

# Über die Zusammenhänge zwischen Selbstzündungs- und motorischen Verbrennungsvorgängen

Von Dr. Carl Zerbe und Franz Eckert

(Aus dem chemischen Institut der Universität Kiel)

## I. Teil.

### Selbstzündungseigenschaften und Klopfvorgänge.

Über das Wesen des Klopfvorganges ist man bis heute noch zu keiner einheitlichen Auffassung gekommen. Zahlreiche Arbeiten bezeichnen die Selbstzündungstemperatur des Brennstoffes als das sicherste Kennzeichen für die Klopfneigung, so daß man das Klopfen als einen Vorgang ansehen könnte, der dem einer Selbstzündung in der Maschine verwandt ist. Infolgedessen setzt sich die Meinung, daß die Selbstzündungseigenschaften eines Treibstoffes für seine motorische Eignung von außerordentlicher Bedeutung sind, immer mehr durch.

Wir haben schon früher<sup>1)</sup> über die Faktoren, welche die Selbstzündung von Treibstoffen beeinflussen, berichtet; wir stellten fest, daß die Selbstzündung in erster Linie von der Temperatur, der Sauerstoffdichte der Umgebung sowie der chemischen Konstitution des Treibstoffes abhängt und zeigen nun im folgenden:

1. Inwieweit diese in einem Zündwertprüfer nach Jentsch gemachten Beobachtungen auf die Vorgänge im Motorenzylinder übertragen werden können, und

2. inwieweit die Möglichkeit besteht, mit Hilfe des genannten Gerätes verschiedene Treibstoffe zu bewerten.

Der Zündwertprüfer von Jentsch besteht aus einem elektrisch beheizbaren Ofen mit mehreren Kammern aus V<sub>2</sub>A-Stahl, in denen die Selbstzündung des betreffenden Brennstoffes festgestellt wird. Durch ein Feinstellventil kann aus einer Bombe reiner Sauerstoff in der erforderlichen Menge zugeführt werden. Die Sauerstoffmenge wird durch einen geeichten Blasenähler kontrolliert.

Unter dem Selbstzündungspunkt (Szp) versteht man die niedrigste Temperatur ( $t_u$ ) bei der im reichlichen Sauerstoffstrom (gewöhnlich 300 bis 400 Blasen in der Minute) noch eine Selbstzündung eintritt.

Mit oberem Zündwert ( $Z_u$ ) wird die Temperatur bezeichnet, bei der ohne Sauerstoffzuführung gerade noch Zündung eintritt.

Den unteren Zündwert ( $Z_u$ ) erhält man durch Division der niedrigsten Selbstzündungs-

temperatur durch die um 1 vermehrte, zu seiner Bestimmung gerade notwendige Sauerstoffblasenzahl/min.

Mit Kennzündwert ( $Z_k$ ) wird der Quotient aus der Differenz  $t_o - t_u$  und der um 1 vermehrten Sauerstoffblasenzahl für den unteren Zündwert ( $b_u$ ) bezeichnet, also

$$Z_k = \frac{t_o - t_u}{b_u + 1}$$

Der Spaltvorgang, der jede Selbstzündung einleitet, ist von der thermischen Aufspaltbarkeit eines Stoffes, und diese wiederum von seiner chemischen Konstitution abhängig. Das Ausmaß dieser Zerfallsneigung läßt sich dann durch die zur Selbstzündung erforderliche Temperaturhöhe und die Sauerstoffdichte der Umgebung zum Ausdruck bringen und durch eine Selbstzündungskurve für den ganzen Zündbereich graphisch festlegen (Abb. 1).

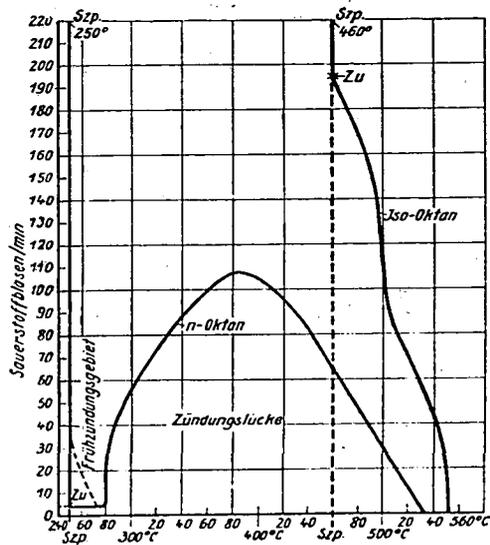


Abb. 1 Selbstzündungskurven v. Okтан u. Iso-Okтан

<sup>1)</sup> Ztschr. angew. Chemie 45, 594 (1932).

## Theoretische Zusammenhänge.

### 1. Chemische Konstitution.

Von den flüssigen Treibstoffen aus der Reihe der Paraffine, Naphthene und Aromaten zünden die kettenförmigen wasserstoffreichen Aliphaten leichter, d. h. bei niedrigerer Temperatur und geringerer Sauerstoffkonzentration als die wasserstoffärmeren Aromaten. Die Selbstzündungspunkte der im Aufbau cyclisch, im Wasserstoffgehalt aber den Aliphaten ähnlichen Naphthene liegen zwischen denen der beiden anderen Kohlenwasserstoffreihen. Wir zeigen, daß die bisher für diese Erscheinung als allein maßgebend angesehene „Wasserstoffzahl“ nur dann eindeutig leitet, wenn man gleichzeitig die chemische Konstitution berücksichtigt. So setzt z. B. die konjugierte Doppelbindung die Selbstzündungstemperatur jedes Stoffes herab, worauf auch die geringe Zündneigung der Aromaten zurückzuführen ist. Ähnlich wirkt bei Aliphaten eine bestimmte Kettenverzweigung des Moleküls, wie Zündkurven von n-Oktan und Iso-Oktan (2,2,4-Trimethylpentan) zeigen (Abb. 1).

Wie gut der Kennzündwert die Zusammenhänge zwischen Konstitution und thermischer Aufspaltbarkeit bezeichnet, die die Klopfneigung von Leichtkraftstoffen am besten kennzeichnen<sup>2)</sup>, lassen die nachstehenden Gegenüberstellungen erkennen:

	Kennzündwert:
Benzol .....	0,19
Toluol .....	0,24
Xylol .....	0,38
Hexamethylbenzol .....	0,68
Pentan .....	3,14
Hexan .....	5,35
Heptan .....	23,0

Die Aromaten haben den niedrigsten (unter 1 liegenden), die Aliphaten dagegen den höchsten Kennzündwert. Auch die leichtere Aufspaltbarkeit von Aromaten mit langen Seitenketten und von Aliphaten mit großer Kettenlänge prägt sich im Kennzündwert gut aus. Löst man z. B. bei Aromaten durch Hydrierung die konjugierte Doppelbindung, so nimmt auch der Kennzündwert aliphatahnlichen Charakter an.

	Kennzündwert:
Benzol .....	0,19
Cyclohexadien .....	0,35
Cyclohexan .....	1,6
Cyclohexan .....	3,4

Festigt man andererseits in Aliphaten durch gewöhnliche oder konjugierte Doppelbindung das Molekül, so nähert sich auch der Kennzündwert mehr dem der zündfesteren Aromaten.

	Kennzündwert:
Hexan . . .	5,35
Hexylen . . .	3,1 (1 Doppelbindung)
Diallyl . . .	1,17 (2 Doppelbindungen)
Isopren . . .	0,39 (1 konjugierte Doppelbindung)

Auch der sterische Einfluß auf die Zündneigung kommt durch den Kennzündwert zum Ausdruck (z. B. Kennzündwert des n-Oktans 56, der des Iso-Oktans 0,45).

Die Zusammenhänge zwischen chemischer Konstitution und Selbstzündung entsprechen den Erfahrungen über die Klopfneigung von Leichtkraftstoffen in Motoren; denn es ist bekannt, daß sich die leicht selbstzündenden Paraffin-Kohlenwasserstoffe mit geraden Ketten, und zwar mit steigendem Molekulargewicht am günstigsten verhalten; Stoffe mit geringer Zündneigung dagegen, wie Afomaten, aliphatische Alkohole sowie Paraffine mit konjugierter Doppelbindung<sup>2)</sup> oder mit verzweigten Ketten (Iso-Oktan) zeigen entsprechend ihrer geringen Selbstzündungsneigung auch hohe Klopfestigkeit. Naphthene stehen zufolge ihres teils aliphatischen, teils aromatischen Charakters, wie bei der Selbstzündung, auch bezüglich der Klopfestigkeit zwischen beiden Gruppen. Zündneigung und Klopfestigkeit sind somit auf konstitutioneller Basis eng miteinander verknüpft.

### 2. Temperatur und Sauerstoffkonzentration.

Mit steigender Temperatur nimmt der zur Selbstzündung eines Stoffes erforderliche Sauerstoffbedarf gesetzmäßig ab; allerdings existieren bei leichtspaltbaren Aliphaten und Naphthenen oberhalb des Selbstzündungspunktes Temperaturintervalle, bei denen diese Gesetzmäßigkeit ausfällt, was sich in der Zündkurve in-Form einer Zündungslücke (Abb. 1) offenbart. Diese Zündungslücke ist so zu deuten, daß in ihrem Temperaturbereich ein Maximum der thermischen Aufspaltung erreicht ist, so daß die zugeführte Sauerstoffmenge zu gering ist, um mit dem plötzlich in reichlicher Menge freiwerdenden Spaltprodukten noch ein zündfähiges Gemisch bilden zu können. Es liegt in der Zündkammer dann ein nichtzündfähiges Gemisch vor, wie sie der Motorenfachmann als „zu fett“ bezeichnet.

Da auch im Motorenzylinder die Temperatur und Sauerstoffdichte in der Raumeinheit mit der Kompression steigt, so bestätigt die Tatsache, daß die Klopfneigung der Treibstoffe mit der Kompression zunimmt, an sich schon die im Zündwertprüfer zwischen Temperatur und Sauerstoffkonzentration beobachteten Zusammenhänge. Die Beobachtung ist jedoch nicht eindeutig, da durch die Kompression neben der Sauerstoffdichte auch Druck und Temperatur verändert wird.

Wir haben deshalb Versuche im Motor durchgeführt, wobei wir einmal unter gleichbleibendem Druck und gleichbleibender Temperatur durch Zuführung von Sauerstoff in die Ansaugleitung des Versuchsmotors nur die Sauerstoffkonzentrationen änderten und dann

<sup>2)</sup> Fritz Hoffmann und Mitarbeiter. Brennstoffchemie 14, 326 (1939).

Jentsch  
Zündverzug  
(s)

Jentsch  
Vergleichszahl

Differenz  
Vergleichszahl—  
C.F.R.-Oktanzahl

2,7  
2,9  
3,4  
4,1  
3,5  
3,9  
4,6  
5,4  
3,9  
6,0  
4,5  
3,0  
5,1  
4,8  
6,5  
>10  
>10  
>10  
3,2

88  
54  
57  
66  
64  
65  
70  
75  
69  
82  
81  
71  
80  
72  
92  
98  
90  
92  
71

+ 7  
+ 8,5  
+ 5  
+ 9  
+ 7  
+ 2,5  
+ 2,3  
+ 6,7  
+ 0,5  
+ 8,4  
+ 6,5  
- 3,5  
+ 4,5  
- 3,5  
+ 5,4  
+ 5  
- 5  
- 4  
- 2

8,2  
5,2  
4,1  
6,5  
4,5  
6,6  
4,8  
3,6  
6,2  
7,2  
7,2  
6,0

61,5  
66  
66  
60  
63  
60  
66  
67  
60,5  
62,5  
72  
79

- 3,5  
- 1,5  
- 1,5  
- 7  
- 4,5  
- 7,5  
- 3,5  
- 3,5  
- 1,5  
- 9,5  
- 3,5  
- 4

297 A

Die Einbeziehung des Zündverzuges bei der Ermittlung der Vergleichszahlen (Aufstellung des Nomogramms) ergab die nebenstehenden Werte. Besonders bei den Kraftstoffen der Gruppe 2 ist eine weitgehende Annäherung an die motorischen Oktanzahlen erfolgt.



bei gleichbleibendem Druck und gleichbleibender Sauerstoffdichte durch Änderung der Kühlung nur die Temperatur variierten. Die Ergebnisse, die später ausführlich dargelegt werden, waren kurz folgende:

Variert man bei gleichbleibendem Druck, gleichbleibender Temperatur und unter Konstanthaltung der sonstigen Arbeitsbedingungen die Sauerstoffdichte, so wird durch Steigerung der Sauerstoffdichte die Klopfestigkeit jedes Brennstoffes herabgesetzt und zwar in einem Maße, daß selbst das klopfste Benzol Klopferscheinungen hervorruft, die bis zum Stillstand der Maschine getrieben werden können. Mit zunehmender Sauerstoffzufuhr tritt dabei zunächst eine Steigerung der Leistung unter Erhöhung des Zünddruckes auf. Von einer bestimmten Höhe der Sauerstoffkonzentration nimmt dann die Leistung trotz Steigerung des Zünddruckes wieder ab, da die mit der Kompressionssteigerung verbundene, die Leistung begünstigende Temperaturerhöhung fehlt. Man erreicht somit durch Sauerstoffzufuhr nicht ganz die Leistungshöhe, die man erzielt, wenn man dieselbe Sauerstoffkonzentration durch Kompressionssteigerung herbeiführt.

Führt man die Versuche bei steigender Kühlwassertemperatur durch, so kann man zwar die Leistung steigern, das Klopfen tritt jedoch entsprechend früher auf. Wenn auch diese Versuche die Verhältnisse im praktischen Betrieb nicht ganz wiedergeben (da hier die Sauerstoffmoleküle gewissermaßen in einem Polster von Stickstoff eingebettet sind, während bei unseren Versuchen das Stickstoffpolster fehlt), so zeigen sie trotzdem, daß Sauerstoffdichte und Temperatur die Klopfvorgänge im Motor grundsätzlich ebenso beeinflussen, wie die Selbstzündung im Prüfer. Die im Zündwertprüfer ermittelten Zahlen berechtigten somit — trotz Vernachlässigung des Druckes — zu bestimmten Rückschlüssen auf die Klopfneigung.

Der große Einfluß der Sauerstoffkonzentration auf die Klopfestigkeit ergibt sich praktisch übrigens auch aus der Tatsache, daß man durch vermehrte Brennstoffzufuhr infolge der damit verbundenen Sauerstoffverarmung des Explosionsgemisches ein nicht zu starkes Klopfen in der Regel beseitigen kann.

In einer Abhandlung über den Einfluß von Katalysatoren<sup>5)</sup> konnten wir zeigen, daß auch bei Gegenwart von Kontaktstoffen die Selbstzündung in erster Linie von der Temperatur und der Sauerstoffdichte abhängt, und daß die einzelnen Kontaktstoffe zwar eine in ihrem Ausmaße verschiedene, in ihrer Art jedoch gleiche und typische Kontaktwirkung in zweierlei Richtung ausüben: Bei viel Sauerstoff wirkt der Kontakt beschleunigend auf die Selbstzündung, d. h. der Selbstzündungspunkt sinkt. Führt man jedoch nur soviel Sauerstoff zu, wie ohne Kontakt bereits zur Zün-

dung ausreicht, so tritt in der Regel keine Zündung ein, d. h. die beschleunigende Wirkung des Kontaktes bleibt dann nicht nur aus, sondern schlägt in eine reaktionshemmende um, wie wir sie bei den Antiklopfmitteln kennen. Je nach der Sauerstoffmenge, die zur Verfügung steht, wirkt der Kontakt somit als „Peitsche“ oder als „Brems“. Die Beobachtung wird bereits praktisch im Motorenbetrieb verwertet<sup>6)</sup> und bestätigt ganz besonders die engen Zusammenhänge zwischen Selbstzündung und motorischer Verbrennung.

### Praktische Auswertung.

Die Klopfestigkeit eines Stoffes wird heute durch Vergleichsversuche an der Maschine bestimmt und durch die sogenannte Oktanzahl<sup>7)</sup> ausgedrückt, da alle anderen Untersuchungen, wie Siedeverlauf, Anilinpunkt, Flammpunkt usw. versagten.

Zu der nachfolgenden Feststellung, wie sich die einzelnen, die Selbstzündung von Kraftstoffen kennzeichnende Werte

- 1) Selbstzündungspunkt . . . (S<sub>zp</sub>)
- 2) Unterer Zündwert . . . (Z<sub>u</sub>)
- 3) Oberer Zündwert . . . (Z<sub>o</sub>)
- 4) Kennzündwert . . . . . (Z<sub>k</sub>)
- 5) Zündverzögerung . . . . . (w)

zu dieser Oktanzahl verhalten und wie sie sich als Wertzahl für die Klopfestigkeit von Leichtkraftstoffen verwerten lassen, wurden als Vergleichsmaterial herangezogen:

1. Kraftstoffe, deren Oktanzahl auf verschiedenen Prüfständen ermittelt wurde<sup>8)</sup>

2. Kraftstoffe, deren Oktanzahl nach der C. F. R.-Prüfmethode bestimmt wurde<sup>9)</sup>.

Da die Oktanzahl keine absolute Größe ist und von Arbeitsmethode und Prüfmotor stark abhängt, sollen die beiden Versuchsreihen getrennt diskutiert werden.

### Kraftstoffe des D. V. M.<sup>6)</sup>

Zu den D.V.M.-Versuchen wurden ganz verschieden zusammengesetzte handelsübliche Kraftstoffe verwendet. Die motorischen Klopfwertbestimmungen, ausgedrückt in Oktanzahlen, ergeben, daß selbst bei Motoren gleicher Bauart Unterschiede in den Oktanzahlen bis zu 12 Einheiten auftreten. Die Unmöglichkeit, selbst bei sorgfältigem fachmännischen Arbeiten nach einer verabredeten einheitlichen Methode für Prüf-

<sup>4)</sup> „Glückauf“ 965/82 (1932), Heft 43.

<sup>5)</sup> die Oktanzahl gibt die prozentuelle Menge Iso-Oktan an, die man n-Heptan zusetzen muß, bis das Gemisch die Klopfestigkeit des Versuchsstoffes erreicht hat.

<sup>6)</sup> Vergleichende Kraftstoffprüfung, durchgeführt auf Veranlassung des Deutschen Verbandes für die Materialprüfung der Technik (D. V. M.) s. Bericht Kf. 40/18 III der Stoffabteilung der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (D. V. L.) vom 19. 7. 1932.

<sup>7)</sup> die Kraftstoffproben wurden uns von der Rhonania-Ossag und der Derop zur Verfügung gestellt, wofür wir auch an dieser Stelle bestens danken.

<sup>8)</sup> Ztschr. f. angew. Chem. 46, 659 (1933).

motore verschiedener Konstruktion übereinstimmende Klopfwerte zu schaffen, beleuchtet die Schwierigkeiten, in einem Prüfmotor überhaupt Werte zu ermitteln, die dem Betriebsverhalten aller Kraftstoffe in allen Motorenarten\*) entsprechen.

Legt man bei den D.V.M.-Versuchen die errechneten Mittelwerte, als den tatsächlichen Verhältnissen am nächsten kommend, zugrunde, so ergeben sich der Größenordnung nach die mittleren Oktanzahlen der Zahlentafel 2.

Die in Berlin und in Kiel bei den Zündwertbestimmungen für den unteren Zündwert gefundenen Streuungen sind so gering (im Mittel 0,4), daß die gute Reproduzierbarkeit der Zündwertmethode außer Zweifel steht.

**Selbstzündungspunkt.**

Zu Aussagen über die Klopfestigkeit läßt sich der Selbstzündungspunkt nur bei Kraftstoffen von einheitlicher chemischer Zusammensetzung heranziehen, da die Komponenten der Gemische die Klopfestigkeit wesentlich erhöhen können, ohne daß sich der Selbstzündungspunkt nennenswert ändert (s. Zahlentafel 1).

**Unterer Zündwert.**

Der Einfluß der Gemischkomponenten auf die Selbstzündung wird zahlenmäßig besser durch den unteren Zündwert erfaßt, da durch ihn auch der für jeden Stoff erforderliche Bedarf an Zündungssauerstoff zum Ausdruck kommt.

Zahlentafel 1.

Stoff	Selbstzündungspunkt in °C	Sauerstoffbedarf in Blasen/min.	Unterer Zündwert
Benzin A . . . . .	295	28	10,2
Benzin A +20% Benzol	295	38	7,55
Benzin A +40% Benzol	295	46	6,25
Benzin B . . . . .	300	42	7,0
Benzin B +20% Benzol	305	54	5,55
Benzin B +40% Benzol	310	72	4,3
Benzin C . . . . .	300	54	5,45
Benzin C +20% Benzol	315	68	4,57
Benzin C +40% Benzol	320	78	4,05

Man erkennt dabei auch, daß Benzolzusatz auf die einzelnen Benzine sehr unterschiedlich wirkt.

Vergleicht man bei den D.V.M.-Benzinen die mittleren Oktanzahlen mit den unteren Zündwerten, so entspricht die Abnahme des unteren Zündwertes dem Anstieg der Oktanzahl nicht überall (s. Zahlentafel 2), was darauf zurückzuführen ist, daß durch den unteren Zündwert zwar die für die Zündneigung wichtigen Faktoren (Temperatur und Sauerstoffbedarf) erfaßt werden, nicht aber die für die Klopfneigung wichtige Zerfallsneigung.

\*) Insbesondere auch in den durch bestimmte Zerklüftung des Verbrennungsraumes „klopfest“ gemachten Motoren.

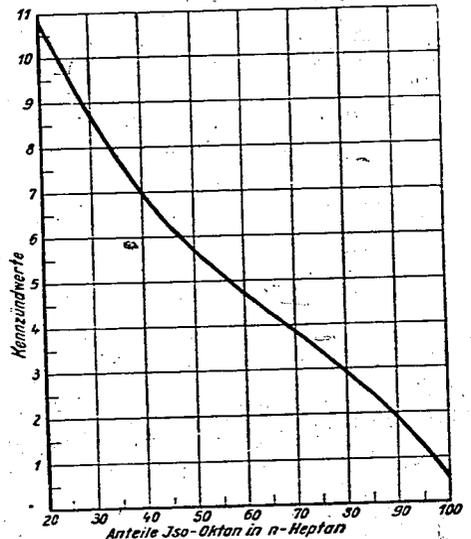


Abb.2 Eichkurve zur Ermittlung von Oktanzahlen aus den Kennzündwerten motorischer Kraftstoffe

**Kennzündwert.**

Diese drei Faktoren kommen zahlenmäßig am besten durch den Kennzündwert zum Ausdruck. Infolgedessen stimmen die Kennzündwerte mit den mittleren Oktanzahlen (s. Zahlentafel 2) in der Bewertungsreihenfolge gut mit der motorischen Prüfung überein.

Trägt man die für bestimmte Iso-Oktan-Heptan-Mischungen erhaltenen Kennzündwerte in ein Koordinatensystem ein (Abb. 2), so kann man jeweils die einem Kennzündwert entsprechende Oktanzahl ablesen. Wenn man die großen Unterschiede

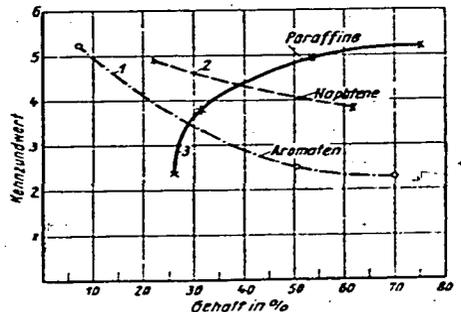


Abb.3 Kennzündwert als Funktion der Gemischkomponenten der D.V.M. Kraftstoffe

in den Versuchswerten, aus denen die motorischen Mittelwerte errechnet wurden, berücksichtigt, stimmen die aus dem Kennzündwert errechneten Oktanzahlen mit den Motorversuchen befriedigend überein, bis auf den Betriebsstoff 7. Woher diese Unstimmigkeit stammt, wird weiter unten behandelt.

In Abb. 3 sind die Kennzündwerte der D.V.M.-Kraftstoffe entsprechend ihrem Gehalt an Aromaten, Naphthenen und Paraffinen eingetragen. Entsprechend der Klopfneigung fällt der Kenn-

Zahlentafel 2

Kraftstoff Nr.	Mittlere Oktanzahl aus Motorversuchen	Unterer Zündwert	Kennzündwert	Oktanzahl berechnet aus Kennzündwert	Zündverzug in sec bei 320 <sup>o</sup> u. 120 Sauerstoffblasen/min.
7	68	6,4	4,9	58	4,6
10	68,6	5,3	4,4	63,5	5,4
9	74,1	5,5	3,8	70	6,0
6	81,0	3,6	2,8	81,0	5,2
5	84,2	3,1	2,3	85	6,6
8	84,5	3,5	2,5	83,5	8,8
4	86,1	4,6	2,6	83,0	11,0 (mit 19% Alkoh.)
7 + 20% Benzol	74	—	2,9	78	
9 + 20% Benzol	75	—	3,0	79,5	
10 + 30% Benzol	78	—	2,8	81	

zündwert bei hohem Gehalt an Aromaten und Naphthenen; bei höherem Gehalt an Paraffinen dagegen nimmt er zu. Auch ein Benzolzusatz drückt sich in den aus dem Kennzündwert berechneten Oktanzahlen in der bei Motorversuchen entsprechenden Reihenfolge aus (Zahlentafel 2).

### Der Zündverzug.

Im Motorenzylinder spielt neben der Zündtemperatur auch die Verzögerung vom Einbringen des Kraftstoffes bis zur nachfolgenden Zündung eine Rolle. Bei Motoren mit Funkenzündung kann durch Zündverzug die Selbstzündung und damit die Klopfneigung eines Brennstoffes wesentlich herabgesetzt werden.

In welchen Grenzen der Zündverzug bei den D.V.M.-Kraftstoffen schwanken kann, zeigt ebenfalls Zahlentafel 2.

Der große Zündverzug des Kraftstoffes 4 ist auf dessen Alkoholgehalt (19%) zurückzuführen, da mit Erhöhung der Alkoholzusatzmenge generell auch der Zündverzug eines Kraftstoffes zunimmt (Abb. 4). Danach kann mit großer Wahrscheinlichkeit gefolgert werden, daß die Wirkung des Alkoholzusatzes als Antiklopfmittel entscheidend von dem durch ihn bewirkten Zündverzug abhängt. Untersuchungen sind im Gange, um den

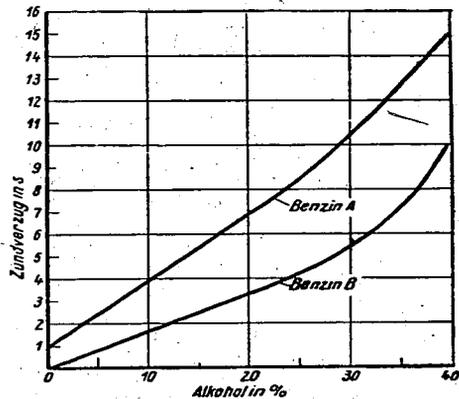


Abb. 4 Zündverzug in Abhängigkeit vom Alkoholzusatz

Zündverzug mit den aus dem Kennzündwert sich ergebenden Oktanzahlen in Verbindung zu bringen.

### Vergleichsversuche mit der C.F.R.-Prüfmethode.

Die Benzinproben, deren Oktanzahlen nach der C.F.R.-Methode bestimmt worden waren, sowie die zur motorischen Prüfung verwendeten Substandards wurden uns von der *Derop* und der *Rhenania-Ossag* zur Verfügung gestellt. Gemäß Abb. 2 stellten wir mit den Substandards eine Eichkurve her, und entnahmen daraus die dem jeweils für den Kraftstoff ermittelten Zündwert entsprechende Oktanzahl.

### Derop-Benzin.

Für sechs Benzinproben der *Derop* ergab sich so die in Zahlentafel 3 eingetragene Beziehung zwischen den C.F.R.- und den aus dem Zündwert berechneten Oktanzahlen.

Zahlentafel 3.

Signum Nr.	C.F.R.-Oktanzahlen	Oktanzahlen berechnet aus dem Kennzündwert
1	74	72
2	72	68,5
3	71	60
4	55	51,5
5	47,5	42
6	60,5	54

Die zahlenmäßige Übereinstimmung entspricht den bei den D.V.M.-Kraftstoffen gemachten Erfahrungen.

### Benzine der Rhenania-Ossag.

In Zusammenarbeit mit der *Rhenania-Ossag* wurden bisher 31 Vergleichsversuche mit allen für Vergasermotoren in Betracht kommenden Kraftstoffarten durchgeführt.

Die Untersuchungen (Zahlentafel 4) ergaben, daß sich für einen Teil (Gruppe 1) der Kraftstoffe eine den früheren Beobachtungen entsprechende Beziehung zu den C.F.R.-Oktanzen aufstellen läßt; bei Gruppe 2 treten jedoch Unterschiede auf, die über 20 Oktanzen betragen. Bei diesen Kraftstoffen handelt es sich um Spaltbenzine, bzw. um Mischungen, die große Prozentsätze Spaltbenzin oder Alkohol enthalten. Noch laufende Ver-

Zahlentafel 4.

### Versuchsergebnisse mit dem C.F.R.-Motor der Rhenania-Ossag A.-G.

Lfd.Nr.	Signum	Gruppe I		Differenz Oktanzzahl
		C. F. R. Oktanzzahl	Deutsches Oktanzzahl	
1	A	81	87	+6
2	B	45,5	48	+2,5
3	C	52	48,5	-3,5
4	D	57	57	0
5	E	57	60	+3
6	E	62,5	58	-4,5
7	7*)	67,7	61,5	-6,2
8	10*)	68,3	66	-2,3
9	Q	68,5	60	-8,5
10	9*)	73,6	72	-1,6
11	J	74,5	72	-2,5
12	C	74,5	69	-5,5
13	K	75,5	72,5	-3
14	L	75,5	70	-5,5
15	5*)	86,6	88,5	+1,9
16	N	95	97	+2
17	O	95	90	-5
18	O	96	86,5	-9,5
19	G	73	65,5	-7,5

Lfd.Nr.	Signum	Gruppe II		Differenz Oktanzzahl
		C. F. R. Oktanzzahl	Deutsches Oktanzzahl	
20	F	65	68	+12
21	B	67,5	58	-9
22	P	67,5	57,5	-10
23	F	67	47	-20
24	A	67,5	52	-15,5
25	F	67,5	47	-20,5
26	G	69,5	55	-14,5
27	H	70,5	58	-12,5
28	H	72	46	-26
29	D	72	47	-25
30	L	75,5	59	-16,5
31	M	85	69	-16

suche ergaben bereits, daß die Unstimmigkeiten daher rühren, daß die chemische Zusammensetzung jener Stoffe von normalen Kraftstoffen abweicht und daß sie stark ungesättigten Charakter haben. Wahrscheinlich unterliegen einzelne Teile solcher Benzine bei niedrigerer Temperatur und Sauerstoffkonzentration der Selbstzündung als das Gesamtgemisch. Diese voreilenden Teilselfstzündungen werden sich im Motor durch leichtes, vielleicht nur hin und wieder auftreten-

des Klopfen äußern, daß bei dem C.F.R.-Prüfverfahren, daß auf hartes bis auf Leistungsabfall gesteigertes Klopfen eingestellt ist, nicht erfaßt wird. Weil es insbesondere für Flugmotoren wichtig ist, auch den Punkt zu erfassen, bei dem im Prüfmotor ein leichtes gelegentliches Klopfen des Betriebsstoffes sich bemerkbar macht, ist der Strobophonometer entwickelt worden, dessen Meßbereich viel größer ist, als der des bei der C.F.R.-Methode verwendeten Klopfstiftes. Wahrscheinlich wird sich mit diesem Meßgerät die Differenz zwischen C.F.R.- und Zündwertoktanzen der Gruppe 2 weitgehend ausgleichen lassen.

Daß ungesättigte Bestandteile in allen Prüfmotoren bei der Klopfwertbestimmung Schwierigkeiten machen, beweist auch die Kraftstoffprüfung des D.V.M., bei der auch das Braunkohlenbenzin und das synthetische Benzin, die beide erhebliche Mengen von Spaltprodukten enthielten, am allermeisten streuten<sup>9)</sup>. Sogar bei Motoren gleicher Konstruktion (Delcomotor der D.A.P.G. und der I.G.)-ergaben sich für das Braunkohlenbenzin (Jodzahl 46,7) Differenzen von 10 Oktanzen, was den Berichterstatter<sup>10)</sup> zu dem ausdrücklichen Hinweis veranlaßte, „daß es angebracht wäre, gerade diese Abweichung noch näher zu untersuchen“.

Neuerdings weist von *Philippovich* darauf hin, daß die in Deutschland angeführten Versuche erkennen lassen, daß nur für Naturbenzin eine gewisse Übereinstimmung zwischen den Prüfmotor-Oktanzen und dem praktischen Verhalten der Motortreibstoffe besteht. Spaltbenzin und Gemische damit müssen wesentlich höhere Oktanzen aufweisen, um eine einwandfreie Leistung und Verbrennung zu ergeben. Auch bei Anilin und Alkohol enthaltenden Treibstoffen ist die Übereinstimmung schlecht.

*H. K. Cummings*<sup>11)</sup> stellte ähnliches auch für das Klopfverhalten von Flugbenzin fest und weist darauf hin, daß nur bei einer bestimmten Gruppe von Flugmotorbenzinen die C.F.R.-Werte und praktisches Verhalten übereinstimmen. In Amerika<sup>12)</sup> soll deshalb vom C.F.R.-Ausschuß die C.F.R.-Prüfmethode als Flugzeugkraftstoff-Prüfmethode nur unter der einschränkenden Bedingung, daß Spaltbenzin und Mischungen von beträchtlichem Benzolgehalt ausgenommen werden, genehmigt werden.

Es erscheint demnach angebracht, bei der Beurteilung der Zusammenhänge zwischen Zündwert- und motorischen Oktanzen, die Kraftstoffe der Gruppe 2 erst dann zu berücksichtigen, wenn feststeht, inwieweit die C.F.R.-Werte ungesättigter Spaltbenzine und alkoholhaltiger Kraftstoffe für die Praxis gelten.

<sup>9)</sup> D. V. M.-Kraftstoffe (s. Ber. Kf 40/3 der Stoffabtlg. der D. V. L. vom September 1932).

<sup>10)</sup> s. Berichte Kf. 40/18 III der D. V. L., S. 5, Abs. 1 u. 8.

<sup>11)</sup> d. D. V. L.

<sup>12)</sup> Vorträge der Welterdöltagung London (1933).

<sup>13)</sup> Privatmitteilung des Sekretariats des Cooperative Fuel Research Steering Comitee.

Die Untersuchungen zeigen, daß man die komplizierten Klopfvorgänge teilweise klären kann, wenn man auf die Grundphänomene der Selbstzündung zurückgeht, und diese auf die Vorgänge überträgt.

**Zusammenfassung.**

1. Die theoretischen Zusammenhänge zwischen Selbstzündungs- und Klopfvorgängen wurden besprochen und praktisch ausgewertet.
2. Die aus den Selbstzündungseigenschaften errechneten Oktanzahlen stehen bei Naturben-

zinen in engem Zusammenhang mit den motorisch ermittelten Oktanzahlen (Abb. 5). Bei Benzin, die große Prozentsätze ungesättigter Bestandteile oder Alkohol enthalten, können große Abweichungen auftreten, die sich wahrscheinlich ausgleichen lassen, wenn es gelingt, bei der motorischen Prüfung bereits den Klopfbeginn und intermittierendes Klopfen zu erfassen. Zur Kritik der Zündwertmethode können solche Kraftstoffe überhaupt erst herangezogen werden, wenn feststeht, inwieweit deren Prüfmotor-Oktanzahl mit ihrem Verhalten im Betriebsmotor übereinstimmt.

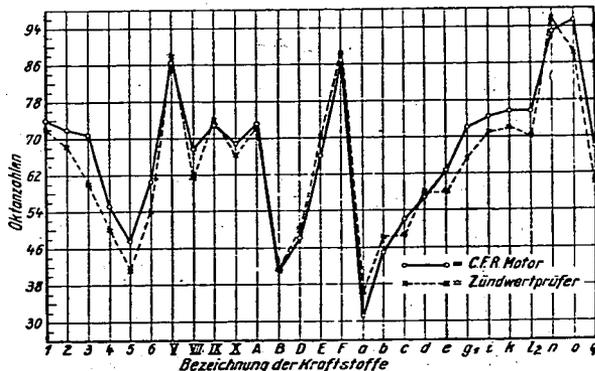


Abb. 5 C.F.R.-Oktanzahlen u. Zündwert-Oktanzahlen von 27 Handelsbenzin