

Bericht *Untersuchung des Verbrennungs-*
abläufes im Kesselman-Motor mittels
J.G. Piero-Quarz-Halbkathodenstrahl-Indikator.

Technischer Prüfstand Op.

Nr. 370.

F. 17.

Verfasser *Lieut.-Ing. Wilschakowski.*

Tag *2. Februar* 19*39.*

I-94

Gesehen von der Direktion

Zur Kenntnis an:

Empfänger	Ein- gang	Weiter	Unterschrift
29044			

B e r i c h t

über

Untersuchung des Verbrennungsablaufes im Hesselman-Motor mittels I.G. Piezo-
quarz-Kathodenstrahl-Indikator.

Zusammenfassung:

An einem als Hesselman-Motor umgebauten I.G.-Prüfdiesel mit veränderlicher Verdichtung wurden bei Kraftstoffen verschiedener Oktan- und Cetanzahler Verbrennungs-Diagramme mit dem Piezo-quarz-Indikator genommen. Die Verbrennungs-Diagramme lassen erkennen, daß der Verbrennungsdruck sehr stark von dem Einspritz- und Zündbeginn (Magnetzündung) abhängig ist. Erfolgen diese zu spät, so fällt der Verbrennungsdruck außerordentlich rasch ab. Der für verschiedene Kraftstoffe aus den Verbrennungs-Diagrammen ermittelte Druckversug (pressure lag) ergibt nur geringe Unterschiede, ist also nur wenig von der Kraftstoffart im Gegensatz zu anderen Beobachtungen abhängig. Ebenso ist die Zeit vom Beginn des Druckanstiegs bis zum Erreichen des Verbrennungshöchstdruckes etwa gleich lang.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde bei verschiedenen Kraftstoffen die für Selbstzündungsbetrieb erforderliche und für Klopfreies Arbeiten zulässige Verdichtung ermittelt. Die Klopfgrenze läßt sich aus den Verbrennungs-Diagrammen sehr deutlich an der in der Nähe des Verbrennungshöchstdruckes auftretenden Schwingung hoher Frequenz erkennen, die bei Nichtklopfen nicht auftritt.

Zweck der Versuche:

Die Versuche sollten darüber Aufschluß geben, wie weit der Verbrennungsablauf im Hesselman-Motor vom Einspritzbeginn, vom Einsatz der Magnetzündung, von der Verdichtung und von der Kraftstoffart beeinflusst wird. Ferner sollte aus den Verbrennungs-Diagrammen die Klopfgrenze, d.h. also ^{ohne} ~~bestimmte~~ Verwendung eines besonderen Klopfmessers, für verschiedene Kraftstoffe ermittelt werden.

Versuchsdurchführung:

Für die Versuche stand derselbe I.G.-Prüfdiesel mit Hesselman-Zylinderkopf zur Verfügung, an dem auch die Strahlungsmessungen mittels Photosellen durchgeführt wurden (vgl. Bericht Nr. 366). Die Abmessungen des Motors sind:

Bohrung	95 mm,
Hub	150 mm,
Hubvolumen	1065 ccm,
n	1200 und 1690 U/min.

Die Leistung wurde mittels Pendeldynamo und Drehzähler bestimmt. Der Kraftstoffverbrauch und die Abgastemperatur wurden nicht gemessen.

Die Anordnung der Quarzdose ist die gleiche wie bei den Versuchen mit der Photozelle in dem schon oben erwähnten Bericht. Für die Aufnahme von Druck-Zeit-Diagrammen war ein 180°-Kurbelweg-Ablenkergerät direkt mit der Motorwelle gekuppelt. Die auf der Braun'schen Röhre sichtbaren Druck-Zeit-Diagramme wurden photographiert. Da sehr der seitliche Verbrennungsablauf als die Größe der auftretenden Verbrennungsdrücke untersucht werden sollte, war eine Druckzeichnung der Quarzdose nicht erforderlich.

In der ersten Versuchsreihe wurden Verbrennungs-Diagramme bei verschiedenen Kraftstoffen gemessen. Tafel 1 zeigt zunächst drei gleiche Diagramme eines Fliegerbenzins mit der OZ 87, Motordrehzahl $n = 1690$, $p_{ms} = 6,1$ at, Einspritzbeginn 100° v.o.F., Magnetzündung 20° v.o.F. Einspritz- und Zündbeginn

wurden mit aufgemerkt, der Einspritzbeginn mittels in der Treibstoffleitung kurz vor der Einspritzdüse eingebauten Membran-Gebens, der Zündbeginn mittels induktiven Einströmens durch das Zündkabel. In der Höhe der Verbrennungsdrücke ergaben sich ziemliche Unterschiede. Gleichzeitig wurde beobachtet, daß der Verbrennungsablauf sehr ungleichmäßig erfolgte.

In Tafel 2 und 3 sind Verbrennungs-Diagramme für ein Fliegerbensin und ein Steinkohlenmittelöl bei verschiedenen Zündbeginn zusammengestellt. Während sich bei 20° v.o.T. Zündbeginn der Verbrennungsdruck noch wenig ändert, fällt er bei 5° v.o.T. schon außerordentlich rasch ab. Gleichzeitig sinkt damit auch der mittlere Druck. Einspritz- und Zündbeginn wurden mit aufgenommen und sind deutlich zu erkennen.

Beiden Diagrammen auf Tafel 4 wurde bei konstantem Zündbeginn von 5° v.o.T. der Einspritzbeginn geändert. Man erkennt, daß die Änderung des Einspritzbeginns nur noch von geringem Einfluß auf den Verbrennungsablauf ist, wenn der Zündbeginn erst sehr spät erfolgt. Das würde bedeuten, daß die richtige Einhaltung des Zündzeitpunktes wichtiger ist als die des Einspritzbeginns. Den für beste Leistung und geringsten Verbrauch erforderlichen Verbrennungsablauf im Hesselman-Motor erhält man, wenn Einspritz- und Zündbeginn genau aufeinander abgestimmt sind.

In einer weiteren Versuchsreihe sind die Verbrennungs-Diagramme von klopfesten Kraftstoffen, wie Fliegerbensin, Steinkohlenmittelöl und α -Methylnaphthalin mit weniger klopfesten, wie Leuna-Bensin, Gasöl und Eichbensin verglichen. In Tafel 5 haben wir zunächst die nichtklopfenden und in Tafel 6 die klopfenden Kraftstoffe. Verdichtung, Einspritz- und Zündbeginn wurden mit der Kraftstoffart geändert. Sehr deutlich unterscheiden sich die klopfenden von den nichtklopfenden in ihrem Verbrennungsablauf, weniger erkennbar an dem zu erwartenden steileren Druckerstieg $dp/d\phi$ als

an den Schwingungen hoher Frequenz, die in der Nähe des Verbrennungshöchst-
druckes auftreten und auch noch während eines Teiles des Expansionshubes an-
dauern.

Bei der Betrachtung des Verbrennungsablaufes unterscheidet man gewöhn-
lich 2 Abschnitte: den sogenannten Druckversug (pressure lag) vom Übersprin-
gen des Funkens bis zum Auftreten eines merkbaren Druckanstieges, und den
eigentlichen Druckanstieg bis zum Erreichen des höchsten Verbrennungsdruckes.
Den Druckversug kann man auch definieren als eine Art von Verbrennung ohne
Druckerhöhung.

Der Druckversug ist nach Drucker¹⁾ abhängig vom Mischungsverhältnis, von
der Kraftstoffart, von Druck und der Temperatur im Augenblick des Funkenüber-
schlags. Der Druckanstieg dagegen hängt in erster Linie von der Form des
Brennraumes, von der Zündkerzenanordnung und von der Wirbelung ab. Der Druck-
anstieg ist maßgebend für die Härte des Ganges.

Es wird der Versuch gemacht, den Druckversug, der definiert ist, als
die Zeit vom Überspringen des Funkens bis zum merkbaren Druckanstieg, zu be-
stimmen. Natürlich ist es nicht gleichgültig, an welcher Stelle des Verbren-
nungsraumes man diesen Wert ermittelt. Von Einfluß ist ferner das Meßverfah-
ren, mit dem der Druckversug bestimmt wird. Bei einer Messung mittels Photo-
zellen-Indikator werden sich erheblich abweichende Werte ergeben. Man wird
dieselben Beobachtungen machen wie bei der Zündverzugsmessung im Dieselmotor.

Erwähnenswert ist bei der Bestimmung des Druckverzuges die Feststellung
des merkbaren Druckanstieges. Es wurde hierfür die Stelle im Verbrennungs-Dia-
gramm angenommen, an der die Verbrennungslinie von der gleichzeitig mit ein-
gezeichneten Verdichtungslinie abweicht. Da dieser Punkt im Verbrennungs-Dia-
gramm sehr schwer festzustellen ist, wurde auch noch die Verdichtungslinie

¹⁾ ATZ 1938, Heft 5, Seite 58

bei fremdangetriebenem Motor mit aufgenommen und in das Verbrennungs-Diagramm eingezeichnet. Dabei fällt auf, daß die bei fremdangetriebenem Motor aufgenommene Verdichtungslinie höher liegt. Die Ursache dürfte wahrscheinlich auf den in Zylinder am Verbrennungsende verbleibenden Aggregat zurückzuführen sein, was durch das angesaugte Luftgewicht verringert wird.

Die Diagramme wurden mit dem 180° -Kurbelwinkel-Ablenkgerät aufgenommen, die Diagrammlänge entspricht danach 180° .

Aus den Diagrammen (Blatt 1 und 2) wurden ermittelt:

- 1.) der Druckverzögerung,
- 2.) " Druckanstiegbeginn v.o.T.,
- 3.) die Zeit von Druckanstiegbeginn bis zum Druckmaximum,
- 4.) die Lage des Druckmaximums n.o.T.

Der Zündbeginn lag etwa 35° v.o.T., der Druckverzögerung schwankte bei den untersuchten Kraftstoffen zwischen $14,8$ und $15,9$ Kurbelgrad, entsprechend $0,0015$ bzw. $0,0016$ sec bei $n = 1690$ U/min. Der Unterschied ist unbedeutend. Eine Abhängigkeit des Druckverzögerung wurde also im Gegensatz zu den vorhergehenden Ausführungen nicht festgestellt. Der Druckanstiegbeginn liegt bei den untersuchten Kraftstoffen etwa 20° v.o.T. Das Druckmaximum wird je nach der Kraftstoffart $28,7^\circ$ bis $35,7^\circ$ nach dem Druckanstiegbeginn bzw. $8,5^\circ$ bis $15,5^\circ$ n.o.T. erreicht. Dazu ist allerdings zu bemerken, daß der Verbrennungsablauf sehr unregelmäßig erfolgte. Für genauere Messungen wäre schon eine große Anzahl von Verbrennungsdiagrammen zu nehmen. Aus dem gleichen Grund wurde auch von einer Druckeichung der Quarzdose zwecks Messung der Verbrennungsdrücke abgesehen.

Damit kommen wir zu der letzten Versuchsreihe zur Bestimmung der Selbstzündungs- und Klopfgrenze für Gasöl (Cetanzahl 55), ROH-Dieselöl (Cetanzahl

100) und Reichbensin (Oktanzahl 40). Es wurden mit Absicht 3 Kraftstoffe gewählt, die eine geringe Oktanzahl, dagegen eine verhältnismäßig gute Cetanzahl - das RCH-Dieselloil sogar eine sehr gute Cetanzahl - besaßen. Bei genügend hoher Verdichtung war es daher möglich, bei Abschaltung der Fremdzündung und Wahl des richtigen Einspritzpunktes den Motor mit Selbstzündung des Kraftstoffes weiter zu betreiben und auf diese Weise die zum Selbstzündungs-Betrieb erforderliche Verdichtung zu ermitteln. Darauf zu achten ist, daß nicht durch Ölüberflutung, beispielsweise durch Ölfluten der Elektroden, ein Selbstzündungs-Betrieb vorgetauscht wird. Bei Gasöl und Reichbensin, die sich in der Cetanzahl wenig unterscheiden, wurde die zum Selbstzündungs-Betrieb erforderliche Verdichtung zu 1:14 ermittelt, sie entspricht danach annähernd den in Dieselmotoren üblichen Werten. Bei dem sehr ständwilligen RCH-Dieselloil lag diese Grenze erheblich niedriger und betrug die Verdichtung etwa 1:6,5. Versuche mit RCH-Dieselloil am I.G.-Prüfdiesel ergaben für die bei Dieselmotorbetrieb notwendige Verdichtung einen etwas höheren Wert (vgl. Bericht Nr. 376).

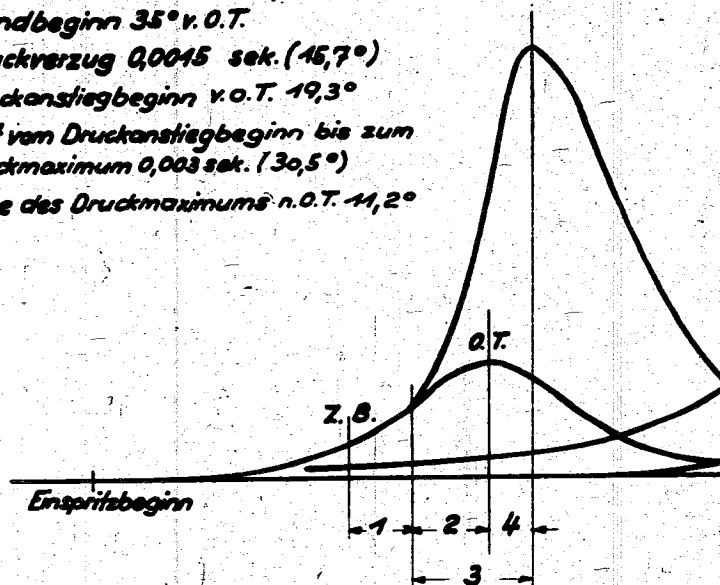
Die Bestimmung der Klopfgrenze erfolgte nicht mit einem Klopfmesser, wie beispielsweise beim I.G.-Prüfmotor für Oktanzahlbestimmung, vielmehr wurde bei den zu untersuchenden Kraftstoffen die Verdichtung soweit erhöht, bis die schon erwähnte Schwingung hoher Frequenz in der Nähe des Verbrennungshöchstdruckes auftrat. Sehr gut stimmte damit die gehörmäßig festgestellte Klopfgrenze überein. Durch weitere Versuche soll in den mit dem Piezo-quarz-Indikator aufgenommenen Verbrennungs-Diagrammen eine Beurteilungsmöglichkeit für das Kraftstoff-Klopfverhalten geschaffen werden.

Anlagen: 2 Blatt
9 Blatt Bildtafeln.

Kraftstoff: Fliegerbenzin OZ 87

Z.B. : Zündbeginn 35° v. O.T.

- 1 : Druckverzug 0,0015 sek. ($15,7^\circ$)
- 2 : Druckanstiegbeginn v. O.T. $19,3^\circ$
- 3 : Zeit vom Druckanstiegbeginn bis zum Druckmaximum 0,003 sek. ($30,5^\circ$)
- 4 : Lage des Druckmaximums n. O.T. $11,2^\circ$

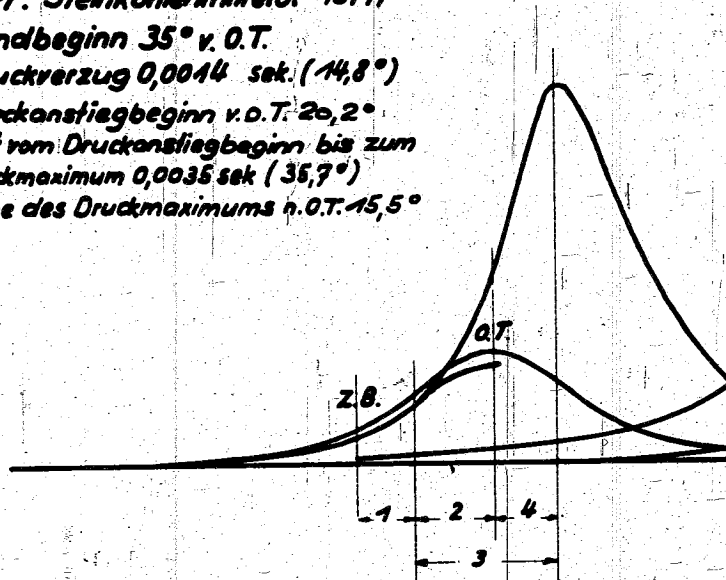


$n = 1690/\text{min}$

Kraftstoff: Steinkohlenmittelöl 151 H

Z.B. : Zündbeginn 35° v. O.T.

- 1 : Druckverzug 0,0014 sek. ($14,8^\circ$)
- 2 : Druckanstiegbeginn v. O.T. $20,2^\circ$
- 3 : Zeit vom Druckanstiegbeginn bis zum Druckmaximum 0,0035 sek. ($35,7^\circ$)
- 4 : Lage des Druckmaximums n. O.T. $15,5^\circ$

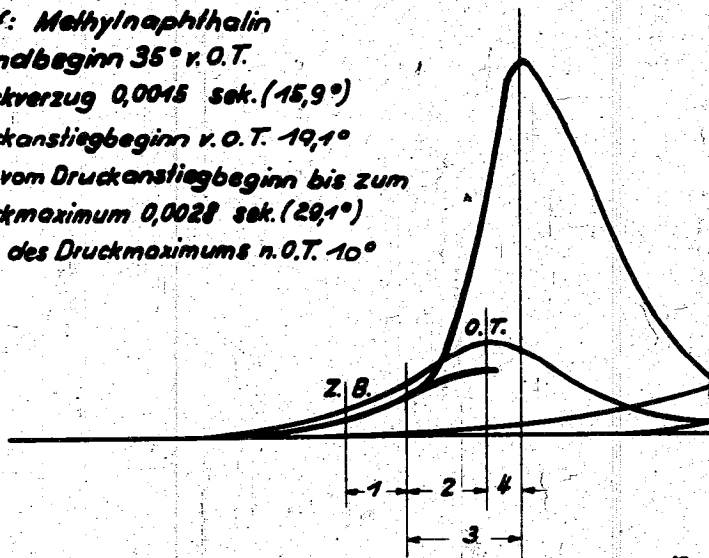


29051 TP. S. 344

Kraftstoff: Methylnaphthalin

Z.B. : Zündbeginn 35° v.O.T.

- 1: Druckverzug 0,0015 sek. ($15,9^\circ$)
- 2: Druckanstiegbeginn v. O.T. $19,1^\circ$
- 3: Zeit vom Druckanstiegbeginn bis zum Druckmaximum 0,0028 sek. ($29,1^\circ$)
- 4: Lage des Druckmaximums n.O.T. 10°

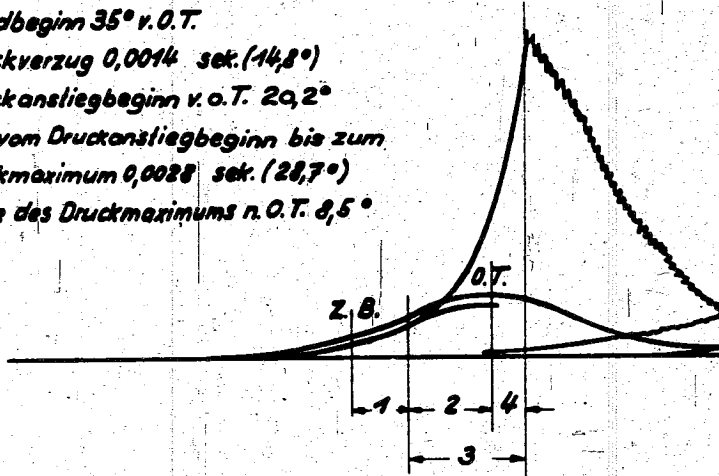


$n = 1690/\text{min}$

Kraftstoff: Leunabenzin OZ 73

Z.B. : Zündbeginn 35° v.O.T.

- 1: Druckverzug 0,0014 sek. ($14,8^\circ$)
- 2: Druckanstiegbeginn v. O.T. $29,2^\circ$
- 3: Zeit vom Druckanstiegbeginn bis zum Druckmaximum 0,0028 sek. ($28,7^\circ$)
- 4: Lage des Druckmaximums n.O.T. $8,5^\circ$

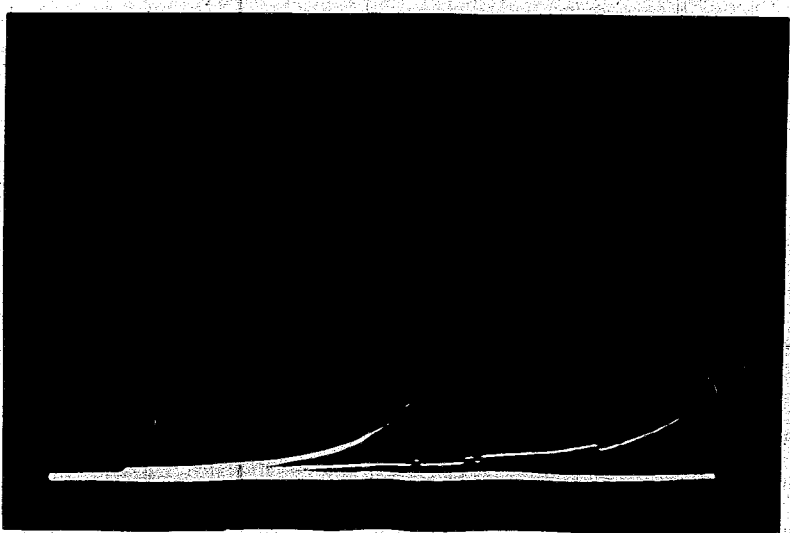
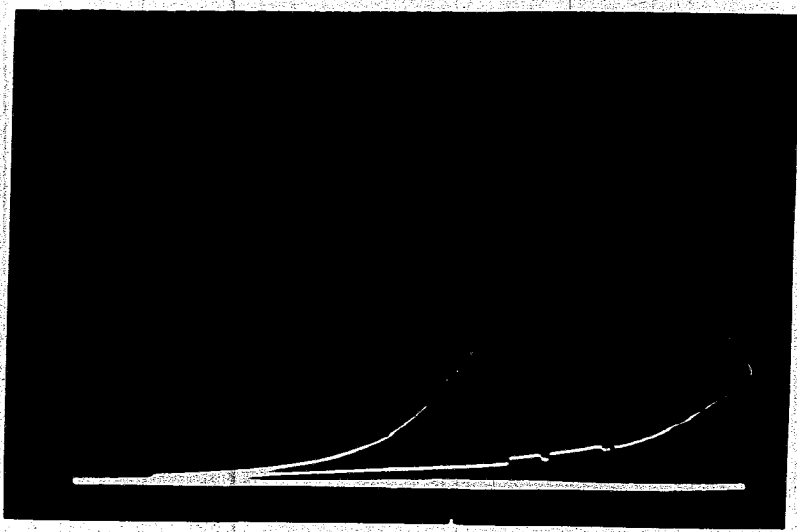
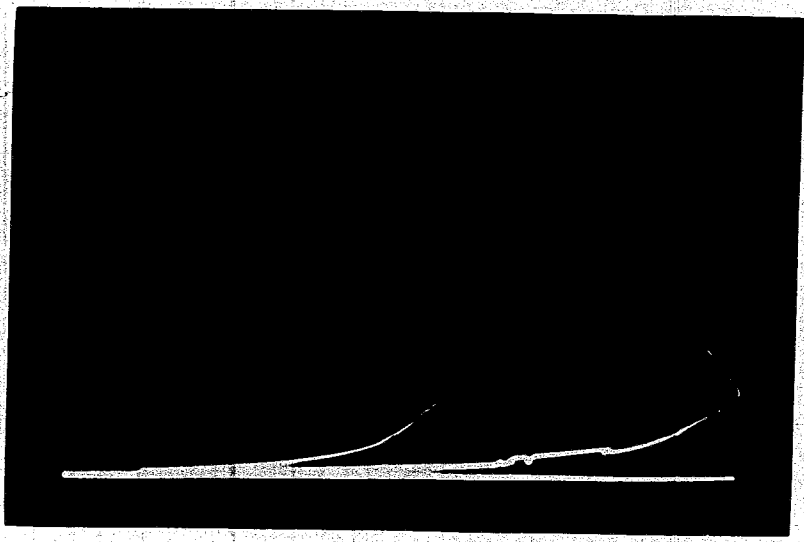


29052

TPr. S. 345

Techn. Prüfstand
Appar.
Bericht 370

14574



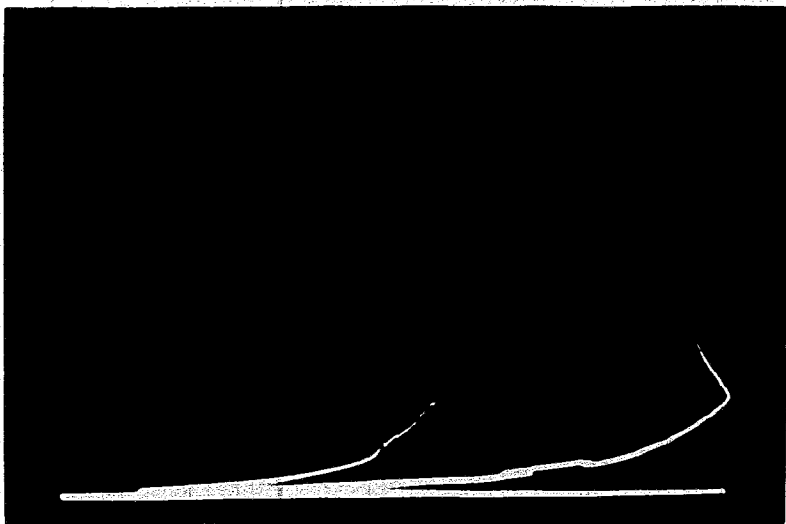
ES 10/17
ZB 10/17
Eigenschaften 017
10/17
10/17

29053

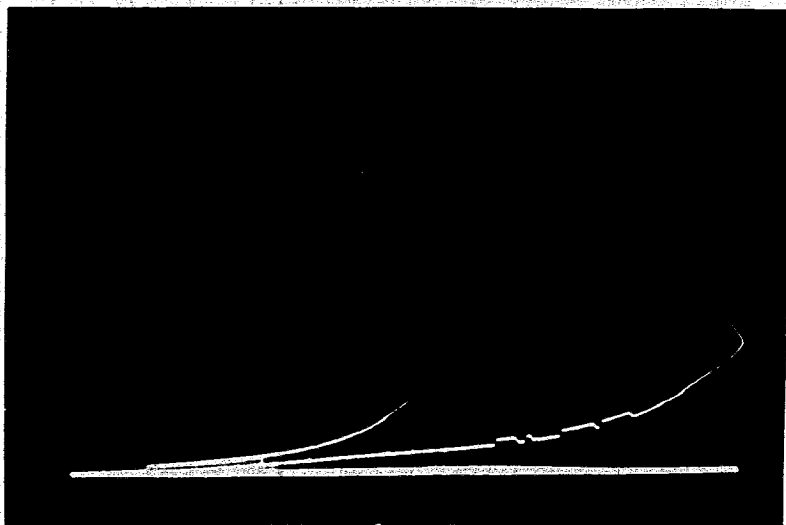
1
L. van Prof. Sand
i. p. 200
Ergebnis 190

TAFEL 2

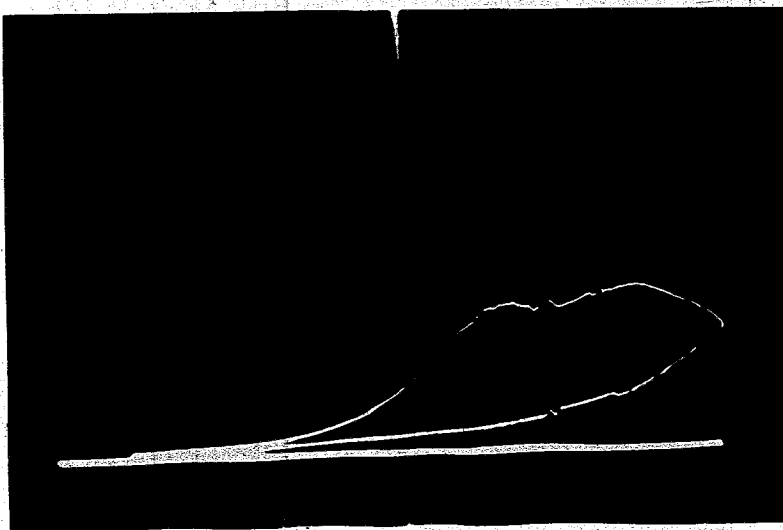
E. B. = 100°, 01
S. B. = 30°, 0
Sm. 62at



E. B. = 100°, 01
S. B. = 30°, 0
Sm. 62at



E. B. = 100°, 01
S. B. = 30°, 0
Sm. 62at



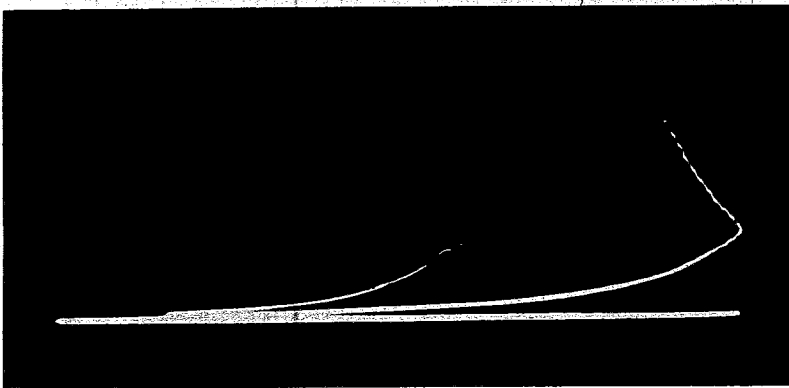
Zylinder m.
ändert

29054

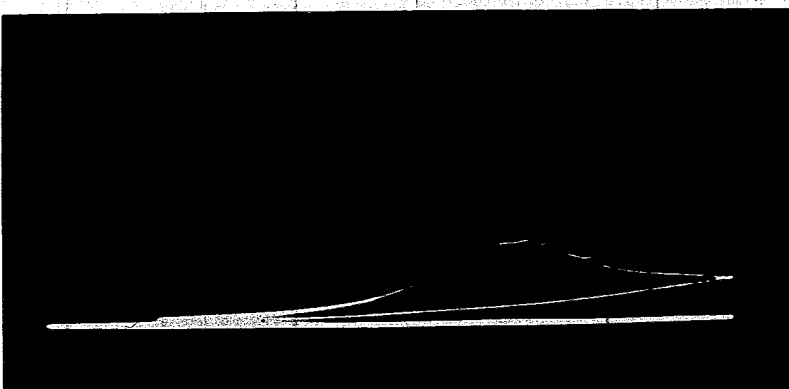
...
ppau
... 3.80



100%
30%
pme 4.14

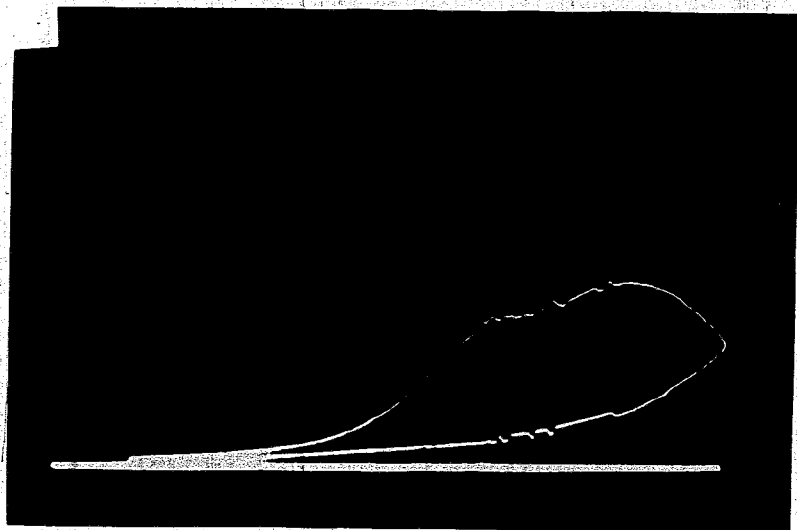


100%
30%
pme 4.14

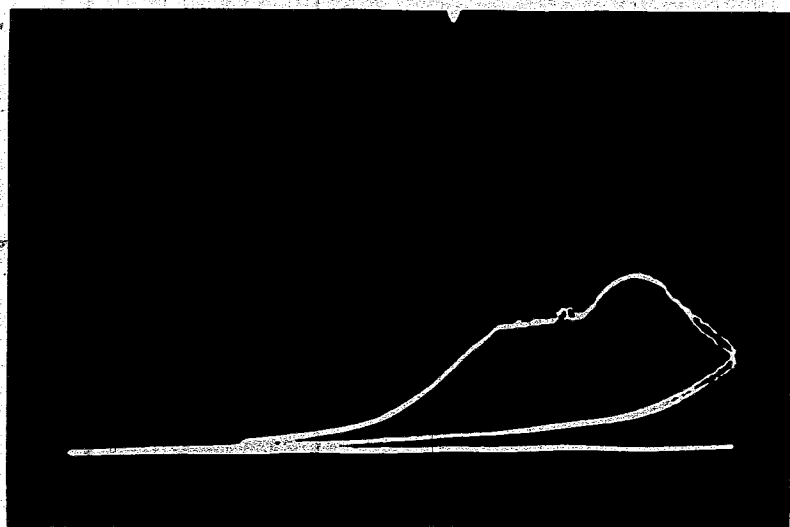
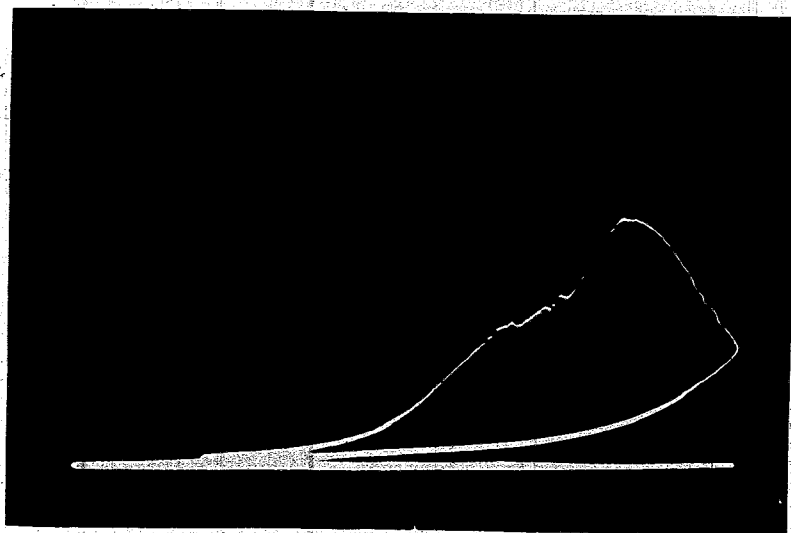


100%
30%
pme 4.14
1000/H₁₄
Zündbereich
geändert

200
200
200



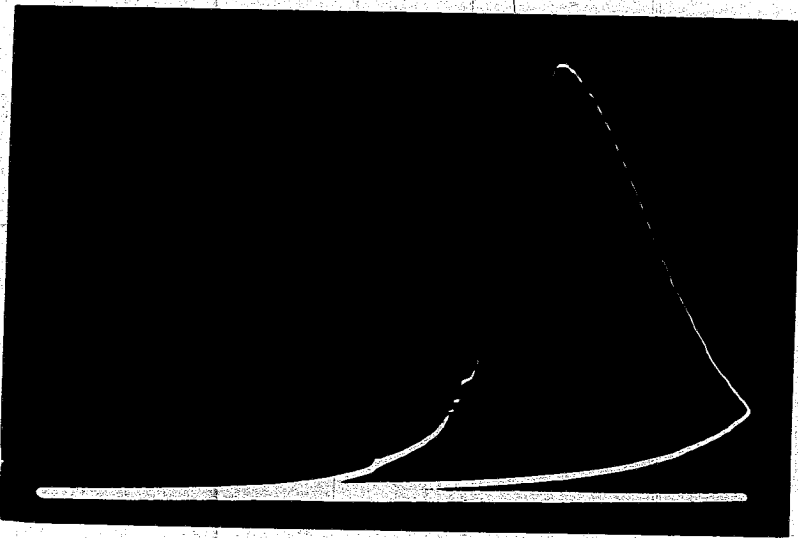
200
200
200



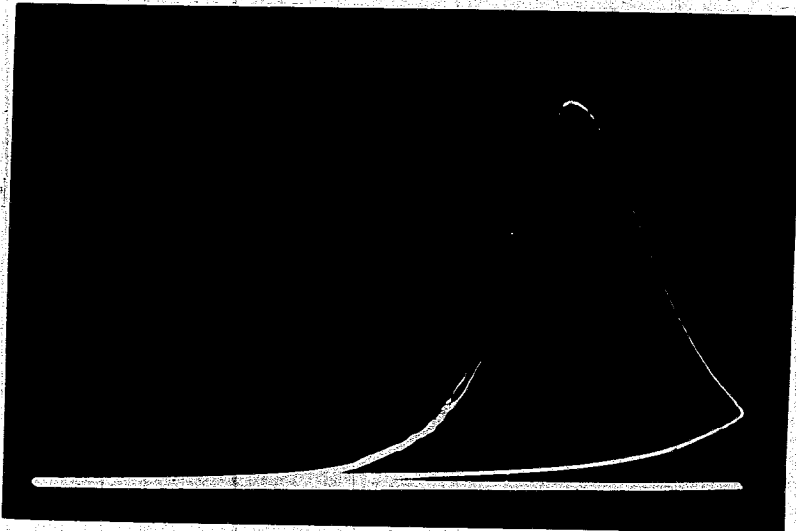
200
200

29056

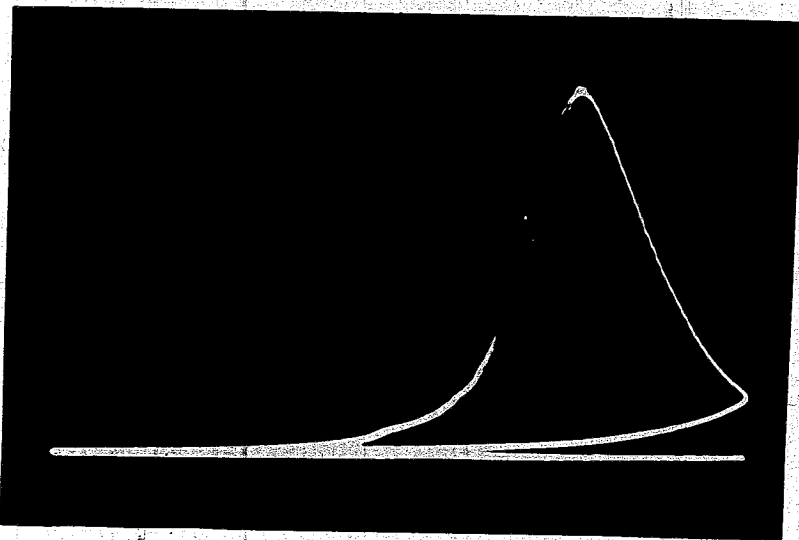
Handwritten notes in the top left corner, possibly including a date or reference number.



Handwritten notes in the top right corner, possibly describing the data or the graph.



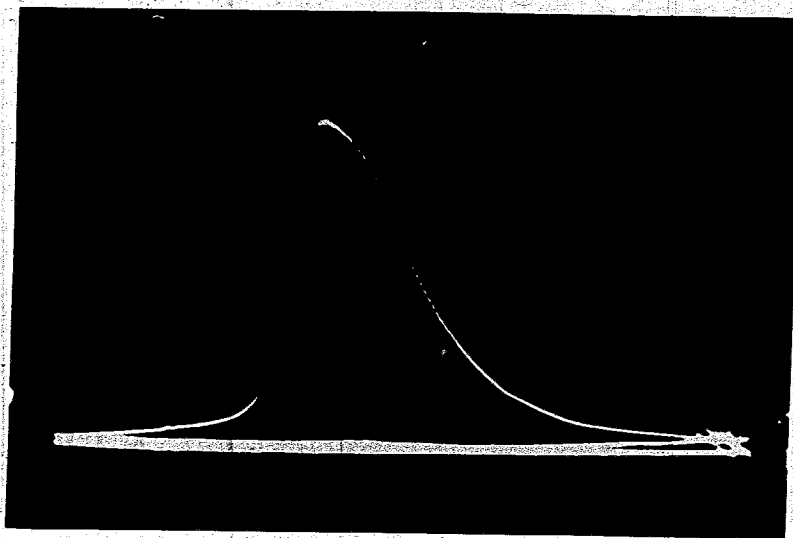
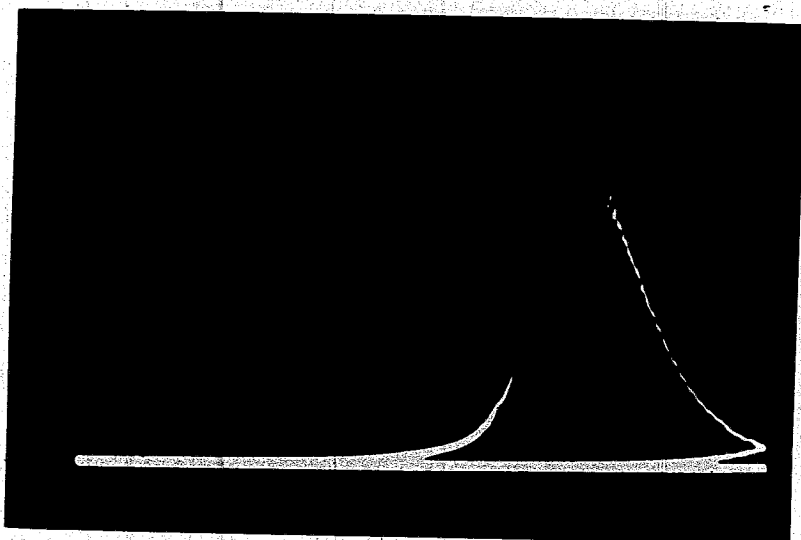
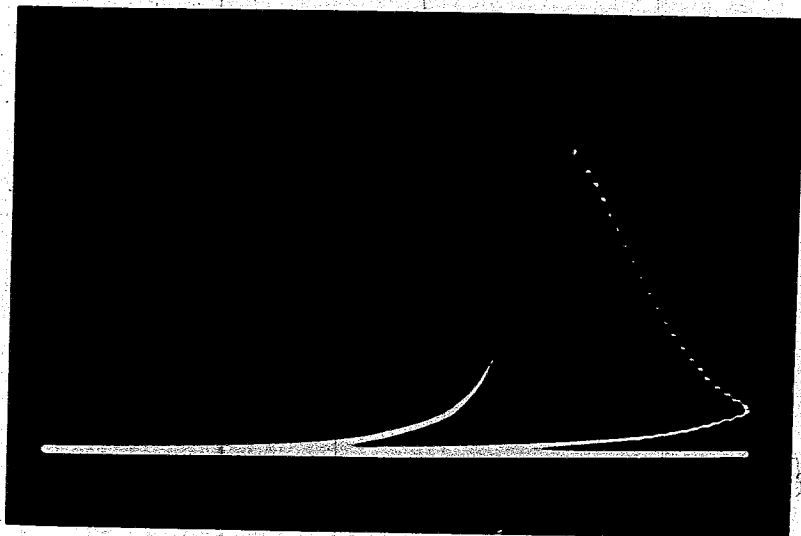
Handwritten notes in the middle right section, possibly describing the data or the graph.



Handwritten notes in the bottom right section, possibly describing the data or the graph.

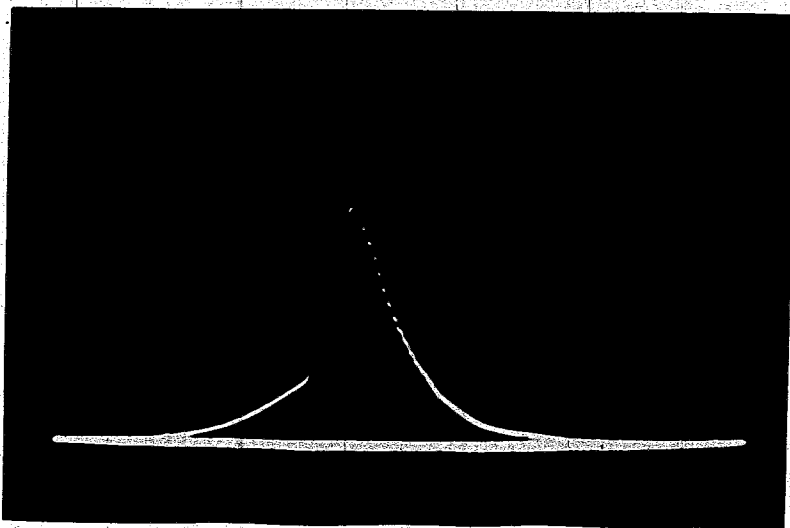
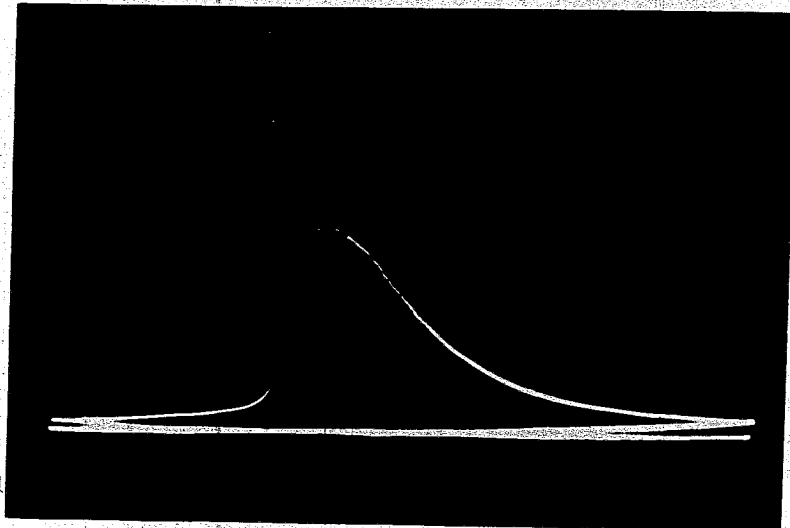
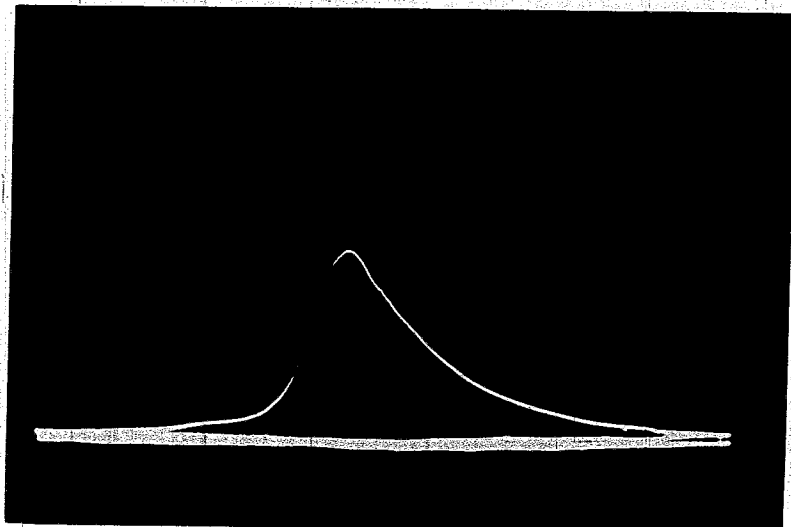
29057

new bird and
Japan
times 1/10



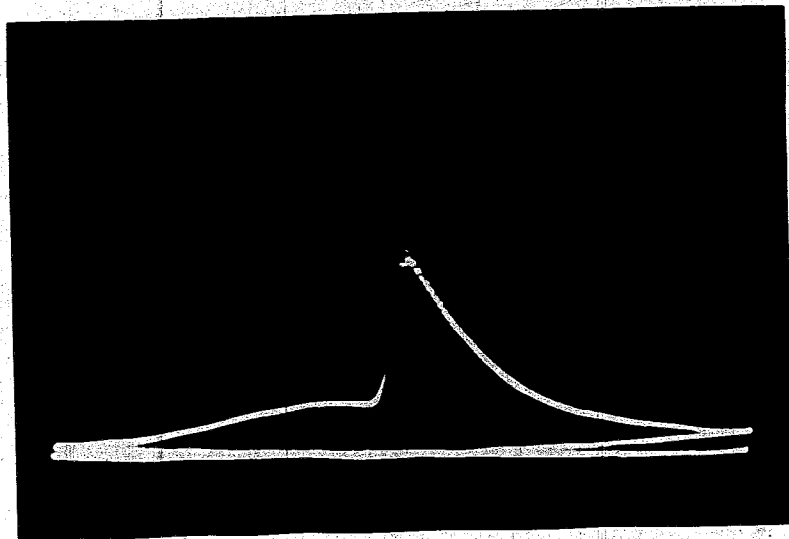
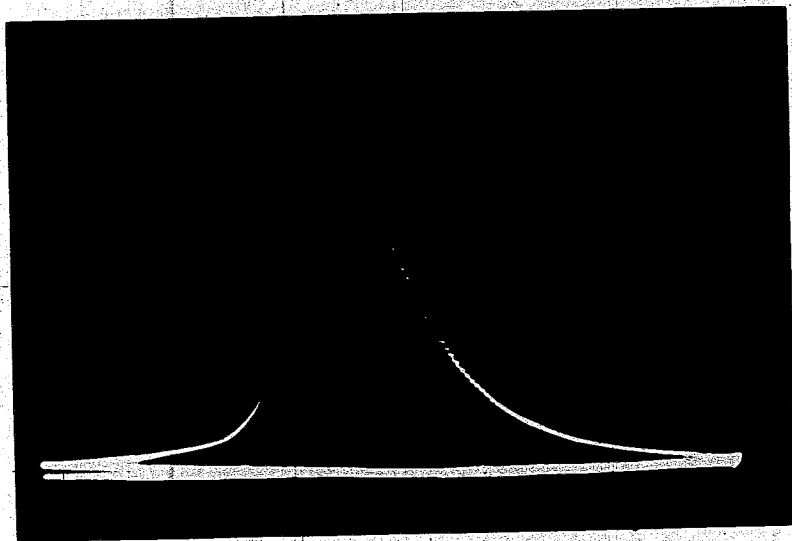
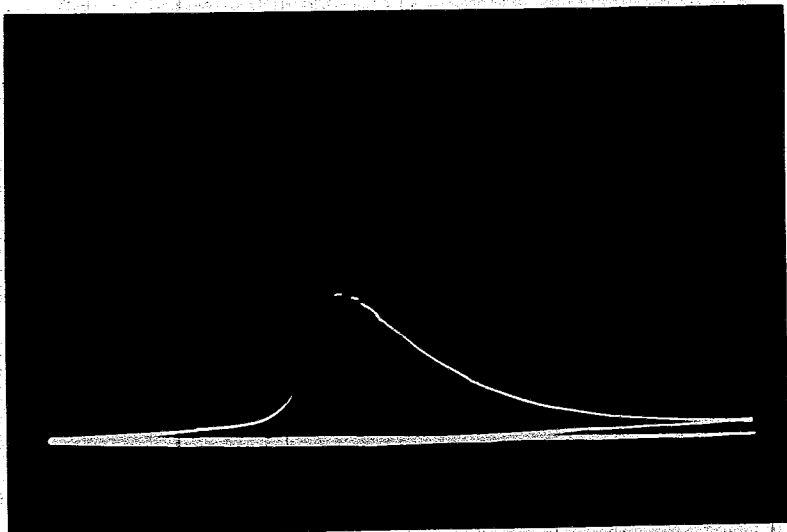
29058

John Berglund
Aspen
March 370



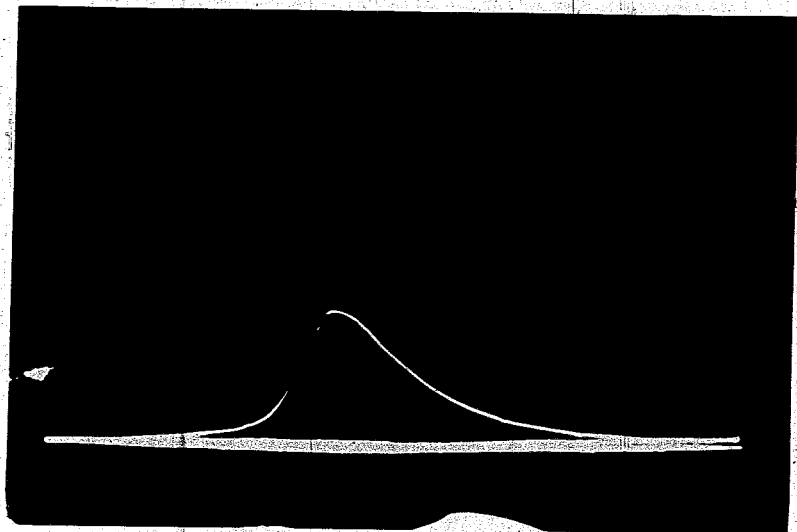
29059

1000
1000
1000

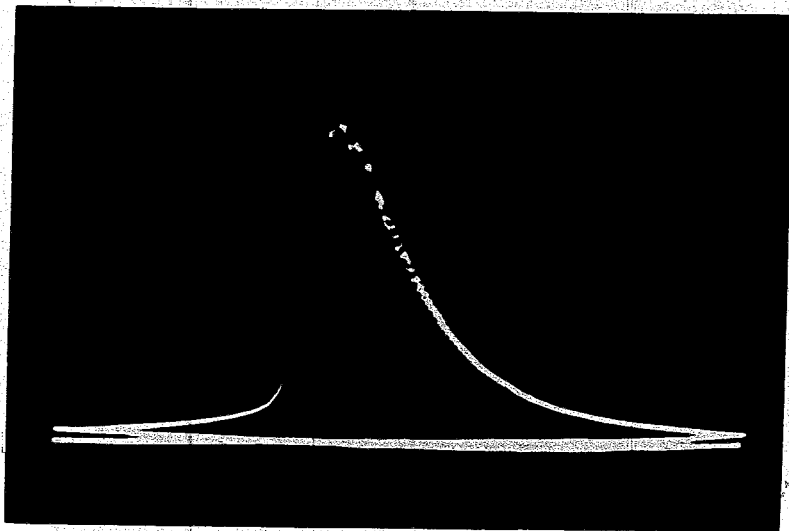


29069

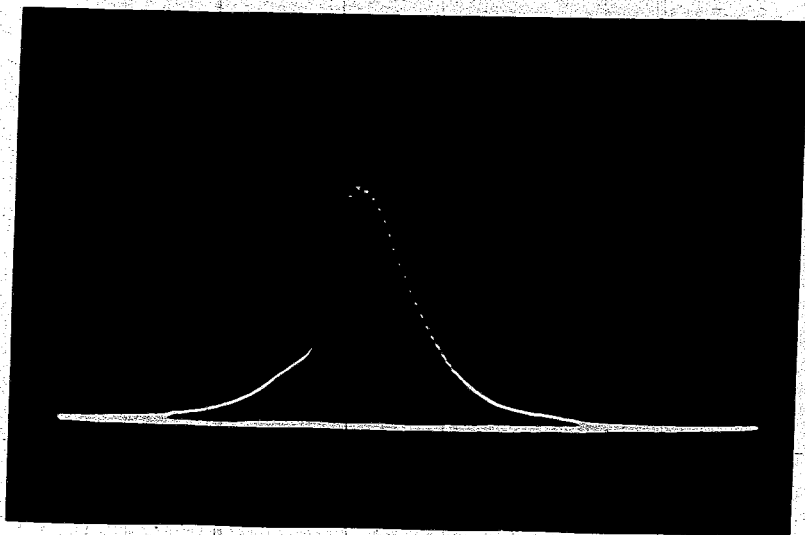
16. km 574. 12nd
10000
Permitt. 3.40



10000
Permitt. 3.40
90° S
10000



10000
Permitt. 3.40
90° S
10000



10000
Permitt. 3.40
90° S
10000

29061