

Die Flammenausbreitung in einem Fremdzündungs-

NSU-Wankel-Motor

von M.Shimoji, K.Tsuga und T.Ishiwara
Firma Toyo Kogyo K.K. Hiroshima

Bekanntlich ist die Verbrennungskammer eines Kreiskolbenmotors (vom Typ NSU-Wankel), wenn man sie mit der Verbrennungskammer eines Motors mit hin- und hergehendem Kolben vergleicht, ganz flach. Es ist auch ganz natürlich, daß die sich in der Verbrennungskammer befindenden Gase durch die Drehbewegung des Drehkolbens (des Läufers) weiter geschoben werden, die Geschwindigkeit der Weiterbewegung dieser Gase ist jedoch nicht einfach gleich der Geschwindigkeit des rotierenden Kolbens. Wenn man sich also mit dem Problem der Verbrennung im Kreiskolbenmotor beschäftigt und den Motor in dieser Richtung weiter entwickeln und verbessern will, dann ist die Kenntnis des Zusammenhanges zwischen der Geschwindigkeit der Weiterbewegung der Gase und der Flammenausbreitung von entscheidender Wichtigkeit.

Städtische Bibliothek Stuttgart

Wir haben nun bei unserer Forschungsarbeit auf der Läufergehäuseseite Ionenkerzen angebracht, und indem wir den Zündwinkel, das Luftkraftstoffverhältnis und die Lage der Zündkerzen änderten, die Flammenausbreitung experimentell untersucht; die dabei erhaltenen Ergebnisse sind im vorliegenden Bericht zusammengefaßt.

1. Vorwort

Bekanntlich ist die Verbrennung in einer Brennkraftmaschine einer zyklischen Änderung unterworfen, durch welche der mittlere Wärmewirkungsgrad der Brennkraftmaschine verschlechtert wird.

Nach einem Bericht von Arerette & Patterson über die für diese Änderung der Verbrennung ausschlaggebenden Faktoren

stellt die Wirbelbewegung des Gasgemisches einen wichtigen Parameter dar. Bei einem Kreiskolbenmotor (vom Typ NSU-Wankel) führt der Kolben eine Drehbewegung aus und mit ihm zusammen bewegen sich natürlich auch die Gase; dazu kommt, daß im Schiebetrieb die Gase eine Relativgeschwindigkeit zur Oberfläche des Kreiskolbens besitzen. Die theoretische Strömungsrichtung der Gase stimmt nahezu mit der Drehrichtung des Kreiskolbens überein, und sie übt einen entscheidenden Einfluß auf die Flammenausbreitung aus. Das Ausmaß dieses Einflusses ist verschieden, je nach der Form der Verbrennungskammer, der Lage und der Anzahl der Zündkerzen, der Drehzahl des Motors, dem Zündwinkel, der Last, dem Luftkraftstoffverhältnis usw.

Wir haben nun als motorseitige Faktoren den Zündwinkel und das Luftkraftstoffverhältnis genommen und um den Einfluß dieser Faktoren, sowie auch den Einfluß der Lage und der Anzahl der Zündkerzen zu untersuchen, im Läufergehäuse 13 Ionenkerzen angebracht und mit Hilfe dieser Ionenkerzen die Flammenausbreitung systematisch untersucht; über einen Teil dieser Versuche soll hier berichtet werden.

2. Der Versuchsmotor und die Versuchsmethodik

2.1 Die wichtigsten Daten des Versuchsmotors und seine Betriebsbedingungen

Der Versuchsmotor war ein wassergekühlter Einkammermotor, dessen Kreiskolben unter Ausnützung des Schmieröles gekühlt wurden. Die Hauptdaten des Versuchsmotors sind in der Tafel 1 zusammengestellt. Für die Zündkerzen haben wir eine besondere Bezeichnung eingeführt, und zwar haben wir die in der Drehrichtung des Kreiskolbens vorausliegende Zündkerze

Tafel 1

Die Hauptdaten des Versuchsmotors

Art des Motors	Einkammermotor (Typ 3827)
Volumen der einen Kammer	491 cc
effektives Kompressionsverhältnis	9.4
"port timing"	I.O 39° ATDC
	I.C 52° ABDC
	E.O 68° BBDC
	E.C 57° ATDC
Erzeugungsradius	R = 101 mm
Parallelverschiebung	a = 4 mm
Exzentrizität	e = 15 mm
Breite des Läufergehäuses	60 mm

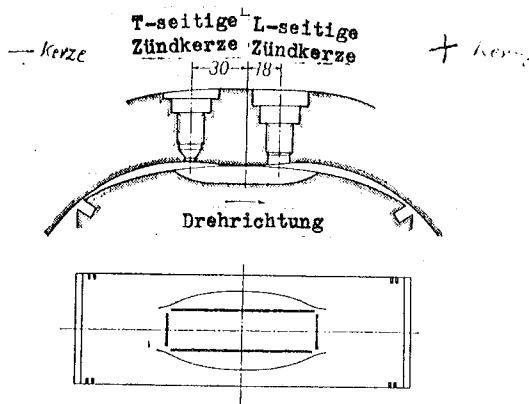


Abb.1 Die Lage der Zündkerzen und die Form der Verbrennungskammer

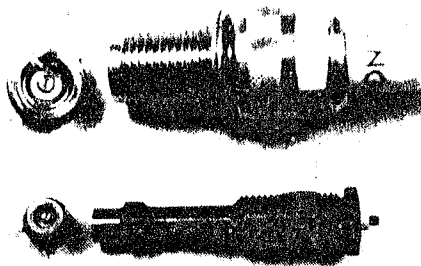


Abb.2 Der Vergleich der Ionenkerze und der Zündkerze

als "leading"-seitige Zündkerze (im folgenden kurz L-seitige Zündkerze genannt), und die zurückliegende Zündkerze als "trailing"-seitige Zündkerze (im folgenden kurz T-seitige Zündkerze genannt) bezeichnet* (vergleiche die Abb.1).

Das Hauptziel, das wir uns bei unseren Versuchen gesteckt hatten, war die Verbesserung der Verbrennung bei der praktischen Fahrt auf der Straße unter Belastung. Da hierbei jedoch die Empfindlichkeit der Ionenkerzen nicht ausreichend war, so haben wir bei Bedingungen, bei welchen wir selbst dann, wenn wir das Luftkraftstoffverhältnis bis auf 17 drückten, noch für die Messung ausreichende Signale erhielten, den Füllungswirkungsgrad auf 60% festgelegt. Als Motor drehzahl haben wir 1500 U/Min. genommen, die Temperatur des Kühlwassers und des Schmieröles beim Eintritt in den Motor haben wir auf $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ festgelegt. Bei dem verwendeten Kraftstoff haben wir die Lebensdauer der Ionenkerzen berücksichtigt und LPG genommen.

2.2 Die Einrichtung und die Methode zum Messen der Flammen

Die Ionenkerzen haben wir eigens bei der Firma NGK anfertigen lassen, sie hatten als Mittelelektrode einen Nickelstift (1,5 mm \varnothing), das Außengehäuse bestand aus nicht rostendem Stahl (SUS 21B), es war an seiner Innenfläche zum Zwecke der Isolation mit einem Keramiküberzug versehen. Der Spalt (clearance) der Ionenkerze betrug 1,4 - 1,5 mm (siehe Abb.2). Wenn wir in einem Läufergehäuse 13 Ionenkerzen befestigten, dann wurde die Wärmeverformung überaus stark, wir haben deshalb die Ionenkerzen in 3 Sätze aufge-

* Gelegentlich bezeichnet man auch die "leading"-seitige Zündkerze als "Pluskerze" und die "trailing"-seitige Zündkerze als "Minuskerze"

teilt und 3 Läufergehäuse verwendet. In der Abb.3 haben wir die Stellen, an denen wir die Ionenkerzen angebracht haben, in ihrer Lage mit bezug auf die Zündkerzenbohrung, von der Verbrennungskammerseite her gesehen, dargestellt. Um die nachfolgende Erklärung zu vereinfachen, haben wir die Ionenkerzen, wie dies in der Abbildung zu sehen ist, mit Bezeichnungen versehen.

Zum Zwecke der Messung des Ionenstromes haben wir die Wellenform des Stromes am Synchroskop beobachtet und gleichzeitig eine vielstufige Impulsklasseneinteilungseinrichtung (Zeit) verwendet. Für die Startsignale des Zählers haben wir die Zündsignale verwendet, und das dem Zählen des Ionenstromes dienende Triggerniveau blieb dabei mehr oder weniger hinter dem Zeitpunkt, in welchem praktisch der Ionenstrom zwischen den Elektroden der Ionenkerzen zu fließen begann, zurück. Da jedoch dieses Zurückbleiben nur ganz geringfügig war, so haben wir dafür keine Korrektur angebracht. Die gezählte Zahl der für eine einmalige Messung verwendeten Ionenströme betrug 1000 Zyklen (cycles).

3. Die Gasgeschwindigkeit im Innern des Motors

Wenn wir beim Schiebetrieb des Motors die ungeordnete Bewegung (die Verwirbelung?) der Luft vernachlässigen und eine theoretische Drehbewegung annehmen, dann sind die Gase in der Verbrennungskammer einer durch die Drehbewegung des Kreiskolbens bedingten Volumenänderung unterworfen, und sie besitzen einmal eine durch die Geschwindigkeit des Kreiskolbens bedingte Geschwindigkeit und zum andern eine durch die Volumenänderung bedingte Geschwindigkeit. Wir haben diese beiden Geschwindigkeiten von der Trochoiden-

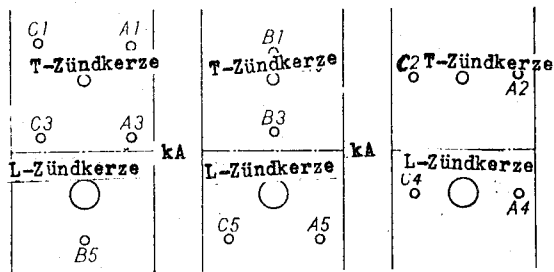
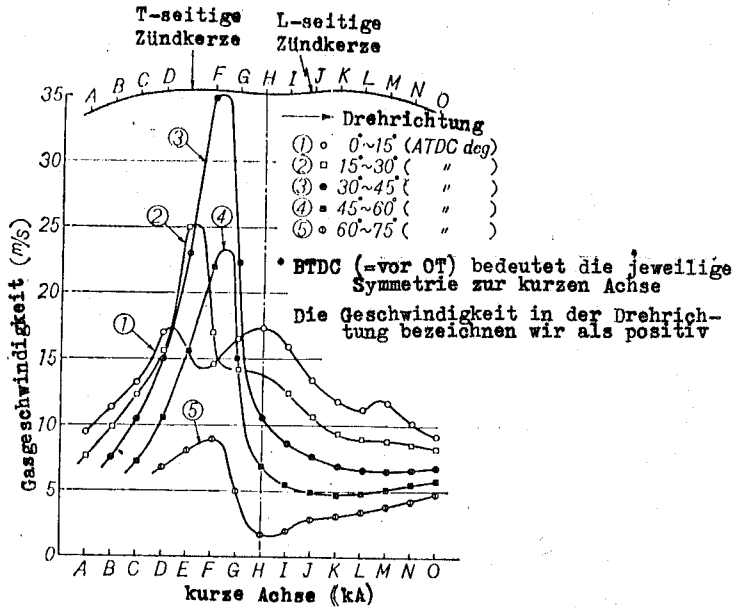


Abb.3 Die Anbringung der Ionenkerzen und ihre Bezeichnung



Kompressionsverhältnis 9,3, 1500 U/Min.
Verbrennungskammerform wie in Abb.1 dargestellt.

Abb.4 Die Geschwindigkeit der Gase in der Verbrennungskammer

oberfläche her angesehen und für diesen Fall die Geschwindigkeit berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in der Abb.4 dargestellt. Bei der Berechnung sind wir wie folgt vorgegangen: Wenn wir bei einer eindimensionalen Strömung den Einfluß der Querschnittsänderung vernachlässigen und die Drehrichtung der Verbrennungskammer in winzig kleine Räume abteilen, dann wird die Verbrennungskammer für irgend einen beliebigen Querschnitt A_i in ein L-seitiges Volumen V_L und ein T-seitiges Volumen V_T geteilt.

Wenn wir nun das T-seitige winzig kleine Volumen mit V_{Ti} bezeichnen, dann ist die Volumenänderung dieses winzig kleinen Volumens dV_{Ti}/dt , und die T-seitige Volumenänderung (an der Stelle) A_i ist:

$$\left(\frac{dV_T}{dt}\right)_i = \sum_{i=1} \frac{dV_{Ti}}{dt}$$

Wenn wir nun die gesamte Volumenänderung mit dV_{total}/dt bezeichnen, dann ist die L-seitige Volumenänderung

$$\left(\frac{dV_L}{dt}\right)_i = \frac{dV_{total}}{dt} - \left(\frac{dV_T}{dt}\right)_i$$

und damit ist die Geschwindigkeit der durch diese Querschnittsfläche A_i hindurch nach der L-Seite bzw. nach der T-Seite hin strömenden Gase durch folgende Gleichung gegeben

$$V_{gas} = \left[\left(\frac{dV_L}{dt}\right)_i - \left(\frac{dV_T}{dt}\right)_i \right] / A_i$$

Diese Geschwindigkeit ist zwar wahrscheinlich sehr stark verschieden von der tatsächlichen Geschwindigkeit, sie ist jedoch außerordentlich wichtig für die hypothetische Annahme der Geschwindigkeit der Gase im Innern des Motors und sie besitzt außerdem einen großen Einfluß auf die Flammenausbreitung. Es ist ganz klar, daß diese Geschwindigkeit stark verschieden ist je nach der Form der Ausnehmungen des Kreiskolbens; die Festlegung dieser Form ist deshalb

einer der wichtigsten Faktoren für die Planung.

4. Die Versuchsergebnisse und ihre Betrachtung

4.1 Die Flammenausbreitung von der L-seitigen Zündkerze zu den Ionenkerzen A5, B5 und C5 hin

Von der L-seitigen Zündkerze her nach der Drehbewegungsseite des Kreiskolbens hin breiten sich die Flammen, obwohl der Verbrennungsraum äußerst eng ist, aus. Die Abb.5 zeigt, für den günstigsten Zündwinkel, und für die Luftkraftstoffverhältnisse 13 und 16 die Ankunftsstellen der zu den Ionenkerzen A5, B5 und C5 hin gehenden Flammen, sowie die Schwankungen und die Form des Verbrennungsraumes. Diesen Ergebnissen können wir entnehmen, daß der Verbrennungsraum umso enger wird, je weiter der Zündwinkel vorgerückt wird und es ist zu erwarten, daß sich dies ungünstig auf die Verbrennung auswirkt. Wenn wir beispielsweise das Luftkraftstoffverhältnis mit 13 nehmen und bei den T+L-Zündkerzen den Zündwinkel der T-seitigen Zündkerze mit 0° obere Totpunktlage festlegen und den Zündwinkel der L-seitigen Zündkerze sich ändern lassen, dann gibt die Zündung der L-seitigen Zündkerze das Flammenstartsignal und die mittleren Ankunftszeiten, in denen die Flammen an den Ionenkerzen A5, B5 und C5 eintreffen, sind in der Tafel 2 zusammengestellt.

Dieser Tafel entnehmen wir, daß bei einem Zündwinkel der T-seitigen Zündkerze von 0° OT und einem Zündwinkel der L-seitigen Zündkerze von 30° vor OT die mittlere Flammenankunft an der Ionenkerze B5 bei ungefähr 20° vor OT liegt. Dabei beträgt die Weite des Verbrennungsraumes, wie wir in der Abb.5 sehen, höchstens ungefähr 2,5 mm. In diesem Teile findet auch die Ausbreitung in der Querrichtung mit ver-

hältnismäßig hoher Geschwindigkeit statt, und die Ankunft der Flammen an den Ionenkerzen A5 und C5 findet, umgerechnet auf den Drehwinkel der leistungabgebenden Welle höchstens etwa $3,6 - 4,7^{\circ}$ später statt als die Ankunft der Flammen an der Ionenkerze B5.

Bei den vorstehenden Darlegungen haben wir den Fall der T+L-Zündkerzen angenommen, man kann jedoch sagen, daß wir auch dann, wenn nur eine L-seitige Zündkerze vorhanden ist, genau die gleichen Verhältnisse haben. In dem Falle jedoch, wo nur eine T-seitige Zündkerze vorhanden ist, fallen die Spitzen (die Kurvenberge?), welche die Häufigkeit (die Frequenz?) der Schwankungen der an den Ionenkerzen A5, B5 und C5 eintreffenden Flammen angeben, nahezu zusammen. Hieraus können wir schließen, daß die Form der Flammen, wenn sie von der T-seitigen Zündkerze her eintreffen, weit mehr in der Querrichtung ausgebreitet ist als dies bei der Form der von der L-seitigen Zündkerze her eintreffenden Flammen der Fall ist. In den Tafeln 3 und 4 haben wir für die Luftkraftstoffverhältnisse 13 und 16 die Werte der Normalabweichung und die mittleren Ankunftszeiten beim günstigsten Zündwinkel zusammengestellt.

Wenn wir hierbei das Verhältnis der Normalabweichung im Hinblick auf den Einfluß des Luftkraftstoffverhältnisses, das wir im einen Fall mit 13 genommen und im andern Fall auf 16 zusammengedrückt haben, betrachten, dann stellen wir fest, daß bei allen Ionenkerzen die Schwankungen mit größer werdendem Luftkraftstoffverhältnis zunehmen; außerdem zeigt es sich ganz deutlich, daß das Ausmaß des Einflusses des Luftkraftstoffverhältnisses bei der Ionenkerze A5 größer

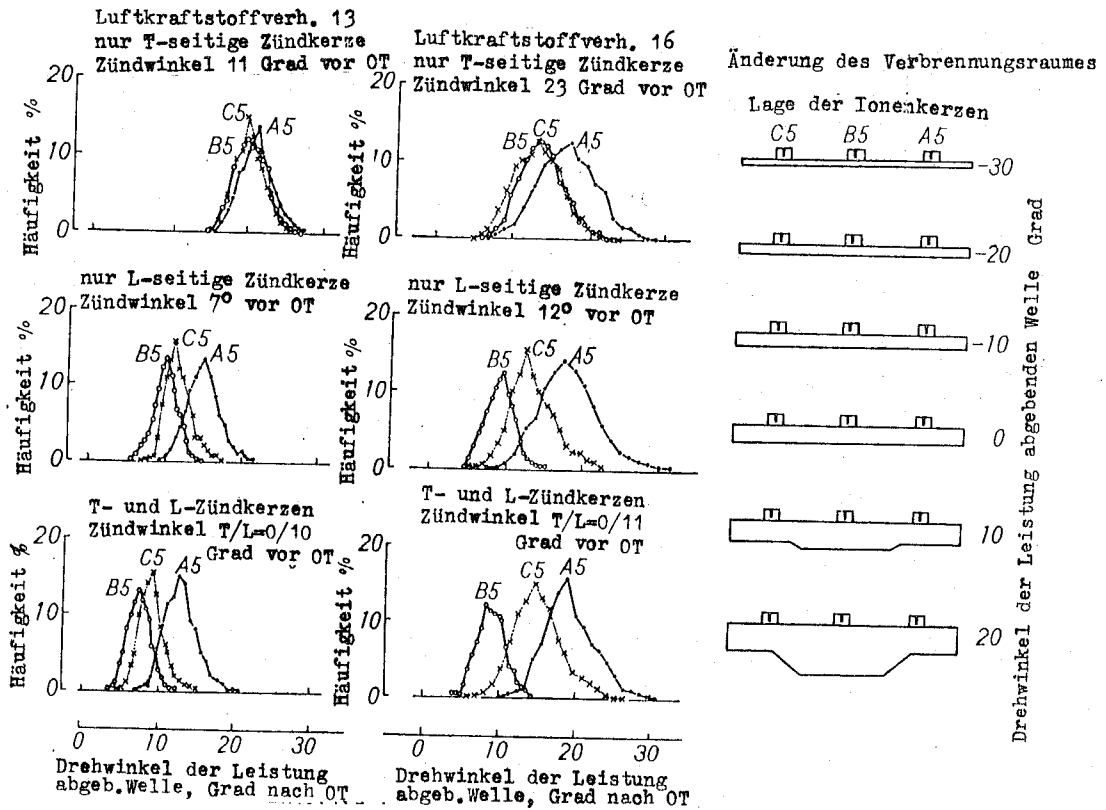


Abb. 5 Die Schwankung der an den Ionenkerzen ankommenden Flammen beim günstigsten Zündwinkel, sowie der Zeitpunkt ihrer Ankunft und die Form des Verbrennungsraumes

Tafel 2 Der Zündwinkel u. die mittl. Flammenankunftszeit

T/L	0/-10	0/0	0/10	0/20	0/30	BTDC deg
A 5	2.95	2.56	2.41	2.06	1.67	m sec
B 5	2.13	2.02	1.89	1.45	1.26	m sec
C 5	2.61	2.27	2.00	1.80	1.56	m sec

Tafel 3 Die Normalabweichung (Grad) und die mittl. Flammenankunftszeit (ms) bei einem Luftkraftstoffverhältnis von 13

	T+Ldeg	Ldeg	Tdeg	T+Lms	Lms	Tms
A 5	2.31	2.06	2.15	2.54	2.46	3.60
B 5	1.41	1.50	2.04	1.95	1.92	3.51
C 5	1.89	1.65	2.01	2.14	2.11	3.51

Tafel 4 Die Normalabweichung (Grad) und die mittl. Flammenankunftszeit (ms) bei einem Luftkraftstoffverhältnis von 16

	T+Ldeg	Ldeg	Tdeg	T+Lms	Lms	Tms
A 5	3.28	3.83	3.80	3.39	3.37	4.47
B 5	1.80	1.83	2.85	2.22	2.38	4.10
C 5	3.15	2.87	3.06	2.91	2.86	4.04

ist als bei der Ionenkerze B5, und bei der Ionenkerze C5 größer als bei der Ionenkerze A5. Wenn wir sodann die mittlere Ankunftszeit näher betrachten, dann stellen wir fest, daß auch diese bei dem Luftkraftstoffverhältnis 16 später liegt. Wenn wir die T+L-Zündkerzen, bzw. nur eine L-seitige Zündkerze nehmen, dann wirkt sich dies am stärksten bei der Ionenkerze C5, schwächer bei der Ionenkerze A5 und am schwächsten bei der Ionenkerze B5 aus. Dieser Einfluß ist jedoch viel geringer als der Einfluß auf die Schwankungen (Abweichungen?). Wenn wir nur eine T-seitige Zündkerze haben, dann sind die Unterschiede zwischen A5, B5 und C5 ganz anders geartet als dies bei von der L-seitigen Zündkerze her kommenden Flammen der Fall ist. Die Ursache hierfür dürfen wir wohl darin suchen, daß hier die Flammen in einem in der Querrichtung schon gut ausgebreiteten Zustand ankommen.

Wenn wir sodann, um die Ausbreitung in der Querrichtung zu betrachten, bei den gleichen Zündkerzen das Verhältnis von A5 und C5 zu B5 untersuchen, dann kommen wir auf die Tatsache, daß, wenn nur die eine T-seitige Zündkerze vorhanden ist, dieses Verhältnis bei der Normalabweichung und bei der mittleren Ankunftszeit nahezu gleich 1 ist, wodurch das oben bereits Dargelegte eine Bestätigung findet. Insgesamt betrachtet ist jedoch die Flammenausbreitung zu den A-seitigen Ionenkerzen hin schlechter als zu den C-seitigen Ionenkerzen hin. Die Ursache hierfür ist zunächst zwar nicht klar, man könnte sich überlegen, ob diese Ursache nicht in Fehlern bei der Herstellung der Kreiskolbenaussnehmung oder in Fehlern bei der Befestigung der Ionenkerzen oder auch in einer etwa vorhandenen Unsymmetrie der Ansaug-

Tafel 5 Die Normalabweichung (Grad) und die mittl. Flammenankunftszeit (ms) bei einem Luftkraftstoffverhältnis von 13

	T+Ldeg	Tdeg	T+Lms	Tms
A 3	3.37	5.01	5.45	3.69
B 3	1.70	1.21	3.77	2.05
C 3	2.33	5.09	4.46	3.68

Tafel 6 Die Normalabweichung (Grad) und die mittl. Flammenankunftszeit bei einem Luftkraftstoffverhältnis von 16

	T+Ldeg	Tdeg	T+Lms	Tms
A 3	4.19	7.27	5.86	5.37
B 3	2.09	3.06	4.52	2.97
C 3	3.87	6.83	5.38	5.51

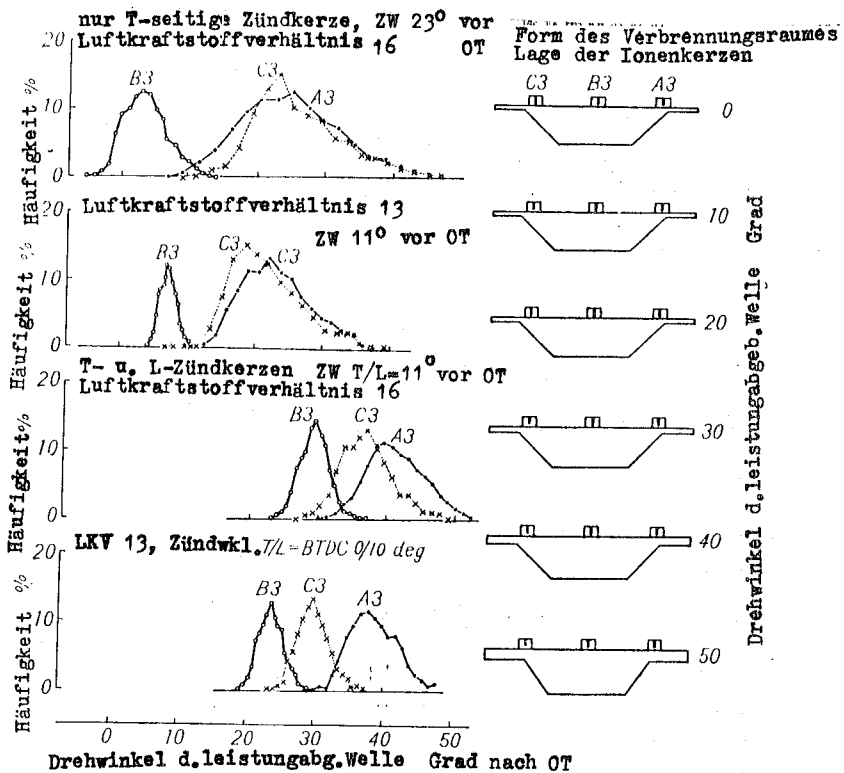


Abb. 6 Die Schwankungen des Zeitpunktes der Ankunft der Flammen an den Ionenkerzen beim günstigsten Zündwinkel und die Form des Verbrennungsraumes

leitung zu suchen ist, bis jetzt hat sich jedoch hierfür noch keinerlei Bestätigung ergeben.

4.2 Die Ausbreitung der Flammen von der T-seitigen und der L-seitigen Zündkerze zu den Ionenkerzen A3, B3 und C3 hin

Für die Ausbreitung der Flammen nach dieser Seite hin ist die Form der Kreiskolbenausnehmung von ausschlaggebender Bedeutung. Die Abb. 5 zeigt für die Luftkraftstoffverhältnisse 13 und 16 den Schwankungszustand der Flammen beim günstigsten Zündwinkel, sowie die Form der Verbrennungskammer; in den Tafeln 5 und 6 haben wir die dabei vorhandenen Werte der Normalabweichung und der mittleren Flammenankunftszeit zusammengestellt.

Die Lage der Ionenkerze B3 ergibt eine bei weitem bessere Form als der Verbrennungsraum der Ionenkerzen A3 und C3, wir wollen deshalb zuerst die Charakteristik dieses Teiles (der Verbrennungskammer?) besprechen.

Der Zustand, in welchem die Flammen, deren Entflammungsursprung die T-seitige Zündkerze ist, zu der Ionenkerze B3 gelangen, ist dem im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Zustand der von der L-seitigen Zündkerze zu der Ionenkerze B5 gelangenden Flammen ganz ähnlich. Jedoch selbst dann, wenn der Entflammungsursprung der zu der Ionenkerze B3 gelangenden Flammen die Zündung der T-seitigen Zündkerze ist, so haben wir hier doch eine Charakteristik, welche von derjenigen bei der Zündung lediglich der einen T-seitigen Zündkerze und derjenigen bei der von den T+L-Zündkerzen herrührenden Zündung gänzlich verschieden ist.

Wenn wir nun das Luftkraftstoffverhältnis von 13 auf 16 zusammendrücken, dann haben wir im Falle der T+L-Zündkerzen die 1,23fache Normalabweichung und die 1,20fache mittlere Flammenankunftszeit, und im Falle nur der einen T-seitigen Zündkerze die 2,53fache Normalabweichung und die 1,45fache mittlere Flammenankunftszeit. Bei den beiden genannten Werten, d.h. also bei der Normalabweichung, sowohl wie auch bei der mittleren Flammenankunftszeit, bemerken wir, im Falle nur der einen T-seitigen Zündkerze einen außerordentlich starken Einfluß des Luftkraftstoffverhältnisses. Die mittlere Flammenankunftszeit ist jedoch entsprechend der Änderung des Luftkraftstoffverhältnisses von 13 auf 16 länger geworden.

Wir haben also beim Luftkraftstoffverhältnis 13 das 1,84fache und beim Luftkraftstoffverhältnis 16 das 1,52fache.

Dies ist so zu erklären: Im Falle der T+L-Zündkerzen wird dadurch, daß sich das Gasgemisch auf der L-Seite der Verbrennungskammer infolge der L-seitigen Zündkerze ausdehnt, das Einströmen der Gase von der T-Seite her zurückgedrängt und die Flamme, als deren Entflammungsursprung wir die T-seitige Zündkerze annehmen, wird von der Gasströmung mitgerissen und dadurch wird die Ausbreitung der Flamme nach der L-Seite hin unterdrückt. Wenn man jedoch bei den T+L-Zündkerzen den Zündwinkel der L-seitigen Zündkerze gegenüber demjenigen der T-seitigen Zündkerze stark vorausgestellt hat, und wenn man dann sagt, daß etwa die mittlere Flammenankunftszeit immer noch später werde, so ist dies nicht der Fall, sondern beispielsweise nach der Zündung der T-seitigen Zündkerze bei einem Luftkraftstoffverhältnis

von 13 haben wir eine mittlere Flammenankunftszeit der bei der Ionenkerze B3 eintreffenden Flammen von 2,67 ms bei einem Zündwinkel von $T/L = 0/-10^\circ$ vor OT und eine mittlere Flammenankunftszeit von 2,49 ms bei einem Zündwinkel von $T/L = 0/20^\circ$ vor OT, d.h. also die Flammen kommen eher noch schneller an.

Dies kann man vielleicht so erklären: Wenn wir den Zündwinkel der L-seitigen Zündkerze vorverstellen, dann werden der Gasgemischdruck und die Temperatur beim Zünden der T-seitigen Zündkerze sehr hoch, die Zündverzögerung wird geringer und die Verbrennungsgeschwindigkeit wird höher, und dies hat zur Folge, daß durch die Ausdehnung der sich auf der L-Seite befindenden Gase die verbrennungsbeschleunigende Wirkung stärker ist als die Verzögerung. Wenn wir nur die eine T-seitige Zündkerze haben, dann wird die Tatsache, daß die Flammen schneller bei der Ionenkerze B3 eintreffen, dadurch bewirkt, daß die Bewegungsgeschwindigkeit des Gasgemisches hinzukommt.

Wir haben sodann den Einfluß des Zündwinkels untersucht und in der Tafel 7 einige Beispiele für den Fall des Luftkraftstoffverhältnisses 13 bei Verwendung nur der einen T-seitigen Zündkerze dargestellt. Aus dieser Tafel ersehen wir, daß der Einfluß des Zündwinkels nicht so groß ist wie der Einfluß der Normalabweichung und der mittleren Flammenankunftszeit. Auch hierbei werden in der Nähe des günstigsten Zündwinkels (11° vor OT) die Werte der Normalabweichung und der mittleren Flammenankunftszeit am kleinsten. In den Tafeln 8 und 9 haben wir die Ergebnisse zusammengestellt, die wir erhalten haben, indem wir die T+L-Zündker-

zen bzw. die L-seitige Zündkerze sich ändern ließen.

Hierbei wollen wir unter den "2 Bergen" Gruppen von beiden Ionenkerzen eintreffenden Flammen verstehen, welche innerhalb eines Arbeitszyklus zweimal auftreten. Diese 2 Berge werden zwar in hohem Maße von der Zündwinkelkombination beeinflusst, es ist jedoch auch nicht so, daß sie in jedem einzelnen Arbeitszyklus kontinuierlich auftreten. Auch im Falle nur der einen L-seitigen Zündkerze haben wir unter Umständen für die Ionenkerze B3 2 Berge, diese Ergebnisse sind in der Abb.7 dargestellt. Die Ursache ist somit darin zu suchen, daß wir innerhalb der Schwankungen der Verbrennung 2 Gruppen von Flammen haben, nämlich die früh ankommenden Flammen und die spät ankommenden Flammen. Aus den Tafeln 8 und 9 können wir entnehmen, daß, wenn keine 2 Berge vorhanden sind, die Normalabweichung durch den Zündwinkel nicht allzu stark verändert wird, daß jedoch, wenn der L-seitige Zündwinkel dem T-seitigen Zündwinkel um 20° und mehr vorseilt, leicht 2 Berge (2 Maxima) auftreten können, und daß die Normalabweichung ganz plötzlich stark zunimmt. In diesem Falle sind die 2 Berge (Maxima?) ganz deutlich auf die von der T-seitigen Zündkerze kommenden Flammen und auf die von der L-seitigen Zündkerze her kommenden Flammen zurückzuführen, und zudem treten die 2 Berge nur dann auf, wenn die Flammen von der L-seitigen Zündkerze zuerst kommen; wenn die Flammen von der T-seitigen Zündkerze zuerst kommen, gibt es die 2 Berge nicht.

Aus den Anmerkungen der Tafeln 8 und 9 ersehen wir, daß der erste Berg, bei welchem wir als Flammenursprung die

Zündung auf der L-Seite ansehen, und der 2. Berg, bei welchem wir als Flammenursprung die Zündung auf der T-Seite ansehen, in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander stehen, und daß dieses Verhältnis umso größer wird, je weiter wir den Zündwinkel der L-seitigen Zündkerze vorrücken. Eine derartige Erscheinung ist jedoch nur dann möglich, wenn das Luftkraftstoffverhältnis fett ist und wenn die Drehzahl verhältnismäßig niedrig ist; wenn wir ein Luftkraftstoffverhältnis von 16 haben, dann kommt es selbst dann, wenn $T/L = 0/31^\circ$ vor OT ist, nicht zu 2 Bergen, und wenn wir nur die eine L-seitige Zündkerze haben, dann haben wir selbst bei 22° vor OT nur einen Berg, die mittlere Flammenankunftszeit liegt spät, bei 110° nach OT, und die Normalabweichung beträgt $17,8^\circ$. Bei 3000 U/Min., einem Luftkraftstoffverhältnis von 13 erhielt man selbst bei $T/L = -10/37^\circ$ vor OT keine 2 Berge (in der vorliegenden Veröffentlichung sind wir auf diese Versuchswerte nicht näher eingegangen.)

Wir haben im vorstehenden die Charakteristik der an der Ionenkerze B3 eintreffenden Flammen besprochen, im folgenden wollen wir nun die Ausbreitung dieser Flammen in der Querrichtung näher betrachten.

Wenn wir den Fall der T+L-Zündkerzen und den Fall, wo wir nur die eine, T-seitige Zündkerze haben, miteinander vergleichen und das Verhältnis dieser beiden Fälle nehmen, dann erhalten wir

beim Luftkraftstoff- verhältnis 13	Normalabweichung	mittl. Flammen- ankunftszeit
A 3	das 1.49fache	das 0.677fache
C 3	das 2.17fache	das 0.825fache

Tafel 7 Die Änderung des Zündwinkels und die Normalabweichung

Zündwinkel BTDC deg	-9	1	11	21	31
Normalabweichung deg	1.36	1.31	1.21	1.27	1.41
Ankunftszeit ms	2.27	2.28	2.09	2.11	2.22

Tafel 8 Die Änderung des Zündwinkels und die Normalabweichung

T/L BTDC deg	0/-10	0/0	0/10	0/20	0/30
Normalabweichung deg	1.35	1.44	1.70	3.74	9.72
Bemerkung				2 Berge 1. Berg 10.7%	2 Berge 1. Berg 34.6%

Tafel 9 Die Änderung des Zündwinkels und die Normalabweichung

L/T BTDC deg	-20/10	-10/10	0/10	10/10	20/10
Normalabweichung deg	3.0	1.63	1.70	1.87	1.75
Bemerkung	2 Berge 1. Berg 4.11%				

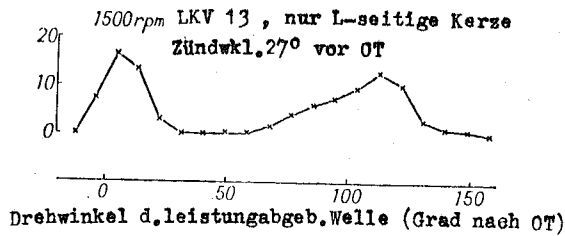


Abb. 7 Die Ankunft der Flammen bei der Ionenkerze B 3

Tafel 10 Die Normalabweichung (Grad) und die mittl. Flammenankunftszeit (ms) bei einem Luftkraftstoffverhältnis von 13

	T+Ldeg	Ldeg	Tdeg	T+Lms	Lms	Tms
A 4	7.05	5.15	2.76	3.29	3.38	3.52
C 4	3.98	3.48	2.13	2.82	2.85	3.26

Tafel 11 Die Normalabweichung (Grad) und die mittl. Flammenankunftszeit (ms) bei einem Luftkraftstoffverhältnis von 16

	T+Ldeg	Ldeg	Tdeg	T+Lms	Lms	Tms
A 4	11.3	13.5	4.01	5.02	5.20	4.57
C 4	5.00	5.86	3.23	4.02	3.82	4.43

Beim Luftkraftstoff- verhältnis 16	Normalabweichung	mittl. Flammen- ankunftszeit
A 3	das 1.73fache	das 0.915fache
C 3	das 1.77fache	das 1.02fache

Hieraus können wir entnehmen, daß für den Fall der nur einen T-seitigen Zündkerze die mittlere Flammenankunftszeit kürzer ist, während jedoch die Normalabweichung größer ist. Dies zeigt ebenfalls, daß, da sich die Ionenkerze in einer mittleren Lage befindet, im Falle der T+L-Zündkerzen die Ausdehnung der Gase auf der L-Seite die Strömungsgeschwindigkeit der von der T-Seite her kommenden Gase verringert, und daß wir bei den T+L-Zündkerzen eine zuverlässigere Verbrennung erhalten als bei nur einer einzigen Zündkerze und daß auch die Flammen eine höhere Stabilität besitzen.

Wenn wir nach der Ionenkerze B 3 hin bei 1500 U/Min. und bei einem Luftkraftstoffverhältnis von 13 ein Vorseilen des Zündwinkels auf der L-Seite gegenüber dem Zündwinkel auf der T-Seite um mindestens 20° haben, dann treffen zwar an der Ionenkerze B 3 sowohl die von der L-seitigen Zündkerze kommenden Flammen, wie auch die von der T-seitigen Zündkerze kommenden Flammen ein, bei den Ionenkerzen A 3 und C 3 ist dies jedoch ganz und gar nicht der Fall.

Letzten Endes ist ja nach der Ionenkerze B 3 hin der Verbrennungsraum größer, was für die Ausbreitung der Flammen günstiger ist, und dies scheint ganz offenbar die Ursache für das Auftreten der oben beschriebenen eigentümlichen Erscheinungen zu sein.

4.3 Die Ausbreitung der Flammen nach den Ionenkerzen A 4 und C 4 hin

Es ist zwar ganz natürlich, daß an diesen Stellen diejeni-

gen Flammen, als deren Flammenursprung wir die L-seitige Zündkerze betrachten, die Hauptwirkung ausüben; je nach der Kombination des Zündwinkels bei den T+L-Zündkerzen und je nach dem Kraftstoffverhältnis jedoch erfährt die Flammenankunftszeit verschiedene Änderungen.

In der Abb.8 haben wir für den günstigsten Zündwinkel und für die Luftkraftstoffverhältnisse 13 und 16 die Änderung des Verbrennungsraumes mit dem Schwankungszustand dargestellt. Die dabei erhaltenen Ergebnisse sind in den Tafeln 10 und 11 zusammengestellt. Für die Ionenkerzen A 4 und C 4 werden die Normalabweichung und die mittlere Flammenankunftszeit sehr stark durch das Luftkraftstoffverhältnis beeinflusst. Man sieht, daß insbesondere die Normalabweichung zu der Ionenkerze A 4 hin stark durch das Luftkraftstoffverhältnis beeinflusst wird. In diesem Teil kommen, wenn man die T+L-Zündkerzen hat, durch entsprechende Zündwinkelkombination leicht 2 Berge (Maxima?) zustande, diese 2 Berge (Maxima?) treten nur im Falle der T+L-Zündkerzen auf.

Wenn wir in der Abb.9 den Zündwinkel an der L-seitigen Zündkerze und an der T-seitigen Zündkerze sich ändern lassen, dann geschieht das deshalb, weil wir diese Kerzen (?) als die Zündquelle der an den Ionenkerzen A 4 und C 4 eintreffenden Flammen betrachten. Wenn wir uns die Häufigkeitswellenform ansehen, dann haben wir eine solche Kombination, daß der Zündwinkel der T-Seite jeweils um 10° fortschreitet, während der Zündwinkel der L-Seite jeweils um 10° zurückbleibt und bei $T/L = -10/20^\circ$ vor OT bis $0/10^\circ$ vor OT ist die Normalabweichung von A 4 und C 4 mindestens

4°. Wenn jedoch $T/L = 10/0^\circ$ vor OT erreicht ist, dann wird die Normalabweichung sehr schnell kleiner. Wenn wir uns nun die grafischen Darstellungen der Abb.9, welche den Zusammenhang zwischen der Normalabweichung und dem Vorverstellwinkel darstellen, näher ansehen, dann stellen wir fest, daß bei $T/L = 0/10^\circ$ vor OT und gleich $-10/20^\circ$ vor OT wenn wir nur die eine L-seitige Zündkerze haben, die Normalabweichung zwar einen Wert hat, welcher in der Nähe der beim günstigsten Zündwinkel vorhandenen Normalabweichung liegt, daß jedoch bei $T/L = 10/0^\circ$ und $20/-10^\circ$ vor OT, wenn wir nur die T-seitige Zündkerze haben, die Normalabweichung ungefähr ihren beim günstigsten Zündwinkel gegebenen Wert annimmt.

Wenn wir sodann die T-seitige Zündkerze oder die L-seitige Zündkerze als Flammenquelle annehmen und den Zusammenhang zwischen der Zeit nach der Zündung und dem Zündwinkel näher betrachten, dann stellen wir fest, daß bei den Kurven, wo wir die T-seitige Zündkerze als Zündquelle betrachten, bei $T/L = 0/10^\circ$ vor OT und gleich $-10/20^\circ$ vor OT eine gute Übereinstimmung vorhanden ist. Diesen drei Kurven können wir entnehmen, daß bei $T/L = -10/20^\circ$ vor OT und $0/10^\circ$ vor OT als Zündquelle die L-seitige Zündkerze in Frage kommt, während bei $T/L = 10/0^\circ$ vor OT und $20/-10^\circ$ vor OT die T-seitige Zündkerze die Zündquelle darstellt. Damit ist gesagt, daß, wenn der Zündwinkel der T-seitigen Zündkerze gegenüber demjenigen der L-seitigen Zündkerze um 10° oder mehr vorseilt, die T-seitige Zündkerze ganz eindeutig zur Zündquelle wird. Dies wird zudem auch im Hinblick auf die Entfernung ganz klar, da nämlich die Entfernung von

der T-seitigen Zündkerze ungefähr um das 2,56fache weiter ist als diejenige von der L-seitigen Zündkerze, dank dem Einfluß der Bewegungsgeschwindigkeit der Gase auf die Verbrennungsgeschwindigkeit jedoch ist die Ausbreitung der Flammen in der Querrichtung sehr viel langsamer als die Flammenausbreitung in der Richtung der Drehbewegung.

In der Abb.10 haben wir sodann für das Luftkraftstoffverhältnis 16 in der gleichen Weise die Diagramme aufgezeichnet wie bei der vorhergehenden Abbildung. Auch hier stellen wir fest, daß dann, wenn der Zündwinkel der T-Seite gegenüber dem Zündwinkel der L-Seite um 9° voraus ist, diejenigen Flammen zuerst ankommen, als deren Flammenquelle wir ganz eindeutig die T-seitige Zündkerze anzusehen haben. In dieser Abbildung kommen bei $T/L = -10/21^\circ$ vor OT die Flammen zweimal an. Auch bei diesen Flammen haben wir einen ersten Berg mit der L-seitigen Zündkerze als Zündquelle und einen zweiten Berg mit der T-seitigen Zündkerze als Zündquelle, wie wir dies ganz deutlich den Diagrammen entnehmen können. Hierbei haben wir zwar an der Ionenkerze B 3 bei einem fetten Luftkraftstoffverhältnis 2 Berge, an den Ionenkerzen A 4 und C 4 jedoch erhalten wir beim Luftkraftstoffverhältnis 16 sehr leicht 2 Berge. Die Ionenkerzen A 4 und C 4 liegen gegenüber der L-seitigen Zündkerze unsymmetrisch, A 4 ist um 2 mm weiter entfernt. Es ist die Seite, nach welcher hin sich die von C 4 kommenden Flammen nur schwer ausbreiten.

In der Abb.11 haben wir den Zündwinkel der L-seitigen Zündkerze auf 31° vor OT festgelegt, den Zündwinkel der T-seitigen Zündkerze haben wir von 10 zu 10° sich ändern lassen

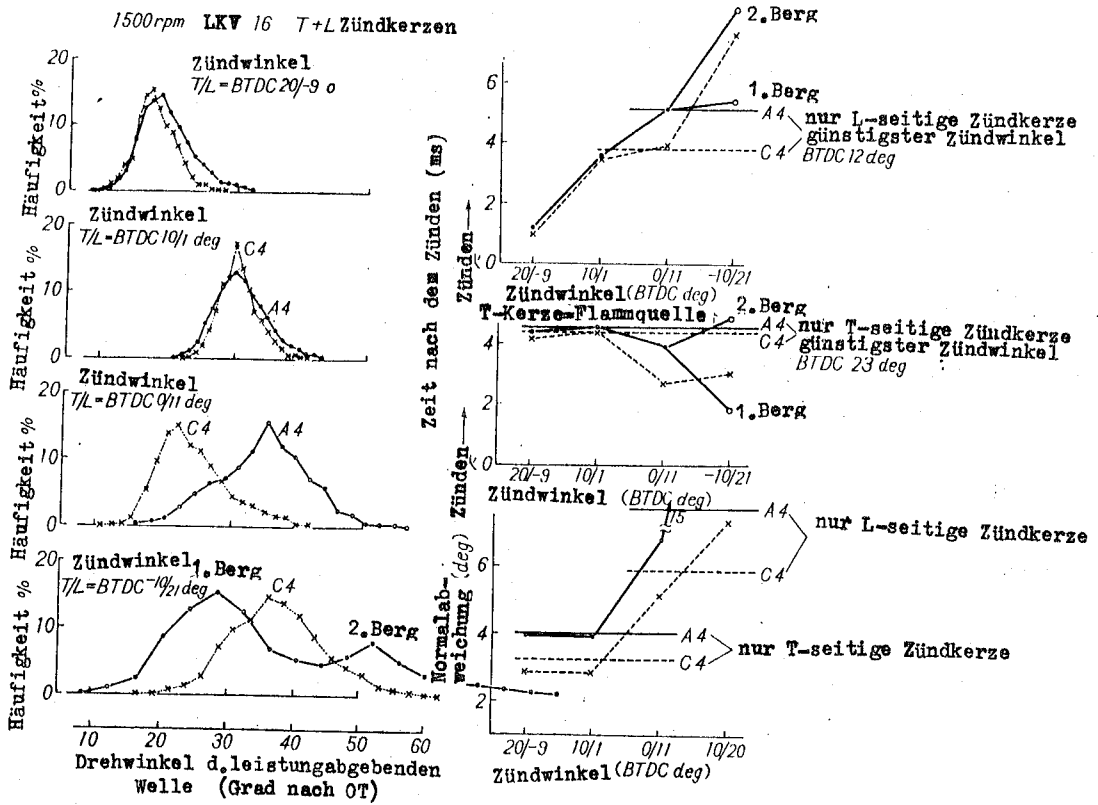


Abb. 10 Die Änderung des Zündwinkels und die Änderung der Flammenquelle

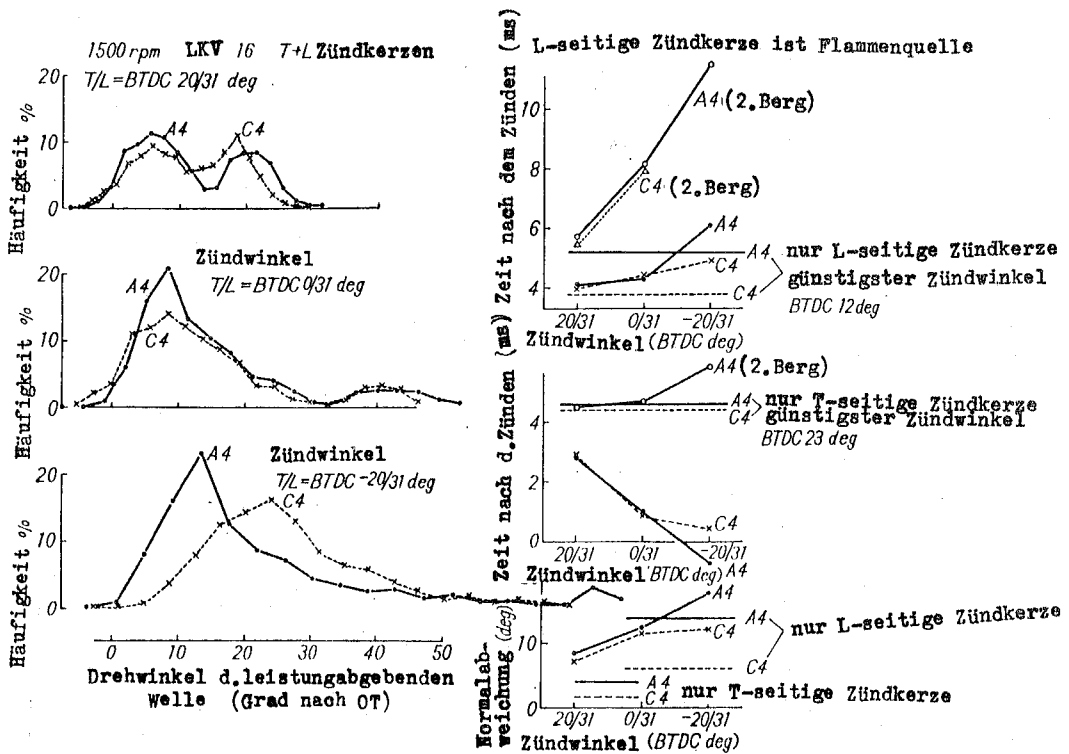


Abb. 11 Die Änderung des Zündwinkels und die Änderung der Flammenquelle

und dabei die Änderung der 2 Berge verfolgt. Der erste Berg der Ionenkerzen A 4 und C4 ist, wenn wir den Zündwinkel der T-seitigen Zündkerze vorrücken, zwar nur ganz gering, er tritt jedoch früh auf. Der zweite Berg tritt, wenn wir den Zündwinkel der T-seitigen Zündkerze vorrücken, ganz deutlich früher auf, und auch die Flammenankunftshäufigkeit wird größer. In dieser Abbildung ist der auf den 2. Berg entfallende prozentuale Anteil bei den Ionenkerzen A 4 und C4 im wesentlichen ungefähr gleich; wenn wir die L-seitige Zündkerze auf 21° vor OT festlegen und den Zündwinkel der T-seitigen Zündkerze sich ändern lassen, dann kommt es bei der Ionenkerze A 4 leichter zur Bildung eines zweiten Berge

Aus dem oben Dargelegten ergibt sich für uns, daß die Tatsache der Entstehung zweier Berge bei den Ionenkerzen A 4 und C4 besonders leicht dann auftritt, wenn das Luftkraftstoffverhältnis mager ist, und daß dieser Fall der Bildung zweier Berge besonders leicht dann eintritt, wenn die L-seitige Zündkerze früher zündet als die T-seitige Zündkerze (wenn wir bei der L-seitigen Zündkerze eine stärkere Zündwinkelvorverstellung haben als bei der T-seitigen Zündkerze? Anm.d.Üb.). Die Tatsache, daß die Ergebnisse mit denjenigen bei den Ionenkerzen übereinstimmen, zeigt, daß nur dann 2 Berge auftreten, wenn die Flammen, als deren Zündquelle wir die L-seitige Zündkerze betrachten, zuerst eintreffen.

In der Abb.12 zeigen wir, wie wir uns unter Verwendung der mittleren Flammenankunftszeiten die Ausbreitung der Flammen bei $T/L = 20/30^{\circ}$ vor OT denken können. Wenn wir uns diese Abbildung näher ansehen, dann können wir uns die Entstehung

1500 U/min LKV 16, Zündwinkel $T/L=BTDC 20/36 \text{ deg}$

--- von T-seitiger Zündkerze herrührende Flammenfl.
 — von L-seitiger Zündkerze herrühr. Flammenfläche

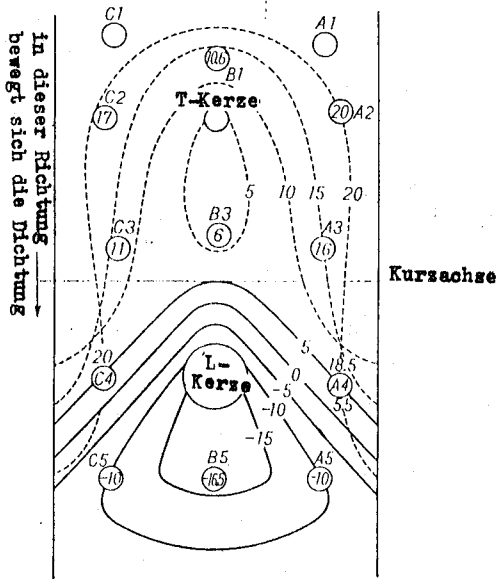


Abb. 12 Das angenommene Bild der Flammenausbreitung

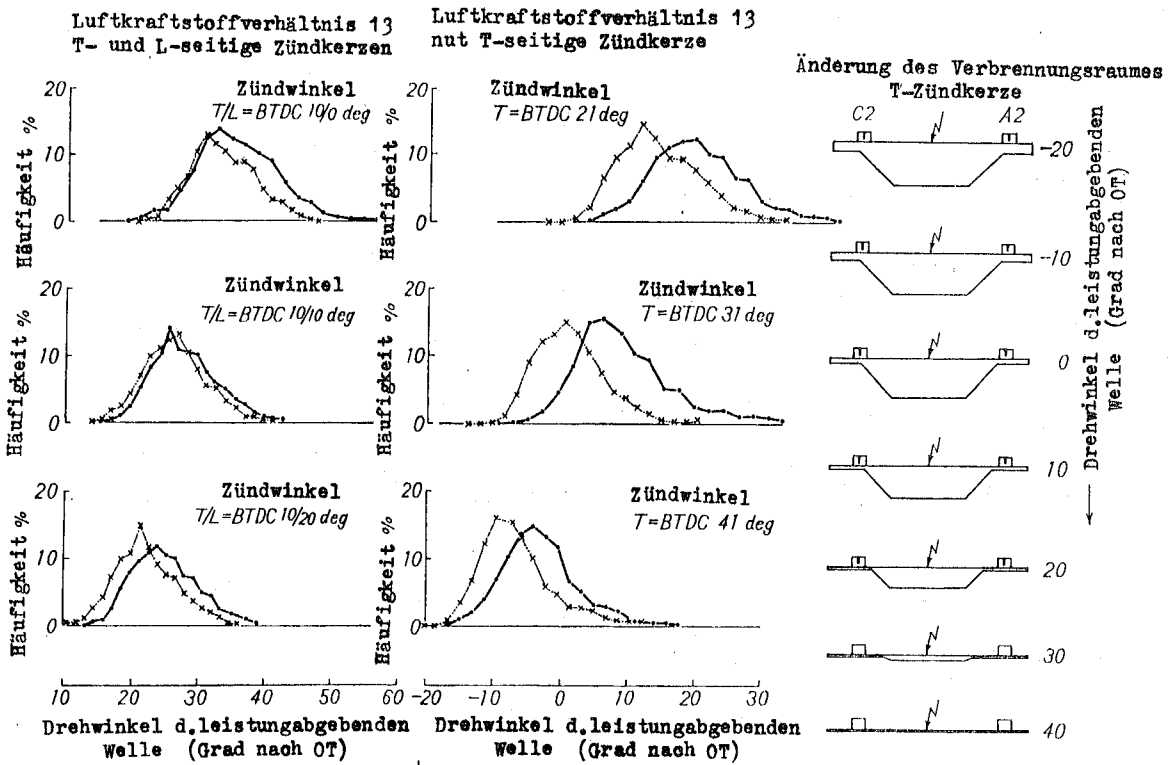


Abb. 13 Die Änderung des Zündwinkels und der Zustand der Flammenankunft

der 2 Berge etwa folgendermaßen vorstellen: Die von der L-seitigen Zündkerze her kommenden Flammen breiten sich zwar einmal über die Ionenkerzen A4 und C4 nach der T-Seite hin aus, an der Stelle jedoch, wo der Verbrennungsraum an den beiden Enden der Verbrennungskammervertiefung ganz eng ist, wird die Ausbreitung der Flammen erschwert und außerdem werden die Flammen von der Strömung der von der T-Seite her strömenden Gase, deren Strömungsgeschwindigkeit höher ist als die Verbrennungsgeschwindigkeit, mitgerissen, und das noch nicht verbrannte Gasgemisch wird zurückgedrängt und die Flammenfläche (die Flammenebene?) geht über die Ionenkerzen A4 und C4 hinweg. Man kann sich leicht vorstellen, daß dieses Zurückdrängen des noch nicht verbrannten Gasgemisches der T-Seite etwa dadurch zum Ausdruck kommt, daß die Zeit nach dem Durchgang der von der L-Seite her kommenden Flammen nach und nach kürzer wird, je mehr sich der T-seitige Zündwinkel dem L-seitigen Zündwinkel nähert; zu diesem Schluß kommen wir auch, wenn wir uns die Abb.11 näher ansehen.

4.4 Die Ausbreitung der Flammen von der T-seitigen Zündkerze zu den Ionenkerzen der Lagen 1 und 2 hin

Zu den Ionenkerzen in diesem Teil hin gelangen, ohne Rücksicht darauf, welcher Art die Betriebsbedingungen sind, die von der L-seitigen Zündkerze her kommenden Flammen überhaupt nicht. Auch die von der T-seitigen Zündkerze her kommenden Flammen kommen nicht an, wenn nicht bis zu einem gewissen Grade der Zündwinkel vorverstellt worden ist. Man kann jedoch nicht sagen, daß der Zündwinkel der L-seitigen Zündkerze ganz und gar ohne Einfluß sei, mittelbar wirkt sich nämlich der Zündwinkel der L-seitigen Zündkerze in

einer Verfrühung der mittleren Flammenankunftszeit aus.

In der Abb.13 haben wir auf der linken Seite bei den T+L-Zündkerzen den Zündwinkel der T-Seite unverändert konstant gelassen und den Zündwinkel der L-Seite vorgerückt, die sich dabei ergebende Flammenankunft bei den Ionenkerzen A2 und C2 sind in der Abbildung dargestellt. Wie wir aus dieser Abbildung ersehen, wird beim Vorrücken des L-seitigen Zündwinkels die Flammenankunftszeit jeweils nur ganz geringfügig früher. Der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß die Ausdehnung der Gase der L-Seite die Geschwindigkeit der T-seitigen Gase verringert, und daß sich daraus wahrscheinlich eine Erleichterung der Verbrennung dank dem höheren Druck und der höheren Temperatur des Gasgemisches ergibt. Die rechte Seite der Abb.13 zeigt die Diagramme, die wir erhalten haben, wenn nur die eine T-seitige Zündkerze vorhanden war. Im Falle nur der einen T-seitigen Zündkerze gelangen die Flammen zu den Ionenkerzen A2 und C2 von dem Augenblick an hin, wo der Zündwinkel der T-seitigen Zündkerze 21° vor OT liegt; wenn der Zündwinkel der T-seitigen Zündkerze nicht um mindestens 10° weiter vorgerückt ist, als im Falle der T+L-Zündkerzen, kommen die Flammen nicht an. Wahrscheinlich hängt dies auch mit dem Einfluß der Verbrennung der L-seitigen Gase zusammen.

Die Abb.14 zeigt den Zustand der Flammenankunft an den Ionenkerzen A1, B1 und C1. Hierbei wird genau in der gleichen Weise wie auch bei den Ionenkerzen A2 und C2 ein Einfluß der L-seitigen Zündkerze beobachtet. Die Art und Weise, wie die Flammen zu den in den Bereichen 1 und 2 gelegenen Ionenkerzen kommen, ist gänzlich verschieden von

Tafel 12 Der Zündwinkel und die prozentuale Wahrscheinlichkeit der Flammenankunft (%)

nut T-Kerze BTDC deg	21	31	41
A 1	5%	50%	100%
B 1	10	70	100
C 1	10	60	100
A 2	20	85	100
C 2	25	98	100

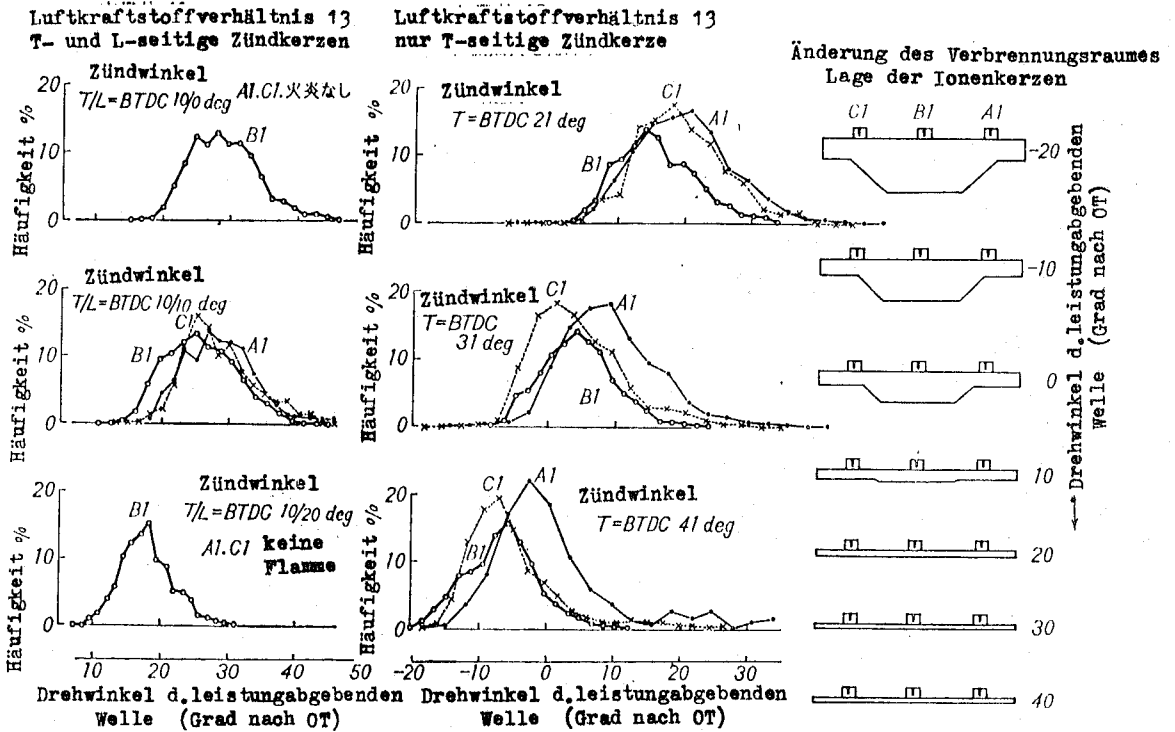


Abb. 14 Die Änderung des Zündwinkels und der Zustand der Flammenankunft

den anderen Ionenkerzenbereichen, denn hier kommen die Flammen nicht bei jedem Arbeitszyklus an, sondern wir haben hier den Zustand, daß mehrere Arbeitszyklen hintereinander überhaupt keine Flammen ankommen. Wenn wir uns diese Verhältnisse im Hinblick auf den Zündwinkel näher ansehen, dann kommen wir zu den in der Tafel 12 zusammengestellten Ergebnissen. Aufgrund dieser in der Tafel 12 zusammengestellten Werte können wir sagen, daß die Flammen mit vorrückendem Zündwinkel immer leichter eintreffen, und wenn wir die beiden Ionenkerzenbereiche 1 und 2 miteinander vergleichen, dann können wir sagen, daß die Flammen bei den im Bereich 2 gelegenen Ionenkerzen leichter eintreffen.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen über die Charakteristik der bei den einzelnen Ionenkerzen eintreffenden Flammen können wir wie folgt zusammenfassen:

1. Der Verbrennungszustand auf der "leading"-Seite der Verbrennungskammer ist außerordentlich gut. Dort ist die Unterstützung von der Form der sich auf den Kreiskolben befindenden Vertiefung her gar nicht mehr so dringend notwendig.
2. Die Ausbreitung der Flammen in der Querrichtung ist im allgemeinen nicht gut. Dies gilt ganz besonders von der "trailing"-Seite.
3. Wenn nur eine T-seitige Zündkerze oder nur eine L-seitige Zündkerze vorhanden sind, haben wir doch die gleiche Schwankungscharakteristik der Flammen wie bei Vorhandensein der T+L-Zündkerzen.

4. Bei Vorhandensein zweier Zündkerzen, einer auf der "trailing"-Seite und einer auf der "leading"-Seite, ergeben sich für den zwischen den beiden Zündkerzen liegenden Bereich besondere Verhältnisse, weil hier die Flammen von beiden Zündkerzen her eintreffen. Ob wir hierdurch eine Verbrennung in der gewünschten Richtung bekommen oder nicht, läßt sich zwar aufgrund des Indikatordiagrammes nicht beurteilen, es läßt sich jedoch kaum denken, daß man hierdurch schlechtere Ergebnisse erhält.

5. Zu dem vor der "trailing"-seitigen Zündkerze und in ihrer unmittelbaren Nähe liegenden Bereich ist die Ausbreitung der Flammen nicht zuverlässig. Im Hinblick auf diesen Punkt ist eine positive Verbesserung, die sich auf die Form der Verbrennungskammer, auf die Lage der Zündkerzen, auf das Zündverfahren usw. beziehen müßte, unbedingt erforderlich. Bei unseren Versuchen sind jedoch die Flammen nur von der Läufergehäuseseite her beobachtet worden, vielleicht ließe sich durch Signale von der Kreiskolbenseite her nachprüfen, ob nicht doch die Flammen auch auf der "trailing"-Seite zuverlässig ankommen.

Wie bereits unter 5. gesagt, haben wir in dem vorliegenden Bericht zwar einige Ergebnisse mitgeteilt, die wir bei Befestigung von Ionenkerzen an der Läufergehäuseseite erhalten haben, wenn wir jedoch in Zukunft die Form der Verbrennungskammer im Hinblick auf die Flammenausbreitung untersuchen wollen, dann muß sich eine solche Untersuchung auch auf eine Beobachtung von der Kreiskolbenseite her erstrecken; wir sind eifrig dabei, auch die mit einer derartigen Meßeinrichtung verknüpften technischen Probleme zu lösen

und Versuchsergebnisse zu sammeln.

6. Schlußwort

Bei unserer Forschungsarbeit war es im Zusammenhang mit der Anbringung einer Vielzahl von Ionenkerzen im Läufergehäuse im Hinblick auf die Motorleistungskennlinien und auf die Abkürzung der Versuchszeit von größter Wichtigkeit, daß diese Kerzen eine möglichst kleine Bauform und eine möglichst hohe Dauerhaftigkeit besaßen. Wir möchten deshalb an dieser Stelle nicht versäumen, allen Herren der Firma N.G.K. für ihre Hilfsbereitschaft und für ihre tätige Mitwirkung bei der Herstellung der Ionenkerzen, sowie auch allen Herren der Kreiskolbenmotorabteilung unserer eigenen Firma unseren herzlichsten Dank auszusprechen.

Literaturhinweise

- 1) S.Ohigashi, Y.Hamamoto, G.Ono: Statistical Method Evaluating Fluctuation of Engine Performance, 11.Internationaler Automobiltechnischer Kongreß 12.-16.Juni 1966 in München.
- 2) Donald J.Patterson: Cylinder Pressure Variations, A Fundamental Combustion Problem, Automotive Engineering Congress Detroit, Michigan. 10.-14.Januar 1966.
- 3) Shelly Curry: A Three-Dimensional Study of Flame Propagation in a Spark Ignition Engine, S.A.E. Paper Nr.452-B. Januar 1962.
- 4) Yonkil Kim: Der Betriebszustand der Benzinmotoren für Kraftfahrzeuge und die elektrische Leitfähigkeit der Flammen, Zeitschrift Jidosha Gijutsu, Bd.21, Heft Nr.10, Oktober 1967.
- 5) Kenichi Yamamoto u.a.: Eine experimentelle Untersuchung der Verbrennung in einem NSU-Wankel-Kreiskolbenmotor, Zeitschrift Nihon Kikai Gakkai Shi, Bd.70, Heft Nr.581, Juni 1967 (deutsche Übersetzung vorhanden).