\text{Zykl.}$  nur wenig im Vergleich zum Wert bei  $+10^{\circ}\text{C}$  an. Der infolge der Steigerung der Kraftstoffdosis abnehmenden Luftüberschuß (größere Konzentration) hat auf die Reaktionsgeschwindigkeit einen günstigeren Einfluß, als die Verminderung der Außentemperatur. Je mehr die Luftverhältniszahl den zur maximalen Verbrennungsgeschwindigkeit gehörigen Wert annähert, umso besser wird die Wirkung der Außentemperatur auf die Reaktionsgeschwindigkeit kompensiert.

Die Grenzwerte des Startbeginns sind im Diagramm dargestellt (ca. bei 24 s Durchdrehzeit) und es läßt sich feststellen, daß die Bedingung des Startbeginns der sich mit abnehmender Temperatur vermindernde Zündverzug ist, der von der Konzentration und Kraftstoffdosis abhängt. Wird die Startmenge über  $d > 200 \text{ mm}^3/\text{Zykl.}$  gesteigert, wird die Konzentration den Optimalwert überschreiten, der Zündverzug steigt wieder an, und die Startwilligkeit wird kleiner.

### 5. Zusammenhang zwischen der äußeren Umgebungstemperatur und der Startzeit

Die Grenze des Motorstarts hängt von dem durch die der Entzündung folgende Verbrennung verursachten Druckanstieg  $\left(\frac{\Delta p}{\Delta \varphi}\right) \cong 2 \text{ bar/Grad}$  ab, der durch die im Brennraum zustande kommende Kraftstoffkonzentration bestimmt wird. Bei großem Zündverzug kann die in der Spätphase der Expansion beginnende Verbrennung keinen großen Druckanstieg hervorrufen, infolgedessen werden sich die Entzündungsbedingungen auch im nächsten Zyklus nicht verbessern.

Die Startzeit wurde in Abhängigkeit von der äußeren Umgebungstemperatur, der Kraftstoffdosis und Anlaßdrehzahl in Abb. 13 dargestellt.

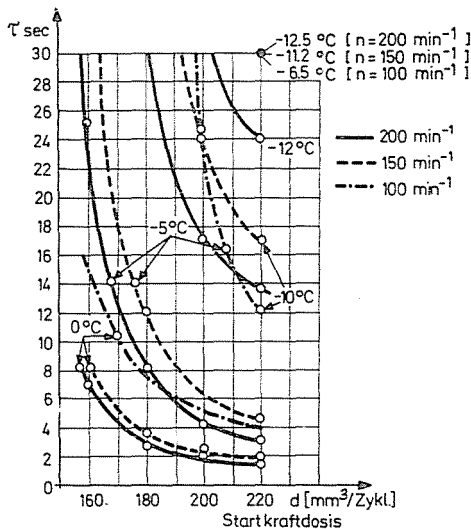


Abb. 13. Zusammenhang zwischen der Startzeit und der Startkraftstoffdosis bei verschiedenen Umgebungstemperaturen und Anlaßdrehzahlen

Die abfallenden Zweige der Kurven ( $d > 220 \text{ mm}^3/\text{Zykl.}$ ) wurden als Werte unter den Optimum nicht eingezeichnet. Aus den Ergebnissen ist zu erkennen, daß bei optimaler Wahl der Anlaßdrehzahl und Anlaßkraftstoffdosis die Grenztemperatur für Motoren mit Gemischbildung durch Filmverdampfung  $-12^\circ\text{C}$  beträgt; darunter kann der Motor nur mit Hilfsmitteln gestartet werden.

## Zusammenfassung

Wie es die dargelegten analytischen Untersuchungen bestätigen, werden die Kaltstarteigenschaften der Motoren mit Gemischbildung durch Filmverdampfung durch die Anlaßdrehzahl und Anlaßkraftstoffdosis beeinflusst. Bei tiefen Außentemperaturen ist im Falle verbrennungslosen Motordurchdrehen die Ladung am Ende der Expansion kälter als im Ansaugzustand, und durch das im Brennraum zurückbleibende Arbeitsmedium wird der im vorigen Arbeitsprozeß eingespritzte Kraftstoff kondensiert.

Die Anlaßdrehzahl hat bei tiefen Außentemperaturen für das Erreichen des zur Entzündungstemperatur notwendigen Verdichtungsenddruckes sowie für den während der Kraftstoffdosierung erforderlichen, gleichbleibenden Einspritzdruck eine die Startwilligkeit bestimmende Rolle.

Die Steigerung der Anlaßdrehzahl über den Wert  $n > 200 \text{ min}^{-1}$  ist durch die Leistungsgrenze des Anlaßmotors begrenzt. Bei der angegebenen Drehzahlgrenze ist die Verschlechterung der Gemischbildung infolge der Vibration der Düsenadel noch erträglich.

Das Optimum der Kraftstoffdosis für das Anlassen (bei Motoren mit Bohrung  $\varnothing 121 \text{ mm}$ , Hub = 150 mm) liegt bei  $d^{\circ} 220 \text{ mm}^3/\text{Zykl.}$ , in diesem Punkt sind auch die Gemischbildung die günstigste und der Zündverzug der geringste. Bei Motoren solcher Brennraumgestaltungen ist bei optimaler Einstellung  $t = -12^{\circ} \text{C}$  die Grenze der Kaltstartmöglichkeit ohne Hilfsmittel.

## Literatur

1. FÜLÖP, Z.: Period. Polytech. 13, 4 (1969)

Dr. Zoltán FÜLÖP, H-1521 Budapest