

8. Zündverzugsmessung und Kraftstoffbewertung

Von Dipl.-Ing. E r n s t

Aus dem Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart

Meßverfahren

Für die Aufnahme des Zündverzugs im Motor kommen folgende Meßverfahren in Betracht:

1. Messung des Druckverlaufs
2. Aufnahme der Flammenjonisation
3. Aufnahme der Ausstrahlung des Brennraums
4. Lichtbildaufnahmen der Verbrennung.

Die Druckanzeige ist für einen einheitlichen Brennraum weitgehend unabhängig vom Meßort, sofern das Meßgerät unmittelbar am Brennraum angesetzt werden kann. Die Aufnahme des Jonisationsstroms beim Durchgang durch die Flamme ist eine ausgesprochen örtliche Messung, also wesentlich abhängig vom Meßort. Die Aufnahme der Ausstrahlung des Brennraums ist von der Form und der Lage des durch die Aufnahmevorrichtung gebildeten Sichtkegels abhängig. Schwierigkeiten bereitet hier mitunter die Schwächung der Empfindlichkeit durch Verrussen des Aufnahmefensters. Durch geeignete Ausbildung und Anordnung des Dämpfers kann das Verrussen weitgehend verzögert werden. Für Lichtbildaufnahmen gelten im wesentlichen die Bedingungen der Strahlungsmessung.

Zur Klärung der Verwendungsmöglichkeiten der einzelnen Meßverfahren wurden an einem Lanova-Einzyliermotor Zündverzugsbestimmungen durchgeführt, wobei hauptsächlich die Strahlungsmessung mit Fotozellen eingehender untersucht wurde. Die Fotozellen wurden an drei verschiedenen Stellen des Brennraums gegen die Speichermündung, gegen den Speicher selbst und an der Auslaßseite des Brennraums auf die Einspritzdüse zu angesetzt (Bild 1).

Im allgemeinen tritt der kleinste Zündverzug und daher die erste Entzündung des Kraftstoffs im Hauptbrennraum in der Gegend der Speichermündung auf (Bild 2). Der Kraftstoff trifft hier auf seinem Weg von der Einspritzdüse her durch den Brennraum hindurch auf die heiße Mündungszone des Speichers, wo er sich entzündet. Begünstigt durch die Luft- und Kraftstoffstrahlbewegung in Richtung auf den heißen Speicher schlägt die Flamme zunächst in diesen hinein und erst dann greift die Entflammung auf den Hauptbrennraum über. Der Verbrennungsablauf wird wesentlich vom Spritzbeginn beeinflusst. Bei frühem Spritzbeginn greift die Entflammung sehr rasch um sich, die Einsatzpunkte an den verschiedenen Meßstellen liegen dichter beieinander. Bei später Einspritzung dagegen breitet sich die Entflammung deutlich langsamer aus.

Es zeigt sich also, daß die Genauigkeit der Messung wesentlich davon abhängt, an welcher Stelle des Brennraums der Zündverzug bestimmt wird.

Allgemein läßt sich weiter feststellen, daß aufeinanderfolgende Umsetzungsvorgänge trotz gleicher äußerer Bedingungen erhebliche Ungleichförmigkeiten im Verbrennungsablauf aufweisen können.

Für den Lanova-Luftspeichermotor (Bild 3) zeigen 2 Aufnahmen der Ausstrahlung des Brennraums bei gleichen motorischen Betriebsverhältnissen, daß sowohl der Höchstwert als auch der Verlauf der Ausstrahlung deutliche Unterschiede aufweisen. Der Verlauf des Verbrennungsdrucks ist wesentlich gleichförmiger, da er sich aus Einzelvorgängen zusammensetzt, die sich teilweise wieder ausgleichen.

Es zeigt sich also weiter, daß man Gesetzmäßigkeiten für den Zündverzug im motorischen Betrieb zweckmäßig durch Mittelwertbildung feststellt.

Verbrennungsverfahren

Die Zündverzugsbestimmung insbesondere für die Zwecke der Kraftstoffprüfung wird im allgemeinen bei unmittelbarer Einspritzung durchgeführt. Die einzelnen motorischen Verbrennungsverfahren zeigen jedoch bekanntlich unterschiedliches Verhalten beim Anlassen und beim Betrieb des Motors, ebenso auch verschiedene Kraftstoffempfindlichkeit. Von der unterschiedlichen Ausbildung des Brennraums muß man hauptsächlich insofern einen Einfluß auf den Zündverzug erwarten, als bei gleicher Gesamtverdichtung Temperatur und Druck an der Zündstelle bei den einzelnen Verfahren verschieden sein können. Bei Untersuchungen am FKFS-Dieselprüfmotor ergab sich jedoch (Bild 4), daß für ein handelsübliches Gasöl mit drei verschiedenen Verbrennungsverfahren bei gleichem Spritzbeginn über dem ganzen Verdichtungsgebiet Unterschiede in Zündverzug von nur 1°KW auftraten.

Bei Vergleichsmessungen mit Kraftstoffen verschiedener Herkunft von größerer und geringerer Zündwilligkeit wurden größere Unterschiede bis zu 2°KW festgestellt. Die kleineren Zündverzüge wurden dabei vom Vorkammer- und Luftspeicherverfahren erreicht.

Das Verbrennungsverfahren hat demnach auf den Zündvorgang einen verhältnismäßig kleinen Einfluß, der jedoch bei den einzelnen Kraftstoffarten verschieden ist. Die auf eine Verkürzung des Zündverzugs hinwirkenden Eigenschaften werden durch entgegengesetzte Einflüsse weitgehend ausgeglichen. Sind feststellbare Unterschiede vorhanden, so ergeben stets die Verfahren mit unterteiltem Brennraum die kleineren Zündverzüge.

Einfluß inerte Gase

Im allgemeinen sind in der verdichteten Frischluft des Brennraums nur geringe Mengen bereits verbrennter Gase enthalten. Diese Anteile können jedoch bei schlechtem Zustand des Motors größer werden. Der Abgasanteil ist beim Zweitaktmotor größer als beim Viertaktmotor. Bei unterteilten Brennräumen enthält der ab-

geschnürte Teil ebenfalls mehr Abgas, da er nicht genügend ausgespült wird.

Eine versuchsmäßige Veränderung der Einzelanteile des angesaugten Sauerstoff-Stickstoffgemisches ergab, daß von einem Sauerstoffgehalt von mehr als 50 % an nur eine geringe Abnahme des Zündverzugs zu erwarten ist, während unterhalb 10 % Sauerstoffgehalt der Zündverzug stark ansteigt. Die Wirksamkeit der einzelnen Gase ist unterschiedlich. Durch Zusatz von Kohlensäure zur angesaugten Luft wird gegenüber Stickstoff ein erheblich steilerer Anstieg des Zündverzugs erreicht.

Kraftstoffbewertung

Die Zündwilligkeit des Kraftstoffs wird bekanntlich mit Hilfe des Zündverzugs bewertet. Im allgemeinen erfolgt diese Bewertung bei einem Betriebszustand, also auch bei einer Verdichtung. Es zeigt sich nun, daß die Zündwilligkeit über ein größeres Druck- und Temperaturgebiet für verschiedene Kraftstoffe einen unterschiedlichen Verlauf ergeben kann. Damit können sich bei der Bewertung des gleichen Kraftstoffes bei verschiedenen Verdichtungen auch verschiedene Cetenzahlen ergeben, da die Bewertung im Vergleich mit Eichkraftstoffen erfolgt. Bei einer praktischen Auswertung dieses Verhaltens für die Kraftstoffprüfung erhält man in der vorliegenden Darstellung (Bild 6) für jeden Kraftstoff über den Verlauf der Verdichtung Kennlinien, denen die jeder Verdichtung entsprechenden Cetenzahlen entnommen werden können.

Bei Verwendung eines Kraftstoffs im Ottomotor wird seine Bewertung nach der Klopfestigkeit durchgeführt. Die allgemein gebräuchlichen Prüfverfahren bestimmen hierzu die Klopfgrenze unter festgelegten Bedingungen mit Hilfe des Springstabs.

Nach den heute vorliegenden Erkenntnissen ist das Klopfen als reiner Selbstzündungsvorgang in Form einer Druckzündung anzusehen. Die Klopfestigkeit des Kraftstoffs kann daher auch als Widerstand gegen die Selbstzündung oder als Zündträgheit und damit als begriffsgleich mit der Zündwilligkeit aufgefaßt werden.

Auf Grund dieser Erkenntnisse ist es naheliegend, auch den Otto-Kraftstoff nach dem Druck-Zündungsverfahren, also unmittelbar nach seiner im Zündverzug sich ergebenden Zündwilligkeit zu bewerten.

Das Ergebnis einer Meßreihe mit Mischungen aus Eichbenzol und -Benzin (Bild 7), bei der zunächst der Zündverzug als Cetenzahl und dann aus dem vorher festgestellten Zusammenhang zwischen Ceten- und Oktanzahl die zugehörige Oktanzahl ermittelt wurde, zeigt im Vergleich zu den nach dem Springstabverfahren im IG-Prüfmotor sich ergebenden Werten eine brauchbare Übereinstimmung beider Meßverfahren. Die Unterschiede im unteren Teil des Verlaufs sind wahrscheinlich auf Eigenarten der Springstabmessungen zurückzuführen. Die aus dem Zündverzug ermittelte Klopfestigkeit liegt um 1 - 2 Einheiten der Oktanzahl höher, da sich bei der angewandten Prüfweise die höhere Verdampfungswärme des Ottokraftstoffs im Sinne einer Oktanzahlerhöhung auswirkt.

Bei Anwendung dieses Verfahrens für Otto-Kraftstoffe ist es zweckmäßig, zur Verhinderung von Meßfehlern und Störungen durch Dampfblasenbildung eine Benzineinspritzanlage oder eine Kraftstoffkühlanlage einzubauen.

Das vorgeschlagene Verfahren kann noch keinen Anspruch darauf erheben, den gesamten Bereich der flüssigen Kraftstoffe zu umfassen, da ausreichende Erfahrungsgrundlagen noch nicht vorliegen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen jedoch, daß es aussichtsreich erscheint, in Anbetracht der Vorteile gegenüber den üblichen Prüfungen, die Anwendung dieses Verfahrens weiter zu klären.

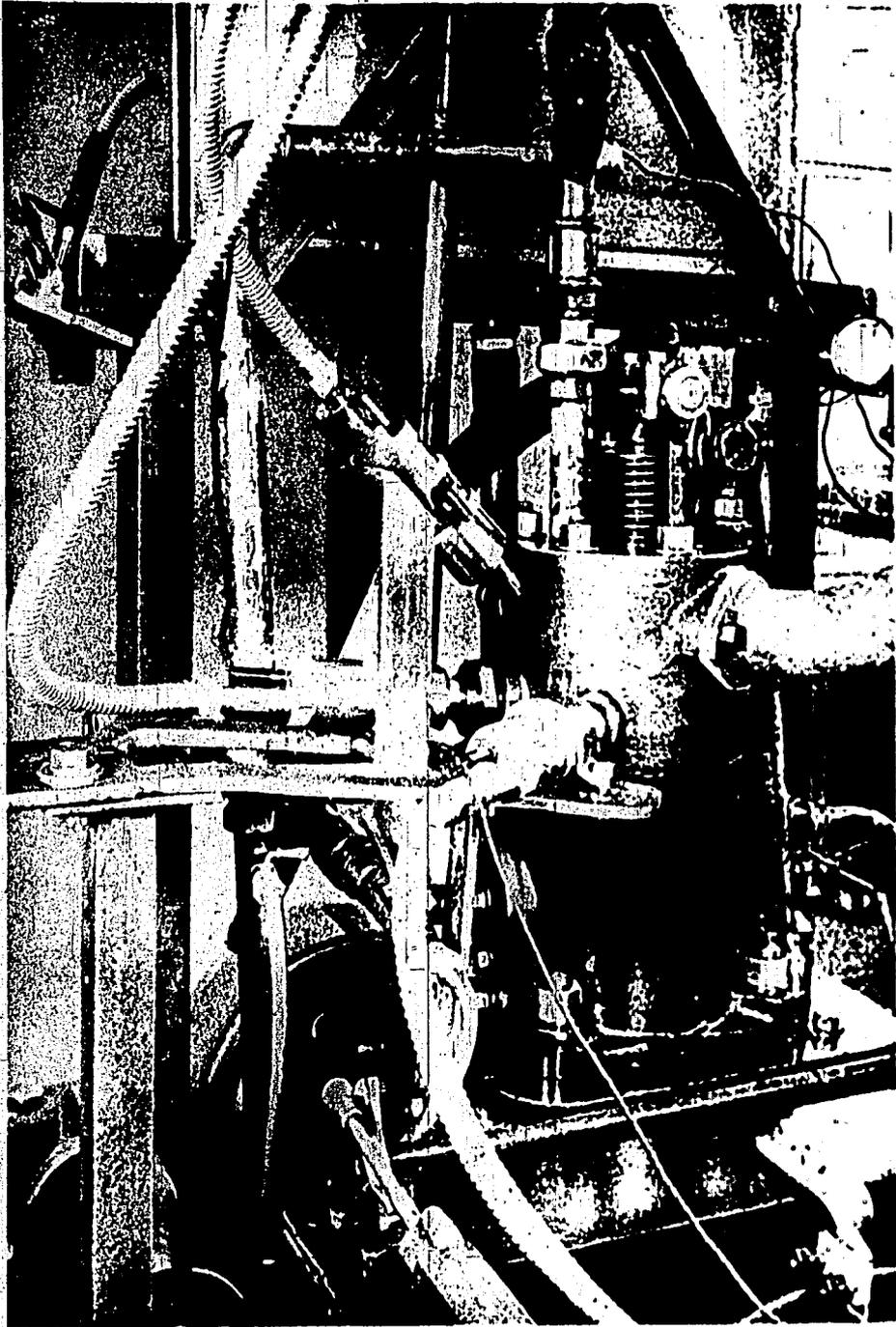


Bild 1. Anordnung der Photozellen am Lanova-Motor.

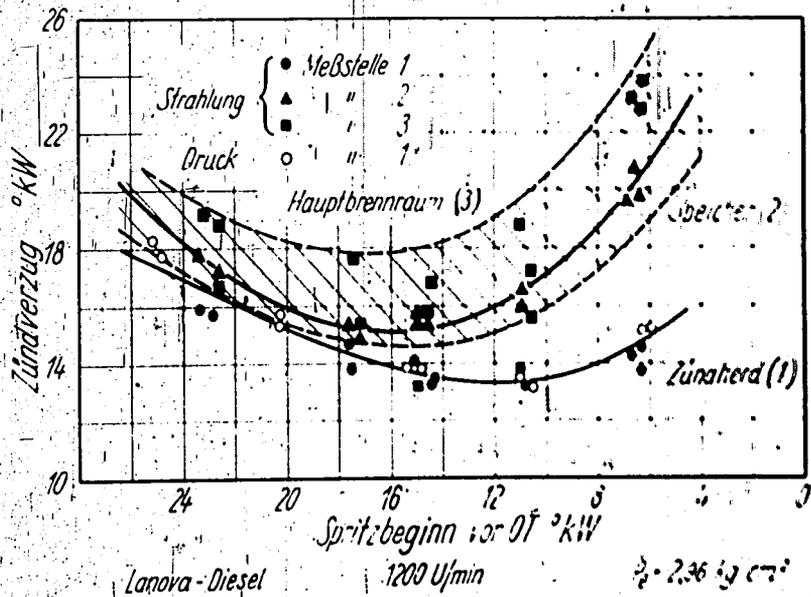


Bild 2. Zündverzug aus Druck- und Strahlungseinsatz.

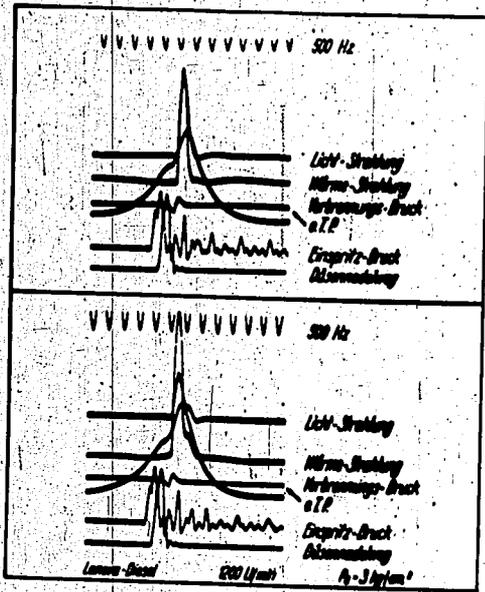


Bild 3. Ungleichförmigkeiten im Verbrennungsablauf bei gleichen äußeren Bedingungen.

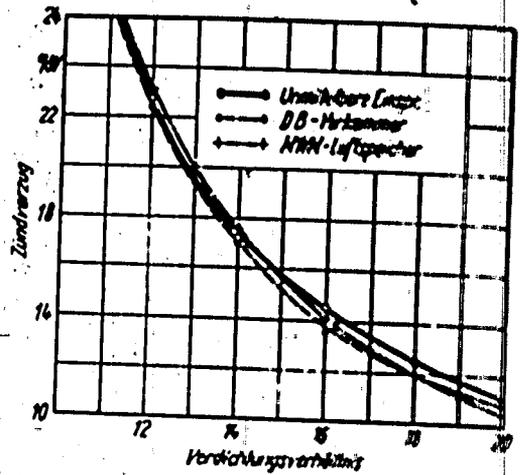


Bild 4. Zündverzögerung und Verbrennungsverfahren.

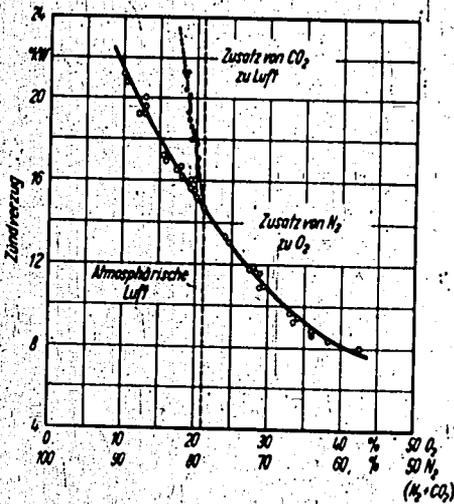


Bild 5. Zündverzögerung und Zusammensetzung der Luft.

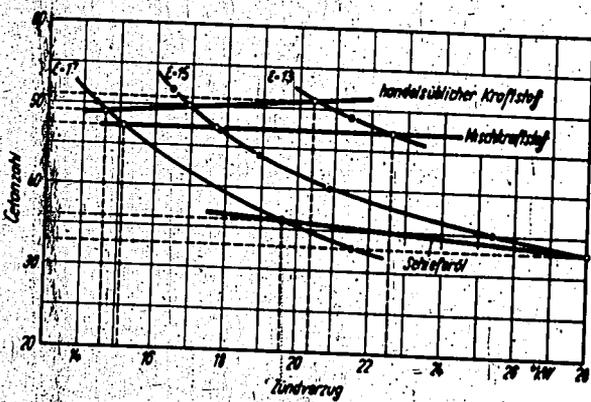


Bild 6. Kraftstoffbewertung bei verschiedener Verdichtung.

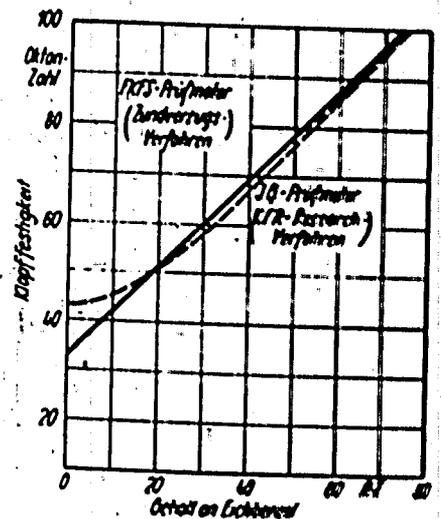


Bild 7. Oktanzahlbestimmung nach dem Zündverzögerung.