mittel angibt, auf einer Parallelen zur Abszisse liegen. Umgekehrt kann man sagen, dass die Versuchsbedingungen dann richtig gewählt sind, wenn diese Werte wenigstens annähernd auf der Parallelen liegen. Diese Feststellung ist wichtig für die Untersuchung des Verlaufs der Wasserdampfdestillation solcher Lösungsmittel, deren Dampfdrucke nicht bekannt sind, und deren Anteil im Destillat infolgedessen nicht errechnet werden kann.

In Tab.1 sind die Anfangswerte für den Prozentgehalt des Destillates an Monochlorbenzol eingetragen. Sie zeigen, dass die Werte nur dann auf einer Parallelen zur Abszisse liegen, wenn das Lösungsmittel in Wasser suspendiert wird, und dass gleichzeitig der theoret. Anfangswert (71,4%) nur dann erreicht wird, wenn die in der Zeiteinheit durchgeschickte Dampfmenge eine bestimmte Grösse nicht überschreitet, wenn also nicht zu rasch destilliert wird.

Tab.2 gibt die entsprechenden Linien für den Verlauf der Destillation von Nitrobenzol. Auch hier erhält man einen der Theorie am nächsten kommenden Anfangswert und die verlangte Parallele nur unter den oben angegebenen Bedingungen.

Tab.3 zeigt die Kurven für verschiedene Lösungsmittel. Wir fanden als Anfangswert für Monochlorbenzol 71% (ber.71,4%), für o-Dichlorbenzol 41,5% (ber.44%), für Trichlorbenzol A 20,6% (ber. 24,6%), für Nitrobenzol 15,5% (ber. 15,6%).

Zur Veranschaulichung des Dampfverbrauchs wird die abdestillierte Menge Lösungsmittel (Ordinate) mit der zu ihrer Destillation verbrauchten Menge Dampf (Abszisse) in Beziehung gesetzt.

Tab.4 zeigt den Dampfverbrauch bei der Destillation von Monochlorbenzol. Man erhält mit fortschreitender Destillation eine vom höchsten Punkt der Ordinate zunächst stark abfallende, fast gerade Linie, die bei der Annäherung an die Abszisse umbiegt und erst in beträchtlichem Abstand die Abszisse berührt. Dieser Annäherungspunkt verdient besondere Beachtung, in ihm tritt die Verzögerung der Destillation ein. Bis zu diesem Punkt, z.B. Kurve 2, unteres Kurvenbild, sind ca. 299 g = 99,7 %

./.

Monochlorbenzol destilliert, wofür 144 g = 0,48 Teile Dampf verbraucht wurden (Theorie 0,40). Der Rest von 1 g Monochlorbenzol = 0,3 % des Einsatzes erforderte zur Destillation 612 g = 612 Teile Dampf.

Tab.5 veranschaulicht vergleichsweise den Dampfverbrauch bei der Destillation der vier Lösungsmittel. Die Verschleppung des Destillationsendes bei o-Dichlorbenzol und Trichlorbenzol ist besonders auffallend.

In diesem Punkt, in dem die Verzögerung der Destillation einsetzt, wird der Betriebschemiker vor die Frage gestellt, ob die Gewinnung der geringen Menge Lösungsmittel noch den Dampfverbrauch rechtfertigt, der zu ihrer Destillation aufgewendet werden muss. Unter diesem Gesichtspunkt soll in folgender Zusammenstellung die Rentabilität der Wasserdampfdestillation betrachtet werden. (Siehe S.14 a).

Tab.6 zeigt noch im Vergleich den Verlauf der Destillation von Monochlorbenzol mit Dampf von 1 atü und mit Dampf von 3,6 atü. Ein wesentlicher Unterschied geht daraus nicht hervor.

Zur Ausführung der Versuche über die Destillation des Lösungsmittels aus Nutschgut konnten wir kein Nutschgut verwenden, wie es im Betrieb anfällt, da diese Produkte meistens noch Salze enthalten. Wir stellten deshalb Nutschgut her durch Aufkochen des Produktes in dem Lösungsmittel, z.B. von 300 g 1-Amidoanthrachinon in 300 g Monochlorbenzol, und unterwarfen den ganzen Kristallbrei der Destillation.

Tab.7 zeigt vergleichsweise die Destillation von Monochlorbenzol aus dem Nutschgut verschiedener Produkte. Man bemerkt, dass schon ziemlich früh eine Verschleppung der Destillation eintritt, sodass der Dampfverbrauch bis zu dem tiefliegenden Verzögerungspunkt, den man auch hier findet, grösser ist als bei der Destillation ohne Nutschgut. (s.Seite 14b)

./.

		Monochlorbenzol	o-Dichlorbenzol	Trichlorbenzol	Nitrobenzol
Eingefüllte Menge Öl	g	300	300	300	300
	Wert Pfg.	8,4	6,3	14,4	7,5
Theoretischer Dampfverbrauch	g	120 = 0,40 tle.	377 = 1,27 Tle.	923 = 3,1 Tle.	1615 = 5,4 Tle.
	Wert Pfg.	0,036	0,113	0,276	0,484
A. Destillation bis zum Verzögerungspunkt.					
1. abdest. Öl	g	299 = 99,7 %	296,8 = 98,9 %	297,8 = 99,2 %	299 = 99,7 %
	Wert Pfg.	8,37	6,238	14,3	7,475
2. Dampfverbrauch	g	144 = 0,48 Tle.	520 = 1,75 Tle.	1389 = 4,66 Tle.	1737 = 5,8 Tle.
	Wert Pfg.	0,043	0,156	0,41	0,521
B. Destillation vom Verzögerungspunkt bis zum Endpunkt.					
1. abdest. Öl	g	1 = 0,3 %	3,2 = 1,1 %	2,2 = 0,8 %	1 = 0,3 %
	Wert Pfg.	0,028	0,067	0,106	0,025
2. Dampfverbrauch	g	612	9775	8512	296
	Wert Pfg.	0,183	2,93	2,55	0,088

		Monochlorbenzol aus Nutschgut von 1-Amido-anthrachinon	o-Dichlorbenzol aus Nutschgut von 1-Amido-anthrachinon
Menge Öl im Nutschgut	g	300	300
	Wert Pfg.	8,4	6,3
Theoretischer Dampf-verbrauch	g	120 = 0,40 Tle.	377 = 1,27 Tle
	Wert Pfg.	0, 036	0,113
1. Destillation bis zum Verzögerungspunkt.			
1. abdest. Öl	g	298,9 = 99,6 %	297 = 99 %
	Wert Pfg.	8,37	6,237
2. Dampfverbrauch	g	196 = 0,65 T.	1352 = 4,57 Tle.
	Wert Pfg.	0,059	0,4
2. Destillation vom Verzögerungspunkt bis zum Endpunkt.			
1. abdest. Öl	g	1,1 - 0,4 %	3 = 1 %
	Wert Pfg.	0,03	0,063
2. Dampfverbrauch	g	646	2945
	Wert Pfg.	0,19	1,29

./.

Die Dauer der Destillation bis zum tatsächlichen Endpunkt scheint insofern von der Kristallgrösse des Produktes abzuhängen, als Dichinylphtalid mit längster Destillationsdauer auch am feinsten kristallisiert war.

Tab.8 veranschaulicht Destillationen von o-Dichlorbenzol aus Nutschgut. Auch hier zeigt sich die bald einsetzende Verzögerung der Destillation. Auffallend ist die Erscheinung, dass die Endpunkte der Destillationen mit Nutschgut vor dem Endpunkt der Destillation des Lösungsmittels ohne Nutschgut liegen.

Wir haben versucht, durch Zusätze die Verzögerung bei der Destillation von Nutschgut zu unterdrücken. Durch Zusatz von Salzen kann man wohl die zu Beginn der Destillation übergehenden Mengen Öl erhöhen, auf die Verzögerung selbst ist Salzzusatz jedoch von unbedeutendem Einfluss. Zusatz z.B. von Nekal oder Emulphor FL ruft lediglich starke Schaumwirkung hervor.

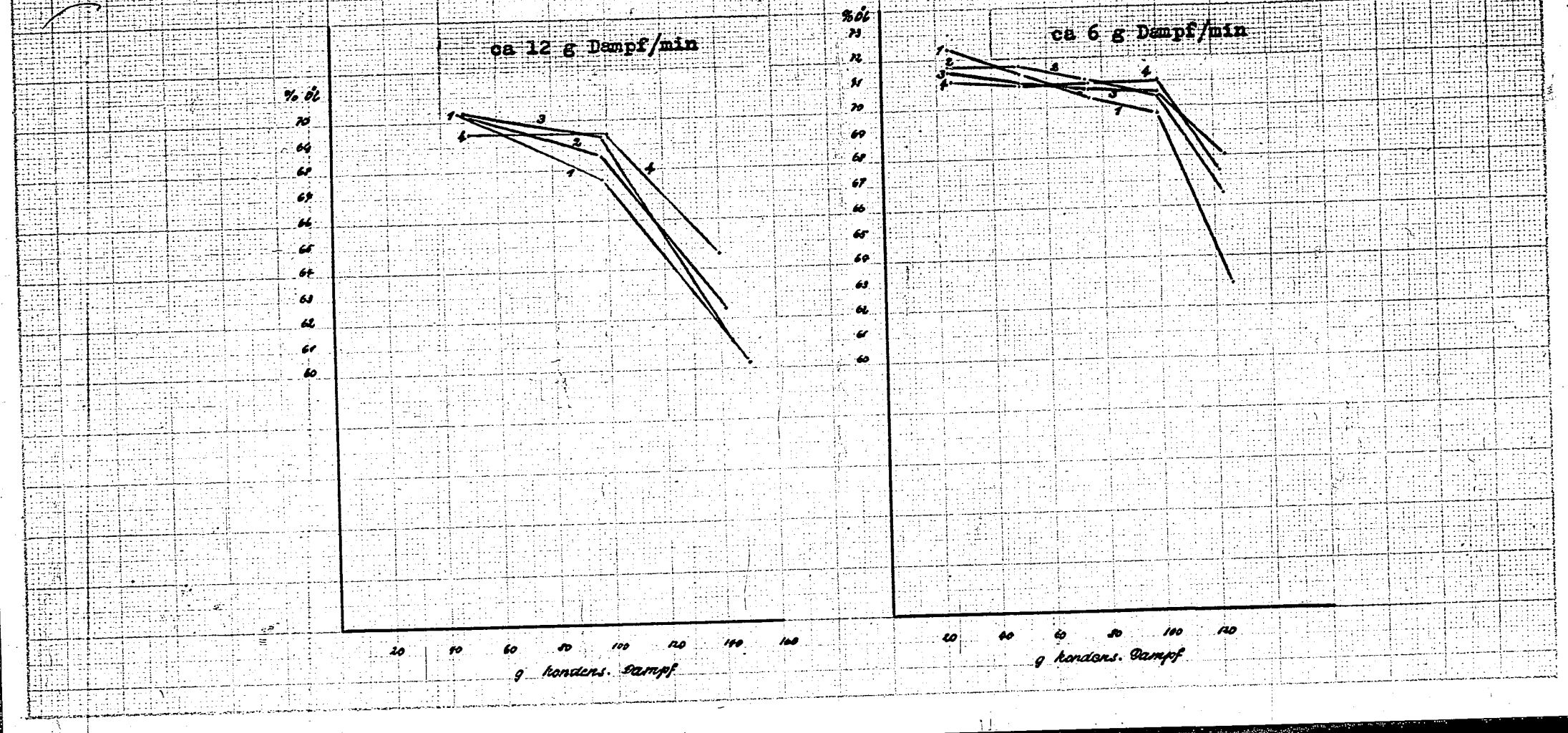
- A n l a g e n -

Tab. 1

Destillation von 300 g Monochlorbenzol

Prozentgehalt des Destillates an Lösungsmittel

1) ohne Wasser
2) suspendiert in 100 ccm Wasser
3) " " 300 " "
4) " " 600 " "

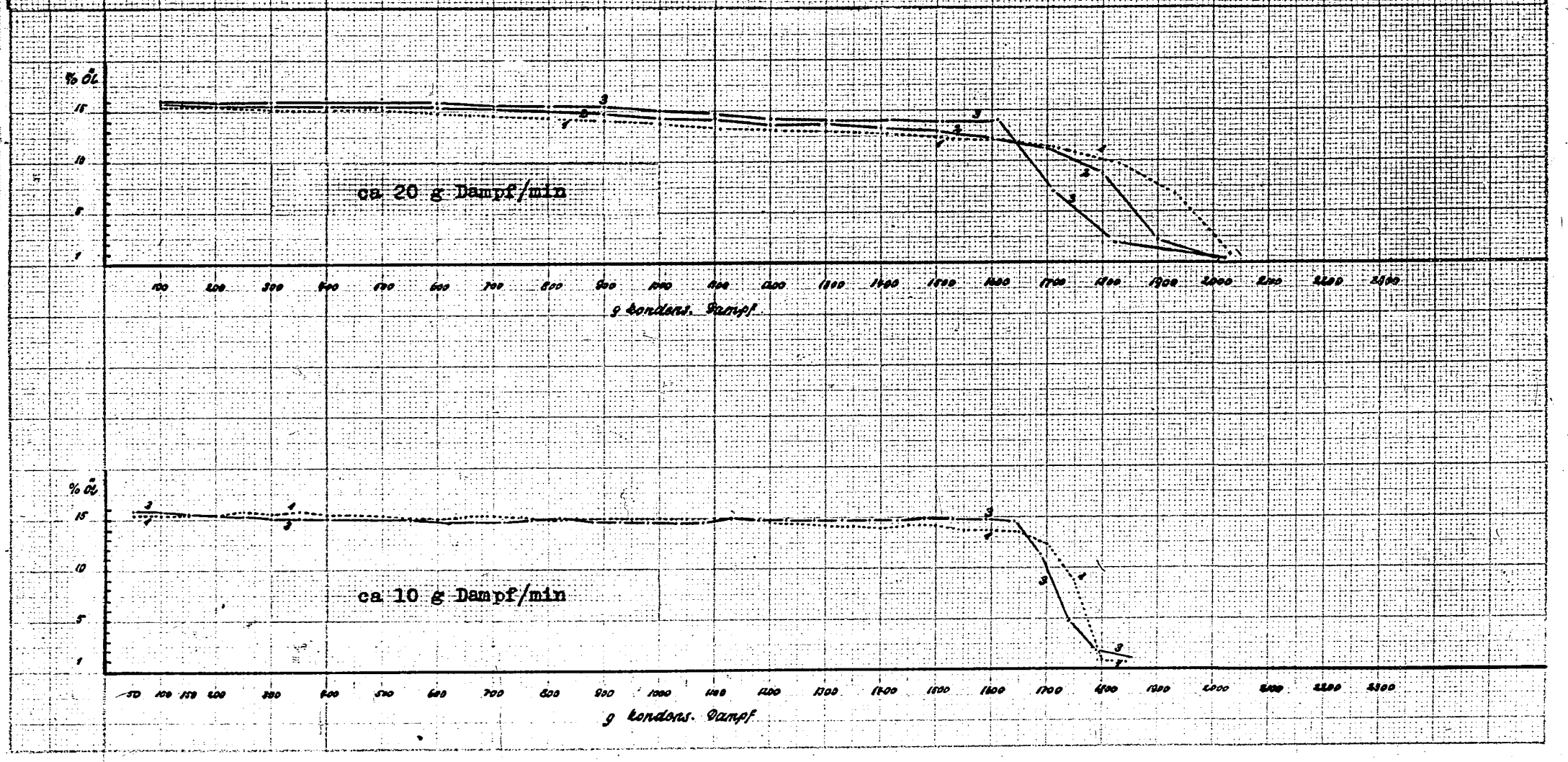


Tab.2

Destillation von 300 g Nitrobenzol

Prozentgehalt des Destillates an Lösungsmittel

1) ohne Wasser
2) suspendiert in 100 ccm Wasser
3) " " 600 " "

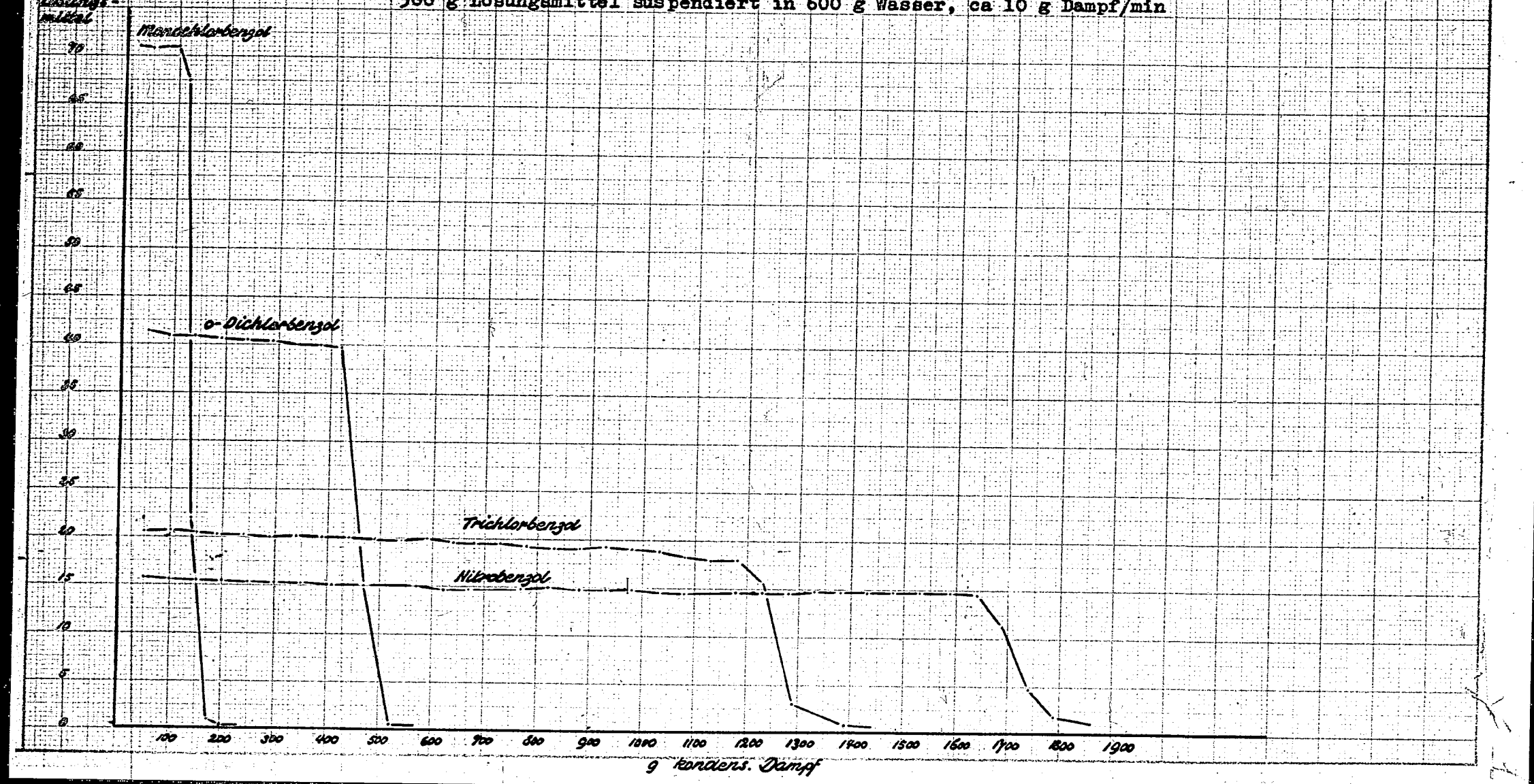


Tab.3

Destillation von Monochlorbenzol, o-Dichlorbenzol, Trichlorbenzol A, Nitrobenzol

Prozentgehalt des Destillates an Lösungsmittel

300 g Lösungsmittel suspendiert in 600 g Wasser, ca 10 g Dampf/min



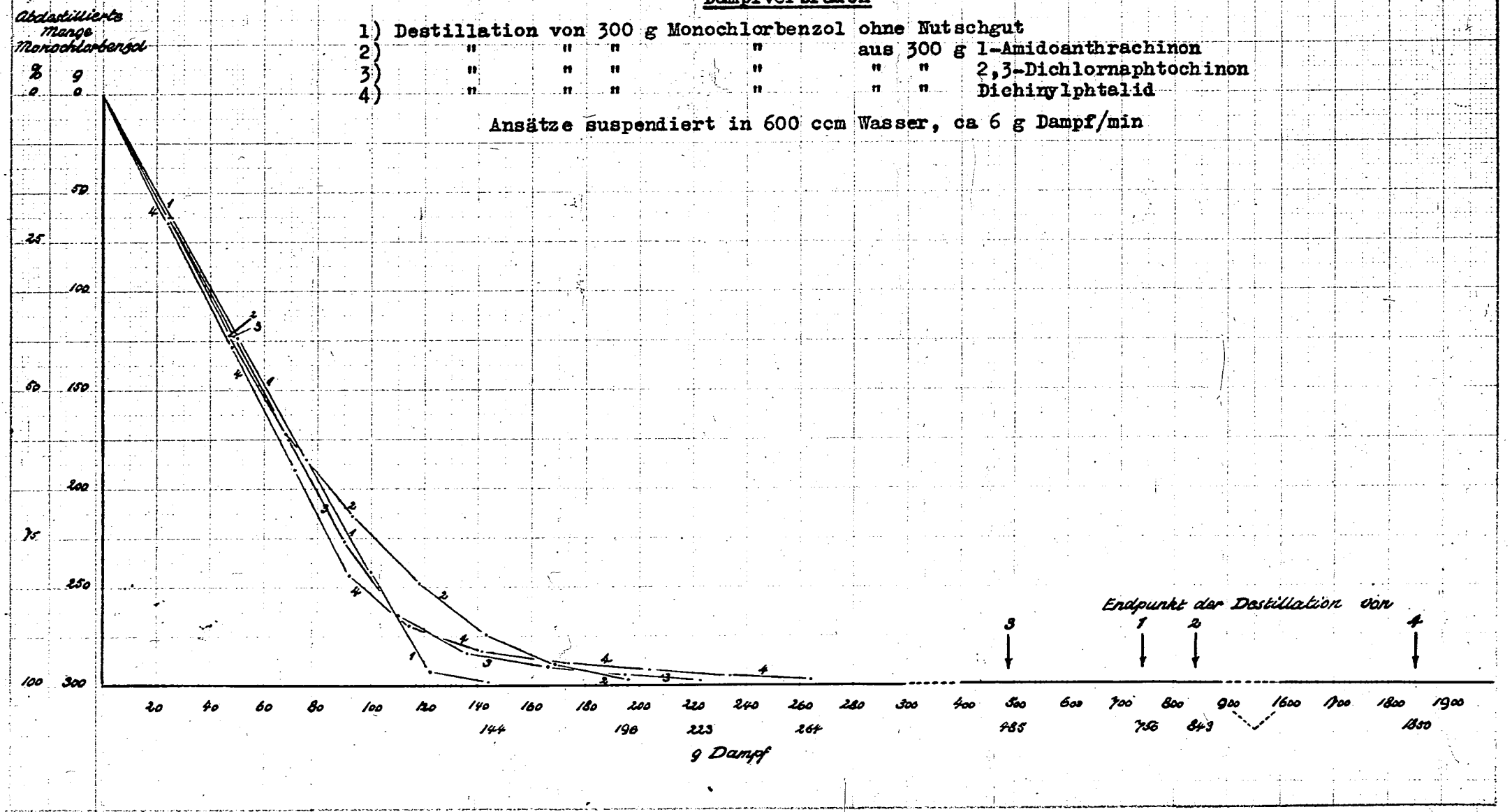
Tab.7

Destillation von Monochlorbenzol aus Nutschgut

Dampfverbrauch

1) Destillation von 300 g Monochlorbenzol ohne Nutschgut
2) " " " " aus 300 g 1-Amidoanthrachinon
3) " " " " " " 2,3-Dichlornaphtochinon
4) " " " " " " Dichinylphtalid

Ansätze suspendiert in 600 ccm Wasser, ca 6 g Dampf/min

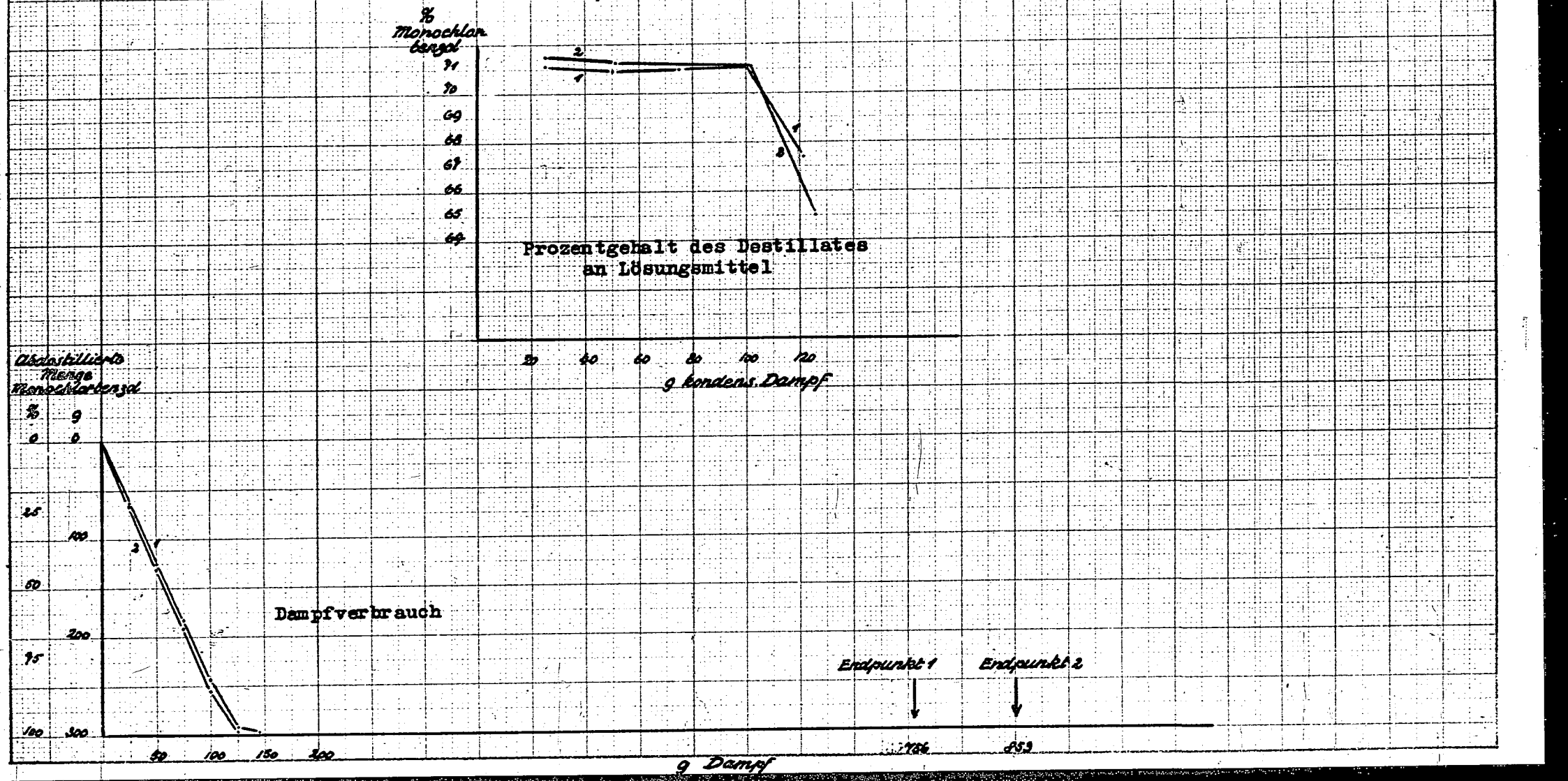


Tab.6

Destillation von 300 g Monochlorbenzol

Lösungsmittel suspendiert in 600 g Wasser, ca 6 g Dampf/min

1) destilliert mit Dampf ca 3,6 atü
2) " " " " 1 "

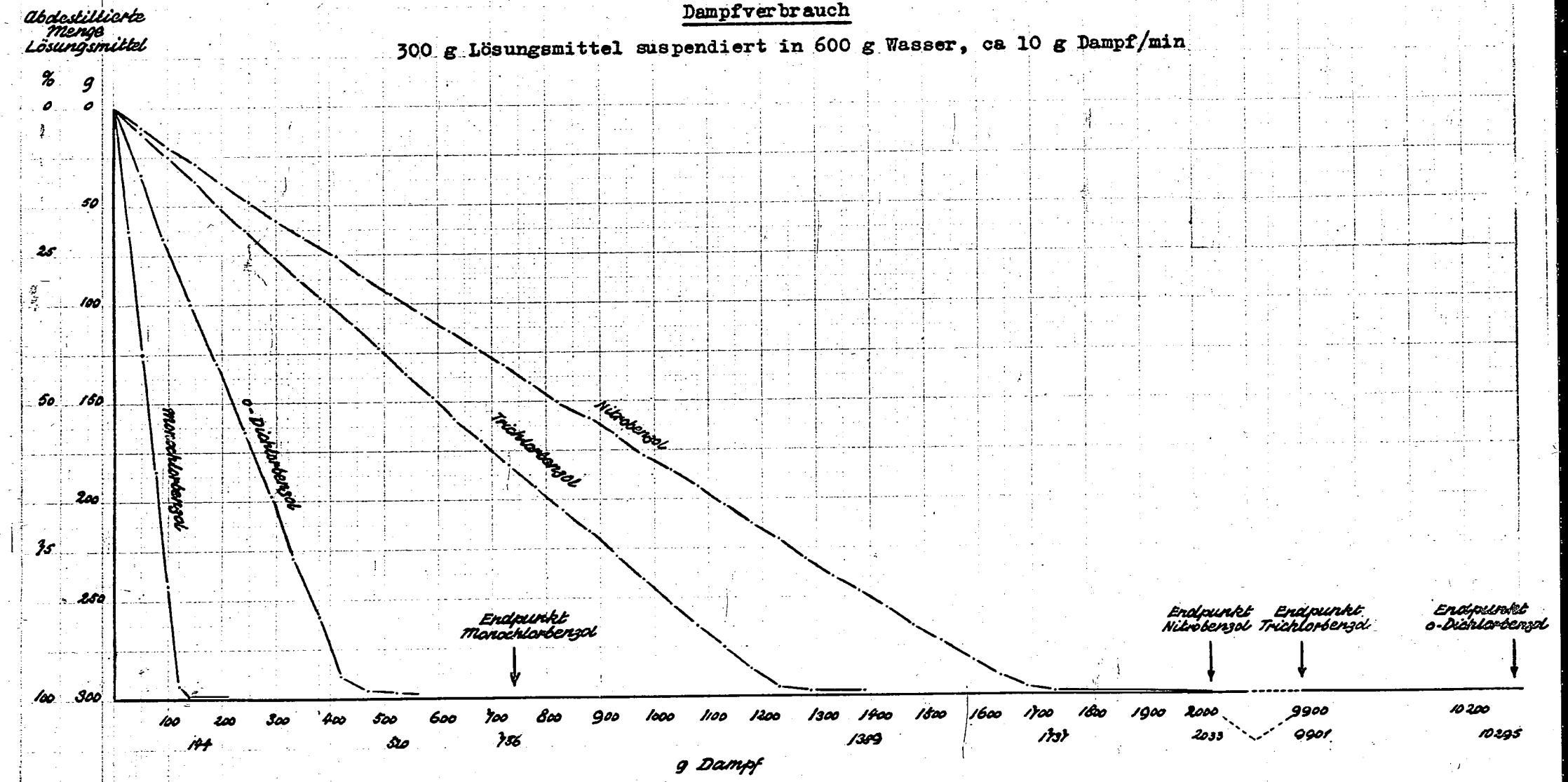


Tab.5

Destillation von Monochlorbenzol, o-Dichlorbenzol, Trichlorbenzol A, Nitrobenzol

Dampfverbrauch

300 g Lösungsmittel suspendiert in 600 g Wasser, ca 10 g Dampf/min

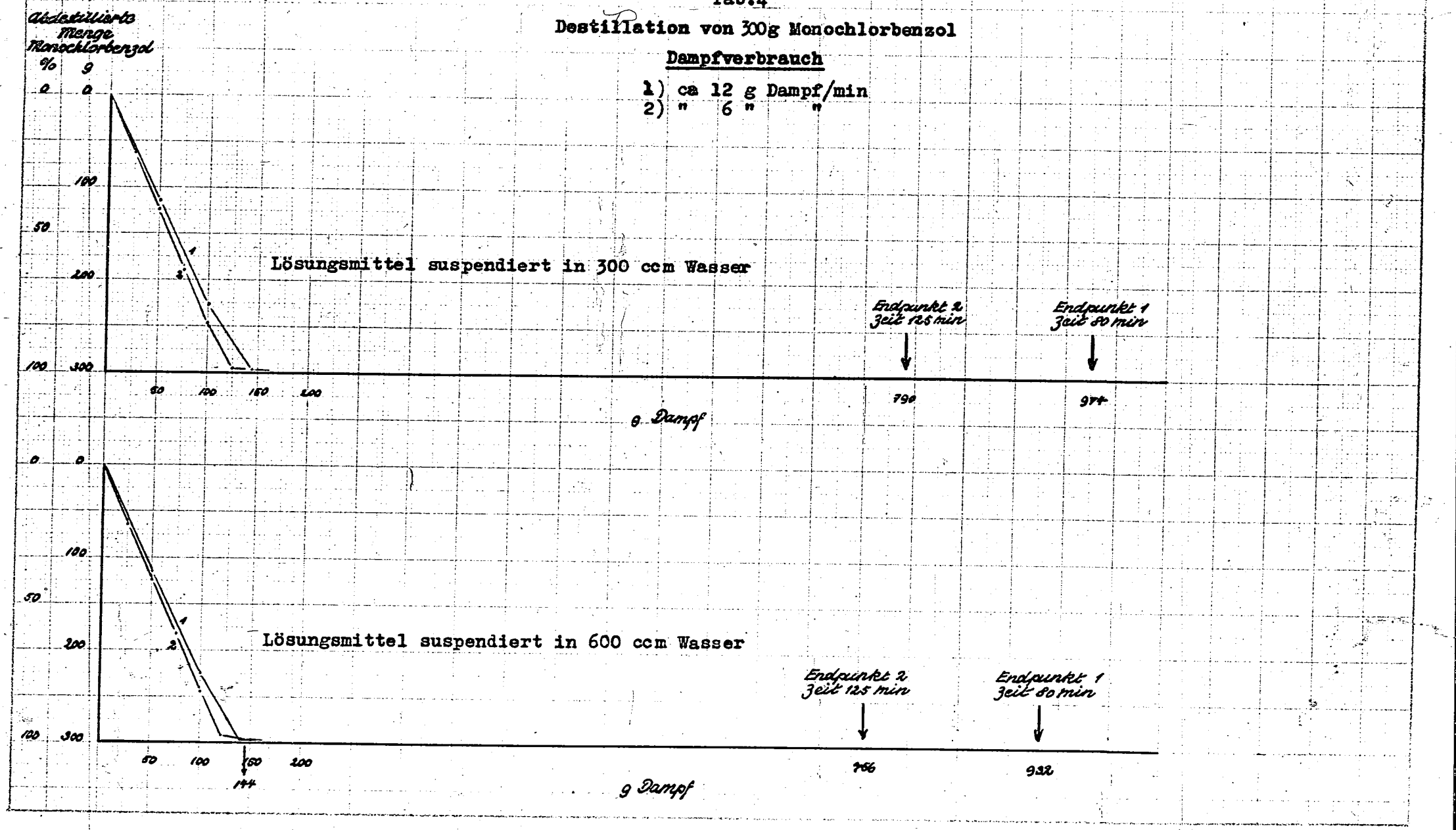


Tab.4

Destillation von 300g Monochlorbenzol

Dampfverbrauch

1) ca 12 g Dampf/min
2) " 6 " "



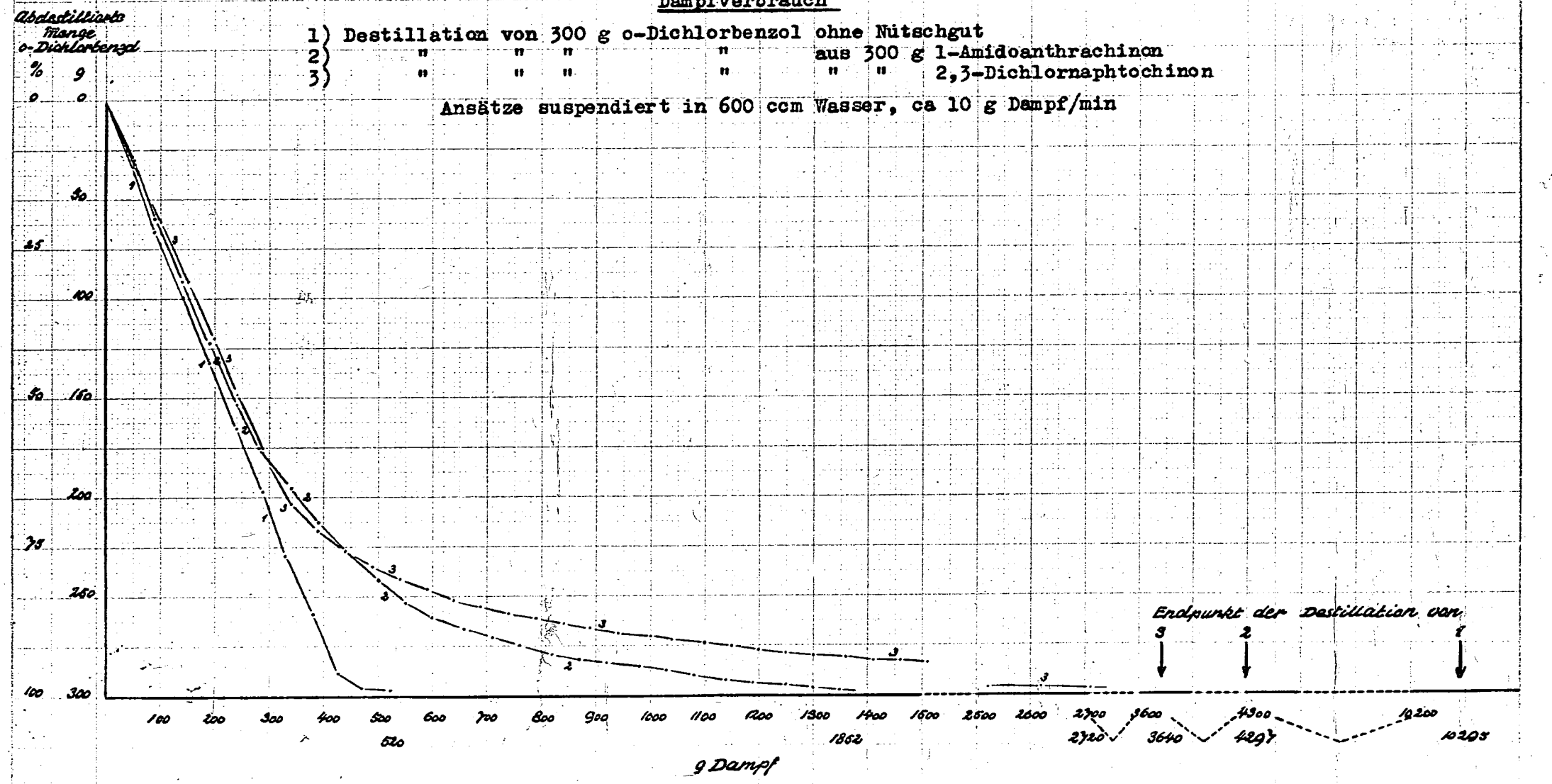
Tab.8

Destillation von o-Dichlorbenzol aus Nutschgut

Dampfverbrauch

1) Destillation von 300 g o-Dichlorbenzol ohne Nutschgut
2) " " " " aus 300 g 1-Amidoanthrachinon
3) " " " " " " 2,3-Dichlornaphtochinon

Ansätze suspendiert in 600 ccm Wasser, ca 10 g Dampf/min



USSBS
Team 46
LU

II

Zähigkeitsmesser

mit lichtelektrisch gesteuerter magnetischer Drehwaage.

2472 - 10M - 374

Ammoniakwerk Merseburg
G.m.b.H.
Betriebskontrolle.

Z ä h i g k e i t s m e s s e r

mit lichtelektrisch gesteuerter magnetischer Drehwaage.

Nr.

Inhalts-Verzeichnis:

		Seite:
I.	Aufgabenstellung.	1
II.	Lösungsmöglichkeiten:	2
	1. Ausfluß- und Durchflußmethoden.	2
	2. Rotationsmethoden:	2
	a) Meßkörper rotiert, Meßflüssigkeit in Ruhe.	2
	b) Meßkörper in Ruhe, Meßflüssigkeit rotiert.	3
III.	Arbeitsprinzip des Zähigkeitsmessers mit lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsdrehmoment.	4
IV.	Aufbau des Zähigkeitsmessers.	6
V.	Experimentelle Eichung und Überprüfung des Zähigkeitsmessers.	9
	1. Erregerstrom abhängig vom Drehmoment.	10
	2. Erregerstrom abhängig von der Zähigkeit.	11
	3. Drehmoment abhängig von der Zähigkeit.	11
	4. Einschwingzeit.	12
	5. Unabhängigkeit der Messung von Größe und Kurvenform der Netzspannung.	14
VI.	Bestimmung der Zähigkeit von Flüssigkeiten in Abhängigkeit von der Temperatur.	14
VII.	Zusammenfassung.	15

Verzeichnis der Anlagen.

Anlage:

I. Prinzipskizze des Zähigkeitsmessers.

II. Elektrisches Schaltbild.

III. Prinzipskizze der Drehmomentmessung.

IV. Erregerstrom in Abhängigkeit vom Drehmoment.

V. Erregerstrom in Abhängigkeit von der Zähigkeit.

VI. Drehmoment in Abhängigkeit von der Zähigkeit.

VII. Erregerstrom in Abhängigkeit vom Drehwinkel.

VIII. Einschwingvorgang.

IX. Zähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur.

X. Lichtbild des Zähigkeitsmessers.

Leuna Werke, den 30. August 1934.

Zähigkeitsmesser mit lichtelektrisch gesteuerter magnetischer Drehwaage.

I. Aufgabenstellung:

Zur Berechnung der Rohrreibungswiderstände bei der Projektierung neuer Kohlekammern, zur Überprüfung der Arbeitsweise von Zentrifugen war die Kenntnis der Zähigkeit der verwendeten Flüssigkeiten in Abhängigkeit von der Temperatur erforderlich. Da die bisher üblichen Meßmethoden kein rasches Arbeiten erlaubten und nur im Laboratorium von speziell geschulten Leuten ausgeführt werden konnten, bestand die Aufgabe:

Erbauung eines Zähigkeitsmessers, der folgende Bedingungen erfüllt:

1. Messbereich: 5 000 bis 100 000 . 10^{-6} $\frac{kg/sec}{m^2}$.
2. Messung auch von Flüssigkeiten, die stark verschmutzt sind und zahlreiche feste Bestandteile enthalten, z. B. Kohlebrei.
3. Möglichst kurze Zeit zur Ausführung der Messung.
4. Stabiler Apparat auch für nicht geschulte Bedienung.
5. Automatische Bestimmung der Zähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur.

II.

II. Lösungsmöglichkeiten.

1. Ausfluss und Durchflussmethode:

Von den Messverfahren der Ausflussmethode (Engler-Vicosimeter) und der Durchflussmethode (Kapillar-Viscosimeter) wurde Abstand genommen. Die Ausflussmethode durch Düsen hätte für Kohlebrei zur Vermeidung von Verschmutzung grosse Düsenöffnungen und somit bei kontinuierlicher Messung grosse Mengen der zu untersuchenden Flüssigkeit erfordert, auch wäre die Bestimmung der Zähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur schwer durchführbar, da die Probe umgepumpt werden müsste. Die Kapillarmethode aber ist wegen Verschmutzungsgefahr vollkommen unbrauchbar.

2. Rotationsmethoden:

Es ist bekannt, dass eine rotierende Flüssigkeit auf einen in ihr befindlichen stillstehenden Körper ein Drehmoment ausübt, das proportional der Zähigkeit der Flüssigkeit ist. Dabei ist gleichgültig, ob der Körper rotiert und die Flüssigkeit sich in Ruhe befindet, oder ob der Körper in Ruhe ist und die Flüssigkeit rotiert.

In beiden Fällen läuft diese Messung darauf hinaus, bei konstanter Rotationsgeschwindigkeit ein Drehmoment zu messen. Hierfür waren unter anderen die folgenden Messmethoden üblich:

a) Messkörper rotiert, Messflüssigkeit in Ruhe:

Zur Bestimmung des Drehmomentes, das auf den in der Flüssigkeit rotierenden Körper ausgeübt wird, pflegt man die der Antriebswelle des Körpers zugeführte Leistung zu messen. Wenn z. B. der Körper von einem Elektromotor angetrieben wird, kann man dessen grössere Leistungsaufnahme beim Eintauchen des Körpers in die zu messende Flüssigkeit als Mass für die Zähigkeit benutzen. Doch haben solche Kleinmotoren infolge zu geringer Ankerrückwirkung nur

wenig Unterschied in der Leistungsaufnahme bei Leerlauf und Vollast. Auch können die Fehler infolge Lagerreibung etc. aus diesem Grunde sehr hohe Werte annehmen.

Auch die mechanische Messung des Drehmomentes, z. B. durch Torsionskupplung oder Getriebe hat zu keinen bewährten Ausführungen geführt, da infolge der Erschütterungen der Lagerreibung etc. grössere Fehler nicht zu vermeiden sind.

b) <u>Messkörper in Ruhe, Messflüssigkeit rotiert:</u>

Bei diesen Apparaten befindet sich die zu messende Flüssigkeit in einem rotierenden Gefäss und der drehbar aufgehängte Messkörper wird z. B. mittels einer Spiralfeder an der Rotation verhindert. Je grösser also das von der Flüssigkeit ausgeübte Drehmoment ist, desto mehr wird die Spiralfeder gespannt und um so grösser ist der Winkel um den das Meßsystem aus seiner Ruhelage herausgedreht wird. Bei anderen Apparaten verzichtet man auf die direkte Anzeige und wiegt das Drehmoment mit Gewichten unmittelbar ab. Diese Methode hat gegenüber der unter a beschriebenen den Vorteil, dass alle Fehler infolge Lagerreibung etc. vermieden werden. Das rotierende Gefäss kann sehr stabil ausgeführt werden und trotzdem ist es möglich, das Meßsystem mit höchster feinmechanischer Präzision auszuführen.

Diese beiden Vorzüge waren es, die uns bestimmten, diese letztere Messmethode: Rotierende Flüssigkeit, ruhender Messkörper für unseren Apparat zu wählen. Doch während man bei dieser Messmethode normalerweise mit Randwirkung, d. h. dünner Flüssigkeitsschicht zwischen Körper und Gefäßwand arbeitet, mussten wir, da Flüssigkeiten mit mehr als 50 % festen Bestandteilen gemessen werden sollten, auf grossen Abstand zwischen Körper und Gefäss-

wand sehen. Ausserdem musste mit sehr niedriger Drehzahl (n = 40/Min.) gearbeitet werden, einerseits, um das Zentrifugieren der Flüssigkeit zu vermeiden, andererseits, um im Bereich der laminaren Strömung zu bleiben.

Zur Messung des Drehmomentes wurde eine von der Betriebskontrolle der Hydrierung erstmalig entwickelte Drehwaagenmessmethode mit lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsmagnetfeld benutzt. Durch Anwendung dieser Messmethode ist einerseits präzise Anzeige, andererseits bequeme Registrierung und eventuell Fernanzeige der Messwerte erreicht worden.

III. Arbeitsprinzip des Zähigkeitsmessers mit lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsdrehmoment.

(Siehe Anlage Nr. I u. II.)

Bei den bisher üblichen Zähigkeitsmessern mit rotierender Flüssigkeit wurde das von der Flüssigkeit auf den drehbar in der Flüssigkeit angeordneten Rotationskörper ausgeübte Drehmoment durch Torsion, Feder oder Gewicht gemessen. Bei dem hier beschriebenen Zähigkeitsmesser wird dieses von der Flüssigkeit ausgeübte Drehmoment durch ein lichtelektrisch gesteuertes Gegendrehmoment, das von einem Elektromagneten auf einen an der Drehachse befestigten Anker ausgeübt wird, kompensiert. Der Erregerstrom des Elektromagneten ist direkt proportional dem Drehmoment, so dass das zu seiner Messung benutzte Milliamperemeter in cmg oder unmittelbar in Einheiten der absoluten Zähigkeit geeicht werden kann.

Der Vorgang während der Messung spielt sich wie folgt ab: Das Gefäss mit der zu messenden Flüssigkeit rotiert mit konstanter

wand sehen. Ausserdem musste mit sehr niedriger Drehzahl (n = 40/Min.) gearbeitet werden, einerseits, um das Zentrifugieren der Flüssigkeit zu vermeiden, andererseits, um im Bereich der laminaren Strömung zu bleiben.

Zur Messung des Drehmomentes wurde eine von der Betriebskontrolle der Hydrierung erstmalig entwickelte Drehwaagenmessmethode mit lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsmagnetfeld benutzt. Durch Anwendung dieser Messmethode ist einerseits präzise Anzeige, andererseits bequeme Registrierung und eventuell Fernanzeige der Messwerte erreicht worden.

III. Arbeitsprinzip des Zähigkeitsmessers mit lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsdrehmoment.

(Siehe Anlage Nr. I u. II.)

Bei den bisher üblichen Zähigkeitsmessern mit rotierender Flüssigkeit wurde das von der Flüssigkeit auf den drehbar in der Flüssigkeit angeordneten Rotationskörper ausgeübte Drehmoment durch Torsion, Feder oder Gewicht gemessen. Bei dem hier beschriebenen Zähigkeitsmesser wird dieses von der Flüssigkeit ausgeübte Drehmoment durch ein lichtelektrisch gesteuertes Gegendrehmoment, das von einem Elektromagneten auf einen an der Drehachse befestigten Anker ausgeübt wird, kompensiert. Der Erregerstrom des Elektromagneten ist direkt proportional dem Drehmoment, so dass das zu seiner Messung benutzte Milliamperemeter in cmg oder unmittelbar in Einheiten der absoluten Zähigkeit geeicht werden kann.

Der Vorgang während der Messung spielt sich wie folgt ab: Das Gefäss mit der zu messenden Flüssigkeit rotiert mit konstanter

wand sehen. Ausserdem musste mit sehr niedriger Drehzahl (n = 40/Min.) gearbeitet werden, einerseits, um das Zentrifugieren der Flüssigkeit zu vermeiden, andererseits, um im Bereich der laminaren Strömung zu bleiben.

Zur Messung des Drehmomentes wurde eine von der Betriebskontrolle der Hydrierung erstmalig entwickelte Drehwaagenmessmethode mit lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsmagnetfeld benutzt. Durch Anwendung dieser Messmethode ist einerseits präzise Anzeige, andererseits bequeme Registrierung und eventuell Fernanzeige der Messwerte erreicht worden.

III. Arbeitsprinzip des Zähigkeitsmessers mit lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsdrehmoment.

(Siehe Anlage Nr. I u. II.)

Bei den bisher üblichen Zähigkeitsmessern mit rotierender Flüssigkeit wurde das von der Flüssigkeit auf den drehbar in der Flüssigkeit angeordneten Rotationskörper ausgeübte Drehmoment durch Torsion, Feder oder Gewicht gemessen. Bei dem hier beschriebenen Zähigkeitsmesser wird dieses von der Flüssigkeit ausgeübte Drehmoment durch ein lichtelektrisch gesteuertes Gegendrehmoment, das von einem Elektromagneten auf einen an der Drehachse befestigten Anker ausgeübt wird, kompensiert. Der Erregerstrom des Elektromagneten ist direkt proportional dem Drehmoment, so dass das zu seiner Messung benutzte Milliamperemeter in cmg oder unmittelbar in Einheiten der absoluten Zähigkeit geeicht werden kann.

Der Vorgang während der Messung spielt sich wie folgt ab: Das Gefäss mit der zu messenden Flüssigkeit rotiert mit konstanter

wand sehen. Ausserdem musste mit sehr niedriger Drehzahl (n = 40/Min.) gearbeitet werden, einerseits, um das Zentrifugieren der Flüssigkeit zu vermeiden, andererseits, um im Bereich der laminaren Strömung zu bleiben.

Zur Messung des Drehmomentes wurde eine von der Betriebskontrolle der Hydrierung erstmalig entwickelte Drehwaagenmessmethode mit lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsmagnetfeld benutzt. Durch Anwendung dieser Messmethode ist einerseits präzise Anzeige, andererseits bequeme Registrierung und eventuell Fernanzeige der Messwerte erreicht worden.

III. Arbeitsprinzip des Zähigkeitsmessers mit lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsdrehmoment.

(Siehe Anlage Nr. I u. II.)

Bei den bisher üblichen Zähigkeitsmessern mit rotierender Flüssigkeit wurde das von der Flüssigkeit auf den drehbar in der Flüssigkeit angeordneten Rotationskörper ausgeübte Drehmoment durch Torsion, Feder oder Gewicht gemessen. Bei dem hier beschriebenen Zähigkeitsmesser wird dieses von der Flüssigkeit ausgeübte Drehmoment durch ein lichtelektrisch gesteuertes Gegendrehmoment, das von einem Elektromagneten auf einen an der Drehachse befestigten Anker ausgeübt wird, kompensiert. Der Erregerstrom des Elektromagneten ist direkt proportional dem Drehmoment, so dass das zu seiner Messung benutzte Milliamperemeter in cmg oder unmittelbar in Einheiten der absoluten Zähigkeit geeicht werden kann.

Der Vorgang während der Messung spielt sich wie folgt ab: Das Gefäss mit der zu messenden Flüssigkeit rotiert mit konstanter

Drehzahl. Während der Drehung wird das Gefäss hochgehoben, so dass der bisher frei in Luft hängende Rotationskörper K in die rotierende Flüssigkeit vollständig eintaucht. Die Flüssigkeit sucht nun den Körper in ihrer Drehrichtung mitzunehmen. Dadurch aber wird der mit der Drehachse des Körpers K fest verbundene Zeiger Z ebenfalls in Bewegung gesetzt und die Zeigerfahne F tritt in den Lichtstrom ein, der von der Lichtquelle L auf die lichtelektrische Cäsiumzelle C fällt. Durch diese Verdunkelung der Photozelle können weniger Elektronen von der Kathode nach der Anode der Zelle fliessen und es wird somit die negative Spannung am Gitter der Verstärkerröhre verringert. Der Anodenstrom J_A wird grösser. Da aber der Anodenstrom zur Erregung des Elektromagneten M dient, wird dessen Magnetfeld stärker und übt auf den Anker A, der auf der Drehachse D des Messkörpers fest angebracht ist, eine grössere Zugkraft aus, deren Drehmoment dem Drehmoment der Flüssigkeit entgegenwirkt. Der Rotationskörper wird also nur so weit von der Flüssigkeit mitgenommen, bis die Zeigerfahne den Lichtstrom so weit abgedrosselt und damit den Erregerstrom des Magneten so weit verstärkt hat, dass beide Drehmomente gleich sind. Die Grösse des Erregerstromes ist dann unmittelbar ein Mass für das Drehmoment bezw. für die Zähigkeit der Flüssigkeit.

Bereits an dieser Stelle sei darauf aufmerksam gemacht, dass Fehlanzeigen infolge Schwankungen der Netzspannung oder infolge Alterung von Glühlampe, Röhre und Photozelle nicht auftreten können, da die Zeigerfahne stets automatisch die beiden Drehmomente auf Gleichheit nachreguliert.

IV. Aufbau des Zähigkeitsmessers.

(Siehe Anlage I, II und X).

Der Antrieb des mit der zu messenden Flüssigkeit gefüllten Gefäßes G erfolgt durch einen Synchronmotor S. Dessen hohe Drehzahl (3000/Min.) wird durch ein Untersetzungsgetriebe (75/1) auf eine Drehzahl des Gefäßes von 40/Min. erniedrigt. Die Drehachse des Gefäßes ist mit einer Nut versehen, in die ein mit dem Antriebsrad fest verbundener Keil eingreift, sodass das Gefäß während der Rotation gehoben und gesenkt werden kann. Bei angehobener Stellung des Gefäßes muss der zylindrische Messkörper K vollständig mit Flüssigkeit umgeben sein. Dagegen befindet sich dieser Messkörper bei herabgelassenem Gefäß weit genug über dem Gefäß, sodass die Flüssigkeit bequem umgerührt und ein Hg-Thermometer zur Temperaturmessung eingeführt werden kann. Der Messkörper selbst ist ein einfacher zylindrischer Körper aus Aluminium, dessen Oberfläche poliert ist. Bei diesem ersten Apparat sind Grund- und Deckfläche des Zylinders noch planparallel, doch dürfte aus strömungstechnischen Gründen ein kegelförmiger Abschluss des Zylinders erwünscht sein, wie er in der Prinzipskizze, Anlage Nr. I, bereits angegeben ist. Der Durchmesser des Messkörpers ist klein gegenüber dem Gefäßdurchmesser (d_K = 80 mm; d_G = 150 mm). Der Abstand von der Gefäßwand bis zum Messkörper beträgt somit 35 mm. Hierdurch spielt eine kleine exzentrische Verlagerung der Achse des Messkörpers gegenüber der Gefässmitte keine Rolle. Eine allzu präzise Führung des Messkörpers erübrigt sich daher und er konnte leicht abnehmbar mit einer gabelförmigen Aufhängung an der Drehachse des Messwerks befestigt werden. Diese Aufhängung hat sich sehr gut bewährt, da besonders bei Messungen mit Kohlebrei der Körper leicht gereinigt wer-

IV. Aufbau des Zähigkeitsmessers.

(Siehe Anlage I, II und X).

Der Antrieb des mit der zu messenden Flüssigkeit gefüllten Gefäßes G erfolgt durch einen Synchronmotor S. Dessen hohe Drehzahl (3000/Min.) wird durch ein Untersetzungsgetriebe (75/1) auf eine Drehzahl des Gefäßes von 40/Min. erniedrigt. Die Drehachse des Gefäßes ist mit einer Nut versehen, in die ein mit dem Antriebsrad fest verbundener Keil eingreift, sodass das Gefäß während der Rotation gehoben und gesenkt werden kann. Bei angehobener Stellung des Gefäßes muss der zylindrische Messkörper K vollständig mit Flüssigkeit umgeben sein. Dagegen befindet sich dieser Messkörper bei herabgelassenem Gefäß weit genug über dem Gefäß, sodass die Flüssigkeit bequem umgerührt und ein Hg-Thermometer zur Temperaturmessung eingeführt werden kann. Der Messkörper selbst ist ein einfacher zylindrischer Körper aus Aluminium, dessen Oberfläche poliert ist. Bei diesem ersten Apparat sind Grund- und Deckfläche des Zylinders noch planparallel, doch dürfte aus strömungstechnischen Gründen ein kegelförmiger Abschluss des Zylinders erwünscht sein, wie er in der Prinzipskizze, Anlage Nr. I, bereits angegeben ist. Der Durchmesser des Messkörpers ist klein gegenüber dem Gefäßdurchmesser (d_K = 80 mm; d_G = 150 mm). Der Abstand von der Gefäßwand bis zum Messkörper beträgt somit 35 mm. Hierdurch spielt eine kleine exzentrische Verlagerung der Achse des Messkörpers gegenüber der Gefässmitte keine Rolle. Eine allzu präzise Führung des Messkörpers erübrigt sich daher und er konnte leicht abnehmbar mit einer gabelförmigen Aufhängung an der Drehachse des Messwerks befestigt werden. Diese Aufhängung hat sich sehr gut bewährt, da besonders bei Messungen mit Kohlebrei der Körper leicht gereinigt wer-

IV. Aufbau des Zähigkeitsmessers.

(Siehe Anlage I, II und X).

Der Antrieb des mit der zu messenden Flüssigkeit gefüllten Gefäßes G erfolgt durch einen Synchronmotor S. Dessen hohe Drehzahl (3000/Min.) wird durch ein Untersetzungsgetriebe (75/1) auf eine Drehzahl des Gefäßes von 40/Min. erniedrigt. Die Drehachse des Gefäßes ist mit einer Nut versehen, in die ein mit dem Antriebsrad fest verbundener Keil eingreift, sodass das Gefäß während der Rotation gehoben und gesenkt werden kann. Bei angehobener Stellung des Gefäßes muss der zylindrische Messkörper K vollständig mit Flüssigkeit umgeben sein. Dagegen befindet sich dieser Messkörper bei herabgelassenem Gefäß weit genug über dem Gefäß, sodass die Flüssigkeit bequem umgerührt und ein Hg-Thermometer zur Temperaturmessung eingeführt werden kann. Der Messkörper selbst ist ein einfacher zylindrischer Körper aus Aluminium, dessen Oberfläche poliert ist. Bei diesem ersten Apparat sind Grund- und Deckfläche des Zylinders noch planparallel, doch dürfte aus strömungstechnischen Gründen ein kegelförmiger Abschluss des Zylinders erwünscht sein, wie er in der Prinzipskizze, Anlage Nr. I, bereits angegeben ist. Der Durchmesser des Messkörpers ist klein gegenüber dem Gefäßdurchmesser (d_K = 80 mm; d_G = 150 mm). Der Abstand von der Gefäßwand bis zum Messkörper beträgt somit 35 mm. Hierdurch spielt eine kleine exzentrische Verlagerung der Achse des Messkörpers gegenüber der Gefässmitte keine Rolle. Eine allzu präzise Führung des Messkörpers erübrigt sich daher und er konnte leicht abnehmbar mit einer gabelförmigen Aufhängung an der Drehachse des Messwerks befestigt werden. Diese Aufhängung hat sich sehr gut bewährt, da besonders bei Messungen mit Kohlebrei der Körper leicht gereinigt wer-

IV. Aufbau des Zähigkeitsmessers.

(Siehe Anlage I, II und X).

Der Antrieb des mit der zu messenden Flüssigkeit gefüllten Gefäßes G erfolgt durch einen Synchronmotor S. Dessen hohe Drehzahl (3000/Min.) wird durch ein Untersetzungsgetriebe (75/1) auf eine Drehzahl des Gefäßes von 40/Min. erniedrigt. Die Drehachse des Gefäßes ist mit einer Nut versehen, in die ein mit dem Antriebsrad fest verbundener Keil eingreift, sodass das Gefäß während der Rotation gehoben und gesenkt werden kann. Bei angehobener Stellung des Gefäßes muss der zylindrische Messkörper K vollständig mit Flüssigkeit umgeben sein. Dagegen befindet sich dieser Messkörper bei herabgelassenem Gefäß weit genug über dem Gefäß, sodass die Flüssigkeit bequem umgerührt und ein Hg-Thermometer zur Temperaturmessung eingeführt werden kann. Der Messkörper selbst ist ein einfacher zylindrischer Körper aus Aluminium, dessen Oberfläche poliert ist. Bei diesem ersten Apparat sind Grund- und Deckfläche des Zylinders noch planparallel, doch dürfte aus strömungstechnischen Gründen ein kegelförmiger Abschluss des Zylinders erwünscht sein, wie er in der Prinzipskizze, Anlage Nr. I, bereits angegeben ist. Der Durchmesser des Messkörpers ist klein gegenüber dem Gefäßdurchmesser (d_K = 80 mm; d_G = 150 mm). Der Abstand von der Gefäßwand bis zum Messkörper beträgt somit 35 mm. Hierdurch spielt eine kleine exzentrische Verlagerung der Achse des Messkörpers gegenüber der Gefässmitte keine Rolle. Eine allzu präzise Führung des Messkörpers erübrigt sich daher und er konnte leicht abnehmbar mit einer gabelförmigen Aufhängung an der Drehachse des Messwerks befestigt werden. Diese Aufhängung hat sich sehr gut bewährt, da besonders bei Messungen mit Kohlebrei der Körper leicht gereinigt wer-

IV. Aufbau des Zähigkeitsmessers.

(Siehe Anlage I, II und X).

Der Antrieb des mit der zu messenden Flüssigkeit gefüllten Gefäßes G erfolgt durch einen Synchronmotor S. Dessen hohe Drehzahl (3000/Min.) wird durch ein Untersetzungsgetriebe (75/1) auf eine Drehzahl des Gefäßes von 40/Min. erniedrigt. Die Drehachse des Gefäßes ist mit einer Nut versehen, in die ein mit dem Antriebsrad fest verbundener Keil eingreift, sodass das Gefäß während der Rotation gehoben und gesenkt werden kann. Bei angehobener Stellung des Gefäßes muss der zylindrische Messkörper K vollständig mit Flüssigkeit umgeben sein. Dagegen befindet sich dieser Messkörper bei herabgelassenem Gefäß weit genug über dem Gefäß, sodass die Flüssigkeit bequem umgerührt und ein Hg-Thermometer zur Temperaturmessung eingeführt werden kann. Der Messkörper selbst ist ein einfacher zylindrischer Körper aus Aluminium, dessen Oberfläche poliert ist. Bei diesem ersten Apparat sind Grund- und Deckfläche des Zylinders noch planparallel, doch dürfte aus strömungstechnischen Gründen ein kegelförmiger Abschluss des Zylinders erwünscht sein, wie er in der Prinzipskizze, Anlage Nr. I, bereits angegeben ist. Der Durchmesser des Messkörpers ist klein gegenüber dem Gefäßdurchmesser (d_K = 80 mm; d_G = 150 mm). Der Abstand von der Gefäßwand bis zum Messkörper beträgt somit 35 mm. Hierdurch spielt eine kleine exzentrische Verlagerung der Achse des Messkörpers gegenüber der Gefässmitte keine Rolle. Eine allzu präzise Führung des Messkörpers erübrigt sich daher und er konnte leicht abnehmbar mit einer gabelförmigen Aufhängung an der Drehachse des Messwerks befestigt werden. Diese Aufhängung hat sich sehr gut bewährt, da besonders bei Messungen mit Kohlebrei der Körper leicht gereinigt wer-

IV. Aufbau des Zähigkeitsmessers.

(Siehe Anlage I, II und X).

Der Antrieb des mit der zu messenden Flüssigkeit gefüllten Gefäßes G erfolgt durch einen Synchronmotor S. Dessen hohe Drehzahl (3000/Min.) wird durch ein Untersetzungsgetriebe (75/1) auf eine Drehzahl des Gefäßes von 40/Min. erniedrigt. Die Drehachse des Gefäßes ist mit einer Nut versehen, in die ein mit dem Antriebsrad fest verbundener Keil eingreift, sodass das Gefäß während der Rotation gehoben und gesenkt werden kann. Bei angehobener Stellung des Gefäßes muss der zylindrische Messkörper K vollständig mit Flüssigkeit umgeben sein. Dagegen befindet sich dieser Messkörper bei herabgelassenem Gefäß weit genug über dem Gefäß, sodass die Flüssigkeit bequem umgerührt und ein Hg-Thermometer zur Temperaturmessung eingeführt werden kann. Der Messkörper selbst ist ein einfacher zylindrischer Körper aus Aluminium, dessen Oberfläche poliert ist. Bei diesem ersten Apparat sind Grund- und Deckfläche des Zylinders noch planparallel, doch dürfte aus strömungstechnischen Gründen ein kegelförmiger Abschluss des Zylinders erwünscht sein, wie er in der Prinzipskizze, Anlage Nr. I, bereits angegeben ist. Der Durchmesser des Messkörpers ist klein gegenüber dem Gefäßdurchmesser (d_K = 80 mm; d_G = 150 mm). Der Abstand von der Gefäßwand bis zum Messkörper beträgt somit 35 mm. Hierdurch spielt eine kleine exzentrische Verlagerung der Achse des Messkörpers gegenüber der Gefässmitte keine Rolle. Eine allzu präzise Führung des Messkörpers erübrigt sich daher und er konnte leicht abnehmbar mit einer gabelförmigen Aufhängung an der Drehachse des Messwerks befestigt werden. Diese Aufhängung hat sich sehr gut bewährt, da besonders bei Messungen mit Kohlebrei der Körper leicht gereinigt wer-

IV. Aufbau des Zähigkeitsmessers.

(Siehe Anlage I, II und X).

Der Antrieb des mit der zu messenden Flüssigkeit gefüllten Gefäßes G erfolgt durch einen Synchronmotor S. Dessen hohe Drehzahl (3000/Min.) wird durch ein Untersetzungsgetriebe (75/1) auf eine Drehzahl des Gefäßes von 40/Min. erniedrigt. Die Drehachse des Gefäßes ist mit einer Nut versehen, in die ein mit dem Antriebsrad fest verbundener Keil eingreift, sodass das Gefäß während der Rotation gehoben und gesenkt werden kann. Bei angehobener Stellung des Gefäßes muss der zylindrische Messkörper K vollständig mit Flüssigkeit umgeben sein. Dagegen befindet sich dieser Messkörper bei herabgelassenem Gefäß weit genug über dem Gefäß, sodass die Flüssigkeit bequem umgerührt und ein Hg-Thermometer zur Temperaturmessung eingeführt werden kann. Der Messkörper selbst ist ein einfacher zylindrischer Körper aus Aluminium, dessen Oberfläche poliert ist. Bei diesem ersten Apparat sind Grund- und Deckfläche des Zylinders noch planparallel, doch dürfte aus strömungstechnischen Gründen ein kegelförmiger Abschluss des Zylinders erwünscht sein, wie er in der Prinzipskizze, Anlage Nr. I, bereits angegeben ist. Der Durchmesser des Messkörpers ist klein gegenüber dem Gefäßdurchmesser (d_K = 80 mm; d_G = 150 mm). Der Abstand von der Gefäßwand bis zum Messkörper beträgt somit 35 mm. Hierdurch spielt eine kleine exzentrische Verlagerung der Achse des Messkörpers gegenüber der Gefässmitte keine Rolle. Eine allzu präzise Führung des Messkörpers erübrigt sich daher und er konnte leicht abnehmbar mit einer gabelförmigen Aufhängung an der Drehachse des Messwerks befestigt werden. Diese Aufhängung hat sich sehr gut bewährt, da besonders bei Messungen mit Kohlebrei der Körper leicht gereinigt wer-

den kann.

Durch diese gabelförmige Aufhängung ist der Messkörper mit dem unteren Ende der Messwerksachse verbunden. Diese ist zweimal gelagert und an ihrem oberen Ende an einem Seidenfaden leicht drehbar befestigt. Mit der Messwerksachse fest verbunden ist der Anker A des Elektromagneten M. Der Anker ist in Z -Form ausgeführt. Die Abmessungen des Magnetgestells sind die gleichen wie die unserer Relais für die automatischen Regler und sind im Bericht: "Elektrisch gesteuerte Regler mit hydraulisch oder elektrisch angetriebenem Regulierorgan" der Betriebskontrolle Me ausführlich beschrieben. Ebenfalls fest mit der Messwerksachse verbunden ist der Zeiger Z und der Dämpfungsflügel DF. Dieser dient zur Dämpfung des Einschwingvorganges des Messwerkes. Als Dämpfungsflüssigkeit wird eine Glycerin-Wass-Mischung benutzt.

Zur Messung des Anodenstromes (Erregerstromes) J_A wird ein Milliamperemeter (70 Ω ; 1,5 MA) benutzt, wie sie bei den lichtelektrischen Kompensationsapparaten der Betriebskontrolle der Hydrierung allgemein eingeführt sind. (Siehe Bericht: "Verstärkung und Messung kleiner Gleichspannungen mittels lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsstrom".) Da aber der Anodenstrom des Zähigkeitsmessers bis zu 25 MA gemessen werden muss, ist dieses Milliamperemeter entsprechend shuntiert.

Die elektrische Schaltung (Anlage Nr. II) der Verstärkerröhre und des Gleichrichters ist ähnlich wie die unserer Kompensationsapparate. Zum Teil konnten die für diese Apparate entwickelten, genormten Einzelteile unverändert übernommen werden, wie z. B. Sammellinsenhalter, Photozellenhalter, Photozellengehäuse, Befestigung der Lichtquelle etc.

Die Lichtquelle ist eine normale Glühlampe, wie sie in

den kann.

Durch diese gabelförmige Aufhängung ist der Messkörper mit dem unteren Ende der Messwerksachse verbunden. Diese ist zweimal gelagert und an ihrem oberen Ende an einem Seidenfaden leicht drehbar befestigt. Mit der Messwerksachse fest verbunden ist der Anker A des Elektromagneten M. Der Anker ist in Z-Form ausgeführt. Die Abmessungen des Magnetgestells sind die gleichen wie die unserer Relais für die automatischen Regler und sind im Bericht: "Elektrisch gesteuerte Regler mit hydraulisch oder elektrisch angetriebenem Regulierorgan" der Betriebskontrolle Me ausführlich beschrieben. Ebenfalls fest mit der Messwerksachse verbunden ist der Zeiger Z und der Dämpfungsflügel DF. Dieser dient zur Dämpfung des Einschwingvorganges des Messwerkes. Als Dämpfungsflüssigkeit wird eine Glycerin-Wass-Mischung benutzt.

Zur Messung des Anodenstromes (Erregerstromes) J_A wird ein Milliamperemeter (70 Ω ; 1,5 MA) benutzt, wie sie bei den lichtelektrischen Kompensationsapparaten der Betriebskontrolle der Hydrierung allgemein eingeführt sind. (Siehe Bericht: "Verstärkung und Messung kleiner Gleichspannungen mittels lichtelektrisch gesteuertem Kompensationsstrom".) Da aber der Anodenstrom des Zähigkeitsmessers bis zu 25 MA gemessen werden muss, ist dieses Milliamperemeter entsprechend shuntiert.

Die elektrische Schaltung (Anlage Nr. II) der Verstärkerröhre und des Gleichrichters ist ähnlich wie die unserer Kompensationsapparate. Zum Teil konnten die für diese Apparate entwickelten, genormten Einzelteile unverändert übernommen werden, wie z. B. Sammellinsenhalter, Photozellenhalter, Photozellengehäuse, Befestigung der Lichtquelle etc.

Die Lichtquelle ist eine normale Glühlampe, wie sie in

Handlampen allgemein verwendet werden mit einer Leistung von 2 Watt (4 Volt x 0,5 Amp.). Zur leichteren Einstellung des Querschnittes des Lichtstromes an der Stelle, wo die Zeigerfahne eintritt, und um mit kleiner Öffnung des Photozellengehäuses auszukommen, ist in den Lichtstrom ein Sammellinsensystem eingeschaltet. Der Abstand von Lampe, Linsensystem und Photozelle ist veränderlich und so gewählt, dass die Lichtstrahlen nach ihrer Konzentration im Brennpunkt sich wieder zerstreuen und einen möglichst grossen Teil der lichtempfindlichen Schicht der Photozelle treffen. Die Steuerfahne des Zeigers tritt in der Nähe des Brennpunktes in den Lichtstrahl ein. Doch kann dieser Abstand vom Brennpunkt zur Einregelung günstigsten Einschwingverlaufes variiert werden.

Die benutzte Photozelle ist eine gasgefüllte Cäsiumzelle (Cäsiopress T 125) der Firma Pressler, Leipzig. Diese Zellen sind in unseren lichtelektrischen Kompensationsapparaten zur Messung kleiner Gleichspannungen seit über einem Jahr in Dauerbetrieb und zeigen keinerlei Alterungserscheinungen.

Als Verstärkerröhre dient eine Telefunkenröhre RE 134, deren Lebensdauer bei ununterbrochenem Betrieb in allen unseren Apparaten stets ca. ein Jahr beträgt. Die Heizung der Röhre wird über einen Trafo unmittelbar dem Drehstromnetz (3 x 220 Volt), an dem der Antriebsmotor angeschlossen ist, entnommen. Diese Heizwicklung der Röhre speist gleichzeitig die Glühlampe für die Lichtsteuerung.

Der Gleichrichter,der den Anodenstrom der Röhre liefert, ist unmittelbar in den Apparat mit eingebaut. Bei Verwendung eines Phillipps Gleichrichterkolbens Nr. 506 liefert er eine maximale Anodenspannung von 270 Volt und kann mit einem maximalen Strom

von 75 MA belastet werden. Die negative Saugspannung der Photozelle wird einem kleinen Selengleichrichter entnommen, der einen eigenen Trafo (umgewickelter Klingeltrafo) besitzt. Seine Spannung beträgt 100 Volt und diese ist über einen Spannungsteiler 10 x 0,1 in 10 gleiche Teile unterteilt und kann je nach Bedarf abgegriffen werden.

Konstanthaltung der Spannungen ist nicht notwendig und Schaltelemente hierzu sind nicht mit eingebaut, denn alle Netzschwankungen und selbst das Nachlassen der Röhre, Glühlampe und Cäsiumzelle wird automatisch kompensiert.

V. Experimentelle Eichung und Überprüfung des Apparates.

Der Zeiger des Messwerks reguliert stets den Anodenstrom so ein, dass das von der Flüssigkeit auf den Messkörper ausgeübte Drehmoment gleich ist dem vom Magneten auf den Anker ausgeübten Drehmoment. Dieser Satz kann durch die Gleichung dargestellt werden:

$$DM_{Fl} = DM_{\mathfrak{E}}$$

Das Drehmoment der Flüssigkeit ist aber proportional der Zähigkeit, das des Magneten proportional dem quadratischen Wert des Erregerstromes bei Weicheisenmagnetsystem.

Somit lautet die Beziehung:

$$\text{Const.}_1 \cdot Z = \text{Const.}_2 \cdot J_A^2,$$

worin Z die Zähigkeit,

J_A der Erregerstrom des Magneten ist.

Man erhält also eigentlich eine Wurzelfunktion zwischen Zähigkeit und Erregerstrom. Durch entsprechende Formgebung der

Polschuhe wurde diese Wurzelfunktion vermieden und annähernd lineare Abhängigkeit erreicht.

Aus der obigen Gleichung ersehen wir, dass die Messung abhängt von den Konstanten C_1 und C_2. C_1 ist bedingt durch Drehzahl und Abmessungen des Messkörpers. Die konstante Drehzahl ist gewährleistet durch die Verwendung eines Synchronmotors zum Antrieb. Die Abmessungen werden stets genügend konstant bleiben, da bei dem großen Abstand zwischen Gefäß und Meßkörper kleine Deformationen ohne Einfluß bleiben. Dagegen könnte vielleicht Aufrauhung der Oberfläche des Messkörpers zu Fehlmessungen führen und ist daher eine Nacheichung in grossen Zeitabständen zu empfehlen. Die Konstante C_2 ist vor allem abhängig von dem Zustand des Magneteisens und dem Luftspalt. Alle anderen Größen, wie Windungszahl, Kraftlinienweg im Eisen etc. bleiben praktisch ja vollkommen konstant. Zur Vermeidung von Störungen durch remanenten Magnetismus ist der Apparat mit einem Kommutatorschalter versehen, der die Stromrichtung im Magneten umzukehren gestattet. Doch dürfte trotzdem eine Nacheichung in kürzeren Zeiträumen alle 2 Wochen sehr anzuraten sein. Es genügt zur Kontrolle des Magneten, lediglich den Erregerstrom in Abhängigkeit vom Drehmoment zu überprüfen.

1. <u>Erregerstrom abhängig vom Drehmoment.</u>

An der Haltestange des Dämpfungsflügels ist in bestimmten Abstand vom Drehpunkt eine Öse angebracht, die zur Befestigung einer Gewichtsschale dient. Da das Messwerk sich um eine vertikale Achse dreht, muss der zur Gewichtsschale GS führende Seidenfaden durch eine leicht drehbare Rolle R umgelenkt werden (s. Anlage III). Durch Auflegen von Gewichten kann nun in einfacher Weise die Drehmo-

mentkurve des Elektromagneten gefunden werden. Der Hebelarm für das angreifende Wagschalengewicht beträgt bei unserem Apparat 6 cm. Die aufgenommene Kurve ist aus Anlage IV zu ersehen. Da bei der Nacheichung nur das Gewicht interessiert, da der Hebelarm stets gleich ist, so ist die Kurve in g-Werten aufgetragen. Wenn auch keine vollkommene Linearität zwischen Erregerstrom und Drehmoment erreicht ist, so ist die quadratische Kurve doch genügend ~~und~~ entzerrt, um in jedem Teil der Kurve genügend grosse Ablesegenauigkeit zu erreichen. Dass der Erregerstrom bei dem Drehmoment 0 cmg nicht gleichfalls zu Null wird, rührt davon her, dass einerseits das Leergewicht der Wagschale (0,80 g) nicht berücksichtigt ist, andererseits der Magnet eine gewisse Mindeststromstärke zur Erregung benötigt.

2. <u>Erregerstrom abhängig von der Zähigkeit.</u>

Die Eichung des Apparates in Einheiten der absoluten Zähigkeit (kg sec/m^2) geschieht am besten empirisch mit Hilfe von Eichflüssigkeiten, deren Zähigkeit bekannt ist. In unserem Fall wurden aus reinem Glycerin durch Zusatz von Wasser fünf Eichgemische hergestellt, deren Zähigkeit nach der Kapillarmethode im physikalischen Laboratorium der Betriebskontrolle Me bestimmt wurde. Die mit diesen Flüssigkeiten erhaltene Eichkurve ist in Anlage V wiedergegeben.

3. <u>Drehmoment abhängig von der Zähigkeit.</u>

Die Kenntnis der Abhängigkeit des Erregerstromes vom Drehmoment (Anlage IV) ermöglicht es uns, das Drehmoment des

Apparates abhängig von der Zähigkeit aufzutragen (Anlage VI). Der negative Wert des Drehmomentes bei der Zähigkeit 0 ist dadurch zu erklären, dass wie schon erwähnt bei der Eichung das Leergewicht der Wagschale (0,80 g) nicht berücksichtigt wurde. Der erhaltene negative Wert des Drehmomentes ergibt eine angreifende Kraft von 0,80 g. Eine nachträgliche Wägung der Gewichtsschale ergab genau dieses Leergewicht.

4. Einschwingzeit.

Bereits im Bericht über den lichtelektrischen Kompensationsapparat zur Messung kleiner Gleichspannungen ist die Theorie des Einschwingvorganges ausführlich gebracht worden. Hier sollen nur die praktischen Schlussfolgerungen gezogen werden. Trägheitsmoment, Direktionskraft und Dämpfung des Meßsystems sind die drei Größen, die den Verlauf des Einschwingvorganges bestimmen.

Das Trägheitsmoment ist im Wesentlichen durch die Abmessungen und das Material des Meßkörpers bestimmt. Für dessen äußere Abmessungen ist aber andererseits das gewünschte maximale Drehmoment bei gegebener Tourenzahl und Zähigkeit massgebend. Auch das Gesamtgewicht von Körper und Messwerk ist nach unten begrenzt, denn dieses muss stets größer sein als das Gewicht der vom Körper verdrängten Messflüssigkeit, damit der an einem Faden aufgehängte Körper nicht schwimmt. In unserem Falle genügte es, den Körper als Vollkörper aus Aluminium anzufertigen. Sollte bei gleichem Gesamtgewicht noch kleineres Trägheitsmoment erforderlich sein, so kann man den Körper als Hohkörper mit einer Achse aus schwerem Material anfertigen.

Die Direktionskraft wird erhalten durch Division des Drehmomentes durch den zugehörigen Drehwinkel.

$$D = \frac{DM}{\varphi} \cdot Const.,$$

worin D die Direktionskraft,

φ der Drehwinkel,

DM das Drehmoment des Elektromagneten bedeutet.

Hieraus ergibt sich die wichtige Erkenntnis, daß durch Veränderung des Querschnittes des Lichtstromes an der Stelle, wo die Steuerfahne eintritt, die Direktionskraft beeinflusst werden kann. Denn wenn die Lichtmenge gleich bleibt und nur der Querschnitt z. B. vergrößert wird durch Verstellen der Sammellinsen, so muss die Steuerfahne nunmehr einen größeren Weg zurücklegen, um das entsprechende Drehmoment einzuregeln. Von dieser Verstellung wird zur Erreichung guter Einschwingzeit der Drehwaage Gebrauch gemacht. Die Abhängigkeit des Erregerstromes vom Drehwinkel des Meßsystems ist in Anlage VII dargestellt. Da der Verlauf der Kurve in einem großen Bereich nur schwach gekrümmt und andererseits nach Anlage IV das Drehmoment annähernd linear proportional dem Erregerstrom ist, so ist die Direktionskraft in diesem Bereich als praktisch konstant anzusehen.

Die Dämpfung des Messwerks ist rein mechanischer Natur, die elektrische Dämpfung durch Entstehen von Wirbelströmen im Anker ist vollkommen vernachlässigbar. Der Apparat besitzt schon eine gute Eigendämpfung, da der Messkörper sich in der zähen zu messenden Flüssigkeit bewegen muss. Bei Zähigkeitswerten über 30 bis 50 . 10^{-3} kg sec/m^2 ist diese Dämpfung ausreichend. Doch macht die Messung kleinerer Zähigkeiten noch die Anbringung einer künstlichen Dämpfung erforderlich. Dem Charakter des ganzen Apparates entsprechend wurde auch diese künstliche Dämpfung als Flüssigkeitsdämpfung ausgeführt. Ein Metallflügel,in grossem Abstand von der Drehachse angebracht, taucht in eine Wasser-Glycerinmischung. Diese einfache Vorrichtung reicht vollkommen aus. In Anlage VIII ist für drei Zähigkeitswerte

automatisch während der Abkühlung Zähigkeit und Temperatur registrieren. Der Temperaturfühler (z. B. Widerstandsthermometer) müßte aber so ausgeführt sein, dass er keinerlei Wirbelbildung im Meßgefäß erzeugen würde. Oder er müsste periodisch in das Gefäß eingetaucht werden und während der Temperaturmessung müsste die Registrierung der Zähigkeit unterbrochen werden. Da ferner die Breiproben unter 50° C zumeist erstarren, müsste bei Erreichung der maximalen noch zu messenden Zähigkeit von ($100 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m^2) der Motor automatisch abgeschaltet und der Topf gesenkt werden, was leicht durchzuführen ist. Bei nächster Gelegenheit soll diese automatische Registrierung der Zähigkeit und Temperatur praktisch durchgeführt werden.

VII. Zusammenfassung.

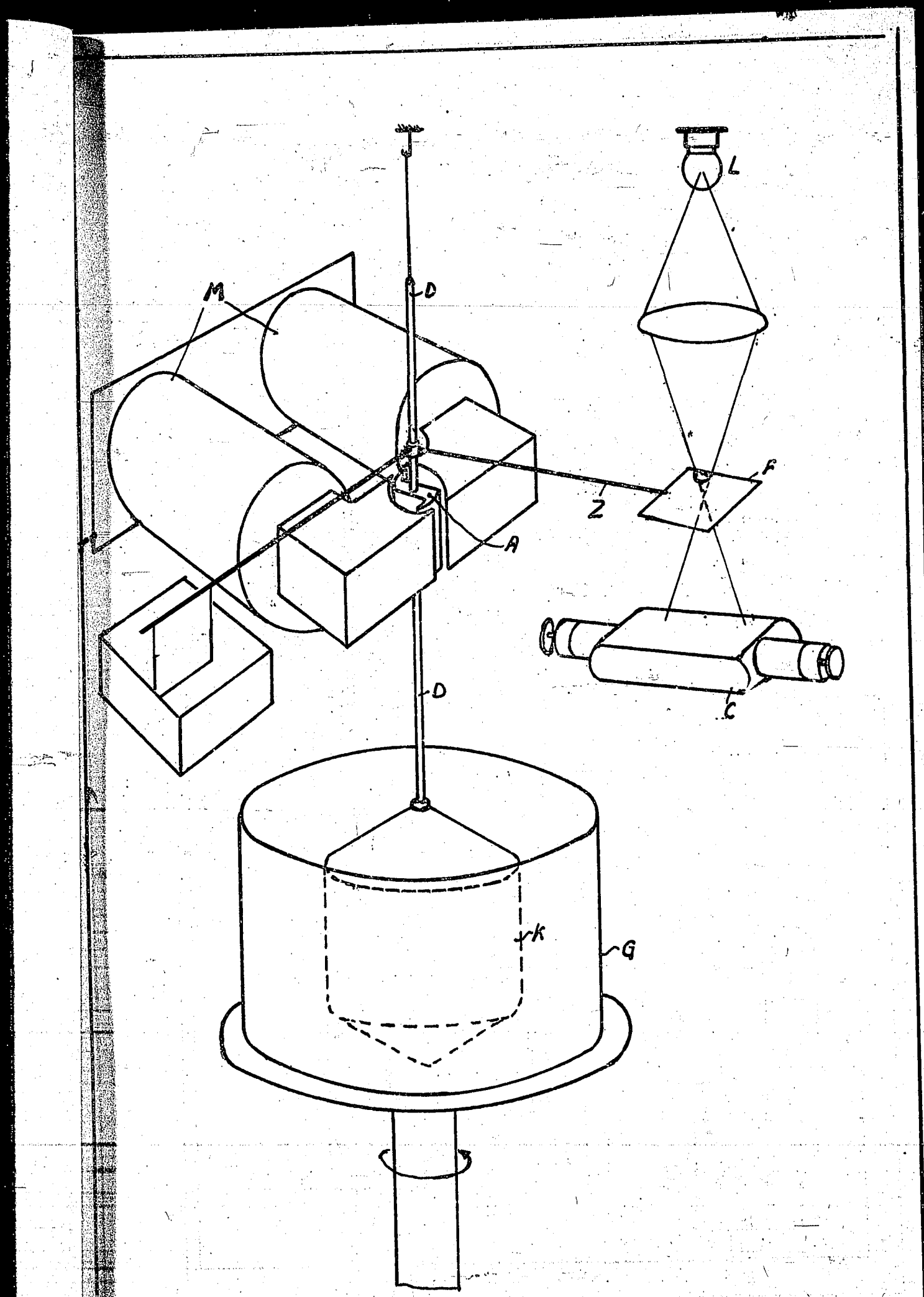
Ein Zähigkeitsmesser zur Messung der Zähigkeit von Flüssigkeiten mit einem Messbereich von 5 000 - 100 000 x 10^{-6} kg sec/m^2 wird beschrieben. Die zu messende Flüssigkeit befindet sich in einem rotierenden Gefäß. Die Flüssigkeit übt auf einen drehbar aufgehängten Meßkörper ein Drehmoment aus, das proportional der Zähigkeit ist. Gemessen wird dieses Drehmoment mittels einer Drehwaage mit lichtelektrisch gesteuertem magnetischen Gegendrehmoment, wie sie erstmalig in der Betriebskontrolle der Hydrierung entwickelt worden ist. Diese Art der Messung ermöglicht die Anzeige und Registrierung der Zähigkeit mittels normaler elektrischer Meßinstrumente, wie sie zur Temperaturmessung allgemein üblich sind.

Durch Anwendung niedriger Drehzahl und grossen Abstand zwischen Gefäß und Meßkörper eignet sich der Apparat auch zur Messung von Flüssigkeiten, die stark mit festen Bestandteilen durchsetzt

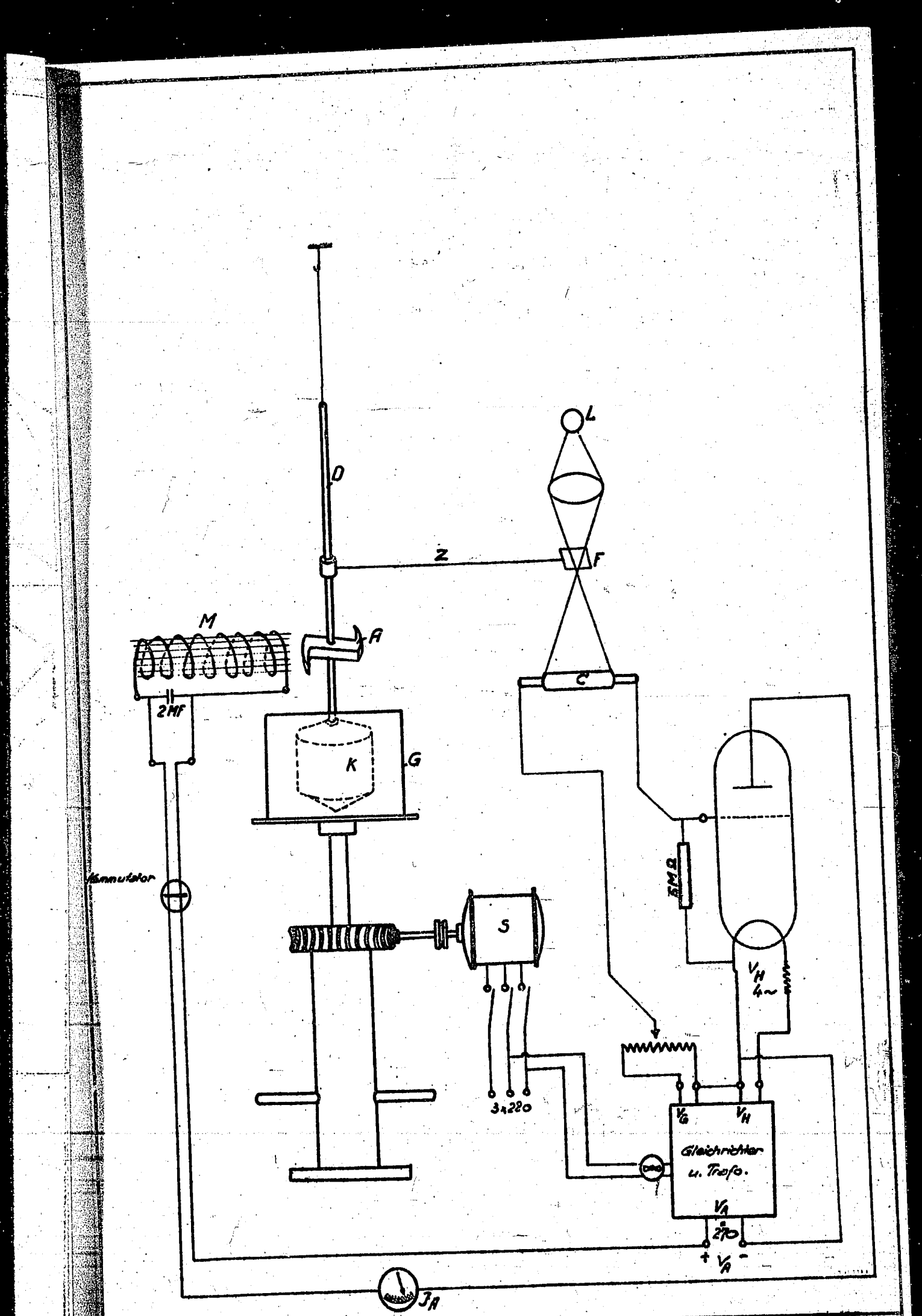
sind, z. B. Kohlebrei.

Das Prinzip des lichtelektrisch magnetisch kompensierten Drehmomentes dürfte auch für viele andere Meßgeräte und Meßmethoden mit großem Vorteil anwendbar sein!

Weis



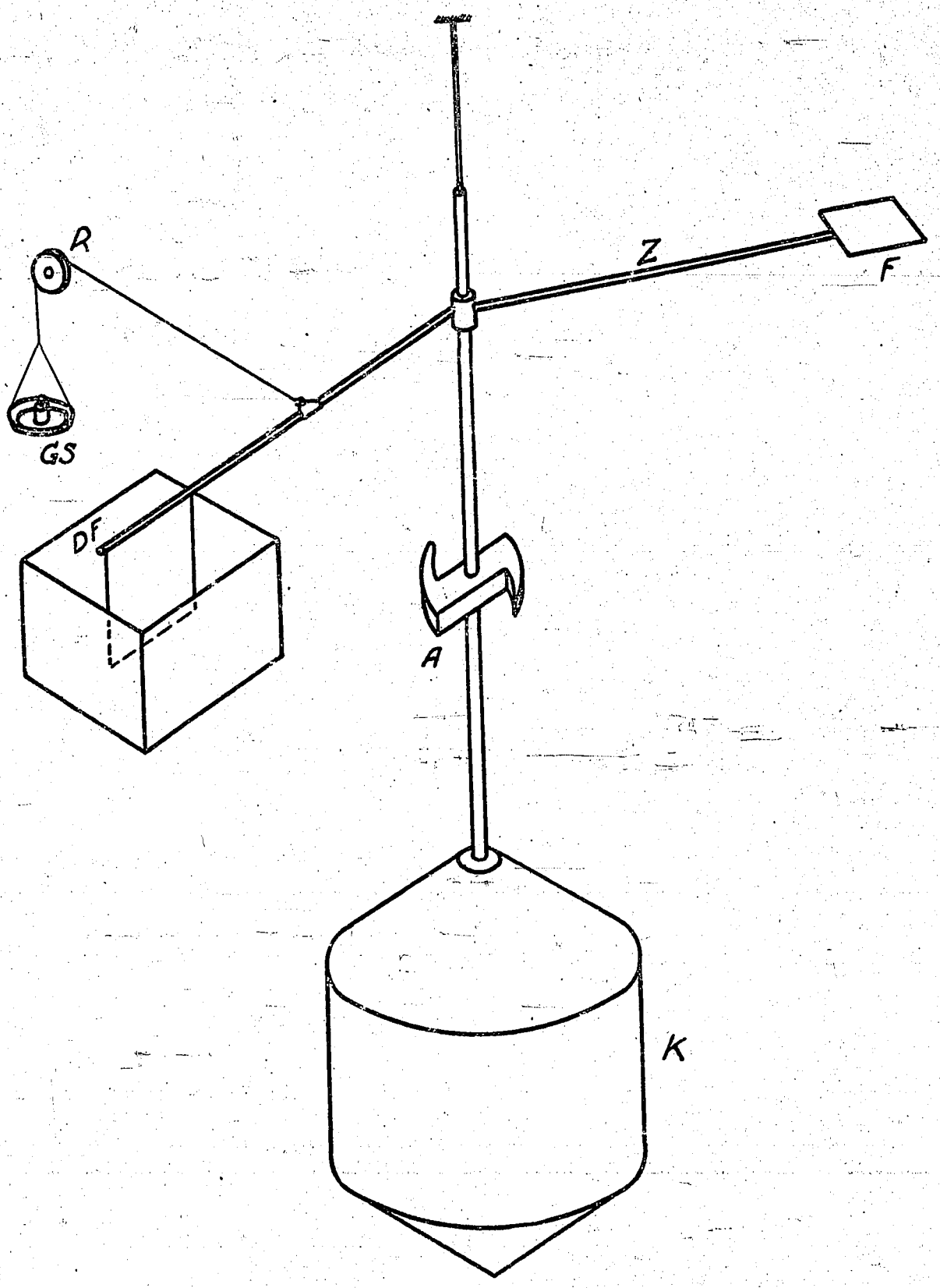
B.K. Me Hy	Zähigkeitsmesser Prinzipskizze	Anlage 1



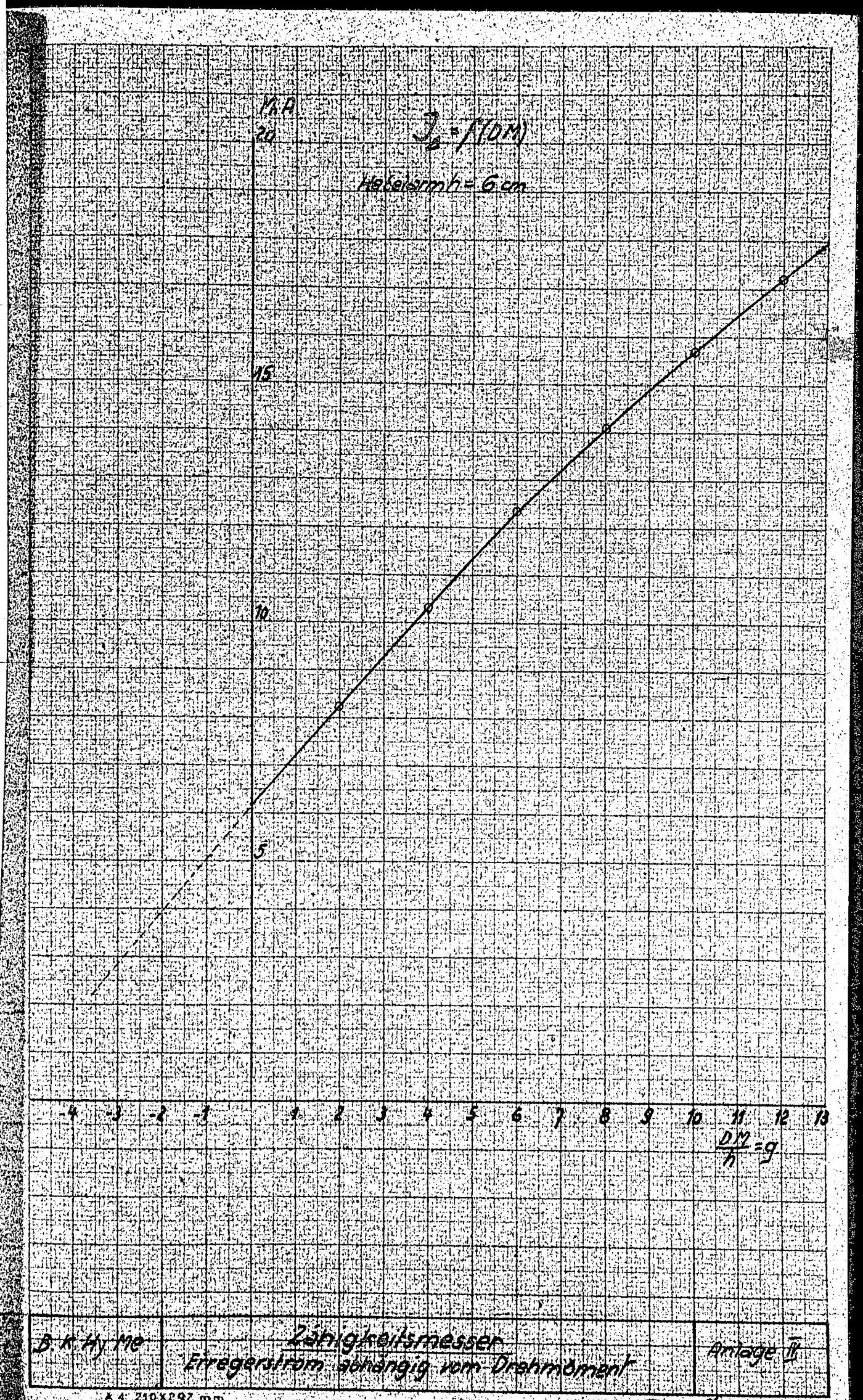
B.K. Hy : Me

Zähigkeitsmesser elektr. Schaltbild

Anlage II



B.K.Hy-Me	Zähigkeitsmesser Drehmomentmessung.	Anlage III



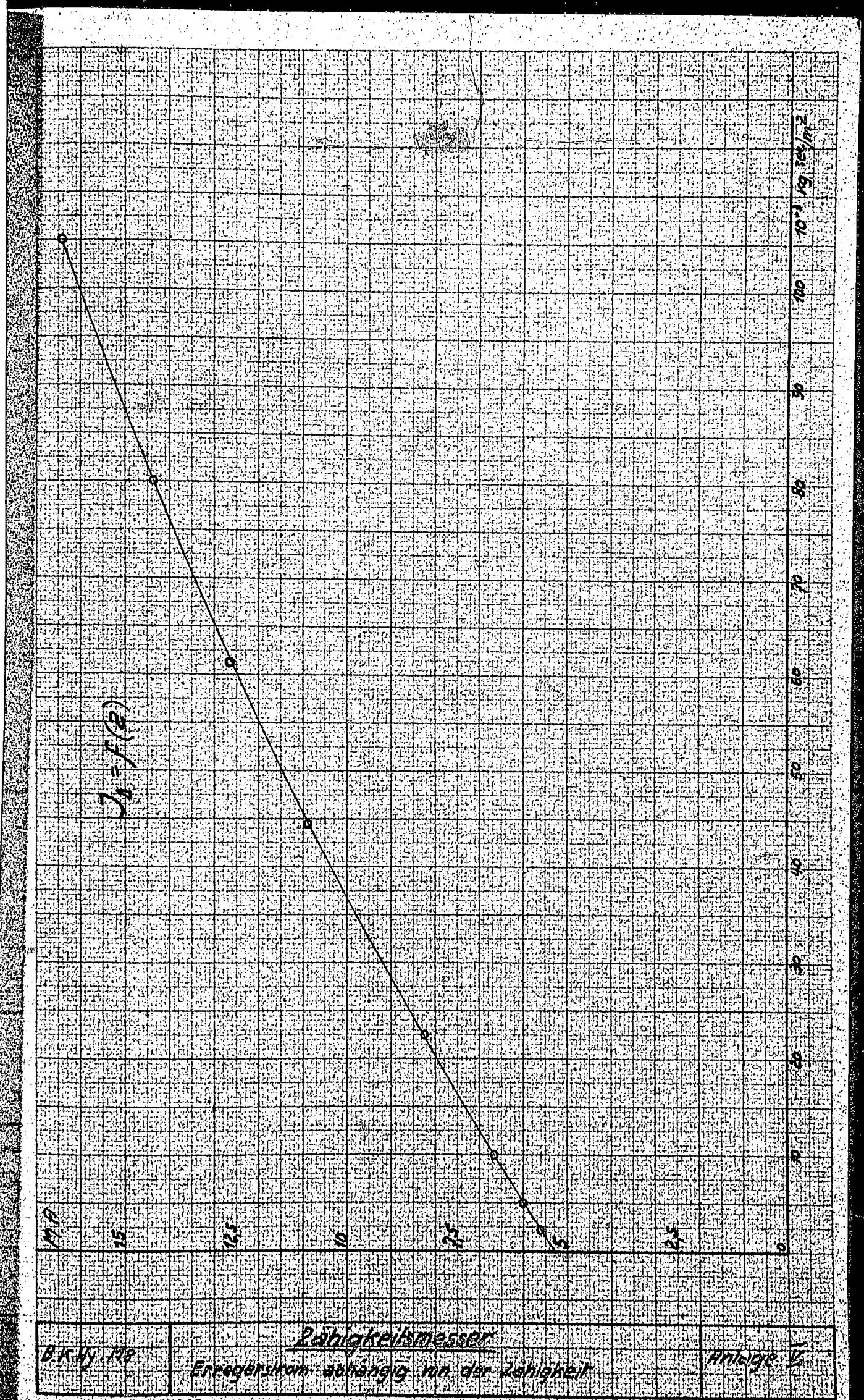
B. K. Hy me

Zahnradreibmesser
Erregerstrom abhängig vom Drehmoment

Anlage III

A 4: 210 x 297 mm

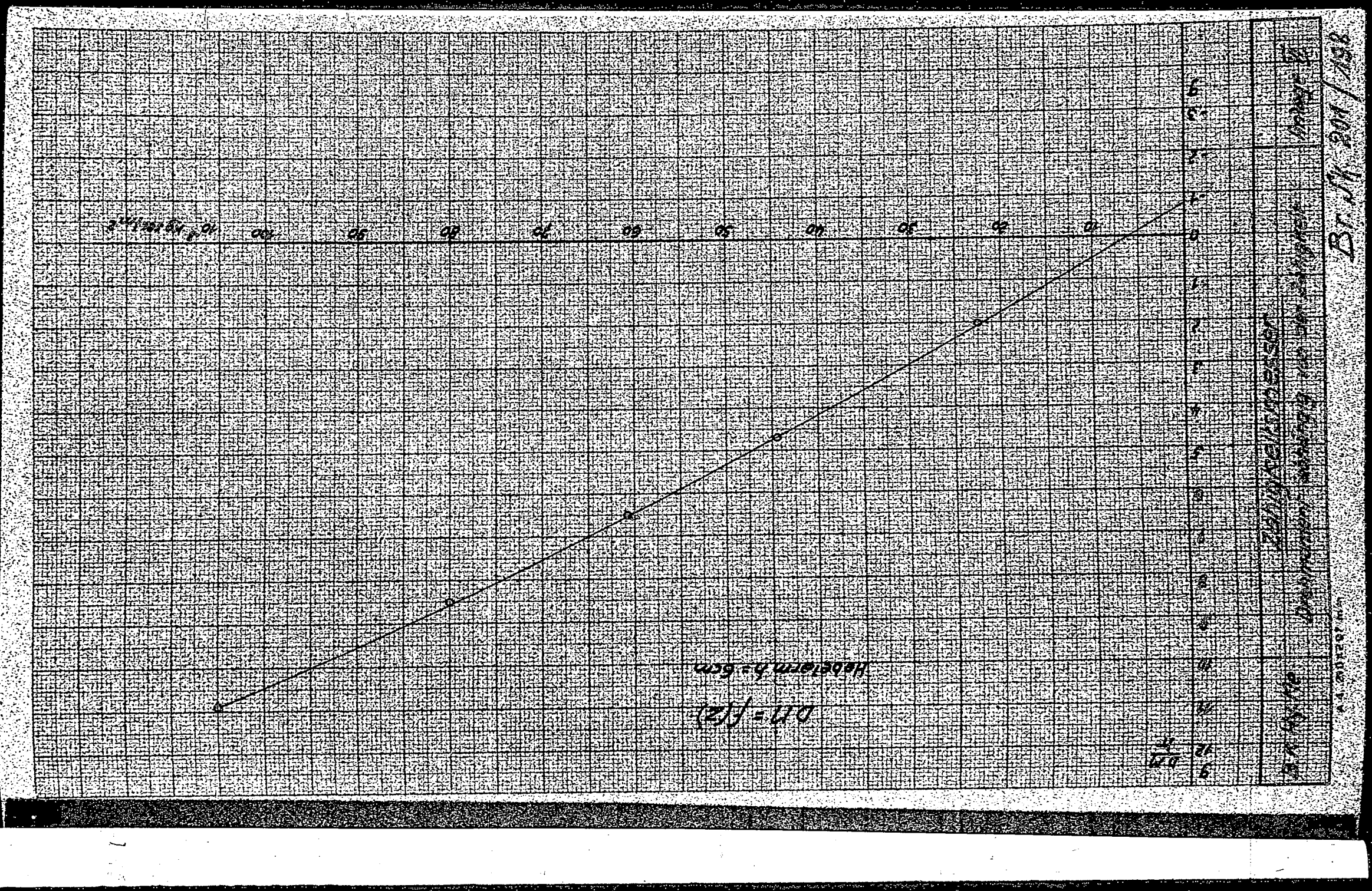
Br. SK. 201/199



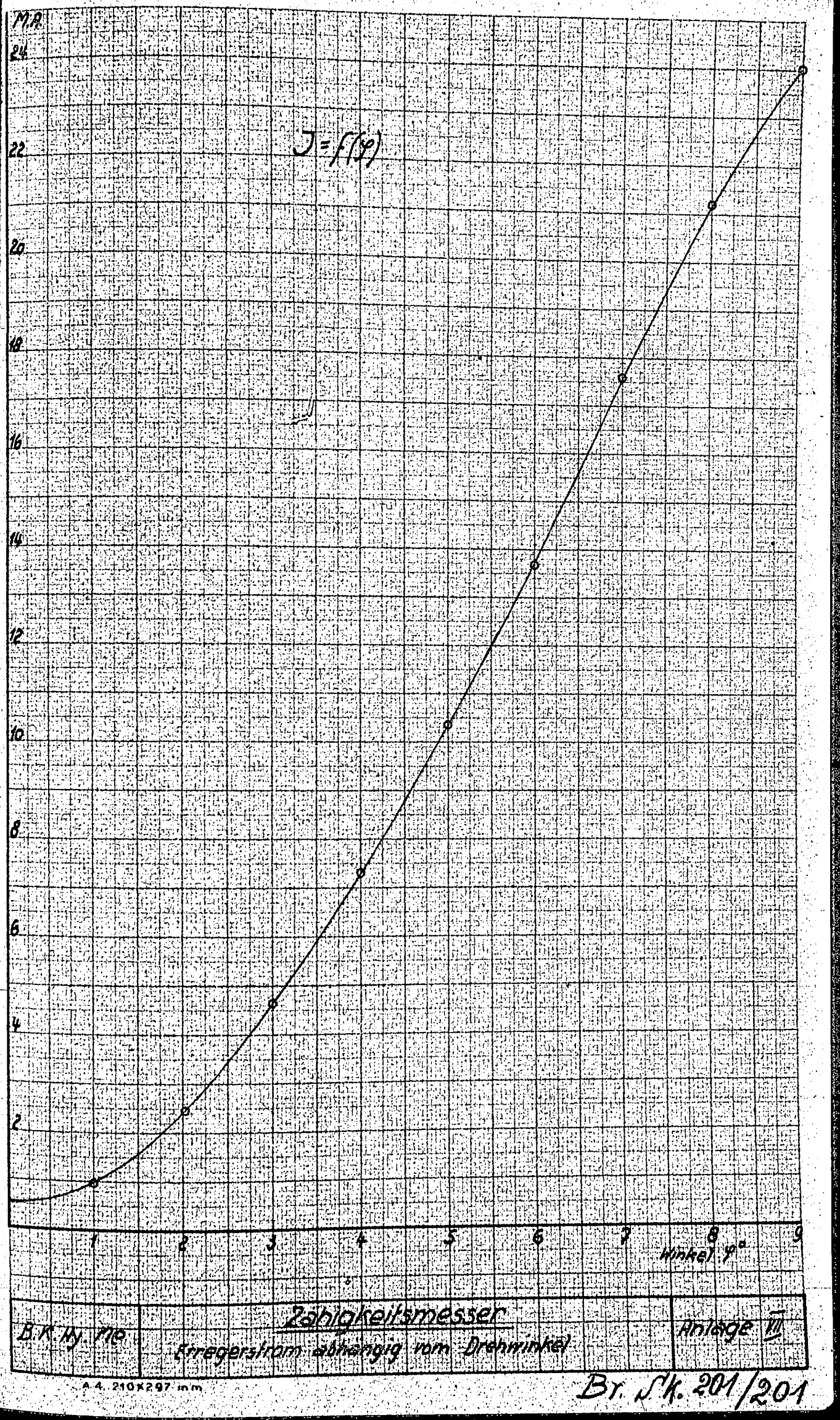
B.K.W. Mz	Zähigkeitsmesser Erregerstrom abhängig von der Zähigkeit	Anlage V

A 4. 210X297 mm

Br. SK. 201/197


Durchmesser d = 6cm
Δn = f(z)

KODAK SAFETY F



Zähigkeitsmesser

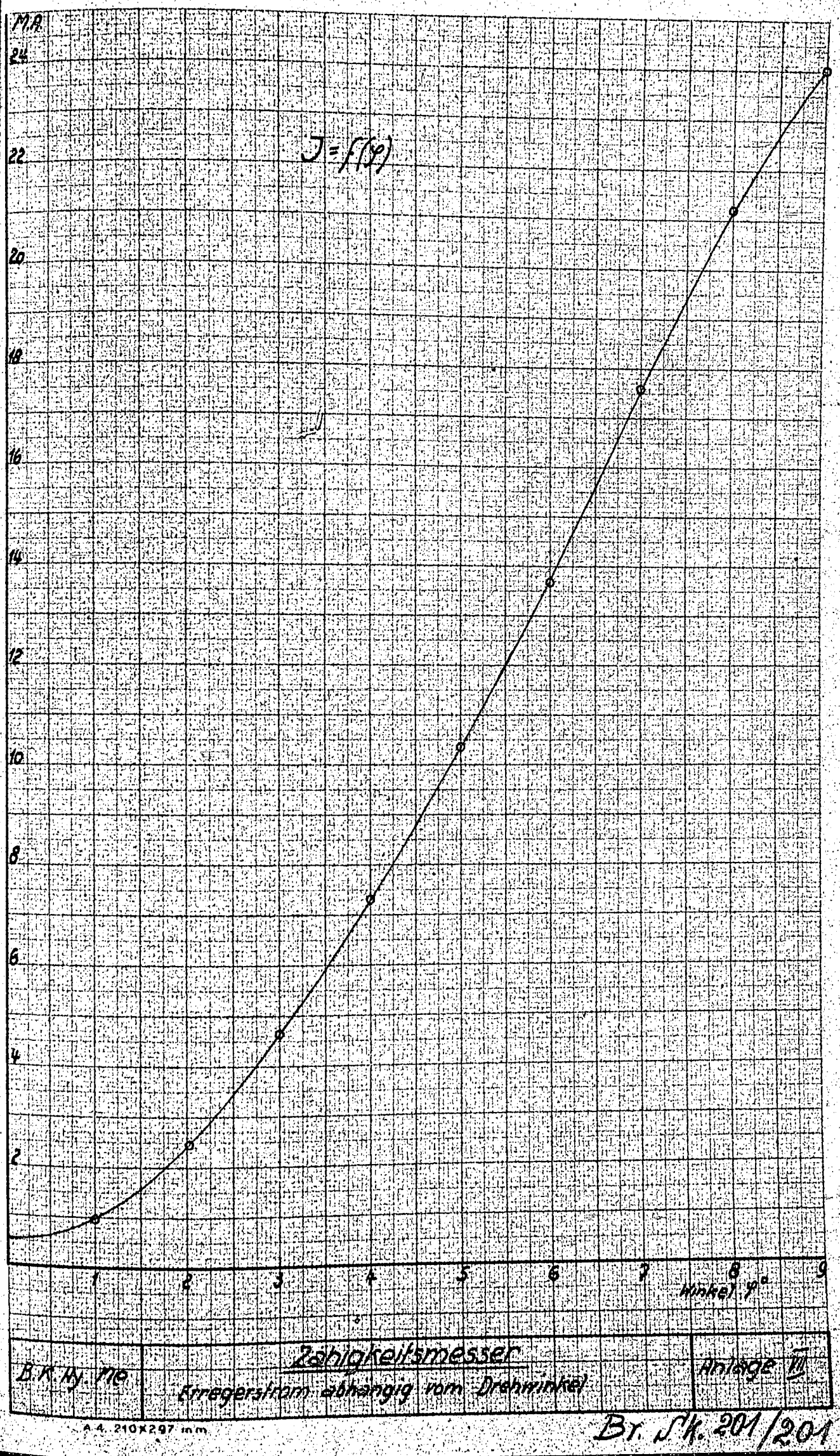
Erregerstrom abhängig vom Drehwinkel

B.K.Hy. 116

Anlage III

A 4. 210X297 mm

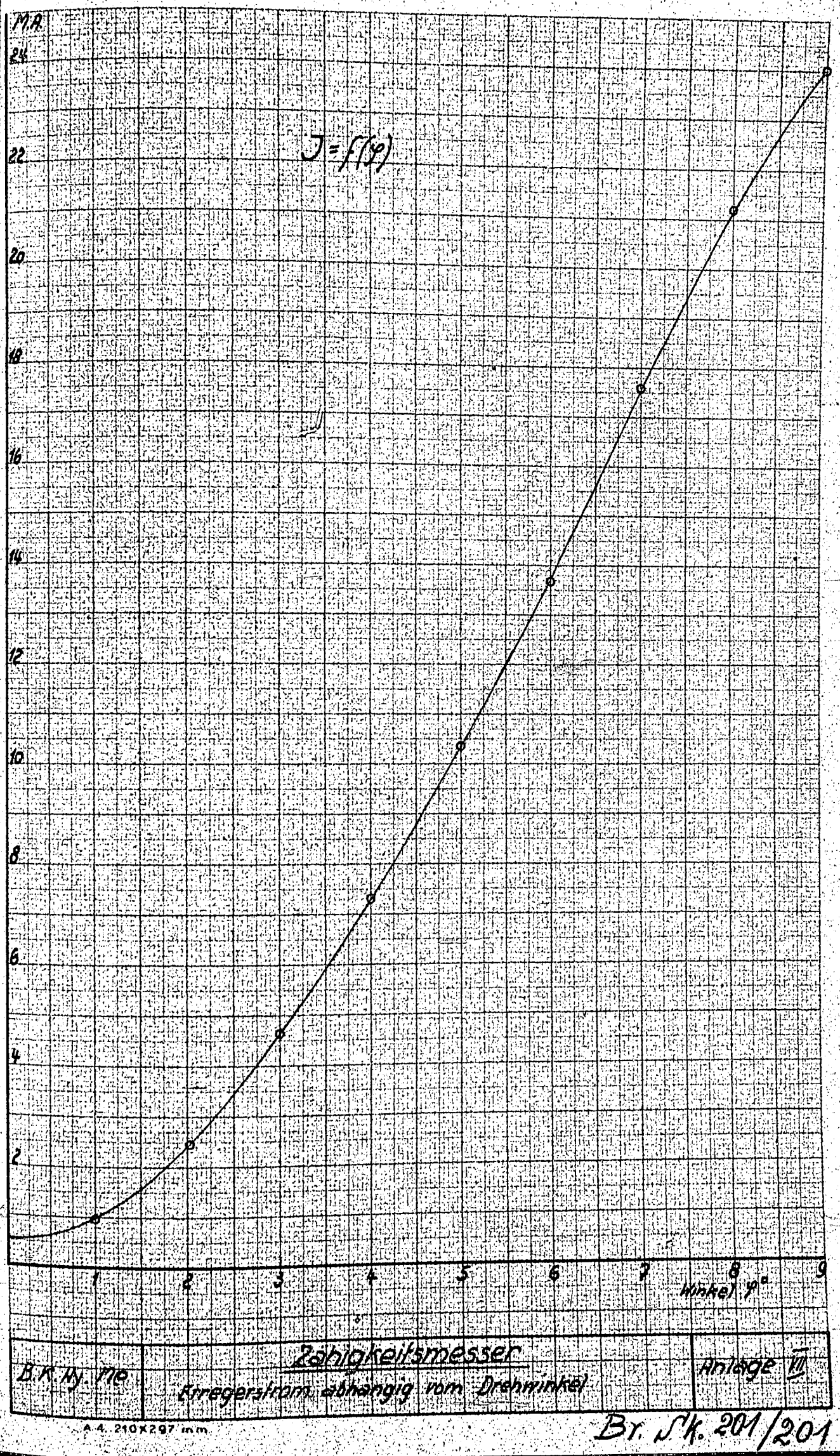
Br. Sk. 201/201



B.K.My. 116	Zähigkeitsmesser Erregerstrom abhängig vom Drehwinkel	Anlage VII

A 4. 210×297 mm

Br. SK. 201/201

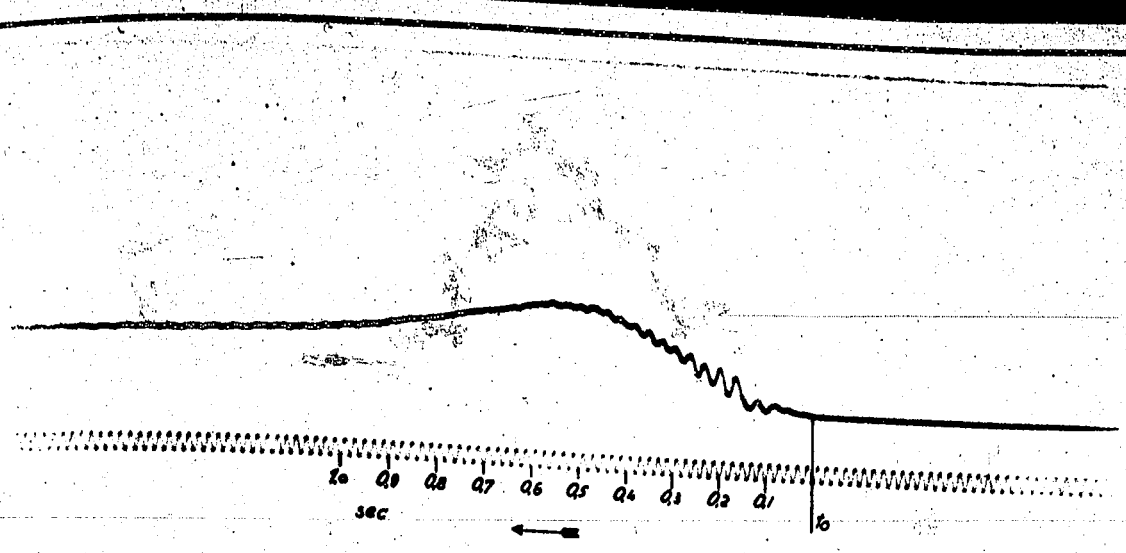


BKHy/Re — Zähigkeitsmesser — Anlage VII

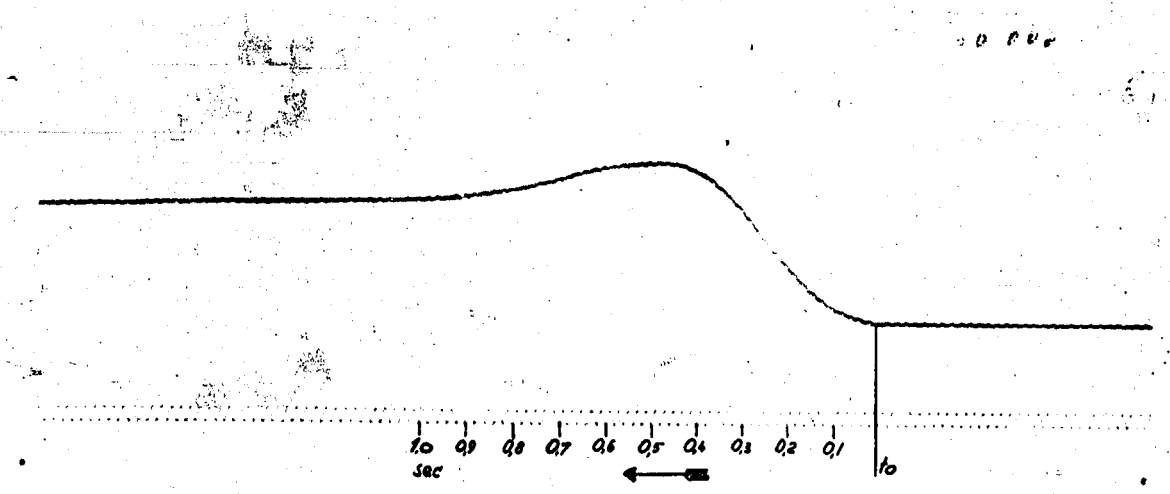
Erregerstrom abhängig vom Drehwinkel

A 4. 210×297 mm

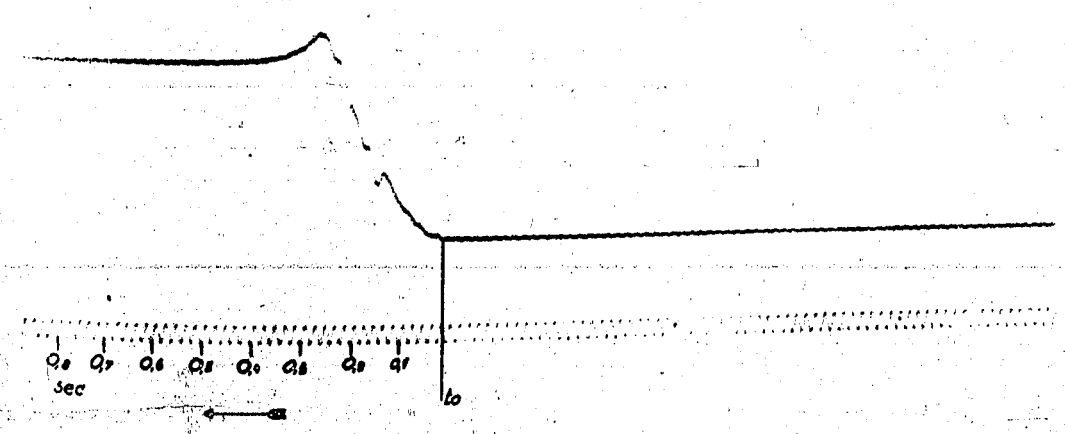
Br. SK. 201/201



Zähigkeit: $20 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²

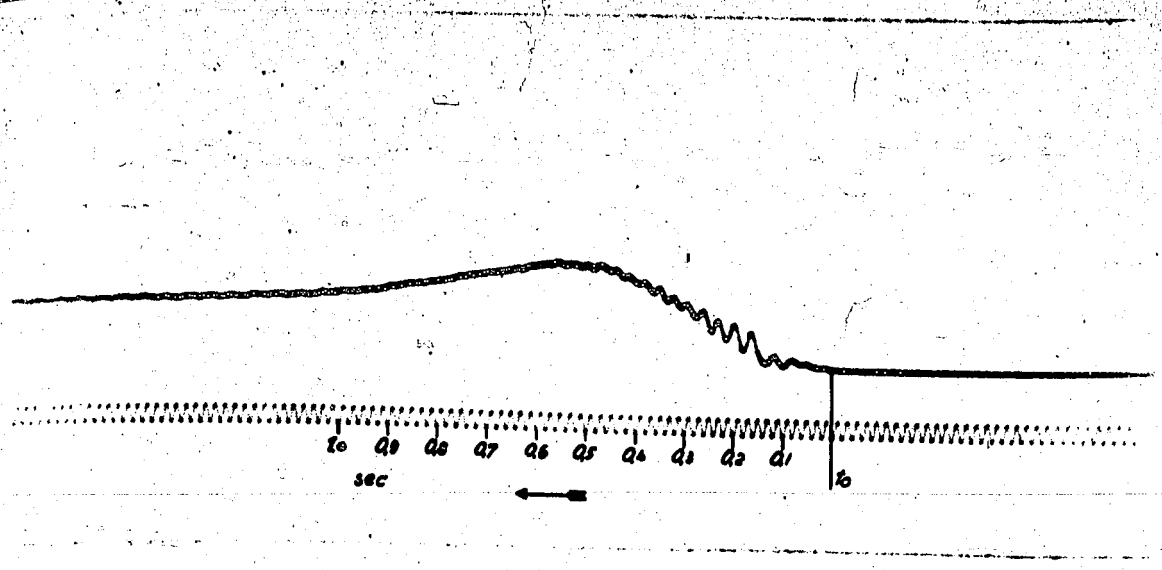


Zähigkeit: $60 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²

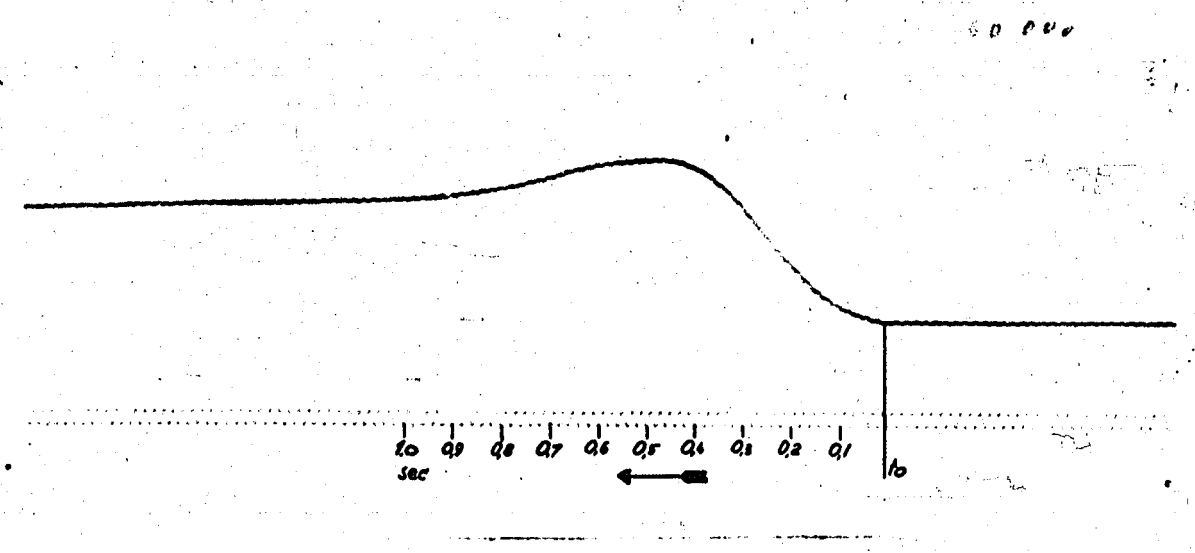


Zähigkeit: $100 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²

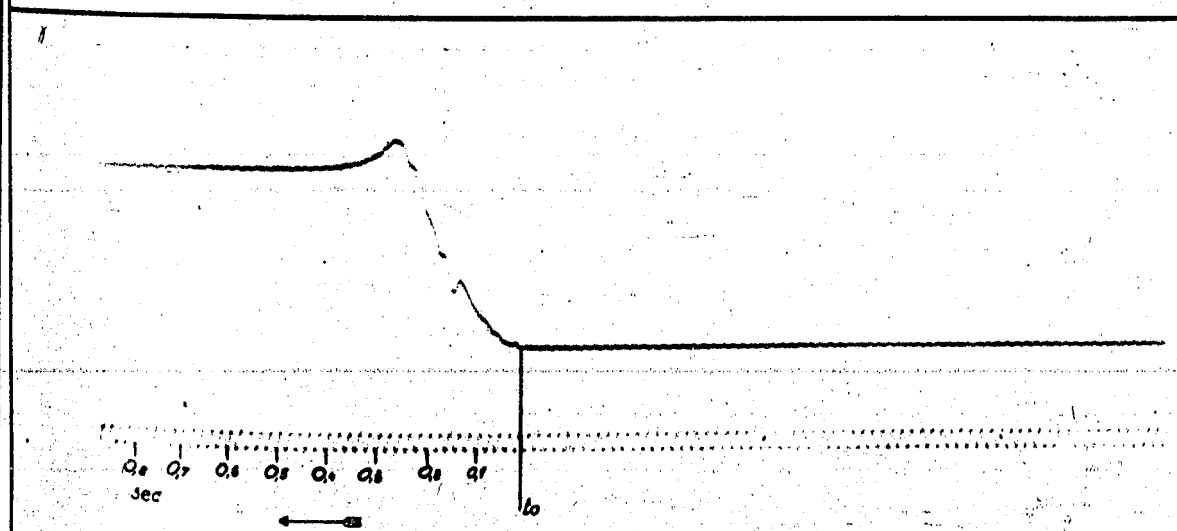
B.K.Hy-Me	Zähigkeitsmesser: Einschwingvorgang.	Anlage VIII 2r634



Zähigkeit: $20 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²



Zähigkeit: $60 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²

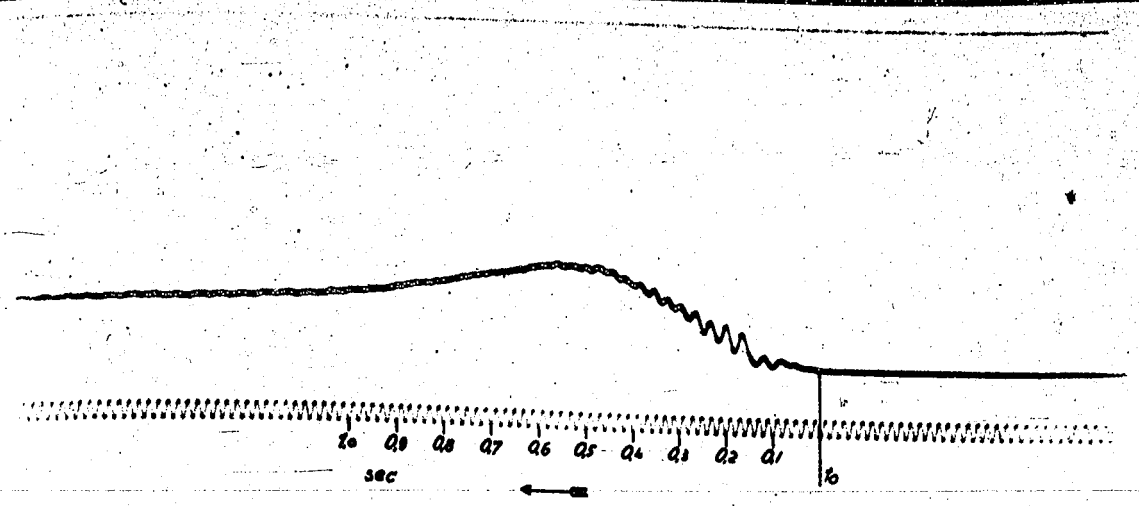


Zähigkeit: $100 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²

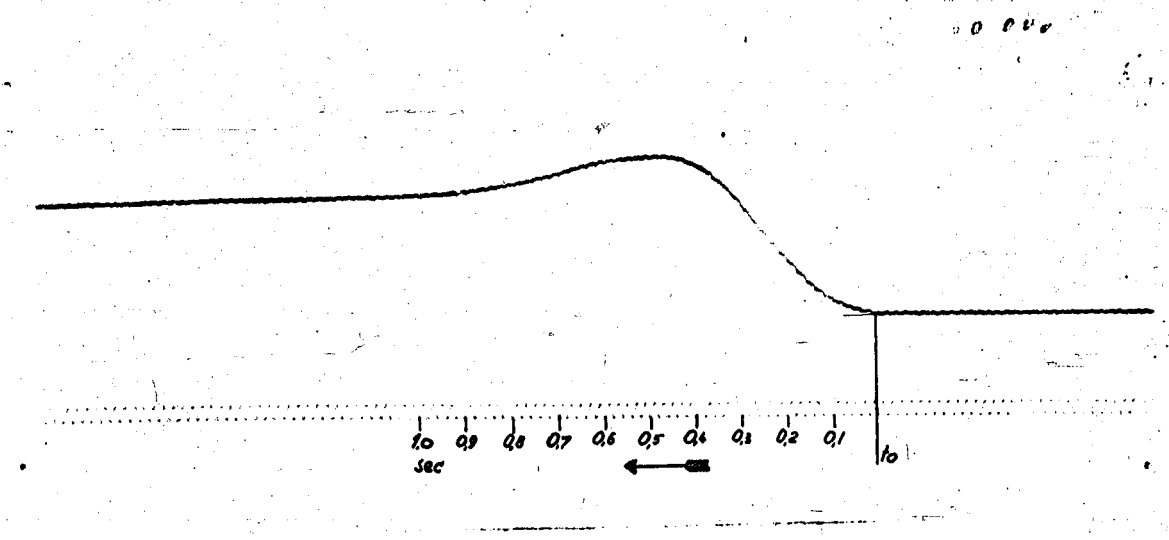
B.K.Hy-Me

Zähigkeitsmesser: Einschwingvorgang.

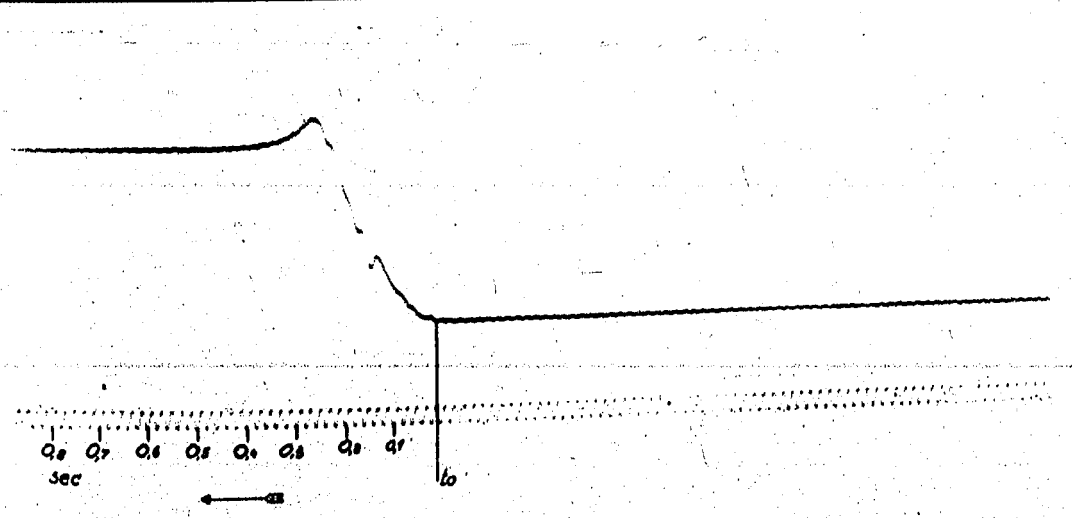
Anlage VI



Zähigkeit: $20 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²



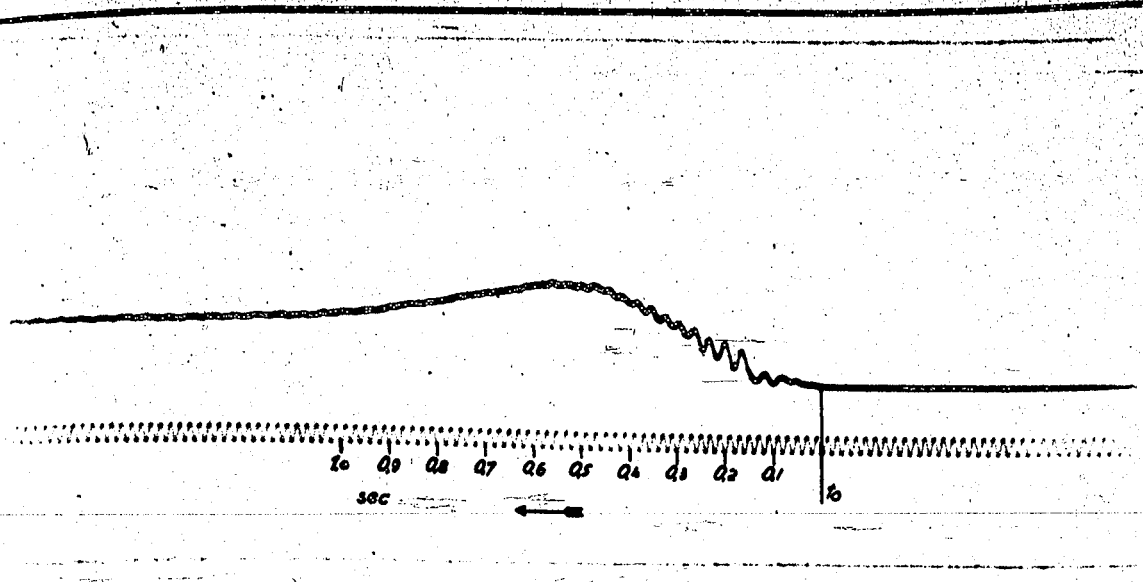
Zähigkeit: $60 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²



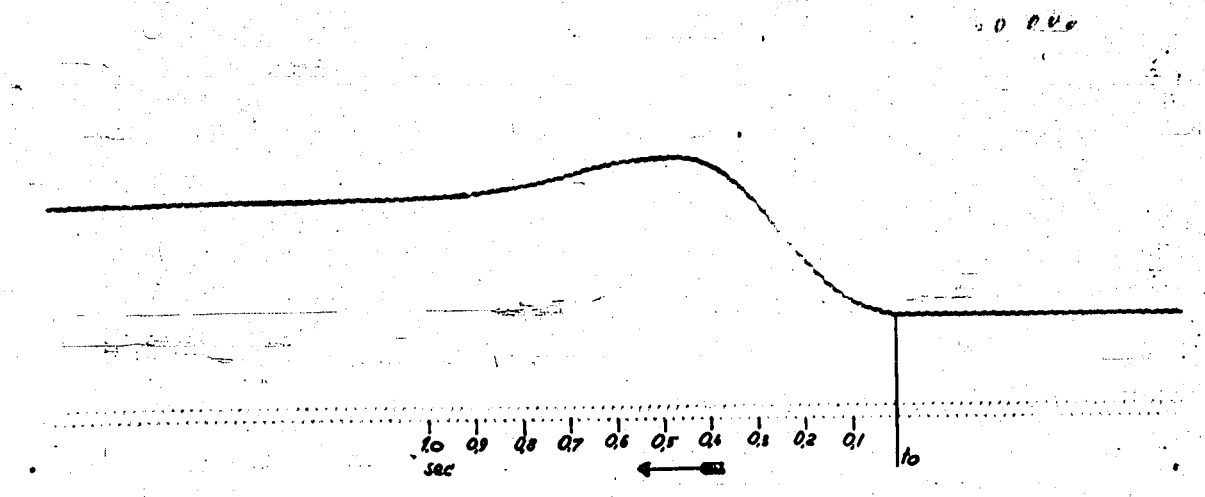
Zähigkeit: $100 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²

B.K.Hy-Me	Zähigkeitsmesser: Einschwingvorgang.	Anlage VIII

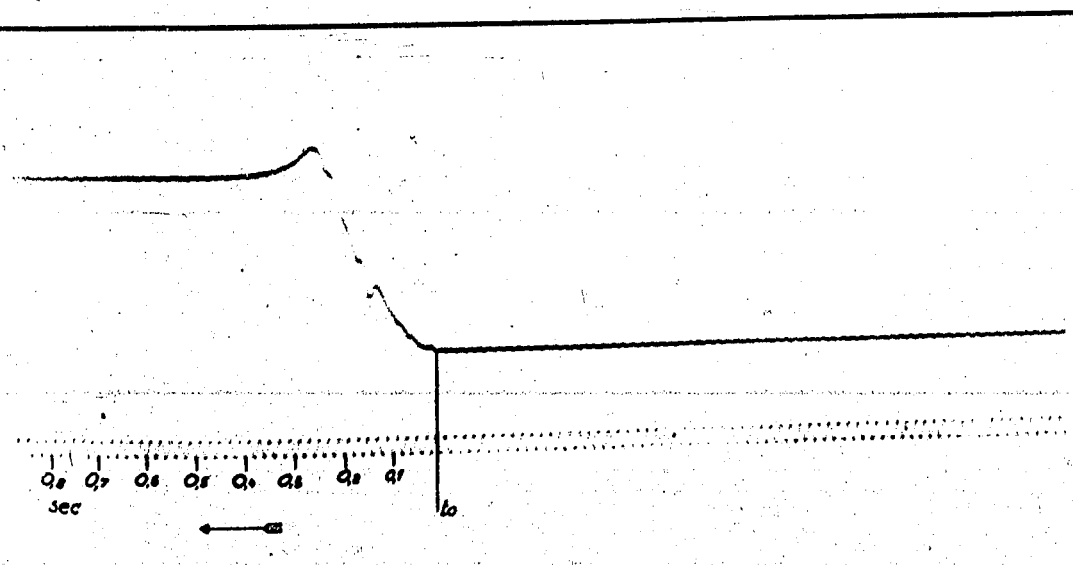
KODAK SAFETY FILM



Zähigkeit: $20 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²



Zähigkeit: $60 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²



Zähigkeit: $100 \cdot 10^{-3}$ kg sec/m²

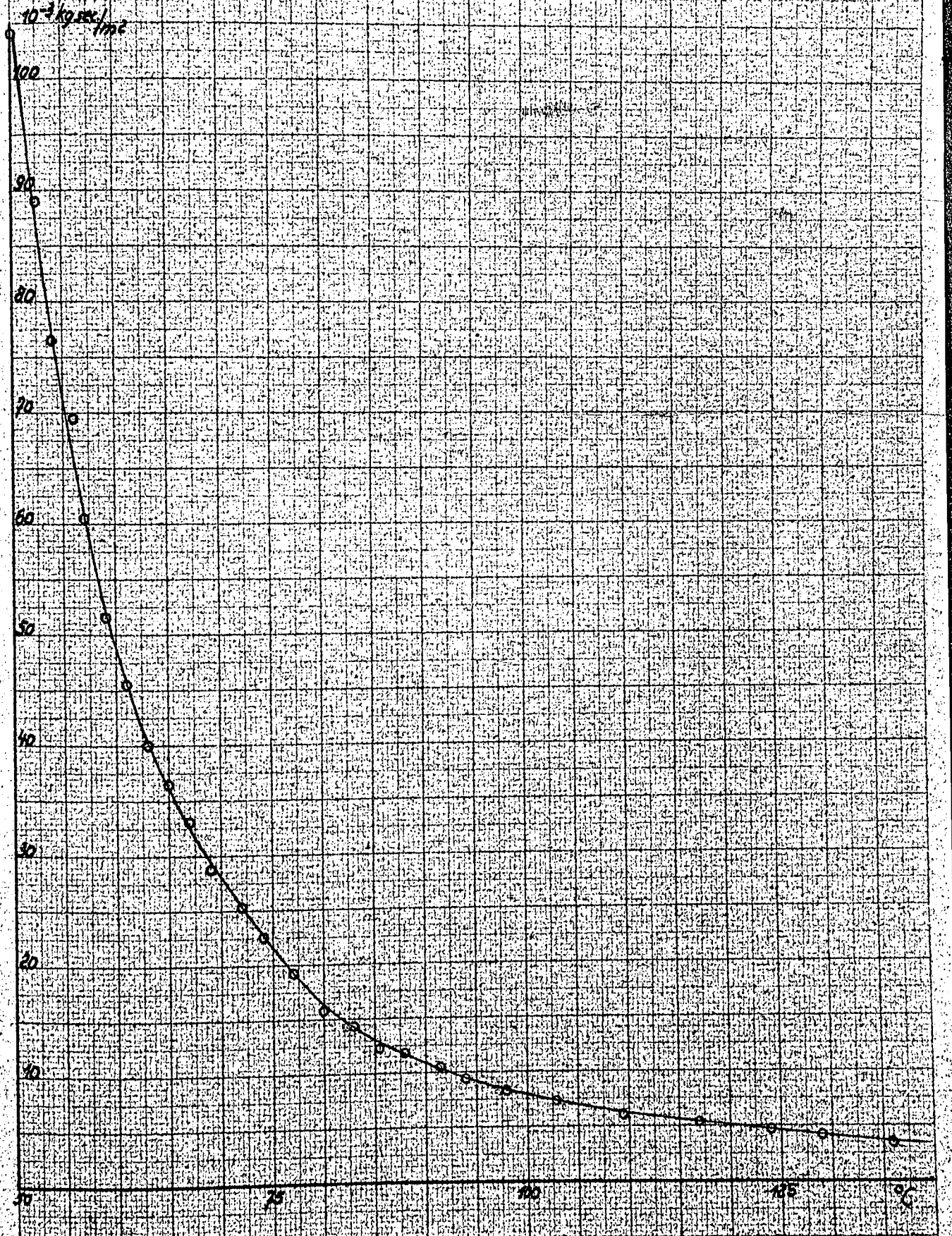
B.K.Hy-Me

Zähigkeitsmesser: Einschwingvorgang

Anlage VII

Entschlammung einer Kohlenkammer

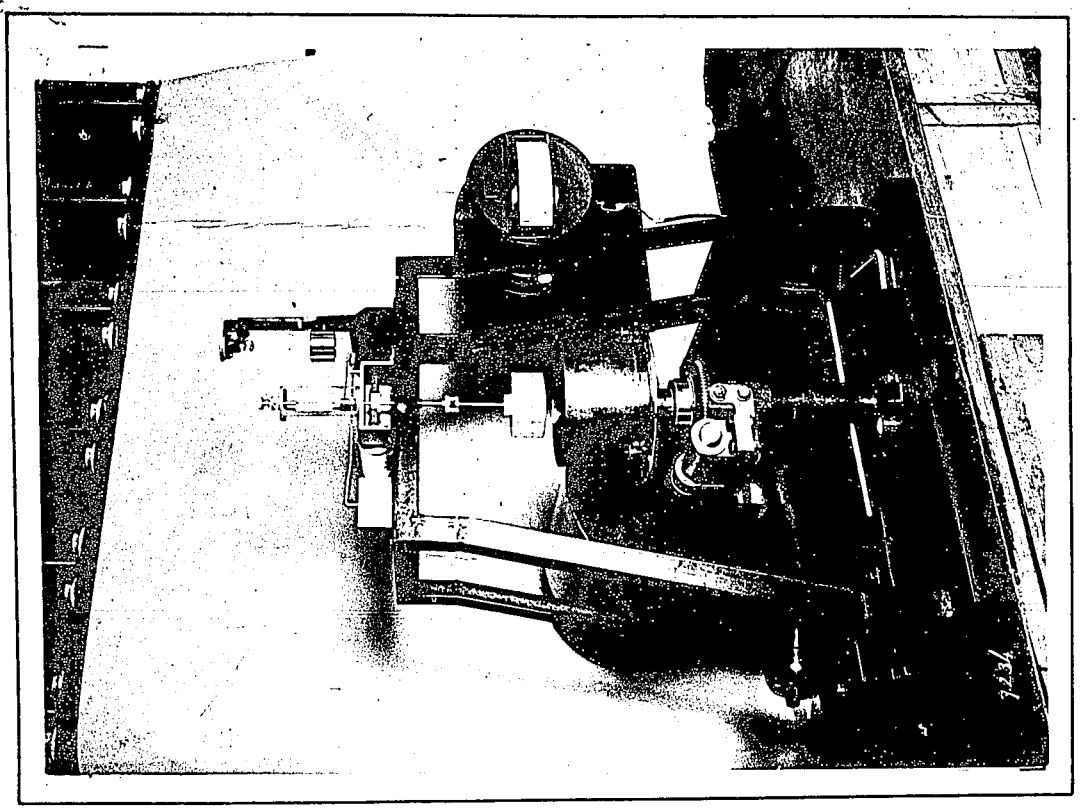
Zähigkeit = f(Temp.)

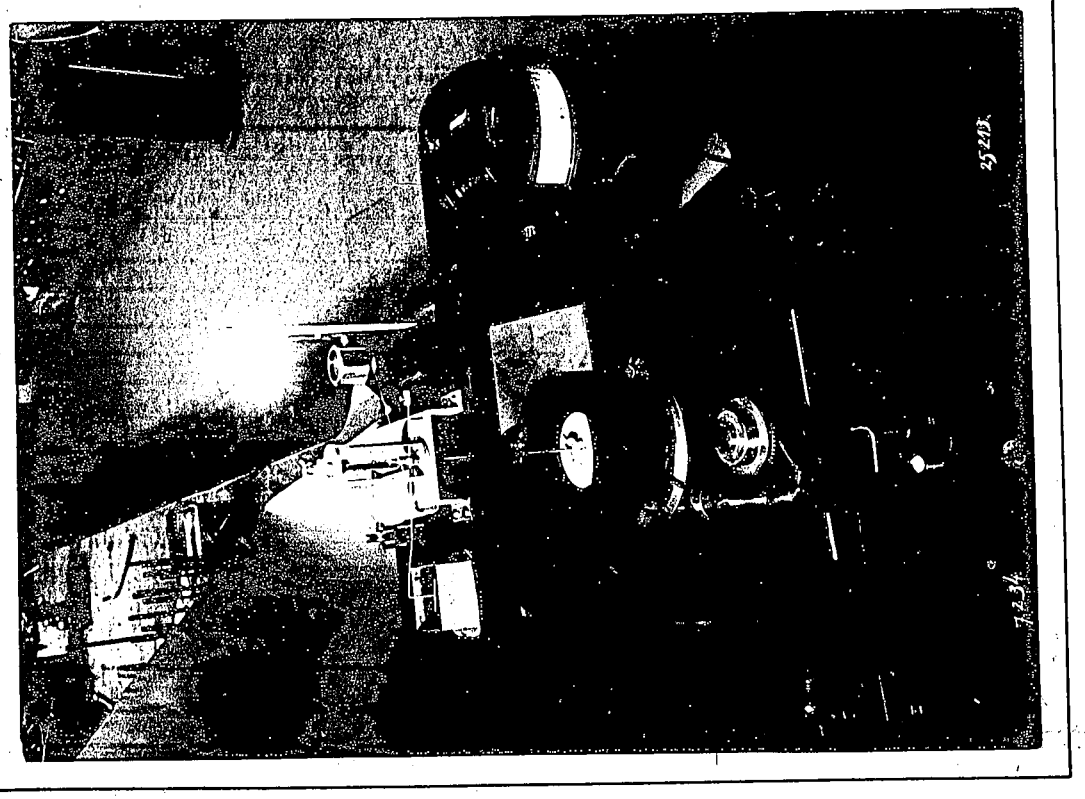


BKHyMe	Zähigkeitsmesser Zähigkeit abhängig von der Temperatur d. Flüssigkeit	Anlage II

a 4 210×297 mm

BrSk 201/200





B.K.Hy. Me.	Zähigkeitsmesser: Lichtbild.	Anlage X

USSBS
Team 4 (

751 - 10M - 325

Temperature measurement

Temperaturmessung

der II 85

Hydrierung.

in Hydrogenation

Temperaturmessung der Hydrierung.

N.B. Die in dieser Schrift mitgeteilten Erfahrungen sind Eigentum des Ammoniakwerkes Merseburg und fallen unter die Geheimhaltungsklausel.

Temperaturmessung der Hydrierung.

I. Allgemeines über Messtechnik.

1. Einteilung der Messgeräte.

a.) Statische Messgeräte.

sind Messgeräte, die zwar zur Einstellung des Meßwerkes (des Zeigers) auf den betreffenden Messwert ein einmaliges winziges Energiequantum benötigen, aber dann, wenn keine weitere Aenderung des Messwertes eintritt, keinerlei Energie mehr verbrauchen, z. B. U-Rohr; dieses benötigt zur Einstellung seiner Flüssigkeitssäule eine äusserst geringe Energie zur Überwindung der Reibung, außerdem wird potentielle Energie im U-Rohr aufgespeichert bei Uebergang zu einem höheren Messwert, doch gibt es diese Energie bei Abnahme der Messwertgrösse wieder zurück. Dasselbe gilt für Membran-und Federmanometer, für Druckwaagen, Öldruckmesser, elektrostatische Voltmeter etc.

b.) Dynamische Messwerke

sind Messwerke, die dauernd Energie verbrauchen. Sie zerfallen in zwei Gruppen:

α) Quotienten-Messgeräte.

Ihr Ausschlag ist proportional der in der Zeiteinheit durchströmenden Menge

$$q = \frac{d\,Q}{d\,t},$$

daher Quotientenmesser genannt. Sie verbrauchen zur Aufrechterhaltung des Zeigerausschlages dauernd Energie, z. B. Drosselscheibe mit Druckwaage, Ampèremeter, Voltmeter mit dynamischen Messwerk, Tourenzähler etc.

β) Summierende Messgeräte.

Es sind dauernd in Bewegung befindliche Messwerke, die ein Zählwerk antreiben, z.B. Gasuhren, Eckardtmesser, Flügelradmesser, Elektrizitätszähler etc.

2. Vergleich zwischen der Druckmessung mittels mechanischer Messgeräte und der Spannungsmessung mittels elektrischer Messgeräte.

Während die Druckmessung nur durch statische Messgeräte ausge-

führt

führt wird, besitzt der Elektrotechniker kein statisches Messwerk für niedrige Spannungen, sondern muss sich eines Mengenmessers (Quotientenmessers) bedienen, den er im Interesse des Energieverbrauches mit entsprechenden Vorwiderständen ausrüstet. Jede Spannungsmessung ist also in Wirklichkeit eine Strommessung. Es wird der Strom gemessen, den die zu messende Spannung durch einen Widerstand bekannter Grösse hindurchpresst.

II. Temperaturmessung der Hydrierung.

Die Zustandsgrösse Temperatur wird von den Mechanikern mittels Quecksilber-Thermometern, Bi-metall-Thermometern etc.gemessen, also mittels Messwerken, die auf der Ausdehnung gasförmiger, flüssiger oder fester Körper beruhen. Durch Einführung der Thermoelemente wurde die Temperaturmessung mittels mechanischer Meßgeräte an allen Grossanlagen, wo es gilt, Temperaturen an vielen Messtellen oft in Abständen von 1/4 Stunde zu überprüfen, vollständig verdrängt. Die thermoelektrische Temperaturmessung verwandelt die Zustandsgröße Temperatur in eine elektrische Zustandsgrösse, in Spannung. Das Thermoelement stellt eine Spannungsquelle dar, deren Spannung proportional der Temperatur der Lötstellen der beiden Drähte ist.Die Abhängigkeit der Spannung von der Temperatur ist durch Auswahl bestimmter Metallegierungen stets streng reproduzierbar (Genauigkeit ± 1 bis 2° C bei 500° C also ± 0,2 bis 0,4 %).
Es war also die Genauigkeit der elektromotorischen Kraft der Thermoelemente ziemlich früh auf zufriedenstellende Werte gebracht. Doch konnte diese Genauigkeit der Fabrikation der Thermoelemente nicht ausgenützt werden, da die bisher üblichen Anlagen an der Spannungsmessung und der Konstanthaltung der sogenannten kalten Lötstellen des Thermoelementes scheiterten, wodurch Fehler von 0,3 Millivolt bei 25 Millivolt, also von 1,2 % keine Seltenheit waren.

1. Spannungsmessung der Thermoanlagen.

a.) Spannungsmessung der bisher üblichen Thermoanlagen.

Wie schon einleitend erwähnt, besitzt der Elektrotechniker für die Messung niedriger Spannungen kein elektrostatisches Messwerk (Anziehungskraft zweier elektrisch geladener Platten), sondern muss stromverbrauchende

branchende Instrumente mit vorgeschaltetem Widerstand zur Spannungs-(Druck-)messung benützen (siehe Fig. 1). Das Instrument MV besteht aus einer Drehspule S, die zwischen den Polen eines Naturmagneten M drehbar angeordnet ist und vor die zur Erreichung geringen Stromverbrauches ein hochohmiger Widerstand R_V (meistens 1000 bis 1200 Ohm) vorgeschaltet ist. Das Thermoelement speist also über den Leitungswiderstand R_L das soge=nannte Millivoltmeter (besser hiesse es Mikroampèremeter). Einfache Überlegungen zeigen uns die Mängel dieser Messung. Es fliesst Strom in den Zuleitungen vom Element zum Messgerät, also entsteht ein Spannungsver=lust. Selbst wenn man alle Leitungen, wie in der Hydrierung üblich, auf einen gleichgrossen Widerstandsbetrag ergänzt und bei der Eichung mit eineicht, so genügt doch schon die Erwärmung der Zuleitungen und die da=durch hervorgerufene Erhöhung des Widerstandes R_L, um beträchtliche Mess-fehler hervorzurufen. Die Fabriken für Millivoltmeter suchten den Einfluß der Schwankungen des Leitungswiderstandes dadurch zu verringern, dass sie den Vorschalt-Widerstand R_V des Millivoltmeters ziemlich gross machten, sodass Schwankungen von R_L nur mehr Prozentbruchteile bezogen auf R_V aus=machten. Doch die Folge war eine Verschlechterung der Güte der Messgeräte. Denn der Strom, der die Drehspule durchfliesst, wurde durch den hohen Vor-schaltwiderstand R_V sehr verringert, sodass die Kraft des Messwerkes er=heblich Einbusse erlitt. Die Feder, die der Kraft der Drehspule das Gleichgewicht hält, wurde so schwach, dass schon kleinste Korrodierungen die Federkonstante veränderten, ja dass selbst geringe Temperaturänderun-gen, z. B. bei Aufhängen des Millivoltmeters in der Sonnenstrahlung die Richtkraft der Feder unzulässig veränderten. Auch mussten die Drehspulen sehr empfindliche Spitzenlager erhalten, was wiederum sehr häufig zu Reibungsfehlern führte. Diese 3 Mängel: Einfluss des Zuleitungswider=standes, Reibungsfehler und zu geringe Richtkraft gaben Veranlassung zur Entwicklung eines neuen Messgerätes. Um vom Zuleitungswiderstand frei zu werden, musste man also ein gleichsam elektrostatische Messmethode anwen-den, ohne Stromentnahme aus der zu messenden Spannungsquelle. Um Reibungs-fehler zu vermeiden und die Richtkraft zu vergrössern, musste der Energie-verbrauch des anzeigenden Messgerätes gesteigert werden, somit also die Energie aus einer fremden Stromquelle entnommen werden. Alles dies würde erfüllt durch die Spannungsmessung mittels Kompensation, die im Laborato=rium zwar üblich war, aber für den Betrieb unbrauchbar war wegen zu gro=sser Einstellungszeit.

b.) Spannungsmessung mittels Kompensation.

α) Die bereits bekannte Laboratoriumsschaltung.

Die zu messende Spannungsquelle e (Siehe Fig. 2) wird einer gleichgrossen Spannung entgegengeschaltet, die durch den Strom J in dem Normalwiderstand R_N hervorgerufen wird. Das Galvanometer G dient nur als Nullinstrument, man regelt mittels des Regulierwiderstandes R_S den von der fremden Stromquelle E gelieferten Strom J so ein, dass der Spannungsabfall $J \cdot R_N$ gleich der elektromotorischen Kraft e des Thermoelementes wird, dass also der Strom i im Galvanometer G zu Null wird. Es fliesst also kein Strom im Leitungswiderstand R_L, dieser kann also beliebig schwanken. Der Ausschlag des Ampèremeters A ist proportional der Thermoelementspannung e. Da das Ampèremeter nur Strom aus der fremden Stromquelle E erhält, kann dieser beliebig gross sein und somit ein starkes Amperèmeter ohne Reibungsfehler verwendet werden.

β) Spannungsmessung mittels lichtelektrischer Kompensation.

Diese Kompensationsschaltung, wie sie seit langem in Laboratorien üblich war, hatte nur einen grossen Nachteil, der sie für den praktischen Betrieb unbrauchbar machte, die Einstellung des Kompensationsstromes J von Hand dauerte zu lange. Dieser Übelstand konnte durch Einführung der lichtelektrischen Einsteuerung des Kompensationsstromes durch die B. K. Hy gänzlich beseitigt werden. Wie aus Schaltbild Fig. 3 ersichtlich, ist der Gedankengang äusserst einfach und liegt auf der Hand. Es wurde nur der Schiebewiderstand R_S ersetzt durch eine Verstärkerröhre RE 134, deren Anodenstrom J von dem Nullgalvanometer G durch Abblenden des auf die Photozelle Z fallenden Lichtstrahles entsprechend gesteuert wird. Die Wirkungsweise ist kurz folgende: Ohne angeschlossenes Thermoelement trifft der volle Lichtkegel die Photozelle. Das Licht löst auf der Cäsiumkathode der Zelle Z Elektronen aus, die es der negativen Spannung der Gitterbatterie V_G ermöglichen, zum Gitter der Verstärkerröhre RE 134 zu gelangen. Da bei negativer Spannung am Gitter der Röhre diese unendlich grossen Widerstand besitzt, fliesst kein Strom aus der fremden Stromquelle E. Das Ampèremeter A zeigt den Wert O. Wird nun eine Thermoelementspannung e angelegt, so bewegt sich durch den durch die Drehspule S fliessenden Galvanometerstrom i die Zeigerfahne des Nullgalvanometers G in den Lichtkegel hinein. Die Zelle wird nur teilweise noch be-

leuchtet,

b.) Spannungsmessung mittels Kompensation.

α) Die bereits bekannte Laboratoriumsschaltung.

Die zu messende Spannungsquelle e (Siehe Fig. 2) wird einer gleichgrossen Spannung entgegengeschaltet, die durch den Strom J in dem Normalwiderstand R_N hervorgerufen wird. Das Galvanometer G dient nur als Nullinstrument, man regelt mittels des Regulierwiderstandes R_S den von der fremden Stromquelle E gelieferten Strom J so ein, dass der Spannungsabfall J . R_N gleich der elektromotorischen Kraft e des Thermoelementes wird, dass also der Strom i im Galvanometer G zu Null wird. Es fliesst also kein Strom im Leitungswiderstand R_L, dieser kann also beliebig schwanken. Der Ausschlag des Ampèremeters A ist proportional der Thermoelementspannung e. Da das Ampèremeter nur Strom aus der fremden Stromquelle E erhält, kann dieser beliebig gross sein und somit ein starkes Amperèmeter ohne Reibungsfehler verwendet werden.

β) Spannungsmessung mittels lichtelektrischer Kompensation.

Diese Kompensationsschaltung, wie sie seit langem in Laboratorien üblich war, hatte nur einen grossen Nachteil, der sie für den praktischen Betrieb unbrauchbar machte, die Einstellung des Kompensationsstromes J von Hand dauerte zu lange. Dieser Übelstand konnte durch Einführung der lichtelektrischen Einsteuerung des Kompensationsstromes durch die B. K. Hy gänzlich beseitigt werden. Wie aus Schaltbild Fig. 3 ersichtlich, ist der Gedankengang äusserst einfach und liegt auf der Hand. Es wurde nur der Schiebewiderstand R_S ersetzt durch eine Verstärkerröhre RE 134, deren Anodenstrom J von dem Nullgalvanometer G durch Abblenden des auf die Photozelle Z fallenden Lichtstrahles entsprechend gesteuert wird. Die Wirkungsweise ist kurz folgende: Ohne angeschlossenes Thermoelement trifft der volle Lichtkegel die Photozelle. Das Licht löst auf der Cäsiumkathode der Zelle Z Elektronen aus, die es der negativen Spannung der Gitterbatterie V_G ermöglichen, zum Gitter der Verstärkerröhre RE 134 zu gelangen. Da bei negativer Spannung am Gitter der Röhre diese unendlich grossen Widerstand besitzt, fliesst kein Strom aus der fremden Stromquelle E. Das Ampèremeter A zeigt den Wert 0. Wird nun eine Thermoelementspannung e angelegt, so bewegt sich durch den durch die Drehspule S fliesenden Galvanometerstrom i die Zeigerfahne des Nullgalvanometers G in den Lichtkegel hinein. Die Zelle wird nur teilweise noch beleuchtet.

beleuchtet, es treten weniger Elektronen aus und die negative Spannung am Gitter der Röhre sinkt. Der Röhrenwiderstand wird kleiner, es entsteht ein Anodenstrom J. Dieser erzeugt im Widerstand R_g einen Spannungsabfall J . R, der der Thermoelementspannung e entgegenwirkt, wodurch der Galvanometerstrom i stets kleiner wird, bis schliesslich e = J . R wird und somit i = 0. Damit kommt die Bewegung der Zeigerfahne zum Stillstand. Der Strom J ist proportional der zu messenden Spannung e, das Ampèremeter kann unmittelbar in Spannungswerten Millivolt geeicht werden. In der Praxis geht die Einstellung der Abblendefahne des Nullgalvanometers und somit auch des Ampèremeterzeigers in Form eines Schwingungsvorganges vor sich. Doch ist die Einschwingzeit kleiner als 1 Sekunde, somit kürzer als die Einstellzeit der trägen früheren Millivoltmeter der alten Anlage und gerade diese raschere Einstellzeit hat den Betrieb neben dem Vorzug grösserer Genauigkeit zur Einführung der Messgeräte veranlasst.

2. Konstanthaltung der kalten Lötstellen der Thermoelemente.

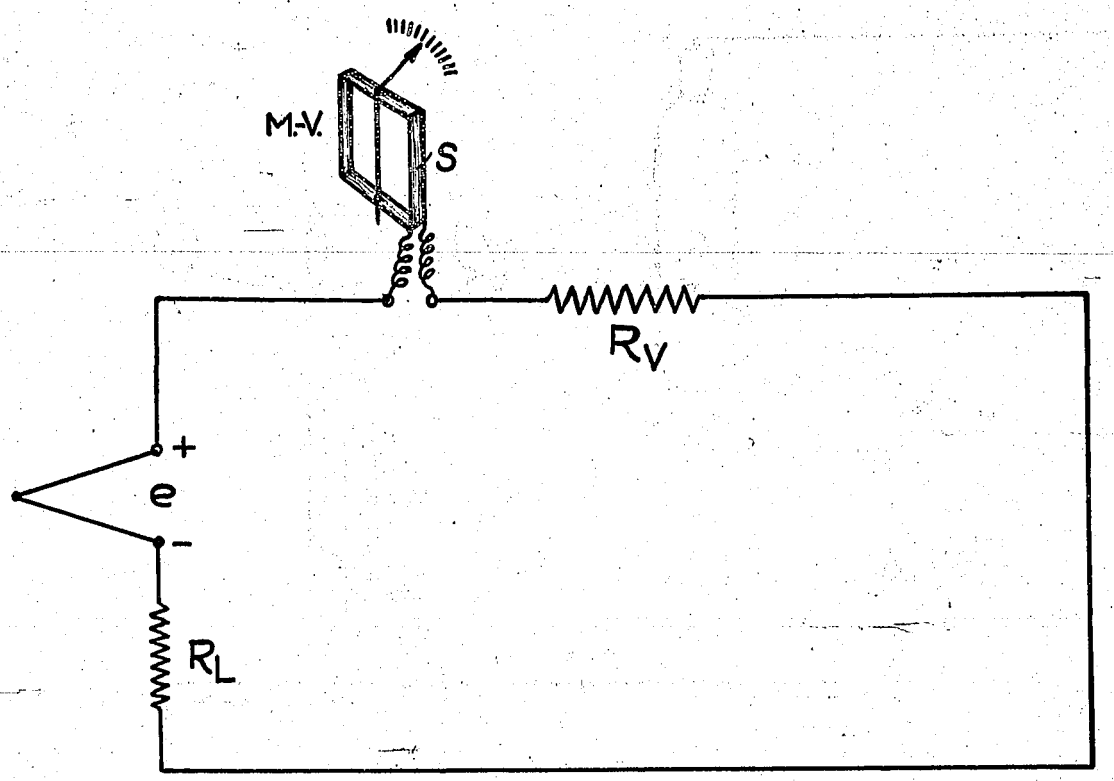
Durch Einführung der Kompensationsmessung war die Genauigkeit der Thermoelementfabrikation noch übertroffen und es lag nun nur noch der Fehler durch Schwankungen der Temperatur der kalten Lötstellen unter dem durch die Thermoelementfabrikation gegebenen höchst erreichbaren Genauigkeitsgrad. Diese kalten Lötstellen waren bei der alten Anlage (s. Fig. 4) in mit heissem Wasser auf 20° C gehaltenen Thermostaten angeordnet und zwar für jedes Thermoelement je eine Lötstelle, also oft 100 Lötstellenpaare pro Kammer. Durch Anwendung eines Schalttrickes konnte nun zunächst die Zahl der Lötstellen so verringert werden, dass pro Instrument nur eine Lötstelle notwendig wurde, also höchsten 5 - 7 pro Kammer (siehe Fig. 5). Wie zu ersehen, ist die auf konstanter Temperatur gehaltene Lötstelle e_T hinter dem Wähler (Tasterkasten) angeordnet. Die Klemmstellen der einzelnen Elemente e_1 bis e_5 sind in einem Schaltkasten SchK angeordnet und durch Unterklemmen der Zuleitungen zu der kalten Lötstelle e_T im Schaltkasten werden die Temperaturschwankungen des Schaltkastens aufgehoben. Als Thermostat dient ein Block B aus Metall, der elektrisch geheizt wird. Die Steuerung der elektrischen Heizung geschah ursprünglich mittels eines Quecksilberthermometers mit eingeschmolzenem Kontakt. Der Kontakt schaltete über ein Relais den Heizstrom ein und aus. Trotz des geringen Feldstromes des Relais war nach einer Laufzeit von 3 Wochen Verschmutzen des Kontaktes eingetreten. Um nun den Kontakt mit möglichst geringen Steuerströmen

zu belasten, musste zur Anwendung der Verstärkerröhre übergegangen werden. Die Wirkungsweise ist folgende (siehe Fig. 6): Ist der Kontakt K des Thermometers T geöffnet, so liegt über dem Hochohmwiderstand R_{Meg} die negative Spannung der Gitterbatterie V_g am Gitter der Röhre, es fliesst kein Anodenstrom J. Der Anker des Relais F ist abgefallen. Der Relaiskontakt K_R ist geschlossen, der Heizstrom J_H durchfliesst die Heizwicklung W_H des Thermostaten. Hierdurch steigt die Temperatur des Blockes B, bis das Thermometer T seinen Kontakt K schliesst. Hierdurch wird das Gitter der Röhre unmittelbar mit der Kathode verbunden, die Gitterspannung = 0, es fliesst der volle Anodenstrom J, Relais F zieht an, der Ruhekontakt K_R wird geöffnet, der Heizstrom J_H wird unterbrochen, Block B kühlt ab usw. Die Temperatur des Blockes beträgt 30° C und wird auf $\pm$ 0,3° C konstant gehalten.

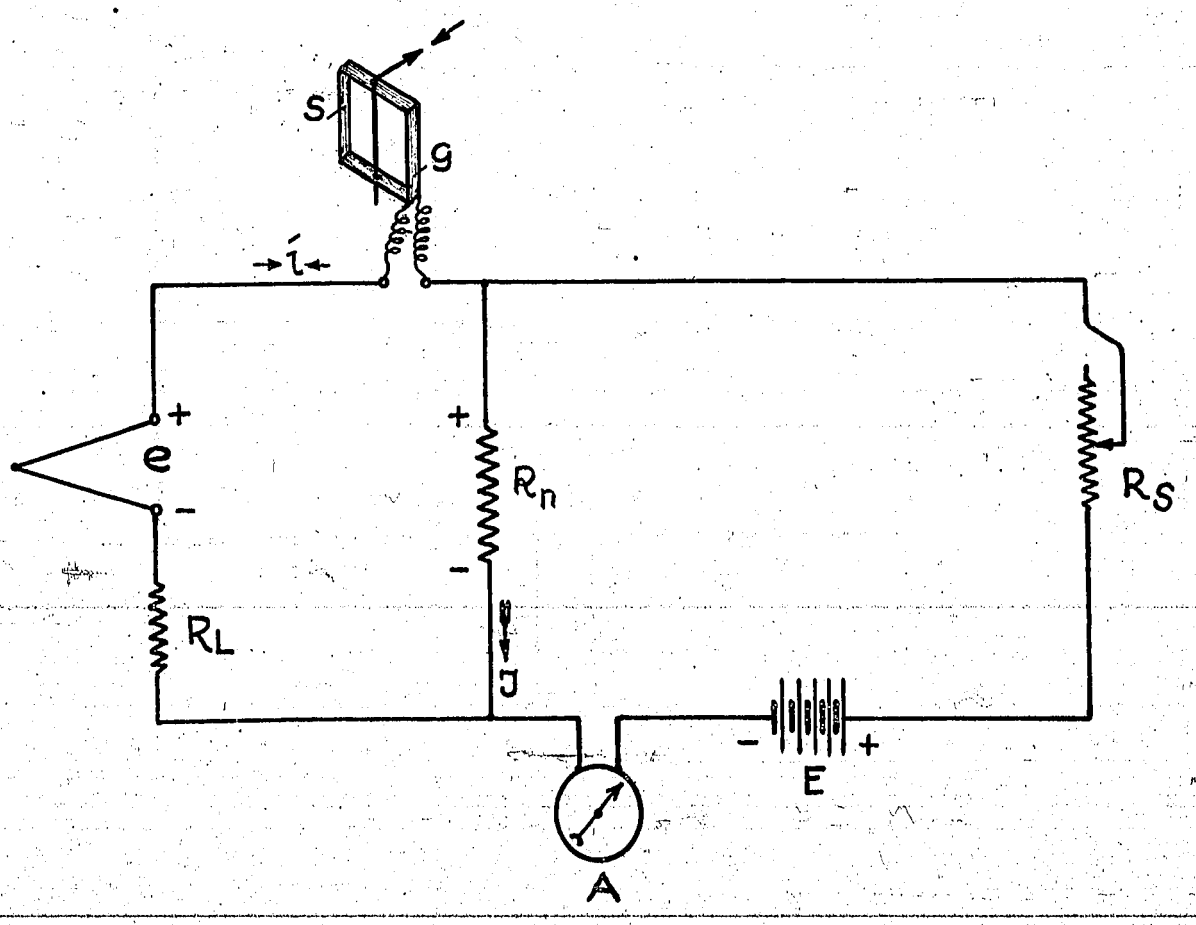
Durch diese erreichte Genauigkeit ist ebenfalls die Genauigkeit der Thermoelementfabrikation übertroffen. Letztere ist also zur Zeit das Glied geringster Genauigkeit und unsere Messanlagen arbeiten somit bei 500° C mit einer Genauigkeit von $\pm$ 1° bis 2° C.

Neufeldt

Weis

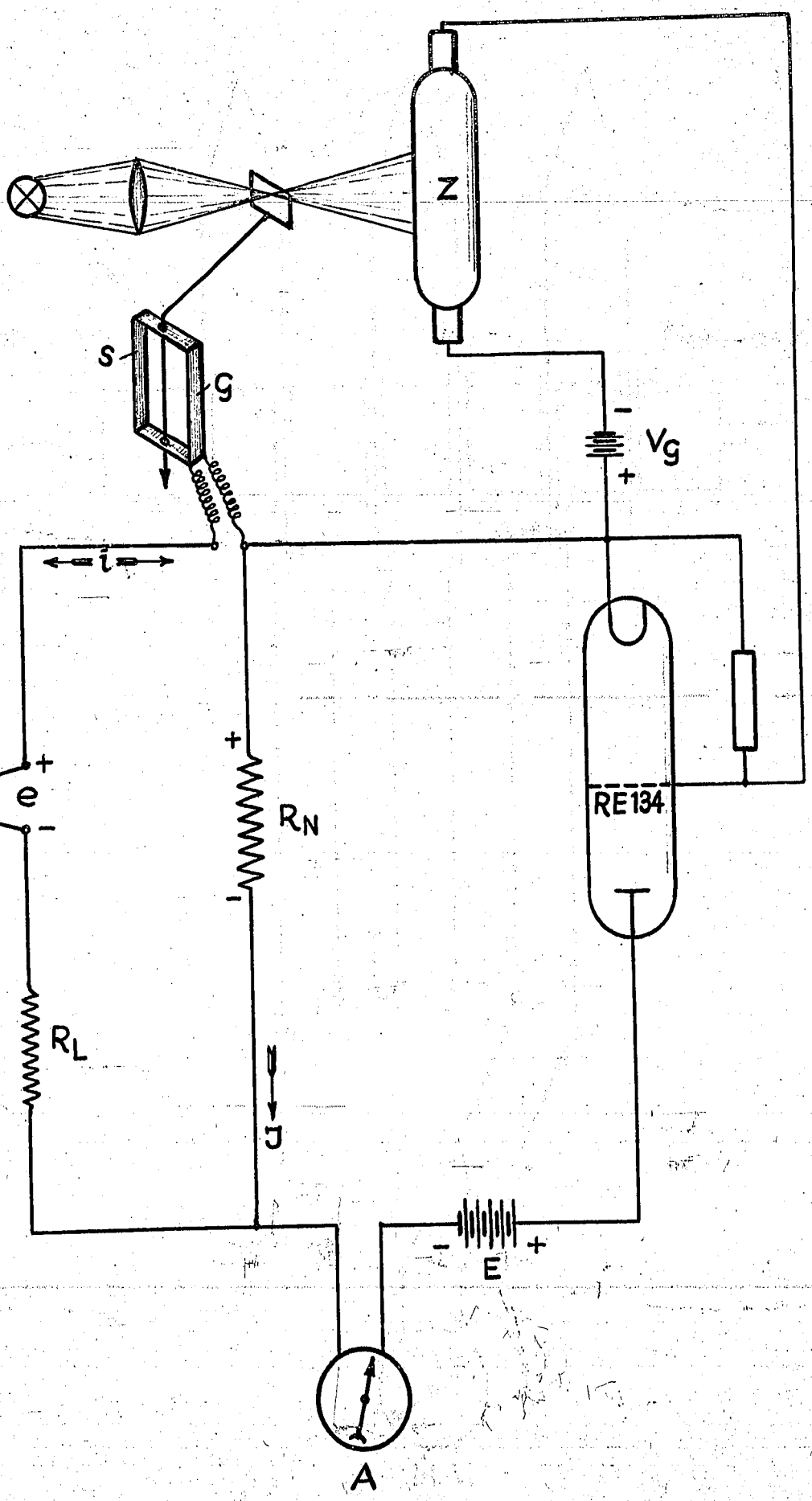


Normale Millivoltmeterschaltung | Fig. 1.

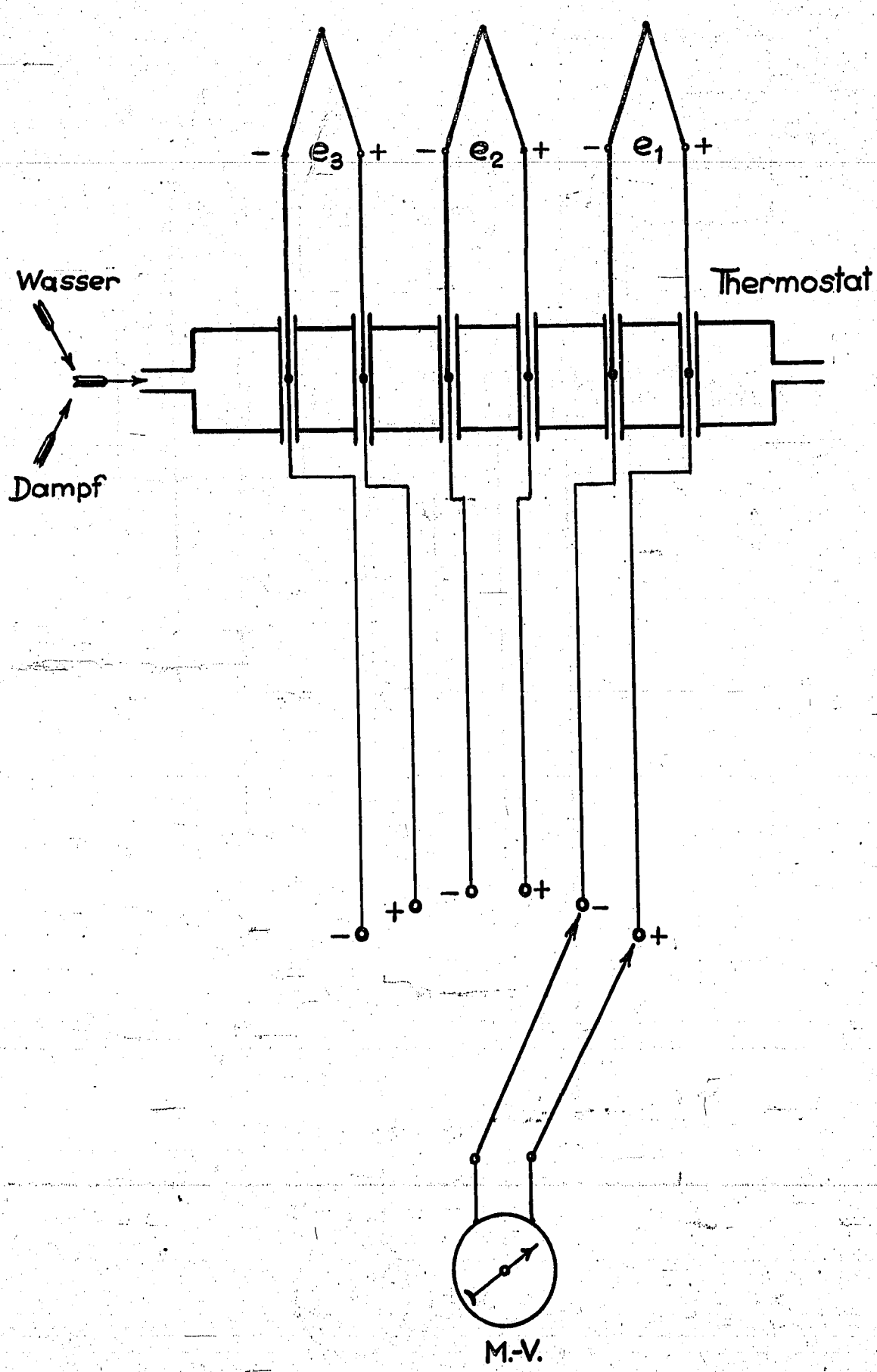


Ammoniakwerk Merseburg Betr. Kontr. Me 745 Hy. 24.11.33. | Handkompensation. | Fig. 2.

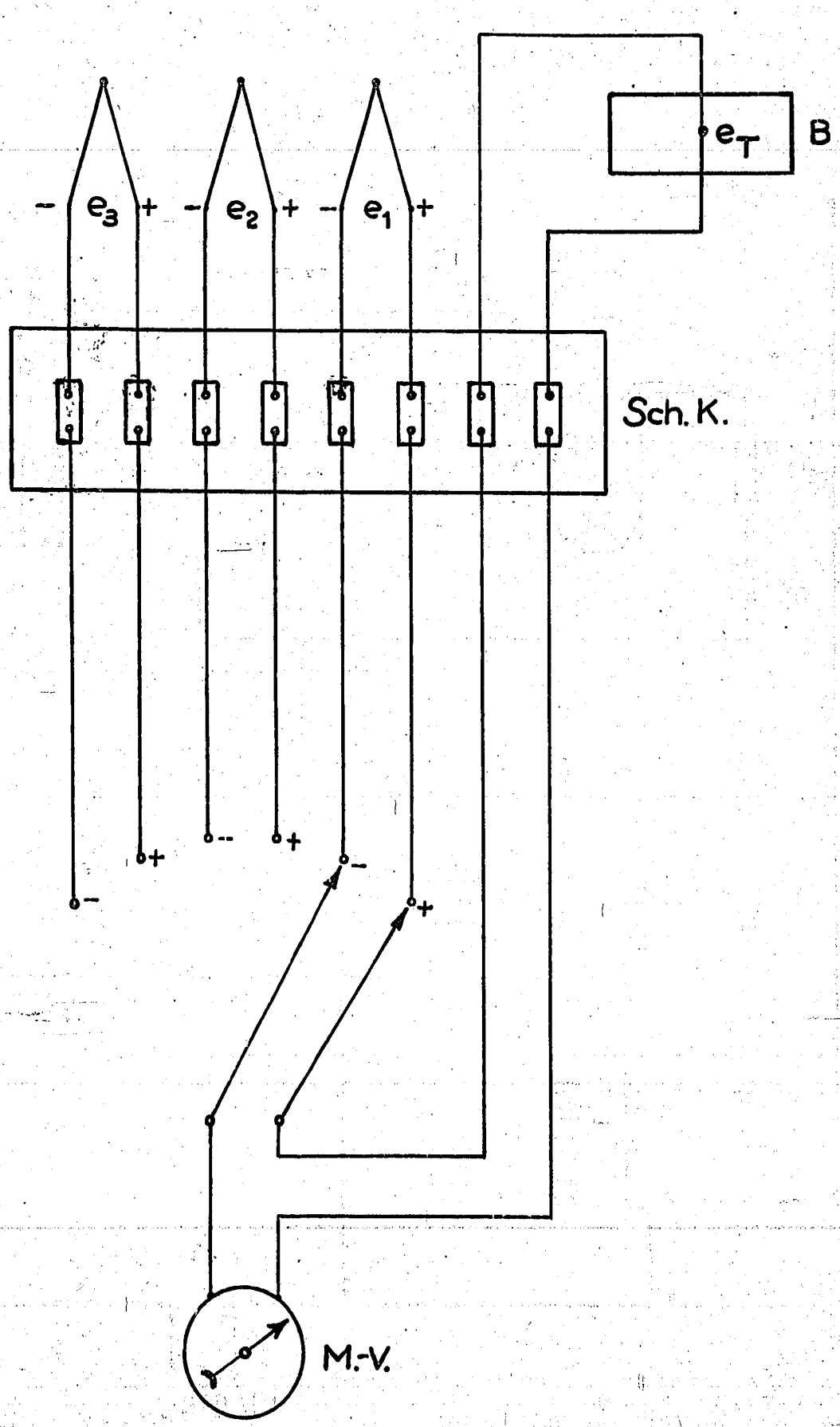
KODAK SAFETY FILM



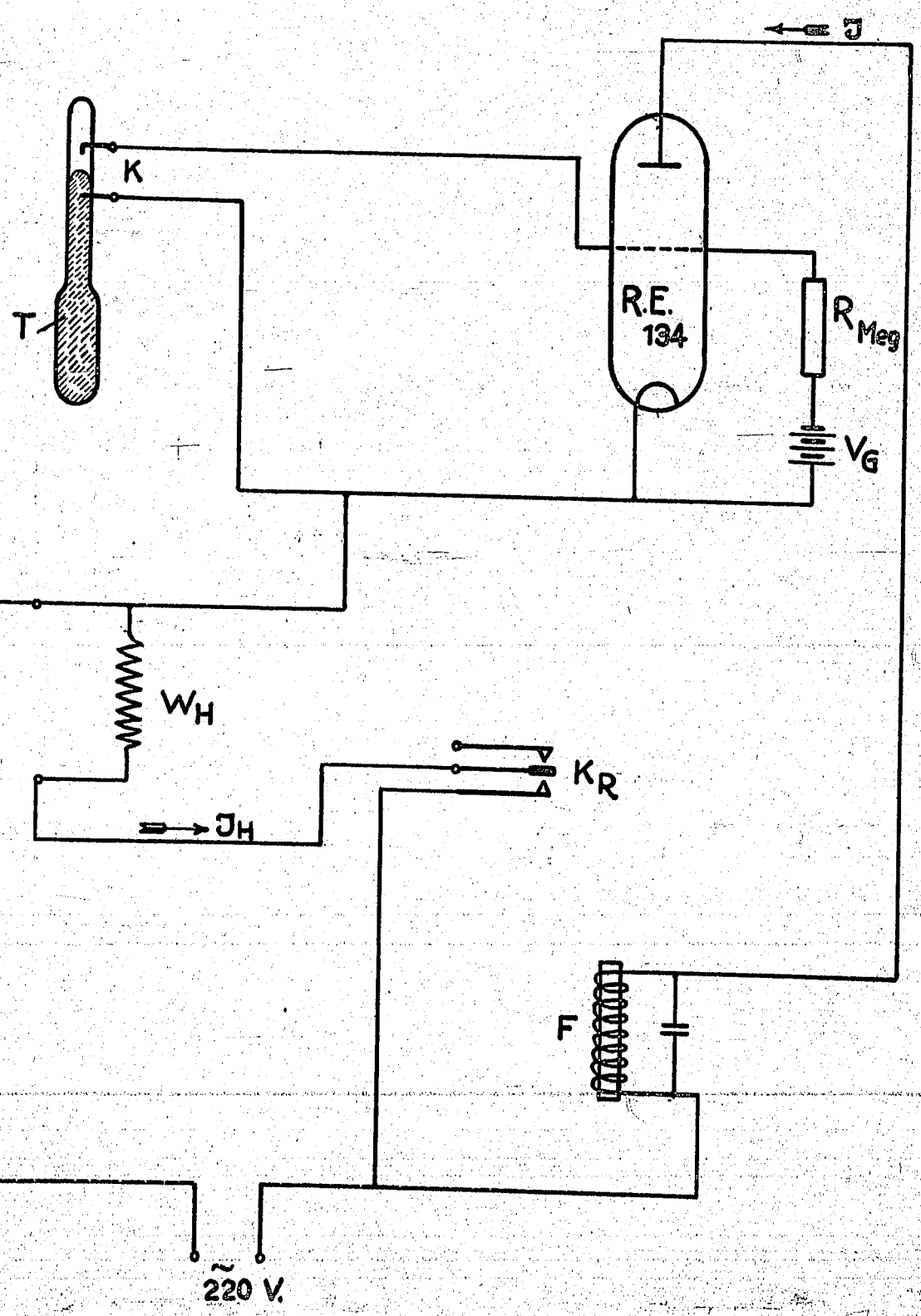
Ammoniakwerk Merseburg Betr. Kontr. Me 745 Hy. 24.8.35.	Kompensations-App.	Fig. 3.



Ammoniakwerk Merseburg Betr. Kontr. Me 746 Hy. 25.X.35.	Alte Schaltung der Thermoanlagen	Fig. 4.



Ammoniakwerk Merseburg Betr. Kontr. Me 745 d. 2.XII.95.J.	Neue Schaltung der Thermoanlagen.	Fig. 5.



Ammoniakwerk Merseburg Betr. Kontr. Me 745 d. 4. III. 35. Sr.	Schaltung des Reglers für den Thermostaten.	Fig. 6.

HEAT TRASFER II B

Wärmeübergang bei einem Schrägrohrverdampfer

VSSBS Team 46 Lu.

N931

Umlauf bei:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Verbleib bei:

Herrn Dipl.-Ing. .....

Filz .....

VERSUCHSGRUPPE MTA • I. G. LUDWIGSHAFEN A. RH. • 201 8

Untersuchung des Wärmeübergangs an
einer Alkohol-Kolonne.

I.) Zweck des Versuches:

Auf Veranlassung des Betriebes wird eine Messung an der Aethylalkohol-Kolonne im Bau Lu 258 vorgenommen, um den Wärmeübergang von der Heizfläche auf die Flüssigkeit zu untersuchen.

II.) Apparate-Beschreibung:

Die Anordnung ist aus Anlage 1 ersichtlich. Die Kolonne dient zum kontinuierlichen Austreiben von Aethanol aus einem Gemisch, enthaltend 70 bis 80 % Aethanol, ausserdem mehrwertige Alkohole sowie Spuren von Acetaldehyd. Die Apparatur besteht aus dem Schrägrohrverdampfer mit etwa 50 qm Heizfläche, geliefert von der Firma Kühnle, Kopp u. Kausch, Frankenthal, der eigentlichen Kolonne mit 45 Böden, je 49 Glocken bei 150 mm Bodenabstand. Der Kolonnendurchmesser beträgt 1400 mm. Im direkt aufgeflanschten Dephlegmator wird der etwa 99,5 %ige Alkohol kondensiert und läuft ab durch einen Rohrkühler. Kolonne und Dephlegmator sind von der Firma Golzern-Grimma geliefert, der Rohrkühler von der Firma Venuleth u. Ellenberger, Darmstadt. Normalerweise wird nur mit dem wilden Rücklauf gefahren. Die geringe Restdampfmenge, bestehend aus Alkohol- und Acetaldehyd-Dampf, geht über in eine kleine Raschig-Kolonne, um das Acetaldehyd noch getrennt zu gewinnen. Während des Versuches ist der Einfachheit halber die Raschig-Kolonne praktisch

ausser Betrieb gesetzt dadurch, dass im Dephlegmator stärker gekühlt und die geringe Menge Acetaldehyd-Dampf zusammen mit dem Alkoholdampf niedergeschlagen wird.

III.) Versuchsanordnung und -durchführung.

Gemessen worden ist

1.) der Dampfverbrauch. Das Kondensat läuft nach Verlassen des Heizkörpers durch einen Schlangenkühler in ein Meßgefäss. Der Flüssigkeitsinhalt wird regelmässig abgelesen.

2.) Der Heizdampfdruck mit geprüftem Manometer. Meßstelle 2 auf Anlage 1 (M 2).

3.) Die Heizdampftemperatur mit Quecksilberthermometer (M 3).

4.) Die Temperatur des Kondensates an der Austrittsstelle des Heizkörpers mit Quecksilberthermometer (M 4).

5.) Die Temperatur des Kondensates beim Verlassen des Kühlers (M 5).

6.) Die in die Kolonne eintretende Menge an Rohlösung mit Rotahahn (M 6) .

7.) Die ablaufende Alkoholmenge a) mit dem vorhandenen Staumesser

b) gemessen wird der Stand in dem Alkoholgroßbehälter mit Fernmanometer.

(der Sumpfablauf wird durch eine Apparatur von der Gesellschaft für selbsttätige Temperaturregelung automatisch so geregelt, dass im Verdampfer der Flüssigkeitsspiegel konstant gleibt.)

8.) Die Flüssigkeitstemperaturen im Verdampfer unten mit Quecksilberthermometer (M 8).

9.) Die Flüssigkeitstemperatur im Verdampfer oben mit Betriebswiderstandsthermometer wegen der schlechten Zugänglichkeit. (M 9).

10.) Die Brüdentemperatur in der Kolonne unten mit Betriebswiderstandsthermometer (M 10).

11.) Der Brüdendruck unter dem untersten Boden mit Quecksilbersäule (M 11).

12.) Die Brüdentemperatur in der Kolonne oben mit Betriebswiderstandsthermometer (M 12).

13.) Die Brüdentemperatur im Uebergang mit Betriebswiderstandsthermometer (M 13).

14.) Der Brüdendruck beim Eintritt in den Dephlegmator mit Quecksilbersäule (M14).

15.) Dephlegmator-Kühlwassermenge mit Hilfe einer Wasseruhr (M 15).

16.) Die Temperatur des Kühlwassers beim Eintritt in den Dephlegmator mit Quecksilberthermometer (M 16).

17.) Temperatur des Kühlwassers beim Austritt aus dem Dephlegmator mit Quecksilberthermometer. (M 17).

IV.) Versuchsergebnisse:

Der Verlauf der Temperaturen von Heizdampf (überhitzt), Kondensat (M 4) Flüssigkeit, Brüden sowie Kühlwassertemperaturen, ferner der Druck der Brüden ist aus dem Kurvenblatt Anlage 2 zu ersehen.

Die Aenderung der Flüssigkeits- und Wärmemengen ist auf dem Kurvenblatt Anlage 3 dargestellt.

Die wichtigsten Mittelwerte und die daraus errechneten k- bzw. α-Werte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Versuch am 21. Juni 1938.

Pos.:	Grösse:	Dimension:	Zahlenwert:
1	Versuchsbeginn	Uhr/min	7^{40}
2	Versuchsende	"	14^{40}
3	Zulaufmenge bei ungefähr 40°C (γ = 0,85)	ltr / h	1050
4	Zulaufmenge bei ungefähr 40°C (γ = 0,85)	kg / h	892
5	Alkoholablauf nach Staumesser bei ca. 78°	ltr / h	1152
6	Alkoholablauf nach Staumesser bei ca. 78° (γ = 0,735)	kg / h	846
7	Alkoholablauf nach Fernmanometer	kg / h	812
8	Dephlegmator-Kühlwassermenge	kg / h	4280
9	Austrittstemperatur Kühlwasser	°C	53,1
10	Eintrittstemperatur Kühlwasser	°C	17,6
11	Im Dephlegmator abgeführte Wärme	kcal/h	152000
12	Alkoholmenge aus Pos. 11 errechnet	kg / h	725
13	Dampfverbrauch	kg / h	393
14	Heizdampftemperatur	°C	200,3
15	Heizdampfdruck	atü	3,95
16	Siedetemperatur zu Pos. 15	°C	150,7
17	Temperatur des Kondensates beim Verlassen des Heizkörpers	°C	147,4
18	Im Dampf zugeführte Wärme	kcal/h	212200
19	Flüssigkeitstemperatur im Verdampfer unten	°C	137,2
20	Flüssigkeitstemperatur im Verdampfer oben	°C	140,9
21	Wärmedurchgangszahl k	kcal / m^2 h °C	368
22	Wärmedurchgangszahl α_{Fl}	kcal / m^2 h °C	390.

V.) Beurteilung des Versuchsergebnisses und Zusammenfassung.

Die mit den eingebauten Betriebskontrollgeräten und zwar einerseits mit Fernmanometer, andererseits mit Staumesser (M 7) ermittelten und die aus der Dephlegmatorwärme errechneten Alkoholablauf-

Versuch am 21. Juni 1938.

Pos.:	Grösse:	Dimension:	Zahlenwert:
1	Versuchsbeginn	Uhr/min	7^{40}
2	Versuchsende	"	14^{40}
3	Zulaufmenge bei ungefähr 40°C (γ = 0,85)	ltr / h	1050
4	Zulaufmenge bei ungefähr 40°C (γ = 0,85)	kg / h	892
5	Alkoholablauf nach Staumesser bei ca. 78°	ltr / h	1152
6	Alkoholablauf nach Staumesser bei ca. 78° (γ = 0,735)	kg / h	846
7	Alkoholablauf nach Fernmanometer	kg / h	812
8	Dephlegmator-Kühlwassermenge	kg / h	4280
9	Austrittstemperatur Kühlwasser	°C	53,1
10	Eintrittstemperatur Kühlwasser	°C	17,6
11	Im Dephlegmator abgeführte Wärme	kcal/h	152000
12	Alkoholmenge aus Pos. 11 errechnet	kg / h	725
13	Dampfverbrauch	kg / h	393
14	Heizdampftemperatur	°C	200,3
15	Heizdampfdruck	atü	3,95
16	Siedetemperatur zu Pos. 15	°C	150,7
17	Temperatur des Kondensates beim Verlassen des Heizkörpers	°C	147,4
18	Im Dampf zugeführte Wärme	kcal/h	212200
19	Flüssigkeitstemperatur im Verdampfer unten	°C	137,2
20	Flüssigkeitstemperatur im Verdampfer oben	°C	140,9
21	Wärmedurchgangszahl k	kcal / m^2 h °C	368
22	Wärmedurchgangszahl α_{Fl}	kcal / m^2 h °C	390.

V.) Beurteilung des Versuchsergebnisses und Zusammenfassung.

Die mit den eingebauten Betriebskontrollgeräten und zwar einerseits mit Fernmanometer, andererseits mit Staumesser (M 7) ermittelten und die aus der Dephlegmatorwärme errechneten Alkoholablauf-

Versuch am 21. Juni 1938.

Pos.:	Grösse:	Dimension:	Zahlenwert:
1	Versuchsbeginn	Uhr/min	7^{40}
2	Versuchsende	"	14^{40}
3	Zulaufmenge bei ungefähr 40°C (γ = 0,85)	ltr / h	1050
4	Zulaufmenge bei ungefähr 40°C (γ = 0,85)	kg / h	892
5	Alkoholablauf nach Staumesser bei ca. 78°	ltr / h	1152
6	Alkoholablauf nach Staumesser bei ca. 78° (γ = 0,735)	kg / h	846
7	Alkoholablauf nach Fernmanometer	kg / h	812
8	Dephlegmator-Kühlwassermenge	kg / h	4280
9	Austrittstemperatur Kühlwasser	°C	53,1
10	Eintrittstemperatur Kühlwasser	°C	17,6
11	Im Dephlegmator abgeführte Wärme	kcal/h	152000
12	Alkoholmenge aus Pos. 11 errechnet	kg / h	725
13	Dampfverbrauch	kg / h	393
14	Heizdampftemperatur	°C	200,3
15	Heizdampfdruck	atü	3,95
16	Siedetemperatur zu Pos. 15	°C	150,7
17	Temperatur des Kondensates beim Verlassen des Heizkörpers	°C	147,4
18	Im Dampf zugeführte Wärme	kcal/h	212200
19	Flüssigkeitstemperatur im Verdampfer unten	°C	137,2
20	Flüssigkeitstemperatur im Verdampfer oben	°C	140,9
21	Wärmedurchgangszahl k	kcal / m^2 h °C	368
22	Wärmedurchgangszahl α_{Fl}	kcal / m^2 h °C	390.

V.) Beurteilung des Versuchsergebnisses und Zusammenfassung.

Die mit den eingebauten Betriebskontrollgeräten und zwar einerseits mit Fernmanometer, andererseits mit Staumesser (M 7) ermittelten und die aus der Dephlegmatorwärme errechneten Alkoholablauf-

mengen weichen stark voneinander ab. Wenn man die mit dem kurz vor dem Versuch nachgesehenen Rotahahn (M6) gemessenen Zulaufmengen als richtig unterstellt, liegen die gemessenen Ablaufwerte nach Pos. 6 und 7 mit 846 bzw. 812 kg /h zu hoch, während sich aus dem errechneten Ablauf Pos 12 mit 725 kg/h ein Alkoholgehalt des Zulaufs von 81,5 % ergibt, der etwa der oberen Grenze entspricht. Die gemessenen Ablaufmengen können nicht zutreffen, da sie einen viel zu hohen Alkoholgehalt der Rohlösung bedingen würden. Das Fernmanometer dient zwar in der Hauptsache dazu, dem Bedienungsmann den Behälterstand anzuzeigen und nicht den Ablauf. Jedoch auch der eingebaute Staumesser ist als Betriebskontrollgerät für die Mengenmessung nicht genügend genau.

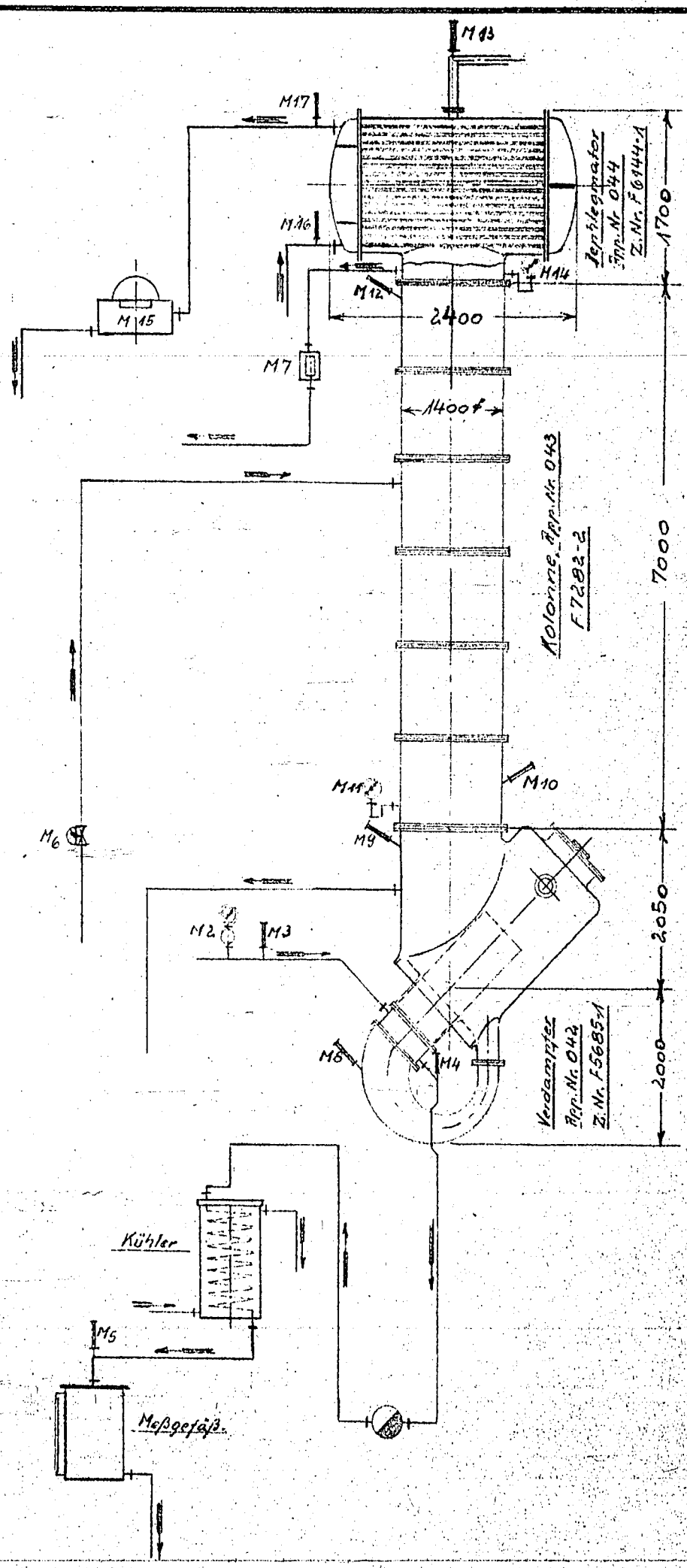
Die Wärmedurchgangszahl mit 368 kcal/m^2 h °C und auch die davon abhängige Wärmeübergangszahl von der Heizfläche an die Flüssigkeit mit 390 kcal/m^2 h °C liegt etwas niedrig. Dies ist durch den hoch angeordneten Einlauf und die dadurch bedingte höhere Viskosität der Flüssigkeit im Verdampfer bedingt, die zum grössten Teil aus Schwersiedendem (Glykolen) besteht.

Ludwigshafen/Rh., 22.8.1938

gez. W e n k

KODAK SAFETY FILM

Anlage 1



I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Ludwigshafen am Rhein	Maßst.		VG. 1743
Tag 27. 7. 38. Name Tolle ü.		Urheberrechtschutz nach DIN 34	

mm Hg
°C

Temp. Dampf Eintritt Hülsenraum

Temp. Kondensat Austritt Heizkörper

Temp. Dampf Eintritt Heizkörper

Temp. Heizraum oben

Druck unterhalb Pat.

Temp. Ophthalmator Austritt Heizraum

Temp. im Übergang

Temp. Ophthalmator Eintritt Heizkörper

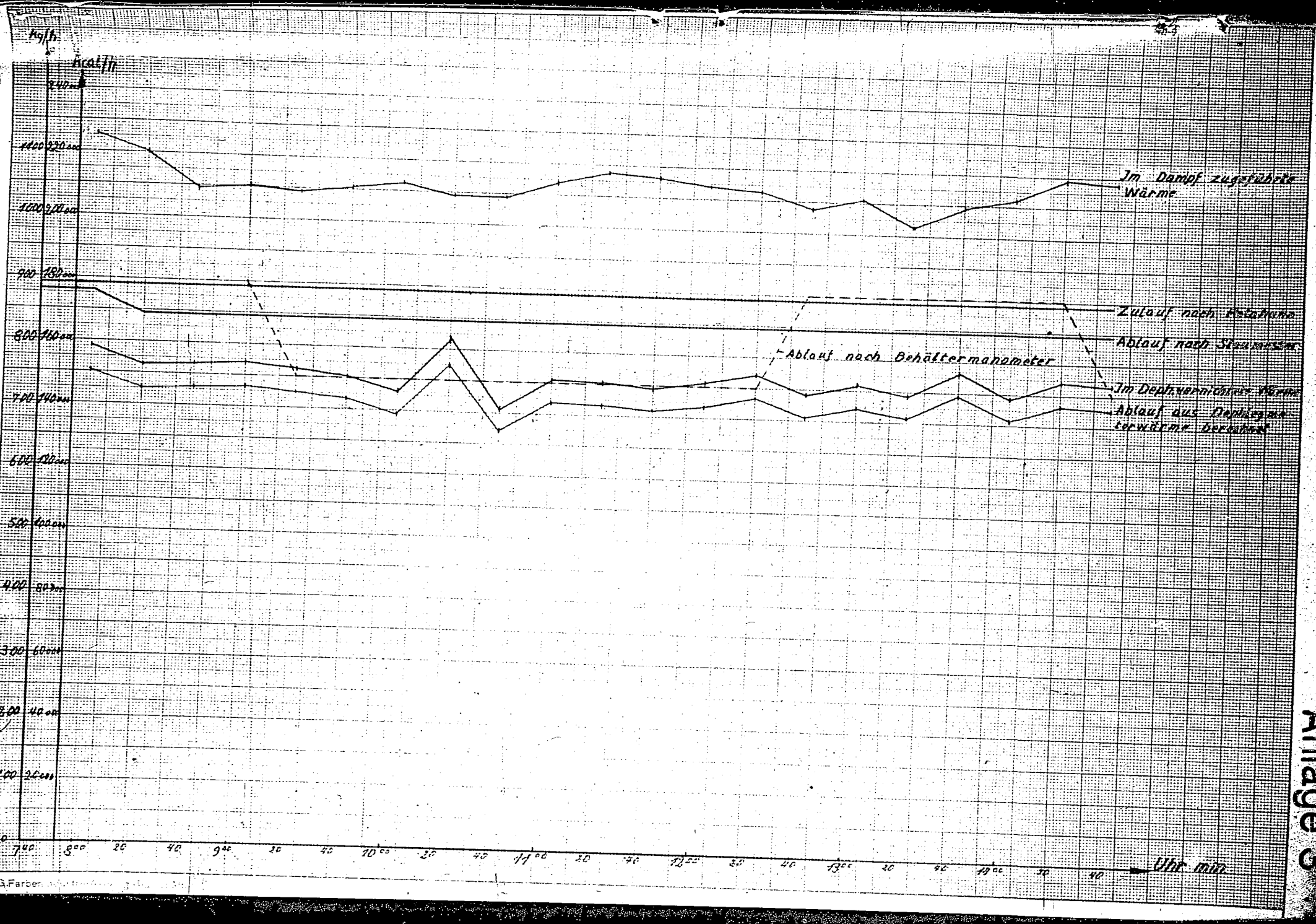
Druck unterhalb Ophth.

über Pat.

Vorsatzlinse

7 8 8:30 9 10 11 12 13 14

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rhein.



I.G.Farben

Anlage 3

851

II 87

GERMAN BOILER CODE

USSBS
Team 46

TECHNISCHE ÜBERWACHUNG

VORSCHRIFTENSAMMLUNG DER REICHSHAUPTSTELLE FÜR DIE TECHNISCHE ÜBERWACHUNG, BERLIN-GRUNEWALD, HAGENSTR. 56

Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel

Ausgabe vom 21. Juni 1939

TECHNISCHER VERLAG DER BUCH- UND TIEFDRUCK GMBH, BERLIN SW 68

bezogen durch: BEUTH VERTRIEB GMBH • BERLIN SW 68

Normenbüro

Es entspricht einem Bedürfnis der Wirtschaft, die Vorschriften auf dem Gebiet der Technischen Überwachung jeweils dem neuesten Stand der Technik anzugleichen. Aus diesem Grunde war die feste Buchform nicht mehr in der Lage, den berechtigten Wünschen der Überwachungs-Ingenieure, der Hersteller und Betreiber überwachungspflichtiger Anlagen zu entsprechen. Es wären oftmals in nur viertel- oder halbjährlichen Abständen Neuauflagen erforderlich gewesen, was mit einer nicht zu verantwortenden Vergeudung an Papier, Arbeit und einem unnötig hohen Aufwand an Geld verbunden wäre.

Aus diesem Grunde hat der Minister in einem Erlaß vom 21. Juni 1939 die Herausgabe der Vorschriftensammlung in Form von einzelnen Blättern angeordnet. Mit der Lieferung der vorliegenden Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel wird die Vorschriftensammlung der Reichshauptstelle für die Technische Überwachung eröffnet. Sie ist, wie auch spätere Vorschriftensammlungen, in einer Mappe zusammengefaßt, die ein bequemes Auswechseln der einzelnen Blätter ermöglicht.

Die einzelnen Mappen und auch einzelne Vorschriftenblätter mit Inhaltsangaben usw. werden zweckmäßig in Ringbuchdecken zusammengefaßt, die zum Preise von RM 2.— zu beziehen sind.

Die Ergänzungslieferungen und die neuen Vorschriften erscheinen als Beilage der Veröffentlichungsorgane der Reichshauptstelle: Zeitschrift: „Die Wärme“ und Zeitschrift: „Technische Überwachung“.

Um mit der Belieferung der Vorschriftenblätter stets auf dem laufenden zu bleiben, empfiehlt es sich, die eine oder andere Zeitschrift zu bestellen.

Reichshauptstelle für die Technische Überwachung

Alle Rechte vorbehalten — Technischer Verlag der Buch- und Tiefdruck Gesellschaft m. b. H., Berlin SW 68

TECHNISCHE ÜBERWACHUNG

VORSCHRIFTENSAMMLUNG DER REICHSHAUPTSTELLE FÜR DIE TECHNISCHE ÜBERWACHUNG, BERLIN-GRUNEWALD, HAGENSTR. 56

Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel

Ausgabe vom 21. Juni 1939

TECHNISCHER VERLAG DER BUCH- UND TIEFDRUCK GMBH, BERLIN SW 68
Bezogen durch BEUTH-VERTRIEB G.M.B.H., BERLIN SW 68

TECHNISCHE ÜBERWACHUNG

VORSCHRIFTENSAMMLUNG DER REICHSHAUPTSTELLE FÜR DIE TECHNISCHE ÜBERWACHUNG, BERLIN-GRUNEWALD, HAGENSTR. 56

Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel

Ausgabe vom 21. Juni 1939

TECHNISCHER VERLAG DER BUCH- UND TIEFDRUCK GMBH, BERLIN SW 68
Bezogen durch BEUTH-VERTRIEB G.M.B.H., BERLIN SW 68

TECHNISCHE ÜBERWACHUNG

VORSCHRIFTENSAMMLUNG DER REICHSHAUPTSTELLE FÜR DIE TECHNISCHE ÜBERWACHUNG, BERLIN-GRUNEWALD, HAGENSTR. 56

Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel

Ausgabe vom 21. Juni 1939

TECHNISCHER VERLAG DER BUCH- UND TIEFDRUCK GMBH, BERLIN SW 68
Bezogen durch BEUTH-VERTRIEB G.M.B.H., BERLIN SW 68

Alle Rechte vorbehalten

Technischer Verlag der Buch- und Tiefdruck Gesellschaft m. b. H., Berlin SW 68
2. Auflage 1939

Druck: Buch- und Tiefdruck Gesellschaft m. b. H., Berlin SW 68, Jerusalemer Straße 46—49

Der Reichswirtschaftsminister

III SW 16423/39.

Berlin W 8, den 21. Juni 1939.
Behrenstr. 43.

Abdruck mit Anlage übersende ich zur Kenntnis. Ich bitte, die in Frage kommenden Stellen zu verständigen. Die Technischen Ueberwachungsvereine sind benachrichtigt.

Die Notwendigkeit, den beteiligten Wirtschaftskreisen eine geschlossene Fassung der gesetzlichen Bestimmungen für den Werkstoff und den Bau der Dampfkessel baldigst an die Hand zu geben, war immer dringlicher geworden, da die bisher im Buchhandel erhältlichen Vorschriftenbücher seit längerer Zeit vergriffen und durch die Aenderung wesentlicher Abschnitte auch unvollständig geworden sind. Eine allen Ergänzungen gerecht werdende, buchmäßige Neuauflage durch einen freien Verlag war aus verschiedenen Gründen z. Zt. nicht möglich. Daher ist neben der Veröffentlichung im Ministerialblatt für Wirtschaft der baldige Abdruck der neuen Fassung der Werkstoff- und Bauvorschriften durch das vorgesehene Veröffentlichungsorgan für die technische Ueberwachung in Form eines Ringbuches zum Handgebrauch bei den unmittelbar beteiligten Behörden, technischen Ueberwachungsstellen und Wirtschaftskreisen in Aussicht genommen. Die Ringbuchform wird es gestatten, Ergänzungen und Aenderungen laufend durch Zusatz- oder Ersatzblätter einzufügen, so daß zukünftig Arbeitsaufwand und Fehlerquellen, die mit handschriftlichen Nachtragungen verbunden sind, vermieden werden.

Ueber die Einbeziehung der bisher ergangenen Aenderungen hinaus haben mit der vorliegenden Neufassung weitere Vorschläge der Unterausschüsse im Deutschen Dampfkesselausschuß sowie sonstige kleinere, zweckmäßige Anregungen (Druckfehlerberichtigungen) Berücksichtigung gefunden.

Die Inkraftsetzung der Allgemeinen polizeilichen Bestimmungen sowie der Werkstoff- und Bauvorschriften für die Ostmark und den Sudetengau ist nach der Einführung des § 24 der Reichsgewerbeordnung in diesen Gebieten beabsichtigt mit der Maßgabe, daß die Werkstoff- und Bauvorschriften sofort angewandt werden können und von einem noch festzusetzenden späteren Zeitpunkt ab angewandt werden müssen. Den Herstellerwerken ist eine möglichst frühzeitige Angleichung der Bauweise der Dampfkessel an die anliegenden Werkstoff- und Bauvorschriften zu empfehlen.

I. A.: Schmeer.

An die Landesregierungen (außer Preußen) — einschließlich den Herrn Reichskommissar für die Wiedervereinigung Oesterreichs mit dem Deutschen Reich, Wien, und den Herrn Reichsstatthalter im Sudetengau in Reichenberg (Sudetengau).

Berlin, den 21. Juni 1939.

Abdruck mit Anlage übersende ich zur gefälligen Kenntnis.

Abdrucke zur Verständigung der Gewerbeaufsichts- und Bergrevierbeamten sind beigefügt.

Die Technischen Ueberwachungsvereine sind verständigt.

I. A.: Schmeer.

An die Herren Regierungspräsidenten, den Herrn Polizeipräsidenten in Berlin und die Oberbergämter.

Anordnung

betreffend

Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel*)

Auf Grund des § 2 Abs. 1 der Allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln vom 17. Dezember 1908 (RGBl. 1909 S. 3) in der Fassung der Verordnung über das Dampfkesselwesen vom 27. August 1936 (RGBl. I S. 706) werden die Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel in der anliegenden Fassung in Kraft gesetzt.

Berlin, den 21. Juni 1939.

Der Reichswirtschaftsminister.
I. V.: Dr. Landfried.

III SW 16423/39

*) Betrifft nicht die Ostmark und die sudetendeutschen Gebiete.

Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel.

Übersicht:

Seite

Werkstoffvorschriften für Landdampfkessel.

I. Allgemeine Bestimmungen 1
I A. Prüfungen 1
I B. Zurichtung der Proben 1
I C. Abnahme der Werkstoffe 2
I D. Prüfmaschinen 3
II. Schweißstahl 5
II A. Nieteisen 5
II B. Niete 5
III. Flußstahl 7
III A. Bleche 7
III B. Winkeleisen 8
III C. Nieteisen 8
III D. Niete 9
III E. Anker und Stehbolzen 9
III F. Wasser- und Ankerrohre 9
IV. Stahlguß 13
IV A. Allgemeines 13
IV B. Art der Versuche 13
IV C. Anzahl der Probestücke 13
IV D. Abmessungen der Probestäbe 14
IV E. Anforderungen 14
V. Andere Werkstoffe 15
V A. Legierter Stahl und legierter Stahlguß 15
V B. Kupfer 15
V C. Legierungen und sonstige Metalle 15
VI. Besondere Kesselteile 17
VI A. Allgemeines 17
VI B. Sammelrohre — Sammelkästen 17
VI C. Kleinere Kesselteile 18
VI D. Nahtlos geschmiedete sowie gepreßte und gewalzte Kesselschüsse und Kesseltrommeln 21

Bauvorschriften für Landdampfkessel.

I. Allgemeine Bestimmungen 23
II. Vernietung 25
III. Schweißung 27
III/1 Ausführung von Schweißungen 27
III/2 Ausbildung und Prüfung von Kesselschweißern 31
III/3 Anweisung für die Durchführung von Arbeitsprüfungen an geschweißten Schüssen und Trommeln mit einer Schweißnahtwertigkeit von über 0,7 bis 0,9 38
IV. Berechnung der Wanddicken zylindrischer Dampfkesselwandungen mit innerem Ueberdruck 45
V. Berechnung der Wanddicken von Dampfkesselflammrohren mit äußerem Ueberdruck 47
V A. Allgemeines 47
V B. Glatte und versteifte Rohre 47
V C. Wellrohre und gerippte Rohre 48
VI. Berechnung der Dicken ebener Wandungen 49
VI A. Allgemeines 49
VI B. Ebene Platten 49
VI C. Rohrplatten von Heizrohrkesseln 51
VI D. Glatte Vierkantrohre 52
VII. Berechnung der Blechdicken von gekrempten, ebenen Kesselböden ohne Verankerung gegenüber innerem Ueberdruck 55
VIII. Berechnung der Blechdicken von gewölbten Kesselböden gegenüber innerem und äußerem Ueberdruck 57
Alte Fassung 57
Neue Fassung 59
IX. Berechnung der Blechdicken gewölbter Flammrohrböden mit Aushalsung oder Einhalsung für ein oder zwei Flammrohre 65
X. Schrauben und Verschraubungen 67
X A. Die Werkstoffe für Schrauben und Verschraubungen 67
X B. Die Berechnung der Schrauben und Verschraubungen 69
XI. Anker und Stehbolzen 73
XII. Bügel- oder Deckenträger für Feuerbuchsendecken 75
XIII. Mannloch- und andere Ausschnitte ... 77
XIV. Wasserkammer- und Teilkammerkessel 79

Werkstoffvorschriften für Landdampfkessel.

I. Allgemeine Bestimmungen.

I A. Prüfungen.

1 Alle zum Bau von Landdampfkesseln bestimmten Werkstoffe müssen zuverlässig sowie von guter Beschaffenheit sein und müssen den nachfolgenden Anforderungen entsprechen.

2 Der Nachweis der Eigenschaften ist durch Prüfungen zu erbringen, die durch Sachverständige in Uebereinstimmung mit den folgenden Festsetzungen durchzuführen sind. Für solche Flußstahlbleche der Blechsorte I, bei denen nicht zu erwärten steht, daß die Erwärmung 300° wesentlich übersteigt, und für andere zum Bau von Kesseln verwendete Werkstoffe, wie Winkeleisen, Nieteisen, Niete, Anker und Stehbolzen, mit geringerer Festigkeit als 44 kg/mm² kann der Werkstoffnachweis durch Werkbescheinigungen geführt werden, falls nicht vom Besteller Prüfung durch einen zuständigen Sachverständigen vorgeschrieben ist. (Abweichungen hiervon enthalten die Vorschriften über Wasser- und Ankerrohre, Stahlguß, Sammelrohre und Sammelkästen, kleinere Kesselteile, Schrauben und Verschraubungen.) Für Nieteisen, Niete, Anker und Stehbolzen genügt eine schriftliche Erklärung des Kesselherstellers, daß er den Werkstoff mit Werkbescheinigung oder, soweit Sachverständigenbescheinigung vorgeschrieben ist, mit einer solchen erhalten hat. Abschrift der Bescheinigung ist auf Wunsch beizubringen. Für solche Werkstoffe oder Teile, für die in den Vorschriften bestimmte Anforderungen nicht enthalten sind, z. B. für Heizrohre, Feuerbuchsrahmen, Feuerbuchs-Türringe, Stahlgußarmaturen, Ventile usw., ist in der Regel von einer Prüfung durch Sachverständige oder von einer Werkbescheinigung abzusehen.

3 Dem Sachverständigen ist auf Verlangen die Herstellungsart und die chemische Zusammensetzung der Schmelze bekanntzugeben. Der Sachverständige hat das Recht, dem Fertigungsvorgang jederzeit beizuwohnen.

I B. Zurichtung der Proben.

4 1. Die Probestäbe müssen den Werkstoff in dem Zustand enthalten, in dem er zur Herstellung der Kesselteile verwendet werden soll, bei Blechen also in ausgeglühtem Zustand.

5 2. Probestäbe mit sichtbaren Fehlern sind auszuscheiden.

6 3. Dicke und Breite der Probestäbe sind auf 0,1 mm genau zu messen.

7 4. Die Probestreifen müssen bei Blechen etwa 400 mm lang und in unbearbeitetem Zustand mindestens 50 mm breit sein.

8 5. Die Probestäbe müssen an den Schnittflächen derart bearbeitet sein, daß die Beeinflussung des Werkstoffes durch das Abtrennen zuverlässig beseitigt wird. Die Walzhaut muß bei Blechen nach Möglichkeit am Probestabe verbleiben. Reicht in Ausnahmefällen bei besonders dicken Blechen die vorhandene Zerreißmaschine nicht aus, um eine die ganze Blechdicke umfassende Probe zu zerreißen, so ist der Blechquerschnitt in mehrere vierkantige Proben aufzuteilen, die insgesamt die ganze Blechdicke erfassen. Das Mittel der Prüfwerte dieser Proben muß den Vorschriften entsprechen.

6. Die Streifen zu Zugversuchen sind auf die Meßlänge und an beiden Enden je 10 mm weiter an den Schnittflächen sauber zu bearbeiten; darüber hinaus kann der Querschnitt zunehmen. Bei Blechen muß die Meßlänge 200 mm betragen. Die Breite der Probe darf

bei Blechen bis 10 mm Dicke höchstens 60 mm,
bei Blechen über 10 mm bis 25 mm Dicke höchstens 50 mm,
bei Blechen über 25 mm Dicke höchstens 40 mm

betragen.

7. Die Streifen zu Biegeversuchen müssen an den Kanten etwas gerundet sein und dürfen über den zum Biegen angewendeten Dorn in der Breite nicht hervorragen.

8. Beim Kerbschlagversuch ist die Beeinflussung des Ergebnisses durch die Probenbreite und die Abhängigkeit des Ergebnisses von der Temperatur der Probe bei der Prüfung zu beachten. Der Kerbschlagversuch ist in der Regel bei Zimmertemperatur durchzuführen. Zur Zeit kommen folgende Probeformen zur Anwendung:

1. Länge 160 mm, Breite 15 mm, Höhe 30 mm, Rundkerb 4 mm ⌀, Bruchquerschnitt 15×15 mm^2,
2. Länge 55 mm, Breite 10 mm, Höhe 10 mm, Rundkerb 2 mm ⌀, Bruchquerschnitt 10×7 mm^2 (DVMR-Probe).

I C. Abnahme der Werkstoffe.

1. Sämtliche Werkstoffe sind bei der Besichtigung in der Nähe der zu entnehmenden Proben abzustempeln, und zwar mit dem Stempel des abnehmenden Sachverständigen und einer Nummer.

Bei Blechen sind 2 Stempel, etwa 400 mm von den Kanten entfernt, aufzuschlagen, bei allen übrigen Werkstoffen genügt ein Stempel, welcher nahe einem Ende anzubringen ist.

2. Bei Rohren ist gegebenenfalls die Schweißnaht zu kennzeichnen. Einer Nummer bedarf es bei Rohren nicht.

3. Das Stempelzeichen ist in dem Prüfschein abzudrucken.

4. In der Regel sind die Werkstoffe auf dem Walzwerk zu prüfen. Bei Blechen sind die Walzplatten nach Wahl des Werkes zu beschneiden, jedoch muß am Kopf- und Fußende des Bleches noch genügend Werkstoff für die Proben verbleiben. Die Bleche sollen angezeichnet und mit den erforderlichen Nummern und dem Stempel des Werkes versehen, das Kopf- und Fußende soll gekennzeichnet sein. Alle Nummern und Stempel sind so einzuschlagen, daß sie, vom Fußende gesehen, aufrecht stehen. Die Bleche sind ungeglüht dem Sachverständigen zur Stempelung vorzulegen. Bleche und Probestäbe sind nach dem Geraderichten gemeinsam und sachgemäß zu glühen, und zwar die Stäbe nach Möglichkeit auf dem Blech an dem Ende, an dem sie abgetrennt worden sind. Proben von Werkstoffen, die warm weiterverarbeitet werden, sind mit anderen glatten Kesselblechen gleicher Wärmebehandlung gemeinsam zu glühen. Anderweitiges Nachglühen einzelner Proben ist nicht zulässig.

5. Die Dicke der fertig beschnittenen Bleche ist an allen vier Ecken auf 0,1 mm genau zu messen. Die Meßpunkte sollen mindestens 40 mm vom Rande und mindestens 100 mm von den Ecken entfernt liegen.

6. Bei Blechen bis 10 mm Dicke sind Unterschreitungen der Dicke bis zu 0,3 mm, bei Blechen über 10 mm Dicke bis zu 0,5 mm zulässig.

7. Entspricht das Versuchsergebnis den vorgeschriebenen Bedingungen nicht, so ist auf Verlangen des Werkes eine zweite Probe zu entnehmen, deren Versuchsergebnis maßgebend sein soll. Bei der Entnahme der Proben ist auf diese Wiederholung Rücksicht zu nehmen.

Ist der ungünstige Ausfall eines Versuches offensichtlich auf eine engbegrenzte Fehlstelle der Probe zurückzuführen, so kann dieses Ergebnis bei der Entscheidung über die Erfüllung der Vorschriften von dem Sachverständigen außer Betracht gelassen werden.

Die Stempelung auf den verworfenen Stücken ist zu vernichten. Ebenso sind Ersatzproben zu behandeln, oder die Stücke sind zu zerschneiden.

8. Die Zugfestigkeit wird in kg/mm^2 angegeben.

23 9. Die Bruchdehnung wird in Prozent der angewandten Meßlänge ermittelt; sie kann nach zwei Verfahren bestimmt werden:

24 a) Die Bruchdehnung wird zwischen den die Meßlänge des Stabes begrenzenden Endmarken gemessen. Erfolgt der Bruch innerhalb eines der Enddrittel der Meßlänge, so ist der Versuch zu wiederholen, falls die Dehnung ungenügend ausfällt. Dieser neue Versuch ist aber nicht als Wiederholungsversuch für eine ungenügende Probe im Sinne von Ziff. 7 anzusehen.

25 b) Vor dem Versuche wird die Meßlänge zwischen den Endmarken in mindestens 10 Teile durch Zwischenmarken unterteilt. Die Ausmessung hat nach den geltenden Normen zu erfolgen. Rechteckige Stäbe sind entweder an der Schmalseite auszumessen, oder der beim Zusammenlegen der Probestücke entstehende Spielraum ist zu berücksichtigen.

26 10. Bei dem Abschreckbiegeversuch sind die Stäbe gleichmäßig zu erwärmen und bei niedriger Kirschrotglut (d. h. ungefähr 650°; bei Sonderblechen kann eine andere Temperatur vereinbart werden) in Wasser von 28° abzukühlen und dann um einen Dorn der bestimmten Dicke zu biegen.

27 11. Der Biegewinkel wird in Grad angegeben. Der Probestab gilt als gebrochen, wenn sich auf der Außenseite in der Mitte der Biegestelle ein deutlicher Bruch im Werkstoff zeigt. Das Biegen soll langsam und stetig erfolgen, und zwar um einen Dorn von vorgeschriebenem Durchmesser D. Beträgt der Winkel 180°, so kann weiteres Zusammendrücken ohne Dorn erfolgen.

28 Die Länge der Dorne muß bei Flachstäben größer sein als deren Breite. Die Außenseite der Biegestelle muß bei Ausführung des Versuches frei sichtbar liegen.

29 12. Bei den Lochversuchen sollen die konischen Lochstempel bei etwa 50 mm Länge einen kleinsten Durchmesser von etwa 10 mm und einen größten Durchmesser von etwa 20 mm haben.

30 13. Alle zum Bau der Kessel verwendeten Teile müssen eine glatte Oberfläche haben. Walzsplitter, Schalen, Schiefer und Risse von geringerer Tiefe sollen unter Anwendung geeigneter Mittel beseitigt werden. Geringe äußere Fehler, welche die Verwendbarkeit der Gebrauchsstücke nicht beeinträchtigen, sollen kein Hindernis für die Abnahme bilden.

I D. Prüfmaschinen.

31 Für die Prüfung der Maschinen und Vorrichtungen zu Abnahmeversuchen sind die geltenden Normen maßgebend.

23 9. Die Bruchdehnung wird in Prozent der angewandten Meßlänge ermittelt; sie kann nach zwei Verfahren bestimmt werden:

24 a) Die Bruchdehnung wird zwischen den die Meßlänge des Stabes begrenzenden Endmarken gemessen. Erfolgt der Bruch innerhalb eines der Enddrittel der Meßlänge, so ist der Versuch zu wiederholen, falls die Dehnung ungenügend ausfällt. Dieser neue Versuch ist aber nicht als Wiederholungsversuch für eine ungenügende Probe im Sinne von Ziff. 7 anzusehen.

25 b) Vor dem Versuche wird die Meßlänge zwischen den Endmarken in mindestens 10 Teile durch Zwischenmarken unterteilt. Die Ausmessung hat nach den geltenden Normen zu erfolgen. Rechteckige Stäbe sind entweder an der Schmalseite auszumessen, oder der beim Zusammenlegen der Probestücke entstehende Spielraum ist zu berücksichtigen.

26 10. Bei dem Abschreckbiegeversuch sind die Stäbe gleichmäßig zu erwärmen und bei niedriger Kirschrotglut (d. h. ungefähr 650°; bei Sonderblechen kann eine andere Temperatur vereinbart werden) in Wasser von 28° abzukühlen und dann um einen Dorn der bestimmten Dicke zu biegen.

27 11. Der Biegewinkel wird in Grad angegeben. Der Probestab gilt als gebrochen, wenn sich auf der Außenseite in der Mitte der Biegestelle ein deutlicher Bruch im Werkstoff zeigt. Das Biegen soll langsam und stetig erfolgen, und zwar um einen Dorn von vorgeschriebenem Durchmesser D. Beträgt der Winkel 180°, so kann weiteres Zusammendrücken ohne Dorn erfolgen.

28 Die Länge der Dorne muß bei Flachstäben größer sein als deren Breite. Die Außenseite der Biegestelle muß bei Ausführung des Versuches frei sichtbar liegen.

29 12. Bei den Lochversuchen sollen die konischen Lochstempel bei etwa 50 mm Länge einen kleinsten Durchmesser von etwa 10 mm und einen größten Durchmesser von etwa 20 mm haben.

30 13. Alle zum Bau der Kessel verwendeten Teile müssen eine glatte Oberfläche haben. Walzsplitter, Schalen, Schiefer und Risse von geringerer Tiefe sollen unter Anwendung geeigneter Mittel beseitigt werden. Geringe äußere Fehler, welche die Verwendbarkeit der Gebrauchsstücke nicht beeinträchtigen, sollen kein Hindernis für die Abnahme bilden.

I D. Prüfmaschinen.

31 Für die Prüfung der Maschinen und Vorrichtungen zu Abnahmeversuchen sind die geltenden Normen maßgebend.

II. Schweißstahl.

1 Schweißstahl sollte zum Bau neuer Dampfkessel nur noch für Niete verwendet werden.

IIA. Nieteisen.

2 1. Art der Versuche.

a) Zugversuch,
b) Biegeversuch,
c) Stauch- und Lochversuch.

3 2. Anzahl der Probestücke.

4 v. H. der abzunehmenden Stücke.

3. Anforderungen.

4 a) Zugfestigkeit 35 bis 40 kg/mm² bei einer Dehnung von mindestens 20 v. H.

5 b) In kaltem Zustande soll das Nieteisen, ohne Risse zu erhalten, so gebogen und glatt aufeinandergeschlagen werden können, daß die beiden Enden der Länge nach aufeinanderliegen.

6 c) In warmem Zustande soll sich ein Stück Nieteisen, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf mindestens ein Drittel der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

IIB. Niete.

7 1. Art der Versuche.

Stauch- und Lochversuch.

8 2. Anzahl der Probestücke.

Von je 1000 Stück 2 Stück.

9 3. Anforderungen.

In warmem Zustande soll sich ein Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf mindestens ein Drittel der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

III. Flußstahl.

III A. Bleche.

1 **1. Art der Versuche.**

a) Zugversuch,

b) Abschreckbiegeversuch.

2. Anzahl der Probestücke.

2 Von sämtlichen Walzplatten sind je eine Querzugprobe und eine Abschreckbiegeprobe von der Mitte des Kopfendes und vom Rande des Fußendes zu entnehmen. Bei Walzplatten unter 4,5 m Länge können die Proben vom Fußende entfallen, wenn die Festigkeit der Kopfendproben die vorgeschriebene Mindestfestigkeit um mindestens 3 kg/mm² überschreitet.

3 Sofern Kerbschlagproben durchzuführen sind, ist von jeder Walzplatte am Kopf- und Fußende je eine Querprobe zu entnehmen.

3. Bezeichnung der Bleche.

4 a) Jedes Blech ist seitens des Walzwerkes zu stempeln:

mit einem Stempel des Werks,

mit einem Stempel, der die Festigkeitsgruppe erkennen läßt,

mit einem Stempel, der die Art des Werkstoffes wie folgt kennzeichnet:

M = Werkstoff, der im Martin-Ofen erzeugt ist, Th = Thomasstahl, E = Elektrostahl, Ni = Nickelstahl usw.

Die Stempel sind in den Abnahmebescheinigungen abzudrucken.

5 b) Solche Artstempel können ausnahmsweise fehlen, wenn in anderer Weise der Nachweis erbracht wird, daß der Werkstoff geprüft ist und den nachfolgenden Anforderungen entsprochen hat.

4. Anforderungen.

6 a) Flußstahl darf keine geringere Zugfestigkeit als 35 kg/mm² und in der Regel keine höhere Zugfestigkeit als 56 kg/mm² haben. Für die Mindestdehnung aller Bleche gilt die folgende Zahlentafel:

	Festigkeit in kg/mm²								
	≧ 35	≧ 36	≧ 37	≧ 41	≧ 43	≧ 44	≧ 45	≧ 46	≧ 53
	Mindestdehnung in Prozent								
Probenquerschnitt in mm²									
bis 500	27	26	25	24	23	22	21	20	18
über 500—1000	29	28	27	26	24	23	22	21	19
über 1000—1500	30	29	28	27	25	24	23	22	20
über 1500—2000	31	30	29	28	26	25	24	23	21

7 Bis auf weiteres kommen 4 Blechsorten in Anwendung, und zwar:

	Berechnungsfestigkeit
I. Bleche mit 35 bis 44 kg/mm²	36 kg/mm²
II. Bleche mit 41 bis 50 kg/mm²	41 kg/mm²
III. Bleche mit 44 bis 53 kg/mm²	44 kg/mm²
IV. Bleche mit 47 bis 56 kg/mm²	47 kg/mm²

Der Unterschied zwischen Mindest- und Höchstfestigkeit darf bei einer einzelnen Walzplatte 8

bis 5 m Länge höchstens ..... 5 kg/mm²
über 5 bis 10 m Länge höchstens ..... 6 kg/mm²
und über 10 m Länge höchstens ..... 7 kg/mm²

betragen.

b) Für diejenigen Teile des Kessels, die gebördelt werden oder im ersten Feuerzuge liegen (d. h. Stellen, an denen die Heizgastemperatur voraussichtlich über 700° beträgt, oder die der strahlenden Wärme hocherhitzter Teile des Mauerwerkes und der Feuerung ausgesetzt sind), dürfen nur Bleche bis 50 kg/mm² Höchstfestigkeit oder Sonderwerkstoff von gleicher Zähigkeit verwendet werden. Für gebördelte Bleche, die nicht von den Heizgasen bestrichen werden, können in besonderen Fällen Bleche der Sorte III zugelassen werden. 9

c) Aus Konstruktionsrücksichten kann für Mantelbleche, die nicht gebördelt und von den Heizgasen nicht bestrichen werden, auch ein Werkstoff von höherer Festigkeit, als für Sorte IV angegeben, zugelassen werden. 10

d) Bei dem Abschreckbiegeversuch muß sich der Probestreifen quer zur Walzrichtung bis zu 180° zusammenbiegen lassen, ohne Risse zu zeigen, und zwar bei Blechen mit einer Festigkeit von 11

35 bis 44 kg/mm² (Blechsorte I), bis 30 mm Dicke flach, über 30 mm Dicke um einen Dorn von der einfachen Blechdicke,

41 bis 50 kg/mm² (Blechsorte II) und 44 bis 53 kg/mm² (Blechsorte III) um einen Dorn von der zweifachen Blechdicke,

47 bis 56 kg/mm² (Blechsorte IV) um einen Dorn von der dreifachen Blechdicke,

über 56 kg/mm² um einen Dorn von der vierfachen Blechdicke.

e) Bei den für Bleche zur Zeit üblichen Kerbschlagproben mit den Abmessungen: 12

Länge 160 mm, Breite 15 mm, Höhe 30 mm, Rundkerb 4 mm, Bruchquerschnitt 15 × 15 mm²

sind auf Grund der bisherigen Erfahrungen an normalgeglühten Flußstahlblechen folgende Mindestwerte für die Kerbschlagzähigkeit zu erreichen:

Blechsorte I ..... 12 mkg/cm²
Blechsorte II ..... 10 mkg/cm²
Blechsorte III ..... 8 mkg/cm²
Blechsorte IV ..... 6 mkg/cm²

III B. Winkeleisen.

1. Art der Versuche. 13

a) Biegeversuch,

b) Abschreckbiegeversuch.

2. Anzahl der Probestücke. 14

25 v. H. der abzunehmenden Stücke.

3. Anforderungen.

a) In kaltem Zustande sollen sich die Schenkel von Winkeleisenstäben, deren Länge der doppelten Schenkelbreite gleich ist, langsam und stetig um mindestens 40° auseinanderbiegen lassen und abgeschnittene Längsstreifen aus den Flanschen bis zu einem Winkel von 180° zusammenbiegen lassen. Bei diesen Proben dürfen sich in der Kehle und in den Schenkeln nur Anfänge von Rissen zeigen. 15

b) Nach dem Abschrecken sollen sich Längsstreifen um einen Dorn, dessen Durchmesser gleich der dreifachen Schenkeldicke ist, bis zu 180° biegen lassen. 16

c) Für Winkelringe, die durch Schmieden, Pressen, Walzen u. dgl. nahtlos hergestellt werden, entfallen die unter 1a und 1b erwähnten Versuche. Es genügt eine Bescheinigung des Walzwerks, daß der verwendete Werkstoff den Werkstoffvorschriften entspricht. 17

III C. Nieteisen.

1. Art der Versuche. 18

a) Zugversuch,
b) Biegeversuch,
c) Stauch- und Lochversuch,
d) Abschreckbiegeversuch.

Der Unterschied zwischen Mindest- und Höchstfestigkeit darf bei einer einzelnen Walzplatte 8

bis 5 m Länge höchstens ..... 5 kg/mm²
über 5 bis 10 m Länge höchstens ..... 6 kg/mm²
und über 10 m Länge höchstens ..... 7 kg/mm²

betragen.

b) Für diejenigen Teile des Kessels, die gebördelt werden oder im ersten Feuerzuge liegen (d. h. 9
Stellen, an denen die Heizgastemperatur voraussichtlich über 700° beträgt, oder die der strahlenden Wärme hocherhitzter Teile des Mauerwerkes und der Feuerung ausgesetzt sind), dürfen nur Bleche bis 50 kg/mm² Höchstfestigkeit oder Sonderwerkstoff von gleicher Zähigkeit verwendet werden. Für gebördelte Bleche, die nicht von den Heizgasen bestrichen werden, können in besonderen Fällen Bleche der Sorte III zugelassen werden.

c) Aus Konstruktionsrücksichten kann für Mantelbleche, die nicht gebördelt und von den Heizgasen 10
nicht bestrichen werden, auch ein Werkstoff von höherer Festigkeit, als für Sorte IV angegeben, zugelassen werden.

d) Bei dem Abschreckbiegeversuch muß sich der Probestreifen quer zur Walzrichtung bis zu 180° 11
zusammenbiegen lassen, ohne Risse zu zeigen, und zwar bei Blechen mit einer Festigkeit von

35 bis 44 kg/mm² (Blechsorte I), bis 30 mm Dicke flach, über 30 mm Dicke um einen Dorn von der einfachen Blechdicke,

41 bis 50 kg/mm² (Blechsorte II) und 44 bis 53 kg/mm² (Blechsorte III) um einen Dorn von der zweifachen Blechdicke,

47 bis 56 kg/mm² (Blechsorte IV) um einen Dorn von der dreifachen Blechdicke,

über 56 kg/mm² um einen Dorn von der vierfachen Blechdicke.

e) Bei den für Bleche zur Zeit üblichen Kerbschlagproben mit den Abmessungen: 12
Länge 160 mm, Breite 15 mm, Höhe 30 mm, Rundkerb 4 mm, Bruchquerschnitt 15 × 15 mm²
sind auf Grund der bisherigen Erfahrungen an normalgeglühten Flußstahlblechen folgende Mindestwerte für die Kerbschlagzähigkeit zu erreichen:

Blechsorte I ..... 12 mkg/cm²
Blechsorte II ..... 10 mkg/cm²
Blechsorte III ..... 8 mkg/cm²
Blechsorte IV ..... 6 mkg/cm²

III F Winkeleisen.

1. Art der Versuche. 13
   a) Biegeversuch,
   b) Abschreckbiegeversuch.
2. Anzahl der Probestücke. 14
   25 v. H. der abzunehmenden Stücke.
3. Anforderungen.
   a) In kaltem Zustande sollen sich die Schenkel von Winkeleisenstäben, deren Länge der doppelten 15
   Schenkelbreite gleich ist, langsam und stetig um mindestens 40° auseinanderbiegen lassen und abgeschnittene Längsstreifen aus den Flanschen bis zu einem Winkel von 180° zusammenbiegen lassen. Bei diesen Proben dürfen sich in der Kehle und in den Schenkeln nur Anfänge von Rissen zeigen.
   b) Nach dem Abschrecken sollen sich Längsstreifen um einen Dorn, dessen Durchmesser gleich 16
   der dreifachen Schenkeldicke ist, bis zu 180° biegen lassen.
   c) Für Winkelringe, die durch Schmieden, Pressen, Walzen u. dgl. nahtlos hergestellt werden, 17
   entfallen die unter 1a und 1b erwähnten Versuche. Es genügt eine Bescheinigung des Walzwerks, daß der verwendete Werkstoff den Werkstoffvorschriften entspricht.

III C. Nieteisen.

1. Art der Versuche. 18
   a) Zugversuch,
   b) Biegeversuch,
   c) Stauch- und Lochversuch,
   d) Abschreckbiegeversuch.

2. Anzahl der Probestücke.
4 v. H. der abzunehmenden Stücke.

3. Anforderungen.

a) Zugfestigkeit 34 bis 42 kg/mm² bei einer Dehnung von mindestens 25 v. H. und einer Gütezahl (= Zugfestigkeit in kg/mm² + Dehnung in Prozent) von mindestens 62. Soweit Bleche von höherer Zugfestigkeit als 41 kg/mm² verwendet werden, darf das Nieteisen entsprechend bis zu 50 kg/mm² Zugfestigkeit haben, wenn die Dehnung mindestens die gleiche wie die für Bleche ist.

b) In kaltem Zustande soll das Nieteisen, ohne Risse zu zeigen, so gebogen werden können, daß der Abstand der parallel gebogenen Schenkel voneinander nicht mehr als $^1/_5$ des Nietdurchmessers beträgt.

c) In warmem Zustande soll sich ein Stück Nieteisen, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf mindestens ein Drittel der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

d) Nach dem Abschrecken soll sich das Nieteisen um einen Dorn, dessen Durchmesser gleich der zweifachen Dicke des Nieteisens ist, bis zu 180° biegen lassen, ohne Risse zu zeigen.

III D. Niete.

1. Art der Versuche.

a) Stauch- und Lochversuch,

b) Abschreckstauchversuch.

2. Anzahl der Probestücke.
Von je 1000 Stück 2 Stück.

3. Anforderungen.

a) In warmem Zustande soll sich ein Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf mindestens $^1/_3$ der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

b) Nach dem Abschrecken soll sich ein Stück Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf $^3/_5$ der Länge zusammenstauchen lassen, ohne daß die Oberfläche reißt.

III E. Anker und Stehbolzen.

1. Art der Versuche.

a) Zugversuch,

b) Abschreckbiegeversuch.

2. Anzahl der Probestücke.
Von je 25 Stangen gleichen Durchmessers eine Stange.

3. Anforderungen.

a) Zugfestigkeit 34 bis 42 kg/mm² bei einer Dehnung von mindestens 25 v. H. und einer Gütezahl (= Zugfestigkeit in kg/mm² + Dehnung in Prozent) von 62. Ausnahmsweise ist ein Werkstoff bis 50 kg/mm² zulässig, wenn die Dehnung mindestens die gleiche ist wie die für Bleche.

b) Nach dem Abschrecken soll sich ein Stück Anker- oder Stehbolzeneisen um einen Dorn gleich der zweifachen Dicke des Eisens bis zu 180° ohne Rißbildung biegen lassen.

III F. Wasser- und Ankerrohre.

A. Werkstoff und Abnahme.

1. Allgemeines.

Als Wasser- und Ankerrohre dürfen nur nahtlose Rohre verwendet werden. Als Werkstoff sind Flußstahl und legierter Stahl zulässig mit

einer Zugfestigkeit von kg/mm²	und einer Mindestdehnung von	
	bezogen auf den langen Proportionalstab ($L = 11{,}3\sqrt{F}$)	bezogen auf den kurzen Proportionalstab ($L = 5{,}65\sqrt{F}$)
35 bis 45	20 v. H.	25 v. H.
über 45 bis 55	17 v. H.	21 v. H.

2. Anzahl der Probestücke.
4 v. H. der abzunehmenden Stücke.

3. Anforderungen.

a) Zugfestigkeit 34 bis 42 kg/mm² bei einer Dehnung von mindestens 25 v. H. und einer Gütezahl (= Zugfestigkeit in kg/mm² + Dehnung in Prozent) von mindestens 62. Soweit Bleche von höherer Zugfestigkeit als 41 kg/mm² verwendet werden, darf das Nieteisen entsprechend bis zu 50 kg/mm² Zugfestigkeit haben, wenn die Dehnung mindestens die gleiche wie die für Bleche ist.

b) In kaltem Zustande soll das Nieteisen, ohne Risse zu zeigen, so gebogen werden können, daß der Abstand der parallel gebogenen Schenkel voneinander nicht mehr als $^1/_5$ des Nietdurchmessers beträgt.

c) In warmem Zustande soll sich ein Stück Nieteisen, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf mindestens ein Drittel der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

d) Nach dem Abschrecken soll sich das Nieteisen um einen Dorn, dessen Durchmesser gleich der zweifachen Dicke des Nieteisens ist, bis zu 180° biegen lassen, ohne Risse zu zeigen.

III D. Niete.

1. Art der Versuche.
a) Stauch- und Lochversuch,
b) Abschreckstauchversuch.

2. Anzahl der Probestücke.
Von je 1000 Stück 2 Stück.

3. Anforderungen.

a) In warmem Zustande soll sich ein Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf mindestens $^1/_3$ der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

b) Nach dem Abschrecken soll sich ein Stück Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf $^3/_5$ der Länge zusammenstauchen lassen, ohne daß die Oberfläche reißt.

III E. Anker und Stehbolzen.

1. Art der Versuche.
a) Zugversuch,
b) Abschreckbiegeversuch.

2. Anzahl der Probestücke.
Von je 25 Stangen gleichen Durchmessers eine Stange.

3. Anforderungen.

a) Zugfestigkeit 34 bis 42 kg/mm² bei einer Dehnung von mindestens 25 v. H. und einer Gütezahl (= Zugfestigkeit in kg/mm² + Dehnung in Prozent) von 62. Ausnahmsweise ist ein Werkstoff bis 50 kg/mm² zulässig, wenn die Dehnung mindestens die gleiche ist wie die für Bleche.

b) Nach dem Abschrecken soll sich ein Stück Anker- oder Stehbolzeneisen um einen Dorn gleich der zweifachen Dicke des Eisens bis zu 180° ohne Rißbildung biegen lassen.

III F. Wasser- und Ankerrohre.

A. Werkstoff und Abnahme.

1. Allgemeines.

Als Wasser- und Ankerrohre dürfen nur nahtlose Rohre verwendet werden. Als Werkstoff sind Flußstahl und legierter Stahl zulässig mit

einer Zugfestigkeit von kg/mm²	und einer Mindestdehnung von	
	bezogen auf den langen Proportionalstab ($L = 11{,}3\sqrt{F}$)	bezogen auf den kurzen Proportionalstab ($L = 5{,}65\sqrt{F}$)
35 bis 45	20 v. H.	25 v. H.
über 45 bis 55	17 v. H.	21 v. H.

2. Anzahl der Probestücke.
4 v. H. der abzunehmenden Stücke.

3. Anforderungen.

a) Zugfestigkeit 34 bis 42 kg/mm² bei einer Dehnung von mindestens 25 v. H. und einer Gütezahl (= Zugfestigkeit in kg/mm² + Dehnung in Prozent) von mindestens 62. Soweit Bleche von höherer Zugfestigkeit als 41 kg/mm² verwendet werden, darf das Nieteisen entsprechend bis zu 50 kg/mm² Zugfestigkeit haben, wenn die Dehnung mindestens die gleiche wie die für Bleche ist.

b) In kaltem Zustande soll das Nieteisen, ohne Risse zu zeigen, so gebogen werden können, daß der Abstand der parallel gebogenen Schenkel voneinander nicht mehr als $^1/_5$ des Nietdurchmessers beträgt.

c) In warmem Zustande soll sich ein Stück Nieteisen, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf mindestens ein Drittel der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

d) Nach dem Abschrecken soll sich das Nieteisen um einen Dorn, dessen Durchmesser gleich der zweifachen Dicke des Nieteisens ist, bis zu 180° biegen lassen, ohne Risse zu zeigen.

III D. Niete.

1. Art der Versuche.
a) Stauch- und Lochversuch,
b) Abschreckstauchversuch.

2. Anzahl der Probestücke.
Von je 1000 Stück 2 Stück.

3. Anforderungen.

a) In warmem Zustande soll sich ein Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf mindestens $^1/_3$ der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

b) Nach dem Abschrecken soll sich ein Stück Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf $^3/_5$ der Länge zusammenstauchen lassen, ohne daß die Oberfläche reißt.

III E. Anker und Stehbolzen.

1. Art der Versuche.
a) Zugversuch,
b) Abschreckbiegeversuch.

2. Anzahl der Probestücke.
Von je 25 Stangen gleichen Durchmessers eine Stange.

3. Anforderungen.

a) Zugfestigkeit 34 bis 42 kg/mm² bei einer Dehnung von mindestens 25 v. H. und einer Gütezahl (= Zugfestigkeit in kg/mm² + Dehnung in Prozent) von 62. Ausnahmsweise ist ein Werkstoff bis 50 kg/mm² zulässig, wenn die Dehnung mindestens die gleiche ist wie die für Bleche.

b) Nach dem Abschrecken soll sich ein Stück Anker- oder Stehbolzeneisen um einen Dorn gleich der zweifachen Dicke des Eisens bis zu 180° ohne Rißbildung biegen lassen.

III F. Wasser- und Ankerrohre.

A. Werkstoff und Abnahme.

1. Allgemeines.

Als Wasser- und Ankerrohre dürfen nur nahtlose Rohre verwendet werden. Als Werkstoff sind Flußstahl und legierter Stahl zulässig mit

einer Zugfestigkeit von kg/mm²	und einer Mindestdehnung von	
	bezogen auf den langen Proportionalstab ($L = 11{,}3\sqrt{F}$)	bezogen auf den kurzen Proportionalstab ($L = 5{,}65\sqrt{F}$)
35 bis 45	20 v. H.	25 v. H.
über 45 bis 55	17 v. H.	21 v. H.

19 2. Anzahl der Probestücke.
4 v. H. der abzunehmenden Stücke.

3. Anforderungen.

20 a) Zugfestigkeit 34 bis 42 kg/mm² bei einer Dehnung von mindestens 25 v. H. und einer Gütezahl (= Zugfestigkeit in kg/mm² + Dehnung in Prozent) von mindestens 62. Soweit Bleche von höherer Zugfestigkeit als 41 kg/mm² verwendet werden, darf das Nieteisen entsprechend bis zu 50 kg/mm² Zugfestigkeit haben, wenn die Dehnung mindestens die gleiche wie die für Bleche ist.

21 b) In kaltem Zustande soll das Nieteisen, ohne Risse zu zeigen, so gebogen werden können, daß der Abstand der parallel gebogenen Schenkel voneinander nicht mehr als $^1/_5$ des Nietdurchmessers beträgt.

22 c) In warmem Zustande soll sich ein Stück Nieteisen, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf mindestens ein Drittel der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

23 d) Nach dem Abschrecken soll sich das Nieteisen um einen Dorn, dessen Durchmesser gleich der zweifachen Dicke des Nieteisens ist, bis zu 180° biegen lassen, ohne Risse zu zeigen.

III D. Niete.

24 1. Art der Versuche.
a) Stauch- und Lochversuch,
b) Abschreckstauchversuch.

25 2. Anzahl der Probestücke.
Von je 1000 Stück 2 Stück.

3. Anforderungen.

26 a) In warmem Zustande soll sich ein Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf mindestens $^1/_3$ der Länge niederstauchen und dann lochen lassen, ohne aufzureißen.

27 b) Nach dem Abschrecken soll sich ein Stück Nietschaft, dessen Länge doppelt so groß ist wie der Durchmesser, auf $^3/_5$ der Länge zusammenstauchen lassen, ohne daß die Oberfläche reißt.

III E. Anker und Stehbolzen.

28 1. Art der Versuche.
a) Zugversuch,
b) Abschreckbiegeversuch.

29 2. Anzahl der Probestücke.
Von je 25 Stangen gleichen Durchmessers eine Stange.

3. Anforderungen.

30 a) Zugfestigkeit 34 bis 42 kg/mm² bei einer Dehnung von mindestens 25 v. H. und einer Gütezahl (= Zugfestigkeit in kg/mm² + Dehnung in Prozent) von 62. Ausnahmsweise ist ein Werkstoff bis 50 kg/mm² zulässig, wenn die Dehnung mindestens die gleiche ist wie die für Bleche.

31 b) Nach dem Abschrecken soll sich ein Stück Anker- oder Stehbolzeneisen um einen Dorn gleich der zweifachen Dicke des Eisens bis zu 180° ohne Rißbildung biegen lassen.

III F. Wasser- und Ankerrohre.

A. Werkstoff und Abnahme.

1. Allgemeines.

32 Als Wasser- und Ankerrohre dürfen nur nahtlose Rohre verwendet werden. Als Werkstoff sind Flußstahl und legierter Stahl zulässig mit

einer Zugfestigkeit von kg/mm²	und einer Mindestdehnung von	
	bezogen auf den langen Proportionalstab ($L = 11{,}3\sqrt{F}$)	bezogen auf den kurzen Proportionalstab ($L = 5{,}65\sqrt{F}$)
35 bis 45	20 v. H.	25 v. H.
über 45 bis 55	17 v. H.	21 v. H.

Eine Ueberschreitung der Festigkeit bis zu 65 kg/mm² ist bei legiertem Stahl zulässig, sofern der Kohlenstoffgehalt 0,25 v. H. nicht überschreitet, die Dehnung 14 v. H. nicht unterschreitet und im übrigen die Anforderungen der Festigkeitsgruppe 45 bis 55 kg/mm² erfüllt werden. 33

Der Hersteller hat bei legierten Stählen die Mindeststreckgrenze bei 400° anzugeben und dem Sachverständigen auf Verlangen nachzuweisen. 34

Bei Querzugproben gelten um 2 Einheiten geringere Dehnungswerte. Die in der Tabelle angegebenen Festigkeits- und Prüfwerte beziehen sich auf den Werkstoff im fertigen Rohr. 35

Die Ueberhitzer- und Speisewasser-Vorwärmerrohre sowie alle dampf- und wasserführenden Rohre aus Flußstahl und aus legiertem Stahl, die zum Kessel gehören, sind hinsichtlich der Anforderungen und Prüfungen den Wasserrohren gleichzustellen. Sammelrohre für Ueberhitzer und Vorwärmer aus Flußstahl oder legiertem Stahl sind gemäß Abschnitt „Sammelrohre — Sammelkästen" der Werkstoffvorschriften zu behandeln. 36

2. Werk- und Abnahmebescheinigung.

Das Lieferwerk hat eine Bescheinigung darüber beizubringen: 37

a) daß die vorgeschriebene Mindestfestigkeit und Dehnung schmelzenweise an fertigen Rohren festgestellt worden ist;

b) daß sämtliche Rohre sich über ihre ganze Länge in gutem Glühzustand befinden.
Im Warmverfahren hergestellte Rohre werden nicht nachträglich geglüht, kalt gezogene Rohre müssen nach dem letzten Zug ausgeglüht werden. Die Enden von Rohren, die zum Einwalzen bestimmt sind, sind im Walzwerk oder in der Kesselwerkstatt nochmals besonders auszuglühen;

c) daß sämtliche Rohre den Wasserdruckversuch bestanden haben.

Der Nachweis über die Durchführung der vorgeschriebenen Prüfungen an den Rohren und über die Prüfungsergebnisse ist durch Sachverständige zu erbringen. Für Rohre, die für Kessel bis einschließlich 16 kg/cm² Ueberdruck bestimmt sind, sofern sie nicht aus Flußstahl mit einer Festigkeit von mehr als 45 kg/mm² oder aus legiertem Stahl hergestellt sind, sowie für Ankerrohre kann der Nachweis durch Werkbescheinigung geführt werden. 38

Für Verbindungsrohre zwischen Kessel und Ueberhitzer sowie für kürzere Verbindungsrohre zum Wasserstand, Ablaßhahn u. dgl. genügt in der Regel eine Versicherung des Lieferers, daß sie einem mit Sachverständigen- oder Werkbescheinigung versehenen Rohr entnommen sind. 39

3. Besichtigung.

Die zur Prüfung vorgelegten Rohrgruppen sind vom Lieferer durch deutlich erkennbaren Farbanstrich zu kennzeichnen, und zwar: 40

Flußstahl von 35 bis 45 kg/mm² Festigkeit mit gelber Farbe,
Flußstahl von 45 bis 55 kg/mm² Festigkeit mit blauer Farbe,
legierter Stahl mit grüner Farbe.

Die Besichtigung erfolgt an jedem Rohr und erstreckt sich auf die äußere und innere Beschaffenheit der Rohre. Das Innere soll von beiden Enden her besichtigt werden. Rohre, die den Anforderungen nicht genügen, sind zurückzuweisen. 41

Die Rohre müssen eine der Herstellungsart entsprechende glatte äußere und innere Oberfläche haben. Geringfügige, durch das Herstellungsverfahren bedingte Erhöhungen, Vertiefungen oder flache Längsriefen sind gestattet, soweit die Schwächung der Wanddicke innerhalb des zulässigen Untermaßes bleibt und die Verwendbarkeit der fertigen Rohre hierdurch nicht beeinträchtigt wird. Die Beseitigung von Walzsplittern, Schalen, Schiefern und Riefen (von geringer Tiefe) ist unter Anwendung geeigneter Mittel gestattet. Die hierdurch gebildeten Vertiefungen dürfen aber nicht tiefer sein als die zulässigen Dickenabweichungen. 42

Die Rohre sollen möglichst kreisrund und nach dem Auge geradegerichtet sein. Die Rohrenden sind senkrecht zur Rohrachse mit spanabhebenden Werkzeugen zu schneiden. 43

4. Nachprüfung der Abmessungen.

Die vorgeschriebenen Nachmessungen müssen an allen Rohren erfolgen. 44

Die zulässigen Abweichungen betragen: 45

im Außendurchmesser

für Rohre bis	51 mm Außendurchmesser	± 0,5 mm
über	51 bis 203 mm Außendurchmesser	± 1 v. H.
über	203 mm Außendurchmesser	± 1,5 v. H.

für kalibrierte Rohrenden

bis 102 mm Außendurchmesser	± 0,5 mm
über 102 bis 203 mm Außendurchmesser	± 0,5 v. H.
über 203 mm Außendurchmesser	± 1 v. H.

in der Wanddicke (Nachmessung an beiden Rohrenden)

Außendurchmesser mm: bis 133	über 133 bis 318	über 318
Abweichungen v. H.: ± 10 (—20)	± 12 (—20)	± 15 (—20)

46 Die eingeklammerten Zahlen geben die Werte an, um welche die Wanddicken an vereinzelten Stellen unterschritten werden dürfen. Hierbei ist an örtlich begrenzte Stellen gedacht, wie sie durch das Herstellungsverfahren entstehen. Nicht zulässig sind dagegen auf große Teile eines Rohres durchlaufende Verschwächungen.

47 Der Unterschied zwischen der kleinsten und größten Wanddicke an den Rohrenden darf 20 v. H. der Sollwanddicke nicht überschreiten.

48 Bei Ankerrohren und Stutzenrohren darf die Wanddicke um nicht mehr als ± 15 v. H. von der Sollwanddicke abweichen.

5. Wasserdruckversuch.

49 Die zu prüfenden Rohre sind einem Wasserdruckversuch in Höhe des zweifachen Betriebsdruckes, mindestens aber von 50 kg/cm², zu unterziehen. Die Rohre sind, während sie unter dem Probedruck stehen, mit einem Handhammer leicht abzuhämmern.

50 Der Wasserdruckversuch ist bei der Abnahme an mindestens 10 v. H. der abzunehmenden Rohre zu wiederholen. Zeigt sich hierbei ein fehlerhaftes Rohr, so ist der Versuch an allen Rohren der betreffenden Gruppe zu wiederholen, wobei jedes undichte Rohr ausgeschieden wird.

51 Ankerrohre werden bei der Abnahme dem Wasserdruckversuch nicht unterworfen.

52 Wenn der Röhrenhersteller fertige Schlangen aus den von ihm selbst hergestellten Rohren herstellt, kann der Wasserdruckversuch statt an den geraden Rohren an jeder Schlange mit dem für die Rohre vorgeschriebenen Versuchsdruck vorgenommen werden. Rohrschlangen mit Schweißverbindungen müssen in jedem Falle dem für Rohre vorgeschriebenen Wasserdruckversuch unterworfen werden.

6. Anzahl der Prüfstücke für die Werkstoffprüfungen.

53 Die Rohre sind nach Festigkeitsstufen und möglichst nach Abmessungen geordnet in Gruppen von je 100 Stück einzuteilen, wobei Restposten bis einschließlich 50 Stück auf die einzelnen Gruppen gleichmäßig verteilt werden sollen. Restposten über 50 Stück gelten als eine Gruppe; werden bei einer Abnahme weniger als 100 Rohre vorgelegt, so gelten diese ebenfalls als eine Gruppe.

54 Von den beiden ersten Gruppen sind je 2 Rohre, von jeder weiteren Gruppe je 1 Rohr, mindestens aber 2 Rohre von jeder Lieferung, nach Wahl des Sachverständigen zur Probeentnahme herauszugreifen. Genügt eines der ausgewählten Rohre bei einem Versuch nicht, so sind zwei weitere Rohre der betreffenden Gruppe zu entnehmen und den vorgeschriebenen Versuchen zu unterwerfen. Zeigt sich auch hierbei ein Fehler, so gilt die ganze Gruppe als verworfen. Indessen bleibt es dem Lieferwerk anheimgestellt, die Rohre nochmals in verbessertem Zustand vorzulegen. Versagen danach die Proben abermals, so ist die ganze Gruppe endgültig zu verwerfen. Verworfene Rohre dürfen nicht wieder vorgelegt werden. Das Lieferwerk hat den Nachweis zu führen, daß verworfene Rohre und solche, deren Verbesserung abgelehnt ist, nicht wieder vorgelegt werden können.

7. Aufweitversuch.

55 Aufweitversuche werden nur an Rohren bis 140 mm Außendurchmesser und bis 8 mm Wanddicke ausgeführt. Der Versuch hat auf folgende Weise zu geschehen:

56 Ein eingefetteter, kegeliger Dorn mit zylindrischer Fortsetzung von dem vorgeschriebenen Durchmesser am dicken Ende ist bei Raumtemperatur in das Rohrende mittels Hammer oder Presse einzutreiben, bis der zylindrische Ansatz etwa 30 mm tief in das Rohr eingedrungen ist. Das Rohr darf dabei keine Risse bekommen.

57 Die Aufweitung soll folgende Werte in v. H. des Innendurchmessers erreichen:

Rohrwerkstoff mit einer Festigkeit von kg/mm²	Wanddicke bis 4 mm	Wanddicke bis 8 mm
35 bis 45	10	6
über 45 bis 55	8	5

8. Bördelversuch.

Der Bördelversuch wird nur an Rohren bis einschließlich 140 mm Außendurchmesser und bis 8 mm Wanddicke vorgenommen. An Rohren unter 60 mm Außendurchmesser wird die Bördelprobe nur bei einer Wanddicke von weniger als 13 v. H. des Außendurchmessers ausgeführt. 58

Die Kanten des zu bördelnden Rohrendes sind vor dem Versuch leicht abzurunden. Die glatten Rohrenden müssen sich mit geeigneten Werkzeugen bei Raumtemperatur 59

bei Rohrwerkstoff mit einer Festigkeit von 35 bis 45 kg/mm² um 90°,
bei Rohrwerkstoff mit einer Festigkeit von über 45 bis 55 kg/mm² um 60°

umbördeln lassen, ohne Risse zu zeigen. Die Bördelbreite, die von innen gemessen wird, muß mindestens das 1½fache der Wanddicke betragen und darf nicht kleiner sein als 12 v. H. des Innendurchmessers.

9. Abschreckbiegeversuch.

Beim Abschreckbiegeversuch sind die Probenabschnitte von etwa 50 mm Länge gleichmäßig auf niedrige Kirschrotglut (d. s. ungefähr 650°) zu erwärmen. Bei legierten Stählen sind sie auf die höchste Dampftemperatur + 150°, jedoch nicht höher als auf 600°, gleichmäßig zu erwärmen. Hierauf sind die Probestücke in Wasser von etwa 28° abzukühlen. 60

Nach dem Abschrecken werden die Rohrabschnitte zwischen zwei parallelen Platten unter Zwischenlegen eines Flacheisens von 61

der doppelten Rohrwanddicke bei Werkstoff mit einer Festigkeit von 35 bis 45 kg/mm²
oder der vierfachen Rohrwanddicke bei Werkstoff mit einer Festigkeit von über 45 bis 55 kg/mm²

zusammengedrückt. Dabei dürfen sich keine Risse zeigen.

Bei Rohren, deren Wanddicke mehr als 15 v. H. des Außendurchmessers beträgt, und bei Rohren über 419 mm Außendurchmesser entfällt der Abschreckbiegeversuch. Ankerrohre werden ihm gleichfalls nicht unterworfen. 62

10. Zugversuch.

Zugversuche werden nur an Rohren mit einer Wanddicke von 5 mm und mehr ausgeführt. Bei Rohren aus Flußstahl mit mehr als 45 kg/mm² Festigkeit und aus legiertem Stahl wird der Zugversuch ohne Rücksicht auf die Wanddicke ausgeführt. Als Zugstäbe sind Proportionalstäbe zu verwenden. Ankerrohre werden dem Zugversuch nicht unterworfen. 63

Bei Rohren bis einschließlich 140 mm Außendurchmesser sind die Probestäbe in Längsrichtung zu entnehmen, bei über 140 mm Außendurchmesser können sie in Querrichtung entnommen werden. Die Längsstäbe dürfen nicht ausgeglüht und innerhalb der Meßlänge nicht geradegerichtet werden. Ein Beseitigen örtlicher Ungleichheiten an den Probestäben ist gestattet; jedoch soll die Walzhaut an der dünnsten Stelle möglichst erhalten bleiben. 64

Die Querstäbe dürfen warm geradegerichtet und darauf normalgeglüht werden. 65

Rohre von kleinerem Durchmesser können, soweit es die Einspannvorrichtungen der Zerreißmaschine zulassen, ohne Rücksicht auf die Wanddicke auch als Ganzes, dann aber ohne die vorgenannte Wärmebehandlung zerrissen werden. 66

B. Berechnung der Wasserrohre.

Die Wanddicke der Wasserrohre ist nach folgender Formel zu berechnen: 67

$$s = \frac{p \cdot d}{200 \cdot k} + 1 \text{ mm, worin}$$

d = Innendurchmesser des Rohres in mm.
p = größter Betriebsüberdruck in kg/cm²,
k = zulässige Beanspruchung in kg/mm²

bedeuten.

Für k ist einzusetzen: 68

Für Rohre aus Flußstahl mit einer Festigkeit von 35 bis 45 kg/mm² ..... 6,4 kg/mm².
für Rohre aus Flußstahl mit einer Festigkeit von über 45 bis 55 kg/mm² ..... 8,0 kg/mm².

Werden Rohre aus legiertem Stahl verwendet, dann ist der Wert k so zu wählen, daß 1,8fache Sicherheit gegen den Wert der Streckgrenze des Werkstoffes bei 400° gewährleistet ist. 69

Für Rohre aus Flußstahl und legiertem Stahl, bei denen stärkere mechanische oder chemische Angriffe zu erwarten sind, sind die k-Werte entsprechend herabzusetzen. 70

Für stark gekrümmte Rohre mit Krümmungsradien unter dem 5fachen Außendurchmesser sind Zuschläge zur errechneten Wanddicke zu machen. 71

Die Wanddicke der beheizten Wasserrohre soll nicht über 8 mm betragen. 72

IV. Stahlguß.

IV A. Allgemeines.

1 1. Der zu Stahlguß verwendete Stahl muß im Martin-, Tiegel-, Elektroofen oder in der Birne erzeugt und in Formen gegossen sein. Er muß ohne weitere Behandlung schmiedbar sein. Die verschiedenen Herstellungsverfahren sind in bezug auf die Güte des Erzeugnisses nicht gleichwertig. Die Reinheit und Gleichmäßigkeit des Stahlgusses und auch der Erfolg der Glühbehandlung besonders bei größeren Stücken ist weitgehend von dem Verfahren abhängig. Von großer Bedeutung ist geeignete Formgebung.

2 Die Verwendung von getempertem oder sonstigem Gußeisen mit stahlähnlichen Eigenschaften ist unzulässig.

3 2. Die Stahlgußstücke müssen vor ihrer Verwendung zweckentsprechend geglüht sein. Auf Verlangen hat das Lieferwerk hierüber eine Bescheinigung beizubringen.

4 3. Es werden bis auf weiteres 2 Sorten Stahlguß unterschieden:
Stahlguß I mit einer Festigkeit von 35 bis 45 kg/mm² und einer Berechnungsfestigkeit von 16 kg/mm²,
Stahlguß II mit einer Festigkeit von über 45 kg/mm² und einer Berechnungsfestigkeit von 20 kg/mm².

5 Bei der Errechnung der Wanddicken muß die Minustoleranz berücksichtigt werden. Sie beträgt bei Wanddicken bis zu 20 mm höchstens 20 v. H., bei Wanddicken über 20 mm höchstens 15 v. H.

6 Auf die Veränderung der Festigkeit in der Wärme ist gegebenenfalls bei der Errechnung der Wanddicken Rücksicht zu nehmen. Bei hohen Temperaturen ist das Verhalten bei Dauerbelastung zu berücksichtigen. In besonderen Fällen ist die Verwendung von legiertem Stahlguß zu erwägen, für dessen Prüfung und Bewertung die Vorschriften über legierten Stahl und legierten Stahlguß sowie über Legierungen sinngemäß zugrunde zu legen sind.

7 4. Kesselteile, für welche auch Gußeisen zulässig ist, bedürfen keiner Prüfung. Die Prüfung von Stahlgußteilen (als Ersatz für Gußeisenteile gemäß Allgem. poliz. Bestimmungen) ist daher erforderlich:
1. wenn sie als Kesselwandungsteile bei Kesseln mit einem Betriebsüberdruck von mehr als 10 kg/cm² verwendet werden,
2. bei Kesseln mit einem Betriebsüberdruck unter 10 kg/cm², wenn sie von Heizgasen berührte Teile der Kesselwandungen sind, und
3. bei Kesseln mit einem Betriebsüberdruck unter 10 kg/cm², wenn ihr lichter Querschnitt nicht kreisförmig oder ihr kreisförmiger Querschnitt größer als 250 mm lichte Weite ist.

8 Für Stücke mit einem Gewicht von mehr als 300 kg sowie für Ueberhitzerkästen und ähnliche Stücke, bei denen zu erwarten steht, daß die Erwärmung 300° wesentlich übersteigt, ist Abnahme durch einen zuständigen Sachverständigen erforderlich. Im übrigen kann der Nachweis für die Einhaltung der Vorschriften durch Werkbescheinigung geführt werden.

IV B. Art der Versuche.

9
1. Besichtigung und Ausmessung,
2. Wasserdruckversuch,
3. Zerreißversuch,
4. Kaltbiegeversuch.

Neben diesen vorgeschriebenen Prüfungen kann für den Nachweis guten Werkstoffs und guter Glühbehandlung die chemische Analyse, die metallographische Schliffprobe und besonders der Kerbschlagversuch herangezogen werden.

Auf Verlangen hat das Werk einen Nachweis über die chemische Zusammensetzung der Schmelze beizubringen.

IV C. Anzahl der Probestücke.

10 1. Die Besichtigung und Ausmessung sind an allen Stücken, der Wasserdruckversuch ist an allen Hohlkörpern durchzuführen.

11 Zerreiß- und Kaltbiegeversuch sind von jeder Schmelze und an allen Stücken mit einem Gewicht von mehr als 300 kg vorzunehmen, ferner an Ueberhitzerkästen und ähnlichen Stücken, bei denen zu erwarten steht, daß die Erwärmung 300° wesentlich übersteigt.

8. Bördelversuch.

Der Bördelversuch wird nur an Rohren bis einschließlich 140 mm Außendurchmesser und bis 8 mm Wanddicke vorgenommen. An Rohren unter 60 mm Außendurchmesser wird die Bördelprobe nur bei einer Wanddicke von weniger als 13 v. H. des Außendurchmessers ausgeführt. 58

Die Kanten des zu bördelnden Rohrendes sind vor dem Versuch leicht abzurunden. Die glatten Rohrenden müssen sich mit geeigneten Werkzeugen bei Raumtemperatur 59

bei Rohrwerkstoff mit einer Festigkeit von 35 bis 45 kg/mm² um 90°,
bei Rohrwerkstoff mit einer Festigkeit von über 45 bis 55 kg/mm² um 60°

umbördeln lassen, ohne Risse zu zeigen. Die Bördelbreite, die von innen gemessen wird, muß mindestens das 1½fache der Wanddicke betragen und darf nicht kleiner sein als 12 v. H. des Innendurchmessers.

9. Abschreckbiegeversuch.

Beim Abschreckbiegeversuch sind die Probenabschnitte von etwa 50 mm Länge gleichmäßig auf niedrige Kirschrotglut (d. s. ungefähr 650°) zu erwärmen. Bei legierten Stählen sind sie auf die höchste Dampftemperatur + 150°, jedoch nicht höher als auf 600°, gleichmäßig zu erwärmen. Hierauf sind die Probestücke in Wasser von etwa 28° abzukühlen. 60

Nach dem Abschrecken werden die Rohrabschnitte zwischen zwei parallelen Platten unter Zwischenlegen eines Flacheisens von 61

der doppelten Rohrwanddicke bei Werkstoff mit einer Festigkeit von 35 bis 45 kg/mm²
oder der vierfachen Rohrwanddicke bei Werkstoff mit einer Festigkeit von über 45 bis 55 kg/mm²

zusammengedrückt. Dabei dürfen sich keine Risse zeigen.

Bei Rohren, deren Wanddicke mehr als 15 v. H. des Außendurchmessers beträgt, und bei Rohren über 419 mm Außendurchmesser entfällt der Abschreckbiegeversuch. Ankerrohre werden ihm gleichfalls nicht unterworfen. 62

10. Zugversuch.

Zugversuche werden nur an Rohren mit einer Wanddicke von 5 mm und mehr ausgeführt. Bei Rohren aus Flußstahl mit mehr als 45 kg/mm² Festigkeit und aus legiertem Stahl wird der Zugversuch ohne Rücksicht auf die Wanddicke ausgeführt. Als Zugstäbe sind Proportionalstäbe zu verwenden. Ankerrohre werden dem Zugversuch nicht unterworfen. 63

Bei Rohren bis einschließlich 140 mm Außendurchmesser sind die Probestäbe in Längsrichtung zu entnehmen, bei über 140 mm Außendurchmesser können sie in Querrichtung entnommen werden. Die Längsstäbe dürfen nicht ausgeglüht und innerhalb der Meßlänge nicht geradegerichtet werden. Ein Beseitigen örtlicher Ungleichheiten an den Probestäben ist gestattet; jedoch soll die Walzhaut an der dünnsten Stelle möglichst erhalten bleiben. 64

Die Querstäbe dürfen warm geradegerichtet und darauf normalgeglüht werden. 65

Rohre von kleinerem Durchmesser können, soweit es die Einspannvorrichtungen der Zerreißmaschine zulassen, ohne Rücksicht auf die Wanddicke auch als Ganzes, dann aber ohne die vorgenannte Wärmebehandlung zerrissen werden. 66

B. Berechnung der Wasserrohre.

Die Wanddicke der Wasserrohre ist nach folgender Formel zu berechnen: 67

$$s = \frac{p \cdot d}{200 \cdot k} + 1 \text{ mm, worin}$$

d = Innendurchmesser des Rohres in mm,
p = größter Betriebsüberdruck in kg/cm²,
k = zulässige Beanspruchung in kg/mm²

bedeuten.

Für k ist einzusetzen: 68

Für Rohre aus Flußstahl mit einer Festigkeit von 35 bis 45 kg/mm² ..... 6,4 kg/mm²,
für Rohre aus Flußstahl mit einer Festigkeit von über 45 bis 55 kg/mm² ..... 8,0 kg/mm².

Werden Rohre aus legiertem Stahl verwendet, dann ist der Wert k so zu wählen, daß 1,8fache Sicherheit gegen den Wert der Streckgrenze des Werkstoffes bei 400° gewährleistet ist. 69

Für Rohre aus Flußstahl und legiertem Stahl, bei denen stärkere mechanische oder chemische Angriffe zu erwarten sind, sind die k-Werte entsprechend herabzusetzen. 70

Für stark gekrümmte Rohre mit Krümmungsradien unter dem 5fachen Außendurchmesser sind Zuschläge zur errechneten Wanddicke zu machen. 71

Die Wanddicke der beheizten Wasserrohre soll nicht über 8 mm betragen. 72

IV. Stahlguß.

IV A. Allgemeines.

1 1. Der zu Stahlguß verwendete Stahl muß im Martin-, Tiegel-, Elektroofen oder in der Birne erzeugt und in Formen gegossen sein. Er muß ohne weitere Behandlung schmiedbar sein. Die verschiedenen Herstellungsverfahren sind in bezug auf die Güte des Erzeugnisses nicht gleichwertig. Die Reinheit und Gleichmäßigkeit des Stahlgusses und auch der Erfolg der Glühbehandlung besonders bei größeren Stücken ist weitgehend von dem Verfahren abhängig. Von großer Bedeutung ist geeignete Formgebung.

2 Die Verwendung von getempertem oder sonstigem Gußeisen mit stahlähnlichen Eigenschaften ist unzulässig.

3 2. Die Stahlgußstücke müssen vor ihrer Verwendung zweckentsprechend geglüht sein. Auf Verlangen hat das Lieferwerk hierüber eine Bescheinigung beizubringen.

4 3. Es werden bis auf weiteres 2 Sorten Stahlguß unterschieden:

Stahlguß I mit einer Festigkeit von 35 bis 45 kg/mm² und einer Berechnungsfestigkeit von 16 kg/mm²,
Stahlguß II mit einer Festigkeit von über 45 kg/mm² und einer Berechnungsfestigkeit von 20 kg/mm².

5 Bei der Errechnung der Wanddicken muß die Minustoleranz berücksichtigt werden. Sie beträgt bei Wanddicken bis zu 20 mm höchstens 20 v. H., bei Wanddicken über 20 mm höchstens 15 v. H.

6 Auf die Veränderung der Festigkeit in der Wärme ist gegebenenfalls bei der Errechnung der Wanddicken Rücksicht zu nehmen. Bei hohen Temperaturen ist das Verhalten bei Dauerbelastung zu berücksichtigen. In besonderen Fällen ist die Verwendung von legiertem Stahlguß zu erwägen, für dessen Prüfung und Bewertung die Vorschriften über legierten Stahl und legierten Stahlguß sowie über Legierungen sinngemäß zugrunde zu legen sind.

7 4. Kesselteile, für welche auch Gußeisen zulässig ist, bedürfen keiner Prüfung. Die Prüfung von Stahlgußteilen (als Ersatz für Gußeisenteile gemäß Allgem. poliz. Bestimmungen) ist daher erforderlich:

1. wenn sie als Kesselwandungsteile bei Kesseln mit einem Betriebsüberdruck von mehr als 10 kg/cm² verwendet werden,
2. bei Kesseln mit einem Betriebsüberdruck unter 10 kg/cm², wenn sie von Heizgasen berührte Teile der Kesselwandungen sind, und
3. bei Kesseln mit einem Betriebsüberdruck unter 10 kg/cm², wenn ihr lichter Querschnitt nicht kreisförmig oder ihr kreisförmiger Querschnitt größer als 250 mm lichte Weite ist.

8 Für Stücke mit einem Gewicht von mehr als 300 kg sowie für Ueberhitzerkästen und ähnliche Stücke, bei denen zu erwarten steht, daß die Erwärmung 300° wesentlich übersteigt, ist Abnahme durch einen zuständigen Sachverständigen erforderlich. Im übrigen kann der Nachweis für die Einhaltung der Vorschriften durch Werkbescheinigung geführt werden.

IV B. Art der Versuche.

9

1. Besichtigung und Ausmessung,
2. Wasserdruckversuch,
3. Zerreißversuch,
4. Kaltbiegeversuch.

Neben diesen vorgeschriebenen Prüfungen kann für den Nachweis guten Werkstoffs und guter Glühbehandlung die chemische Analyse, die metallographische Schliffprobe und besonders der Kerbschlagversuch herangezogen werden.

Auf Verlangen hat das Werk einen Nachweis über die chemische Zusammensetzung der Schmelze beizubringen.

IV C. Anzahl der Probestücke.

10 1. Die Besichtigung und Ausmessung sind an allen Stücken, der Wasserdruckversuch ist an allen Hohlkörpern durchzuführen.

11 Zerreiß- und Kaltbiegeversuch sind von jeder Schmelze und an allen Stücken mit einem Gewicht von mehr als 300 kg vorzunehmen, ferner an Ueberhitzerkästen und ähnlichen Stücken, bei denen zu erwarten steht, daß die Erwärmung 300° wesentlich übersteigt.

2. Die Probestäbe sind an das Formstück anzugießen und verbleiben daran bis nach dem Ausglühen. Stäbe und Stücke sind vor dem Abtrennen übereinstimmend zu stempeln. Lose gegossene Probestäbe sind nur in Ausnahmefällen im Einvernehmen mit dem zuständigen Sachverständigen zulässig. Da das Ergebnis der Prüfung eines einzelnen Probestabes im allgemeinen nur über die Güte des zur Schmelze verwendeten Werkstoffs, nicht aber über die Eigenschaften des einzelnen Stückes selbst aussagen kann, besteht in geeigneten Fällen noch die Möglichkeit, die Entnahme von Proben aus dem Stück selbst zu vereinbaren, um sich über dessen Eigenschaften zu vergewissern. *12*

IV D. Abmessungen der Probestäbe.

1. Die Zerreißstäbe sollen in der Regel als kurze Normalstäbe mit 20 mm Durchmesser (d) und 100 mm Meßlänge hergestellt werden, jedoch sind auch Stäbe mit kleinerem Durchmesser und einer Länge = 5 d zulässig. *13*

2. Die Kaltbiegeproben sollen quadratischen Querschnitt mit leicht gerundeten Kanten haben und in der Regel mit 30×30 mm Seitenlänge hergestellt werden. Sie dürfen allseitig bearbeitet vorgelegt werden. *14*

3. Sofern Kerbschlagproben durchzuführen sind, sollen diese in der Regel folgende Abmessungen haben: Länge 160 mm, Breite 15 mm, Höhe 30 mm, Rundkerb 4 mm⌀, Bruchquerschnitt 15×15 mm². *15*

IV E. Anforderungen.

1. Die Oberfläche von Stahlgußstücken soll möglichst sauber und gleichmäßig sein. Stahlgußstücke dürfen keine Gußfehler haben, welche die Verwendbarkeit und Bearbeitbarkeit des Stückes beeinträchtigen. Als solche Fehler sind anzusehen: Spannungen, Blasen, Lunker, schwammige, poröse und harte Stellen, Schlackeneinschlüsse und Schrumpfrisse. *16*

Solche Fehler dürfen nur mit ausdrücklicher Genehmigung des zuständigen Sachverständigen ausgebessert werden. Nach etwaigen Schweißarbeiten ist das Stück in der Regel erneut auszuglühen. Das Einverständnis des Sachverständigen zu Ausbesserungsarbeiten ist auch in solchen Fällen erforderlich, wo nach Schweißarbeiten das nachträgliche Ausglühen unterbleiben soll. Dieses Ausglühen kann unter Umständen nicht mehr angängig sein, wenn das Stück bereits zu weitgehend bearbeitet ist, oder es kann als nicht erforderlich unterbleiben, wenn die Beanspruchung des Stückes zu geringfügig erscheint. *17*

2. Die Wanddicke des Stückes ist an mehreren Stellen nachzumessen; sie darf bei Wanddicken bis 20 mm das Sollmaß um höchstens 20 v. H., bei größeren Wanddicken um höchstens 15 v. H. unterschreiten. *18*

3. Alle Hohlkörper sind einem Wasserdruckversuch mit dem doppelten Betriebsüberdruck zu unterwerfen. *19*

	Stahlguß I	Stahlguß II
4. Zugfestigkeit kg/mm²	35—45	über 45 *20*
Dehnung v. H. auf L = 5 d	25	22

5. Kaltbiegeversuch: Die Proben sind um einen Dorn vom Durchmesser der doppelten Probendicke zu biegen. Der Biegewinkel muß betragen: *21*

bei Stahlguß I	180°
bei Stahlguß II	90°

6. Kerbschlagversuch: Die Kerbschlagzähigkeit soll mindestens betragen: *22*

bei Stahlguß I	6 mkg/cm²
bei Stahlguß II	4 mkg/cm²

V. Andere Werkstoffe.

V A. Legierter Stahl und legierter Stahlguß.

1 Legierter Stahl und legierter Stahlguß soll mindestens denselben Anforderungen entsprechen wie den für Flußstahl bzw. für Stahlguß angegebenen. Im Zweifelsfall ist bei Neueinführung die Gleichwertigkeit durch eingehende Sachverständigenprüfungen nachzuweisen, zu denen z. B. auch der Schmiede- und Lochversuch gehört.

2 Bei dem Schmiedeversuch müssen Längsstreifen von ungefähr 50 mm Breite in rotwarmem Zustande mit der Hammerfinne quer zur Walzrichtung mindestens auf das 1½fache ihrer Breite ausgebreitet werden können, ohne an den Kanten und auf der Fläche Risse zu erhalten.

3 Bei dem Lochversuch dürfen Streifen, die in rotwarmem Zustande in einer Entfernung vom Rande gleich der halben Dicke des Streifens mit einem kegeligen Lochstempel gelocht werden, vom Loch nach der Kante nicht aufreißen.

V B. Kupfer.

4 1. Für Kupfer in weich geglühtem Zustande kann, wenn größere Festigkeit nicht nachgewiesen wird, eine Zugfestigkeit von 22 kg/mm² bei Temperaturen bis zu 100° angenommen werden. Bei höherer Temperatur ist die Zugfestigkeit für je 20° mehr um 1 kg/mm² niedriger zu wählen.

5 2. Für kupferne Dampfrohrleitungen ist innerhalb der vorbezeichneten Grenze eine Werkstoffbeanspruchung von höchstens $^1/_{10}$ der Zugfestigkeit zulässig.

6 3. Bei überhitztem Wasserdampf von 250° und mehr ist die Verwendung von Kupfer unzulässig.

V C. Legierungen und sonstige Metalle.

7 Die zulässige Beanspruchung ist auf Grund von Sachverständigenprüfungen zu vereinbaren.

2. Die Probestäbe sind an das Formstück anzugießen und verbleiben daran bis nach dem Ausglühen. 12
Stäbe und Stücke sind vor dem Abtrennen übereinstimmend zu stempeln. Lose gegossene Probestäbe sind nur in Ausnahmefällen im Einvernehmen mit dem zuständigen Sachverständigen zulässig. Da das Ergebnis der Prüfung eines einzelnen Probestabes im allgemeinen nur über die Güte des zur Schmelze verwendeten Werkstoffs, nicht aber über die Eigenschaften des einzelnen Stückes selbst aussagen kann, besteht in geeigneten Fällen noch die Möglichkeit, die Entnahme von Proben aus dem Stück selbst zu vereinbaren, um sich über dessen Eigenschaften zu vergewissern.

IV D. Abmessungen der Probestäbe.

1. Die Zerreißstäbe sollen in der Regel als kurze Normalstäbe mit 20 mm Durchmesser (d) und 100 mm 13
Meßlänge hergestellt werden, jedoch sind auch Stäbe mit kleinerem Durchmesser und einer Länge = 5 d zulässig.

2. Die Kaltbiegeproben sollen quadratischen Querschnitt mit leicht gerundeten Kanten haben und in 14
der Regel mit 30×30 mm Seitenlänge hergestellt werden. Sie dürfen allseitig bearbeitet vorgelegt werden.

3. Sofern Kerbschlagproben durchzuführen sind, sollen diese in der Regel folgende Abmessungen 15
haben: Länge 160 mm, Breite 15 mm, Höhe 30 mm, Rundkerb 4 mm⌀, Bruchquerschnitt 15×15 mm².

IV E. Anforderungen.

1. Die Oberfläche von Stahlgußstücken soll möglichst sauber und gleichmäßig sein. Stahlgußstücke 16
dürfen keine Gußfehler haben, welche die Verwendbarkeit und Bearbeitbarkeit des Stückes beeinträchtigen. Als solche Fehler sind anzusehen: Spannungen, Blasen, Lunker, schwammige, poröse und harte Stellen, Schlackeneinschlüsse und Schrumpfrisse.

Solche Fehler dürfen nur mit ausdrücklicher Genehmigung des zuständigen Sachverständigen aus- 17
gebessert werden. Nach etwaigen Schweißarbeiten ist das Stück in der Regel erneut auszuglühen. Das Einverständnis des Sachverständigen zu Ausbesserungsarbeiten ist auch in solchen Fällen erforderlich, wo nach Schweißarbeiten das nachträgliche Ausglühen unterbleiben soll. Dieses Ausglühen kann unter Umständen nicht mehr angängig sein, wenn das Stück bereits zu weitgehend bearbeitet ist, oder es kann als nicht erforderlich unterbleiben, wenn die Beanspruchung des Stückes zu geringfügig erscheint.

2. Die Wanddicke des Stückes ist an mehreren Stellen nachzumessen; sie darf bei Wanddicken bis 18
20 mm das Sollmaß um höchstens 20 v. H., bei größeren Wanddicken um höchstens 15 v. H. unterschreiten.

3. Alle Hohlkörper sind einem Wasserdruckversuch mit dem doppelten Betriebsüberdruck zu unter- 19
werfen.

	Stahlguß I	Stahlguß II	
4. Zugfestigkeit kg/mm²	35—45	über 45	20
Dehnung v. H. auf L = 5 d	25	22	

5. Kaltbiegeversuch: Die Proben sind um einen Dorn vom Durchmesser der doppelten Probendicke 21
zu biegen. Der Biegewinkel muß betragen:

bei Stahlguß I	180°
bei Stahlguß II	90°

6. Kerbschlagversuch: Die Kerbschlagzähigkeit soll mindestens betragen: 22

bei Stahlguß I	6 mkg/cm²
bei Stahlguß II	4 mkg/cm²

V. Andere Werkstoffe.

V A. Legierter Stahl und legierter Stahlguß.

1 Legierter Stahl und legierter Stahlguß soll mindestens denselben Anforderungen entsprechen wie den für Flußstahl bzw. für Stahlguß angegebenen. Im Zweifelsfall ist bei Neueinführung die Gleichwertigkeit durch eingehende Sachverständigenprüfungen nachzuweisen, zu denen z. B. auch der Schmiede- und Lochversuch gehört.

2 Bei dem Schmiedeversuch müssen Längsstreifen von ungefähr 50 mm Breite in rotwarmem Zustande mit der Hammerfinne quer zur Walzrichtung mindestens auf das 1½fache ihrer Breite ausgebreitet werden können, ohne an den Kanten und auf der Fläche Risse zu erhalten.

3 Bei dem Lochversuch dürfen Streifen, die in rotwarmem Zustande in einer Entfernung vom Rande gleich der halben Dicke des Streifens mit einem kegeligen Lochstempel gelocht werden, vom Loch nach der Kante nicht aufreißen.

V B. Kupfer.

4 1. Für Kupfer in weich geglühtem Zustande kann, wenn größere Festigkeit nicht nachgewiesen wird, eine Zugfestigkeit von 22 kg/mm² bei Temperaturen bis zu 100° angenommen werden. Bei höherer Temperatur ist die Zugfestigkeit für je 20° mehr um 1 kg/mm² niedriger zu wählen.

5 2. Für kupferne Dampfrohrleitungen ist innerhalb der vorbezeichneten Grenze eine Werkstoffbeanspruchung von höchstens $^1/_{10}$ der Zugfestigkeit zulässig.

6 3. Bei überhitztem Wasserdampf von 250° und mehr ist die Verwendung von Kupfer unzulässig.

V C. Legierungen und sonstige Metalle.

7 Die zulässige Beanspruchung ist auf Grund von Sachverständigenprüfungen zu vereinbaren.

2. Die Probestäbe sind an das Formstück anzugießen und verbleiben daran bis nach dem Ausglühen. 12
Stäbe und Stücke sind vor dem Abtrennen übereinstimmend zu stempeln. Lose gegossene Probestäbe sind nur in Ausnahmefällen im Einvernehmen mit dem zuständigen Sachverständigen zulässig. Da das Ergebnis der Prüfung eines einzelnen Probestabes im allgemeinen nur über die Güte des zur Schmelze verwendeten Werkstoffs, nicht aber über die Eigenschaften des einzelnen Stückes selbst aussagen kann, besteht in geeigneten Fällen noch die Möglichkeit, die Entnahme von Proben aus dem Stück selbst zu vereinbaren, um sich über dessen Eigenschaften zu vergewissern.

IV D. Abmessungen der Probestäbe.

1. Die Zerreißstäbe sollen in der Regel als kurze Normalstäbe mit 20 mm Durchmesser (d) und 100 mm 13
Meßlänge hergestellt werden, jedoch sind auch Stäbe mit kleinerem Durchmesser und einer Länge = 5 d zulässig.

2. Die Kaltbiegeproben sollen quadratischen Querschnitt mit leicht gerundeten Kanten haben und in 14
der Regel mit 30×30 mm Seitenlänge hergestellt werden. Sie dürfen allseitig bearbeitet vorgelegt werden.

3. Sofern Kerbschlagproben durchzuführen sind, sollen diese in der Regel folgende Abmessungen 15
haben: Länge 160 mm, Breite 15 mm, Höhe 30 mm, Rundkerb 4 mm⌀, Bruchquerschnitt 15×15 mm².

IV E. Anforderungen.

1. Die Oberfläche von Stahlgußstücken soll möglichst sauber und gleichmäßig sein. Stahlgußstücke 16
dürfen keine Gußfehler haben, welche die Verwendbarkeit und Bearbeitbarkeit des Stückes beeinträchtigen. Als solche Fehler sind anzusehen: Spannungen, Blasen, Lunker, schwammige, poröse und harte Stellen, Schlackeneinschlüsse und Schrumpfrisse.

Solche Fehler dürfen nur mit ausdrücklicher Genehmigung des zuständigen Sachverständigen aus- 17
gebessert werden. Nach etwaigen Schweißarbeiten ist das Stück in der Regel erneut auszuglühen. Das Einverständnis des Sachverständigen zu Ausbesserungsarbeiten ist auch in solchen Fällen erforderlich, wo nach Schweißarbeiten das nachträgliche Ausglühen unterbleiben soll. Dieses Ausglühen kann unter Umständen nicht mehr angängig sein, wenn das Stück bereits zu weitgehend bearbeitet ist, oder es kann als nicht erforderlich unterbleiben, wenn die Beanspruchung des Stückes zu geringfügig erscheint.

2. Die Wanddicke des Stückes ist an mehreren Stellen nachzumessen; sie darf bei Wanddicken bis 18
20 mm das Sollmaß um höchstens 20 v. H., bei größeren Wanddicken um höchstens 15 v. H. unterschreiten.

3. Alle Hohlkörper sind einem Wasserdruckversuch mit dem doppelten Betriebsüberdruck zu unter- 19
werfen.

	Stahlguß I	Stahlguß II	
4. Zugfestigkeit kg/mm²	35—45	über 45	20
Dehnung v. H. auf L = 5 d	25	22	

5. Kaltbiegeversuch: Die Proben sind um einen Dorn vom Durchmesser der doppelten Probendicke 21
zu biegen. Der Biegewinkel muß betragen:

bei Stahlguß I	180°
bei Stahlguß II	90°

6. Kerbschlagversuch: Die Kerbschlagzähigkeit soll mindestens betragen: 22

bei Stahlguß I	6 mkg/cm²
bei Stahlguß II	4 mkg/cm²

V. Andere Werkstoffe.

V A. Legierter Stahl und legierter Stahlguß.

1 Legierter Stahl und legierter Stahlguß soll mindestens denselben Anforderungen entsprechen wie den für Flußstahl bzw. für Stahlguß angegebenen. Im Zweifelsfall ist bei Neueinführung die Gleichwertigkeit durch eingehende Sachverständigenprüfungen nachzuweisen, zu denen z. B. auch der Schmiede- und Lochversuch gehört.

2 Bei dem Schmiedeversuch müssen Längsstreifen von ungefähr 50 mm Breite in rotwarmem Zustande mit der Hammerfinne quer zur Walzrichtung mindestens auf das 1½fache ihrer Breite ausgebreitet werden können, ohne an den Kanten und auf der Fläche Risse zu erhalten.

3 Bei dem Lochversuch dürfen Streifen, die in rotwarmem Zustande in einer Entfernung vom Rande gleich der halben Dicke des Streifens mit einem kegeligen Lochstempel gelocht werden, vom Loch nach der Kante nicht aufreißen.

V B. Kupfer.

4 1. Für Kupfer in weich geglühtem Zustande kann, wenn größere Festigkeit nicht nachgewiesen wird, eine Zugfestigkeit von 22 kg/mm² bei Temperaturen bis zu 100° angenommen werden. Bei höherer Temperatur ist die Zugfestigkeit für je 20° mehr um 1 kg/mm² niedriger zu wählen.

5 2. Für kupferne Dampfrohrleitungen ist innerhalb der vorbezeichneten Grenze eine Werkstoffbeanspruchung von höchstens $^1/_{10}$ der Zugfestigkeit zulässig.

6 3. Bei überhitztem Wasserdampf von 250° und mehr ist die Verwendung von Kupfer unzulässig.

V C. Legierungen und sonstige Metalle.

7 Die zulässige Beanspruchung ist auf Grund von Sachverständigenprüfungen zu vereinbaren.

VI. Besondere Kesselteile.

VI A. Allgemeines.

1 Werden größere Kesselteile durch Schmieden, Pressen oder dergleichen aus Blöcken hergestellt oder erfordern Stücke eine Bearbeitung, durch welche die Eigenschaften des Werkstoffes verändert werden können, so ist der Werkstoff an jedem fertigen Stück sowie jedes Stück als Ganzes zu prüfen. Wird ein neuer Werkstoff verwendet, so ist zunächst zu verfahren, wie in den Abnahmebestimmungen für legierten Stahl und legierten Stahlguß angegeben, und späterhin ist aus jedem Stück eine Werkstoffprobe zu entnehmen, um festzustellen, ob die Güte dieselbe ist, wie bei der vorangegangenen Werkstoffprüfung ermittelt.

VI B. Sammelrohre und Sammelkästen.

2 1. Bei kreisrunden, vierkantigen oder sonstwie geformten Rohren, wie z. B. für Teilkammern von Wasserrohrkesseln, Ueberhitzersammelkästen, Sammelrohre für wassergekühlte Feuerraum- und Kühlroste, ist die Beschaffenheit des Werkstoffes an 2 v. H. der Stücke einer Schmelze, mindestens an 2 Stücken derselben Schmelze durch Zug- und Kaltbiegeversuche in der Querrichtung zu prüfen. Wo die Rohrform die Entnahme von Querproben, ohne sie geradezurichten, nicht gestattet, sind Längsproben zugelassen. Für diese Probestäbe sind entweder an allen Rohren die Ueberlängen zu belassen oder es sind zusätzliche 2 v. H. aus derselben Schmelze, mindestens aber 2 Rohre, mehr zur Abnahme vorzulegen. An den ausgewählten Stücken ist an einem Ende eine Zug- und eine Biegeprobe zu entnehmen. Die aus einer Schmelze stammenden Teile gleicher Art und gleicher Wärmebehandlung können ohne Rücksicht auf die einzelnen Abmessungen zu einer Gruppe vereinigt und zur Abnahme geschlossen vorgelegt werden. In gleicher Weise können Teile verschiedener kleiner Lieferungen zusammengefaßt werden. Vom Werk ist die Schmelzenzugehörigkeit zu bescheinigen. Bei Betriebsüberdrücken bis 20 kg/cm² genügt bei Kohlenstoffstählen ohne Rücksicht auf die Festigkeit des Werkstoffes Werkbescheinigung. Ueber 20 kg/cm² und bei legierten Stählen ist Sachverständigenbescheinigung zu erbringen.

3 2. Als Zugstäbe sind je nach der Wanddicke der Rohre runde oder flache Proportionalstäbe zu verwenden, die allseitig bearbeitet sind. Als Dehnungswerte gelten die nachstehend angegebenen Zahlen:

Festigkeit kg/mm²	Mindestdehnung v. H. langer Proportionalstab ($L = 11{,}3\sqrt{F}$)	Mindestdehnung v. H. kurzer Proportionalstab ($L = 5{,}65\sqrt{F}$)
35 bis einschl. 45	20	23
über 45 „ „ 50	18	21
„ 50 „ „ 55	17	20
„ 55 „ „ 60	15	18
„ 60 „ „ 65	14	17
„ 65 „ „ 70	12	15
„ 70 „ „ 75	11	14
„ 75 „ „ 80	10	12

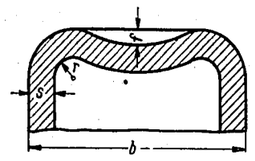
4 3. Für den Kaltbiegeversuch behält der Probestab beide Walzhautseiten. Die Mindestbreite der Biegeprobe beträgt 20 mm. Beträgt die Wandstärke mehr als 20 mm, so darf der Probestab auf der Innenseite bis auf 20 mm Dicke bearbeitet werden. Beim Biegen ist die Rohraußenseite auf die Zugseite zu legen. Die Anforderungen sind die folgenden:

Festigkeitsgruppen	Biegung
Zugfestigkeit bis 41 kg/mm² einschl.	Zusammenbiegen flach
über 41 bis 47 kg/mm²	um einen Dorn mit Durchmesser = 2fache Probedicke
„ 47 „ 55 „	„ „ „ „ „ = 3 „ „
„ 55 „ 60 „	„ „ „ „ „ = 4 „ „
„ 60 „	keine Bestimmung

Genügt eine Probe den gestellten Bedingungen nicht, so sind an ihrer Stelle zwei neue Proben zu entnehmen, die den Anforderungen genügen müssen. 5

4. Am geraden Rohr gelten folgende Toleranzen: Die Mindestwanddicke darf an keiner Stelle unterschritten werden. Die Abweichungen in der lichten Weite oder im Außendurchmesser sollen ± 1 v. H. nicht übersteigen. Zulässig sind ferner folgende Abweichungen f in mm von der ebenen Oberfläche bei einer äußeren Seitenabmessung b in mm: 6

b: bis 100	101 bis 200	201 bis 300	301 und darüber
f: 3/4	1	1½	2



5. Sämtliche Rohre sind bei der Abnahme einer genauen Besichtigung auf äußere Fehler (Schiefer, Riefen usw.) zu unterwerfen. Kerbartige Riefen dürfen an keinem Stück tiefer sein als $^1/_{20}$ der Wandstärke, jedoch nicht tiefer als 0,8 mm. 7

6. Die Rohre, auch diejenigen, welche zu Teilkammern weiterverarbeitet werden, sollen an den Ecken innen und außen genügend abgerundet sein. Der innere Eckradius muß der folgenden Formel genügen: 8

$$r \geqq \frac{s}{3} \geqq 8 \text{ mm}$$

7. Die Abrundung der Kanten ist innen an mehreren Stellen nachzuprüfen. Falten dürfen weder in den inneren Längskanten noch in den angekümpelten Böden von Vierkantrohren vorhanden sein. 9

8. Werden Schweißungen an Sammelrohren oder Sammelkästen durchgeführt, so soll der Kohlenstoffgehalt nicht über 0,25 v. H. liegen. 10

9. Bei nahtlos gezogenen Vierkantrohren für Ueberhitzer, Teilkammern u. dgl. empfiehlt es sich, den Wasserdruckversuch mit dem doppelten Betriebsdruck des betreffenden Kessels, mindestens aber mit 40 kg/cm² Ueberdruck vorzunehmen. Wenn Schweißungen an den betreffenden Teilen (z. B. Dichtschweißungen an Verschlußstopfen) vorgenommen worden sind, ist der Wasserdruckversuch stets in der angegebenen Weise durchzuführen. 11

VI C. Kleinere Kesselteile.

I. Allgemeines.

Die folgenden Bestimmungen umfassen kleinere Kesselteile, z. B. Flanschen, Verschlußdeckel, Einschweißböden kleinerer Abmessung, Stutzen usw. für Dampfkessel, Dampfüberhitzer, Speisewasservorwärmer sowie für Dampf und Wasser führende Rohre, die zwischen Speisewassereintrittsventil vor dem Vorwärmer (bzw. Kessel) und Heißdampf-Austrittsventil (bzw. Sattdampf-Austrittsventil) liegen. Soweit für derartige Teile Schweißungen in Frage kommen, ist gut schweißbarer Werkstoff zu verwenden. 12

Sie können hergestellt sein aus: 13

1. unlegiertem oder legiertem Flußstahl:
   a) Blechen,
   b) Knüppeln oder vorgeschmiedetem Werkstoff,
2. unlegiertem oder legiertem Stahlguß.

II. Werk- und Sachverständigen-Bescheinigung.

14 Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen und Abnahme sind in folgendem Umfange durch das Lieferwerk beizubringen:

Betriebsüberdruck kg/cm²	Flußstahl ≦ 50 kg/mm² Festigkeit	Flußstahl > 50 kg/mm² Festigkeit	Leg. Stahl	Stahlguß ≦ 45 kg/mm² Festigkeit	Stahlguß > 45 kg/mm² Festigkeit
≦ 16	W	S	S	W	S
> 16	S	S	S	S	S

W = Werkbescheinigung, S = Sachverständigenbescheinigung.

15 1. Die Werkbescheinigung kann ersetzt werden durch die schriftliche Bestätigung des Lieferwerkes, daß die einzelnen Teile aus geprüftem Werkstoff hergestellt wurden.

16 2. Die Sachverständigenbescheinigung kann ersetzt werden durch die schriftliche Bestätigung der Lieferfirma, daß die einzelnen Teile aus durch Sachverständige geprüftem Werkstoff hergestellt sind. Bei legiertem Flußstahl und legiertem Stahlguß ist die Beibringung einer Sachverständigenbescheinigung stets erforderlich.

17 3. Bei Kleinkesseln kann auf die Führung des Werkstoffnachweises verzichtet werden.

III. Anforderungen an den Werkstoff.

18 1. Art der Versuche: Zerreiß-, Kaltbiege-, Kerbschlagversuche. Werden Teile aus Blechen herausgearbeitet, sind die Anforderungen an Bleche (Zerreiß- und Abschreckbiegeversuche) zugrunde zu legen. Bei Temperaturen über 300° können Festigkeitsnachweise in der Wärme gefordert werden.

19 2. Anzahl der Probestücke und Probeentnahme: Die Anzahl der Probestücke richtet sich nach der Herstellungsweise. Je nach der Beanspruchung sind Quer- oder Längsproben — bei Flanschen stets Querproben — zu entnehmen.

20 a) Bleche.

Werden Kesselteile aus Blechen herausgearbeitet, so gelten hinsichtlich Probenzahl und Prüfung der einzelnen Bleche die Bestimmungen der Werkstoffvorschriften über Bleche. Die Zugehörigkeit der Teile und der geprüften Bleche ist durch Stempel zu kennzeichnen. Die einzelnen Teile dürfen beim Heraustrennen nicht in ihrer Eigenschaft verändert werden. Ist dies der Fall bzw. ist mit einer wesentlichen Aenderung zu rechnen, oder werden sie ohne Zugehörigkeitsstempel vorgelegt, so sind sie nach 2 b) zu prüfen.

21 b) Vorgeschmiedeter Werkstoff.

Kesselteile gleicher Schmelze und Wärmebehandlung können ohne Rücksicht auf ihre Abmessung zu einer Gruppe vereinigt geschlossen zur Abnahme vorgelegt werden. Der Sachverständige wählt aus den ersten 100 Stück 2 v. H., mindestens aber 2 Stück, von jedem weiteren Hundert 1 v. H. zur Werkstoffprüfung aus. Bei Stückzahlen unter 100 Stück kann der Sachverständige sich mit der Probeentnahme aus einem Stück begnügen. Die übrigen Teile werden durch Abstempeln gekennzeichnet und auf Ausführung sowie Fehlerfreiheit geprüft. Sind die Teile so klein, daß einwandfreie Proben aus ihnen nicht entnommen werden können, so ist der Ausgangswerkstoff gemäß 2 c) zu prüfen.

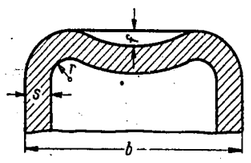
22 c) Knüppel.

Werden die Teile aus geschmiedeten Knüppeln oder Stangen großer Abmessungen spanabhebend herausgearbeitet, so ist jeder einzelne Ausgangswerkstoff (Knüppel) einer Werkstoffprüfung zu unterziehen. Die Knüppel werden an ihrer Oberfläche entsprechend der Anzahl der benötigten Teile durch Stempelung gekennzeichnet. Werden Teile aus Knüppeln oder Stangen unter 50 mm ⌀ hergestellt, kann die Entnahme von Längsproben erfolgen. In diesem Falle können hinsichtlich Probeanzahl die Anforderungen der Bestimmungen über Schrauben und Verschraubungen zugrunde gelegt werden.

Genügt eine Probe den gestellten Bedingungen nicht, so sind an ihrer Stelle zwei neue Proben zu entnehmen, die den Anforderungen genügen müssen. 5

4. Am geraden Rohr gelten folgende Toleranzen: Die Mindestwanddicke darf an keiner Stelle unterschritten werden. Die Abweichungen in der lichten Weite oder im Außendurchmesser sollen ± 1 v. H. nicht übersteigen. Zulässig sind ferner folgende Abweichungen f in mm von der ebenen Oberfläche bei einer äußeren Seitenabmessung b in mm: 6

b: bis 100	101 bis 200	201 bis 300	301 und darüber
f: ¾	1	1½	2



5. Sämtliche Rohre sind bei der Abnahme einer genauen Besichtigung auf äußere Fehler (Schiefer, Riefen usw.) zu unterwerfen. Kerbartige Riefen dürfen an keinem Stück tiefer sein als $^1/_{20}$ der Wandstärke, jedoch nicht tiefer als 0,8 mm. 7

6. Die Rohre, auch diejenigen, welche zu Teilkammern weiterverarbeitet werden, sollen an den Ecken innen und außen genügend abgerundet sein. Der innere Eckradius muß der folgenden Formel genügen: 8

$$r \geqq \frac{s}{3} \geqq 8 \text{ mm}$$

7. Die Abrundung der Kanten ist innen an mehreren Stellen nachzuprüfen. Falten dürfen weder in den inneren Längskanten noch in den angekümpelten Böden von Vierkantrohren vorhanden sein. 9

8. Werden Schweißungen an Sammelrohren oder Sammelkästen durchgeführt, so soll der Kohlenstoffgehalt nicht über 0,25 v. H. liegen. 10

9. Bei nahtlos gezogenen Vierkantrohren für Ueberhitzer, Teilkammern u. dgl. empfiehlt es sich, den Wasserdruckversuch mit dem doppelten Betriebsdruck des betreffenden Kessels, mindestens aber mit 40 kg/cm² Ueberdruck vorzunehmen. Wenn Schweißungen an den betreffenden Teilen (z. B. Dichtschweißungen an Verschlußstopfen) vorgenommen worden sind, ist der Wasserdruckversuch stets in der angegebenen Weise durchzuführen. 11

VI C. Kleinere Kesselteile.

I. Allgemeines.

Die folgenden Bestimmungen umfassen kleinere Kesselteile, z. B. Flanschen, Verschlußdeckel, Einschweißböden kleinerer Abmessung, Stutzen usw. für Dampfkessel, Dampfüberhitzer, Speisewasservorwärmer sowie für Dampf und Wasser führende Rohre, die zwischen Speisewassereintrittsventil vor dem Vorwärmer (bzw. Kessel) und Heißdampf-Austrittsventil (bzw. Sattdampf-Austrittsventil) liegen. Soweit für derartige Teile Schweißungen in Frage kommen, ist gut schweißbarer Werkstoff zu verwenden. 12

Sie können hergestellt sein aus: 13

1. unlegiertem oder legiertem Flußstahl:
   a) Blechen,
   b) Knüppeln oder vorgeschmiedetem Werkstoff,
2. unlegiertem oder legiertem Stahlguß.

II. Werk- und Sachverständigen-Bescheinigung.

14 Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen und Abnahme sind in folgendem Umfange durch das Lieferwerk beizubringen:

Betriebsüberdruck kg/cm²	Flußstahl ≦ 50 kg/mm² Festigkeit	Flußstahl > 50 kg/mm² Festigkeit	Leg. Stahl	Stahlguß ≦ 45 kg/mm² Festigkeit	Stahlguß > 45 kg/mm² Festigkeit
≦ 16	W	S	S	W	S
> 16	S	S	S	S	S

W = Werkbescheinigung, S = Sachverständigenbescheinigung.

15 1. Die Werkbescheinigung kann ersetzt werden durch die schriftliche Bestätigung des Lieferwerkes, daß die einzelnen Teile aus geprüftem Werkstoff hergestellt wurden.

16 2. Die Sachverständigenbescheinigung kann ersetzt werden durch die schriftliche Bestätigung der Lieferfirma, daß die einzelnen Teile aus durch Sachverständige geprüftem Werkstoff hergestellt sind. Bei legiertem Flußstahl und legiertem Stahlguß ist die Beibringung einer Sachverständigenbescheinigung stets erforderlich.

17 3. Bei Kleinkesseln kann auf die Führung des Werkstoffnachweises verzichtet werden.

III. Anforderungen an den Werkstoff.

18 1. Art der Versuche: Zerreiß-, Kaltbiege-, Kerbschlagversuche. Werden Teile aus Blechen herausgearbeitet, sind die Anforderungen an Bleche (Zerreiß- und Abschreckbiegeversuche) zugrunde zu legen. Bei Temperaturen über 300° können Festigkeitsnachweise in der Wärme gefordert werden.

19 2. Anzahl der Probestücke und Probeentnahme: Die Anzahl der Probestücke richtet sich nach der Herstellungsweise. Je nach der Beanspruchung sind Quer- oder Längsproben — bei Flanschen stets Querproben — zu entnehmen.

20 a) Bleche.

Werden Kesselteile aus Blechen herausgearbeitet, so gelten hinsichtlich Probenzahl und Prüfung der einzelnen Bleche die Bestimmungen der Werkstoffvorschriften über Bleche. Die Zugehörigkeit der Teile und der geprüften Bleche ist durch Stempel zu kennzeichnen. Die einzelnen Teile dürfen beim Heraustrennen nicht in ihrer Eigenschaft verändert werden. Ist dies der Fall bzw. ist mit einer wesentlichen Aenderung zu rechnen, oder werden sie ohne Zugehörigkeitsstempel vorgelegt, so sind sie nach 2 b) zu prüfen.

21 b) Vorgeschmiedeter Werkstoff.

Kesselteile gleicher Schmelze und Wärmebehandlung können ohne Rücksicht auf ihre Abmessung zu einer Gruppe vereinigt geschlossen zur Abnahme vorgelegt werden. Der Sachverständige wählt aus den ersten 100 Stück 2 v. H., mindestens aber 2 Stück, von jedem weiteren Hundert 1 v. H. zur Werkstoffprüfung aus. Bei Stückzahlen unter 100 Stück kann der Sachverständige sich mit der Probeentnahme aus einem Stück begnügen. Die übrigen Teile werden durch Abstempeln gekennzeichnet und auf Ausführung sowie Fehlerfreiheit geprüft. Sind die Teile so klein, daß einwandfreie Proben aus ihnen nicht entnommen werden können, so ist der Ausgangswerkstoff gemäß 2 c) zu prüfen.

22 c) Knüppel.

Werden die Teile aus geschmiedeten Knüppeln oder Stangen großer Abmessungen spanabhebend herausgearbeitet, so ist jeder einzelne Ausgangswerkstoff (Knüppel) einer Werkstoffprüfung zu unterziehen. Die Knüppel werden an ihrer Oberfläche entsprechend der Anzahl der benötigten Teile durch Stempelung gekennzeichnet. Werden Teile aus Knüppeln oder Stangen unter 50 mm ø hergestellt, kann die Entnahme von Längsproben erfolgen. In diesem Falle können hinsichtlich Probeanzahl die Anforderungen der Bestimmungen über Schrauben und Verschraubungen zugrunde gelegt werden.

d) Stahlguß.

23 Werden kleinere Kesselteile aus Stahlguß hergestellt, so erfolgt die Auswahl der Probestücke nach 2 b). Für die Abmessungen der Probestäbe gelten die Vorschriften über Stahlguß. Die Proben können aus den Stücken selbst oder aus angegossenen, für die Herstellung mehrerer Proben ausreichenden Prüfkörpern entnommen werden. Die angegossenen Probestücke verbleiben bis nach dem Ausglühen an ihrem Stück; getrennt gegossene Probestäbe sind nur in Ausnahmefällen im Einverständnis mit dem Sachverständigen zulässig.

24 Hat der Sachverständige begründete Zweifel an der Gleichmäßigkeit der Lieferung, so können von ihm geeignet erscheinende zusätzliche Prüfungen vorgenommen werden.

25 3. Anforderungen an den Werkstoff: Die Werkstoffe für kleinere Kesselteile müssen folgenden Bedingungen genügen:

a) Flußstahl.

Anforderungen für Querproben:

26

Zugfestigkeit kg/mm²	Dehnung L = 5 d v. H.	Biegewinkel °	Dorn-⌀ -fach	Kerbschlagzähigkeit Bruchquerschnitt 15×15 mm² mkg/cm²
35 bis einschl. 40	20	180	1	10
über 40 „ „ 45	20	180		
„ 45 „ „ 50	18	180	2	8
„ 50 „ „ 55	17	180		
„ 55 „ „ 60	15	180	3	6
„ 60 „ „ 65	14	180		
„ 65 „ „ 70	12	180	4	4
„ 70 „ „ 75	11	180		
„ 75 „ „ 85	10	180	4	zu vereinbaren

Anforderungen für Längsproben:

27

Zugfestigkeit kg/mm²	Dehnung L = 5 d v. H.	Biegewinkel °	Dorn-⌀ -fach	Kerbschlagzähigkeit Bruchquerschnitt 15×15 mm² mkg/cm²
35 bis einschl. 40	30	180	1	10
über 40 „ „ 45	27	180		
„ 45 „ „ 50	25	180	2	8
„ 50 „ „ 55	23	180		
„ 55 „ „ 60	22	180	3	6
„ 60 „ „ 70	17	180		
„ 70 „ „ 85	15	180	4	zu vereinbaren

Unlegierte Stähle mit einer Zugfestigkeit über 85 kg/mm² sind möglichst nicht zu verwenden. 28

29 b) Stahlguß

Zugfestigkeit mindestens kg/mm²	Streckgrenze kg/mm²	Dehnung L = 5 d v. H.	Biegewinkel °	Dorn-⌀ -fach	Kerbschlagzähigkeit Bruchquerschnitt 15×15 mm² mkg/cm²
38	18	25	180	2	6
45	22	22	90	2	4
52	25	16	90	3	zu vereinbaren

30 Sämtliche Teile müssen in gutem Glühzustand sein, möglichst glatte und ebene Oberflächen besitzen und frei von Rissen, Schiefern, Doppelungen, Schlackeneinschlüssen, Gußfehlern usw. sein. Ausbesserungsarbeiten dürfen nur im Einverständnis mit dem Sachverständigen vorgenommen werden.

31 Für legierte Werkstoffe gelten mindestens die gleichen Anforderungen wie für unlegierte gleicher Festigkeitsgruppe.

32 4. Versuchsdurchführung: Die Zerreiß- und Biegeversuche sind nach den bestehenden Normen durchzuführen.

33 Für die Kerbschlagversuche kommen zur Zeit folgende Probeformen zur Anwendung:

1. Länge 160 mm, Breite 15 mm, Höhe 30 mm, Rundkerb 4 mm ⌀ Bruchquerschnitt 15 · 15 mm²
2. Länge 55 mm, Breite 10 mm, Höhe 10 mm, Rundkerb 2 mm ⌀ Bruchquerschnitt 10 · 7 mm² (DVMR-Probe)

34 Das Umrechnungsverhältnis bei diesen Proben kann zu 1,7 : 1 angenommen werden.

35 Genügt eine Probe den gestellten Bedingungen nicht, so sind an ihrer Stelle zwei neue Proben zu entnehmen, die den Anforderungen genügen müssen.

VI D. Nahtlos geschmiedete sowie gepreßte und gewalzte Kesselschüsse und Kesseltrommeln.

36 1. Die Schüsse und Trommeln werden in rohem oder vorgearbeitetem oder auch fertig bearbeitetem Zustande, aber mit noch anhaftenden Proberingen oder Probelappen zur Prüfung vorgelegt. Die Kontrollstempel werden auf metallisch blanke Stellen eingeschlagen. Je nach dem Bearbeitungsgrad, in dem die Stücke zur Vorlage kommen, kann ein- oder mehrmaliges Umstempeln erforderlich werden.

37 2. An den Schüssen und Trommeln sind an beiden Enden genügend breite Proberinge (mindestens 50 mm) oder entsprechend große Probelappen zu belassen. Es sind herauszuarbeiten:

je eine Querzugprobe (tangential)
je eine Querbiegeprobe.

38 Das Probestück vom Kopfende soll in der Regel durch den Abschreckbiegeversuch, das vom Fußende durch den Biegeversuch geprüft werden.

39 3. Die Zerreißstäbe sind in der Regel als kurze Normalstäbe mit 100 mm Meßlänge herzustellen. Nach Bedarf können auch kurze Proportionalstäbe entsprechend den Normen gewählt werden. Als Mindestdehnungen sind zu verlangen:

Zugfestigkeit kg/mm²	bis 35	bis 36	bis 37	bis 41	bis 43	bis 44	bis 45	bis 50	bis 55	bis 60	bis 65	bis 70
Dehnung v. H.	30	29	28	27	25	24	23	22	20	18	17	15

Die Biegeproben erhalten, soweit es die Abmessungen der Schüsse oder Trommeln zulassen, 30×30 mm² Querschnitt und etwa 300 mm Kantenlänge; bei geringeren Abmessungen der Stücke 20×20 mm² Querschnitt. Die Proben müssen sich um einen Winkel von 180° biegen lassen, ohne auf der Zugseite Risse zu erhalten. Die Proben sind in der Richtung der Trommelrundung zu biegen:

Festigkeitsgruppen	Durchmesser des Dornes
Zugfestigkeit bis 41 kg/mm² einschl.	Zusammenbiegen flach
über 41 bis 47 kg/mm²	um einen Dorn mit Durchmesser = 2fache Probedicke
„ 47 „ 55 „	„ „ „ „ „ = 3 „ „
„ 55 „	„ „ „ „ „ = 4 „ „

4. Der Sachverständige hat, soweit möglich, die endgültige Lage des fertigen Kesselkörpers in dem rohen Stück zu ermitteln und die Lage der Proben so zu bestimmen, daß sie in die Zone der Fertigwanddicke zu liegen kommen.

5. Die Probestäbe dürfen weder kalt noch warm gerichtet werden.

6. Die Schüsse oder Trommeln sind von dem Sachverständigen zu befahren.

7. Werden an den Trommeln die Böden angestaucht, so findet die Werkstoffprüfung nach dem Stauchen und nachfolgenden Ausglühen statt. In diesem Falle müssen die Proberinge oder Probelappen vor dem Abtrennen gleichlautend mit der Trommel selbst gestempelt werden, damit die Zusammengehörigkeit festgestellt werden kann. Die Probestücke müssen an der Wärmebehandlung der gekümpelten Trommel teilnehmen.

8. Zur Feststellung der Wanddicke und des Innen-Durchmessers wird die Trommel, soweit möglich, nach beendeter Dreharbeit vor dem Kümpeln vorgelegt. Eine Unterschreitung der Wanddicke ist bis zu 0,5 mm zulässig. Die Kesselschüsse und -trommeln sind im zylindrischen Teile im Abstand von je 1 m nachzumessen. An diesen Stellen sollen ihre mittleren lichten Durchmesser vom Soll-Durchmesser um nicht mehr als ± 1 v. H. abweichen. Bei ablieferungsfertigen Kesselschüssen und -trommeln soll die Abweichung von der Rundheit nicht mehr als 1,5 v. H. des tatsächlich ermittelten Innendurchmessers eines Querschnittes betragen. Der Unterschied zwischen dem kleinsten und größten Durchmesser eines Querschnittes soll jedoch nicht mehr als 30 mm betragen. Das Unrundsein wird festgestellt durch Messen des kleinsten und größten Innendurchmessers eines Querschnittes. Die Tiefe einzelner eingedrückter und ausgebeulter Stellen soll 1 v. H. des Außendurchmessers in der Meßebene nicht übersteigen. Die Abweichung von der Geraden bei Trommeln, festgestellt durch Anlegen einer Schnur an den Längsseiten, soll nicht mehr als 0,4 v. H. von der zylindrischen Länge der Trommel betragen.

Bauvorschriften für Landdampfkessel.

I. Allgemeine Bestimmungen.

1. Für die Anforderungen an die zum Bau von Dampfkesseln bestimmten Werkstoffe sind die Werkstoffvorschriften für Landdampfkessel maßgebend.

2. Steht zu erwarten, daß die Temperatur der Wandungen der Dampfkessel, abgesehen von Wasser-, Heiz- und Ueberhitzerrohren, wesentlich höher ausfällt als 300°, so ist auf die Veränderung der Festigkeitseigenschaften in dieser Wärme Rücksicht zu nehmen. Im allgemeinen wird es sich empfehlen, durch geeignete Einrichtungen solch hohe Wandungstemperaturen fernzuhalten.

3. Die im nachfolgenden zur Festigkeitsrechnung zugelassenen Zahlenwerte können nur dann gewählt werden, wenn die Kesselarbeit als beste anzusehen ist und den folgenden Anforderungen entspricht:

a) Das Zurichten und Bearbeiten der Werkstoffe, das Biegen, Bördeln und Anrichten der Bleche, das Bohren der Löcher usw. ist mit möglichster Vorsicht und in sachgemäßer Weise auszuführen. Die Nietlöcher müssen sauber gebohrt werden, wenn möglich, nach dem Biegen und Anpassen der Bleche. Nach dem Bohren der Bleche ist der Bohrgrat zu entfernen, die Außenränder der Nietlöcher sind entsprechend zu versenken und die Anlageflächen der Bleche zu reinigen. Nicht genau übereinander liegende Nietlöcher sind durch Aufreiben nachzuarbeiten. Das Vernieten ist sorgfältig vorzunehmen, und beim Verstemmen ist zu beachten, daß die Bleche nicht verletzt werden.

b) Bleche mit eingerissenen Kanten sind zu entfernen und durch einwandfreie zu ersetzen. Sinngemäß Gleiches gilt von anderen Teilen.

c) Längslaschen müssen in der Regel in der Längsfaser gebogen sein und aus Kesselblechen bestehen.

d) Alle Nähte sind, wenn möglich, von innen und außen zu verstemmen. Stemmkanten auf beiden Seiten eines Bleches sind möglichst so anzuordnen, daß sie nicht unmittelbar einander gegenüberliegen.

4. Bleche, die im Feuer bearbeitet worden sind, müssen nach vollendeter Formgebung sachgemäß ausgeglüht werden und sollen darauf keiner weiteren nennenswerten Formänderung durch Kaltbearbeitung unterzogen werden.

Bleche, welche wiederholt einer stellenweisen Erhitzung ausgesetzt worden sind, sollen ebenfalls nachträglich ausgeglüht werden. Die Glühung ist stets in solchem Umfange vorzunehmen, daß die bearbeitete Stelle völlig rotwarm ist.

Kaltgebogene Bleche und Kesselteile, bei denen das Verhältnis der Blechdicke zum Krümmungshalbmesser groß ist, sollen in gleicher Weise sachgemäß ausgeglüht werden.

Abweichungen von diesen Glühbestimmungen sind bei besonderen Gründen und nur im Benehmen mit dem Sachverständigen zulässig.

Erläuterungen:

Zu 1. Die in den Bauvorschriften enthaltenen Bestimmungen gelten für die Bemessung der Teile sämtlicher Landdampfkessel bewährter Bauart und sorgfältigster Ausführung.

Zu 2. Handelt es sich dagegen um Kessel von ungewöhnlicher Bauart oder Größe, oder werden die Dampfkessel außergewöhnlich beansprucht, oder herrschen im Betriebe besondere Verhältnisse (besonders geartetes Speisewasser, außergewöhnliche Temperatur, Wärmeverteilung u. dgl.), steht insbesondere zu erwarten, daß die Temperatur der Wandungen wesentlich höher ausfällt als 300°, so ist solchen Sonderverhältnissen, insbesondere dem Verhalten des Werkstoffes bei höheren Temperaturen Beachtung zu schenken. Durch geeignete Einrichtungen sind die Kesselwände, insbesondere die übereinanderliegenden Bleche, dann zu schützen, wenn mit einer höheren Erwärmung der Bleche durch die Heizgase zu rechnen ist.

Für mittlere Verhältnisse kann angenommen werden, daß die Wandtemperatur einwandiger feuerberührter Kesselteile usw. um 100° über Sattdampftemperatur liegt. Doppelte oder dreifache Blechdicken verursachen ebenso wie starke Verunreinigung des Kesselinneren höhere Erwärmung. Auf die Bedeutung der mit solchen Erhitzungen verbundenen ungleichmäßigen Wärmedehnungen wird besonders aufmerksam gemacht. Sie können örtlich sein oder sich auf größere Ausdehnung erstrecken.

Zu 3. und 4. Bei Kesseln mit großer Bauhöhe ist der maßgebende Dampfdruck um den Druck der Wassersäule zu erhöhen.

Außer der Einhaltung der in den Vorschriften unter Ziffer 3a bis d und 4 einzeln aufgeführten Anforderungen an die Herstellung empfiehlt es sich, wie nachstehend angegeben vorzugehen, wobei es dem Besteller freisteht, eine Bauüberwachung mit dem Hersteller zu vereinbaren.

Alle Teile, insbesondere Bleche und Rohre, sollten vor und auch während der Bearbeitung sorgfältig besichtigt werden.

Die Bleche und Böden sollen mit solchem Uebermaß bestellt werden, daß die Ränder mit spanabhebenden Werkzeugen derart bearbeitet werden können, daß der Einfluß des Scherenschnittes oder Schneidbrenners nach Möglichkeit beseitigt wird. Soll auf spanabhebende Nachbearbeitung verzichtet werden, so ist von Fall zu Fall mit dem Sachverständigen zu prüfen, ob dies unter Berücksichtigung des angewendeten Verfahrens und der Güte der Ausführung zulässig ist.

Da die Güte der Arbeit einer Kesselschmiede nach dem Umfang der beim Zusammenbau noch erforderlichen Anrichtearbeiten zu beurteilen ist, sollte ein Mindestmaß von Anrichtarbeiten angestrebt werden. Die zu verbindenden Teile müssen auf der ganzen Fläche ohne erhebliche Anspannung satt aufeinanderliegen.

Zurichten, Biegen, Bördeln usf. müssen mit möglicher Vorsicht kalt oder bei geeigneter Temperatur erfolgen. Insbesondere müssen die Bleche und Laschen zylindrischer Kessel bis zu den Kanten auf der Maschine gebogen sein. Ein stückweises Anbiegen der Blechstücke kann leicht zu Schädigungen des Werkstoffes führen.

Welche Krümmung kalt erteilt werden darf, hängt von dem Werkstoff und der Art der Formgebung ab.

Formgebung von Blechteilen darf niemals in der Blauwärme erfolgen. Die Verwendung von Schweiß- und Schneidbrennern zum Anwärmen von Blechteilen ist unzulässig.

Wo Anwärmen örtlicher Stellen notwendig ist, sollte dies stets in so großen Flächen erfolgen, daß Formänderungen außerhalb der rotwarmen Zone ausgeschlossen sind. Mit besonderer Sorgfalt ist darauf zu achten, daß kalte Kesselteile beim Anpassen erwärmter Teile nicht unzulässig warm werden. Auf das vorsichtige Abkühlen angewärmter Blechteile ist besonders Wert zu legen.

Ein etwaiges Einschrumpfen von Böden ist mit der nötigen Vorsicht auszuführen.

Die zum Anrichten der Bleche erforderlichen Heftlöcher sind zu bohren und so anzuordnen, daß beim Zusammenbau sattes Anliegen gewährleistet wird. Stanzen ist auch bei Heftlöchern unzulässig. Die Heftlöcher sollen so viel kleiner gebohrt sein, daß sie zu vorschriftsmäßigen Nietlöchern aufgerieben werden können.

Das Versenken der Außenkanten der Nietlöcher ist vorgeschrieben, um einen guten Querschnittsübergang vom Nietschaft zum Nietkopf zu erreichen.

Zum Aufreiben nicht genau passender Löcher dürfen nur scharfe Werkzeuge verwendet werden, weil erfahrungsgemäß durch stumpfe Werkzeuge erhebliche Zähigkeitsverminderung bewirkt werden kann.

Gewaltsames Dornen ist unzulässig, ebenso Verspannen unvollkommen passender Teile.

Die Beseitigung von falsch gebohrten Nietlöchern oder sonstigen Verarbeitungsfehlern sollte im Einvernehmen mit dem Besteller erfolgen. Die sorgfältige Herstellung der Nietnaht ist von besonderer Wichtigkeit. Alle Nietarbeiten sollen so ausgeführt werden, daß jede Beschädigung des Kesselbleches vermieden und der größtmögliche Gleitwiderstand der Verbindungen erzeugt wird. Beim Maschinennieten ist die Kontrolle und Aufzeichnung der Nietkraft und Schließzeit empfehlenswert. Der Nietdruck ist entsprechend den Eigenschaften des Werkstoffes von Blech und Nieten zu wählen. Eindrücke um die Niete herum können vom Nietstempel herrühren und deuten auf zu hohen Nietdruck. Zentrische Lage der Nietköpfe zum Nietloch, die durch Körnermarken leicht festzustellen ist, kennzeichnet sorgfältige Arbeit.

Blechhalter sind im allgemeinen zu vermeiden. Mangelhaft ausgefallene Niete sind auszubohren und zu ersetzen. Die Niete und Bleche dürfen nicht durch Anspritzen gekühlt werden. Die Niete müssen vor dem Einziehen auf ihre ganze Länge auf richtige Temperatur gebracht werden.

Da bei nach innen undichten Nietnähten und mangelhaftem Anliegen der Bleche Kesselwasser zwischen die Bleche eindringen kann und der sich absetzende Kesselstein den Wärmedurchgang vermindert, ist ein Verstemmen von innen wichtig. Um eine Beschädigung der Bleche durch das Verstemmen tunlichst zu vermeiden, empfiehlt sich das Hohlstemmen.

Die Nieten und Nähte im dampfbespülten Teil des Kessels sind gleichfalls zu verstemmen.

II. Vernietung.

1 1. Die Nietnähte sollen stets so ausgeführt werden, daß der erforderliche Widerstand gegen Gleiten vorhanden ist.

2 Der erforderliche Widerstand gegen Gleiten ist als gegeben zu betrachten, wenn die Belastung der Niete, sofern keine höhere Zugfestigkeit des Nietwerkstoffes als 38 kg/mm² nachgewiesen wird, 7 kg/mm² nicht überschreitet.

3 Wird für den Nietwerkstoff eine höhere Zugfestigkeit als 38 kg/mm² nachgewiesen, so darf für den Nietdurchmesser ein im Verhältnis $\sqrt{\frac{38}{Kz}}$ kleinerer Wert eingesetzt werden, worin Kz die nachgewiesene Zugfestigkeit des Nietwerkstoffes in kg/mm² bedeutet.

4 2. Bei Laschennietung müssen die Laschen aus Blechen von mindestens gleicher Güte wie die Mantelbleche geschnitten werden.

5 3. Ueberlappte Mantelnähte haben hohe Biegungsbeanspruchung der Bleche im Gefolge und sollten bei höheren Drücken vermieden werden. Bei Blechen mit höherer Festigkeit als 44 kg/mm² ist Ueberlappungsnietung bei Mantelnähten unzulässig. Vorzuziehen ist in allen Fällen Doppellaschennietung, wobei die äußere gegen die innere Stemmkante bei nicht ausgezackten Laschen um etwa eine Wandstärke gegeneinander versetzt sein soll.

III. Schweißung.

III/1 Ausführung von Schweißungen.

A. Allgemeines.

1 1. An Dampfkesselteilen sind Schweißungen nur zulässig, wenn nach Lage der Verhältnisse zu erwarten ist, daß die vorgesehenen Schweißverbindungen den voraussichtlichen Betriebsbeanspruchungen genügen und die Schweißarbeiten mit Sachkenntnis durch erfahrene Arbeiter unter ausreichender Betriebsaufsicht durchgeführt werden.

2 2. Werke, die Kesselschweißungen ausführen wollen, haben dem Reichswirtschaftsminister oder einer von diesem bezeichneten Stelle den Nachweis zu erbringen, daß sie den unter A Ziffer 1 angegebenen allgemeinen Anforderungen hinsichtlich der von ihnen ausgeführten Schweißarbeiten genügen. Auf Antrag kann solchen Werken durch den Reichswirtschaftsminister widerruflich eine Bescheinigung hierüber ausgestellt werden.

3 Die Werke müssen überzeugend nachweisen, daß sie über geeignete Arbeitsmittel und gut geschultes, nach anerkannten Richtlinien für die Schweißerausbildung geprüftes Personal für die Ausführung und Ueberwachung der Schweißarbeiten verfügen. Ebenso müssen sie der Entwicklung ihrer Arbeits- und Prüfverfahren besondere Aufmerksamkeit widmen und das Personal sowie die Schweißarbeiten laufend sorgfältig überwachen.

4 3. Sofern nicht einwandfrei nachgewiesen ist, daß der zu verwendende Werkstoff mit dem jeweiligen Verfahren gut schweißbar ist, muß dieser Nachweis dem vom Reichswirtschaftsminister eingesetzten Schweißausschuß im Deutschen Dampfkesselausschuß erbracht werden.

B. Grundsätze für die Kessel-Schweißarbeiten.

5 1. Jede Schweißnaht an einem Kesselteil ist so zu kennzeichnen, daß ihre Lage erkennbar bleibt.

6 2. Schweißverbindungen sind dort zu vermeiden, wo erhebliche Biegungsbeanspruchungen zu erwarten sind.

7 3. Ueberlappte Kehlnahtschweißungen sind in der Regel zu vermeiden; sie sind nur in besonderen Fällen zulässig, und zwar als Längsnähte bis zu 10 mm und als Rundnähte bis zu 15 mm Wanddicke. Sie müssen stets als doppelseitige Kehlnähte ausgeführt werden.

8 4. Schmelzgeschweißte Verbindungsrundnähte von Kesselrohren sind nur zulässig, wenn sie durch die Herstellung der Rohre und die Bauverhältnisse des Kessels bedingt sind.

9 5. Rundnähte an geschweißten Mänteln, deren Wanddicken unter Zugrundelegung einer Längsschweißnahtwertigkeit von $v > 0{,}5$ berechnet sind, müssen ebenso wie die Längsnähte auf der Wurzelseite ausgekreuzt und nachgeschweißt werden. Derartige Kesselteile sind so zu bemessen, daß sie befahren werden können.

10 6. Geschweißte Werkstücke müssen nach Fertigstellung der letzten Schweißnaht sachgemäß normalgeglüht werden (Ausnahmen siehe Abschnitt B Ziffer 7). Der Nachweis hierüber ist durch Werkbescheinigung zu erbringen.

11 Spannungsfreiglühen kann nicht als Ersatz für Normalglühen gelten, da bei den hierfür üblichen Temperaturen von etwa 600° bis etwa 650° im allgemeinen nur die Schweißspannungen beseitigt werden.

12 Wirksames Normalglühen setzt im allgemeinen voraus, daß die geschweißten Werkstücke im ganzen gleichmäßig bis über den oberen Umwandlungspunkt erwärmt, auf dieser Temperatur genügend lange, je Millimeter Wanddicke etwa 1 min, mindestens jedoch 20 min im ganzen gehalten und sachgemäß abgekühlt werden.

13 Ein Werkstück, dessen außergewöhnliche Abmessung oder besondere Bauart im fertigen Zustand ein Normalglühen im ganzen nicht gestattet, darf mit Einverständnis des zuständigen Sachverständigen in Teilen normalgeglüht werden. Die letzten Verbindungsschweißnähte müssen dann durch gleichmäßiges Erwärmen einer ausreichend breiten Zone mittels Gasringbrenner oder dergleichen möglichst von beiden Seiten zugleich normalgeglüht werden.

14 Oertliches schrittweises Ausglühen mit dem Schweißbrenner oder dergleichen ist unzulässig.

7. Ausnahmen von der Vorschrift des Normalglühens:

a) Für bestimmte Schweißverfahren und Werkstoffe können allgemein geltende Ausnahmen beantragt werden, wenn durch praktische Bewährung oder durch bereits durchgeführte Versuche oder durch besondere Prüfungen der Nachweis der Betriebssicherheit erbracht wurde. 15

b) In einzelnen Fällen kann bei verhältnismäßig geringer Beanspruchung der Schweißnaht mit Einverständnis des zuständigen Sachverständigen anstatt des Normalglühens spannungsfrei geglüht werden oder jedes Ausglühen unterbleiben. 16

c) Ein Spannungsfreiglühen der Werkstücke im ganzen bei 600^0 bis 650^0 gilt als ausreichend bei schmelzgeschweißten Schüssen und Trommeln mit einer Schweißnahtwertigkeit bis zu $v = 0{,}7$, wenn durch ein zerstörungsfreies Prüfverfahren für jedes Werkstück die einwandfreie Beschaffenheit der Schweißnaht nachgewiesen und an Schweißungen mit dem zur Verwendung kommenden Zusatzwerkstoff eine ausreichende Verformungsfähigkeit der Schweißverbindung festgestellt ist. 17

d) Von jeder Glühbehandlung kann abgesehen werden:

I. bei schmelzgeschweißten Schüssen und Trommeln, die für Kessel mit einem Betriebsüberdruck bis 8 kg/cm² bestimmt sind, sofern bei der Herstellung Werkstoff mit nicht mehr als 42 kg/mm² Festigkeit verwendet worden ist und die rechnerische Zugbeanspruchung in den Schweißnähten den Wert 4,25 kg/mm² nicht überschreitet. Die hierbei zulässige größte Blechdicke wird in Verbindung mit der Durchführung der Bestimmungen unter Abschnitt A Ziffer 2 festgesetzt; 18

II. beim Ein- und Anschweißen von kleinen Kesselteilen, wie z. B. einzelnen kleinen Stutzen u. dgl.; ferner 19
beim Vorschuhen einzelner Heiz- oder Wasserrohre sowie bei Verbindungsrundnähten an Ueberhitzerrohren; 20
im Einvernehmen mit dem für die Aufstellung des Dampfkessels zuständigen Sachverständigen bei schmelzgeschweißten Verbindungsrundnähten von Kesselrohren, wenn höchste Schweißnahtgüte gewährleistet ist. Die Festigkeit des Rohrwerkstoffes darf 55 kg/mm² nicht überschreiten. Ferner dürfen die Anteile der nachstehenden Elemente im Werkstoff folgende Grenze nicht überschreiten: 21

C 0,25 v. H.
Mn 1,2 v. H.
Si 0,4 v. H.
Ni 0,3 v. H. \
Cr 0,2 v. H. / zusammen nicht mehr als 0,3 v. H.
Cu 0,3 v. H.
Mo 0,5 v. H.
Va 0,2 v. H.

Der Sachverständige ist berechtigt, den Nachweis der chemischen Zusammensetzung des Rohrwerkstoffes zu fordern. 22

An geschweißten Trommeln und Schüssen, insbesondere solchen aus härtungsempfindlichen Stählen, soll das Ein- und Anschweißen von kleinen Kesselteilen u. dgl. möglichst vor dem Ausglühen der Trommeln und Schüsse durchgeführt werden; 23

III. bei Feuerbuchsen, Quersiedern und bei Feuerlochschweißungen an Feuerbuchskesseln u. dgl., ferner bei 24
glatten und gewellten Flammrohren, schmelzgeschweißten Dommänteln und Dampfsammlern, wenn 25
1. die Bleche aus unlegiertem Kohlenstoffstahl der Festigkeitssorten I und II hergestellt sind,
2. die rechnerisch in Anspruch genommene Schweißnahtwertigkeit die Zahl $v = 0{,}7$ nicht überschreitet,
3. die Blechdicke nicht mehr als 25 mm beträgt.
Die Schweißnähte kupferner Feuerbuchsen sind zwecks Verbesserung der Festigkeitseigenschaften einer mechanischen Bearbeitung durch Warmverformung zu unterziehen. 26

8. Die Lage der Schweißnähte ist möglichst so zu wählen, daß ihre unmittelbare Berührung durch die Feuergase vermieden wird. Die mittlere Wandungstemperatur in der Zone der Schweißnaht soll im Regelfall 350^0 nicht übersteigen, sofern nicht durch besondere Prüfungen der Nachweis erbracht ist, daß der verwendete Werkstoff und die Schweißnaht bei höheren Temperaturen noch ausreichende Festigkeitseigenschaften besitzen, um den auftretenden, durch Bauart und Betrieb bedingten Beanspruchungen gewachsen zu sein. 27

Zu den durch das Wort „möglichst" nicht erfaßten Fällen gehören z. B. Flammrohre, Siederohre, Feuerbuchsen, Sammelkästen für Kühl- und Ueberhitzerrohre u. dgl. Bei diesen Kesselteilen kann also von der Einhaltung der Bestimmung im Satz 1 des vorstehenden Absatzes unbedenklich abgesehen werden. 28

9. Bohrungen und Ausschnitte in der Schweißnaht und in deren Nähe sind möglichst zu vermeiden. Ist dies aus baulichen Gründen nicht möglich, so muß im Einvernehmen mit dem zuständigen Sachverständigen geprüft werden, ob eine Sicherung notwendig ist. 29

C. Bewertung von Schweißnähten.

1. Schweißnähte dürfen unabhängig von der Art des Verfahrens bis zu $v = 0{,}7$ einschließlich bewertet werden. 30

2. Darüber hinaus kann für ein bestimmtes, durch Schweißart und Zusatzwerkstoffe gekennzeichnetes Schweißverfahren und für bestimmte Werkstoffarten eine Höherbewertung bis zu $v = 0{,}9$ auf Antrag zugelassen werden. 31

D. Abnahme.

1. Fertiggeschweißte Schüsse, ebenso Trommeln mit angestauchten oder eingeschweißten Böden sind zunächst durch den für den Herstellungsort zuständigen Sachverständigen einem Wasserdruckversuch mit dem in den allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln festgesetzten Probedruck zu unterwerfen. Während der Dauer des Wasserdruckversuches darf das Probestück keine Undichtheit oder bleibende Formänderung zeigen. 32

Wird das Werkstück nach werkseigenem Verfahren so hoch abgedrückt, daß rechnerisch eine Beanspruchung der Wandungen bis in die Nähe der Streckgrenze zu erwarten ist, dann muß das Werkstück nach diesem Druckversuch in jedem Falle normalgeglüht werden. 33

2. An den lieferfertigen Schüssen und Trommeln ist nach dem Wasserdruckversuch eine innere und äußere Untersuchung, besonders der Schweißnähte und der angrenzenden Zonen, durch den für den Herstellungsort zuständigen Sachverständigen vorzunehmen. Dabei sind zu messen: 34

a) der Innenumfang des Werkstückes,
b) die Abweichung von der Rundheit,
c) die Abweichung von der Geraden,
d) bei Preßschweißungen die Wanddicke in den Nähten und in der angrenzenden Blechzone.

Die Messungen zu a) und b) sind in Abständen von etwa je einem Meter über die ganze Länge des Werkstückes auszuführen. 35

Zu a): Der gemessene Innenumfang der Schüsse und Trommeln darf nicht mehr als $\pm$ 1,5 v. H. von dem festgelegten Soll-Umfang abweichen. Aus dieser Messung ist der mittlere Innendurchmesser zu errechnen. 36

Zu b): Zur Feststellung etwaiger Abweichungen von der Rundheit ist zunächst aus den Messungen nach a) der mittlere Innendurchmesser zu errechnen und dann der kleinste und größte Innendurchmesser eines Querschnittes zu messen. 37

Die Abweichung von der Rundheit darf betragen: 38
bei Schüssen nicht mehr als $\pm$ 1,5 v. H. des jeweils errechneten mittleren Durchmessers. Der Unterschied zwischen dem kleinsten und dem größten Innendurchmesser eines Querschnittes darf jedoch nicht mehr als 30 mm betragen;
bei Trommeln nicht mehr als $\pm$ 2 v. H. des jeweils errechneten mittleren Durchmessers. Der Unterschied zwischen dem kleinsten und dem größten Innendurchmesser eines Querschnittes darf bei einem Soll-Außendurchmesser bis zu 1400 mm nicht mehr als 50 mm und bei einem Soll-Außendurchmesser über 1400 mm nicht mehr als 60 mm betragen.

Die Tiefe einzelner eingedrückter und ausgebeulter Stellen darf 1 v. H. des Soll-Außendurchmessers in der Meßebene nicht übersteigen. 39

Zu c): Abweichungen von der Geraden sind zu messen durch Anlegen einer Schnur längs den Wandungen. Sie dürfen betragen: 40
bei Schüssen: bis zu 0,3 v. H. der zylindrischen Länge,
bei Trommeln: bis zu 0,5 v. H. der zylindrischen Länge.

Zu d): Die Wanddicke in den Nähten und den angrenzenden Blechzonen muß der festgelegten Soll-Wanddicke in den für Bleche zulässigen Grenzen entsprechen. Die Messung ist in jedem Fall an den Enden der zylindrischen Schüsse und auch an den Stellen durchzuführen, wo der Verdacht einer Wanddickenschwächung vorliegt. 41

Bei der Beurteilung sind Fehlstellen, die nach dem Urteil des Sachverständigen für die Sicherheit offensichtlich ohne Belang sind, außer Betracht zu lassen. 42

3. Die Ergebnisse der nach D, Ziffer 1 und 2 durchzuführenden Untersuchungen und Prüfungen sind durch den Ausführenden zu bescheinigen und den zur Genehmigung der Kessel erforderlichen Unterlagen beizufügen. 43

4. An Stelle des Sachverständigen kann ein zuverlässiger Werksangestellter die nach D, Ziffer 1 und 2 erforderlichen Untersuchungen und Prüfungen durchführen und die Bescheinigungen nach D, Ziffer 3 ausstellen, sofern die Gesamtlänge des zylindrischen Kesselmantels nicht mehr als 2500 mm, der Soll-Außendurchmesser nicht mehr als 1200 mm beträgt, der in Frage kommende Betriebsüberdruck nicht über 16 kg/cm² liegt und die Schweißnaht nicht höher als mit v = 0,7 bewertet ist. 44

5. Lieferfertig geschweißte Dommäntel sind gemäß D 2 zu prüfen, jedoch kommt die Messung der Abweichung von der Geraden gemäß D 2c in Fortfall. 45

Sind die Voraussetzungen der Ziffer 4 erfüllt, so kann an Stelle des Sachverständigen ein zuverlässiger Werksangestellter die Prüfungen durchführen. Ein Wasserdruckversuch ist bei Dommänteln nicht erforderlich. 46

Die Ergebnisse der gemäß Vorstehendem durchzuführenden Untersuchungen und Prüfungen sind durch den Ausführenden zu bescheinigen und den zur Genehmigung der Kessel erforderlichen Unterlagen beizufügen. 47

6. Lieferfertige glatte und gewellte Flammrohre sind durch den für den Herstellungsort zuständigen Sachverständigen einer äußeren und inneren Untersuchung besonders der Schweißnähte und der angrenzenden Zonen zu unterziehen. Dabei sind zu messen: 48

a) die Abweichung vom lichten Soll-Durchmesser,
b) bei Wellrohren der Unterschied zwischen größtem Außendurchmesser und lichtem Durchmesser,
c) die Abweichung von der Rundheit,
d) die Abweichung von der Geraden,
e) bei Preßschweißungen die Wanddicke der Nähte und der angrenzenden Blechzonen.

Die Messungen zu a), b) und c) sind in Abständen von etwa je 1 m über die ganze Länge der Werkstücke auszuführen. Die Messung der Wanddicke ist in jedem Falle an den Enden der Schüsse und auch an den Stellen durchzuführen, wo eine Wanddickenschwächung vermutet wird. 49

Zu a): Zulässige Abweichung vom bestellten lichten Durchmesser in einem Meßquerschnitt 50

bei gewellten Flammrohren: ± 5 mm im geraden, nicht gewellten Teil,
+ 0 / −25 mm im gewellten Teil;

bei glatten Flammrohren: ± 5 mm an den Enden der Schüsse bis zu einer Länge von 250 mm,
+ 0 / −25 mm im übrigen Teil der zylindrischen Schüsse;

bei glatten Flammrohren mit geflanschten Enden:
+ 0 / −25 mm im zylindrischen Teil.

Zu b): Bei Wellrohren muß in den Wellen der Unterschied zwischen größtem Außendurchmesser und lichtem Durchmesser mindestens 80 mm betragen. 51

Zu c): Bei Wellrohren darf der Unterschied zwischen dem größten und dem kleinsten Durchmesser eines Querschnittes bei den 3 vorderen und 3 hinteren Endwellen nicht mehr als 15 mm, bei den Mittelwellen nicht mehr als 10 mm betragen. 52

Bei glatten Flammrohren darf der Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Durchmesser eines Querschnittes nicht mehr als 15 mm betragen. 53

Zu d): Abweichungen von der Geraden sind durch Anlegen einer Schnur an die Wandungen zu messen. Sie dürfen bis zu 0,3 v. H. der zylindrischen Länge der Schüsse betragen. 54

Zu e): Bei Wellrohren sind folgende Unterschreitungen der Wanddicken zulässig: 55

bei Wellrohren ohne Flansch 6 v. H.,
bei Wellrohren mit Flansch im gewellten Teil 6 v. H.,
bei Wellrohren mit Flansch im geflanschten Teil 20 v. H.

Bei glatten Flammrohren muß die Wanddicke der Nähte und angrenzenden Blechzonen der festgelegten Soll-Wanddicke in den für Bleche zulässigen Grenzen entsprechen. 56

Bei der Beurteilung sind Fehlstellen, die nach dem Urteil des Sachverständigen für die Sicherheit offensichtlich ohne Belang sind, außer Betracht zu lassen. 57

Die Ergebnisse der gemäß Vorstehendem durchzuführenden Untersuchungen einschließlich der festgestellten Abmaße sind durch den Sachverständigen zu bescheinigen und den zur Genehmigung des Kessels erforderlichen Unterlagen beizufügen. 58

Ein Wasserdruckversuch ist bei Flammrohren nicht erforderlich. 59

E. Ausbesserungs-Schweißungen an bereits genehmigten Kesseln.

Sie dürfen grundsätzlich nur nach Anmeldung im Einvernehmen mit dem zuständigen Sachverständigen ausgeführt werden, der in jedem Einzelfalle entscheidet, ob und inwieweit von den vorstehenden Vorschriften abgewichen werden kann. 60

F. Kosten.

Alle gemäß den vorstehenden Bestimmungen erforderlichen Prüfungen gehen zu Lasten des Antragstellers. 61

G. Stellung von Anträgen.

Die Anträge gemäß den Bestimmungen unter Abschnitt 62
a) ~~A 2~~ auf Anerkennung der Zuverlässigkeit,
b) A 3 betreffend Schweißbarkeit des Werkstoffes,
c) B 7a auf Befreiung von der Vorschrift betreffend Normalglühen der geschweißten Werkstücke,
d) B 8 auf Zulassung von Schweißungen bei Wandungstemperaturen über 350°,
e) C 2 auf Höherbewertung der Schweißnaht bis zu v = 0,9,

ebenso alle anderen Anträge auf Bewilligung von Ausnahmen von den Bestimmungen des Abschnitts III/1 sind durch die für das Herstellerwerk zuständige Technische Ueberwachungsstelle, die zu dem Antrage gutachtlich Stellung nimmt, an die Geschäftsstelle des Schweißausschusses im Deutschen Dampfkesselausschuß (Schweißausschuß im DDA.) beim Reichsverband der Technischen Ueberwachungs-Vereine, Berlin-Grunewald, Hagenstraße 56, zu richten.

Der Schweißausschuß führt die erforderlichen Prüfungen gemäß den vom Reichswirtschaftsminister erhaltenen Anweisungen durch. 63

Die Entscheidung trifft in den unter den vorstehenden Buchstaben b) und d) aufgeführten Fällen der Schweißausschuß gemäß der im Erlaß des Reichswirtschaftsministers vom 17. September 1936 — IV 28 175/36 — (MBlWi. S. 215) getroffenen Anweisung. In den übrigen Fällen entscheidet der Reichswirtschaftsminister auf Grund des ihm vom Schweißausschuß vorzulegenden Berichtes. 64

III/2 Ausbildung und Prüfung von Kesselschweißern.

A. Geltungsbereich und Verfahren.

Alle Schweißer, die erstmalig mit Schweißarbeiten an Dampfkesselteilen befaßt werden sollen, sind auszubilden und zu prüfen. 65

Die Entscheidung, ob und gegebenenfalls in welchem Umfange sich Schweißer, die bereits Kesselschweißarbeiten nachweislich mit Erfolg ausgeführt haben, einer Prüfung gemäß den Richtlinien zu unterziehen haben, liegt bei der für den Sitz des Schweißwerkes zuständigen Technischen Ueberwachungsstelle. Damit diese Entscheidung herbeigeführt werden kann, haben die Schweißwerke der zuständigen Technischen Ueberwachungsstelle eine Liste sämtlicher von ihnen bisher mit Schweißarbeiten an Dampfkesseln beschäftigten Schweißer mit allen vorhandenen Prüfungsunterlagen vorzulegen. Die Liste muß enthalten: 66

Name und Geburtsdatum der Schweißer,
Angabe, ob Gas- oder Elektroschmelzschweißer.

Ferner ist anzugeben, seit wann die Schweißer mit Kesselschweißarbeiten beschäftigt werden und welche Art von Schweißarbeiten sie mit Erfolg ausgeführt haben. Die Technischen Ueberwachungsstellen entscheiden auf Grund der vorgelegten Unterlagen, ob und gegebenenfalls in welchem Umfange noch eine Prüfung gemäß den nachstehenden Richtlinien erforderlich ist.

Vom 1. April 1940 ab dürfen nur solche Schweißer mit Schweißarbeiten an Dampfkesseln beschäftigt werden, deren Leistungen den Anforderungen der Richtlinien entsprechen. Die Schweißwerke haben jeden Wechsel in dem Bestand der Schweißer der für sie zuständigen Technischen Ueberwachungsstelle schriftlich anzuzeigen. 67

Eine Wiederholung der Schweißerprüfung kann im Rahmen der Zuverlässigkeitsprüfung der Schweißwerke erfolgen. Die Festlegung des Zeitpunktes und Umfanges obliegt der zuständigen Technischen Ueberwachungsstelle. 68

Die Ausbildung hat grundsätzlich nur durch solche Stellen zu erfolgen, die sich lehrplanmäßig mit der Ausbildung von Kesselschweißern befassen und die alle Voraussetzungen für eine den Richtlinien entsprechende Schulung der Schweißer erfüllen. Neben den Schweißlehr- und Versuchsanstalten in Berlin, Duisburg und Halle kommen auch die Lehranstalten der Werke in Frage, die sich mit der Herstellung von Dampfkesselteilen und der planmäßigen Schweißerausbildung befassen. 69

Soweit die Ausbildung durch die vorgenannten Schweißlehr- und Versuchsanstalten erfolgt, haben diese auch die Prüfung gemäß den Richtlinien durchzuführen mit der Maßgabe, daß ein Ueberwachungsingenieur der für den Ausbildungsort zuständigen Technischen Ueberwachungsstelle an der Prüfung teilnimmt. In allen übrigen Fällen (Ausbildung in Schweißbetrieben) hat die zuständige Technische Ueberwachungsstelle die Prüfung durchzuführen. Dabei sind die zu untersuchenden Probeschweißungen in Gegenwart eines Sachverständigen auszuführen, der die Probestäbe nach Anreißen durch Stempel kennzeichnet. 70

Die erfolgreiche Prüfung ist dem Prüfling auf einem Vordruck nach angegebenem Muster zu bescheinigen. 71

Je eine Ausfertigung des Zeugnisses und der Prüfungsunterlagen ist der bei der Prüfung beteiligten Technischen Ueberwachungsstelle und der Technischen Ueberwachungsstelle zu übergeben, in deren Bezirk der Schweißer als Kesselschweißer arbeitet. 72

B. Richtlinien für die Ausbildung von Kesselschweißern.

I. Vorbemerkung.

Als selbständige Schweißer im Sinne der nachstehenden Richtlinien gelten Schweißer, welche selbständig und unter eigener Verantwortung dem Auftraggeber gegenüber Schweißarbeiten ausführen. 73

Als Werkstättenschweißer gelten solche Schweißer, die als abhängige Betriebsangehörige im Auftrag unter Anleitung und Verantwortung eines anerkannten Fachmannes (Schweißingenieur, Schweißmeister) Schweißarbeiten ausführen. 74

II. Voraussetzungen.

Die Teilnahme an einem Sonderlehrgang für Dampfkesselschweißer setzt in der Regel folgende Nachweise voraus: 75

entweder

a) den erfolgreichen Besuch und Abschluß eines großen Ausbildungslehrganges gemäß B II der „Richtlinien für Schweißlehrgänge“ (herausgegeben und bearbeitet vom Fachausschuß für Schweißtechnik beim VDI gemeinsam mit den schweißtechnischen Verbänden und der Deutschen Arbeitsfront) und danach mindestens einjährige Schweißerpraxis

oder

b) eine mehrjährige Schweißerpraxis und den Nachweis von Kenntnissen, die einer Ausbildung in einem großen Ausbildungslehrgang der unter a) genannten Richtlinien entsprechen.

III. Ausbildungsplan für Dampfkesselschweißer.

1. Theoretische Ausbildung von selbständig arbeitenden Schweißern. 76

a) Schweißvorschriften.
b) Grundlagen der elektrischen Lichtbogen- bzw. Gasschmelzschweißung:

Elektroschweißung
- α) Arten der Stromerzeuger,
- β) schweißtechnisches Werkzeug,
- γ) Einfluß des Lichtbogens auf Schweißnahtgüte,
- δ) Zusatzwerkstoffe für Kohlenstoff- und legierte Stähle.

Gasschmelzschweißung
- α) Gasentwickler — Flaschengas,
- β) schweißtechnisches Werkzeug,
- γ) Einfluß der Schmelzflamme auf Schweißnahtgüte,
- δ) Zusatzwerkstoffe für Kohlenstoff- und legierte Stähle.

c) Kesselwerkstoffe (Bleche und Rohre).
d) Vorbereitung und Ausführung von Kesselschweißarbeiten.
e) Maßnahmen zur Verminderung von Wärmespannungen.

f) Schweißkonstruktionen im Kesselbau.
g) Grundzüge der Prüfung von Schweißverbindungen.
h) Wärmebehandlung von geschweißten Bauteilen.
i) Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen und Gesundheitsschädigungen.

77 2. Theoretische Ausbildung von Werkstättenschweißern.

a) Schweißvorschriften.
b) Grundlagen der elektrischen Lichtbogen- bzw. Gasschmelzschweißung:

Elektroschweißung
- α) Schweißtechnisches Werkzeug,
- β) Einfluß des Lichtbogens auf Schweißnahtgüte (Polung, Lichtbogenlänge, Blaswirkung),
- γ) Zusatzwerkstoffe.

Gasschmelzschweißung
- α) Gasentwickler — Flaschen,
- β) schweißtechnisches Werkzeug,
- γ) Einfluß der Schmelzflamme auf Schweißnahtgüte,
- δ) Zusatzwerkstoffe.

c) Vorbereitung und Ausführung von Kesselschweißarbeiten.
d) Maßnahmen zur Verminderung der Wärmespannungen.
e) Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen und Gesundheitsschädigungen.

78 3. Praktische Ausbildung aller Schweißer.

a) Schweißen von dünnen (7 mm) und dicken (20 mm) Blechen in waagerechter, senkrechter und Ueberkopflage bei V-, X- und Kelch-Schweißfugen.
b) Schweißen einer waagerechten Naht an senkrechter Wand.
c) Herstellen von Rundstumpfschweißnähten an dünn- und dickwandigen Rohren verschiedenen Durchmessers in Zwangslage.
d) Anrichten von gerundeten Blechschüssen und Schweißen der Längsnähte und Rundnähte.
e) Herstellung einer überlappten Doppelkehlnaht (nur für Elektroschweißer).
f) Herstellung von Lochschweißungen.
g) Instandsetzen eines korrodierten Bleches durch Auftragschweißung.
h) Einschweißen eines kleinen runden Flickens und eines größeren Flickens mit parallelen Seiten, dessen Ecken abgerundet sind.
i) Ausführung einer Krempenrißschweißung.

C. Richtlinien für die Prüfung von Kesselschweißern.

I. Theoretische Prüfung.

79 1. Selbständige Elektroschweißer.

a) Schweißvorschriften.
b) Aufbau und Wirkungsweise der Schweißapparate.
c) Eigenschaften der zu verschweißenden Werkstoffe (Kalt- und Warmverformung, Wärmeleitfähigkeit, Schmelzpunkt, Oxydation).
d) Elektrotechnische Grundlagen (Stromarten, Zündspannung, Schweißspannung, Schweißstrom, magnetische Blaswirkung).
e) Herstellungsfehler und ihre Vermeidung (Einfluß der Lichtbogenlänge, Wirkung zu hoher oder zu geringer Stromstärke, Schlackenführung, Polung, Bearbeitung der Raupenoberfläche).
f) Arten der Zusatzwerkstoffe für Schweißungen in verschiedenen Lagen.
g) Grundzüge der Prüfung von Schweißverbindungen.
h) Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen und Gesundheitsschädigungen.

80 2. Werkstätten-Elektroschweißer.

a) Schweißvorschriften.
b) Wirkungsweise der Schweißapparate (Regelung, Parallelschalten, Polung, Blaswirkung).
c) Herstellungsfehler und ihre Vermeidung (Einfluß der Lichtbogenlänge, Wirkung zu hoher oder zu geringer Stromstärke, Schlackenführung, Polung, Bearbeitung der Raupenoberfläche).
d) Zusatzwerkstoffe (für verschiedene Stähle und Arbeitslagen).
e) Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen und Gesundheitsschädigungen.

3. Selbständige Gasschmelzschweißer. 81

a) Schweißvorschriften.

b) Aufbau und Wirkungsweise der Schweißapparate (Entwicklerverfahren, Wasservorlagen, Brennerbauarten, Gasflaschen, Druckminderventile, Behandlung von Flaschen und deren Inhalt).

c) Eigenschaften der zu verschweißenden Werkstoffe (Kalt- und Warmverformung, Wärmeleitfähigkeit, Schmelzpunkt, Oxydation).

d) Betriebsstoffe und Schweißflamme (Brenngase, Flammentemperatur, Flammeneinstellung, günstigste Schweißzone).

e) Schweißarten und Herstellungsmängel (Rechts-, Linksschweißung, Schweißung mit 2 Brennern an stehender Wand, Gas- und Sauerstoffüberschuß).

f) Arten der Zusatzwerkstoffe.

g) Grundzüge der Prüfung von Schweißverbindungen.

h) Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen und Gesundheitsschädigungen.

4. Werkstätten-Gasschmelzschweißer. 82

a) Schweißvorschriften.

b) Aufbau und Wirkungsweise der Schweißapparate (Entwicklerverfahren, Wasservorlagen, Brennerbauarten, Gasflaschen, Druckminderventile, Behandlung von Flaschen und deren Inhalt).

c) Einfluß der Schweißflamme auf Schweißnahtgüte.

d) Schweißarten und Herstellungsmängel (Rechts-, Linksschweißung, Schweißung mit 2 Brennern an stehender Wand, Gas- und Sauerstoffüberschuß).

e) Zusatzwerkstoffe.

f) Maßnahmen zur Verhütung von Unfällen und Gesundheitsschädigungen.

II. Praktische Prüfung aller Schweißer.

Für die Prüfungsarbeiten sind nur Werkstoffe zu benutzen, die den Werkstoffvorschriften für Land- und Schiffsdampfkessel entsprechen. In der Regel ist Werkstoff M I zu verwenden. Die gemäß II 1a) und b) sowie II 2b) und c) dieses Abschnitts herzustellenden Probestücke müssen so bemessen sein, daß die gemäß Abschnitt D zu untersuchenden Probestäbe und darüber hinaus noch einige Ersatzstäbe entnommen werden können. Eine Nachbehandlung der Probeplatten durch Glühen, Hämmern usw. ist unzulässig*). 83

1. Elektroschweißer. 84

a) Herstellung einer Stumpfschweißnaht an Kesselblech von 15 bis 20 mm Dicke in waagerechter Lage.

b) Herstellung einer Stumpfschweißnaht an Kesselblech von 15 bis 20 mm Dicke in senkrechter Lage.

2. Gasschmelzschweißer. 85

a) Bedienung der Schweißapparatur.

b) Herstellung einer Stumpfschweißnaht an Kesselblech von 15 bis 20 mm Dicke in waagerechter Lage.

c) Herstellung einer Stumpfschweißnaht an Kesselblech von 15 bis 20 mm Dicke in senkrechter Lage.

D. Prüfung der Schweißarbeiten.

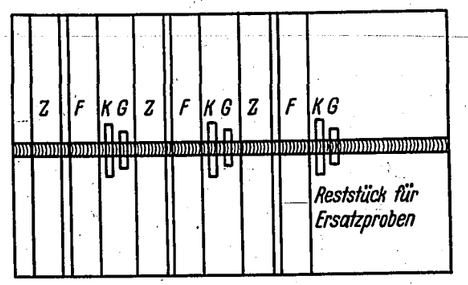
1. Umfang der Prüfung. 86

An den gemäß Abschnitt C II 1a) und 1b) sowie Abschnitt C II 2b) und c) hergestellten Probeplatten sind folgende Versuche durchzuführen:

a) Röntgenprüfung gemäß den geltenden Normen.
b) Zerreißversuche
c) Faltversuche
d) Kerbschlagversuche } je 3 Proben.
e) Gefügeprüfungen

*) Anmerkung: Das Behämmern der Nähte in der Schweißwärme, wie es bei der Gasschmelzschweißung üblich, ist nicht als Nachbehandlung in diesem Sinne, sondern als ein Teil des Schweißvorganges anzusehen.

87 Die Aufteilung der Platten zur Durchführung der Versuche b) bis e) erfolgt erst nach günstigem Ausfall der Röntgenprüfung. Die Anordnung der Proben ist aus der Abbildung ersichtlich.



Z = Zerreißprobe
F = Faltprobe
K = Kerbschlagprobe
G = Gefügeprobe

Aufteilung der Probeplatten.

Für die Vorbereitung der Probestäbe und die Versuchsdurchführung ist Abschnitt D 3 maßgebend.

2. Anforderungen an die Probeschweißungen.

88 a) Zerreißversuch.

α) Waagerechtschweißung } Die Festigkeit der Schweißverbindung muß mindestens der 0,95fachen
β) Senkrechtschweißung } Berechnungsfestigkeit der verwendeten Blechsorte entsprechen.

89 b) Faltversuch. Biegewinkel

α) Waagerechtschweißung: 150°
β) Senkrechtschweißung: 120°

90 c) Kerbschlagversuch. Kerbschlagzähigkeit

α) Waagerechtschweißung: 6 mkg/cm² } DVMR-Probe.
β) Senkrechtschweißung: 5 mkg/cm² }

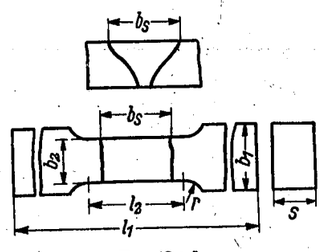
91 d) Gefügeprüfung.

Die Schweißnaht darf nach entsprechender Aetzbehandlung keine größeren Herstellungsfehler wie Einschlüsse und Bindungsfehler erkennen lassen.

3. Vorbereitung der Probestäbe, Durchführung und Auswertung der Prüfung.

92 Bei den Zug-, Biege- und Kerbschlagproben sind die Schweißwülste mit spanabhebenden Werkzeugen bis auf Blechdicke zu entfernen. Angaben über weitere Bearbeitung finden sich in den Abschnitten über die Abmessungen der einzelnen Probestäbe. Die Schweißnähte sind anzuätzen, damit die Meßmarken mit genügender Genauigkeit angebracht werden können und bei Kerbschlagproben die Lage der Bohrung genau festgelegt werden kann.

93 a) Zugversuch, Abmessungen: Gemäß Abbildung und nachstehender Zahlentafel.



Zerreißstab.

Abmessungen in mm.

s	bis 5	über 5 bis 10	über 10 bis 25	über 25 bis 35	über 35 bis 40
l_1	250	250	250	300	350
l_2	Breite der Schweiße b_s + 5 bis 10				
b_1	50	35 bis 40	30	35	40
b_2	40	25 bis 30	20	25	30
r	15	15	15	20	25

Die Stäbe müssen über die Versuchslänge l_2 gleichmäßigen Querschnitt haben. Sie sind so zu 94
bearbeiten, daß die Messung einwandfrei durchgeführt werden kann.

Durchführung: Zerreißgeschwindigkeit höchstens 1 $\frac{kg}{mm^2 \cdot sec.}$ 95

Beobachtung der Streckgrenze aus dem Verhalten des Kraftanzeigers. 96

Auswertung: Festigkeit und, soweit feststellbar, Streckgrenze, Lage des Bruches und besondere 97
Erscheinungen im Bruchaussehen sind im Bericht anzugeben. Ist aus prüftechnischen Gründen eine Beseitigung etwa vorhandener Einbrandkerben oder eine Ausgleichung des Prüfquerschnittes wegen versetzter Blechkanten usw. notwendig, so muß bei der Ermittlung der Streckgrenze und Festigkeit die unbearbeitete Blechdicke zugrunde gelegt werden.

b) Faltversuch.

Abmessungen: Die Breite der Stäbe soll 30 mm betragen. Bei Blechdicken über 30 mm sind die 98
Stäbe auf der Blechseite zu entnehmen, die die größte Breite der Schweiße enthält (Zugseite), und auf der anderen Seite so weit abzuarbeiten, daß die Stabdicke 30 mm beträgt.

Die Kanten der Probestäbe sind innerhalb der Prüflänge mit einem Halbmesser von etwa $^1/_{10}$ 99
der Stabdicke abzurunden. Vor der Biegung sind bei Stäben aus Schmelzschweißung auf der Oberfläche, die die größte Breite der Schweiße enthält, in der Längsmittellinie des Probestabes folgende Meßmarken anzubringen:

1. Je eine Meßmarke auf den beiden Grenzlinien zwischen Schweiße und Grundwerkstoff,
2. eine Meßmarke in der Mitte zwischen den beiden gemäß vorstehender Ziff. 1 angebrachten Marken,
3. je eine Marke rechts und links in 10 mm Abstand von der gemäß vorstehender Ziff. 2 angebrachten Marke (Meßlänge = 20 mm).

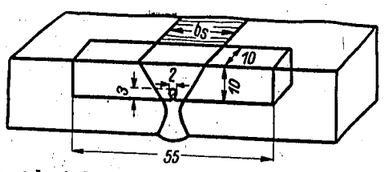
Durchführung: Zu verwenden ist ein Biegedorn mit einem Durchmesser von einfacher Stabdicke. 100
Die lichte Weite zwischen den Auflagerollen soll gleich Dorndurchmesser + 3facher Stabdicke sein. Bei Stabdicken bis zu 12 mm ist ein Auflagerollendurchmesser von 50 mm, bei Stabdicken über 12 mm von 100 mm zu wählen. Bei der Biegung muß die Mitte der Schweiße über der Mitte des Biegedornes, die mit Meßmarken versehene Oberfläche auf der dem Dorn abgewandten, auf Zug beanspruchten Seite liegen.

Die Proben werden bis zum ersten metallischen Anriß, höchstens aber bis zum vorgeschriebenen Biegewinkel gefaltet. Einzelne Porenaufbrüche geringeren Umfanges gelten nicht als Anrisse.

Auswertung: Der erreichte Biegewinkel ist bei entspannter Probe zu messen. Die auf der äußeren 101
Faser (Zugseite) erreichte Dehnung ist auf eine Meßlänge von 20 mm anzugeben.

c) Kerbschlagversuch.

Abmessungen: Die Probestäbe sind gemäß Abbildung (DVMR-Probe) herzurichten. 102



Kerbschlagstab mit dem Bruchquerschnitt in der Mitte der Schweißnaht.

103 Die Probe kann auch für Blechdicken bis zu 7 mm herab benutzt werden, wobei die Kerbtiefe beibehalten werden muß.

104 Der Kerbschlagversuch ist bei Wanddicken unter 10 mm herab bis zu 7 mm studienhalber durchzuführen. Dabei empfiehlt sich die Entnahme von Vergleichskerbschlagproben aus dem vollen Blech. In solchen Fällen ist die Kerbtiefe gemäß Abb. 3 beizubehalten.

105 Durchführung: Die Prüfung ist bei Raumtemperatur unter Verwendung eines für die Probenform geeigneten Pendelschlagwerkes durchzuführen; sein Arbeitsvermögen und die Prüftemperatur sind im Bericht anzugeben.

106 Auswertung: Die Kerbschlagzähigkeit ist in mkg/cm² anzugeben. Besondere Erscheinungen im Bruchaussehen sind im Bericht zu beschreiben.

d) Gefügeuntersuchung.

107 Abmessungen: Außer der vollständigen Schweißnaht soll die Gefügeprobe mindestens noch etwa 10 bis 15 mm Blechwerkstoff zu beiden Seiten der Naht enthalten.

Die Schweißwülste sind nicht abzuarbeiten.

108 Durchführung: Bei allen 3 Gefügeproben ist zunächst durch entsprechende Aetzung das Grobgefüge sichtbar zu machen und auf etwaige Herstellungsmängel hin zu prüfen. Daraufhin sind die Proben nach entsprechender Vorbereitung der Feingefügeprüfung zu unterziehen, die sich auf die Untersuchung der Schweiße, der Uebergangszone und des Grundwerkstoffes zu erstrecken hat.

109 Auswertung: Das Ergebnis der makro- und mikroskopischen Untersuchungen ist im Bericht niederzulegen.

E. Bescheinigung.

110 Dem Schweißer wird nach erfolgreicher Prüfung von hierzu ermächtigten Stellen die Eignung als Gas- bzw. Elektroschmelzschweißer bescheinigt. Eine Ausfertigung des Prüfungsergebnisses und die Unterlagen der Prüfung sind der Technischen Ueberwachungsstelle zur Verfügung zu stellen, in deren Bezirk der Schweißer angestellt ist oder sich selbständig gemacht hat.

111

Zeugnis.

(Vor- und Zuname) .....

geboren zu: .....

hat die Eignung als Gasschmelzschweißer — Elektroschmelzschweißer[1]) gemäß den Bestimmungen für die Ausbildung und Prüfung von Kesselschweißern nachgewiesen.

Seine Ausbildung erfolgte durch: .....

....., den .....

(Siegel.)[2])

---

[1]) Nichtzutreffendes ist zu streichen.
[2]) Stempel der Prüfstelle mit Namen des Prüfenden und dessen Dienststellung
und
Siegel der zuständigen Technischen Ueberwachungsstelle mit Namen und Dienststellung des bei der Prüfung anwesenden Sachverständigen.

III/3 Anweisung für die Durchführung von Arbeitsprüfungen an geschweißten Schüssen und Trommeln mit einer Schweißnahtwertigkeit über 0,7 bis 0,9.

Bei den in Ausnahmegenehmigungen, betreffend die Höherbewertung von Schweißungen bis zu v = 0,9, vorgeschriebenen Arbeitsprüfungen ist allgemein gemäß nachstehender Anweisung zu verfahren: 112

A. Umfang.

Die Arbeitsprüfung umfaßt:

I. Zerstörungsfreie Prüfung der Längs- und Rundnähte. Bei Schmelzschweißungen ist in der Regel das Röntgenverfahren gemäß den geltenden Normen anzuwenden. 113

II. Güteprüfung der Schweißung an Probeplatten, die zusammen mit dem Werkstück im Verlaufe einer Längsnaht geschweißt worden sind. 114

Bei der Prüfung II sind folgende Versuche durchzuführen:

a) Zugversuch
b) Faltversuch
c) Kerbschlagversuch
d) Gefügeprüfung

B. Anzahl und Entnahme der Probeplatten

a) bei den ersten 6 Schüssen:

Bei erstmaliger Erteilung einer Ausnahmegenehmigung oder bei Erweiterung bestehender Ausnahmen durch Einbeziehung neuer Werkstoffarten oder -sorten sind an beiden Enden der ersten 6 Schüsse Probeplatten mitzuschweißen und zu prüfen. Soweit nicht in der Ausnahmegenehmigung der Umfang der ersten 6 Arbeitsprüfungen durch besondere Bedingungen festgelegt ist, sind jeder Probeplatte die im Abschnitt C genannten Proben zu entnehmen. 115

Die für diese Arbeitsprüfungen erforderlichen 12 Probeplatten sind aus einer der für das Werkstück bestimmten Blechtafeln zu entnehmen.

b) bei dem 7. und den weiteren Werkstücken:

Die Entscheidung über die Entnahmestellen und die Anzahl der Probeplatten ist davon abhängig, ob die Festigkeit und die Anteile der nachstehenden Elemente im Werkstoff unter oder über den angegebenen Werten liegen: 116

Festigkeit: 56 kg/mm²

Anteile: entweder: C 0,25% / Mn 0,8% / Si 0,4% / Ni 0,3% / Cr 0,2% / Cu 0,3% / Mo 0,5% / Va 0,2% — zusammen aber nicht mehr als 0,3%

oder C 0,2% / Mn 1,2%

Auf Verlangen der zuständigen technischen Ueberwachungsstelle und nach deren Ermessen ist der Nachweis der tatsächlichen Anteile im Werkstück zu erbringen.

I. Für Werkstücke, bei denen die Festigkeit und die Anteile die vorstehenden Werte nicht überschreiten, gilt folgendes: 117

1. Entnahme: Die Probeplatten können aus Blechen der gleichen Art und Festigkeitsgruppe und etwa gleicher Dicke entnommen werden, wobei Abweichungen von ± 5 mm zulässig sind. Die Wanddicke der Probeplatten soll jedoch mindestens 20 mm betragen. Die Festigkeitseigenschaften der Bleche, aus denen die Probeplatten entnommen werden, müssen gemäß den Werkstoffvorschriften für Landdampfkessel nachgewiesen werden.

2. Anzahl der Probeplatten: Bei Trommeln oder Mänteln, die nur aus einem Schuß bestehen, ist eine Probeplatte mitzuschweißen. Bei Trommeln oder Mänteln aus 2 oder mehreren Schüssen sind 2 Probeplatten, und zwar je eine in Fortsetzung der Naht des zuerst und des zuletzt hergestellten Schusses mitzuschweißen.

II. Für Werkstücke, bei denen die Festigkeit und die Anteile die obengenannten Werte überschreiten, gilt folgendes: 118

1. Entnahme der Probeplatten: Die Probeplatten sind aus einer der für das jeweilige Werkstück bestimmten Blechtafeln zu entnehmen.

2. Anzahl der Probeplatten: In Fortsetzung der Naht eines jeden Schusses ist eine Probeplatte mitzuschweißen, beispielsweise sind bei einem Werkstück, das aus 3 Schüssen besteht, 3 Probeplatten mitzuschweißen.

119 Der Uebersichtlichkeit wegen sind Anzahl und Entnahmestellen der Probeplatten nachfolgend zusammengestellt:

Anzahl der Probeplatten

Festigkeit und Anteile im Werkstoff		überschreiten nicht die unter b) genannten Werte	überschreiten die unter b) genannten Werte
1. bis 6. Schuß:		Je Schuß 2 Probeplatten (erweiterte Arbeitsprüfung)	
Weitere Werkstücke	aus einem Schuß:	Je Schuß eine Probeplatte	
	aus 2 und mehreren Schüssen	Je Trommel oder Mantel 2 Probeplatten	Je Schuß 1 Probeplatte

Entnahme der Probeplatten

Festigkeit und Anteile im Werkstoff	überschreiten nicht die unter b) genannten Werte	überschreiten die unter b) genannten Werte
1. bis 6. Schuß:	Aus einer der für das Werkstück bestimmten Blechtafeln	
Bei den weiteren Werkstücken:	Aus Blechen gleicher Festigkeitssorte und etwa gleicher Dicke (Abweichungen von ± 5 mm sind zulässig, jedoch Mindestwanddicke der Probeplatte = 20 mm)	Aus einer der für das Werkstück bestimmten Blechtafeln

120 Jede Probeplatte ist so zu bemessen, daß quer zur Schweißnaht je 4 Zerreiß-, Biege-, Kerbschlag- und Gefügeproben für die gemäß Abschnitt E durchzuführende Güteprüfung entnommen werden können. Die Abmessungen der Stäbe für die einzelnen Versuchsarten sind im Abschnitt E festgelegt.

C. Schweißung der Probeplatten und Entnahme der Probestäbe.

121 Die Probebleche sind so an die Werkstücke anzuheften, daß eine Längsnaht des Werkstückes in der Naht der Probebleche ihre Fortsetzung findet.

122 Die Schweißung der Probebleche hat im Zusammenhang mit der Herstellung der letzten rund 300 mm Schweißnaht des Schweißstückes zu erfolgen; dabei ist mindestens ein Probeblechpaar in Gegenwart des Ueberwachungsingenieurs zu schweißen.

123 Aus jeder geschweißten Probeplatte sind je 3 Probestäbe für den Zug-, Kaltbiege- und Kerbschlagversuch und die Gefügeuntersuchung abwechselnd nebeneinanderliegend anzureißen und vom Ueberwachungsingenieur abzustempeln. Die Proben müssen senkrecht zur Schweißnaht liegen und die Naht in der Mitte ihrer Prüflänge enthalten. Das übrige Stück der Platte ist ebenfalls zu stempeln und so zu kennzeichnen, daß ohne weiteres seine Zugehörigkeit festgestellt werden kann. Dieses Reststück dient nötigenfalls zur Entnahme von Ersatzproben (s. Abschn. D). Ueber die Aufbewahrung der untersuchten Proben und des Reststückes vergleiche Abschn. J.

D. Entnahme von Ersatzproben.

124 1. Wenn einer von den 3 Probestäben einer oder mehrerer Versuchsarten nicht das geforderte Ergebnis hat, sind als Ersatz für jeden Fall eines solchen Fehlversuchs aus dem restlichen Teil des Probebleches 2 weitere gleichartige Probestäbe zu entnehmen und zu prüfen. Die Prüfbedingungen gelten als erfüllt, wenn die Ersatzprobestäbe den gestellten Anforderungen genügen.

2. Ist der ungünstige Ausfall bei einem der drei für jede Versuchsart entnommenen Probestäbe offensichtlich auf eine engbegrenzte, für die Beurteilung der Schweißnahtgüte belanglose Fehlstelle zurückzuführen, so kann dieses Ergebnis bei der Entscheidung über die Erfüllung der Vorschriften von dem Sachverständigen außer Betracht gelassen werden. In solchen Fällen ist für jeden nicht genügenden Probestab ein Ersatzstab zu entnehmen, dessen Prüfung den Anforderungen genügen muß. 125

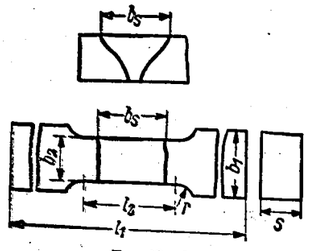
3. Sind die Bedingungen im Absatz D 1 nicht erfüllt, so hat der Sachverständige sämtliche Prüfergebnisse mit seiner gutachtlichen Aeußerung dem Schweißausschuß des DDA (Geschäftsstelle beim Reichsverband der Technischen Ueberwachungs-Vereine, Berlin-Grunewald, Hagenstr. 56) zur Beurteilung des Falles zu unterbreiten. 126

E. Güteprüfung.

Bei den Zug-, Biege- und Kerbschlagproben aus Schmelzschweißungen sind die Schweißwülste mit spanabhebenden Werkzeugen bis auf Blechdicke zu entfernen. Ueber eine weitere Bearbeitung der Zerreißstäbe vgl. letzten Absatz des Abschnitts E 1. Die Schweißnähte sind anzuätzen, damit die Meßmarken mit genügender Genauigkeit angebracht werden können und bei Kerbschlagproben die Lage der Bohrung genau festgelegt werden kann. 127

1. Zugversuch

Abmessungen: Gemäß Abbildung 128



Zerreißstab.

s =	über 10 bis 25	über 25 bis 35	über 35 bis 40	über 40 bis 50 mm
l_1 ≥	250	300	350	400 mm
l_2 =	Breite der Schweiße $b_s + 5$ ÷ 10 mm			
b_1 ≥	30	35	40	40 mm
b_2 ≥	20	25	30	30 mm
r ≥	15	20	25	30 mm

Bei Wanddicken über 30 bis 75 mm können Stäbe mit den Abmessungen s = 50, $l_1 \geqq 400$ mm, $l_2 = b_s + 5$ ÷ 10 mm, $b_1 = 40$ mm, $b_2 = 30$ mm, r = 30 mm entnommen werden, wenn andernfalls die erforderliche Bruchlast über der Leistungsfähigkeit der zur Verfügung stehenden Zerreißmaschine liegen würde. In diesem Falle sind die Stäbe so zu entnehmen, daß sie abwechselnd an der Ober- bzw. Unterfläche der Platte liegen. 129

Bei Wanddicken über 75 mm hat der Sachverständige zu entscheiden, ob die Entnahme eines Stabes je Probestreifen genügt, oder ob etwa mit Rücksicht auf mögliche Verschiedenheiten in den Gütseigenschaften innerhalb des Querschnittes der Schweißung 2 übereinanderliegende Probestäbe entnommen werden müssen. Die Wahl der Stabdicke bleibt dann dem Sachverständigen überlassen. Die Stababmessungen müssen aber im übrigen der Zahlentafel zur Abb. entsprechen. 130

Die Stäbe müssen über die Versuchslänge l_2 gleichmäßigen Querschnitt haben. Sie sind so zu bearbeiten, daß die Messung einwandfrei durchgeführt werden kann. 131

Bei Wassergasschweißungen ist für b_s die Breite der Ueberlappung maßgebend. Bei Proben aus solchen Schweißungen ist zunächst in Abständen von 10 mm über die Breite der Schweiße die Dicke zu messen und danach der Stab auf die kleinste Dicke gleichmäßig zu bearbeiten. Diese Ausmessung ist notwendig, weil es bei Preßschweißungen häufig nicht zu vermeiden ist, daß innerhalb der Schweißung eine Minderung der Blechdicke eintritt. 132

Durchführung: Zerreißgeschwindigkeit höchstens 1 $\frac{kg}{mm^2\ sec}$; 133

Beobachtung der Streckgrenze aus dem Verhalten des Kraftanzeigers. 134

Auswertung: Festigkeit und soweit feststellbar Streckgrenze. Lage des Bruches und besondere Erscheinungen im Bruchaussehen sind im Bericht anzugeben. Ist aus prüftechnischen Gründen eine Beseitigung etwa vorhandener Einbrandkerben oder eine Ausgleichung des Prüfquerschnittes wegen versetzter Blechkanten usw. notwendig, so muß bei der Ermittlung der Streckgrenze und Festigkeit die unbearbeitete Blechdicke zugrunde gelegt werden. 135

2. Faltversuch.

Abmessungen: Die Breite der Stäbe soll 30 mm betragen. Bei Blechdicken über 30 mm sind die Stäbe auf der Blechseite zu entnehmen, die die größte Breite der Schweiße enthält (Zugseite), und auf der anderen Seite so weit abzuarbeiten, daß die Stabdicke 30 mm beträgt. Für die Entnahme von Biegestäben aus Blechen mit mehr als 75 mm Wanddicke gelten sinngemäß die für Zerreißstäbe unter E 1 festgelegten Bestimmungen. 136

Die Kanten der Probestäbe sind innerhalb der Prüflänge mit einem Halbmesser von etwa $^1/_{10}$ der Stabdicke abzurunden. Vor der Biegung sind bei Stäben aus Schmelzschweißung auf der Oberfläche, die die größte Breite der Schweiße enthält, in der Längsmittellinie des Probestabes folgende Meßmarken anzubringen: 137

1. Je eine Meßmarke auf den beiden Grenzlinien zwischen Schweiße und Grundwerkstoff.
2. Eine Meßmarke in der Mitte zwischen den beiden gemäß vorstehender Ziffer 1 angebrachten Marken.
3. Rechts und links von der gemäß vorstehender Ziffer 2 angebrachten Mittelmeßmarke weitere Meßmarken in Abständen von je 10 mm über eine Länge von
   20 mm bei Schmelzschweißungen,
   100 mm bei Wassergasschweißungen.

Durchführung: Zu verwenden ist ein Biegedorn mit einem 138
⌀ = 1facher Stabdicke bei Blechsorte I (35 bis 44 kg/mm²),
⌀ = 2facher Stabdicke bei Blechsorten II und III (41 bis 53 kg/mm²),
⌀ = 3facher Stabdicke bei Blechsorte IV (47 bis 56 kg/mm²).

Die lichte Weite zwischen den Auflagerollen soll gleich Dorndurchmesser + 3facher Stabdicke sein. Bei Stabdicken bis zu 12 mm ist ein Auflagerollen-⌀ von 50 mm, über 12 mm von 100 mm zu wählen. Bei der Biegung muß die Mitte der Schweiße über der Mitte des Biegedornes, die mit Meßmarken versehene Oberfläche auf der dem Dorn abgewandten, auf Zug beanspruchten Seite liegen. 139

Die Proben werden bis zum ersten metallischen Anriß, höchstens aber bis zu einem Winkel von 180° gebogen. Einzelne Porenaufbrüche geringeren Umfanges gelten nicht als Anrisse. 140

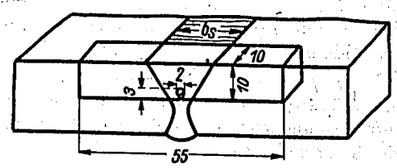
Auswertung: Der erreichte Biegewinkel ist bei entspannter Probe zu messen. Die auf der äußeren Faser (Zugseite) erreichte Dehnung ist anzugeben. Als Meßlänge gilt für Schmelzschweißungen 20 mm, auf der Schweiße gemessen, und bei Wassergasschweißungen 100 mm. 141

3. Kerbschlagversuch

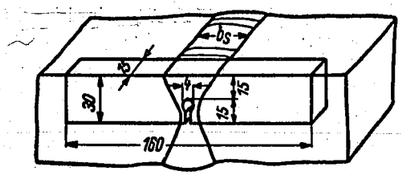
Abmessungen: Die Probestäbe sind tunlichst gemäß Abb. a) (DVMR-Probe) herzurichten. 142

Kerbschlagstäbe.

a) Für alle Blechdicken s ≧ 10 mm
Auflagelänge = 40 mm



b) Für Blechdicken s ≧ 30 mm Auflagelänge = 120 mm



Soweit Vergleichsversuche mit früheren Ergebnissen für erforderlich gehalten werden, können zusätzlich Probestäbe gemäß Abb. b) untersucht werden. *143*

Es ist darauf zu achten, daß der Kerb möglichst genau in der Mitte der Schweiße liegt. Die Kerbbohrung muß parallel zur Blechoberfläche verlaufen (s. Abb.). *144*

Durchführung: Prüfung bei Raumtemperatur unter Verwendung eines für die Probenform geeigneten Pendelschlagwerkes, sein Arbeitsvermögen und die Prüftemperatur sind im Bericht anzugeben. *145*

Auswertung: Kerbschlagzähigkeit in mkg/cm². Besondere Erscheinungen im Bruchaussehen sind im Bericht zu beschreiben. *146*

4. Gefügeuntersuchung.

Abmessungen: Außer dem Querschnitt der vollständigen Schweißnaht soll die Gefügeprobe mindestens noch etwa 10 bis 15 mm Blechwerkstoff zu beiden Seiten der Naht enthalten. *147*

Die Schweißwülste sind nicht abzuarbeiten. *148*

Durchführung: Bei allen 3 Gefügeproben ist zunächst durch entsprechende Aetzung das Grobgefüge sichtbar zu machen und auf etwaige Herstellungsmängel hin zu prüfen. Daraufhin sind die Proben nach entsprechender Vorbereitung der Feingefügeprüfung zu unterziehen, die sich auf die Untersuchung der Schweiße, der Uebergangszone und des Grundwerkstoffes zu erstrecken hat. Notwendig sind: 1 photographische Aufnahme der ganzen Schliffläche sowie mikrophotographische Aufnahmen der Gefügebeschaffenheit der Schweiße, der Uebergangszone und des Grundwerkstoffes an mindestens einer der drei Proben in 200facher Vergrößerung. Bei Sonderschweißverfahren ist unter Umständen die Wiedergabe einzelner Nahtstellen bei stärkerer Vergrößerung erforderlich. *149*

Auswertung: Das Ergebnis der makro- und mikroskopischen Untersuchung ist im Bericht niederzulegen. *150*

F. Anforderungen bei der Güteprüfung.

Zugversuch: Die Festigkeit der Schweißverbindung muß mindestens das 0,95fache der Berechnungsfestigkeit der verwendeten Blechsorte betragen. *151*

Faltversuch: Die Proben müssen sich um 180° ohne Anriß biegen lassen. Porenaufbrüche geringeren Umfanges sind nicht als Anriß zu werten. *152*

Kerbschlagversuch: *153*

Blechsorten:	I. u. II	III u. IV
Werkstoffestigkeit:	35—50	44—56 kg/mm²
Kerbschlagzähigkeit: Probe gem. Abb. a) (DVMR-Probe)	8	6 mkg/cm²
Probe gem. Abb. b)	12	9 mkg/cm²

Gefügeprüfung: Schweißnaht, Uebergangszone und Blechwerkstoff müssen ein einwandfreies Gefüge aufweisen und auch sonst frei von Gefügebestandteilen sein, welche eine Schädigung der Schweißverbindung erwarten lassen. *154*

G. Röntgenuntersuchung.

155 Längs- und Rundnähte sind einer zerstörungsfreien Prüfung zu unterwerfen.

156 Bei Schmelzschweißungen ist in der Regel das Röntgenverfahren gemäß den bestehenden Normen anzuwenden. Insbesondere sind bei jeder Aufnahme genormte Drahtstege (Testkörper) zu benutzen. Die Röntgenuntersuchung soll erst stattfinden, nachdem Längs- und Rundnähte gemäß den Bedingungen der Ausnahmegenehmigung bearbeitet sind.

157 Die Filme und die Schweißnähte sind so zu kennzeichnen, daß zu jedem Filmpunkt die betreffende Stelle des zugehörigen Werkstückes jederzeit ermittelt werden kann. Die Filme sind von dem Ueberwachungsingenieur bei der Abnahmeprüfung abzustempeln.

H. Ergänzungsversuche.

158 Weitere Versuche, z. B. Faltversuche mit der Schweißnahtwurzel auf der Zugseite, Abschreckbiegeversuche, Kerbschlagversuche mit dem Bruchquerschnitt in der Uebergangszone, oder Röntgenuntersuchungen in verschiedenen Durchstrahlungsrichtungen, sind nach dem Ermessen des zuständigen Ueberwachungsingenieurs durchzuführen, soweit sie in besonderen Fällen von diesem für die Beurteilung der Schweißung für erforderlich gehalten werden. Bei solchen Versuchen sind die „Richtlinien für die Durchführung von Verfahrensprüfungen“ zu beachten.

J. Aufbewahrung der Probestäbe und des restlichen Teiles der Probeplatten.

159 Die geprüften Stäbe und die benötigten Teile der Probeplatten sind mindestens 4 Jahre lang aufzubewahren, damit eine Nachprüfung der Schweißnaht möglich ist, falls sich bei späteren Untersuchungen Schweißnahtmängel ergeben.

IV. Berechnung der Wanddicken zylindrischer Dampfkesselwandungen mit innerem Ueberdruck.

1. Bezeichnet

1 s die Blechdicke in mm,
D den größten Innendurchmesser des Kesselmantels in mm,
p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,
K_z die Berechnungsfestigkeit des zu dem Mantel verwendeten Bleches in kg/mm²,
x einen Zahlenwert,
v das Verhältnis der Mindestfestigkeit der Längsnaht zur Zugfestigkeit des vollen Bleches (für Schweißungen siehe besonderen Abschnitt),

dann ist

$$s = D\,\frac{p \cdot x}{200\,K_z \cdot v} + 1\text{ mm oder } p = \frac{200\,K_z \cdot v\,(s-1)}{D \cdot x}.$$

2 Hierin sind zu wählen:

$K_z = 33$ kg/mm² bei Schweißstahl,
$K_z = 36$ kg/mm² bei Flußstahl von 35 bis 44 kg/mm² Zugfestigkeit,
$K_z = 41$ kg/mm² bei Flußstahl von 41 bis 50 kg/mm² Zugfestigkeit,
$K_z = 44$ kg/mm² bei Flußstahl von 44 bis 53 kg/mm² Zugfestigkeit,
$K_z = 47$ kg/mm² bei Flußstahl von 47 bis 56 kg/mm² Zugfestigkeit,
$x = 4{,}75$ bei überlappten oder bei einseitig gelaschten Nähten,
$x = 4{,}25$ bei einreihigen doppeltgelaschten Nähten sowie bei zweireihigen, deren eine Lasche nur einreihig genietet ist, und bei geschweißten Nähten,
$x = 4$ bei mehrreihigen doppeltgelaschten Nähten und bei nahtlosen Schüssen.

3 Bei nahtlosen oder geschweißten Kesseltrommeln, die im Betriebe keine Wärme unmittelbar aus den Heizgasen aufnehmen können, ist es zulässig, den Berechnungswert K_z/x durch einen Wert k zu ersetzen, wobei die folgenden Bedingungen zu erfüllen sind:

a) Der Wert k ist so zu wählen, daß bei nahtlosen Schüssen mindestens eine 1,5fache Sicherheit, bei geschweißten Nähten mindestens 1,6fache Sicherheit gegen den gewährleisteten Wert der Warmstreckgrenze des Werkstoffes bzw. der Schweißverbindung vorhanden ist. Bei Genehmigungsdrücken bis 60 atü ist der gewährleistete Wert der Streckgrenze des Werkstoffes bzw. der Schweißverbindung bei 300°, darüber derjenige bei 350° einzusetzen.

b) Die Wanddicke der Schüsse im Rohrfeld darf 25 mm nicht unterschreiten.

4 Die Warmstreckgrenzen sind vom Sachverständigen nach den geltenden Normen nachzuprüfen. Die Proben hierfür sind aus der Querrichtung vom Fußende der Trommeln bzw. quer zur Schweißnaht zu entnehmen.

5 Der Zuschlag von 1 mm kann bei einer Blechdicke von über 30 mm auf 0,5 mm vermindert werden, bei einer Blechdicke von über 40 mm ganz in Fortfall kommen.

6 Wenn bei hohem Schwefel- und Wassergehalt der Kohle mit über das übliche Maß hinausgehenden Anfressungen oder bei stark sandiger Braunkohle mit einer Schwächung der Kesselwandung durch sandhaltige Rauchgase zu rechnen ist, so ist dies bei der Wandstärkenbemessung zu berücksichtigen.

7 2. Der Wert $x = 4$ kann auch dann in die Rechnung eingeführt werden, wenn bei drei- und mehrreihigen Doppellaschennietungen die eine Lasche eine Nietreihe weniger besitzt als die andere. Sind in zylindrischen oder annähernd zylindrischen Kesseltrommeln Rohre eingewalzt (Steilrohrkessel usw.), so kann nur dann mit dem Mindestwert $x = 4$ gerechnet und die Zugfestigkeit aller Stege des schwächsten Querschnittes berücksichtigt werden, wenn das Einwalzen mit großer Sorgfalt geschieht.

3. Die Blechdicke soll nicht kleiner als 7 mm genommen werden; nur bei kleinen Kesseln (z. B. für Feuerspritzen oder Kraftfahrzeuge) sind allenfalls dünnere Bleche zulässig. 8

4. Bleche, die eine höhere Zugfestigkeit als 44 kg/mm² besitzen, dürfen zu Mantelteilen nur verwendet werden, wenn die Verarbeitung kalt oder rotwarm stattfindet, wenn die Kanten gehobelt, gedreht, gefräst oder — mangels anderer Möglichkeit der Bearbeitung — gemeißelt werden, und wenn ihre Verbindung in den Längsnähten bei Nietung durch Doppellaschennietung erfolgt. 9

5. Unterschreitungen der Wanddicken, die innerhalb der in den Werkstoffvorschriften für Landdampfkessel bezeichneten zulässigen Grenzen bleiben, werden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. 10

6. Die Zugbeanspruchung des Bleches darf unter Annahme gleichmäßiger Spannungsverteilung über den Querschnitt in keiner Nietreihe die Grenze $\frac{K_z}{x}$ überschreiten. 11

7. Die Scherfestigkeit des Schweißstahls und des Kupfers kann zu 0.80, die des Flußstahles zu 0.85 der zugehörigen Zugfestigkeit angenommen werden. 12

V. Berechnung der Wanddicken von Dampfkesselflammrohren mit äußerem Ueberdruck.

V A. Allgemeines.

1 Schweißnähte sollen an die Stelle gelegt werden, an der sie am wenigsten durch Einwirkung von Heizgasen und Wärmespannungen beansprucht werden.

2 Bei nicht im ersten Feuerzuge liegenden Flammrohren (Gastemperatur unter 700°) kann bei Verwendung der Blechsorte II die nach den Formeln errechnete Blechdicke im Verhältnis 36/41 verringert werden.

V B. Glatte und versteifte Rohre.

3 1. Bezeichnet
- s die Blechdicke in mm,
- d den Innendurchmesser zylindrischer Flammrohre, bei kegeligen Flammrohren den mittleren Innendurchmesser in mm,
- p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,
- a einen Zahlenwert,
- l die Länge des Flammrohres in mm, gegebenenfalls die größte Entfernung der wirksamen Versteifungen voneinander,

dann ist

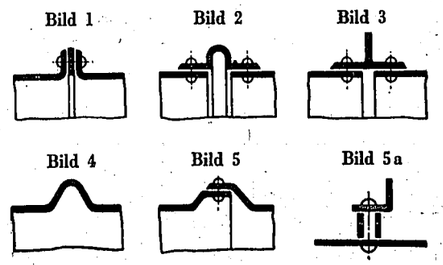
$$s = \frac{p \cdot d}{2400}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{a\,l}{p\,(l + d)}}\right) + 2 \text{ mm}.$$

4 Hierin ist zu wählen:

a = 100 für Rohre mit überlappter Längsnaht	bei liegenden Flammrohren
a = 80 für Rohre mit gelaschter oder geschweißter Längsnaht	
a = 75 für Rohre ohne Naht oder mit geschweißter Längsnaht, deren Unrundheit 1 v. H. des Soll-Durchmessers nicht überschreitet	
a = 70 für Rohre mit überlappter Längsnaht	bei stehenden Flammrohren
a = 50 für Rohre mit gelaschter oder geschweißter Längsnaht	
a = 45 für Rohre ohne Naht oder mit geschweißter Längsnaht, deren Unrundheit 1 v. H. des Soll-Durchmessers nicht überschreitet	

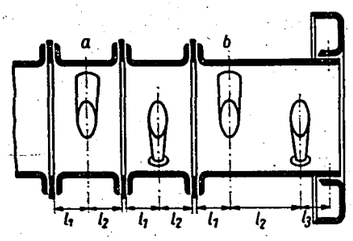
5 Wenn bei hohem Schwefel- und Wassergehalt der Kohle mit über das übliche Maß hinausgehenden Anfressungen oder bei stark sandiger Braunkohle mit einer Schwächung der Kesselwandung durch sandhaltige Rauchgase zu rechnen ist, so ist dies bei der Wandstärkenbemessung zu berücksichtigen.

6 Als wirksame Versteifungen gelten neben den Stirnplatten und den Rohrwänden vorzugsweise folgende Bauarten:



7 Die Ausführung nach Bild 5 gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, daß die Abkröpfung nicht weniger als etwa 50 mm beträgt, und die Ausführung nach Bild 5a nur unter der Voraussetzung, daß die Entfernung der Nieten voneinander nicht größer als 150 mm und die Entfernung zwischen Winkel und Blech nicht kleiner als 25 mm ist.

2. Die Länge l derjenigen Rohrstrecken, welche von Quersiedern durchdrungen werden, kann man wie folgt annehmen: 8

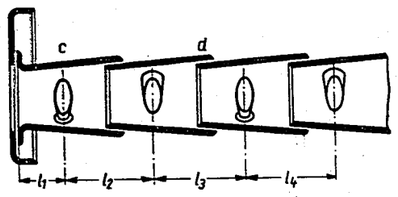


bei der Rohrstrecke a

$l = l_1 + 0{,}5\, l_2$, sofern l_1 die größere Strecke,

bei der Rohrstrecke b

$l = l_1 + l_2$, sofern l_1 größer als l_3, andernfalls tritt l_3 an die Stelle von l_1,



bei der Rohrstrecke c

$l = l_1 + l_2$,

bei der Rohrstrecke d

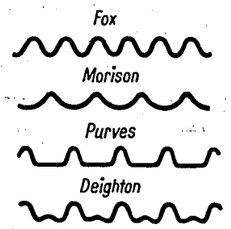
$l = l_2 + l_3$ beziehungsweise $l = l_3 + l_4$.

3. Sind mit Rücksicht auf die Größe, die Befestigungsweise, den Durchdringungsort des Querrohrs usw. Zweifel vorhanden, ob es in ausreichendem Maße versteifend einwirkt, so ist es ratsam, für l die volle Länge einzusetzen, also von einer rechnungsmäßigen Berücksichtigung der versteifenden Wirkung der Querrohre abzusehen. 9

V C. Wellrohre und gerippte Rohre.

10

Systeme:



1. Bezeichnet 11

s die Blechdicke in mm,
d den kleinsten inneren Flammrohr-Durchmesser in mm,
p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,

dann ist

$$s = \frac{p \cdot d}{1200} + 2 \text{ mm}.$$

Wenn bei hohem Schwefel- und Wassergehalt der Kohle mit über das übliche Maß hinausgehenden Anfressungen oder bei stark sandiger Braunkohle mit einer Schwächung der Wandungen durch sandhaltige Rauchgase zu rechnen ist, so ist dies bei der Wandstärkenbemessung zu berücksichtigen. 12

2. Die Blechdicke soll nicht kleiner als 7 mm genommen werden; nur bei kleinen Kesseln (z. B. für Feuerspritzen oder Kraftfahrzeuge) sind allenfalls dünnere Bleche zulässig. 13

Da bei der Herstellung gewellter Flammrohre der gerade Teil des Rohres ohnehin stärker verbleibt (in der Regel um etwa 1,5 mm) als der gewellte Teil, braucht dieser gerade Teil nicht nach der Formel für glatte Flammrohre berechnet zu werden, sofern seine Länge von Mitte der Nietreihe bis zum Beginn der ersten Welle 250 mm nicht übersteigt. 14

VI. Berechnung der Dicken ebener Wandungen.

VI A. Allgemeines.

1 Die folgenden Angaben gelten für ebene Wandungsteile, die einzeln auftreten und keine Löcher, Anschlußstutzen usw. enthalten. Sind solche vorhanden oder bestehen Kesselteile aus mehreren aneinanderstoßenden ebenen Wandungen, z. B. Vierkantrohre, so ist dem besonders Rechnung zu tragen.

2 Die angegebenen Werte für das Festsitzen eingewalzter Rohre gelten für ebene Wände. In anderen Fällen ist der Gestalt der Rohrwand in geeigneter Weise Rechnung zu tragen.

VI B. Ebene Platten.

3 1. Bezeichnet

s die Blechdicke in mm,
p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,
a den Abstand der Stehbolzen oder Anker innerhalb einer Reihe voneinander in mm,
b den Abstand der Stehbolzen oder Ankerreihen voneinander in mm,
c einen Zahlenwert,

dann ist

$$s = c \cdot \sqrt{p\,(a^2 + b^2)}$$

4 Hierin ist zu wählen:

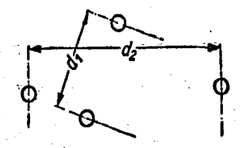
c = 0,017 bei Platten, in welche die Stehbolzen oder Anker eingeschraubt und vernietet sind, und welche von den Heizgasen und vom Wasser berührt werden,
c = 0,015, wenn solche Platten nicht von den Heizgasen berührt werden,
c = 0,0155 bei Platten, in welche die Stehbolzen oder Anker eingeschraubt und außen mit Muttern oder gedrehten Köpfen versehen sind, und welche von den Heizgasen und vom Wasser berührt werden,
c = 0,0135, wenn solche Platten nicht von den Heizgasen berührt werden,
c = 0,014 bei Platten, welche durch Ankerrohre versteift sind.

5 2. Bei Platten, deren Anker mit Muttern und Verstärkungsscheiben versehen sind, ist in der Gleichung

c = 0,013, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $^2/_5$ der Ankerentfernung und die Scheibendicke $^2/_3$ der Plattendicke,
c = 0,012, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $^3/_5$ der Ankerentfernung und die Scheibendicke $^5/_6$ der Plattendicke,
c = 0,011, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $^4/_5$ der Ankerentfernung, auch diese mit der Platte vernietet und die Scheibendicke gleich der Plattendicke ist

und die Platten nicht vom Feuer berührt sind. Werden sie dagegen auf der einen Seite von den Heizgasen, auf der anderen Seite vom Dampfe berührt, dann sind sie, falls sie nicht durch Flammbleche geschützt werden, um $^1/_{10}$ dicker zu nehmen, als die Rechnung ergibt.

6 3. Bei unregelmäßig verteilten Verankerungen wie in der Abbildung



ist $s = c \cdot \frac{1}{2}\,(d_1 + d_2)\sqrt{p}$

7 Der Wert von c ist je nach der Art der Verankerung aus Ziffer 1 oder 2 dieses Abschnitts zu entnehmen.

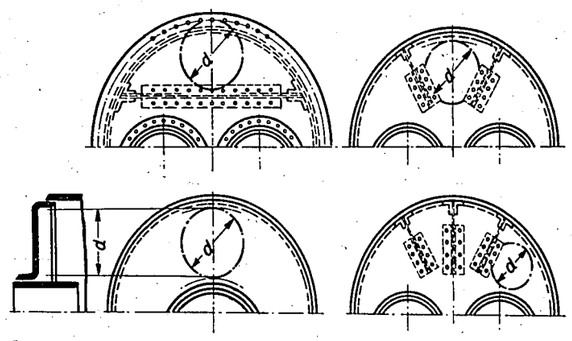
8 4. Für Verstärkungen nicht dem ersten Feuer ausgesetzter ebener Platten durch Doppelungsplatten können 12½ v. H. von den für die ebenen Platten sich ergebenden Blechdicken in Abzug gebracht werden, wenn die Dicke der Doppelungsplatten mindestens $^2/_3$ der berechneten Blechdicke beträgt und die Doppelungen gut mit den Platten vernietet sind.

5. Rechteckige Platten, die am Umfange befestigt sind, erhalten die Wanddicke 9

$$s = 0{,}053\,b\sqrt{\frac{p}{k_{zul}\left[1+\left(\frac{b}{a}\right)^2\right]}}$$

Hierin bedeutet

s die Wanddicke in mm,
a die größere Rechteckseite in mm,
b die kleinere Rechteckseite in mm,
p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,
k_{zul} die zulässige Zugbeanspruchung des Werkstoffes in kg/mm², wofür höchstens ¼ der Berechnungsfestigkeit eingeführt werden darf.



6. Bei Platten, die nicht durch Stehbolzen oder Längsanker, sondern durch Eckanker oder in anderer 10
Weise ausreichend unterstützt werden, ist die Wanddicke nach

$$s = 0{,}017\,d\sqrt{p}$$

zu bemessen, sofern nicht nachgewiesen wird, daß eine kleinere Wanddicke zulässig ist.

Hierin bedeutet:

s die Wanddicke in mm,
p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,
d den Durchmesser des größten Kreises in mm, der nach Maßgabe der Bilder 2 bis 5 auf der ebenen Platte, durch die Befestigungsstellen gehend, beschrieben werden kann.

Werden keine Angaben über das Maß des Krempungshalbmessers der Stirnplatten gemacht, so ist 11
dieses zu 50 mm anzunehmen.

7. Vorstehende Ausführungen gelten nur für Wandungen aus Flußstahl. 12

Werden Bleche von 41 bis 50 kg/mm² Zugfestigkeit verwendet, so kann die nach den Formeln er- 13
rechnete Blechdicke noch mit $\sqrt{\frac{36}{41}} = \sim 0{,}94$ multipliziert werden.

8. Durch Stehbolzen oder Anker unterstützte Kupferplatten erhalten die folgenden Wanddicken s, 14
und zwar bei regelmäßig verteilten Verankerungen:

$$s = 5{,}83\,c\sqrt{\frac{p}{K_z}\,(a^2+b^2)}$$

bei unregelmäßig verteilten Verankerungen:

$$s = 5{,}83\,c\,{}^1\!/_2\,(d_1+d_2)\sqrt{\frac{p}{K_z}}$$

Die Werte von K_z (Zugfestigkeit des Kupfers) sind aus den Werkstoffvorschriften, von c je nach der 15
Art der Verankerung aus den Bauvorschriften der vorstehenden Absätze 1 und 2 zu entnehmen.

VI C. Rohrplatten von Heizrohrkesseln.

16 1. Die außerhalb des Rohrbündels liegenden Teile der Rohrplatte müssen nach den für ebene Platten geltenden Bestimmungen verankert werden, falls die Größe der dem Dampfdruck ausgesetzten Fläche die Verankerung fordert.

17 2. Die innerhalb des Rohrbündels liegenden Teile der Rohrplatte sind wie folgt zu bemessen:

a) bei Verwendung besonderer Anker oder mit Gewinde eingesetzter Ankerrohre sind die entsprechenden Formeln für ebene Platten anzuwenden. Die Rohre können in diesem Falle einfach aufgewalzt sein, jedoch darf die Wanddicke der Platten s in mm der sicheren Befestigung halber

bei Flußstahlplatten

nicht unter $s = 5 + \frac{d}{8}$ für d = 38 bis etwa rund 100 mm,

bei Kupferplatten

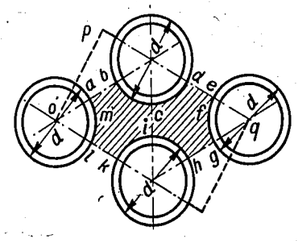
nicht unter $s = 10 + \frac{d}{5}$ für d = 38 bis etwa rund 75 mm

gewählt werden, worin d den äußeren Rohrdurchmesser an der Befestigungsstelle in mm bedeutet,

18 ferner muß der Mindestquerschnitt des Steges zwischen zwei Rohrlöchern betragen:

bei Flußstahlplatten
180 mm² für d = 38 mm,
zunehmend auf etwa das 2,5fache für d = rund 100 mm,
bei Kupferplatten
340 mm² für d = 38 mm,
zunehmend auf etwa das 2,5fache für d = rund 75 mm.

19 b) Bei nicht besonders verankerten Rohrwänden ist unter der Voraussetzung geeigneter Werkstoffe, bester Ausführung und normaler Betriebsverhältnisse Sicherheit gegen Herausziehen der Rohrenden zu erwarten, wenn die auf 1 cm Rohrumfang entfallende Belastung



$$\sigma = \frac{p \cdot \text{Fläche a b c d e f g h i k l m}}{\pi \cdot d}$$

den Betrag von 40 kg bei denjenigen Rohrenden nicht überschreitet, welche in zylindrischen Löchern glatt oder mit Rillen eingewalzt sind, und den Betrag von 50 kg bei denjenigen Rohrenden nicht überschreitet, welche an einem Ende in zylindrischen Löchern eingewalzt und umgebördelt sind. Sind die Rohre an beiden Enden umgebördelt, so kann σ bis zu einem Betrage von 70 kg zugelassen werden. Bei ungleichen benachbarten Rohrplattenfeldern darf das Mittel aus den einzelnen Beanspruchungen obige Werte nicht überschreiten. Bei der Berechnung von Rohrplattenrandfeldern, die besonders sorgfältig zu prüfen sind, kann die Belastung bis zur Hälfte als durch die unmittelbar angrenzende Kesselwand aufgenommen angesehen werden.

20 Die Werte für σ von 40, 50 und 70 kg sind als Grenzwerte zu betrachten für gute Ausführung und normale Betriebsverhältnisse. Liegen ungünstige Betriebsverhältnisse vor, wie sie z. B. bei Baulokomobilen und Lokomotiven dadurch gegeben sind, daß durch schlammhaltiges Kesselwasser das Innere verschmutzt wird und eine Reinigung infolge der Kleinheit der Kessel nicht möglich ist oder infolge der Betriebsverhältnisse nur selten und dann unvollkommen durchgeführt wird, so soll man in diesen Fällen den Wert σ entsprechend tief unter dem oben genannten Grenzwert wählen.

c) Die Biegungsspannung k_b des Plattenwerkstoffes innerhalb des Feldes a b c d e f g h i k l m ist durch die Formel 21

$$k_b = \frac{p}{360 \cdot \left(1 - 0{,}7\,\frac{d}{e}\right) \cdot \left(\frac{s}{e}\right)^2}$$

nachzuprüfen. Hierin bedeuten:

s die Plattendicke in mm,
p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,
d den äußeren Rohrdurchmesser an der Befestigungsstelle in mm,
e die Seite des quadratischen Feldes in mm, welches durch die vier unterstützenden Rohre gebildet wird, oder das arithmetische Mittel aus den Seiten des Rechtecks, welches durch die vier Rohre bestimmt erscheint

$$\left(\text{in der Abbildung} \ldots\ e = \frac{\overline{op} + \overline{pq}}{2}\right),$$

k_b die eintretende Biegungsspannung des Plattenwerkstoffes in kg/mm², die bis zur Höhe $= \frac{\text{Zugfestigkeit}}{4{,}5}$ zulässig erscheint, bei ungünstigen Betriebsverhältnissen aber geringer gewählt werden sollte. Sinngemäß gilt auch hierbei Randziffer 20.

3. Ist bei Feuerbüchsen die Decke nicht durch Anker oder in anderer Weise mit dem Kesselmantel verbunden, sondern durch Bügel- oder Deckenträger unterstützt, welche auf den Rändern der Rohrplatten stehen, dann darf die Dicke der Rohrwand nicht geringer sein als 22

$$s = \frac{p \cdot w \cdot b}{1900\,(b - d)}$$

worin

w die Weite der Feuerbüchse in mm,
b die Entfernung der Rohre voneinander, von Mitte zu Mitte gemessen, in mm,
d den Innendurchmesser der Rohre in mm

bedeuten.

VI D. Glatte Vierkantrohre.

Die stärkste Beanspruchung ist bei glatten Vierkantrohren mit Bohrungsreihen an den Kanten oder in der Mittellinie bei einer einzigen Bohrungsreihe zu erwarten. Es ist dabei vorausgesetzt, daß die Stutzen sorgfältig eingesetzt sind, so daß die Wandung an diesen Stellen genügend versteift ist. Bei ungebohrten Vierkantrohren sind die Kanten die meist gefährdeten Stellen. 23

Bezeichnet 24

s die Wandstärke in mm,
2m die lichte Breite der gebohrten Seiten bzw. der breiten Seiten in mm,
2n die lichte Breite der Querseiten in mm,
p den größten Betriebsdruck in kg/cm²,
K_z die Berechnungsfestigkeit des verwendeten Materials in kg/mm²,
x einen Zahlenwert,
M_k das an den Kanten auftretende Biegungsmoment je Längeneinheit und 100 kg/cm² Ueberdruck in mm²,
M_b das in der Mittellinie der Bohrungen auftretende Biegungsmoment je Längeneinheit und 100 kg/cm² Ueberdruck in mm²,
a den Abstand der Mitte der Bohrungsreihen von der Innenfläche der nächsten Seitenwand in mm,
t die Teilung der Bohrungen in mm,
d den Durchmesser der Bohrungen in mm,
φ, φ' die Schwächungsziffern in den Bohrungsreihen,
r den kleinsten Innenradius an den Kanten in mm,

so ist die Wandstärke nach den Formeln

$$s > \frac{p \cdot x}{200 \cdot K} \cdot \sqrt{m^2 + n^2} + \sqrt{6 \cdot M_k \frac{p \cdot x}{100 \cdot K_z}} \text{ für die Kanten}$$

$$s > \frac{p \cdot x}{200 \cdot K_z} \cdot \frac{n}{\varphi} + \sqrt{6 \cdot \frac{M_b}{\varphi'} \cdot \frac{p \cdot x}{100 \cdot K_z}} \text{ für die gebohrten bzw. die breiten Seiten}$$

zu berechnen. Die Stärke der Wandungen muß mindestens gleich der Wandstärke sein, die in den Kanten erforderlich ist. Sind mehrere verschiedenartige Bohrungsreihen vorhanden, so ist die erforderliche Wandstärke für jede Reihe festzustellen. Der zulässige Druck ist nach der Formel zu kontrollieren.

$$p = \frac{100 \cdot K_z}{x} \cdot \frac{s^2}{6 \cdot M_k + s \cdot \sqrt{m^2 + n^3}}$$

$$p = \frac{100 \cdot K_z}{x} \cdot \frac{s^2}{\frac{6 \cdot M_b}{\varphi'} + \frac{s \cdot n}{\varphi}}$$

25 Zur Ermittlung des Biegungsmomentes an den gefährdeten Querschnitten kann die von Bach-Baumann in „Elastizität und Festigkeit", 9. Aufl. (1924), S. 530/1, angegebene graphische Methode benutzt werden. Für Vierkantrohre mit innerhalb der Toleranzen überall gleicher Wandstärke ist die Berechnung der Biegungsmomente nach den folgenden Formeln zulässig:

$$M_k = \frac{1}{3} \cdot \frac{m^3 + n^3}{m + n} \text{ bzw. } M_b = m \cdot a - \frac{1}{2} \cdot a^2 - \frac{1}{3} \cdot \frac{m^3 + n^3}{m + n}$$

26 In den Formeln ist zu wählen:

$K_z = 36$ kg/mm² bei Flußstahl von 35—44 kg/mm² Festigkeit
$K_z = 41$ kg/mm² „ „ „ 41—50 kg/mm² „
$K_z = 44$ kg/mm² „ „ „ 44—53 kg/mm² „
$K_z = 47$ kg/mm² „ „ „ 47—56 kg/mm² „
$x = 4{,}0$ „ Dampftemperaturen von etwa 425° C.

Bei wesentlich geringeren Temperaturen, insbesondere wenn die Vierkantrohre nur mit siedendem Wasser oder sattem Dampf in Berührung kommen, kann bis auf $x = 3{,}5$ heruntergegangen werden.

$$\varphi = \frac{t - d}{t}$$

$$\varphi' = \frac{t - d}{t} \text{ bei Bohrungen mit } d < m$$

$$\varphi' = \frac{t - \frac{2}{3}d}{t} \text{ bei Bohrungen mit } m \leqq d < 1{,}3\ m$$

$$\varphi' = \frac{t - \frac{1}{3}d}{t} \text{ bei Bohrungen mit } d \geqq 1{,}3\ m.$$

27 Sind die Abstände der Bohrungen voneinander nicht gleich, so ist in der Gleichung für die Schwächungsziffer als Teilung der Bohrungen (t) das arithmetische Mittel der aufeinanderfolgenden ungleichen Teilungen einzusetzen.

28 Damit keine unzulässige Erhöhung der Beanspruchung auf der Innenseite der Kanten stattfindet, ist weiterhin überall die Bedingung zu erfüllen:

$$r > \frac{1}{3} \cdot s > 8\ mm,$$

wobei das arithmetische Mittel der zu beiden Seiten der Kanten vorhandenen Nennwandstärken maßgebend ist.

Erläuterungen:

Die Vorschriften gelten sinngemäß auch für Ueberhitzerkästen. Durch den Innendruck wird bei den Vierkantrohren in erster Linie eine Beanspruchung auf Biegung hervorgerufen, die an den Kanten und in den Mittellinien der Bohrungen einen Höchstwert erhält. Die Biegungsspannung (kg/mm²) an der Innen- bzw. Außenseite berechnet sich bei Beibehaltung der in den Berechnungsvorschriften angegebenen Bezeichnungen

in den Bohrungsreihen zu $\sigma_b = 6 \cdot \frac{M_b}{\varphi' \cdot s^2} \cdot \frac{p}{100}$,

an den Kanten aber zu $\sigma'_b = 6 \cdot \frac{M_k}{s^2} \cdot \frac{p}{100}$.

Den Biegungsspannungen sind vom Innendruck auf die Seitenwände herrührende Zugspannungen (kg/mm²) überlagert. Diese ergeben sich

in den Bohrungsreihen zu $\sigma_z = \frac{p}{100} \cdot \frac{n}{\varphi \cdot s}$,

an den Kanten aber zu $\sigma'_z = \frac{p}{100} \cdot \frac{\sqrt{m^2 + n^2}}{s}$,

wobei an den Kanten der Maximalwert der überlagerten Zugspannungen, gleichbleibende Wanddicke vorausgesetzt, in den diagonal durch die Kanten verlaufenden Ebenen auftritt. Für die Gesamtspannung (kg/mm²) erhält man also folgende Höchstwerte:

in den Bohrungsreihen außen

$$\sigma_u = \sigma_z + \sigma_b = \frac{p}{100} \cdot \frac{n}{\varphi \cdot s} + 6 \cdot \frac{M_b}{\varphi' \cdot s^2} \cdot \frac{p}{100},$$

an den Kanten aber innen

$$\sigma'_u = \sigma'_z + \sigma'_b = \frac{p}{100} \cdot \frac{\sqrt{m^2 + n^2}}{s} + 6 \cdot \frac{M_k}{s^2} \cdot \frac{p}{100}.$$

Setzt man in letztere Gleichungen als zulässige Umfangsspannung $\frac{K_z}{x}$ *ein, so ergeben sich nach entsprechender Umformung für die Wanddicke s und den zulässigen Innendruck p die Formeln*

$$s = \frac{p \cdot x}{200\ K_z} \cdot \sqrt{m^2 + n^2} + \sqrt{6\ M_k \cdot \frac{p \cdot x}{100\ K_z} + \left(\frac{p \cdot x}{200\ K_z}\right)^2 \cdot \left(m^2 + n^2\right)} \quad \textit{(Kanten)}$$

$$s = \frac{p \cdot x}{200\ K_z} \cdot \frac{n}{\varphi} + \sqrt{6\ \frac{M_b}{\varphi'} \cdot \frac{p \cdot x}{100\ K_z} + \left(\frac{p \cdot x}{200\ K_z}\right)^2 \cdot \left(\frac{n}{\varphi}\right)^2} \quad \textit{(Bohrungsreihen)}$$

und

$$p = \frac{100\ K_z}{x} \cdot \frac{s^2}{6\ M_k + s \cdot \sqrt{m^2 + n^2}} \quad \textit{(Kanten)}$$

$$p = \frac{100\ K_z}{x} \cdot \frac{s^2}{\frac{6\ M_b}{\varphi'} + \frac{s \cdot n}{\varphi}} \quad \textit{(Bohrungsreihen)}$$

In den Berechnungsvorschriften ist das unter dem Wurzelzeichen an zweiter Stelle in Erscheinung tretende Glied

$$\left(\frac{p \cdot x}{200\ K_z}\right)^2 \cdot (m^2 + n^2) \text{ bzw. } \left(\frac{p \cdot x}{200\ K_z}\right)^2 \cdot \left(\frac{n}{\varphi}\right)^2$$

gegenüber dem Glied

$$6\ M_k \cdot \frac{p \cdot x}{100\ K_z} \text{ bzw. } \frac{6\ M_b}{\varphi'} \cdot \frac{p \cdot x}{100\ K_z}$$

vernachlässigt. Der hierdurch entstehende Fehler beträgt normalerweise nur Bruchteile eines Millimeters. Das Biegungsmoment ist ohne Berücksichtigung jeder Verschwächung berechnet. Das ist deshalb als zulässig erachtet, weil bei Berücksichtigung der Verschwächung sich in den Bohrungsreihen ein kleineres Biegungsmoment ergeben würde.

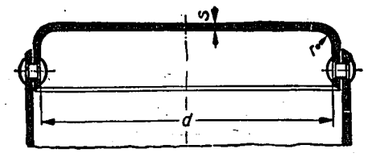
Die Vorschriften gelten nur für glatte Vierkantrohre, die nicht gewellt werden.

Die Abmessungen, die sich nach den Formeln ergeben, sind in einem Merkblatt für Entwurf und Berechnung für Profilrohre, herausgegeben von der Vereinigung der Deutschen Dampfkessel- und Apparate-Industrie, zusammengestellt.

VII. Berechnung der Blechdicken von gekrempten ebenen Kesselböden ohne Verankerung gegenüber innerem Ueberdruck.

Bezeichnet

s die Blechdicke in mm,
p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,
r den inneren Halbmesser der Krempe in mm (darf nicht kleiner als d/15 sein).
d den inneren Durchmesser des Bodens in mm,
K_z die Berechnungsfestigkeit des Werkstoffes in kg/mm²,



dann ist

$$s = \sqrt{\frac{3}{800} \cdot \frac{p}{K_z} \cdot \left[d - r \cdot \left(1 + \frac{2\,r}{d}\right)\right]}$$

$$p = \frac{800}{3} \cdot K_z \left[\frac{s}{d - r\left(1 + \frac{2\,r}{d}\right)}\right]^2$$

Die Gleichungen gelten für inneren wie für äußeren Ueberdruck.

Erläuterungen:

Die Angaben für den inneren Halbmesser der Krempe gelten nur für Böden ohne Verankerung. In den Boden eingewalzte Rohre (z. B. bei Heizrohrkesselböden) sind als Verankerungen anzusehen. Für diese Böden sind mindestens die nachstehenden Krempenhalbmesser auszubilden:

Von	*300*	*bis*	*350*	*mm*	*Bodendurchmesser* ..... *25 mm*
„	*400*	„	*550*	„	„ ..... *30* „
„	*600*	„	*2400*	„	„ ..... *35* „
„	*2450*	„	*3000*	„	„ ..... *40* „

VIII. Berechnung der Blechdicken von gewölbten Kesselböden gegenüber innerem und äußerem Ueberdruck.

(Alte Fassung. Anwendung noch zulässig bis 31. Dezember 1940 laut Bekanntmachung vom 21. März 1939, M.Bl.f.W. S. 283.)

1. Allgemeines.

1 Die folgende Berechnung gilt für sachgemäß geglühte Böden. Die Böden dürfen bei ihrer Verbindung mit dem Mantel keine außergewöhnlich große zusätzliche Beanspruchung erfahren. Die Verbindungsstelle ist auf ihre Widerstandsfähigkeit besonders nachzurechnen.

2 Neue Böden können geformt werden nach einer Ellipse oder nach einem Korbbogen, bei dem der kleinste Krümmungshalbmesser der Ellipse gleicher Höhe h nicht unterschritten, der größte Krümmungshalbmesser dieser nicht überschritten wird.

3 Der Krempenhalbmesser soll nicht kleiner als ein Zehntel des Außendurchmessers D, der Wölbungshalbmesser nicht größer als der Außendurchmesser sein; dabei ist die Höhe h nicht kleiner als 0,2 D.

2. Berechnung der Blechdicken von gewölbten Böden gegenüber innerem Ueberdruck.

4 Es bezeichnet:

- s die Blechdicke in mm,
- p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,
- D den äußeren Bodendurchmesser in mm,
- R den inneren Halbmesser in der Mitte der Wölbung in mm,
- r den inneren Krempenhalbmesser in mm,
- h die Höhe der Bodenwölbung einschließlich der Wanddicke in mm,
- K_z die Berechnungsfestigkeit des zu dem Boden verwendeten Bleches in kg/mm²,
- x die Verhältniszahl zwischen Berechnungsfestigkeit und zulässiger Spannung,
- y einen der Bodenform entsprechenden, auf die Halbkugelform bezogenen Zahlenwert,
- c einen Zuschlag zur Wanddicke in mm.

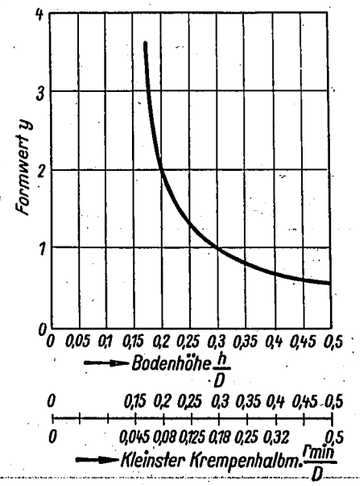
$$s = D \cdot y \frac{p}{200 \cdot \frac{K_z}{x}} + c \text{ bzw. } p = 200 \cdot \frac{K_z}{x} \cdot \frac{s - c}{D \cdot y}$$

wobei y in Abhängigkeit von der Bodenhöhe und dem Krempenhalbmesser aus der nachstehenden Zahlentafel oder Schaulinie zu entnehmen ist.

5 Zahlentafel der y-Werte

$\frac{h}{D}$	$\frac{r_{min}}{D}$	y
0,18	0,065	2,8
0,19	0,072	2,3
0,2	0,08	2,0
0,22	0,10	1,6
0,24	0,115	1,4
0,25	0,125	1,3
0,26	0,135	1,2
0,28	0,16	1,1
0,3	0,18	1,0
0,35	0,25	0,8
0,4	0,32	0,7
0,45	0,405	0,6
0,5	0,5	0,55

Kurve der y-Werte



Der Wert $\frac{r_{min}}{D}$ entspricht dem vorgesehenen Mindestwert $r = \frac{2\,h^2}{D}$ (kleinster Krümmungshalbmesser 6
der Ellipse). Sind Böden nachzuprüfen, bei denen der Krempenhalbmesser r kleiner ist als in der Vorschrift für neue Böden vorgesehen, so ist y nicht nach der Spalte $\frac{h}{D}$, sondern nach der Spalte $\frac{r_{min}}{D}$ der Zahlentafel zu wählen, wobei der wirkliche Wert für den ausgeführten Krempenhalbmesser r einzusetzen ist.

Die Werkstoffestigkeiten sind nach den Werkstoffvorschriften einzusetzen. 7

Für x gelten folgende Zahlenwerte: 8

x = 3,5 für volle Böden ohne Ausschnitt;
x = 3,75, wenn der Boden Durchbrechungen aufweist, deren größte Abmessung gleich oder kleiner ist als 4s, sofern nicht durch aufgesetzte Verstärkungen die Schwächung ausgeglichen wird.
x = 4,25 für Böden mit mittlerem Mannloch;
x > 4,25 für Böden mit seitlichem Mannloch;
c = Zuschlag für volle Böden und Böden mit Durchbrechungen ohne Mannloch = 2 mm;
c = Zuschlag für Böden mit Mannloch = 3 mm.

Mannlochböden, deren Blechdicke sich nach der Berechnung kleiner als 15 mm ergibt, sind um 2 mm 9
dicker als errechnet auszuführen; ergibt die errechnete Dicke 15 bis 17 mm, so sind solche Böden mit 17 mm Dicke auszuführen.

Die Abmessungen h (äußere Bodenhöhe) und r (innerer Halbmesser an der Krempe) sind nachzu- 10
prüfen; dabei ist h nur vom Beginn der Krempenkrümmung an zu messen, ein etwa aus dem Kesselmantel herausstehender Teil des zylindrischen Bodenansatzes also nicht mitzurechnen.

3. Berechnung der Blechdicken von gewölbten Böden gegenüber äußerem Ueberdruck.

Die folgenden Vorschriften setzen Böden voraus, deren Wölbung mit großer Sorgfalt ausgeführt ist 11
und welche beim Einnieten keine nennenswerten Zugspannungen in Richtung des Halbmessers erfahren haben. Ebenso ist vorausgesetzt, daß erhebliche Wärmespannungen, welche das Einbeulen begünstigen, nicht auftreten.

Die für gewölbte Böden mit innerem Ueberdruck gültigen Vorschriften gelten auch für Böden mit 12
äußerem Ueberdruck, jedoch mit folgenden Abweichungen:

a) Bis zu einem Betriebsdruck von 8 kg/cm² einschließlich ist die Wandstärke um 2 mm stärker auszuführen, als die Formel verlangt. Ist der Betriebsdruck höher als 8 kg/cm², so soll die Wandstärke nicht geringer ausfallen als für 8 kg/cm².

b) Bei mehr als 1500 mm Bodendurchmesser ist die Wandstärke für alle Betriebsdrücke außerdem noch um D/1000 mm zu vergrößern.

VIII. Berechnung der Blechdicken von gewölbten Kesselböden gegenüber innerem und äußerem Ueberdruck*).

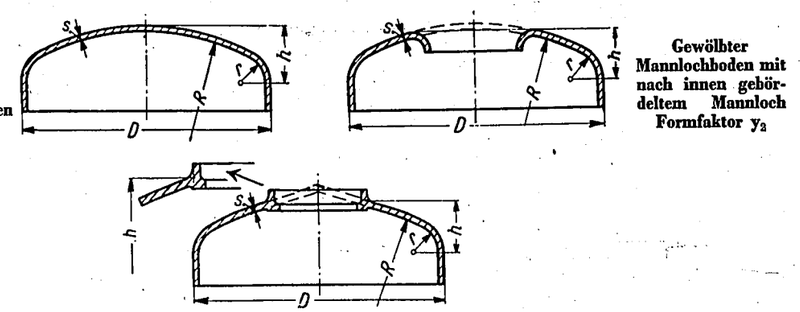
(Neue Fassung. Anwendung zulässig, ab 1. Januar 1941 zwingend gemäß Bekanntmachung vom 21. März 1939, M.Bl.f.W. S. 283.)

VIII A. Allgemeines.

1 1. Die folgenden Berechnungsvorschriften gelten für Böden, die nach Fertigstellung sachgemäß geglüht werden, oder die die Presse mit genügend hoher Temperatur verlassen. Die Böden sind mit dem Mantel durch Schweiß- oder Nietnaht zu verbinden. Die Verbindungsnaht darf keine wesentlichen zusätzlichen Beanspruchungen erfahren. Sie ist auf ihre Widerstandsfähigkeit besonders nachzurechnen.

2 Besondere Verhältnisse können eine Flanschverbindung zwischen Boden und Mantel rechtfertigen. Dabei sind etwaige durch die Flanschverbindung bedingte zusätzliche Beanspruchungen besonders zu beachten.

3 2. Vollböden sind nach einer Ellipse oder nach einem der Ellipse möglichst angenähertem Korbbogen zu formen. Dabei darf der Wölbungshalbmesser R nicht größer als der äußere Bodendurchmesser D sein und der Krempenhalbmesser r nicht kleiner als $^1/_{10}$ D. Diese Bedingungen sind bei der Ellipse erfüllt, wenn die Höhe h des Bodens nicht kleiner als 0,25 D ist.



Gewölbter Vollboden Formfaktor y_1

Gewölbter Mannlochboden mit nach innen gebördeltem Mannloch Formfaktor y_2

Gewölbter Mannlochboden mit kegelförmig vorgewölbtem und nach außen gebördeltem Mannloch Formfaktor y_1

4 3. Mannlochböden ist die gleiche Form zu geben wie Vollböden. Der Mannlochrand kann eine nach innen gerichtete Bördelung erhalten. Eine für die Beanspruchung günstigere Bodenform wird erzielt, wenn der Mannlochrand nach außen gebördelt und gleichzeitig die Umgebung des Mannloches kegelförmig vorgewölbt wird. Dadurch wird erreicht, daß die Beanspruchungen am Mannlochrand nicht größer werden als die in der Bodenkrempe. Bei dieser Bodenform muß eine Auflage für den Mannlochdeckel durch einen von innen her anzuschweißenden Ring geschaffen werden.

VIII B. Berechnung der Wanddicke bei innerem Ueberdruck.

5 1. Im folgenden bedeuten:

s die Wanddicke in mm,
p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,
D den äußeren Bodendurchmesser in mm,

*) Diese Berechnungsvorschriften für gewölbte Böden fußen auf den Ergebnissen zahlreicher neuerer Untersuchungen, durch die das Auftreten höherer Biegungsbeanspruchungen im Krempengebiet und sehr hoher Randspannungen in der Umgebung der Mannlöcher nachgewiesen wurde.
Die Spannungsverhältnisse im Krempengebiet sind außer vom Bodendurchmesser, von der Wanddicke und von dem Innendruck, in erster Linie abhängig von der Gestalt der Bodenkrempe und von der Bodenhöhe.
Die Spannungsverhältnisse am Mannloch werden durch die Gestaltung der Bodenwölbung in der Umgebung des Mannlochs, der Bördelung des Mannlochrandes und der Auflage für den Mannlochdeckel weitgehend beeinflußt.

R den inneren Wölbungshalbmesser in mm,
r den inneren Krempenhalbmesser in mm,
y den Formfaktor, der die Abweichung der Bodenform von der zugehörigen Halbkugelform berücksichtigt (Näheres unter B 3),
K_z die Berechnungsfestigkeit des verwendeten Werkstoffes in kg/mm²,
x die Verhältniszahl zwischen Berechnungsfestigkeit und zulässiger Beanspruchung (Näheres unter B 4),
h die Höhe der Bodenwölbung einschl. der Wanddicke in mm (Näheres unter B 5),
c einen Zuschlag zur Wanddicke in mm.

2. Die Wanddicke ist nach folgender Formel zu berechnen:

$$s = \frac{D \cdot p \cdot x \cdot y}{200 \cdot K_z} + c;$$

der zulässige Betriebsdruck für einen Boden ergibt sich zu

$$p = \frac{200 \cdot K_z \cdot (s - c)}{D \cdot x \cdot y},$$

Zahlentafel

$\frac{h}{D}$	$\frac{r_{min}}{D}$	y_1	y_2
0,15	0,045	3,9	3,9
0,16	0,052	3,6	3,6
0,17	0,058	3,2	3,2
0,18	0,065	2,75	2,9
0,19	0,072	2,35	2,65
0,2	0,08	2,0	2,4
0,22	0,10	1,6	2,1
0,24	0,115	1,4	1,9
0,25	0,125	1,3	1,85
0,26	0,135	1,2	1,8
0,28	0,16	1,1	1,7
0,3	0,18	1,0	1,6
0,35	0,25	0,8	1,4
0,4	0,32	0,7	1,2
0,45	0,405	0,6	1,15
0,5	0,5	0,55	1,1

Bei den vorgenommenen Untersuchungen handelt es sich hauptsächlich um folgende Arbeiten:

a) C. Diegel, „Versuche über die Beanspruchung des Materials geschweißter zylindrischer Kessel mit nach außen gewölbten Böden". Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Ingenieurwesens, Sonderreihe M, Heft 2 (1920), (VDI-Verlag).

b) C. Bach, „Versuche über die Widerstandsfähigkeit und die Formänderung gewölbter Kesselböden". Forschungsarbeiten Heft 270 (1925).

c) E. Höhn, „Der Spannungszustand gewölbter Böden". Z. VDI 69 (1925) S. 155.

d) E. Siebel und F. Körber, „Versuche über die Anstrengung und die Formänderungen gewölbter Kesselböden mit und ohne Mannloch bei der Beanspruchung durch inneren Druck". Mitteilungen des K.-W.-Instituts für Eisenforschung Band 7 (1925) S. 113 und Band 8 S. 4.

e) E. Siebel, „Ueber die Beanspruchung und das Verhalten von Dampfkesselböden". Stahl und Eisen (1926) S. 1181.

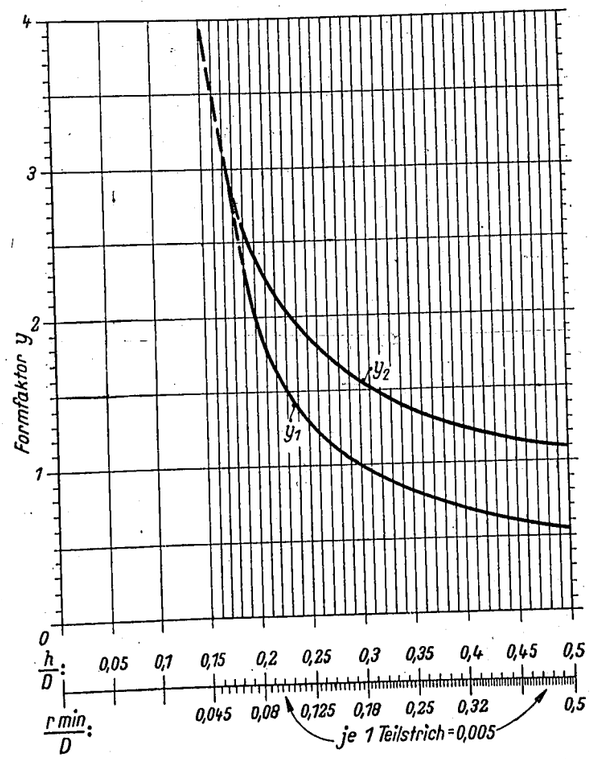
f) F. Körber und E. Siebel, „Modellversuche an Kesselböden mit Bohrungen und Mannlöchern". Mitteilungen K.-W.-Institut für Eisenforschung Band 9 (1927) S. 13.

g) E. Siebel, „Untersuchungen von Mannlochböden". Mitteilungen d. V.G.B. (1934) S. 176.

3. Der Formfaktor y ist aus der vorstehenden Zahlentafel oder aus dem Schaubild nach dem tatsächlichen Verhältnis $\frac{h}{D}$ zu entnehmen. Unterschreitet aber bei einem Boden mit bestimmtem $\frac{h}{D}$ das Verhältnis $\frac{r}{D}$ den zugehörigen Wert $\frac{r_{min}}{D}$, so ist zur Bestimmung von y dasjenige der beiden Verhältnisse $\frac{h}{D}$ und $\frac{r}{D}$ zu verwenden, das den größeren Wert für y ergibt.

Bei $\frac{r}{D}$-Werten unter 0,06 ist die angegebene Berechnungsweise nur noch annähernd zutreffend.

Die y_1-Werte tragen den in der Bodenkrempe auftretenden Spannungshöchstwerten Rechnung. Sie gelten dementsprechend für Vollböden. Sie können auch noch verwendet werden bei der Berechnung von Vollböden mit Durchbrechungen, wenn die größte Achse der Durchbrechung gleich oder kleiner ist als



200 mm und die Verschwächung des Bodens durch den Ausschnitt durch aufgesetzte Verstärkung des Randes von mindestens gleicher Blechdicke wie das volle Blech und mindestens gleichem Gewicht wie das herausgeschnittene Blechstück ausgeglichen ist. Bei Bohrlöchern mit Durchmessern gleich oder kleiner als 4 s ist die Verstärkung als Voraussetzung für die Anwendung von y_1 nicht zu fordern. Bei Mannlochböden ist die Verwendung des y_1-Wertes zulässig, wenn die Fließgefahr im Bereich des Mannloches nicht größer ist als an der Bodenkrempe. Diese Bedingung kann als erfüllt angesehen werden, wenn der Mannlochrand nach außen gebördelt und die Umgebung des Mannloches kegelförmig so weit vorgewölbt ist, daß die Höhe h gleich der Höhe des entsprechenden Vollbodens ist.

Die y_2-Werte gelten für Mannlochböden mit nach innen gebördeltem Mannlochrand. Sie sind gegenüber den y_1-Werten entsprechend der größeren Fließgefahr am Mannlochrand erhöht, wobei zugleich der eingetretenen Verminderung der Bodenhöhe Rechnung getragen ist. Die y_2-Werte können auch verwendet werden bei der Berechnung von Böden mit Durchbrechungen, deren größte Achse länger als 200 mm ist. Hierbei ist eine ausreichende Verstärkung des Ausschnittrandes vorausgesetzt.

Mannlochböden sollen keine weiteren Durchbrechungen erhalten; Böden mit seitlichem Mannloch sind zu vermeiden. In den Fällen, in denen dies nicht möglich ist, ist darauf zu achten, daß die Einflußbereiche von Mannloch, Durchbrechungen und Bodenkrempe sich nicht überdecken. Wo sich auch dies nicht umgehen läßt, ist der Boden ausreichend zu verstärken. 12

Für die übliche Bodenform kann angenommen werden, daß die Einflußbereiche von Mannlochausschnitt und Bodenkrempe sich nicht berühren, wenn die senkrechte Projektion der Entfernung vom Mannlochrand zu Bodenrand den Wert $\frac{D}{4}$ nicht unterschreitet. 13

4. Für die Verhältniszahl x können folgende Mindestwerte angewendet werden: 14

$x = 3{,}0$*) für Vollböden, gegebenenfalls mit Bohrungen von einem Durchmesser gleich oder kleiner als 4 s;

für Vollböden mit Durchbrechungen mit verstärktem Rand bei einem Abstand des Ausschnittrandes vom Bodenrand nicht kleiner als $\frac{D}{4}$;

für Mannlochböden auch bei seitlicher Lage des Mannloches, bei einem Abstand des Mannlochrandes vom Bodenrand nicht kleiner als $\frac{D}{4}$;

$x = 3{,}5$ für Mannlochböden mit seitlichem Mannloch und für Böden mit Durchbrechungen bei einem Abstand zwischen Mannlochrand bzw. Ausschnittrand und Bodenrand kleiner als $\frac{D}{4}$.

5. Es ist darauf zu achten, daß auch noch bei Ausnutzung der Minustoleranz seitens des Lieferwerkes der Berechnungsvorschrift genügt wird. 15

Bei der Nachrechnung ist h vom Beginn der Krümmung der Bodenkrempe an zu messen; der zylindrische Bodenansatz bleibt unberücksichtigt. 16

Bei Mannlochböden und bei Böden mit sonstigen Durchbrechungen ist als Höhe h der Abstand vom Beginn der Krümmung der Bodenkrempe bis zum Ansatz der Bördelung des Mannlochrandes anzunehmen, gemessen über größte Achse. Bei Böden mit seitlichem Mannloch oder seitlichen Durchbrechungen ist ein h einzusetzen, das dem eines Bodens mit mittlerem Mannloch entspricht. 17

6. Der Zuschlag c zur Wanddicke soll die bei der Ausführung der Böden praktisch vorkommenden Abweichungen von der theoretischen Form ausgleichen und daneben einen ausreichenden Abrostungszuschlag in sich schließen. 18

Im Regelfalle gilt: 19

$c = 2$ mm für volle Böden und für Böden mit Durchbrechungen, deren größte Achse nicht größer ist als 200 mm,

$c = 3$ mm für Mannlochböden und für Böden mit Durchbrechungen, deren größte Achse größer ist als 200 mm.

VIII C. Berechnung der Wanddicke bei äußerem Ueberdruck.

Solche Böden sind in der gleichen Weise zu berechnen wie bei Beanspruchung durch inneren Ueberdruck, sie sind jedoch mit dem 1,4fachen der errechneten Wanddicke auszuführen. 20

Das Verhältnis $\frac{s}{D}$ des ausgeführten Bodens soll den Wert 0,004 nicht unterschreiten. 21

*) Bei der Berechnung der Wanddicke mit $x = 3$ ist bei Raumtemperatur und bei einem Streckgrenzenverhältnis des Werkstoffes von 0,55 etwa 1,7fache Sicherheit gegen das Eintreten des Fließzustandes an den höchst beanspruchten Stellen vorhanden.

22

VIII D. Zahlentafel der Rechnungsbeiwerte für tiefgewölbte Kesselböden.

	Formfaktor y	Verhältniszahl x	Höhe h	Zuschlag c
1. Volle Böden und solche mit Bohrungen $\leqq 4$ s ø	y_1	3,0	volles h	2 mm
2. Volle Böden mit Ausschnitten von einer größten Achse $\leqq 200$ mm, mit verstärktem Rand und Abstand des Ausschnittrandes vom Bodenrand $\geqq \frac{D}{4}$	y_1	3,0	volles h	2 mm
3. Volle Böden mit Ausschnitten von einer größten Achse $\leqq 200$ mm, mit verstärktem Rand und Abstand des Ausschnittrandes vom Bodenrand $< \frac{D}{4}$	y_1	3,5	volles h	2 mm
4. Volle Böden mit Ausschnitten von einer größten Achse > 200 mm, mit verstärktem Rand und Abstand des Ausschnittrandes vom Bodenrand $\geq \frac{D}{4}$	y_2	3,0	h für mittl. Mannloch	3 mm
5. Volle Böden mit Ausschnitten von einer größten Achse > 200 mm, mit verstärktem Rand und Abstand des Ausschnittrandes vom Bodenrand $< \frac{D}{4}$	y_2	3,5	h für mittl. Mannloch	3 mm
6. Mannlochböden kegelig vorgewölbt und mit nach außen gebördeltem, verstärktem Rand				
a) bei mittlerem Mannloch	y_1	3,0	volles h	3 mm
b) bei seitlichem Mannloch und Abstand des Mannlochrandes vom Bodenrand $\geqq \frac{D}{4}$	y_1	3,0	volles h	3 mm
c) bei seitlichem Mannloch und Abstand des Mannlochrandes vom Bodenrand $< \frac{D}{4}$	y_1	3,5	volles h	3 mm
7. Mannlochböden mit nach innen gebördeltem Mannlochrand				
a) bei mittlerem Mannloch	y_2	3,0	h für mittl. Mannloch	3 mm
b) bei seitlichem Mannloch und Abstand des Mannlochrandes vom Bodenrand $\geqq \frac{D}{4}$	y_2	3,0	h für mittl. Mannloch	3 mm
c) bei seitlichem Mannloch und Abstand des Mannlochrandes vom Bodenrand $< \frac{D}{4}$	y_2	3,5	h für mittl. Mannloch	3 mm

IX. Berechnung der Blechdicken gewölbter Flammrohrböden mit Aushalsung oder Einhalsung für ein oder zwei Flammrohre.

1 Die Blechdicke der Böden kann bis auf weiteres nach der Formel

$$s = \frac{p \cdot r}{200 \cdot k} \text{ oder } p = \frac{200 \cdot s \cdot k}{r}$$

berechnet und dabei k bis 7,5 kg/mm² gewählt werden, wenn nachstehende Voraussetzungen erfüllt sind:

ausreichend großer Krempungshalbmesser der Böden;
ausreichend großer Abstand der Flammrohre von den Krempen;
Elastizität der Flammrohre in Richtung ihrer Achse, so daß die Böden durch die Flammrohre keine erheblichen Zusatzspannungen erfahren.

2 In obiger Formel bezeichnet

s die Blechdicke in mm,
p den größten Betriebsüberdruck in kg/cm²,
r den inneren Halbmesser in der Mitte der Wölbung in mm,
k die zulässige Beanspruchung in kg/mm².

3 Bei Verwendung der Blechsorte II kann die nach der Formel errechnete Blechdicke im Verhältnis 36 : 41 verringert werden.

X. Schrauben und Verschraubungen.

1 Die folgenden Vorschriften gelten für Schrauben und Verschraubungen an Dampfkesseln, Dampfüberhitzern, Speisewasservorwärmern sowie an dampf- und wasserführenden Rohren, die zwischen dem Speisewassereintrittsventil vor dem Vorwärmer (bzw. vor dem Kessel) und dem Heißdampfaustrittsventil (bzw. Sattdampfaustrittsventil) liegen.

2 Die Vorschriften sind geteilt in solche für:

A. Werkstoffe für Schrauben und Verschraubungen,
B. Berechnung der Schrauben und Verschraubungen.

X A. Die Werkstoffe für Schrauben und Verschraubungen.

I. Allgemeines.

3 1. Der Schraubenstahl darf durch die höchste im Betrieb mögliche Temperatur nicht geschädigt und durch rasche Abkühlung von dieser Temperatur nicht spröde werden.

4 2. Schrauben und Verschraubungen können hergestellt werden aus unlegiertem oder legiertem Flußstahl. Kaltgezogener Stahl darf ungeglüht nicht verwendet werden.

II. Werk- und Sachverständigenbescheinigungen.

5 1. Ueber die Werkstoffeigenschaften sind vom Lieferwerk Werkstoffnachweise wie folgt beizubringen:

a) Schraubenstahl und Schrauben.

Betriebstemperatur °	unlegierter Stahl		legierter Stahl
	$K_z \leqq 50$ kg/mm²	$K_z > 50$ kg/mm²	
$t \leqq 200$	K	W	S
$t \leqq 300$	W	S	S
$t \geqq 300$	S	S	S
$t \geqq 450$	nicht zu verwenden	nicht zu verwenden	S

K = Werkstoffnachweis nicht erforderlich.
W = Werkstoffnachweis durch Werkbescheinigung.
S = Werkstoffnachweis durch Sachverständigenbescheinigung.

6 Werden höhere Streckgrenzenwerte in die Berechnung eingesetzt, als in der Zahlentafel B II 4a festgelegt, so ist der Werkstoffnachweis für die eingesetzten Werte durch Sachverständigenbescheinigung erforderlich.

b) Muttern.

7 Für den Werkstoff von Muttern ist der Werkstoffnachweis nur bei Verwendung von Stahlsorten mit mehr als 60 kg/mm² Zugfestigkeit erforderlich. Werkbescheinigung genügt.

8 2. Die Werkbescheinigung kann ersetzt werden durch die schriftliche Bestätigung des Lieferwerkes, daß die Schrauben aus geprüftem Werkstoff hergestellt sind.

9 Die Sachverständigenbescheinigung kann ersetzt werden durch die schriftliche Bestätigung des Herstellers, daß die Schrauben aus durch Sachverständige geprüftem Werkstoff hergestellt sind.

10 Abschrift der Werk- bzw. der Sachverständigenbescheinigung ist auf Wunsch beizubringen. Bei legiertem Stahl oder Sonderwerkstoffen ist die Beibringung einer Sachverständigenbescheinigung in allen Fällen erforderlich.

III. Anforderungen an den Werkstoff.

a) Art der Versuche: Zerreiß-, Biege- (Abschreckbiege-) Versuch. Zum Nachweis des Glühzustandes des Werkstoffes können Kerbschlagproben durchgeführt werden. 11

b) Anzahl der Probestücke und Probeentnahme.

1. Die Anzahl der Probestücke richtet sich danach, ob Schraubenstahl in Stangen oder fertige Schrauben 12 vorgelegt werden.

Proben aus Stangen: Aus jeder zur Abnahme gestellten Gewichtsmenge von 500 kg oder weniger 13 ist je 1 Satz Proben für die durchzuführenden Versuche zu entnehmen.

Proben aus fertigen Schrauben: Aus jeder zur Abnahme gestellten Schraubenzahl von 500 oder weniger 14 sind je 2 Satz Proben für die durchzuführenden Versuche zu entnehmen.

Wird der Nachweis erbracht, daß sämtliche Stangen oder Schrauben einer Schmelze gleicher Glühung 15 entstammen, genügen in jedem Fall 4 Satz Proben für die durchzuführenden Versuche.

Bei hochwertigen Werkstoffen, insbesondere bei legierten Stählen, empfiehlt es sich, durch einen 16 geeigneten Versuch festzustellen, ob sämtliche Stücke aus dem angegebenen Werkstoff angefertigt sind. Diese sind besonders zu kennzeichnen.

Hat der Sachverständige begründete Zweifel an der Gleichmäßigkeit der Lieferung, so können von 17 ihm geeignet erscheinende Prüfungen vorgenommen werden.

2. Die Proben können bei Stangen oder Schrauben verschiedenen Durchmessers aus den Stücken 18 mit größtem Durchmesser genommen werden.

c) Anforderungen an den Werkstoff.

Unlegierte Werkstoffe haben den folgenden Werten zu genügen: 19

Zugfestigkeit (K_z)	Dehnung $L = 5\,d$	Biegewinkel	Dorn-⌀	Kerbschlagzähigkeit Bruchquerschnitt 15×15 mm²
kg/mm²	v. H.	°	-fach	mkg/cm²
bis 40	30	180	1	10
über 40—45	27	180	2	8
„ 45—50	25	180		
„ 50—55	23	180	3	6
„ 55—60	22	180		
„ 60—70	17	180	4	zu vereinbaren
„ 70—85	15	180		

Mit der vorstehenden Zahlentafel sollen keine Stahlgruppen festgelegt werden. In ihr sollen lediglich 20 die zusammengehörenden Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften gekennzeichnet werden.

1. Unlegierte Stähle mit einer Zugfestigkeit über 85 kg/mm² sind möglichst nicht zu verwenden. Für 21 besondere Fälle, bei denen Zugfestigkeiten von mehr als 85 kg/mm² benötigt werden, sind legierte Stähle zu wählen.

Um das Festfressen der Muttern auf den Bolzen zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Muttern aus 22 einem anderen Werkstoff als die Bolzen herzustellen. Preßmuttereisen darf nicht verwendet werden.

2. Legierte Stähle (Einsatz- und Vergütungsstähle) haben mindestens den Festigkeitsanforderungen 23 obiger Stahlgruppen zu genügen. Bei Zugfestigkeiten über 85 kg/mm² müssen sie hinsichtlich Dehnung, Biegeverformung und Kerbschlagzähigkeit mindestens den Werten der Festigkeitsgruppe 70—85 kg/mm² entsprechen.

3. Die Kaltstreckgrenze ist bei legierten und vergüteten Sonderstählen (Einsatz- und Vergütungs- 24 stähle) nachzuweisen.

Die Warmstreckgrenze ist bei Sonderwerkstoffen durch Sachverständigenbescheinigung nachzuweisen. 25 Eine Bescheinigung einer amtlichen Stelle, welche die für die betreffenden Stahlsorten ermittelten Eigenschaften bei höheren Temperaturen nachweist, gilt als ausreichend. In diesem Falle hat das Lieferwerk auf Verlangen nachzuweisen, daß der zu liefernde Werkstoff mit dem von der Prüfstelle geprüften übereinstimmt.

4. Beim Biegeversuch muß der Probestab sich um einen Dorn von den in der Zahlentafel angegebenen 26 Durchmessern zusammenbiegen lassen, ohne Anrisse zu zeigen.

5. Der Abschreckbiegeversuch soll die Unempfindlichkeit des Werkstoffes gegen rasche Abkühlung 27 von der Betriebstemperatur nachweisen. Die Abschrecktemperatur kann gleich der zu erwartenden höchsten Betriebstemperatur der Schrauben gewählt werden. Der Abschreckbiegeversuch ist nur in den Fällen durchzuführen, in denen Sachverständigenabnahme vorgeschrieben ist; er kann auch dann unterbleiben, wenn der Sachverständige sich an Hand ausreichender Unterlagen davon überzeugt, daß keine Bedenken bestehen.

6. Werkstoffe müssen sich in gutem Warmbehandlungszustand befinden. Hierüber ist eine Werk- 28 bescheinigung beizubringen. Im Zweifelsfalle gibt der Kerbschlagversuch einen Anhalt für den guten Warmbehandlungszustand. Als Anhaltszahlen dienen die oben angegebenen Kerbschlagzähigkeiten.

Bei vergüteten Stählen und Schrauben sind die Vergütungstemperaturen anzugeben. Die Anlaß- 29 temperatur muß stets oberhalb der höchsten im Betrieb auftretenden Temperatur liegen.

IV. Versuchsdurchführung.

Die Zerreiß-, Biege-, Kerbschlag-, die Warmzerreiß- und Dauerstandversuche sind nach den geltenden 30 Normen durchzuführen. Für Kerbschlagversuche kommen zur Zeit folgende Probeformen zur Anwendung:

1. Länge 160 mm, Breite 15 mm, Höhe 30 mm, Rundkerb 4 mm ⌀, Bruchquerschnitt 15×15 mm².

2. Länge 55 mm, Breite 10 mm, Höhe 10 mm, Rundkerb 2 mm ⌀, Bruchquerschnitt 10×7 mm² (DVMR-Probe).

Das Umrechnungsverhältnis bei diesen Proben kann zu 1,7 : 1 angenommen werden.

Genügt eine der vorgeschriebenen Proben den gestellten Bedingungen nicht, so sind an ihrer Stelle 31 zwei neue Proben zu entnehmen, die den Anforderungen genügen müssen.

XB. Die Berechnung der Schrauben und Verschraubungen.

I. Allgemeines.

1. Die nachstehenden Vorschriften setzen normale Verhältnisse voraus. Erheblichen zusätzlichen 32 Beanspruchungen ist besonders Rechnung zu tragen.

2. Verschraubungen, die lösbar bleiben müssen, sollen von heißen Gasen nicht bestrichen werden. 33

3. Das Gewinde soll den Normen entsprechen und muß sauber geschnitten sein. 34

4. Schrauben unter $^5/_8$" Außendurchmesser sind möglichst zu vermeiden, Schrauben unter $^1/_2$" Außen- 35 durchmesser sind unzulässig. Absetzen des Schraubenschaftes unter den Kerndurchmesser obiger Gewindegrenzen ist ebenfalls unzulässig.

5. Muttern mit Normalhöhen nach den Normen genügen den sicherheitstechnischen Anforderungen. 36

II. Berechnung.

1. Berechnungsgang. 37

Im folgenden sind bezeichnet mit:

- P die Gesamtbelastung der Verschraubung in kg,
- n die Anzahl der Schrauben,
- P_1 der auf eine Schraube entfallende Teil der Gesamtbelastung in kg,
- d der Durchmesser des Schraubenkerns in mm,
- d_0 der rechnerische Rohdurchmesser der Schraube,
- k_s die Berechnungsstreckgrenze des Schraubenwerkstoffes in kg/mm²,
- K_z die Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes in kg/mm²,
- x ein Zahlenbeiwert, der in der Formel das Verhältnis zwischen k_s und der rechnerisch zulässigen Beanspruchung des Werkstoffes ausdrückt,
- φ ein Zahlenbeiwert, der die Güte der werkstattechnischen Ausführung und bei höheren Temperaturen die hierdurch bedingte Erhöhung des allgemeinen Gefahrenmomentes berücksichtigt.

2. Die Schraubenlast P_1.

a) Bei kreisrunder Anordnung der Schrauben und gleichmäßiger Verteilung ist die Belastung der 38 einzelnen Schraube

$$P_1 = \frac{P}{n}\ (\text{kg})$$

b) Bei rechteckigen und ovalen Platten kann — gleiche Schraubenteilung vorausgesetzt — angenommen 39 werden, daß die am stärksten belastete Schraube die Belastung

$$P_1 = \frac{P \cdot e}{2 \cdot \pi \cdot r}\ (\text{kg})$$

zu übernehmen hat.

Hierin bedeuten:
r den geringsten Abstand der Schrauben vom Schwerpunkt der gedrückten rechteckigen oder ovalen Fläche in mm,
e die Schraubenteilung in mm.

3. Der Durchmesser des Schraubenkerns d und der rechnerische Rohdurchmesser der Schrauben d_0 stehen von 10 bis 60 mm Kerndurchmesser in folgendem Zusammenhang: 40

$$d = \frac{d_0 + 6}{1{,}1}.$$

Durch die Beziehung wird die zulässige Beanspruchung des Werkstoffes in Abhängigkeit gesetzt von der Größe (Dicke) der Schrauben.

Bei allen Schrauben mit d > 60 mm Kerndurchmesser ist $d = d_0$. 41

4. Die Berechnungsstreckgrenze k_s.

a) Bei unlegiertem und unvergütetem Flußstahl kann k_s bei Betriebstemperaturen bis 200° der nachfolgenden Zahlentafel entnommen werden: 42

K_z	bis 40	über 40 bis 45	über 45 bis 50	über 50 bis 55	über 55 bis 60	über 60 bis 70	über 70 bis 85
k_s	22	23	26	28	31	34	40

Bei Temperaturen über 200° muß die Warmstreckgrenze berücksichtigt werden. Sie kann bis 450° Betriebstemperatur aus der Kaltstreckgrenze so berechnet werden, daß für je 20° Mehrtemperatur über 200° eine Minderung von 4 v. H. angenommen wird.
Höhere Berechnungsstreckgrenzen k_s können in die Berechnung nur dann eingesetzt werden, wenn ein entsprechender Werkstoffnachweis durch Sachverständige beigebracht wird.

b) Bei legierten und vergüteten Sonderwerkstoffen ist die Berechnungsstreckgrenze k_s nachzuweisen. 43

5. Der Zahlenwert x kann in der Regel bei unlegiertem und unvergütetem Flußstahl mit 2,5 gewählt werden. Bei Sonderwerkstoffen, deren besondere Festigkeitseigenschaften nachgewiesen sind, kann vorläufig x bis auf 2 herabgesetzt werden. 44

6. Der Zahlenwert φ nimmt je nach den zu erwartenden Betriebstemperaturen und Güte der werkstattechnischen Ausführung die folgenden Werte an: 45

Fall 1: Bis 200° zulässig. Rohe Ausführung der Schrauben, Muttern, Schraubensitze und Dichtungsfläche. Kesseldruck nicht über 8 kg/cm².
$\varphi_1 = 0{,}5$.

Fall 2: Bis 300° zulässig. Gute Ausführung der Schrauben und Muttern, bearbeitete Dichtungsflächen.
$\varphi_2 = 0{,}75$.

Fall 3: Bis 300° zulässig. Gute Ausführung der Schrauben und Muttern, gut bearbeitete Sitze und Dichtungsflächen.
$\varphi_3 = 1$.

Fall 4: Ueber 300° zulässig. Gute Ausführung der Schrauben und Muttern, gut bearbeitete Sitze und Dichtungsflächen. Je 20° Mehrtemperatur über 300° ist φ in der Regel um 4 v. H. niedriger anzunehmen. Damit wird

$$\varphi_4 = 1 - 0{,}04\left(\frac{t - 300}{20}\right).$$

7. Für die Berechnung des Durchmessers des Schraubenkerns d gelten die folgenden Beziehungen: 46

I. $$d_0^2 = \frac{P_1 \cdot 4 \cdot x}{k_s \cdot \pi \cdot \varphi}$$

II. $$d^2 = \left(\frac{d_0 + 6}{1{,}1}\right)^2.$$

Hieraus folgt der Durchmesser d des Schraubenkerns bei Durchmessern bis 60 mm zu

$$d = \sqrt{\frac{1}{1{,}21} \cdot \frac{4 \cdot x}{\pi \cdot \varphi} \cdot \frac{P_1}{k_s}} + 5{,}5$$

$$d = \sqrt{1{,}05 \frac{x}{\varphi} \cdot \frac{P_1}{k_s}} + 5{,}5 \text{ (mm)}.$$

Ergibt sich der Kerndurchmesser der Schrauben d > 60 mm, so kann d unmittelbar aus Formel I berechnet werden. (d ist dann gleich d_0 zu setzen.)

47 8. Bei Temperaturen über 450° ist die höchste Beanspruchung des Schraubenwerkstoffes aus den gewählten Abmessungen zu errechnen und mit der Dauerstandfestigkeit des verwendeten Werkstoffes zu vergleichen. Die höchste auftretende Spannung muß in ausreichendem Maße unterhalb der Dauerstandfestigkeit bei der höchsten Betriebstemperatur liegen.

Erläuterungen:

Zu A III b 1:

Für die Feststellung, daß der Werkstoff der einzelnen Schrauben den Angaben entspricht, genügt im allgemeinen ein einfacher Versuch, mit dem eine kennzeichnende Eigenschaft des Werkstoffes nachgeprüft werden kann, z. B. der Kugeldruckversuch, der chemische Tüpfelversuch, die elektrische Potentialmessung usw. Im Einzelfalle ist das bestgeeignete Verfahren hierfür auszuwählen.

Beim Kugeldruckversuch ist zu beachten, daß nur bei Kohlenstoffstählen die Beziehung zwischen Zugfestigkeit und Brinellhärte allgemein gültig mit 0,36 festgestellt ist, daß bei legierten Stählen dagegen die Beziehung schwankt und diese deshalb für jede legierte Stahlsorte durch einen Vorversuch festzulegen ist.

Für den chemischen Tüpfelversuch läßt sich eine allgemein gültige Durchführungsanweisung nicht geben. Im allgemeinen verfährt man so, daß man auf eine blanke Stelle des Werkstoffes einen Tropfen eines geeigneten Reagens aufbringt, wobei dann eine charakteristische Reaktion eintreten muß.

Bei der elektrischen Potentialmessung mißt man mit einem empfindlichen Millivoltmeter das Potential, das zwischen dem zu prüfenden Werkstoff und dem Werkstoff einer geeigneten Vergleichselektrode besteht, unter Verwendung eines geeigneten Elektrolyten.

Außer den vorgenannten Verfahren kann die Funkenprobe als einfache Näherungsprobe verwendet werden. Sie beruht darauf, daß jeder Stahl beim Anschleifen ein charakteristisches Funkenbild zeigt. Die danach vorgenommene Klassierung ergibt allerdings nur ein grobes Bild. Das Verfahren genügt nicht zur Feststellung feinerer Unterschiede.

Zu A III c:

Es ist nicht erforderlich und auch im allgemeinen nicht möglich, die Anlaßsprödigkeit beim Abnahmeversuch zu ermitteln. Für Sonderstähle kann der Nachweis auch durch eine geeignete Prüfung bei einer amtlichen Stelle geführt werden. Das Lieferwerk hat dann nachzuweisen, daß der Werkstoff mit dem geprüften übereinstimmt. Im Zweifelsfalle gibt der Kerbschlagversuch einen Anhalt für den guten Warmbehandlungszustand des Werkstoffes.

Zu B II 5, 6, 7:

Zur Erleichterung der Berechnung des Schraubendurchmessers kann ein Hilfswert

$$Z = 1{,}025\sqrt{\frac{x}{\varphi}}$$

eingeführt werden. Dann ist

$$d = Z \cdot \sqrt{\frac{P_1}{k_s}} + 5{,}5 \text{ (mm)}$$

Der Zahlenwert Z kann für die verschiedenen Temperaturen und Werkstoffe der nachfolgenden Zahlentafel entnommen werden.

Betriebstemperatur ...	*bis 200°*	*bis 300°*		*320°*	*340°*	*360°*	*380°*	*400°*	*420°*	*440°*	*460°*	*480°*	*500°*	*520°*	*540°*
	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4											
Zahlenbeiwerte	0,5	0,75	1,0	0,96	0,92	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52
Zahlenwert Z für unlegierten Flußstahl (x = 2,5)	2,29	1,87	1,62	1,66	1,69	1,73	1,77	1,81	1,86	1,91	—	—	—	—	—
Zahlenwert Z für legierten Sonderstahl (x = 2,0)	2,05	1,67	1,45	1,48	1,51	1,55	1,58	1,62	1,66	1,71	1,76	1,81	1,87	1,94	2,02

Werden für x andere Werte x' eingesetzt, so ist der Zahlenwert Z mit

$$\sqrt{\frac{x'}{2}} \text{ bzw. } \sqrt{\frac{x'}{2{,}5}} \text{ zu multiplizieren.}$$

XI. Anker und Stehbolzen.

XI A. Allgemeines.

1 Bei der Berechnung der Ankerbelastung darf die etwaige unterstützende Wirkung anderer Kesselteile berücksichtigt werden.

XI B. Berechnung.

2 1. Die zulässige Spannung soll

bei geschweißten Ankern und Stehbolzen aus Schweißstahl ..... 3,5 kg/mm²,
bei ungeschweißten Ankern und Stehbolzen aus Schweißstahl ..... 5 kg/mm²,
bei ungeschweißten Ankern und Stehbolzen aus Flußstahl ..... 6 kg/mm²,
bei Ankern und Stehbolzen aus Kupfer für Dampftemperaturen bis 200° ..... 4 kg/mm²,
bei Ankerrohren im Kernquerschnitt des Gewindes ..... 5,3 kg/mm²

nicht überschreiten.

3 2. Es empfiehlt sich, die mit Muttern versehenen Längsanker mit Gewinde in die Stirnplatten oder Rohrplatten einzuschrauben, außerdem nicht nur außen, sondern auch innen mit Unterlegscheiben und mit Muttern zu versehen. Die Ankerrohre sind mit Gewinde einzuziehen und aufzuwalzen.

4 3. Die Länge der Eckanker soll so groß wie irgend möglich sein.

5 4. Es empfiehlt sich, in Dampfkesseln mit Flammrohren diejenigen Niete, welche die Eckanker mit der Stirnplatte verbinden, mindestens 200 mm vom Flammrohrumfang abstehen zu lassen.

6 5. Der Querschnitt der Eckanker soll im Verhältnis ihrer Neigung zur Kesselachse größer werden als derjenige der Längsanker.

7 6. Die zur Befestigung der Eckanker dienenden Bolzen und Niete sind den wirkenden Kräften entsprechend reichlich zu bemessen.

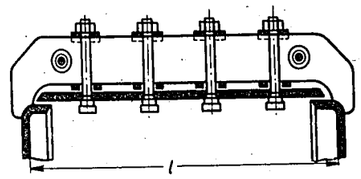
8 7. Werden ebene Stirnwände durch Aufnieten von I-Trägern und dergleichen versteift, so sollen diese ihre Belastung möglichst unmittelbar auf den Kesselmantel übertragen.

9 8. Bei der Versteifung feuerberührter ebener Flächen durch Stehbolzen sollte der Stehbolzenabstand im allgemeinen nicht größer als 200 mm sein.

XII. Bügel- oder Deckenträger für Feuerbuchsendecken.

1 1. Die freitragenden, nicht aufgehängten Träger sind wie ein Balken zu berechnen, der auf die Entfernung l (vgl. Abbildung) frei aufliegt und an den Stützstellen der Decke durch die Kräfte belastet wird, welche sich für die auf ihn entfallenden Deckenfelder ergeben.

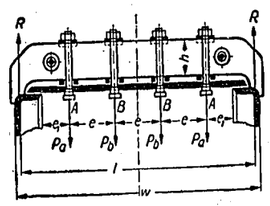
2 2. Die Tragfähigkeit des Deckenbleches kann in Rechnung gestellt werden.

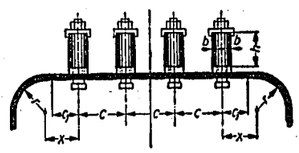


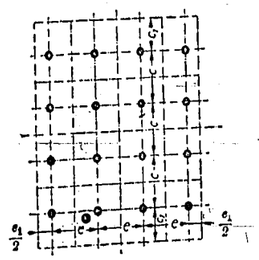
3 3. Werden die Deckenträger aufgehängt, so sind sie den veränderten Belastungsverhältnissen entsprechend zu berechnen.

Erläuterungen:

Nach 2. kann die Tragfähigkeit des Deckenbleches in Rechnung gesetzt werden. Es empfiehlt sich, die durch das Deckenblech bewirkte Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Konstruktion dadurch zu berücksichtigen, daß man das Widerstandsmoment des auf Biegung beanspruchten Deckenträgers entsprechend höher in die Rechnung einsetzt. Es kann zu diesem Zweck mit einem Koeffizienten z multipliziert werden, welcher etwa $^4/_8$ betragen kann. Danach ergibt sich die Berechnung des Deckenträgers wie folgt:







Unter den in den Abbildungen angenommenen Verhältnissen wird mit p als größtem Betriebsüberdruck in kg/cm² bei den zwei Randträgern:

die Kraft P_a *in kg* $= \left(c_1 + \frac{c}{2}\right) \cdot \left(\frac{e_1}{2} + \frac{e}{2}\right) \cdot p$,

die Kraft P_b *in kg* $= \left(c_1 + \frac{c}{2}\right) \cdot e \cdot p$;

bei den zwei Mittelträgern:

die Kraft P_a *in kg* $= c \cdot \left(\frac{e_1}{2} + \frac{e}{2}\right) \cdot p$,

die Kraft P_b *in kg* $= c \cdot e \cdot p$;

die Auflagerkraft an den Trägerenden in kg:

$$R = P_a + P_b.$$

Das Maß c_1 *bestimmt die Erstreckung desjenigen Teiles der Decke, welcher nach dem Rande zu seine Belastung auf den Randträger absetzt, im Durchschnitt* c_1 *etwa* $= {}^2/_3\ x$.

Das größte Biegungsmoment im Querschnitt bei B und in den Querschnitten zwischen BB ist

$$M_b = R\left(\frac{l}{2} - \frac{e}{2}\right) - P_a \cdot e.$$

Das Widerstandsmoment des Trägers zur Berechnung seines Querschnittes ergibt sich aus der Formel

$$M_b \leqq z \cdot W \cdot k.$$

Hierin bedeuten:

W Widerstandsmoment des Trägers in cm³ (für rechteckigen Querschnitt, wie in der Abbildung angenommen, ist $W = {}^1/_3\ b\ h^2$*);*

z der die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Konstruktion durch das Deckenblech berücksichtigende Koeffizient, dessen Wert etwa ${}^4/_3$ *betragen kann;*

k die zulässige Biegungsbeanspruchung des Trägerwerkstoffes in kg/cm², die für zähen Werkstoff (Schweißstahl, Flußstahl, Stahlguß) zu ${}^1/_4$ *der Zugfestigkeit in Rechnung gestellt werden darf. Falls ein Nachweis der Zugfestigkeit nicht vorliegt, kann für die genannten Werkstoffe* $k = 900$ *kg/cm² eingeführt werden.*

XIII. Mannloch- und andere Ausschnitte.

1 1. Bei Anordnung von Versteifungen der Ausschnittränder ist zu beachten, daß unter Umständen durch solche Versteifungen Spannungen erzeugt werden können, die zu vermeiden sind.

2 2. Im allgemeinen sollen die ovalen Mannlöcher mindestens 300×400 mm weit sein; hiervon ist nur dann abzuweichen, wenn sich derart bemessene Mannlöcher nur schwierig anbringen lassen. Die kleinste zulässige Weite ist in diesem Ausnahmefalle 280×380 mm.

3 3. Die in den Dampfdom führenden Oeffnungen sind stets so zu bemessen, daß das Innere des Domes sowie dessen Decken- und Randkrempen der Untersuchung zugänglich bleiben.

4 4. Verschlußdeckel, Mannlocheinfassungen (Rahmen) und Bügel dürfen nicht aus Gußeisen oder Temperguß hergestellt werden. Sofern nicht Metalldichtungen verwendet werden, müssen die Verschlußdeckel, um ein Herausdrücken der Packung zu verhindern, auf der Luftseite einen Wulst oder einen Bund haben. Sein Spiel gegenüber dem Lochrand, ringsum gleichmäßig verteilt, darf bei Kesseln unter 32 atü Betriebsdruck keinesfalls 3 mm und ab 32 atü nicht 1 mm übersteigen. Seine Höhe muß mindestens 5 mm größer sein als die Dicke der Dichtung.

5 5. Es empfiehlt sich, die Schraubenbolzen der Mannlochdeckel bei Kesseln für hohe Dampfspannung mit Gewinde einzusetzen und zu vernieten.

6 6. Die Ränder der Mannloch- und der sonstigen Ausschnitte sind stets dann wirksam zu versteifen, wenn durch das Einschneiden der Löcher eine unzulässige Verschwächung des Bleches gegenüber dem beabsichtigten Drucke eintritt oder wenn zu befürchten steht, daß das Blech durch das Anziehen der Bügel u. dgl. durchgespannt wird. Eine unzulässige Verschwächung und ein Durchspannen des Bleches ist bei Putzlöchern mit Verschlußdeckeln in zylindrischen Wandungen durch das Anziehen der Verschlußbügel zu erwarten. Gutes Anliegen der Deckel soll nachgeprüft werden.

7 7. Bei neuen, nicht befahrbaren, stehenden Quersiederkesseln ist gegenüber der üblichen, in Höhe des NW. angebrachten Reinigungsöffnung eine Waschluke, bei größeren Kesseln ein Mannloch vorzusehen, um eine Besichtigung der von der erstgenannten Oeffnung aus nicht zu überblickenden Rauchrohrhälfte, gegebenenfalls das Anbohren des Rauchrohres, zu ermöglichen. Ferner ist eine Besichtigungsmöglichkeit für die Ueberlappungslängsnaht des Kessels vorzusehen.

8 Ist der Quersiederkessel gut befahrbar, so daß das Rauchrohr von allen Seiten besichtigt werden kann, so erübrigt sich die Anbringung einer besonderen Schauluke. Im allgemeinen gelten Quersiederkessel von 1200 mm ⌀ an aufwärts als gut befahrbar bei einer Mannlochgröße von 300×400 mm. Bei kleineren Kesseln ist, auch wenn ein Mannloch vorhanden ist, die Anbringung einer Schauöffnung in der Regel notwendig.

9 Liegen besondere Verhältnisse vor — etwa Rauchrohre größeren Durchmessers als üblich mit eingebauten Ueberhitzern —, so wird auch bei Kesseln über 1200 mm ⌀ die Anbringung von Schauöffnungen gegenüber dem Mannloch notwendig, wenn die gute Befahrbarkeit nicht mehr gegeben ist.

XIV. Wasserkammer- und Teilkammerkessel.

1 1. Bei Kammer- (nicht Teilkammer-) Kesseln sollen Schweißverbindungen des Umlaufblechs (Bodenblechs) mit den Rohrplatten vermieden werden. Mindestens muß dies geschehen im unteren Teile der vorderen Wasserkammer auf der dem Feuer zugewendeten Seite.

2 2. Die vordere Kammer (auch Teilkammer) ist mindestens so zu lagern, daß etwa auftretende Undichtigkeiten der vorderen und hinteren Kante des Bodenblechs beobachtet werden können. Ist die hintere untere Kante der vorderen Wasserkammer durch Krempung, ohne Nietung und ohne Schweißung hergestellt, so ist die Beobachtungsmöglichkeit nicht erforderlich.

3 3. a) Die hintere untere Kante der vorderen Kammer (auch Teilkammer) muß bei gekrempten Kanten ohne Nietung durch Mauerwerk dauernd wirksam der unmittelbaren Bestrahlung durch das Feuer und der unmittelbaren Berührung durch die Feuergase entzogen werden.

4 b) In den übrigen Fällen muß darüber hinaus die hintere untere Kante der vorderen Kammer (auch Teilkammer) jedem Einfluß zu hoher Temperaturen dauernd wirksam entzogen werden. Das Schutzmauerwerk muß in diesen Fällen so ausgeführt werden, daß im Falle eines Schadens (Abbrand, Einsturz) die dadurch entstehende Gefahr dem Heizer und dem Aufsichtsbeamten durch Einblick in den Feuerherd bemerkbar wird.

5 4. Wenn bei bestehenden Anlagen die Forderung des zweiten Satzes der Ziffer 3b nicht erfüllbar ist, so muß, wenigstens bei geschweißter Naht, diese Naht ausreichend mechanisch gesichert sein.

Erläuterungen:

Bei der Herstellung von Teilkammern sind Längsriefen und scharfe Ecken tunlichst zu vermeiden.

Unter den im Absatz 4 geforderten mechanischen Sicherungen sind nur solche Konstruktionen zu verstehen, die am Kessel selbst angebracht sind.

Die Wanddicken der Vierkantrohre, die zur Herstellung von gewellten Teilkammern dienen, sollen bei Verwendung eines Werkstoffes von 41—50 kg/mm² Festigkeit mindestens der nachstehenden Zahlentafel entsprechen:

Lichte Flächenbreite in mm	Betriebsdruck													
	bis 22 kg/cm²		bis 28 kg/cm²		bis 36 kg/cm²		bis 50 kg/cm²		bis 60 kg/cm²		bis 80 kg/cm²		bis 100 kg/cm²	
	ungebohrte Seite	gebohrte Seite	ungebohrte Seite	gebohrte Seite	ungebohrte Seite	gebohrte Seite	ungebohrte Seite	gebohrte Seite	ungebohrte Seite	gebohrte Seite	ungebohrte Seite	gebohrte Seite	ungebohrte Seite	gebohrte Seite
	Wanddicke in mm													
110	8,5	10,5	10,0	12,0	11,0	13,5	13,0	16,0	14,5	17,5	16,5	20,0	18,5	22,5
115	9,0	11,0	10,0	12,5	11,5	14,0	13,5	16,5	15,0	18,5	17,0	21,0	19,0	23,5
120	9,5	11,5	10,5	13,0	12,0	15,0	14,0	17,5	15,5	19,0	18,0	22,0	20,0	24,5
125	10,0	12,0	11,0	13,5	12,5	15,5	14,5	18,0	16,0	20,0	18,5	23,0	20,5	25,5
130	10,0	12,5	11,5	14,0	13,0	16,0	15,5	19,0	16,5	20,5	19,5	23,5	21,5	26,5
135	10,5	13,0	12,0	14,5	13,5	16,5	16,0	19,5	17,5	21,5	20,0	24,5	22,5	27,5
140	11,0	13,5	12,5	15,0	14,0	17,0	16,5	20,5	18,0	22,0	20,5	25,5	23,0	28,5
145	11,5	14,0	13,0	16,0	14,5	18,0	17,0	21,0						
150	11,5	14,5	13,0	16,5	15,0	18,5	17,5	21,5						
155	12,0	15,0	13,5	17,0	15,5	19,0	18,0	22,5						

Kommt ein Werkstoff mit einer anderen Mindestfestigkeit (K_z in kg/mm²) zur Verwendung, so sind die Zahlen der Tabelle mit $\sqrt{\frac{41}{K_z}}$ *zu multiplizieren.*

Die Stegbreite zwischen zwei Verschluß- oder Rohrlöchern darf nicht kleiner sein als $^1/_4$ *der Rohrmittenentfernung.*

Die in der Tabelle angegebenen Wandstärken gelten auch für die ungewellten glatten Enden der Teilkammern.

Ist der innere Radius der Kanten größer als $^1/_{10}$ *der lichten Flächenbreite, so ist eine Verringerung der Wandstärke um 10 v. H. zulässig.*

INFLUENCE OF ARGON
ON RECTIFICATION OF AIR

Der Einfluß des Argons auf die Rektifikation der Luft.

USSBS
Team 46
LU

II 68

Von der

Technischen Hochschule München

zur Erlangung der Würde eines „Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)"
genehmigte Abhandlung.

Vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Friedrich Ahl

geb. zu Neu-Isenburg.

1. Berichterstatter: a. o. Prof. Dipl.-Ing., Dr.-Ing. habil. Helmut Hausen.
2. Berichterstatter: o. Prof. Dipl.-Ing., Dr.-Ing. habil., Dr.-Ing. eh. Wilhelm Nußelt.

Tag der Einreichung der Arbeit: 9. September 1937
Tag der Annahme der Arbeit: 4. Februar 1938

INFLUENCE OF ARGON
ON RECTIFICATION OF AIR

Der Einfluß des Argons auf die Rektifikation der Luft.

USSBS
Team 46
Lu

II 68

Von der

Technischen Hochschule München

zur Erlangung der Würde eines „Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)“
genehmigte Abhandlung.

Vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Friedrich Ahl

geb. zu Neu-Isenburg.

1. Berichterstatter: a. o. Prof. Dipl.-Ing., Dr.-Ing. habil. Helmut Hausen.
2. Berichterstatter: o. Prof. Dipl.-Ing., Dr.-Ing. habil., Dr.-Ing. eh. Wilhelm Nußelt.

Tag der Einreichung der Arbeit: 9. September 1937
Tag der Annahme der Arbeit: 4. Februar 1938

Der Einfluß des Argons auf die Rektifikation der Luft.

Von der

Technischen Hochschule München

zur Erlangung der Würde eines

„Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)"

genehmigte Abhandlung.

Vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Friedrich A h l

geb. zu Neu - Isenburg.

1. Berichterstatter:

a.o. Prof. Dipl.Ing., Dr.-Ing. habil. Helmut Hausen.

2. Berichterstatter:

o.Prof. Dipl.-Ing., Dr.-Ing. habil., Dr.-Ing. eh. Wilhelm Nußelt.

Tag der Einreichung der Arbeit: 9. Sept. 1937

Tag der Annahme der Arbeit: 4. Febr. 1938

Der Einfluß des Argons auf die Rektifikation der Luft.

Von der

Technischen Hochschule München

zur Erlangung der Würde eines

„Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)"

genehmigte Abhandlung.

Vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Friedrich A h l

geb. zu Neu - Isenburg.

1. Berichterstatter:

a.o. Prof. Dipl.Ing., Dr.-Ing. habil. Helmut Hausen.

2. Berichterstatter:

o.Prof. Dipl.-Ing., Dr.-Ing. habil., Dr.-Ing. eh. Wilhelm Nußelt.

Tag der Einreichung der Arbeit: 9. Sept. 1937

Tag der Annahme der Arbeit: 4. Febr. 1938

V o r w o r t

Die Versuche der vorliegenden Arbeit wurden in der Zeit von Januar bis November 1936 in der Luftzerlegungsanlage des Werkes Piesteritz (Bezirk Halle) der Bayerischen Stickstoff-Werke A.-G. durchgeführt, deren Vorstand ich für die mir hierfür gegebene Möglichkeit meinen Dank ausspreche. Für Anregungen und dauernde freundliche Unterstützung im Laufe der Arbeit bin ich Herrn Professor Dr.-Ing. H. H a u s e n (Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A.-G., Höllriegelskreuth bei München) zu aufrichtigem Dank verpflichtet. Seine Veröffentlichungen [1] haben neben betrieblichen Notwendigkeiten den Anstoß zu dieser Arbeit gegeben.

---

[1] Vergl. Literaturangabe im Anhang.

Inhaltsverzeichnis

Erster Teil

	Seite
I. Einleitung: Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit	3
II. Technische Beschreibung der Luftzerlegung	4
III. Theoretischer Teil	
1. Größenbezeichnung	7
2. Gas-Bilanz des Zweisäulenapparates	9
a) Luftzusammensetzung	9
b) Argonbilanz ohne dritten Gasauslaß	10
c) Argonbilanz mit drittem Gasauslaß	12
d) Theoretische Stickstoffausbeute	14
3. Gleichgewichtsdiagramme f.Sauerstoff-Stickstoff-Argon-Gemische	14
4. Theoretischer Verlauf der Rektifikationslinien in der Hauptzerlegungssäule	17
IV. Versuchsanordnung und -Durchführung.	
1. Beschreibung der untersuchten Apparate	23
2. Einstellung der Apparate	26
3. Gasanalysen	
a) Entnahme der Gasproben	26
b) Analysenmethode	28
α) Sauerstoffanalysen	28
β) Argonanalysen	29
4. Messung der Gasmengen	36

Zweiter Teil

V. Ergebnis und Auswertung der Versuche	
1. Versuchsergebnisse ohne dritten Gasauslaß	
a) Kleiner Apparat	37
b) Untersuchung mehrerer "kleiner" Apparate	42
c) Großer Apparat	42
2. Versuchsergebnisse mit drittem Gasauslaß	46
a) Kleiner Apparat	50
α) Dritter Gasauslaß unterhalb der Einführungsstelle des sauerstoffreichen Flüssigkeitsgemisches	50
β) Dritter Gasauslaß oberhalb dieser Einführungsstelle.	57
b) Großer Apparat	61
3. Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse des kleinen und großen Apparates	65
VI. Zusammenfassung	72

Anhang

Tabellen / Literaturangabe / Lebenslauf

Erster Teil.

I. Einleitung.

Die Luftzerlegungsanlagen haben in den meisten Fällen die Aufgabe, entweder möglichst reinen Sauerstoff (d.h. stickstoff- und argonfrei) oder reinen Stickstoff (d.h. sauerstoff- und argonfrei) zu erzeugen. Ihre Lösung macht bei dem heutigen Entwicklungsstand der Tieftemperaturtechnik und ihres Apparatebaues keine Schwierigkeiten. Die Zerlegungsapparate werden hierfür so gebaut und betrieben, daß man das Argon, das mit 0,932 Volumen-% in der Luft enthalten ist, mit dem nicht rein zu erhaltenden Abfallgas, d.h. also, im ersten Falle mit dem Stickstoff und im zweiten Falle mit dem Sauerstoff abströmen läßt. Die gleichzeitige Gewinnung von reinem Stickstoff u n d reinem Sauerstoff ist dadurch wesentlich erschwert, daß bei Apparaten mit nur zwei Gasausströmungsöffnungen selbst bei theoretisch restloser Trennung von Sauerstoff und Stickstoff das Argon entweder mit 4,25 % im Sauerstoff (d.h. also: 95,75 % Sauerstoffreinheit) oder mit 1,18 % im Stickstoff (d.h.: 98,82 % Stickstoffreinheit) abziehen muß. Dieser Schwierigkeit kann man jedoch grundsätzlich auf zwei verschiedenen Wegen begegnen: 1.) Man erzeugt zunächst nur einen reinen Bestandteil, z.B. Stickstoff und befreit dann in einer weiteren Trennsäule den zweiten Hauptbestandteil, d.h. also dann den Sauerstoff vom Argon und den übrigen Verunreinigungen. 2.) Man läßt aus einem d r i t t e n Gasauslass der Hauptzerlegungssäule möglichst an der Stelle der höchsten Argonanreicherung eine kleine Gasmenge austreten, die zur Abtrennung etwa mitgerissener Flüssigkeit zweckmässig aus einer besonderen in die Säule eingebauten Kammer entnommen wird. Da dieses Gas einen großen Teil des Argons mit fortnimmt, können dadurch die Zerlegungsprodukte weitgehend von Argon befreit werden. Mit diesem zweiten Verfahren beschäftigt sich die vorliegende Arbeit. An zwei verschieden großen, nach diesem Verfahren arbeitenden Apparaten wurden bei veränderlicher Einstellung der Sauerstoffreinheit und veränderlicher aus dem an verschiedenen Stellen eingebauten dritten Gasauslaß entnommener Gasmenge Versuche durchgeführt. Es wurde hierbei der Argongehalt an verschiedenen Stellen der Hauptrektifikationssäule und seine Veränderung in Abhängigkeit vom Betriebszustand gemessen, um daraus für die jeweils geforderten Betriebsbedingungen die technisch und wirtschaftlich

richtigste Betriebsweise der Apparate zu erkennen. Die vorliegende Arbeit hat außerdem die Aufgabe, die Richtigkeit der von H. Hausen zum ersten Male bei verschiedenen Annahmen theoretisch abgeleiteten Rektifikationslinienverlaufe durch experimentelle Untersuchungen zu beweisen bezw. ihre Ergebnisse diesen theoretischen Betrachtungen gegenüber zu stellen.

II. Technische Beschreibung der Luftzerlegung.

Zum Verständnis der weiteren Ausführungen soll im folgenden ein Luftzerlegungsapparat beschrieben und auf die in ihm sich abspielenden Vorgänge kurz eingegangen werden.
Abb. 1 zeigt eine schematische Darstellung [1] der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Zweisäulenapparate, wie sie von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A.-G. zur wirtschaftlichen Erzeugung von reinem Stickstoff gebaut werden. [2] Die Luft wird vor der Verdichtung mit dem Verdichter V mittels eines Tuch- oder Labyrinthfilters F von Staubverunreinigungen und in einer dahinter geschalteten Natronlaugewäsche W von Kohlensäure befreit. Die gereinigte und verdichtete Luft strömt dann durch den Gegenstromkälteaustauscher G, in dem die noch in dem gewonnenen Stickstoff und Sauerstoff enthaltene Kälte auf die entgegenströmende Luft übertragen wird. Nach weiterer Abkühlung durch eine Kondensationskälteanlage K (Ammoniakanlage) strömt die Luft durch einen weiteren Gegenstrom-Kälteaustauscher G', der die gleiche Aufgabe wie G hat, um dann in den eigentlichen Zerlegungsapparat eingeführt zu werden. Die Höhe des Druckes, auf den die Luft verdichtet werden muß, muß je nach der für den Zerlegungsprozeß praktisch notwendigen und bei der Drosselung der Luft von diesem Druck auf den Druck der abziehenden zerlegten Gase (~p") durch den Joule-Thomson-Effekt frei werdenden Kältemenge - abzüglich der durch die

---

1) Im Abschnitt IV 1 wird noch eine ausführlichere Darstellung der untersuchten Apparate gezeigt.
2) Es ist nicht die Aufgabe dieser Arbeit, auf andere, nicht vom Verfasser untersuchte Luftzerlegungsverfahren (Linde-Einsäulenapparat, Verfahren nach Claude, Linde-Fränkl, Messer & Co., Heylandt A.-G., A.-G. für Industriegasverwertung u.a.m.) beschreibend näher einzugehen.

richtigste Betriebsweise der Apparate zu erkennen. Die vorliegende Arbeit hat außerdem die Aufgabe, die Richtigkeit der von H. Hausen zum ersten Male bei verschiedenen Annahmen theoretisch abgeleiteten Rektifikationslinienverlaufe durch experimentelle Untersuchungen zu beweisen bezw. ihre Ergebnisse diesen theoretischen Betrachtungen gegenüber zu stellen.

II. Technische Beschreibung der Luftzerlegung.

Zum Verständnis der weiteren Ausführungen soll im folgenden ein Luftzerlegungsapparat beschrieben und auf die in ihm sich abspielenden Vorgänge kurz eingegangen werden.
Abb. 1 zeigt eine schematische Darstellung [1] der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Zweisäulenapparate, wie sie von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A.-G. zur wirtschaftlichen Erzeugung von reinem Stickstoff gebaut werden. [2] Die Luft wird vor der Verdichtung mit dem Verdichter V mittels eines Tuch- oder Labyrinthfilters F von Staubverunreinigungen und in einer dahinter geschalteten Natronlaugewäsche W von Kohlensäure befreit. Die gereinigte und verdichtete Luft strömt dann durch den Gegenstromkälteaustauscher G, in dem die noch in dem gewonnenen Stickstoff und Sauerstoff enthaltene Kälte auf die entgegenströmende Luft übertragen wird. Nach weiterer Abkühlung durch eine Kondensationskälteanlage K (Ammoniakanlage) strömt die Luft durch einen weiteren Gegenstrom-Kälteaustauscher G', der die gleiche Aufgabe wie G hat, um dann in den eigentlichen Zerlegungsapparat eingeführt zu werden. Die Höhe des Druckes, auf den die Luft verdichtet werden muß, muß je nach der für den Zerlegungsprozeß praktisch notwendigen und bei der Drosselung der Luft von diesem Druck auf den Druck der abziehenden zerlegten Gase (~p") durch den Joule-Thomson-Effekt frei werdenden Kältemenge - abzüglich der durch die

---

1) Im Abschnitt IV 1 wird noch eine ausführlichere Darstellung der untersuchten Apparate gezeigt.
2) Es ist nicht die Aufgabe dieser Arbeit, auf andere, nicht vom Verfasser untersuchte Luftzerlegungsverfahren (Linde-Einsäulenapparat, Verfahren nach Claude, Linde-Fränkl, Messer & Co., Heylandt A.-G., A.-G. für Industriegasverwertung u.a.m.) beschreibend näher einzugehen.

richtigste Betriebsweise der Apparate zu erkennen. Die vorliegende Arbeit hat außerdem die Aufgabe, die Richtigkeit der von H. Hausen zum ersten Male bei verschiedenen Annahmen theoretisch abgeleiteten Rektifikationslinienverläufe durch experimentelle Untersuchungen zu beweisen bezw. ihre Ergebnisse diesen theoretischen Betrachtungen gegenüber zu stellen.

II. Technische Beschreibung der Luftzerlegung.

Zum Verständnis der weiteren Ausführungen soll im folgenden ein Luftzerlegungsapparat beschrieben und auf die in ihm sich abspielenden Vorgänge kurz eingegangen werden.
Abb. 1 zeigt eine schematische Darstellung [1] der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Zweisäulenapparate, wie sie von der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen A.-G. zur wirtschaftlichen Erzeugung von reinem Stickstoff gebaut werden. [2] Die Luft wird vor der Verdichtung mit dem Verdichter V mittels eines Tuch- oder Labyrinthfilters F von Staubverunreinigungen und in einer dahinter geschalteten Natronlaugewäsche W von Kohlensäure befreit. Die gereinigte und verdichtete Luft strömt dann durch den Gegenstromkälteaustauscher G, in dem die noch in dem gewonnenen Stickstoff und Sauerstoff enthaltene Kälte auf die entgegenströmende Luft übertragen wird. Nach weiterer Abkühlung durch eine Kondensationskälteanlage K (Ammoniakanlage) strömt die Luft durch einen weiteren Gegenstrom-Kälteaustauscher G', der die gleiche Aufgabe wie G hat, um dann in den eigentlichen Zerlegungsapparat eingeführt zu werden. Die Höhe des Druckes, auf den die Luft verdichtet werden muß, muß je nach der für den Zerlegungsprozeß praktisch notwendigen und bei der Drosselung der Luft von diesem Druck auf den Druck der abziehenden zerlegten Gase (~p") durch den Joule-Thomson-Effekt frei werdenden Kältemenge - abzüglich der durch die

---

1) Im Abschnitt IV 1 wird noch eine ausführlichere Darstellung der untersuchten Apparate gezeigt.
2) Es ist nicht die Aufgabe dieser Arbeit, auf andere, nicht vom Verfasser untersuchte Luftzerlegungsverfahren (Linde-Einsäulenapparat, Verfahren nach Claude, Linde-Fränkl, Messer & Co., Heylandt A.-G., A.-G. für Industriegasverwertung u.a.m.) beschreibend näher einzugehen.

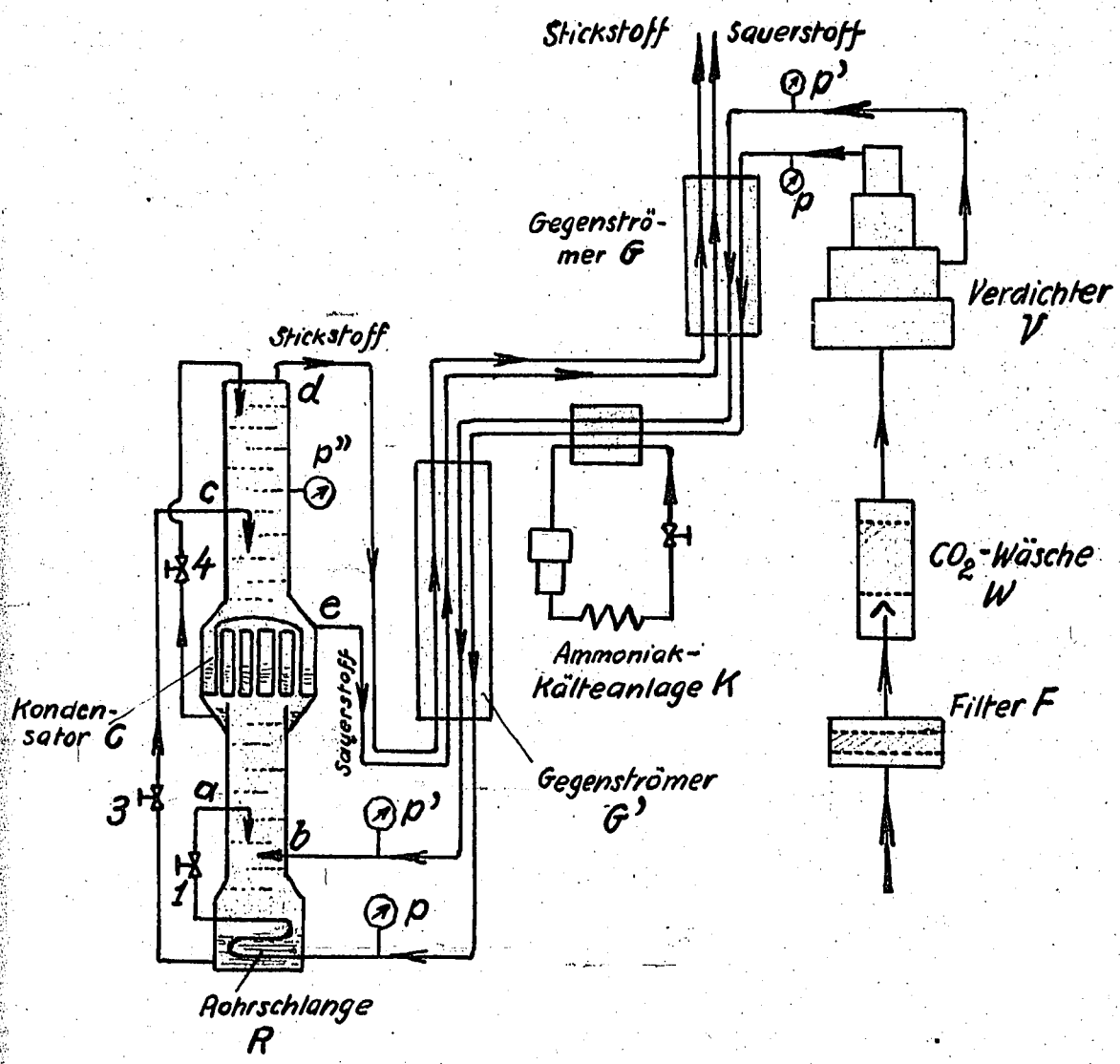


Abb. 1.

Schema einer mit Hoch-u. Niederdruckluft arbeitenden Luftzerlegungsanlage.

Maßstab:		
	Datum	Name
Gezeich.	25. 7 37	Hü
Geprüft		
Gesehen		

Kälteanlage K zugeführten Kälte - eingestellt werden. Sie ist - da der theoretische Arbeitsaufwand für die Gaszerlegung im Verhältnis zu dem wirklichen Arbeitsaufwand klein ist [1] - von der Güte der Apparateisolation, dem Wirkungsgrad der Gegenstromkälteaustauscher G und G', dem Grad der durch Wasser, Kohlensäure und sonstige Verunreinigungen hervorgerufenen Apparateverstopfungen u.a.m. abhängig. Da die bei der Entspannung der Luft frei werdende Joule-Thomson-Kälte praktisch linear mit dem Druck p, von dem man die Luft auf den Druck der abziehenden getrennten Gase entspannt, zunimmt, und die dafür notwendige Kompressionsarbeit nur proportional ln p ansteigt, so wird der Arbeitsaufwand pro Kälteeinheit $\frac{\ln p}{p}$ mit steigendem Druck kleiner. Zur Energieersparnis wird deshalb bei neueren Anlagen die gesamte Luft nicht auf einen gemeinsamen Druck (35 - 50 atü) verdichtet, sondern der größte Teil der Luft wird auf einen sehr niedrigen Druck p' verdichtet [2] - wobei man zweckmäßig den im Apparat auftretenden und für das richtige Arbeiten des Apparates notwendigen Zwischendruck von ca. 5 ata der unteren Säule (Drucksäule) des Apparates wählt - und die restliche Luftmenge auf einen so hohen Druck p (beispielsweise 100 bis 200 atü), als es der noch fehlende Kältebedarf des Apparates verlangt.

Die in den Gegenströmen G und G' abgekühlte Hochdruckluft wird zunächst in der im Verdampfergefäß der Drucksäule angeordneten Rohrschlange R verflüssigt und nach Entspannung im Ventil 1 bei a in die Drucksäule eingeführt. Die im wesentlichen dampfförmige Niederdruckluft wird bei b eingeführt. Das im unteren Teil der Drucksäule sich ansammelnde sauerstoffreiche Flüssigkeitsgemisch wird, soweit es nicht wieder als Dampf aufsteigt, flüssig nach Entspannung in dem Ventil 3 an der Stelle c etwa in der Mitte der oberen Säule mit einem von den abziehenden Gasen verlangten bezw. sich einstellenden Überdruck p" von 0,1 - 0,5 atü eingeführt. Der im Kondensator C auf der Druckseite, d.h. also in der Drucksäule verflüssigte Stickstoff fließt ungefähr zur Hälfte als Rücklauf zur Aufrechterhaltung der Rektifikation in die Drucksäule zurück, die andere Hälfte dient nach Entspannung im Ventil 4 als Rücklauf für die obere Säule. Der Druck

---

1) H.Hausen: Verlustfreie Zerlegung von Gasgemischen durch umkehrbare Rektifikation. Z.f.techn. Physik Bd. 13 (1932) 6, 271

2) bei großen Einheiten neuerdings mit Turboverdichtern.

Kälteanlage K zugeführten Kälte - eingestellt werden. Sie ist - da der theoretische Arbeitsaufwand für die Gaszerlegung im Verhältnis zu dem wirklichen Arbeitsaufwand klein ist [1] - von der Güte der Apparateisolation, dem Wirkungsgrad der Gegenstromkälteaustauscher G und G', dem Grad der durch Wasser, Kohlensäure und sonstige Verunreinigungen hervorgerufenen Apparateverstopfungen u.a.m. abhängig. Da die bei der Entspannung der Luft frei werdende Joule-Thomson-Kälte praktisch linear mit dem Druck p, von dem man die Luft auf den Druck der abziehenden getrennten Gase entspannt, zunimmt, und die dafür notwendige Kompressionsarbeit nur proportional ln p ansteigt, so wird der Arbeitsaufwand pro Kälteeinheit $\frac{\ln p}{p}$ mit steigendem Druck kleiner. Zur Energieersparnis wird deshalb bei neueren Anlagen die gesamte Luft nicht auf einen gemeinsamen Druck (35 - 50 atü) verdichtet, sondern der größte Teil der Luft wird auf einen sehr niedrigen Druck p' verdichtet [2] - wobei man zweckmäßig den im Apparat auftretenden und für das richtige Arbeiten des Apparates notwendigen Zwischendruck von ca. 5 ata der unteren Säule (Drucksäule) des Apparates wählt - und die restliche Luftmenge auf einen so hohen Druck p (beispielsweise 100 bis 200 atü), als es der noch fehlende Kältebedarf des Apparates verlangt.

Die in den Gegenströmen G und G' abgekühlte Hochdruckluft wird zunächst in der im Verdampfergefäß der Drucksäule angeordneten Rohrschlange R verflüssigt und nach Entspannung im Ventil 1 bei a in die Drucksäule eingeführt. Die im wesentlichen dampfförmige Niederdruckluft wird bei b eingeführt. Das im unteren Teil der Drucksäule sich ansammelnde sauerstoffreiche Flüssigkeitsgemisch wird, soweit es nicht wieder als Dampf aufsteigt, flüssig nach Entspannung in dem Ventil 3 an der Stelle c etwa in der Mitte der oberen Säule mit einem von den abziehenden Gasen verlangten bezw. sich einstellenden Überdruck p" von 0,1 - 0,5 atü eingeführt. Der im Kondensator C auf der Druckseite, d.h. also in der Drucksäule verflüssigte Stickstoff fließt ungefähr zur Hälfte als Rücklauf zur Aufrechterhaltung der Rektifikation in die Drucksäule zurück, die andere Hälfte dient nach Entspannung im Ventil 4 als Rücklauf für die obere Säule. Der Druck

---

1) H.Hausen: Verlustfreie Zerlegung von Gasgemischen durch umkehrbare Rektifikation. Z.f.techn. Physik Bd. 13 (1932) 6, 271

2) bei großen Einheiten neuerdings mit Turboverdichtern.

Kälteanlage K zugeführten Kälte - eingestellt werden. Sie ist - da der theoretische Arbeitsaufwand für die Gaszerlegung im Verhältnis zu dem wirklichen Arbeitsaufwand klein ist [1] - von der Güte der Apparateisolation, dem Wirkungsgrad der Gegenstromkälteaustauscher G und G', dem Grad der durch Wasser, Kohlensäure und sonstige Verunreinigungen hervorgerufenen Apparateverstopfungen u.a.m. abhängig. Da die bei der Entspannung der Luft frei werdende Joule-Thomson-Kälte praktisch linear mit dem Druck p, von dem man die Luft auf den Druck der abziehenden getrennten Gase entspannt, zunimmt, und die dafür notwendige Kompressionsarbeit nur proportional ln p ansteigt, so wird der Arbeitsaufwand pro Kälteeinheit $\frac{\ln p}{p}$ mit steigendem Druck kleiner. Zur Energieersparnis wird deshalb bei neueren Anlagen die gesamte Luft nicht auf einen gemeinsamen Druck (35 - 50 atü) verdichtet, sondern der größte Teil der Luft wird auf einen sehr niedrigen Druck p' verdichtet [2] - wobei man zweckmäßig den im Apparat auftretenden und für das richtige Arbeiten des Apparates notwendigen Zwischendruck von ca. 5 ata der unteren Säule (Drucksäule) des Apparates wählt - und die restliche Luftmenge auf einen so hohen Druck p (beispielsweise 100 bis 200 atü), als es der noch fehlende Kältebedarf des Apparates verlangt.

Die in den Gegenströmen G und G' abgekühlte Hochdruckluft wird zunächst in der im Verdampfergefäß der Drucksäule angeordneten Rohrschlange R verflüssigt und nach Entspannung im Ventil 1 bei a in die Drucksäule eingeführt. Die im wesentlichen dampfförmige Niederdruckluft wird bei b eingeführt. Das im unteren Teil der Drucksäule sich ansammelnde sauerstoffreiche Flüssigkeitsgemisch wird, soweit es nicht wieder als Dampf aufsteigt, flüssig nach Entspannung in dem Ventil 3 an der Stelle c etwa in der Mitte der oberen Säule mit einem von den abziehenden Gasen verlangten bezw. sich einstellenden Überdruck p" von 0,1 - 0,5 atü eingeführt. Der im Kondensator C auf der Druckseite, d.h. also in der Drucksäule verflüssigte Stickstoff fließt ungefähr zur Hälfte als Rücklauf zur Aufrechterhaltung der Rektifikation in die Drucksäule zurück, die andere Hälfte dient nach Entspannung im Ventil 4 als Rücklauf für die obere Säule. Der Druck

---

1) H.Hausen: Verlustfreie Zerlegung von Gasgemischen durch umkehrbare Rektifikation. Z.f.techn. Physik Bd. 13 (1932) 6, 271

2) bei großen Einheiten neuerdings mit Turboverdichtern.

der unteren Säule p' muß so hoch gewählt werden, daß die bei der Verdampfung des Sauerstoffes auf der Niederdruckseite des Kondensators C, d.h. also in der oberen Säule sich einstellende Temperatur um das für den Kondensator-Kälteaustausch notwendige Temperaturgefälle tiefer liegt als die Temperatur des sich in der unteren Drucksäule kondensierenden Stickstoffes. Der gasförmige Stickstoff und gasförmige Sauerstoff ziehen an den Stellen d und e ab. Abb.2 zeigt, wie für die gleichzeitige Erzeugung von reinem Stickstoff und reinem Sauerstoff eine Kammer K eingebaut ist, aus der man ein argonangereichertes Gasgemisch regulierbar abströmen läßt. Das aus diesem dritten Gasauslaß ausströmende Gas gibt genau wie der gewonnene Sauerstoff und Stickstoff seine Gaskälte in einem Gegenströmer an einen abgezweigten Teilstrom der ankommenden wärmeren Hochdruckluft ab. Dieses Verfahren war mit dem DRP Nr. 332 548 vom 16. Februar 1915 von W. Lachmann, Dresden, patentiert worden.

III. Theoretischer Teil.

In dem folgenden Abschnitt werden einige theoretische Betrachtungen behandelt, deren Beherrschung für die Diskussion der ausgeführten Versuche und deren Ergebnisse erforderlich ist.

1. Größenbezeichnung.

Es bedeuten a) für ein Stoffgemisch an gleicher Stelle in Volumenhundertteilen, bezogen auf idealen Gaszustand:

x: die Flüssigkeitskonzentration

z: die mit x im Gleichgewicht stehende Dampfkonzentration

y: die wirkliche Dampfkonzentration

b) der erste obigen Buchstaben beigefügte Fusszeiger:

I : die Sauerstoffkonzentration

II : die Argonkonzentration

III : die Stickstoffkonzentration

c) der zweite beigefügte Fusszeiger (vgl. Abb.3):

O: die Konzentration an der Einführungsstelle des sauerstoffreichen Flüssigkeitsgemisches aus der unteren Drucksäule

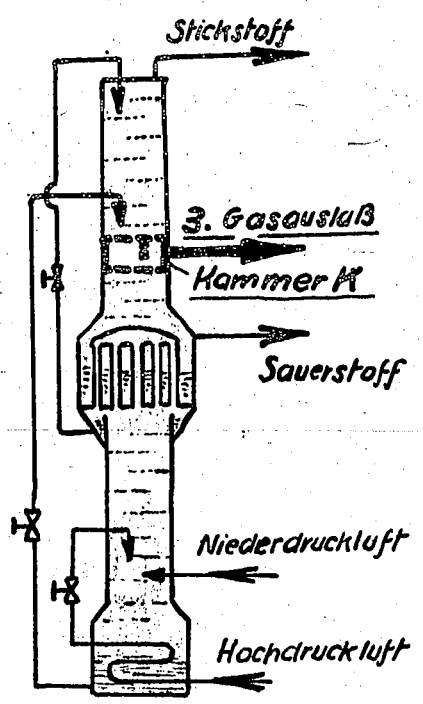


Abb. 2.

Einbau eines dritten Gasauslasses (Kammer K) in die obere Säule zum Entnehmen von argonangereicherten Gasgemischen.

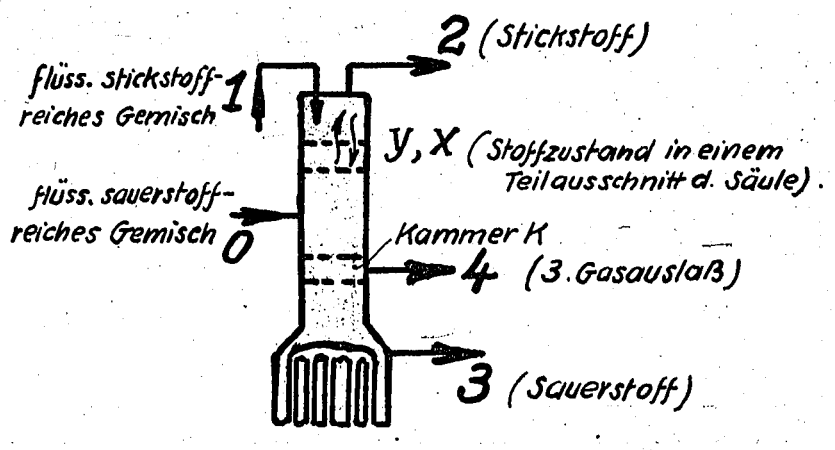


Abb. 3.

Schema der oberen Säule mit Einzeichnung der bei den Gleichungen verwendeten Indexzahlen der ein- und ausströmenden Stoffgemische.

Maßstab:		
	Datum	Name
zeich.	27.7.37	Ad
prüft		
sehen		

1: die Konzentration des am Kopf der oberen Säule eingespritzten flüssigen Stickstoffs

2: die Konzentration beim oberen Gasaustritt (gewonnener gasförmiger Stickstoff)

3: die Konzentration beim unteren Gasaustritt aus der Säule (gewonnener gasförmiger Sauerstoff)

4: die Konzentration an der Stelle des dritten Gasauslasses (Kammer K)

d) gemessen in Nm^3 [1] je Zeiteinheit:

a: die am dritten Gasauslass ausströmende Gasmenge in Volumenhundertteilen der zerlegten Luftmenge.

v: die an einer bestimmten Stelle der Säule nach unten fließende Flüssigkeitsmenge

V: die an gleicher Stelle nach oben strömende Gasmenge.

Beispiel: Das aus dem dritten Gasauslaß abziehende Gas hat demnach eine Stickstoffdampfkonzentration von $y_{III\ 4}$ %.

2. Gasbilanz des Zweisäulenapparates.

Im folgenden Abschnitt wird ein Argonbilanz-Nomogramm aufgezeichnet, das dazu dienen soll, bei der Einstellung der verschiedensten Fahrmöglichkeiten eines Apparates ohne und mit drittem Gasauslaß die Richtigkeit der Ergebnisse der bei diesen Einstellungen vorgenommenen Analysen rasch zu überprüfen und von vornherein falsche und zwecklose Apparateeinstellungen sofort zu erkennen.

a) Luftzusammensetzung.

Die Luft setzt sich in Volumenprozenten gemessen aus folgenden Elementen zusammen:

N_2	78,03
O_2	20,93
CO_2	0,03
H_2	0,00005
Ar	0,932
Ne	0,0015
He	0,0005
Kr	0,0001
X	0,000008

[1] Nm^3 = Normalkubikmeter, bezogen auf 0° C und 760 mm Hg

Für die Ableitung der folgenden Gleichungen wird der Einfachheit halber angenommen, daß die gesamt in der Luft enthaltene Kohlensäure in den Kälteaustauschern zurückgehalten wird; ferner sei der geringe Gehalt an H_2, Ne, He, Kr und X vernachlässigt. Die Volumenprozente der dann noch aus dem Apparat abziehenden Gase sind folgende:

Gase	In % der Gesamtluftzusammensetzung	In % der wirklich abströmenden Gasmenge	
			ab- bezw. aufgerundet
N_2	78,03	78,1146	78,115
O_2	20,93	20,9524	20,952
Ar	0,932	0,933	0,933

b) <u>Argonbilanz ohne dritten Gasauslass.</u>

Vernachlässigt man bei der Aufstellung der Argon-Bilanz-Gleichung den Sauerstoffgehalt im Stickstoff ($y_{I\,2} = 0$), der bei den untersuchten Apparaten sehr gering ist ($< 0{,}5\,\%$) und selbst bis 1 % die Rechnung nur unmerklich beeinflusst, so ergibt sich folgende Gleichung:

$$\underbrace{0{,}933}_{\text{eingestr. Argonmenge}} = \underbrace{20{,}952 \cdot \frac{100}{y_{I\,3}} \cdot \frac{y_{II\,3}}{100}}_{\text{Argonmenge im Sauerstoff}} + \underbrace{\left(100 - 20{,}952 \cdot \frac{100}{y_{I\,3}}\right) \cdot \frac{y_{II\,2}}{100}}_{\text{Argonmenge im Stickstoff}}$$

$$0{,}933 = 20{,}952 \cdot \frac{y_{II\,3}}{y_{I\,3}} + y_{II\,2} - 20{,}952 \cdot \frac{y_{II\,2}}{y_{I\,3}}$$

$$y_{II\,3} = \frac{0{,}933 \cdot y_{I\,3} - y_{II\,2} \cdot (y_{I\,3} - 20{,}952)}{20{,}952} \qquad (1)$$

Setzen wir den Argongehalt $y_{II\,2}$ im gewonnenen Stickstoff gleich Null, so ergibt sich aus Gleichung 1 folgender vereinfachter Wert:

$$y_{II\,3} = \frac{0{,}933}{20{,}952} \cdot y_{I\,3} = 0{,}0445 \cdot y_{I\,3} \qquad (1a)$$

In Abb. 4 ist nun der Argongehalt im Stickstoff ($y_{II\,2}$) als Abzisse und der Argongehalt im Sauerstoff ($y_{II\,3}$) als Ordinate aufgetragen. Die Eintragung obiger Gleichung 1 in dieses System ergibt Geraden,

SAFETY FILM

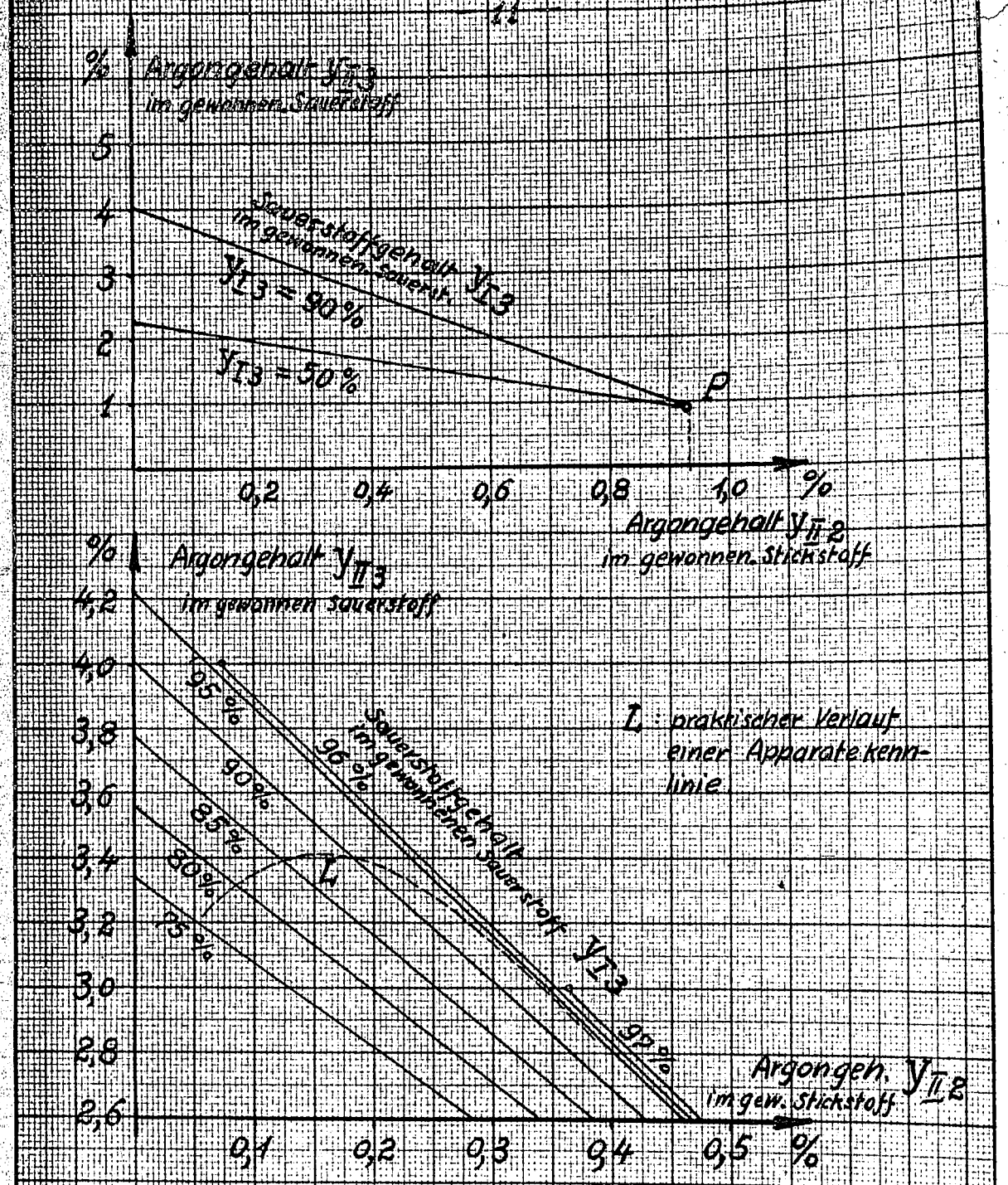


Abb. 4. und Abb. 5.

Gegenseitige Abhängigkeit der Argongehalte im gewonnenen Sauerstoff und Stickstoff bei verschiedenen Reinheiten des gewonnenen Sauerstoff in verschiedenen Maßstäben aufgetragen.

Maßstab:		
	Datum	Name
Gezeich.	28.7.37	Alt
Geprüft		
Genehmigt		

die für verschiedene $y_{I\,3}$ - Werte (Sauerstoffgehalt im gewonnen Sauerstoff) durch den Punkt P ($y_{II\,3} = y_{II\,2} = 0{,}933$: Argongehalt des gewonnenen Sauerstoffes = Argongehalt des gewonnenen Stickstoffes = Argongehalt der Luft) gehen müssen. In Abb. 5 ist in vergrößertem Maßstab eine genauere Auftragung der Kurven mit hochprozentigem Sauerstoffgehalt dargestellt. Eine praktische Apparatecharakteristik (ohne dritten Gasauslaß) zeigt die eingezeichnete gestrichelte Kurve L .

c) Argonbilanz mit drittem Gasauslaß.

Wird nun an der dritten Gasauslaßstelle a % der Luftmenge abgelassen, und zwar mit einem in ihm enthaltenen Argongehalt von $y_{II\,4}$ %, so verbleibt an Argonmenge in dem restlichen Gas (Stickstoff + Sauerstoff), wenn vorher 100 Volumeneinheiten in den Apparat eingeströmt sind

in Volumeneinheiten: $0{,}933 - a \cdot \frac{y_{II\,4}}{100}$

oder in Vol.-% der restlichen Gasmenge: $(0{,}933 - a \cdot \frac{y_{II\,4}}{100}) \cdot \frac{100}{100-a} = \frac{93{,}3 - a \cdot y_{II\,4}}{100 - a}$ (2)

Dieser Wert ist in dem schon in Abb. 4 und 5 und in der Abb. 6 nochmals aufgetragenen gleichen Koordinatensystem der Punkt A (Linienzug 1 - 2 - A). Nimmt man jetzt an, daß bei dieser Betriebsweise der Argongehalt im Stickstoff gleich Null ist ($y_{II\,2} = 0$), so läßt sich aus folgender Gleichung:

$$\underbrace{0{,}933 - a \cdot \frac{y_{II\,4}}{100}}_{\text{Restliche Argonmenge}} = \underbrace{(20{,}952 - a \cdot \frac{y_{I\,4}}{100}) \cdot \frac{100}{y_{I\,3}} \cdot \frac{y_{II\,3}}{100}}_{\text{Argonmenge im Sauerstoff}} +$$

$$\underbrace{\left[100 - a - (20{,}952 - a \cdot \frac{y_{I\,4}}{100}) \cdot \frac{100}{y_{I\,3}}\right] \cdot \frac{y_{II\,2}}{100}}_{\text{Argonmenge im Stickstoff}}$$

folgender $y_{II\,3}$ - Wert, d.h. die Lage des Punktes B (Abb.6) errechnen:

$$(0{,}933 - a \cdot \frac{y_{II\,4}}{100}) = (20{,}952 - a \cdot \frac{y_{I\,4}}{100}) \cdot \frac{y_{II\,3}}{y_{I\,3}}$$

$$93{,}3 - a \cdot y_{II\,4} = (2095{,}2 - a \cdot y_{I\,4}) \cdot \frac{y_{II\,3}}{y_{I\,3}}$$

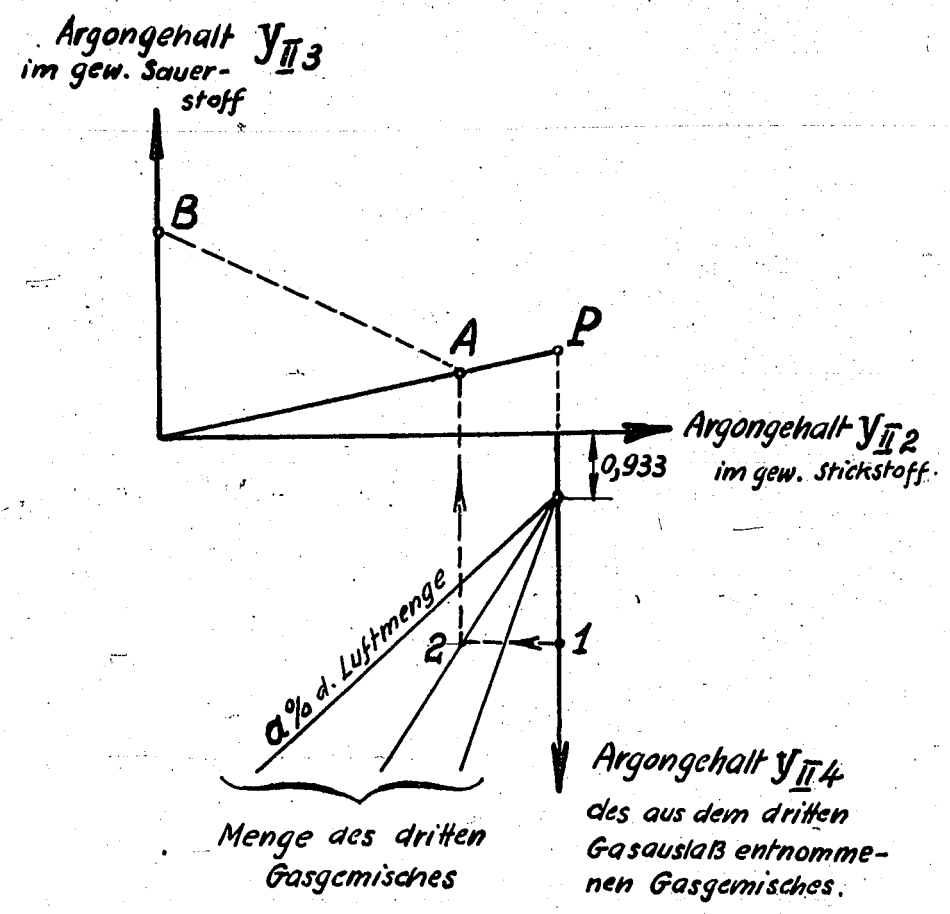


Abb. 6.

Graphische Ermittlung des Gesamtargon-gehaltes A des erzeugten Sauerstoffs und Stickstoffs bei verschiedenen aus dem dritten Gasauslaß entnommenen Gasmengen und verschiedenen Argongehalten dieses Gemisches. (Linienzug 1 – 2 – A).

stab:		
	Datum	Name
h.	24.9.37	Kl
	—	

$$y_{II\,3} = \frac{93{,}3 - a \cdot y_{II\,4}}{2095{,}2 - a \cdot y_{I\,4}} \cdot y_{I\,3} \qquad (3)$$

Abb. 7 zeigt nun ein Nomogramm, dessen linkes Quadrantensystem der graphischen Ermittlung des $y_{II\,3}$-Wertes (Punkt B) bei der Annahme $y_{II\,2} = 0$ (Argongehalt im Stickstoff) dient und das rechts durch die Anfügung des Systems von Abb. 6 ergänzt ist. Mit Hilfe dieser graphischen Tafel ist es möglich, für alle Betriebsweisen des Apparates, d.h. bei veränderlicher Sauerstoffreinheitseinstellung und veränderlicher aus dem dritten Gasauslaß entnommener Gasmenge die Argonkonzentrationen aller drei abziehenden Gasgemische sofort ablesen zu können, wenn man zwei von ihnen vorher angenommen bezw. gemessen hat. In dem Nomogramm ist folgendes Beispiel eingezeichnet: Der Apparat wird mit 95 % Sauerstoffreinheit betrieben. Es wird 6 % der gesamten Luftmenge am dritten Gasauslaß entnommen. Dieses Gasgemisch hat 4 % Argon und 30 % Sauerstoff. Der Punkt A wird mittels Linienzug 1 → 2 → A gefunden und der Punkt B über den Linienzug 3 → 4 → 5 → 7; 0 → 7 → B . Bei einem Argongehalt im gewonnenen Stickstoff von 0,3 % ($y_{II\,2}$) ergibt sich ein Argongehalt im gewonnenen Sauerstoff von 2,34 % ($y_{II\,3}$).

d) Theoretische Stickstoffausbeute.

Auf Seite 16 wird eine Gleichung abgeleitet (vgl. Abb. 8), mit deren Hilfe die theoretische Stickstoffausbeute - d.h. das Verhältnis der gewonnenen zu der in der Luft enthaltenen Stickstoffmenge - für einen Apparat ohne und mit drittem Gasauslaß errechnet werden kann. Diese Gleichung wird im zweiten Teil der Arbeit an mehreren Stellen gebraucht.

3. Gleichgewichtsdiagramme für Sauerstoff-Stickstoff-Argon-Gemische.

H.Hausen hat zum ersten Male [1] ein auf experimentellen Unterlagen und theoretisch begründeten Gleichungen aufgebautes Gleichgewichtsdiagramm im Dreieckkoordinatensystem für siedende Sauerstoff-Stickstoff-Argon-Gemische bei verschiedenen Drucken veröffentlicht. Er hat damit die Unterlagen geschaffen, die zum Studium der Vorgänge in einer Luftzerlegungssäule unter Berücksichtigung des Argons notwendig sind. Die Gleichgewichtsdiagramme für einen absoluten Druck von 760 mm Hg und

1) H. Hausen Forschg. Ing.-Wes. 5. Bd. (1934) Heft 6, S. 290 und Forschg. Ing.-Wes. 6.Bd. (1935) Heft 1, S. 9

Abb. 7. Nom
der
men
des
der

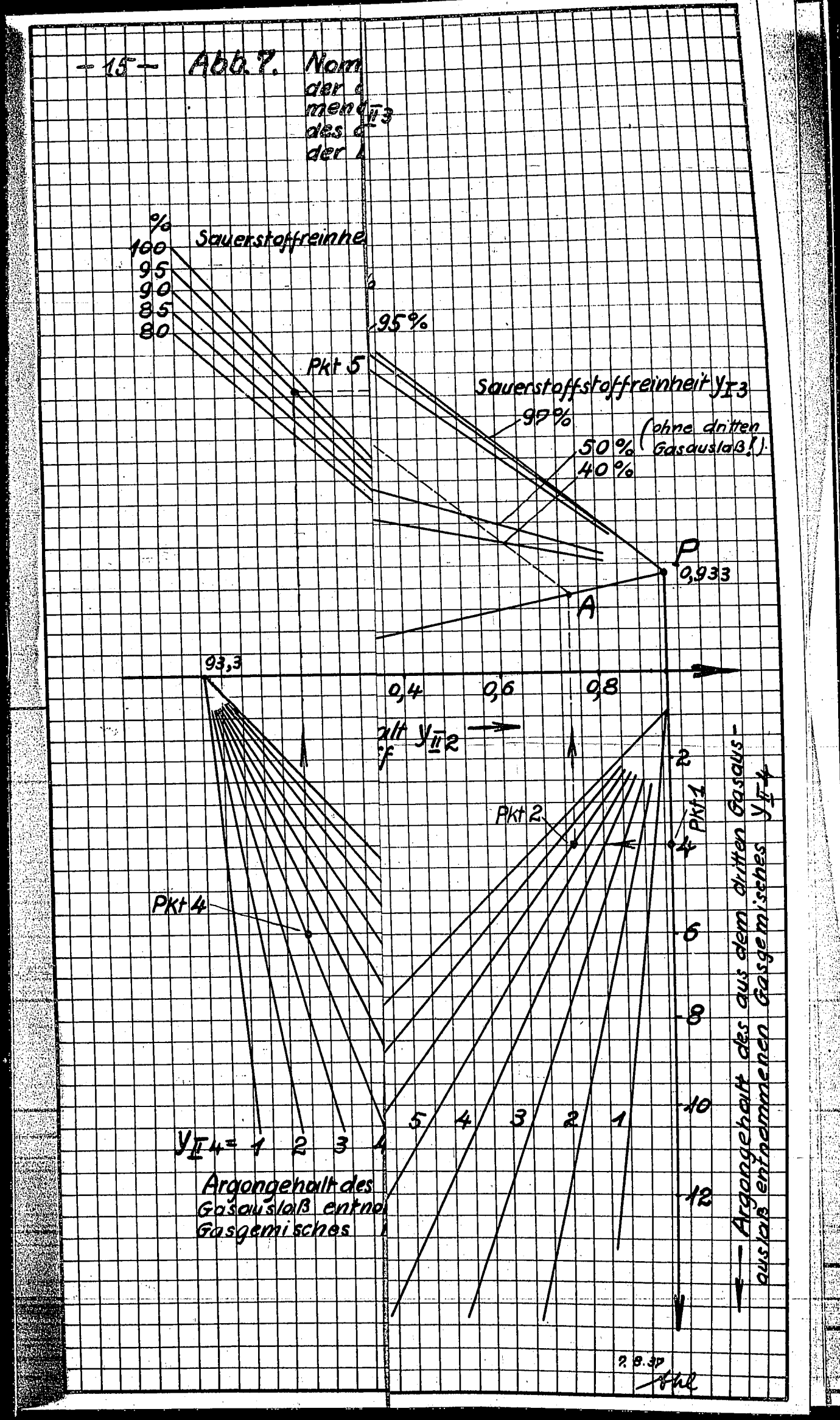
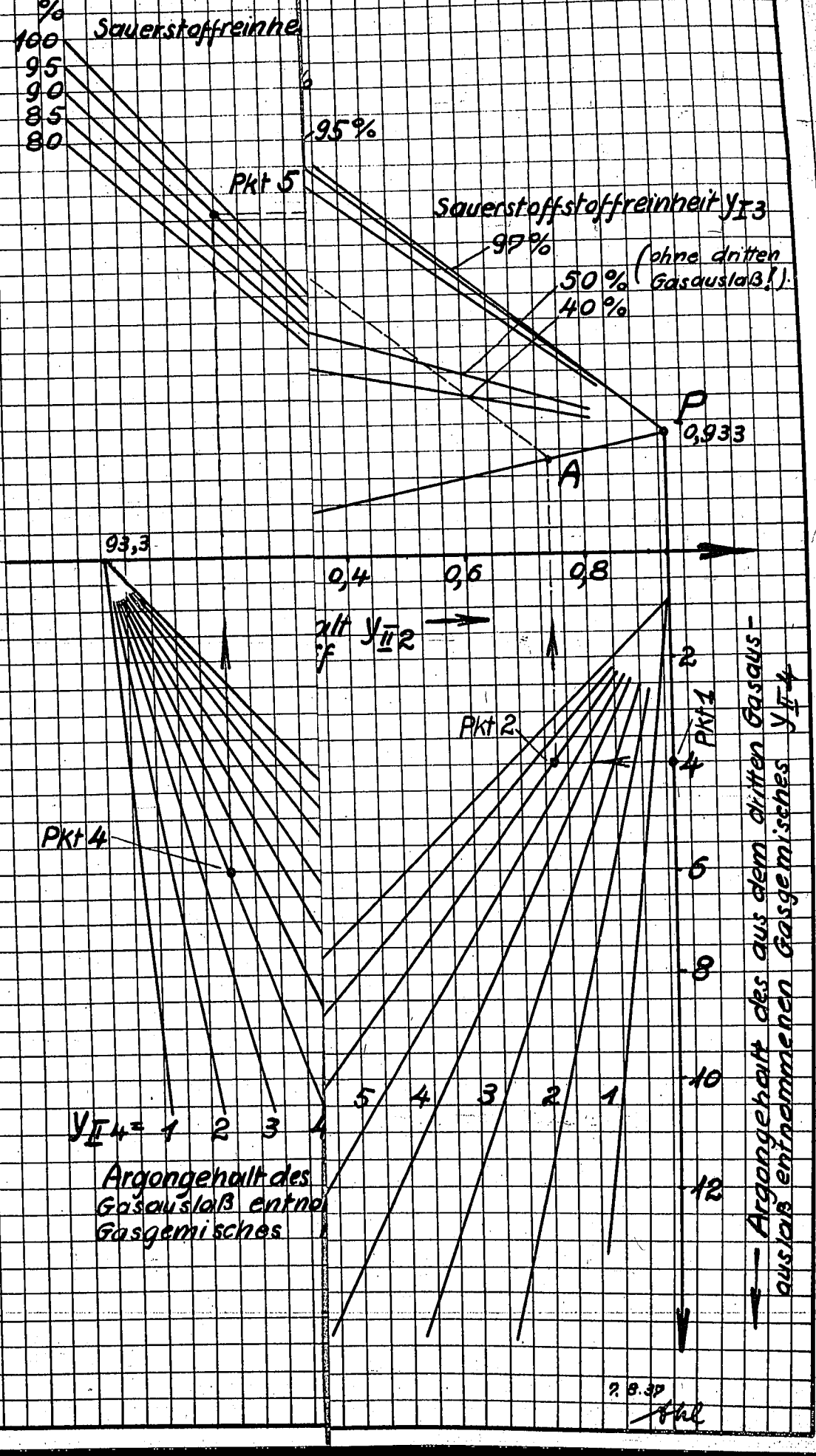


Abb. 7. Nom
der
men
des
der



7.9.37
Thl

Abb. 7. Nom
der
men
des
der

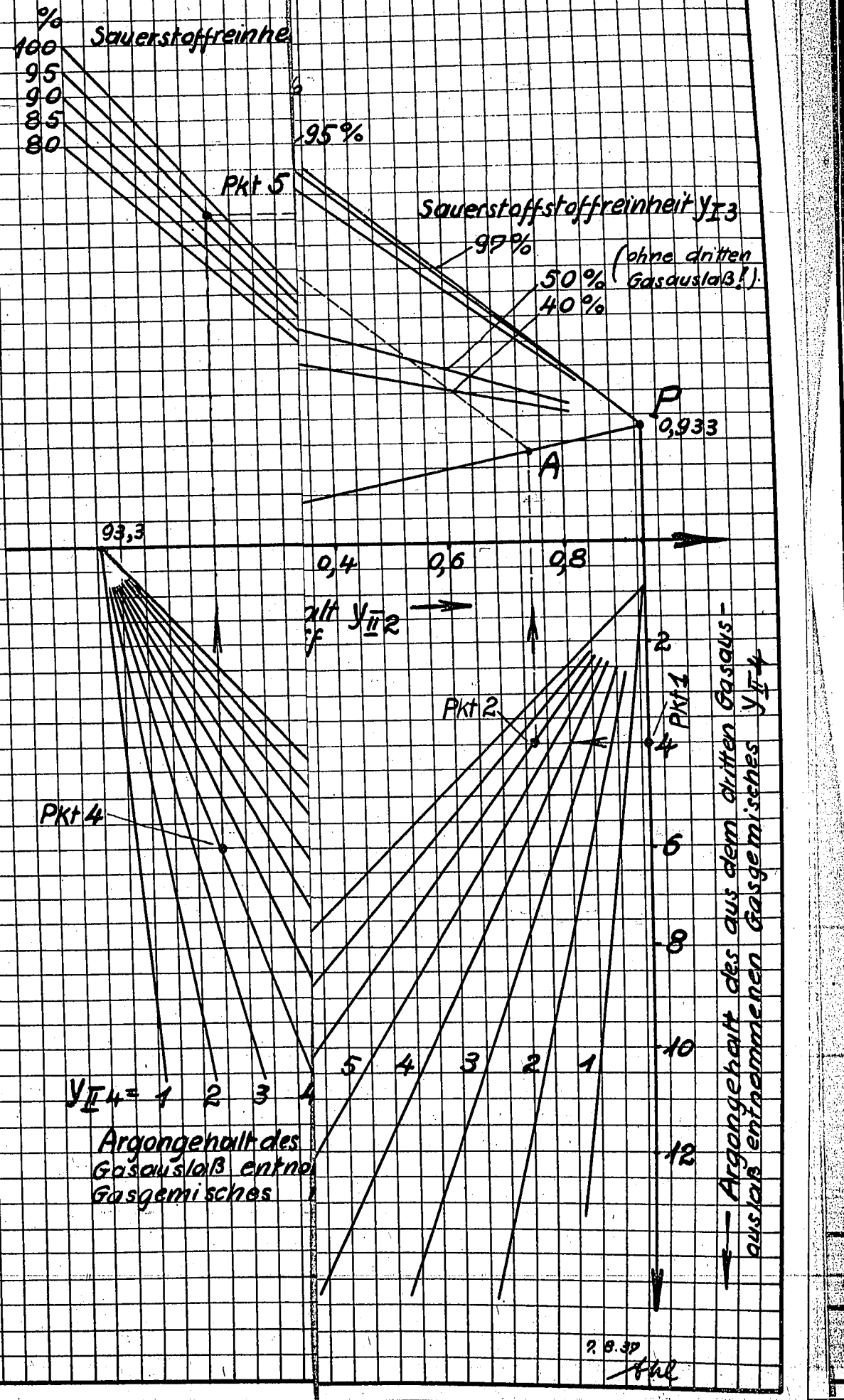
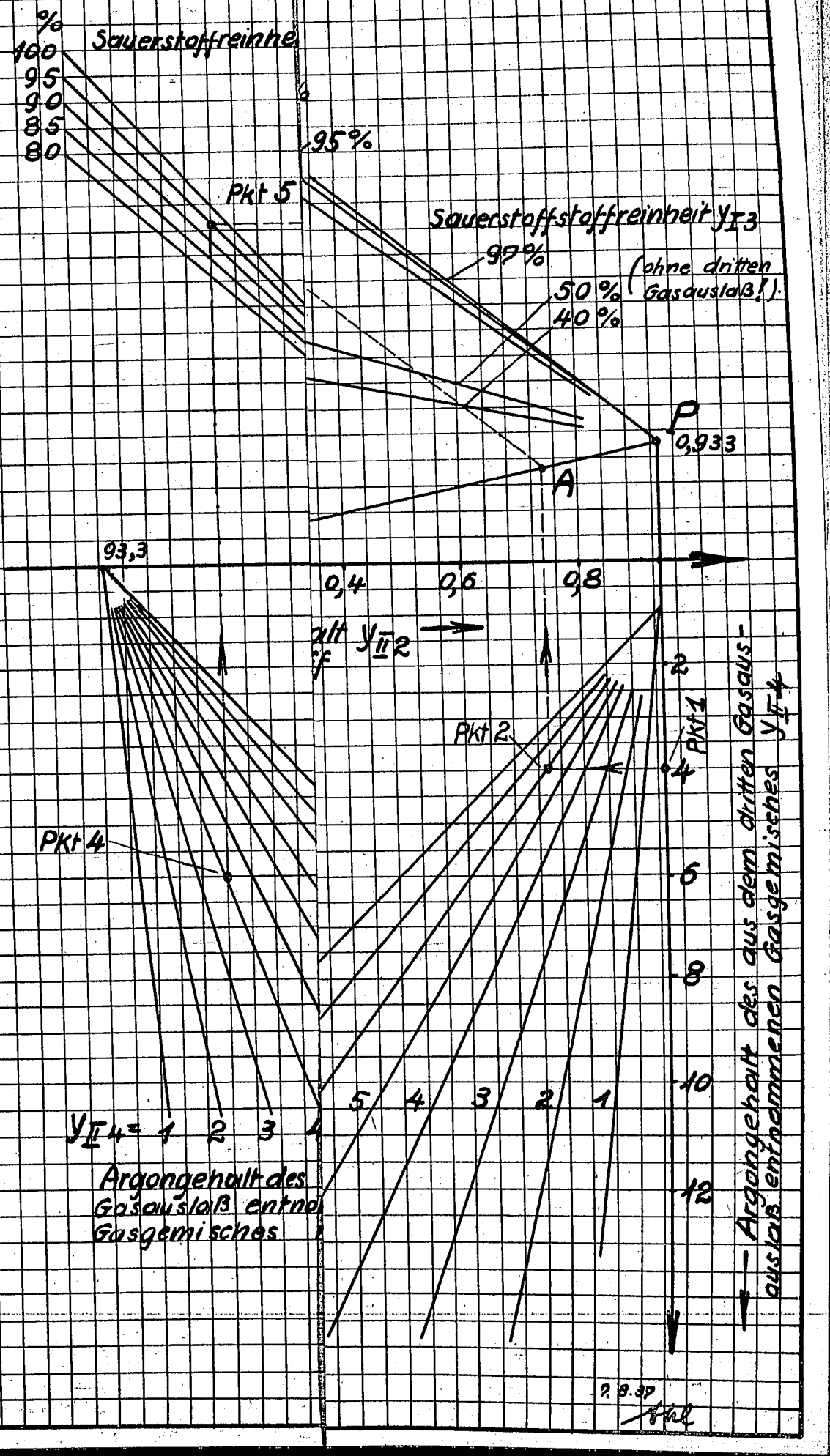
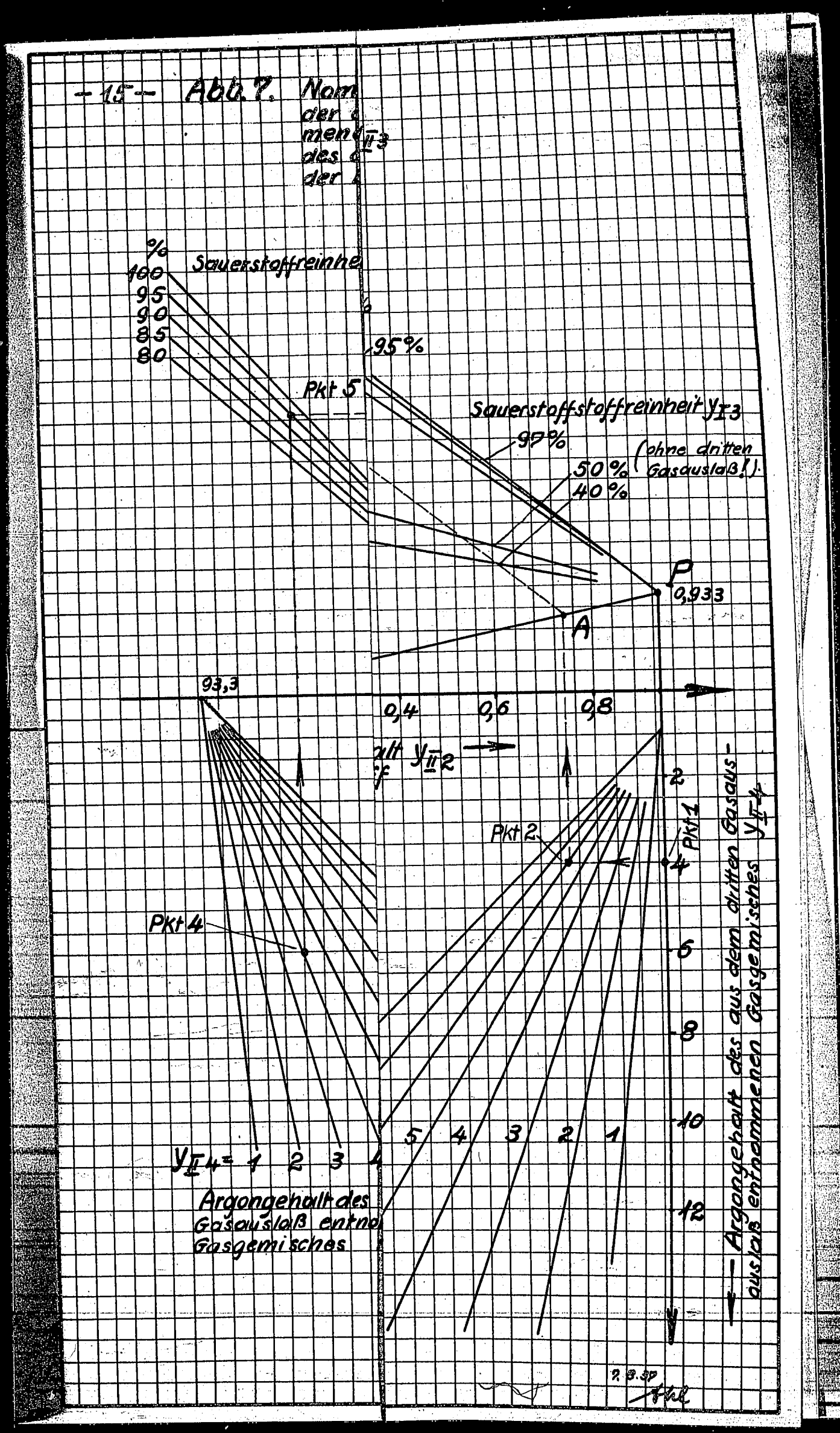


Abb. 7. Nom
der
men
des
der



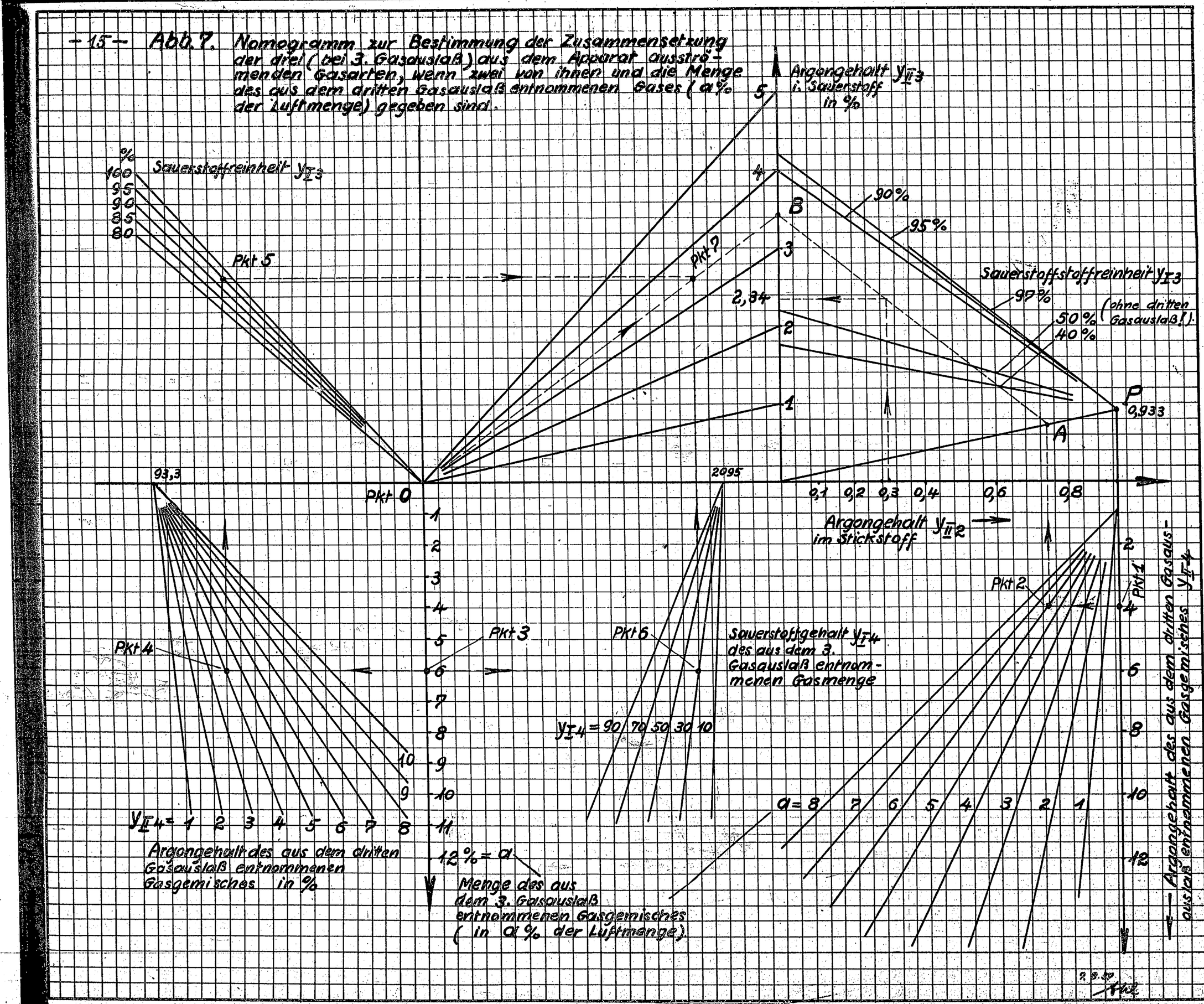
2.8.37

Abb. 7. Nom
der
men
des
der



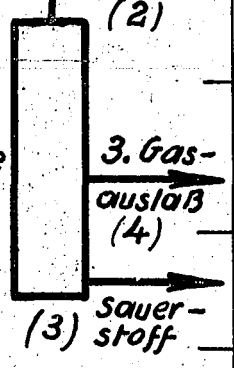
2.8.57
Thl

Abb. 7. Nomogramm zur Bestimmung der Zusammensetzung der drei (bei 3. Gasauslaß) aus dem Apparat ausströmenden Gasarten, wenn zwei von ihnen und die Menge des aus dem dritten Gasauslaß entnommenen Gases (a% der Luftmenge) gegeben sind.



Berechnung der theoretischen*) N_2-Ausbeute A.

Abb. 8.



	Gaszusammensetzung in % O_2	Ar	N_2	Menge
Stickstoff (2)	y_{I2}	y_{II2}	y_{III2}	
obere Säule, 3. Gasauslaß (4)	y_{I4}	y_{II4}	y_{III4}	a % der Luftmenge
(3) Sauerstoff	y_{I3}	y_{II3}	y_{III3}	
Menge	20,952	0,933	78,115	100

Annahme: $y_{I2} = 0$.

$$A = \frac{78{,}115 - a\cdot\frac{y_{III4}}{100} - \left(20{,}952 - a\cdot\frac{y_{I4}}{100}\right)\cdot\frac{100}{y_{I3}}\cdot\frac{y_{III3}}{100}}{78{,}115\cdot\frac{1}{100}}$$

in %

$$= \frac{7811{,}5 - a\cdot y_{III4} - (2095{,}2 - a\cdot y_{I4})\cdot\frac{y_{III3}}{y_{I3}}}{78{,}115}$$

Ohne dritten Gasauslaß:

$$A' = \frac{7811{,}5 - 2095\cdot\frac{y_{III3}}{y_{I3}}}{78{,}115} = 100 - 26{,}8\cdot\frac{y_{III3}}{y_{I3}}$$

*) ohne Berücksichtigung der Undichtheiten und Ausblasen des Apparates.

Maßstab:		
	Datum	Name
Bezeich.	1.8.37	
Geprüft		
Gesehen		

und 5 ata (Druck der unteren Säule des Zweisäulenapparates) sind in Abb. 9 und 10 dargestellt. Der Sauerstoff-Gehalt z_I des Dampfes ist als Abszisse und der Argon-Gehalt z_{II} des Dampfes als Ordinate, die unter einem Winkel von 60° geneigt ist, aufgetragen. Die Flüssigkeitszusammensetzung x_I bezw. x_{II} wird durch die zwei Scharen gerader, teils nur wenig gekrümmter Linien mit veränderlicher Neigung dargestellt. Sucht man in diesem Liniennetz eine gegebene Flüssigkeitszusammensetzung auf, (x_I und x_{II}), so geben die Koordinaten z_I und z_{II} des so bestimmten Punktes unmittelbar die Zusammensetzung des mit der Flüssigkeit im Gleichgewicht stehenden Dampfes an und umgekehrt. Aus Abb. 9 liest man z.B. ab, daß bei 760 mm Hg eine Flüssigkeit mit x_I = 50 % O_2 und x_{II} = 20 % Ar mit einem Dampf im Gleichgewicht steht, der z_I = 24,8 % O_2 und z_{II} = 14,6 % Ar enthält.

4. Theoretischer Verlauf der Rektifikationslinien in der Hauptzersäule.

Nach einem von H. Hausen abgeleiteten Verfahren zur graphischen Auftragung der Rektifikationslinien sind in Abb. 11 deren Verlauf in der Hauptzerlegungssäule im Dreieckkoordinatensystem eingezeichnet. Es wurde dabei der Fall zu Grunde gelegt, daß die Luft in der Vorzerlegungssäule in flüssigen Stickstoff mit 1 % O_2 und 0,3 % Ar und ein flüssiges Gemisch mit 45 % O_2 und 1,7 % Ar und in der Hauptzerlegungssäule in Stickstoff mit 0,5 % O_2 und 1,04 % Ar und Sauerstoff mit 99,5 % O_2 und 0,5 % Ar zerlegt wird. Das linke Kurvenpaar zeigt den Rektifikationsverlauf im Säulenteil oberhalb der Einführungsstelle des sauerstoffreichen Flüssigkeitsgemisches, das rechte Kurvenpaar den Verlauf im unteren Säulenteil. Hierbei ist der Einfachheit halber angenommen, daß die in der Vorzerlegungssäule gewonnenen Flüssigkeiten ohne Vorverdampfung in die Hauptzerlegungssäule eintreten. Da in diesem Falle Menge und Zusammensetzung des in der Säule aufsteigenden Dampfes an der Einführungsstelle des sauerstoffreichen Flüssigkeitsgemisches sich nicht unstetig ändern, haben die gestrichelt eingezeichneten Dampfäste für beide Säulenteile einen gemeinsamen Schnittpunkt. Die diesem Schnittpunkt entsprechenden Enden der Flüssigkeitsäste liegen, da das eingeführte sauerstoffreiche Gemisch sich mit der Flüssigkeit in der Säule mischt, nach der Mischungsregel auf einer Geraden durch den Punkt G, der die

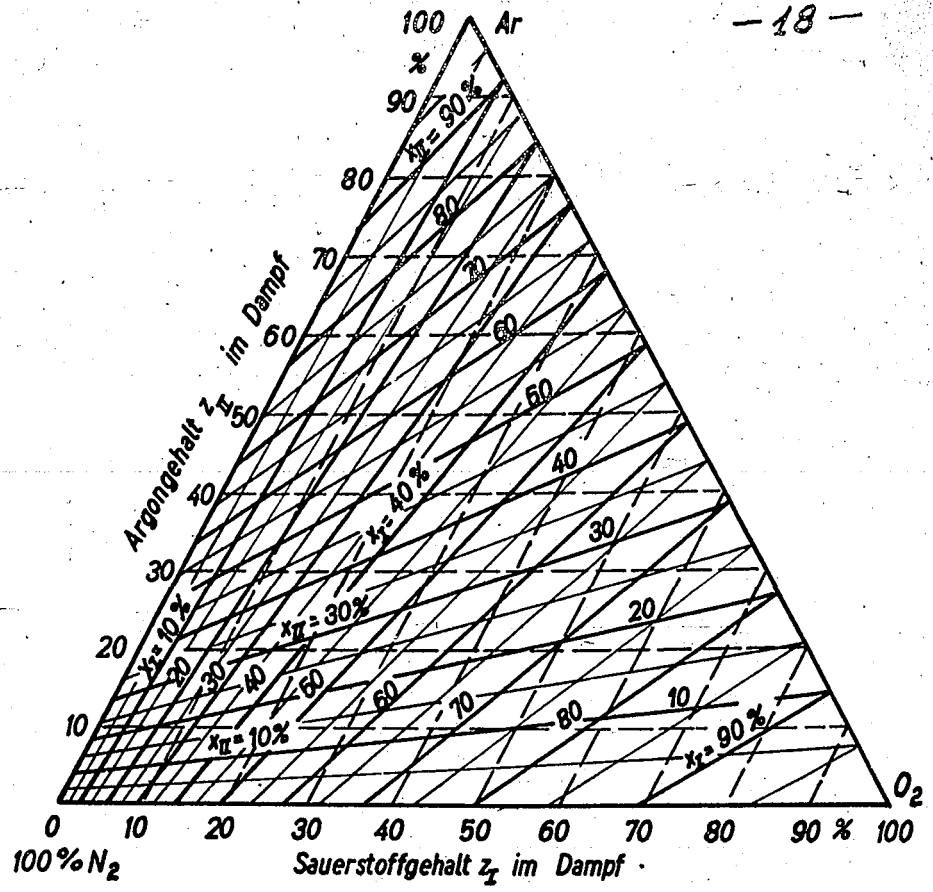


Abb. 9 Gleichgewicht siedender Sauerstoff-Stickstoff-Argon-Gemische bei 760 mm QS

x_I, x_{II} *Sauerstoff- bzw. Argongehalt in der Flüssigkeit*

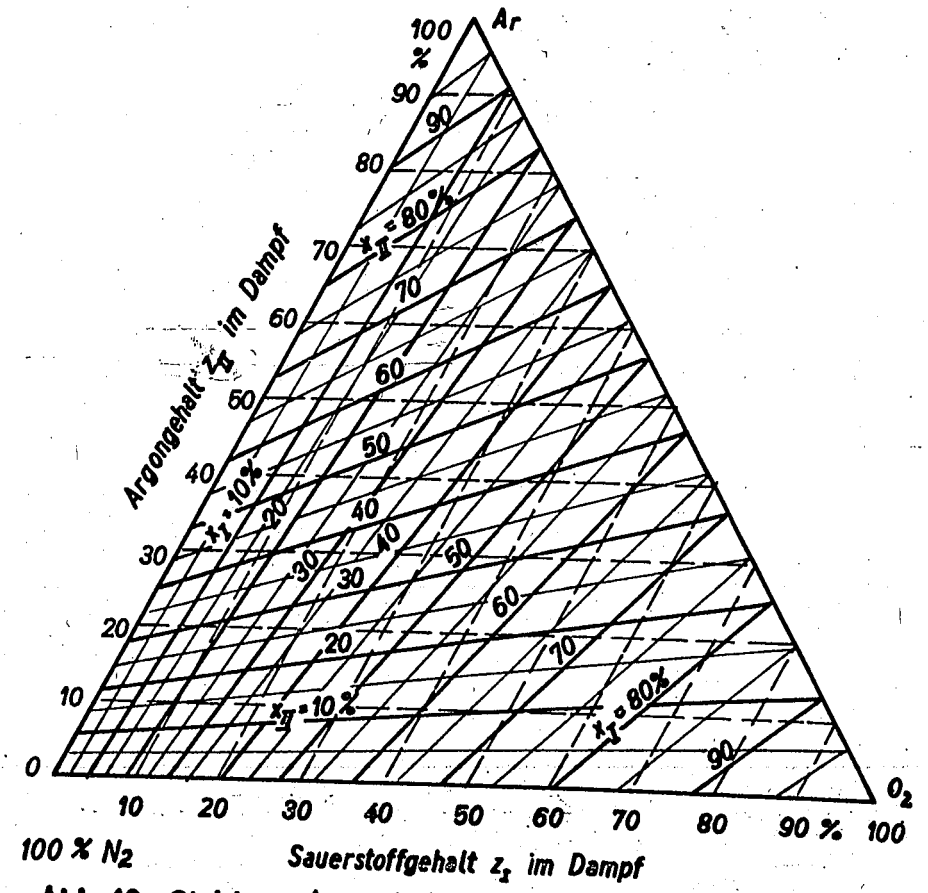


Abb. 10 Gleichgewicht siedender Sauerstoff-Stickstoff-Argon-Gemische bei 5 at abs.

	Datum	Name
	2.8.37	

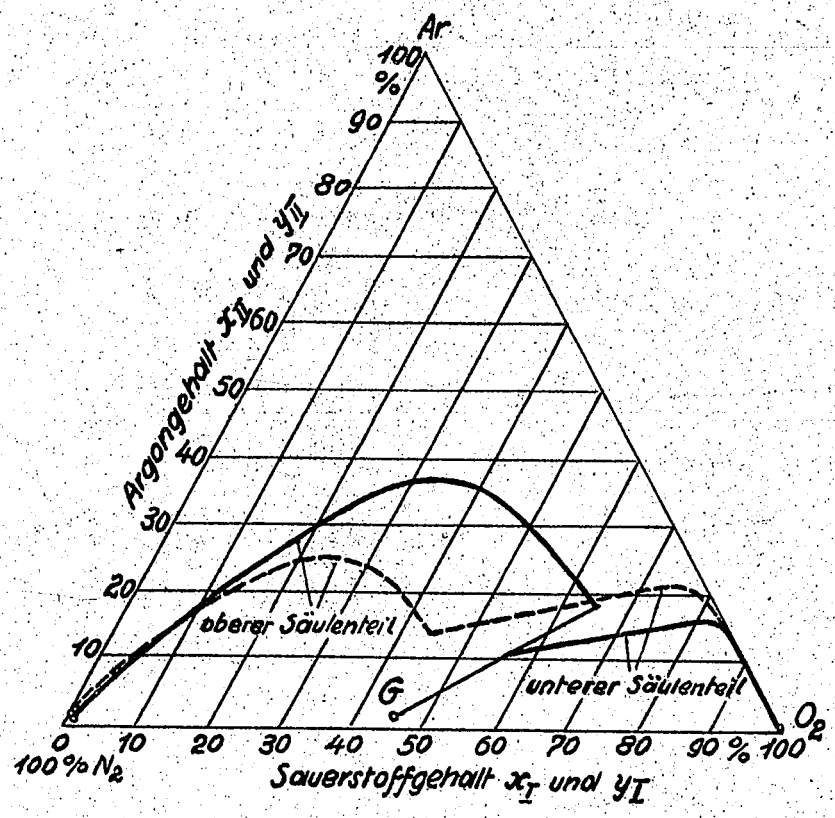


Abb. 11.

Verlauf der Rektifikation in der Hauptzerlegungssäule

—— Flüssigkeit
--- Dampf
G: Zusammensetzung des in mittlerer Höhe eingeführten flüssigen Gemisches.

aus H. Hausen: Einfluß des Argons auf die Rektifikation der Luft, Forschg. Ing.-Wes. 5. Bd. (1934) 6, 290.

Maßstab:		
	Datum	Name
Gezeich.	9.8.37	Hil
Geprüft		
Gesehen		

Zusammensetzung des eingeführten Gemisches angibt.
Da in dem gewählten Beispiel der gewonnene Sauerstoff stickstoffrei ist, schmiegen sich die Rektifikationslinien für den unteren Säulenteil schon sehr bald eng an die Sauerstoff-Argon-Grenzgerade an. Aus diesem Grunde kann der vorgeschriebene rechte Endpunkt praktisch bei sehr verschiedenem Verlauf der Rektifikationslinien erreicht werden. Es kann daher im Gegensatz zu allgemeineren Fällen, in denen der rechte Endpunkt den Verlauf der Rektifikationslinien eindeutig bestimmt, der linke Endpunkt des Flüssigkeits- oder Dampfastes noch beliebig angenommen werden. In Abb. 11 ist das linke Ende des Flüssigkeitsastes für den unteren Säulenteil durch die Annahme festgelegt, daß die in der Säule herabrieselnde Flüssigkeit vor der Mischung mit der eintretenden sauerstoffreichen Flüssigkeit einen Sauerstoffgehalt von 65 % erreicht.
In Abb. 12 ist für die gleichen Annahmen, jedoch unter Berücksichtigung einer teilweisen Verdampfung des aus der Drucksäule kommenden sauerstoffreichen Flüssigkeitsgemisches und der von der Zusammensetzung abhängigen Veränderung der Verdampfungswärme der Argon- und Sauerstoffkonzentrationsverlauf (Abszisse) innerhalb der Säule als Funktion der Säulenhöhe (Ordinate : Bodennummern von oben) aufgetragen.[1] Man sieht, wie bei einer teilweisen Verdampfung der eingeführten Flüssigkeit sich auch der Dampfkonzentrationsverlauf an der Einführungsstelle durch die Mischung des einströmenden mit dem in der Säule aufsteigenden Dampfes unstetig ändern muß. Daß die Kurve des Sauerstoffgehaltes nach unten hin sehr steil verläuft und über eine Vielzahl von Böden (16 bis 52) sich in der Konzentration kaum verändert, ist durch die angenommene hohe Sauerstoffreinheit von 99,5 % bedingt. Bei geringen Sauerstoffreinheiten verläuft diese Kurve - wie die späteren Versuche deutlich zeigen - bedeutend flacher.
Der gleichen Auftragung eines weiteren Beispieles in Abb. 13[1] liegen folgende Annahmen zu Grunde: Der am Kopf der Säule aufgegebene flüssige Stickstoff der Vorzerlegungssäule enthält 0,1 % O_2 und 0,11 % Ar und das zum Teil vorverdampfte sauerstoffreiche Gemisch 36 % O_2 und 1,53 % Ar. Aus der Hauptzerlegungssäule werden drei Gasgemische entnommen: 1) oben: Stickstoff mit 0,05 % O_2 und 0,06 % Ar, 2) unten:

---

1) Die Durchrechnung mit graphischer Auftragung wurde von Prof. Dr.-Ing. H. Hausen freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

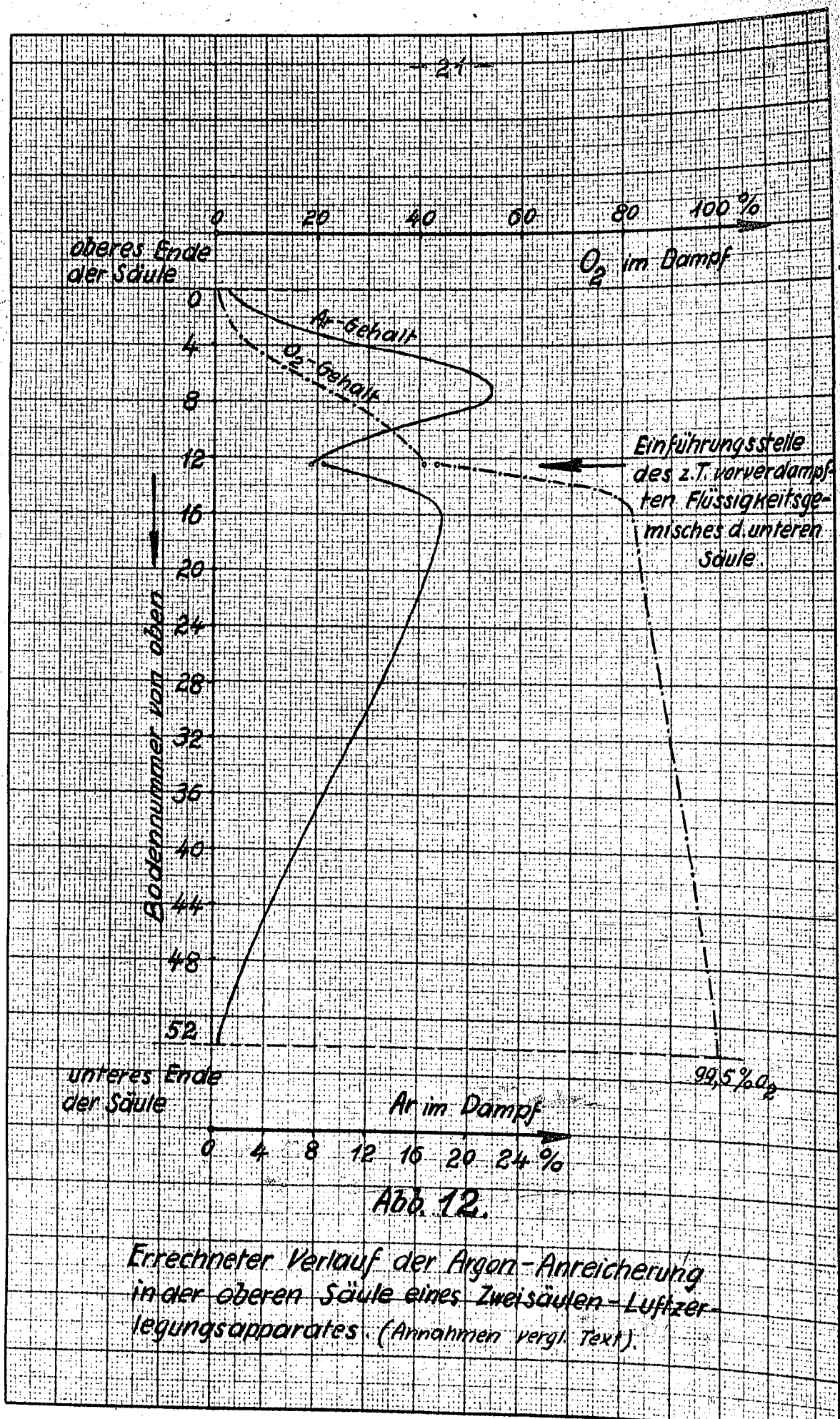


Abb. 12.

Errechneter Verlauf der Argon-Anreicherung in der oberen Säule eines Zweisäulen-Luftzerlegungsapparates (Annahmen vergl. Text).

Maßstab:				
	Datum	Name		
Gezeich.	3. 8. 37	Ahl		
Geprüft				
Gesehen				

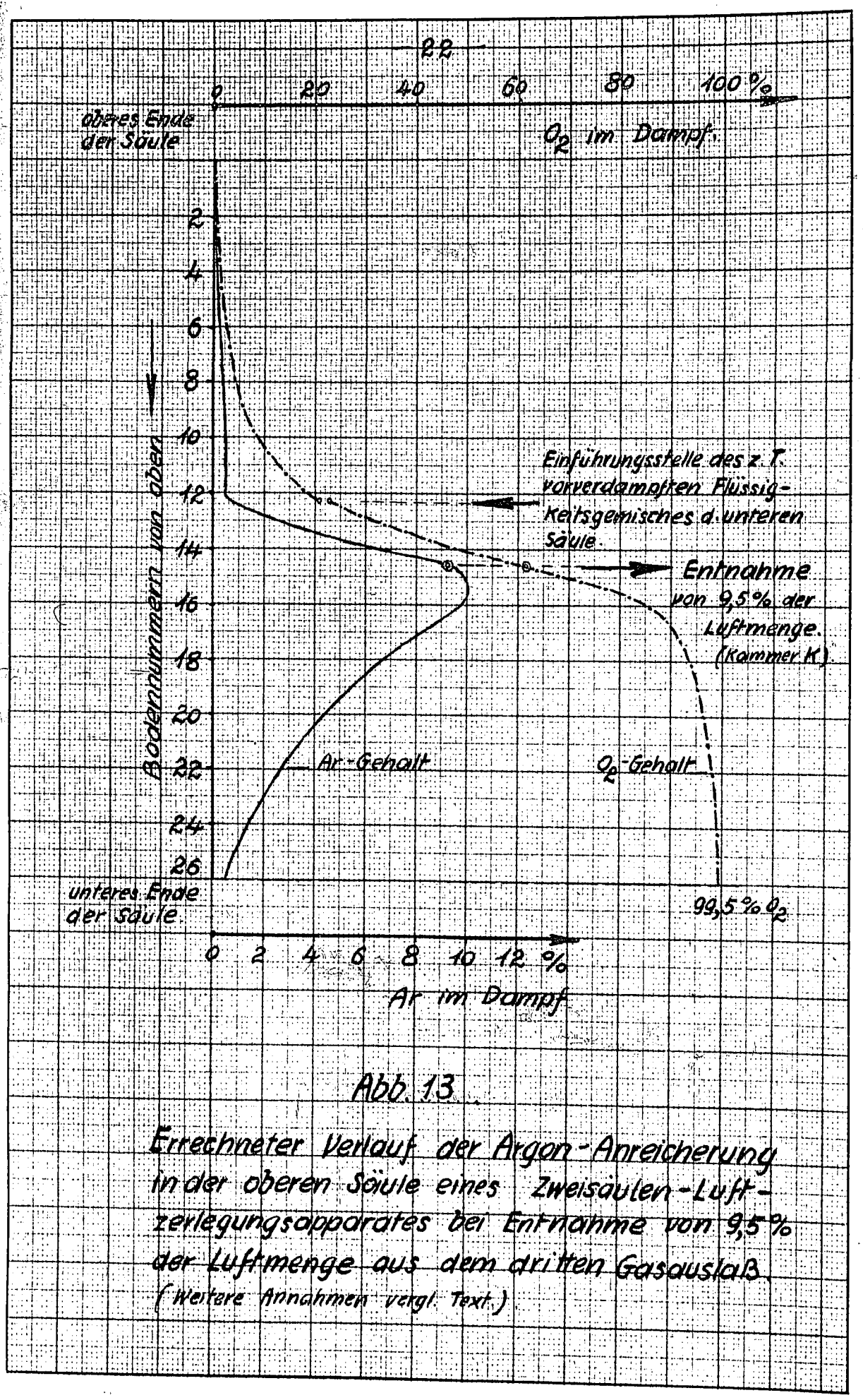


Abb. 13.

Errechneter Verlauf der Argon-Anreicherung in der oberen Säule eines Zweisäulen-Luftzerlegungsapparates bei Entnahme von 9,5 % der Luftmenge aus dem dritten Gasauslaß. (Weitere Annahmen vergl. Text.)

Maßstab:				
	Datum	Name		
Gezeich.	1.8.37	Ad		
Geprüft				
Gesehen				

99,5 %iger Sauerstoff mit 0,5 % Ar und 3) aus einem dritten Gasauslaß unter dem 14. Boden von oben (Kammer K, vgl. Abb. 2): ein unreines Gemisch mit 62 % O_2 und 8,6 % Ar. Die Menge dieses Gemisches beträgt a = 9,5 % der Luftmenge. Sowohl dieser dritte Gasauslaß als auch der andere Sauerstoffgehalt des aus der Drucksäule kommenden Flüssigkeitsgemisches verursachen die Verschiedenheit des Kurvenverlaufes in diesem und obigem Falle. Man sieht, wie man bei gleicher Reinheit des gewonnenen Sauerstoffs durch Entnahme einer geringen Gasmenge aus einem an der richtigen Stelle eingebauten dritten Gasauslaß die Reinheit des erzeugten Stickstoffs bedeutend erhöhen kann (statt 1,04 % Ar nur noch 0,06% Ar).

IV. Versuchsanordnung und -Durchführung.

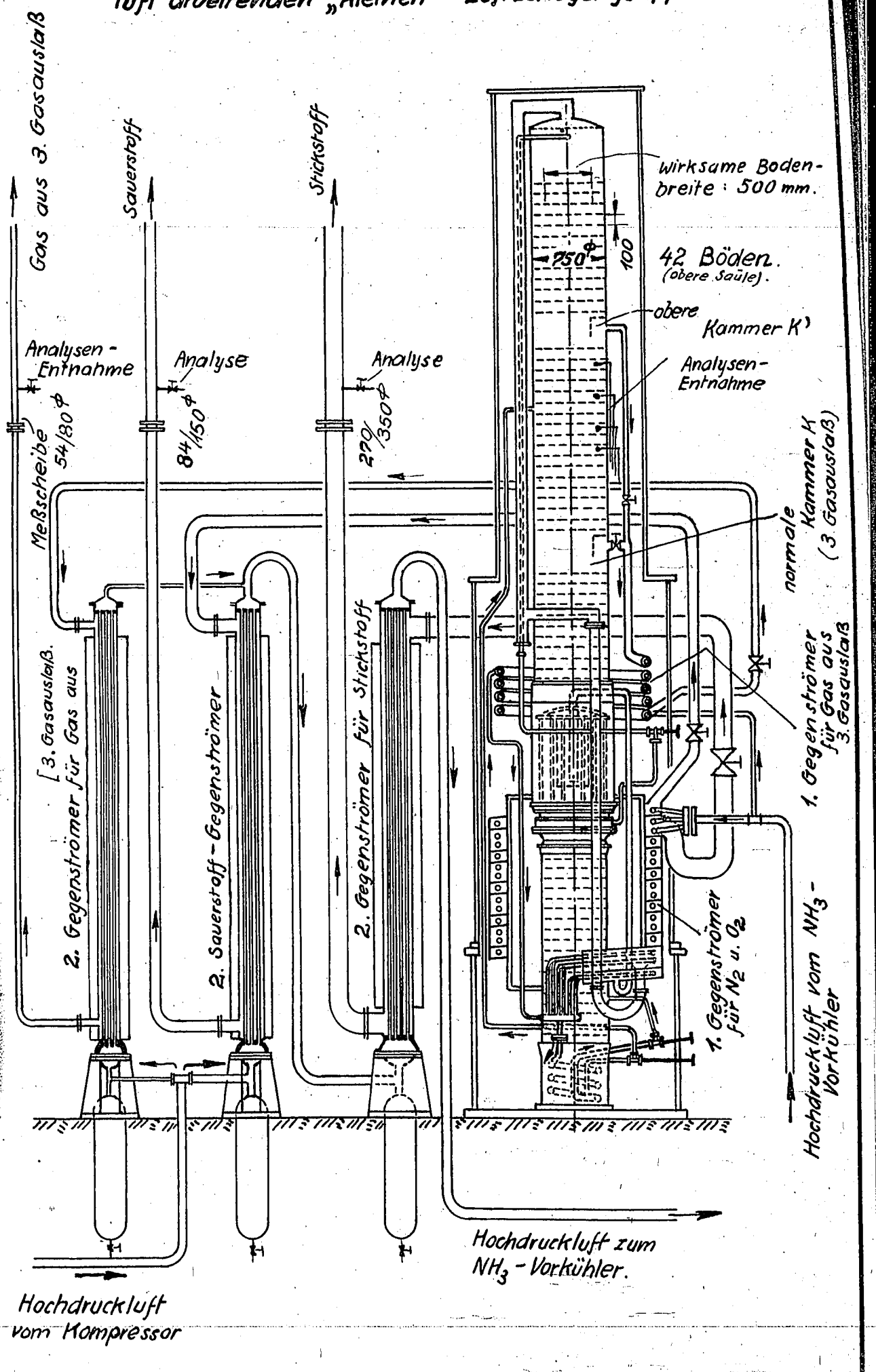
1. Beschreibung der untersuchten Apparate.

Es wurden zwei Apparatetypen untersucht und zwar:

a) Kleiner Apparat (Zerlegung von stündlich 2220 Nm^3 Luft).

Abb. 14 zeigt die Gesamtanordnung des schon mit einer Kammer K und K' versehenen Apparates, der im Jahre 1915 ohne diese Kammern für eine Belastung von 2220 Nm^3/h Luft gebaut worden ist. Die gesamte Luft wird in einem Kompressor auf einen einheitlichen Druck verdichtet, dessen Höhe vom Isolationszustand, Dichtheit, Verstopfung usw. des Apparates abhängt und etwa 35 bis 50 atü beträgt. Die obere Säule hat einen Durchmesser von 750 mm; in ihr sind 42 Siebböden mit einer wirksamen Siebbreite von 500 mm eingebaut. Für die durchzuführenden Versuche wurde der Apparat mit zwei Kammern K und K' zur wahlweisen Entnahme von argonangereichertem Gas versehen (vgl. Abb. 17). Dieses aus dem dritten Gasauslaß ausströmende Gasgemisch wird ebenso wie der abziehende Stickstoff und Sauerstoff durch zwei neu eingebaute und den Hauptgegenströmern parallel geschaltete Gegenstromkühler geleitet, um seine Kälte an einen Teilstrom der dem Apparat zuströmenden verdichteten Luft abzugeben. Dieser Apparat wird in den weiteren Abschnitten als "kleiner" Apparat bezeichnet, während der größere,

Abb. 14. Schema des untersuchten mit Hochdruckluft arbeitenden „kleinen" Luftzerlegungsapparates.



10.6.37.

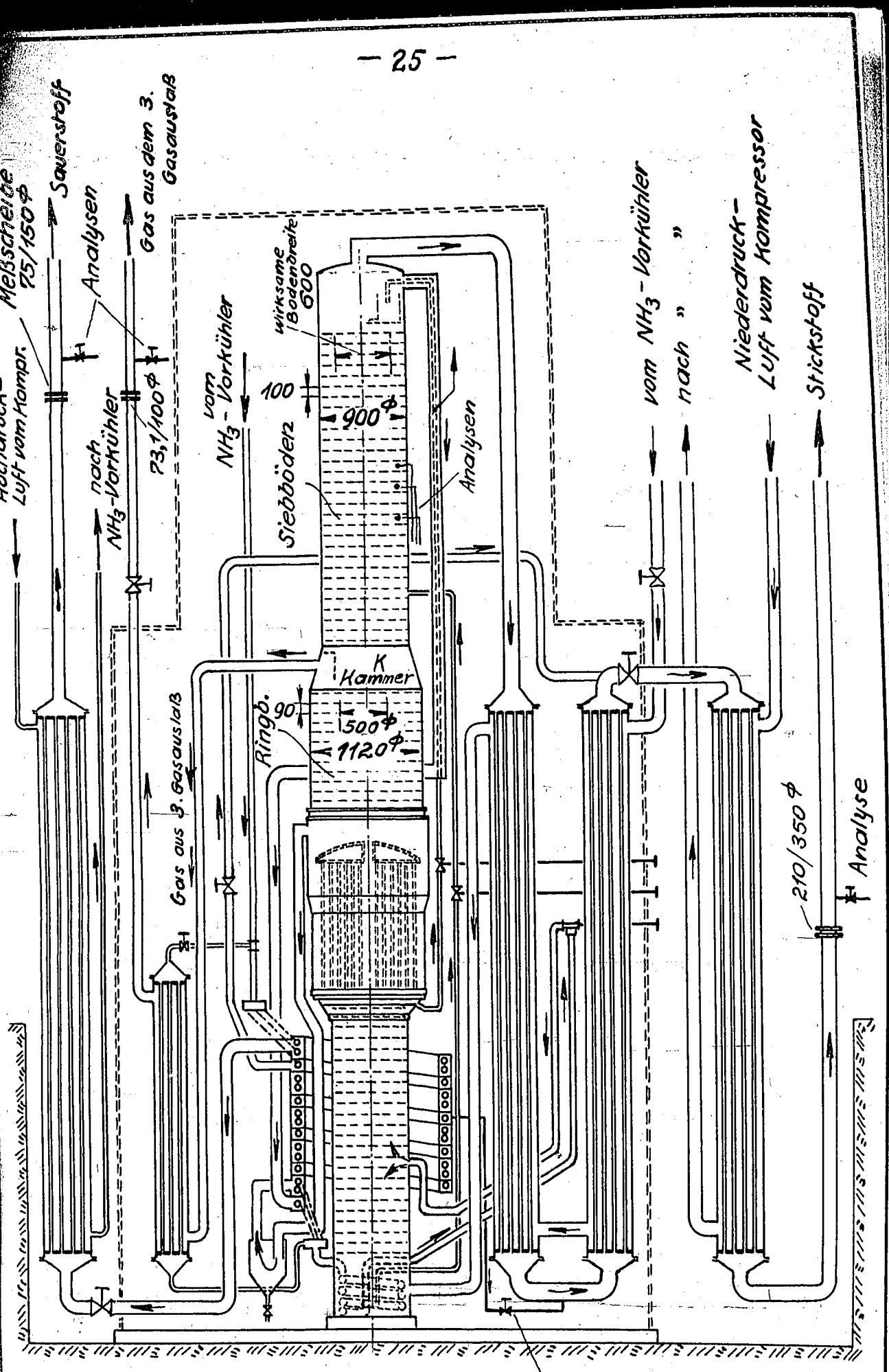


Abb. 15. Schema des unter-suchten mit Hoch- und Niederdruckluft arbeitenden „großen" Luftzerlegungsapparates.

17.6.37. Ltl

im nächsten Absatz beschriebene Apparat als "großer" Apparat gekennzeichnet werden soll.

b) Großer Apparat (Zerlegung von stündlich 4720 Nm^3 Luft).
Abb. 15 zeigt einen neueren und größeren Apparat, der im Jahre 1928 ebenfalls ohne einen dritten Gasauslaß (Kammer K) für eine Leistung von 3400 Nm^3/h Niederdruckluft und 1320 Nm^3/h (28 % der gesamten Luftmenge) Hochdruckluft gebaut wurde, zusammen 4720 Nm^3/h (vgl. Abschnitt II: Technische Beschreibung der Luftzerlegung). Die obere Säule hat ebenfalls 42 Rektifikationsböden, von denen die unterhalb der Kammer K angeordneten zwölf Böden beim Umbau des Apparates durch Ringböden [1] ersetzt worden sind.

2. Einstellung der Apparate.

Um für die in Abschnitt I geforderten Bedingungen, gleichzeitig reinen Stickstoff u n d reinen Sauerstoff zu erzeugen, die technisch und wirtschaftlich beste Lösung zu finden, wurden an den im vorletzten Abschnitt beschriebenen Apparaten folgende Versuche durchgeführt: Bei verschiedenem Sauerstoffgehalt im erzeugten Sauerstoff ($y_{I\,3}$) wurden sowohl die abziehenden Gase als auch mittels einer im nächsten Abschnitt beschriebenen Gasprobenentnahme der Dampfzustand in der Hauptzerlegungssäule an verschiedenen Stellen genau analysiert. Die Analysen wurden durchgeführt: a) ohne dritten Gasauslaß und b) mit drittem Gasauslaß und zwar bei verschiedenen aus diesem Auslaß ausströmenden Gasmengen. Bei dem "kleinen" Apparat wurden diese Gase aus verschiedenen im letzten Abschnitt beschriebenen dritten Gasauslaßstellen (Kammer K und K') entnommen. Gleichzeitig wurden die aus dem Apparat ausströmenden Gasmengen, deren Temperaturen, Drucke usw. gemessen.

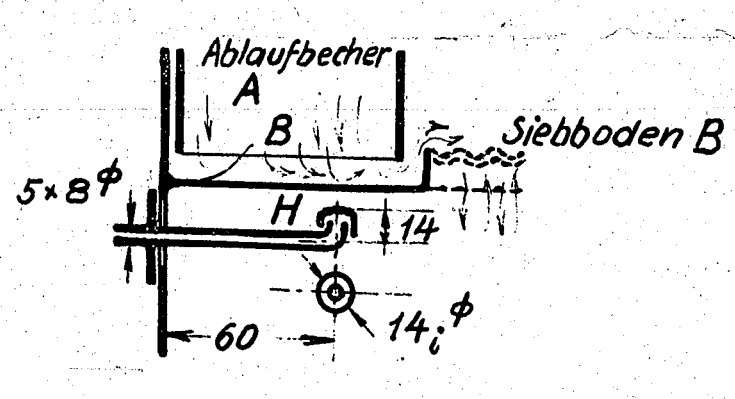
3. Gasanalysen.

a) Entnahme der Gasproben.

Abb. 16 zeigt die endgültige Form des Analysenstutzens, wie er zwischen den einzelnen Böden der Hauptzerlegungssäule eingebaut worden ist. Die Einbaustelle des Stutzens liegt dicht unter dem darüberliegenden Rektifikationsboden B, und zwar an der Stelle,

1) DRP Nr. 631 909: Gegenstand dieses Patentes sind ringförmige Rektifikationsböden, bei denen die Durchmischung der Flüssigkeit durch Anordnung eines langen Flüssigkeitsweges möglichst vermieden wird. Vergl. außerdem H.Hausen, Forschg. Ing.-Wes. 7.Bd. (1936), Heft 4 S. 177 und VDI Bd. der 74. Hauptversammlung (1936) S.180

Abb. 16. Einbau des Analysen-stutzens.



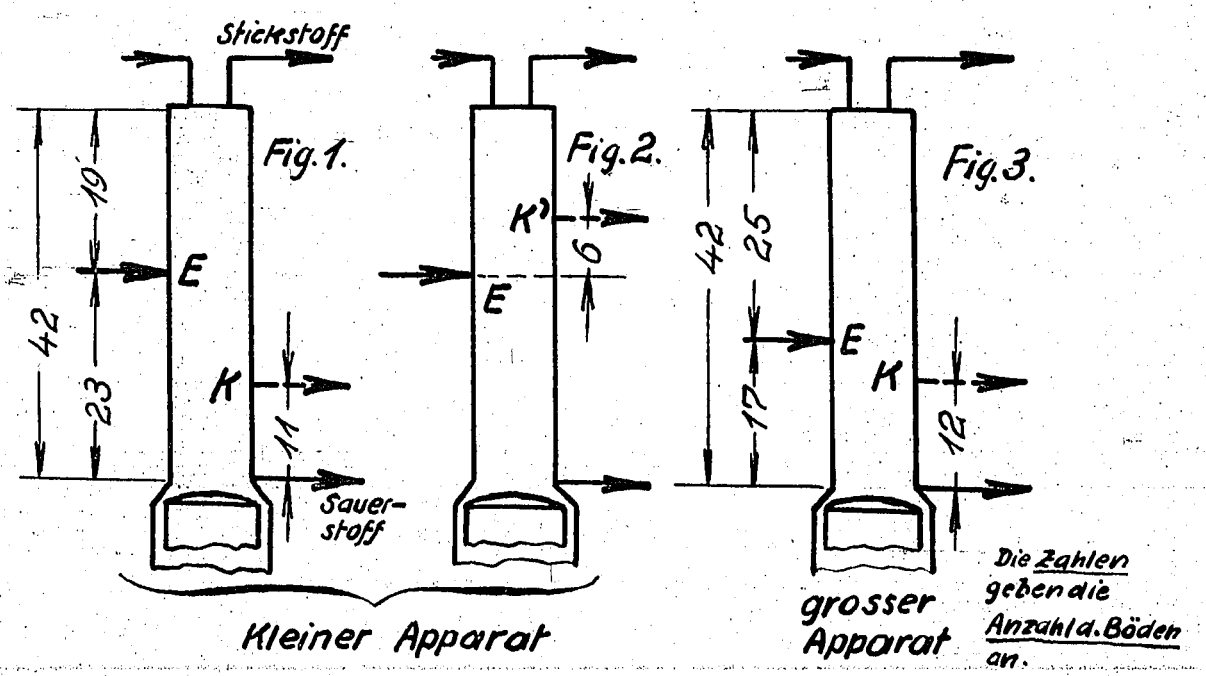


Abb. 17. Höhe der Einführungsstelle E des sauerstoffreichen Flüssigkeitsgemisches u. des bei den späteren Versuchen benutzten 3. Gasauslasses (Kammer K).

	Name
	Au

an der dieser Boden zwecks Auffangung der vom oberen Boden durch den Ablaufbecher A herunterrieselnden Flüssigkeit verschlossen ist und somit keine vertikale Strömung von Gas und Flüssigkeit stattfindet. Der Durchmesser der Haube H ist so gewählt, daß kein Einfließen von Flüssigkeit in die Gasabsaugöffnung durch Kapillarwirkung stattfinden kann. Die Gasgeschwindigkeit in dem Abzugsröhrchen (5 x 8 mm Ø) beträgt bei der am meisten angewendeten Analysenmethode etwa 15 mm/sec., in der Einströmöffnung, d.h. in dem Ringraum zwischen Abzugsröhrchen und Haube H etwa 3 mm/sec.; das ist eine Geschwindigkeit, bei der ein Mitreißen von Flüssigkeitströpfchen nicht stattfindet. Zwischen den Ringböden wurde der Analysenstutzen in ähnlicher Weise eingebaut. Die Gasproben der aus dem Apparat ausströmenden Gase wurden hinter dem zweiten Gegenstromkälteaustauscher (vgl. Abb. 14 und 15) entnommen.

b) Analysenmethoden.

α) Sauerstoffanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung

b. Absorption durch Phosphor

2) Physikalisches Verfahren

β) Argonanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Volumetrisches Verfahren

b. Wägeverfahren

2) Physikalisches Verfahren

α) Sauerstoffanalysen.

Zur Sauerstoffbestimmung existieren mehrere bekannte Methoden, von denen hier nur die betriebstechnisch besonders geeigneten und bei den vorliegenden Versuchen benutzten Verfahren kurz aufgeführt werden sollen.

1.) Chemische Verfahren.

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung.

Bei über 5 % Sauerstoff wurde dessen Absorption in einer ammoniakalischen Kupferlösung mittels eines einfachen Orsat-Apparates mit

an der dieser Boden zwecks Auffangung der vom oberen Boden durch den Ablaufbecher A herunterrieselnden Flüssigkeit verschlossen ist und somit keine vertikale Strömung von Gas und Flüssigkeit stattfindet. Der Durchmesser der Haube H ist so gewählt, daß kein Einfließen von Flüssigkeit in die Gasabsaugöffnung durch Kapillarwirkung stattfinden kann. Die Gasgeschwindigkeit in dem Abzugsröhrchen (5 x 8 mm Ø) beträgt bei der am meisten angewendeten Analysenmethode etwa 15 mm/sec., in der Einströmöffnung, d.h. in dem Ringraum zwischen Abzugsröhrchen und Haube H etwa 3 mm/sec.; das ist eine Geschwindigkeit, bei der ein Mitreißen von Flüssigkeitströpfchen nicht stattfindet. Zwischen den Ringböden wurde der Analysenstutzen in ähnlicher Weise eingebaut. Die Gasproben der aus dem Apparat ausströmenden Gase wurden hinter dem zweiten Gegenstromkälteaustauscher (vgl. Abb. 14 und 15) entnommen.

b) Analysenmethoden.

α) Sauerstoffanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung

b. Absorption durch Phosphor

2) Physikalisches Verfahren

β) Argonanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Volumetrisches Verfahren

b. Wägeverfahren

2) Physikalisches Verfahren

α) Sauerstoffanalysen.

Zur Sauerstoffbestimmung existieren mehrere bekannte Methoden, von denen hier nur die betriebstechnisch besonders geeigneten und bei den vorliegenden Versuchen benutzten Verfahren kurz aufgeführt werden sollen.

1.) Chemische Verfahren.

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung.

Bei über 5 % Sauerstoff wurde dessen Absorption in einer ammoniakalischen Kupferlösung mittels eines einfachen Orsat-Apparates mit

an der dieser Boden zwecks Auffangung der vom oberen Boden durch den Ablaufbecher A herunterrieselnden Flüssigkeit verschlossen ist und somit keine vertikale Strömung von Gas und Flüssigkeit stattfindet. Der Durchmesser der Haube H ist so gewählt, daß kein Einfließen von Flüssigkeit in die Gasabsaugöffnung durch Kapillarwirkung stattfinden kann. Die Gasgeschwindigkeit in dem Abzugsröhrchen (5 x 8 mm Ø) beträgt bei der am meisten angewendeten Analysenmethode etwa 15 mm/sec., in der Einströmöffnung, d.h. in dem Ringraum zwischen Abzugsröhrchen und Haube H etwa 3 mm/sec.; das ist eine Geschwindigkeit, bei der ein Mitreißen von Flüssigkeitströpfchen nicht stattfindet. Zwischen den Ringböden wurde der Analysenstutzen in ähnlicher Weise eingebaut. Die Gasproben der aus dem Apparat ausströmenden Gase wurden hinter dem zweiten Gegenstromkälteaustauscher (vgl. Abb. 14 und 15) entnommen.

b) Analysenmethoden.

α) Sauerstoffanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung

b. Absorption durch Phosphor

2) Physikalisches Verfahren

β) Argonanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Volumetrisches Verfahren

b. Wägeverfahren

2) Physikalisches Verfahren

α) Sauerstoffanalysen.

Zur Sauerstoffbestimmung existieren mehrere bekannte Methoden, von denen hier nur die betriebstechnisch besonders geeigneten und bei den vorliegenden Versuchen benutzten Verfahren kurz aufgeführt werden sollen.

1.) Chemische Verfahren.

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung.

Bei über 5 % Sauerstoff wurde dessen Absorption in einer ammoniakalischen Kupferlösung mittels eines einfachen Orsat-Apparates mit

an der dieser Boden zwecks Auffangung der vom oberen Boden durch den Ablaufbecher A herunterrieselnden Flüssigkeit verschlossen ist und somit keine vertikale Strömung von Gas und Flüssigkeit stattfindet. Der Durchmesser der Haube H ist so gewählt, daß kein Einfließen von Flüssigkeit in die Gasabsaugöffnung durch Kapillarwirkung stattfinden kann. Die Gasgeschwindigkeit in dem Abzugsröhrchen (5 x 8 mm Ø) beträgt bei der am meisten angewendeten Analysenmethode etwa 15 mm/sec., in der Einströmöffnung, d.h. in dem Ringraum zwischen Abzugsröhrchen und Haube H etwa 3 mm/sec.; das ist eine Geschwindigkeit, bei der ein Mitreißen von Flüssigkeitströpfchen nicht stattfindet. Zwischen den Ringböden wurde der Analysenstutzen in ähnlicher Weise eingebaut. Die Gasproben der aus dem Apparat ausströmenden Gase wurden hinter dem zweiten Gegenstromkälteaustauscher (vgl. Abb. 14 und 15) entnommen.

b) Analysenmethoden.

α) Sauerstoffanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung

b. Absorption durch Phosphor

2) Physikalisches Verfahren

β) Argonanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Volumetrisches Verfahren

b. Wägeverfahren

2) Physikalisches Verfahren

α) Sauerstoffanalysen.

Zur Sauerstoffbestimmung existieren mehrere bekannte Methoden, von denen hier nur die betriebstechnisch besonders geeigneten und bei den vorliegenden Versuchen benutzten Verfahren kurz aufgeführt werden sollen.

1.) Chemische Verfahren.

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung.

Bei über 5 % Sauerstoff wurde dessen Absorption in einer ammoniakalischen Kupferlösung mittels eines einfachen Orsat-Apparates mit

an der dieser Boden zwecks Auffangung der vom oberen Boden durch den Ablaufbecher A herunterrieselnden Flüssigkeit verschlossen ist und somit keine vertikale Strömung von Gas und Flüssigkeit stattfindet. Der Durchmesser der Haube H ist so gewählt, daß kein Einfließen von Flüssigkeit in die Gasabsaugöffnung durch Kapillarwirkung stattfinden kann. Die Gasgeschwindigkeit in dem Abzugsröhrchen (5 x 8 mm Ø) beträgt bei der am meisten angewendeten Analysenmethode etwa 15 mm/sec., in der Einströmöffnung, d.h. in dem Ringraum zwischen Abzugsröhrchen und Haube H etwa 3 mm/sec.; das ist eine Geschwindigkeit, bei der ein Mitreißen von Flüssigkeitströpfchen nicht stattfindet. Zwischen den Ringböden wurde der Analysenstutzen in ähnlicher Weise eingebaut. Die Gasproben der aus dem Apparat ausströmenden Gase wurden hinter dem zweiten Gegenstromkälteaustauscher (vgl. Abb. 14 und 15) entnommen.

b) Analysenmethoden.

α) Sauerstoffanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung

b. Absorption durch Phosphor

2) Physikalisches Verfahren

β) Argonanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Volumetrisches Verfahren

b. Wägeverfahren

2) Physikalisches Verfahren

α) Sauerstoffanalysen.

Zur Sauerstoffbestimmung existieren mehrere bekannte Methoden, von denen hier nur die betriebstechnisch besonders geeigneten und bei den vorliegenden Versuchen benutzten Verfahren kurz aufgeführt werden sollen.

1.) Chemische Verfahren.

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung.

Bei über 5 % Sauerstoff wurde dessen Absorption in einer ammoniakalischen Kupferlösung mittels eines einfachen Orsat-Apparates mit -

an der dieser Boden zwecks Auffangung der vom oberen Boden durch den Ablaufbecher A herunterrieselnden Flüssigkeit verschlossen ist und somit keine vertikale Strömung von Gas und Flüssigkeit stattfindet. Der Durchmesser der Haube H ist so gewählt, daß kein Einfließen von Flüssigkeit in die Gasabsaugöffnung durch Kapillarwirkung stattfinden kann. Die Gasgeschwindigkeit in dem Abzugsröhrchen (5 x 8 mm Ø) beträgt bei der am meisten angewendeten Analysenmethode etwa 15 mm/sec., in der Einströmöffnung, d.h. in dem Ringraum zwischen Abzugsröhrchen und Haube H etwa 3 mm/sec.; das ist eine Geschwindigkeit, bei der ein Mitreißen von Flüssigkeitströpfchen nicht stattfindet. Zwischen den Ringböden wurde der Analysenstutzen in ähnlicher Weise eingebaut. Die Gasproben der aus dem Apparat ausströmenden Gase wurden hinter dem zweiten Gegenstromkälteaustauscher (vgl. Abb. 14 und 15) entnommen.

b) Analysenmethoden.

α) Sauerstoffanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung

b. Absorption durch Phosphor

2) Physikalisches Verfahren

β) Argonanalysen.

1) Chemische Verfahren

a. Volumetrisches Verfahren

b. Wägeverfahren

2) Physikalisches Verfahren

α) Sauerstoffanalysen.

Zur Sauerstoffbestimmung existieren mehrere bekannte Methoden, von denen hier nur die betriebstechnisch besonders geeigneten und bei den vorliegenden Versuchen benutzten Verfahren kurz aufgeführt werden sollen.

1.) Chemische Verfahren.

a. Absorption durch ammoniakalische Kupferlösung.

Bei über 5 % Sauerstoff wurde dessen Absorption in einer ammoniakalischen Kupferlösung mittels eines einfachen Orsat-Apparates mit

Meßbürette und dahintergeschalteter Absorptionspipette vorgenommen [1].

b. Absorption durch Phosphor.

Bis zu einem Sauerstoffgehalt von 5 % und vor allen Dingen da, wo an die Genauigkeit der Analyse des am oberen Ende der Hauptzerlegungssäule abziehenden Stickstoffs (d.h. also, mit einem Sauerstoffgehalt von unter 1 %) sehr hohe Anforderungen gestellt werden, wurde im gleichen Gerät die Absorption des Sauerstoffs mittels Phosphor ausgeführt.

2.) Physikalisches Verfahren.

Die niederen Sauerstoffgehalte im Stickstoff wurden außerdem noch mittels einer kontinuierlich arbeitenden Wärmetönungsapparatur registrierend gemessen (vgl. Abb. 18). Dem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch wurde eine bestimmte sauerstoffreie Wasserstoffmenge beigemengt. An der Oberfläche eines Platin-Widerstandsdrahtes wurde dieses Gemisch in einer Quarzröhre R katalytisch verbrannt. Die Temperaturänderungen verursachen eine Thermokraft, die von einem Brückengalvanometer G angezeigt oder registriert werden kann. Der die Quarzröhre umgebende Kupferkern K mit einer Heizdrahtwicklung W wird durch einen elektrischen Temperaturregler auf einer für diese katalytische Verbrennung günstigste Temperatur von 510° C gehalten.

β) Argonanalysen.

Die Argonanalysenmethoden werden genauer beschrieben, da hierüber in der Literatur wenig zu finden ist und die angewendeten Verfahren z.T. neue Methoden darstellen.

1.) Chemische Verfahren.

a. Volumetrische Verfahren.

Nach Absorption des Sauerstoffes nach den oben beschriebenen üblichen Verfahren und nach Bindung des Stickstoffs an Ca-Mg-Al-Metall ist bei Eintretung von Volumenkonstanz der volumetrisch zu bestimmende Gasrest als Argon anzusprechen. Die Anordnung der Apparatur zeigt Abb. 19. Nach Evakuieren der gesamten Apparatur durch eine Wasserstrahlpumpe P bis auf einen Unterdruck von ca. 700 mm Hg und weniger wird das zu untersuchende Gas aus der Flasche (1) über das Manometer (2) in den auf 450 - 500° C erhitzten Ca-Mg-Al-Ofen (3) geleitet.

---

1) vgl. "Beschreibung und Betriebsvorschriften von Sauerstoff- und Stickstoffanlagen", herausgegeben von Linde's Eismaschinen A.-G., München 1929

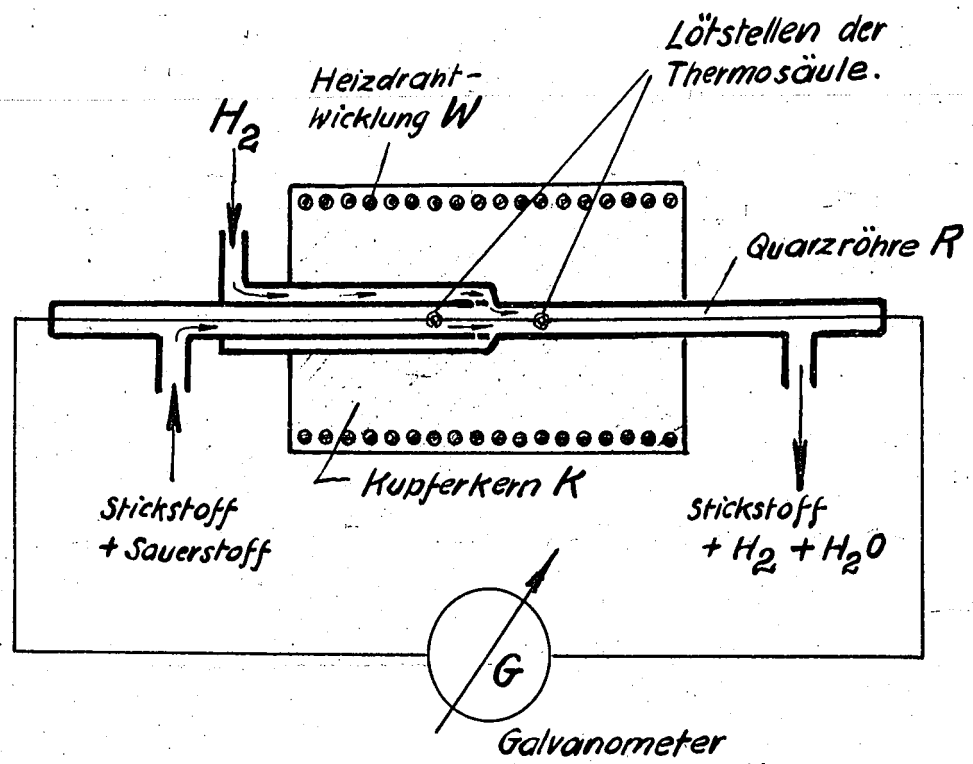


Abb. 18.

Wärmetönungsapparat zur kontinuierlichen Bestimmung des Sauerstoffgehaltes im erzeugten Stickstoff.

Besonders geeignet für niedere Sauerstoffgehalte.

Maßstab:				
	Datum	Name		
Gezeich.	30.7.37	Nw		
Geprüft				
Gesehen				

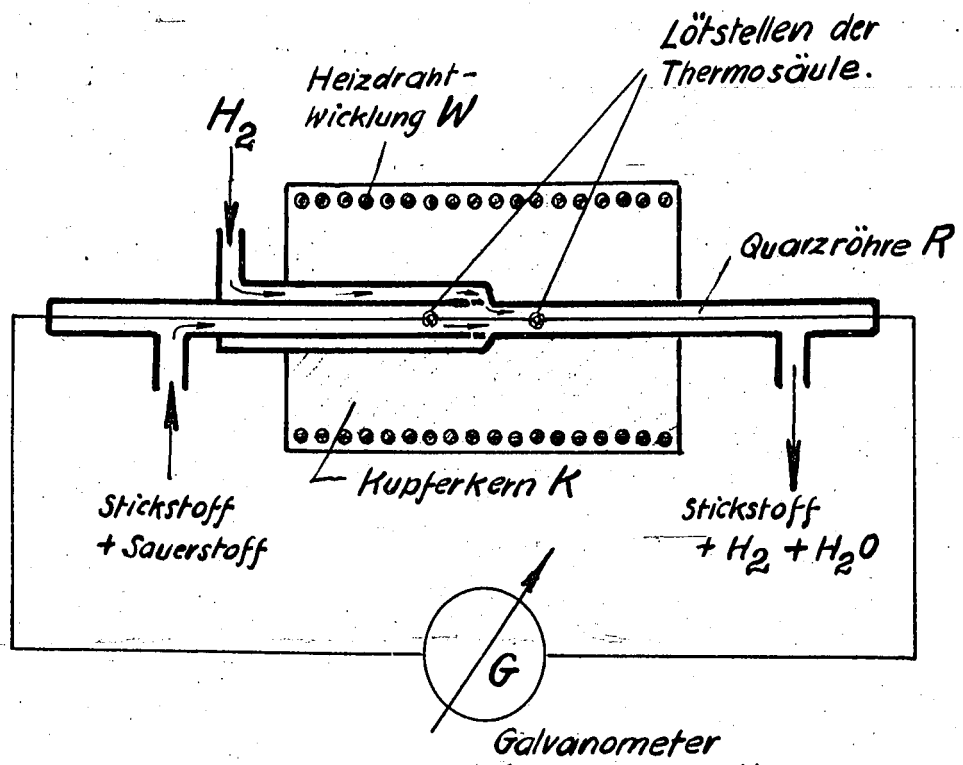


Abb. 18.

Wärmetönungsapparat zur kontinuierlichen Bestimmung des Sauerstoffgehaltes im erzeugten Stickstoff.

Besonders geeignet für niedere Sauerstoffgehalte.

Maßstab:				
	Datum	Name		
Gezeich.	30.7.37	Nu		
Geprüft				
Gesehen				

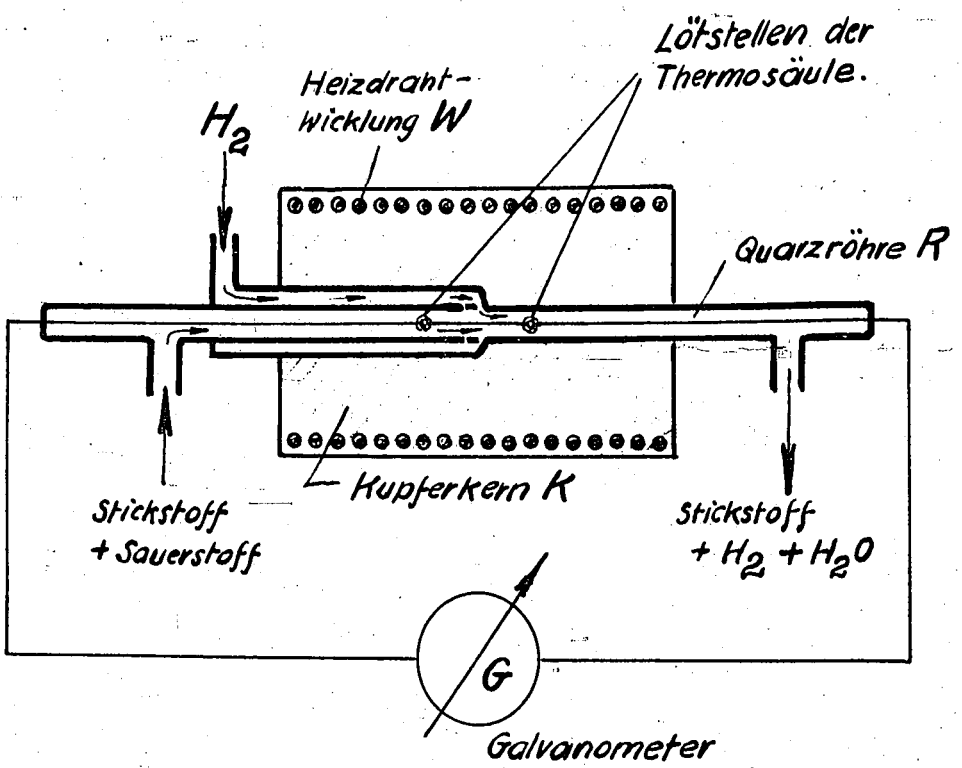


Abb. 18.

Wärmetönungsapparat zur kontinuierlichen Bestimmung des Sauerstoffgehaltes im erzeugten Stickstoff.

Besonders geeignet für niedere Sauerstoffgehalte.

Maßstab:				
	Datum	Name		
Gezeich.	30.7.37	Au		
Geprüft				
Gesehen				

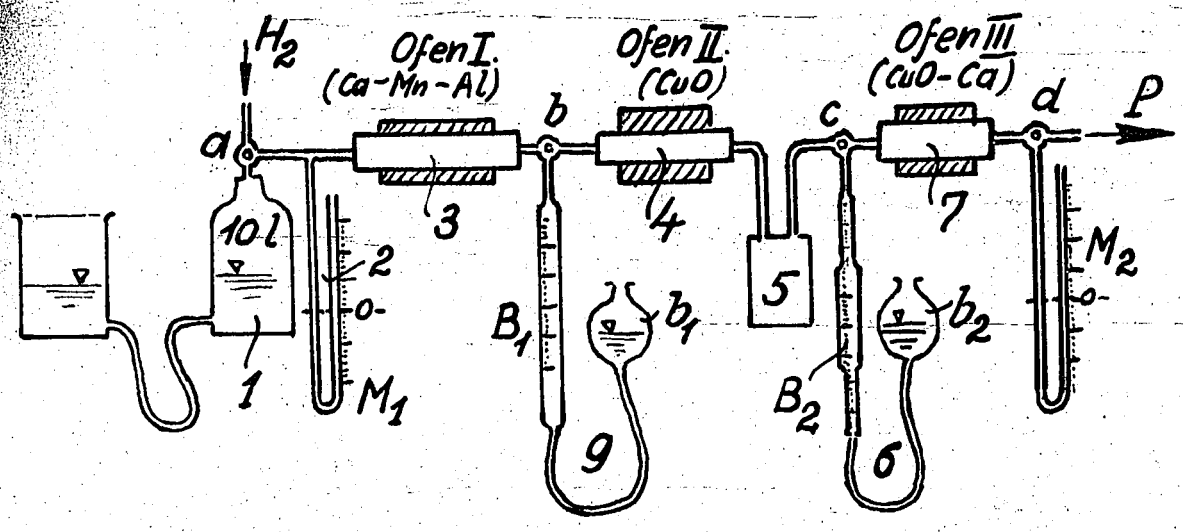


Abb. 19. Argonanalysenmethode nach dem volumetrischen Verfahren.

1 : Flasche, gefüllt mit dem zu analysierenden Gas.
2 : Manometer
3 : Ofen zur Bindung von N_2
4 : Ofen zur Verbrennung von H_2
5 : Vorlage
6 : Gasbürette zur Messung der restlichen Argonmenge
7 : Ofen zur Bindung bzw. Verbrennung der restlichen N_2- und H_2-Mengen.
P : zur Vacuumpumpe.

Maßstab:		
	Datum	Name
Gezeich.	10.7.37	Pfl.
Geprüft		
Gesehen		

nach Abkühlung auf ca. 100° C (der Ofen ist zum Zwecke der schnellen Abkühlung aufklappbar) wird der verbleibende Gasrest mittels aus einer Bombe entnommenem Wasserstoff über eine Gasbürette (9) in den CuO-Ofen (4) mit 300° C geleitet. Nach der Verbrennung des Spülwasserstoffs und Herausnahme des Verbrennungswassers durch die Vorlage (5) wird dieser Gasrest über Gasbürette (6) in den Cu-Ca-Ofen (7) zur Entfernung der letzten Reste von Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff gebracht und nach eintretender Volumenkonstanz der Argongehalt in Bürette (6) abgelesen. Zur Kontrolle der Methode wurden ab und zu Stichprobenanalysen mit Luft mit einem Argongehalt von 0,932 % durchgeführt.

b. Wägeverfahren.

Die Wägemethode beruht auf dem Unterschied der Molekulargewichte von Stickstoff und Argon. Argon ist um 42,6 % schwerer als Stickstoff. Andere Gasbestandteile wie Sauerstoff, Wasserstoff usw. müssen auch bei dieser Methode durch chemische Absorptionsmittel entfernt werden. Der nur noch aus Argon und Stickstoff bestehende Gasrest wird dann in einem ca. 200 cm^3 enthaltenden Kölbchen gewogen und die Gewichtsdifferenz gegen dasselbe Volumen reinen Stickstoffs bestimmt. Aus der Gewichtsdifferenz wird der Argongehalt berechnet.

Während das volumetrische Verfahren für alle Argon-Konzentrationen, insbesondere auch bei ganz geringen Mengen anwendbar ist, so ist das Wägeverfahren nur über 1 % Argon zur Anwendung gekommen, da unter 1 % die Wägegenauigkeit selbst einer guten Waage hierfür nicht mehr ausreicht. Beispielsweise beträgt die Genauigkeit einer Waage bei einer Belastung von 18 g für das Kölbchen ± 0,3 bis ± 0,5 mg. Da bei 200 cm^3 Gasvolumen und 1 % Argon die Gewichtsdifferenz nur ca. 1 mg beträgt, so ist die Ungenauigkeit dieser Methode bei niederen Argongehalten ohne weiteres ersichtlich.

Eine Kombination des volumetrischen mit dem Wägeverfahren, d.h. also, eine Anreicherung des Argongehaltes vor Anwendung des Wägeverfahrens, ist bei niederen Argongehalten möglich, bedingt aber Vorbereitungen großer Gasmengen und ist daher zeitraubend und durch den großen Calciumlegierungsverbrauch teuer und bietet gegenüber dem Verfahren 1 a) keine Vorteile.

Alle beschriebenen Verfahren verlangen viel Sorgfalt, Übung und Zeit. Für eine sorgfältige Argon-Handanalyse sind einige Stunden erforderlich.

2. Physikalisches Verfahren.

Die Wärmeleitfähigkeiten von Stickstoff und Argon verhalten sich bei 0° C wie 100 : 68, bei 100° C wie 100 : 71. Für ein Stickstoff-Argon-Gemisch hat S. Weber [1] folgende λ-Werte gefunden:

% Ar	% N_2	λ bei 0° C
100,00	0	0,01400
79,62	20,38	0,01525
64,13	35,87	0,01621
38,92	61,08	0,01775
21,96	78,04	0,01898
0	100,00	0,02045

In Abb. 21 sind diese Werte graphisch aufgetragen. Danach folgt die Leitfähigkeit des Gasgemisches in erster Annäherung der einfachen Mischungsregel, und man ist berechtigt, für kleine Meßbereiche das Gesetz der Addivität mit hinreichender Genauigkeit als erfüllt anzunehmen. Auf Grund dieser Gesetzmäßigkeit wurde für die Ausführung der für die vorliegenden Versuche in großer Anzahl notwendigen Argon-Analysen ein Apparat zur laufend registrierenden Argonanzeige - selbst zur Messung kleinster Argongehalte - entwickelt. Abb. 20 zeigt die grundsätzliche Anordnung. In einer Meßbrücke werden die vier Widerstandsdrähte (Platin) durch den Meßstrom auf etwa 200° C aufgeheizt. Die Drähte liegen in vier Kammern, wobei zwei in der Brücke gegenüber liegende Zweige a von dem zu untersuchenden Gas, die beiden anderen Zweige b von einem Vergleichsgas umströmt werden. Je nach den Wärmeleitzahlen der Gase nehmen nun die vier Brückenzweige verschiedene Temperaturen an, denen verschiedene Widerstände entsprechen. Der Ausschlag eines Brückengalvanometers oder Millivoltmeters d ist daher ein Maß für den festzustellenden Argongehalt. Die Eichung des Apparates erfolgte mit reinem Stickstoff. Als Vergleichsgas wurde ein Gemisch mit bekannter Gaszusammensetzung genommen (atmosphärische, kohlensäurefreie Luft mit 0,932 % Ar oder aus einer Hochdruckflasche entnommener Stickstoff mit bekanntem Argongehalt).

Da die Wärmeleitfähigkeit von Sauerstoff praktisch gleich der von Stickstoff ist (gleichatomige Gase!), ist der Sauerstoffgehalt ohne Einfluß auf die Messung. Trotzdem wurde bei Sauerstoffgehalten über einigen Prozenten der Sauerstoff durch übliche Absorptionsmittel aus dem Gase herausgeholt und über eine Gastrocknung sauerstoffrei dem

1) Vergl. Ann. Physik 54, S. 481 (1917).

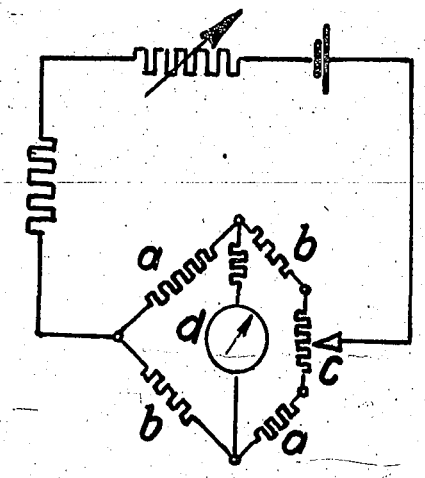


Abb. 20.

Schema einer kontinuierlichen Gasanalyse von Stickstoff - Argon - Gemischen auf Grund der verschiedenen Wärmeleitzahlen von Stickstoff und Argon.

a, a : vom zu analysierenden Gas umspülte Widerstandsdrähte
b, b : vom Vergleichsgas umspülte Drähte.
c : Widerstand zur Einregelung des Gerätes.
d : Galvanometer.

Maßstab:		
	Datum	Name
zeich.	12.6.37	Hil
prüft		
sehen		

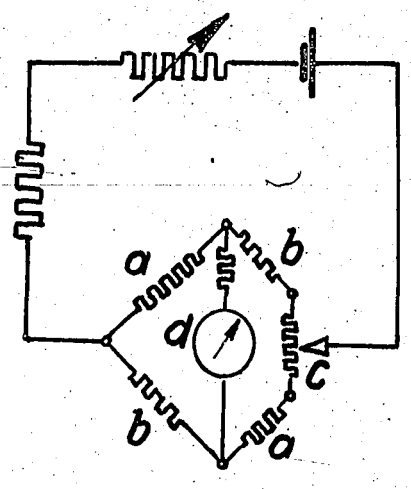


Abb. 20.

Schema einer kontinuierlichen Gasanalyse von Stickstoff - Argon - Gemischen auf Grund der verschiedenen Wärmeleitzahlen von Stickstoff und Argon.

a, a : vom zu analysierenden Gas umspülte Widerstandsdrähte
b, b : vom Vergleichsgas umspülte Drähte.
c : Widerstand zur Einregelung des Gerätes.
d : Galvanometer.

Maßstab:		
	Datum	Name
bezeich.	12.6.37	Ful
geprüft		
gesehen		