

Bericht Nr. 449

**Über die Bestimmung
der Klopfstärke**

8450



Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 449

Über die Bestimmung der Klopfstärke.

Übersicht: Es werden zwei Ausführungsformen eines Klopfmessgerätes beschrieben. Zur Messung werden die Schwingungen herangezogen, die in einem eigens zu diesem Zweck angebrachten Schusskanal infolge des Klopfens entstehen. Die Aufnahme dieser Schwingungen erfolgt durch eine normale Quarzdose, die auf einen Verstärker arbeitet. Die verstärkten Schwingungen arbeiten bei der einen Ausführungsform über eine Leistanröhre auf ein Anzeige-Instrument, bei der anderen Ausführungsform steuern sie über eine Relaisröhre ein elektromagnetisches Zählwerk, womit vereinzelte Klopfstöße registriert werden können.

Abgeschlossen am: 27. Februar 1941

Bearbeiter: Dr. Schuch

Die vorliegende Ausfertigung 1 enthält

6 Textblätter

3 Bildblätter

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
1		ZfB, Berlin-Adlershof,			
2		Herrn Dr. Gmelin, Op. 190,			
3		Herrn Ob. Ing. Raichle,			
		Lu. 558,			
4		Herrn Prof. Dr. Ing. Wilke,			
5		Herrn Dipl. Ing. Penzig,			
6		Herrn Dr. Schuch,			
7-10		Techn. Prüfstand.			

8451

Über die Bestimmung der Klopfstärke.

Einleitung.

Klopfstärkemessungen werden z.Zt. in Deutschland meist mit Hilfe des Springstab-Indikators (1) (2)¹⁾ durchgeführt. Diese allgemeine Anwendung verdankt dieser Indikator vor allem der Einfachheit des Messverfahrens, das trotz mancher Mängel (3) recht brauchbare Werte zu erhalten gestattet (4) (5). Bei sehr starkem Klopfen, wie es beispielsweise bei Überladeversuchen auftritt, befriedigt jedoch der Springstift nicht. Auch der Klopfbeginn dürfte nur schlecht mit dem Springstab-Indikator zu ermitteln sein. Es ist daher schon öfters (6 - 19) versucht worden, ein vielseitiges Klopff-Messgerät zu schaffen. Bis jetzt hat sich jedoch keine der entwickelten Apparaturen richtig durchsetzen können.

Auf der Suche nach einem geeigneten Verfahren zur Klopfstärke-messung erwies sich nun die Heranziehung von durch das Klopfen erzeugten Schwingungen als am aussichtsvollsten. Bereits A.Köchling (11) benutzte die sog. Klopfeschwingungen zur Untersuchung von Klopfvorgängen. Er führte seine Messungen an Borken durch und zeichnete die Schwingungen mit Hilfe einer Braunschen Röhre auf. Wegen der unterschiedlichen Klopfstärke ist hierbei jedoch die unbedingt erforderliche Mittlung nur schlecht möglich. Die Mittlung ist noch schwieriger, wenn man die Klopfvorgänge an Motor untersucht. Zur Messung der Klopfstärke muss man hier zu mittelbaren Geräten übergehen. Man zeigt sich, dass in manchen Maschinen die Klopfeschwingungen bei normaler Verstärkung so schwach auftreten, dass sie kaum zu irgendwelchen Messungen herangezogen werden können. Wie in folgendem angeführt ist, gelingt es jedoch auch in diesen Fällen, in einfacher Weise Schwingungen durch das Klopfen hervorzurufen, die leicht zu Messzwecken verwendet werden können.

¹⁾ Die eingeklammerten Zahlen bedeuten Literaturangaben am Schluss des Berichtes.

Grundsätzliche Arbeitsweise des Geräts.

Nimmt man mit Hilfe eines Piezo-Indikators den Druckverlauf im Zylinder einer Verbrennungsmaschine auf, so beobachtet man im Diagramm bei klopfender Maschine oft Schwingungen höherer Frequenz, die sogen. Klopf-Schwingungen. Sie setzen nach dem plötzlichen Druckanstieg infolge der Explosion ein und sind dem eigentlichen Druckverlauf überlagert. Jedoch sind diese Schwingungen keineswegs immer ausgeprägt vorhanden; gerade an dem meist für Klopfmessungen verwendeten I.C.-Prüfmotor sind sie beim Klopfen nur schwach oder garnicht zu beobachten. Nun lassen sich in einfacher Weise zur Messung geeignete Schwingungen durch Verwendung eines geeignet bemessenen Schusskanals, der zwischen dem Verbrennungsraum und der Quarzdose angebracht wird, hervorrufen. Die Vorbedingungen für die Ausbildung dieser Schwingungen sind dann am günstigsten, wenn die Frequenz der Eigenschwingung der Cassüle des Kanals mit der der eigentlichen Klopf-Schwingungen übereinstimmt.

Bei nicht klopfender Verbrennung zeigen sich im Druckdiagramm zunächst keine Schwingungen. Sobald die Maschine aber anfängt zu klopfen, treten Schwingungen direkt nach dem plötzlichen Druckanstieg auf; ihre Amplituden sind umso höher, je grösser die Klopfstärke ist. Für die Klopfmessung wird nun die Grundschwingung, die nicht weiter interessiert, herausgesiebt und es werden nur die Schwingungen höherer Frequenz verwendet. Nach Verstärkung mit einem ein- bis zweistufigen Widerstandsverstärker kann man dann diese Schwingungen zur Feststellung der Klopfstärke heranziehen (Bild 1). Wie die Aufnahmen zeigen, ist die durch das Klopfen hervorgerufene Schwingung stark gedämpft, sie enthält ausserdem Oberwellen die jedoch auf das Messresultat ohne wesentlichen Einfluss sind, wie eingehende Versuche zeigten. Es ist allerdings eine gute Frequenzkurve des verwendeten Widerstandsverstärkers erforderlich.

-4-

Trifft man das Klopfen bei jeder Explosion auf, so kann man die Klopfstärke, gegeben durch die Amplituden der Schwingungen, durch ein mittelbares Gerät messen. Trifft dagegen das Klopfen nur gelegentlich auf, so ist man gezwungen, mit Hilfe eines Zählwerkes die Klopfstöße in einer gewissen Zeit zu zählen bzw. sie zu registrieren.

Ausführung der Geräte.

Zur Aufnahme der Schwingungen in der Gassäule (etwa 2-3000 Hz) verwendet man eine Quarzdose, wie sie allgemein bei piezoelektrischen Druckmessungen benutzt wird, oder auch einen elektromagnetischen Geber, die mit einem geeignet bemessenen Schusskanal an den Verbrennungsraum angebracht werden. Dieser wird so gewählt, dass die Eigenschwingung der Gassäule dieses Kanals mit der eigentlichen Klopfschwingung in Resonanz steht, was am schnellsten durch Ausprobieren ermittelt wird. So war in einem Falle ein Kanal von etwa 40 cm Länge und 8 mm Durchmesser am günstigsten. Die Benutzung einer Quarzdose bringt den Vorteil mit sich, dass man leicht den Verbrennungsablauf durch ihren Anschluss an einen Gleichstromverstärker mit Braun'scher Röhre kontrollieren kann. Die oben erwähnte Ausbiegung der Grundschwingung erfolgt durch eine geeignete Bemessung des Eingangswiderstandes an dem verwendeten Wechselstromverstärker. Massgeblich ist hier die sogenannte Zeitkonstante, dargestellt durch das Produkt $R \cdot C$, wobei R der Widerstand und C die Kapazität des Eingangs-Kreises bedeuten. Im Druckdiagramm ist die Grundschwingung bedingt durch den Kompressions- und Explosionsverlauf. Um sie herauszusieben, muss R kleiner als etwa 10^{-6} gemacht werden. Es sei an dieser Stelle betont, dass es sich hier nicht um eine Differentiation handelt. Auch die differentiierte Grundschwingung ist hier nicht brauchbar. Die Schaltung des Verstärkers selbst geht aus Bild 2 hervor. Es ist ein gewöhnlicher Wechselstromverstärker, bei dem als Verstärkerröhren wahlweise die Röhren AF 7 oder AC 2 benutzt werden können. Unabhängig davon, ob nun das

Klopfen regelmässig oder seltener auftritt, werden zunächst die eingehenden Schwingungen zweistufig verstärkt. Im ersten Falle werden nur diese verstärkten Schwingungen auf das Gitter einer Leuchtöhre, einer AL 4, gegeben (Bild 2).

Der Ausgangsstrom ATr im Anodenkreis dieser Röhre arbeitet auf einen Thermo-Umformer TU, an den ein Drehspul-Millivoltmeter angeschlossen ist.

Da die Intensität des Klopfens nicht ganz gleichmässig ist und ausserdem die Klopfstösse selbst relativ kurz im Vergleich zu den dazwischen liegenden Zeiten sind, so ist ein Thermo-Umformer sehr grosser Wärmeträgheit notwendig, der die Mittlung vornimmt. Auf andere Möglichkeit der Mittlung sei hier nicht näher eingegangen.

Die Messung der Klopfstärke und damit die Oktanzahlbestimmung ist eine Vergleichsmessung: Man ermittelt diejenige Mischung an Normal-Sichtstoffen, die gerade den gleichen Ausschlag am Millivoltmeter liefert, wie der zu untersuchende Treibstoff. Da dabei mit Hilfe des Gleichspannungspotentiometers die Empfindlichkeit verändert werden kann, so darf bei Übergang von Sichtkraftstoff auf den unbekannten Kraftstoff dieses nicht verstellt werden.

Die Anordnung nach Bild 2 gestattet noch, die Schwingungen mit Hilfe der Braunschen Röhre beobachten zu können. Zu diesem Zwecke ist der Ausgang der zweiten Verstärkerstufe nach aussen geführt. Es kann hier direkt die eine Platte der Braunschen Röhre angeschlossen werden. Die Beobachtung mit Hilfe der Braunschen Röhre ist zur Festlegung des Klopfbeginns besonders angenehm, weil man jeden einzelnen Klopfstoss verfolgen kann.

Falls die einzelnen Klopfstösse hinsichtlich des Auftretens (etwa 10/min) und der Intensität sehr unregelmässig sind, so ist die

Messung mit einem Instrument nur schlecht möglich. Es ist am günstigsten, nur die Stöße über einer gewissen Stärke in einer gewissen Zeit zu zählen. Das kann beispielsweise so erfolgen, dass man an dem Ausgang der zweiten Röhre des Verstärkers nach Bild 2 eine Glühlampe legt. Falls die Schwingungen selbst nicht zur Zündung ausreichen, gibt man der Glühlampe eine solche Vorspannung, dass sie oberhalb einer gewissen Klopfstärke aufleuchtet. Man kann dann direkt abzählen, wieviel Klopfstöße über einer gewissen Stärke innerhalb einer gewissen Zeit im Motor auftreten. Statt der Glühlampe kann man von den verstärkten Klopfschwingungen auch ein elektrisches Zählwerk steuern lassen. Eine entsprechende Schaltung zeigt Bild 3, worin die ersten beiden Verstärkerstufen denen des Bildes 2 entsprechen. Nach Gleichrichtung laden die Schwingungen einen passend gewählten Kondensator C auf. Sobald dessen negative Vorspannung auf einen bestimmten Wert gefallen ist, zündet die Relaisröhre. Es fließt ein Anodenstrom, mit dessen Hilfe der Schrittzähler (Z) in Tätigkeit gesetzt wird. Die Löschung der Relaisröhre erfolgt über ein besonderes Relais mit Hilfe eines rotierenden Unterbrechers. Das Zählwerk gestattet so ohne weiteres die Zahl der Klopfstöße in einer beliebigen Zeit festzustellen. Was dabei noch als Klopfstöße gezählt wird, hängt von der Einstellung des Eingangspotentiometers ab. Daher ist es auch hier günstig, dessen Einstellung mit Hilfe eines Bezugskraftstoffes vorzunehmen.

Verwendet man ein anderes Gerät als die Quarzdose zur Aufnahme der Schwingungen, so ist darauf zu achten, dass auch hier die Grundschwingung oder auch ihre Ableitung völlig zu unterdrücken sind. So erhält man z.B. bei einem elektromagnetischen Geber zunächst den Differentialquotienten des regulären Druckverlaufs. Es muss also hier die Ableitung der Grundschwingung herausgeleitet werden. Dazu kommt noch der Nachteil, dass elektromagnetische Geber leicht zu Schwingungen angeregt werden können, die nicht nur vom Druckverlauf der Verbrennung direkt herrühren.

Bisherige Erfahrungen.

Die Versuche über die Brauchbarkeit der Geräte sind heute noch nicht völlig abgeschlossen. Nach den bisherigen Erfahrungen am I.C.-Prüfmotor liefert das Gerät mit dem Anzeige-Instrument für normalen Klopfbetrieb etwa die gleichen Werte wie der Springstift. Bei Überladeversuchen am I.C.-Prüfmotor erweist^{es} sich jedoch dem Springstab überlegen. Es ist insbesondere angenehm, dass der Kompressionsdruck ohne jeglichen Einfluss auf die Messung ist. Das Gerät mit dem elektromagnetischen Zählwerk ist in erster Linie für Überladeversuche an Flugmotoren gedacht. Orientierende Versuche haben seine gute Verwendbarkeit ergeben. Dabei stellte sich heraus, dass mit der Anordnung mehr Klopfstöße gezählt werden als mit dem Gehör, da nicht alle Stöße gleich stark sind.

Was noch die Feststellung des Klopfbeginns mit Hilfe der Braunschens Röhre anbetrifft, so ist auch hier das Gehör dem angegebenen Verfahren gegenüber unterlegen. Das Gehör stellt schon längst kein Klopfen mehr fest, wenn auf der Braunschens Röhre noch deutlich Schwingungen erkennbar sind. Der Nachweis, dass dann noch Klopferschwingungen vorliegen, lässt sich leicht mit Hilfe von Eisencarbonyl erbringen.

Literatur.

- 1) T.Midgley jr. und T.A.Boyd: Detonation Characteristics of Blends of Aromatic and Paraffin Hydrocarbons. Ind.Eng.Chem.14,1922,589.
- 2) E.Neher: Klopfmessungen an Otto-Motoren. ATM V.8234-1.
- 3) R.Schütz: Messung der Klopfestigkeit. Deutsche Kraftfahrt-Forschung H 31, Berlin 1939. ATZ 13, 1939, 364.
- 4) W.Wilke: Prüfmotoren für Klopfwertbestimmung von Kraftstoffen. ZdvDI 82, 1938, 1135.
- 5) W.Wilke: Motorische Prüfung von Kraftstoffen. Beiheft zu ZdvDCh Nr.33, 1939.
- 6) F.Postlethwaite: Measurement of Detonation. Aircr.Eng.10,1938, 201 u.211. Luftfahrt-Schrifttum des Ausl.4, 1938, 277.
- 7) R.Lichtenberger u.F.Seeber: Beitrag zur Frage der Klopfmessverfahren. ATZ 41, 1938, 372.
- 8) C.F.Taylor, C.S.Draper, E.S.Taylor & G.L.Williams: A New Instrument Devised for Study of Combustion. SAE Journal 34, 1934, 59.
- 9) J.Ratzke: Ein elektromagnetischer Indikator und Klopfmesser. Jb.d.Deutschen Luftfahrt-Forschung II, 1938, 368.
- 10) J.Ratzke: Beitrag zur Messung von Klopferschwingungen an Motoren. MTZ 2, 1940, 4.
- 11) A.Köchling: Versuche zur Aufklärung des Klopfvorgangs.ZdvDI 82,1938,112.
- 12) W.S.Mount: Cathode-Ray Oscillograph in Multizylinder Detonation Work. SAE Journal 1939, 135.
- 13) W.Schmidt: Untersuchungen über den Klopfvorgang in Mehrzylindermotoren. ZdvDI 1940, 435.
- 14) K.Generlich: Untersuchungen über das Klopfverfahren von Vergasermotoren und Leichtkraftstoffen auf elektroakustischen Wege. Diss.TH.München 1936.
- 15) A.W.Schmidt und K.Generlich: Untersuchungen der Klopfgeräusche von Otto-Motoren mit elektroakustischen Messgeräten. Deutsche Kraftf.-Forschung H 33, Berlin 1939.
- 16) C.C.Grinstead: Sound and Pressure Waves in Detonation. J.Aeronautical Sciences, Bd.6, 1939, Nr.10.
- 17) O.Wawrzynocki: Methode zur Messung der Klopfgeräusche in Verbrennungskraftmaschinen. ATZ 34, 1931, 544, 572, 652.
- 18) O.Wawrzynocki: Druckanstieg, Gasschwingungen und Verbrennungsgeräusche bei der Verpuffung von Kraftstoffen. ATZ 36, 1933, 73 u. 136.
- 19) H.Illgen und H.Hintze: Beitrag zur Prüfung von Brennstoffen mittels piezoelektrischen Indikatoren. Dt.Motor-Zeitschr.14,1937,H.10.

Bild 1: Klopfeschwingungen im Schusskanal bei verschiedenen Verdichtungen.

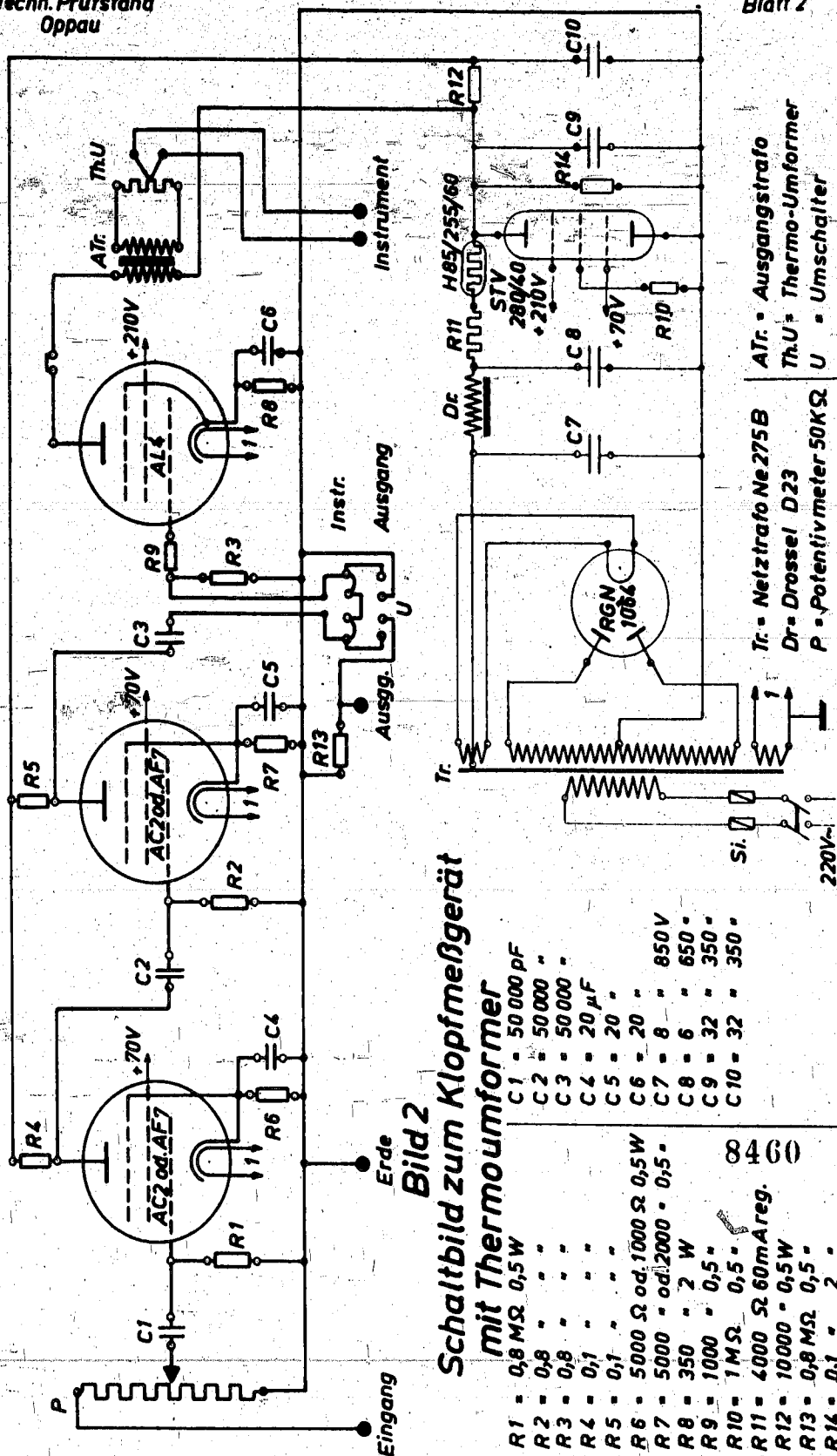
a) $\epsilon = 4,2:1$

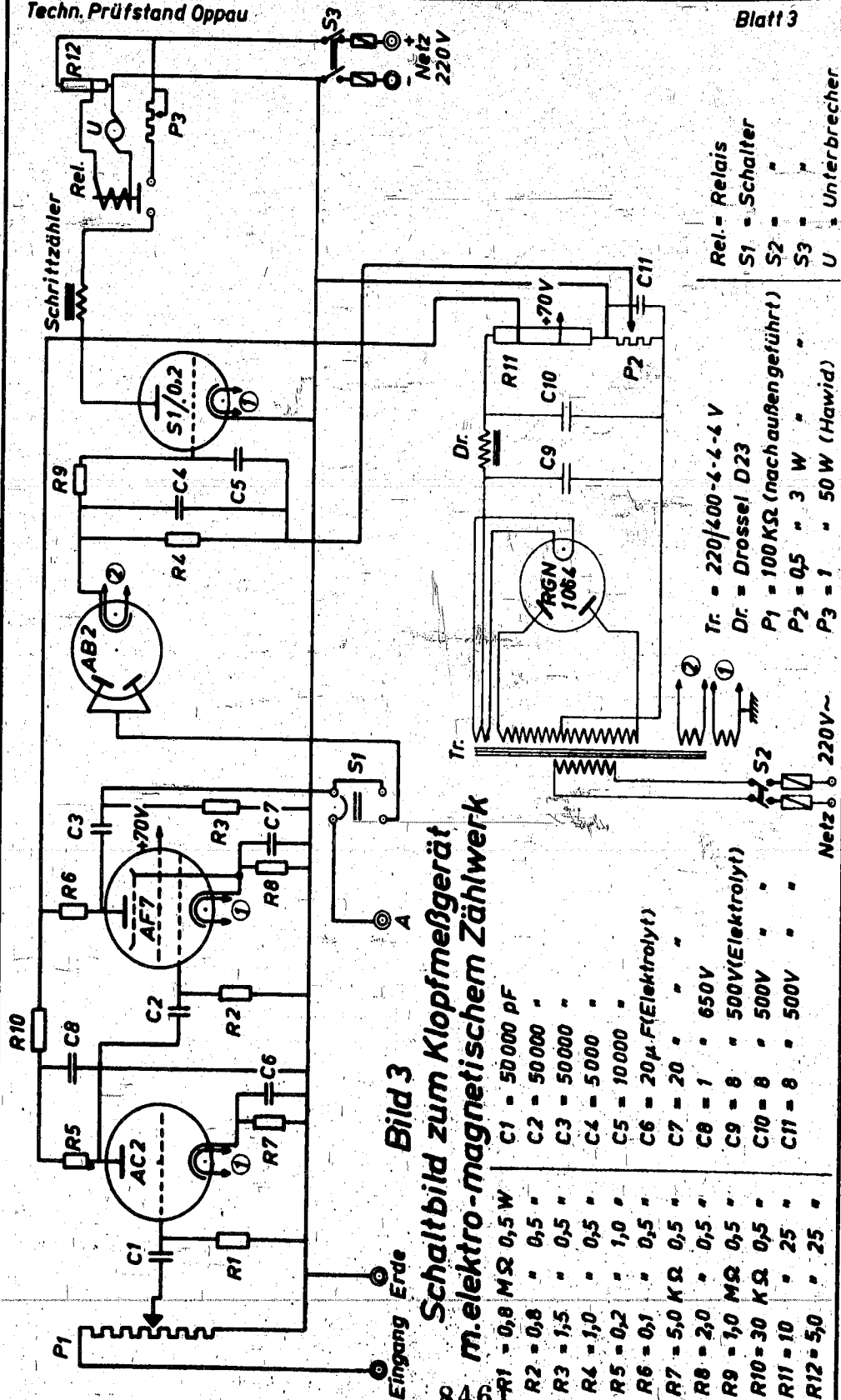
b) $\epsilon = 4,4:1$

c) $\epsilon = 4,8:1$

Übereinstimmung mit Blatt 2

27.1.1941.





Rel. = Relais
S1 = Schalter
S2 = " "
S3 = " "
U = Unterbrecher

Tr. = 220/400-4-4 V
Dr. = Drossel D23
P1 = 100 K Ω (nachaufgeführt)
P2 = 0,5 " 3 W " "
P3 = 1 " 50 W (Hawid)

R1 = 0,8 M Ω 0,5 W	C1 = 50000 pF
R2 = 0,8 " 0,5 "	C2 = 50000 "
R3 = 1,5 " 0,5 "	C3 = 50000 "
R4 = 1,0 " 0,5 "	C4 = 5000 "
R5 = 0,2 " 1,0 "	C5 = 10000 "
R6 = 0,1 " 0,5 "	C6 = 20 μ F (Elektrolyt)
R7 = 5,0 K Ω 0,5 "	C7 = 20 " " "
R8 = 2,0 " 0,5 "	C8 = 1 " 650V
R9 = 1,0 M Ω 0,5 "	C9 = 8 " 500V (Elektrolyt)
R10 = 30 K Ω 0,5 "	C10 = 8 " 500V "
R11 = 10 " 25 "	C11 = 8 " 500V "
R12 = 5,0 " 25 "	