

BRF

Geh.Kdos.Nr. 892/R
/A

Geheime Kommandosache

Bayerische Motorenwerke AG.

R-Werk Allach

~~14~~ ~~Auswertungen~~
~~14~~ ~~Abfertigung~~

Walt 31.12.44

Zündzeitsmessungen bei tiefen Temperaturen in vier verschiedenen Düsenköpfen mit den Stoffen Ergol 57 h, Ergol 57 g, Tonka 505 C, Tonka 506 B und Stoff 844 von HAP.

Bearbeiter:

[Signature]
Chem. Fuchs

BR-Chemie

[Signature]
Dipl.-Ing. Hemesath

Bearbeiter:

[Signature]
Dipl.-Ing. Kröhl

Vorentwicklungsleitung:

[Signature]
Dipl.-Ing. Dreyer

Verteiler:

OKL-RLR/PL E 9 Fl.Stabsing. Schein

" -RLR/PL E 3 Fl.Stabsing. Hedwig

" -TR/M 2 Dr. Waltnitzki

EdL-Karlshagen Dr. Demant

RLA Dr. Schulz

LFA Braunschweig Prof. Lutz/
Dr. Noeggerath

EW Karlshagen H. Heller

FWR H. Lensch

~~IG Ludwigshafen~~ Dr. Hausmann/
Dr. Pensig

Schmidting/Tetschen Dr. Kleiner

4-Jahresplaninstitut Dr. Conrad

COL-BAF-EZV/2

TR Prk. Zborowski/Bev. Müller

ERA Bev. Schneider

BRZ Bev. Schell/O. Ing. Singelmann

ERE Bev. Ziegler/Rimmier

BRF Bev. Dreyer

BR-OR. Dipl. Ing. Hemesath

Brandexemplar

Handwritten mark

Datum: 17.10.44

Seitenzahl: 15

Anlagen: 29

Kr/Sz.

ERF

G l i e d e r u n g .

- A. Einleitung.
- B. Versuchsergebnisse.
- C. Aufbau der Versuchsanapparatur und Versuchsdurchführung.
- D. Die untersuchten Stoffkombinationen.
- E. Genauere Besprechung und Beurteilung der Versuchsergebnisse:
 - a.) Einfluß physikalisch technischer Vorgänge
 - b.) Einfluß der verwendeten Versuchsanapparatur.
 - c.) Die erhaltenen Versuchsergebnisse.
 - d.) Vergleich zwischen Testapparatur und den Werten bei Zündung mit den Düsenköpfen.
- F. Zusammenfassung.

A. Einleitung.

Die Verwendung selbstreagierender Treibstoffkombinationen bringt für die Konstruktion und den Betrieb von R-Triebwerken eine ganze Reihe von Vorteilen. Es wurde deshalb bei BMW von Anfang an bei der Entwicklung besonderer Wert auf den Gebrauch derartiger Treibstoffe gelegt. Dabei soll nach Möglichkeit die Stoffkombination für alle vorkommenden Anwendungszwecke geeignet sein. Aus den zu fordernden Eigenschaften soll uns in der vorliegenden Arbeit in erster Linie die Brauchbarkeit bei tiefen Temperaturen interessieren.

Das erste von BMW entwickelte Gerät benutzte die selbstreagierende Treibstoffkombination nach dem HLN-Verfahren (1940). Leider besitzt sie eine Reihe Nachteile (in erster Linie neben schlechter Beschaffbarkeit je nach Zusammensetzung entweder hohen spez. Verbrauch oder zu geringe Kälteempfindlichkeit) sodaß sie als allgemeine Stoffgrundlage nicht zu empfehlen war. Aus diesen und einer Reihe anderer wichtiger Gründe ging BMW über auf die Kombination M-Stoff - Sv-Stoff, die allerdings nicht mehr selbstreagierend sind. Es mußte also eine Zündvorrichtung entwickelt werden.

Die Wahl fiel auf die chemische Zündung mit S-Stoff als O_2 -Träger und R-Stoff als Brennstoff, womit man wiederum auf eine selbstreagierende Kombination zurückgriff. R-Stoff besitzt im Gegensatz zu Brennstoffen anderer Verfahren einen außerordentlich tiefen Gefrierpunkt und auch die Viskosität hat bei den tiefsten interessierenden Temperaturen noch brauchbare Werte, wenn richtige Zusammensetzung gewählt wird. (1941) Die thermodynamische Rechnungen zeigten, (vergleiche BMW? ER-Bericht Nr.44) kann der R-Stoff nicht nur als Zündstoff, sondern durchaus auch als Brennstoff verwendet werden. Bei gleichem Ausbrand ergibt sich möglicher Weise sogar ein etwas niedrigerer spezifischer Verbrauch gegenüber M-Stoff, vor allem besitzt die Kombination R-Stoff - Sv-Stoff das höhere spezifische Treibstoffgewicht. Damit erfolgte Ende 1941 Anfang 1942 der Übergang von M-Stoff auf R-Stoff.

In der vorliegenden Arbeit soll uns das Zündverhalten der Stoffe in Abhängigkeit der Temperatur interessieren. Solange die R-Stoffe nur zum Zünden, aber nicht zum Brennen selbst verwendet wurden, war der mengenmäßige Bedarf so gering, daß man die Auswahl der einzelnen Komponenten nur mit Rücksicht auf das beste Zünden zu treffen brauchte. Die Untersuchungen wurden damals ohne besondere Meßapparatur, deren Aufbau einige Entwicklungsarbeit erforderte, durchgeführt. Dabei gewann die Kombination Tonka 250 bei Umgebungstemperatur rd n augenscheinlich so hohe Überlegenheit, daß auch bei tiefsten Temperaturen noch ein sicheres Zünden erwartet werden durfte, was spätere Messungen auch bestätigten.

Als aber dann als Brennstoff größere Mengen, und zwar 2000 moto gefordert werden mußten, wurden auf Grund der Beschaffungslage Mischungen zwischen selbstreagierenden Brennstoffkomponenten und nicht selbstreagierenden notwendig. Zum Auffinden optimaler Mischungsverhältnisse und zur Bestimmung des Verhaltens bei absinkenden Temperaturen, konnte dann nicht mehr auf eine besondere Apparatur, die zahlenmäßige Angaben liefert, verzichtet werden. Im Frühjahr 1944 ein Laboratoriumsgerät zur Aufstellung, das mit der "Tropfenmethode" die Zündverzögerungen im gesamten interessierenden Temperaturbereich zu messen gestattete. Erst mit diesem Gerät konnten durch das Messen auch der feineren Unterschiede Erkenntnisse erzielt werden, die die Brennstoffentwicklung auf eine wirklich sichere Grundlage stellten. Praktisch interessiert aber das Zündverhalten unter gerätegebundenen Bedingungen. Es liegt natürlich der Gedanke nahe, daß die mit der "Tropfenmethode" gewonnenen Werte sich auf das Verhalten der Stoffe im Düsenkopf bzw. in der Brennkammer direkt übertragen lassen. Diese Behauptung bedarf aber der experimentellen Überprüfung. Die vorliegende Arbeit hat es sich daher zur Aufgabe gestellt, das Zündverhalten aus dem Strahl heraus verschiedener R-Stoffkombinationen für mehrere Einbringdüsenkonstruktionen in Abhängigkeit von der Temperatur zu untersuchen und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die mit der "Tropfenmethode" gewonnenen Werte zu überprüfen. Dabei wurde auf das Zünden in der Brennkammer als der wahrscheinlich leichteren Bedingung vorläufig verzichtet. Gleichzeitig fallen dabei Erfahrungen über den Einfluß der Düsenausbildung an, denn Voraussagen darüber könnten erst gemacht werden, wenn nähere Einzelheiten über den Reaktionsmechanismus und die Vorgänge bei der ersten Zündung bekannt wären.

B. Versuchsergebnisse.

Es wurden Untersuchungen angestellt mit den Stoffen

Ergol 57 h	} LHM
Ergol 57 c	
Tonka 505 C	} RTW
Tonka 506 B	
Stoff 841	HAP

als Brennstoff und O-Stoff als Sauerstoffträger. (Nähere Einzelheiten darüber wie z.B. Zusammensetzung, chemisch-physikalische Daten usw. siehe Abschnitt D). Der Stoff Tonka 250, der für Vergleichs-

Messungen von Interesse ist, war durch besondere Umstände nicht verfügbar. Entsprechende Messungen sind für später geplant.

Dabei kamen zur Anwendung die Düsenköpfe:

Kreiselkraftdoppeldüse	(Abb.26)
Einzelkreiselkraftdüsenkopf	(Abb.27)
Brennkopf	(Abb.28)
Lochdüsenkopf	(Abb.29)

Bei diesen 4 Einbringorganen kommen u.E. die wesentlichsten Arten, wie man flüssige Raketentriebstoffe in Brennkammern einfördern kann, zur Anwendung. Das Prinzip, das dem Lochdüsenkopf zu Grunde liegt, wird für die Einbringorgane der Geräte 109-548, 109-558 und 109-718 ausgeführt. Es waren die zu Beginn der Versuche greifbaren passenden Einbringorgane. Da bisher nur lückenhafte Erfahrungen über den Zündensatz vorliegen, liegt ihrer Auswahl eine gewisse Willkür zu Grunde.

Bei der vorliegenden Untersuchung soll unterschieden werden zwischen Sofortzündung, Zündung mit Verzug und ohne Zündung. Dabei besitzt das größte Interesse die Grenze zwischen Sofortzündung und Zündung mit Verzug. Unter Sofortzündung soll hier bei diesen speziellen Versuchen eine Zündung mit einem Zündverzug von Null bis höchstens 0,3 sec verstanden werden. Als Grund für diese Festsetzung sei angeführt, daß einmal als Anfahrvorgang in dieser Zeit bei den bei BMW ausgeführten Projekten so geringe Stoffmengen in eine Bk eingefördert werden können, daß daraus kein unzulässig kräftiger Anfahrstoß entstehen kann, zum anderen beträgt in der benutzten Versuchsanordnung bei einem Abstand der Düse vom Fußboden von etwa 1 m (vergl. Abb.25) die freie Fallzeit eines Tropfens 0,45 sec, sodaß spätestens nach 0,3 sec der Tropfen den Boden erreicht haben muß, da er ja mit einer Anfangsgeschwindigkeit die Düse verläßt. Er scheidet somit für die Einleitung der Zündung aus. Außerdem konnte, bedingt durch die Art der Versuchsdurchführung, keine Zeit unter 0,3 sec mehr mit genügender Genauigkeit erfaßt werden. Selbstverständlich besitzen nur die Versuche einen Wert, wo die Zündung aus dem Strahl heraus und nicht durch irgend welche äußeren Einflüsse z.B. Wandnähe erfolgte.

In den Abb. 1 - 4 sind jeweils für eine Düse die Linien eingetragen, die das Gebiet der sofortigen Zündung von dem der Zündung mit Zündverzug trennen. Als Abszisse erscheint dabei die Stofftemperatur, als Ordinate der Einspritzdruck. Die Abb.5 - 24 geben die Ergebnisse im einzelnen wieder. Daraus lassen sich die oben angegebenen 3 Bereiche feststellen und aus der Lage der eingezeichneten Versuchspunkte kann man alles weitere wünschenswerte, wie z.B. Steuerung, Reproduzierbarkeit usw. entnehmen.

Die Übertragbarkeit der Werte aus der Testapparatur auf die Zündungen in der Düse ist nicht besonders gut. Man kann aber doch feststellen, daß bei einem Zündverzug in der Testapparatur von 0,2 sec man in der Kreiselkraftdoppeldüse bei niedrigem Druck (etwa 1,5 at) noch Sofortzündung erreichen kann.

C. Aufbau der Versuchsapparatur und Versuchsdurchführung.

Die Versuchsapparatur ist wie folgt aufgebaut: (vergl. Abb. 25)
Der jeweils für die Untersuchung gewählte Düsenkopf 1 ist in den mittleren Kühlbehälter 2 so eingebaut, daß die austretenden Stoffe senkrecht nach unten gegen den Fußboden gespritzt werden. Zuführt werden die Stoffe aus den seitlich, als Bohrschlangen ausgebildeten Stoffbehältern 3, die ein Gefäß zur Aufnahme des Kühlbades umgibt. In der Verbindungsleitung zwischen diesen Stoffbehältern und dem Düsenkopf befinden sich auf jeder Seite je ein Thermolement 4 zur Temperaturmessung, ein Absperrventil 5 und ein Manometer 6 zum Messen des Einspritzüberdruckes. Die beiden Ventile koppelt mechanisch ein Kettentrieb 7, der ein gleichzeitiges Öffnen und Schließen gewährleistet. Das freie Ende der Bohrschlangen wird über Standeinrichtungen mit Druck beaufschlagt, der je nach dem gewünschten Einspritzdruck variiert werden kann. Am Fußboden unterbindet eine kräftige Berieselung, soweit als möglich, ein Zünden der Stoffe vom Boden aus. Erfolgt dennoch eine Zündung vom Boden aus, so wird der Versuch nicht gewertet.

Die Abb. 26 bis 29 zeigen die verwendeten Einbringorgane. Im Kreiselkraftdoppeldüsenkopf Abb. 26 sind die R-Stoff-Kreiselkraftdüse und die S-Stoff-Kreiselkraftdüse konzentrisch ineinander gebaut. Die beiden Regel schneiden sich etwa 1 cm hinter dem Düsenaustritt. Es trifft also grob genommen jedes R-Stoffteilchen auf das zur Verbrennung erforderliche S-Stoffteilchen unmittelbar nach dem Austritt.

Der Einzelkraftdüsenkopf (Abb. 27) enthält 4 getrennt angeordnete Kreiselkraftdüsen, deren Achsen sich in einem Punkte schneiden. Durch die mittlere Düse wird der R-Stoff, durch die 3 äußeren Düsen der S-Stoff ausgefördert. Die Spritzkegel durchdringen sich nur teilweise, das entstehende Treibstoffgemisch ist ungleichmäßig, es gibt also Zonen mit Brennstoff- bzw. S-Stoffüber- bzw. unterschuß.

Der Brennkopf (Abb. 28) besitzt als Hauptteil einen Ringraum, in welchem die beiden Treibstoffkomponenten tangential eintreten. Dadurch wird erreicht, daß die Stoffe zwangsläufig eine Zeit lang zusammenkommen, um miteinander reagieren zu können, ehe sie in die eigentliche Brennkammer eintreten.

Der Lochdüsenkopf (Abb. 29) wird in dieser Anordnung im Gerät 109-548 eingebaut. Es soll bei dieser Konstruktion mit einfachsten Mitteln (Löcher, mit Spiralbohrer gebohrt) erreicht werden, daß die Treibstoffe in gewünschtem Mischungsverhältnis unmittelbar aufeinander treffen. Der Düsenkopf besitzt 3 Systeme. Jedes System enthält eine Bohrung für R-Stoff und 2 Bohrungen für S-Stoff. Die daraus austretenden Flüssigkeitsstrahlen schneiden sich in einem Punkt.

Zur Durchführung der Versuche füllt man die Treibstoffe in die Tanks (Bohrschlangen) und die Kühlflüssigkeit (reiner M-Stoff oder M-Stoff-Wassergemisch) in die Kühlbehälter. Dann kühlt man durch entsprechende Trockeneiszugabe auf die erforderliche Kühlbehältertemperatur ab. Nun wird auf die Tanks der gewünschte Druck gegeben und die Anlage ist versuchsbereit. Das Einschalten des Versuches selbst geschieht von Hand durch möglichst schlagartiges Öffnen der Absperrventile, die nach erfolgter Zündung, spätestens nach etwa 5 sec wieder abgeschaltet werden. Gemessen werden Einspritzdrücke an normalen Federmanometern, die Stofftemperaturen mittels Thermolementen und die Zeit, die verstreicht vom ersten Erscheinen der Stoffe

bis zur Zündung von Hand mit einer Stoppuhr (in 1/100 sec geteilt).

D. Zusammensetzung der verwendeten Brennstoffmischungen (Gewichtsprozent).

	Tonka 505 e	Tonka 506 B	Ergol 57 g	Ergol 57 h	Tonka 250	
Optol 0	18	15	13,4	15	-	
Anilin	5	-	9	10	-	
Aethylanilin	7	-	9	9	-	
Rohxyliidin F	12	17	15	12	57	
Aromatenbenzin	18	53	31,2	11	-	
Xylol	15	-	21,4	28	-	
Tetrahydrofuran	-	15	-	15	-	
Triäthylamin	-	-	-	-	43	
Diäthyläther	25	-	-	0	-	
Spez. Gewicht	0,902	0,878	0,913	0,94	0,865	
Zündungen	+20°	1,5	3,0	4,2	1,9	1,3
m. Salbeik	-40°	14,1	27,5	17,0	6,7	3,0
(1/100 sec)	-50°	21,9	60	26±35	10,6	4,0
Zähig-	+20°	1,83	1,5	1,8	1,93	1,5
keit	-40°	14,5	8,4	15,7	18,6	18,4
(e St.)	-50°	45,3	21,4	55,0	36,3	67

H A P Mischung 341

nach Angaben von HAP Archiv Bericht Nr. 110/29 g. S. 8.

Zusammensetzung: 12 % Optol
 23 % Anilin
 30 % Visol 6 = Vinyl-aethyl-aether
 20 % Benzol
 15 % Xylol

Dichte: 0,898 + 0,914^{x)}

Viskosität: +20° 1,3 + 1,7 cSt^{x)}
 -40° 11,0 - 17,0 cSt

Zündung: bei +20° { Salbei 4,6
 { Mischsäure 3,5 }
 von BMW { Salbei: 2,9 } in 1/100 sec
 gemessen { Mischsäure 2,6 }
 { Salboik 2,0 }

Zur Zeit, als die hier beschriebenen Versuche durchgeführt wurden, war aus besonderen Umständen Tonka 250 nicht verfügbar. Versuche damit sind zu Vergleichszwecken von großem Interesse. Es ist daher geplant, diese Versuche zu gegebener Zeit nachzuholen.

x) Da die Mischung Optol und Visol enthält, ändert sich Dichte und Viskosität beim Lagern infolge innerer Umsetzung.

BMW-3941.150.12.43 T&F.

E. Genauere Besprechung und Beurteilung der Versuchsergebnisse.a.) Einfluß physikalisch-technischer Vorgänge.

Bevor die Versuchsergebnisse im Einzelnen besprochen werden, sollen einige Vorgänge, die für das Verständnis von Bedeutung sind, näher betrachtet werden.

Zur Einleitung einer Verbrennung, gleichgültig welcher Stoffe, wird eine bestimmte Zeit benötigt, der sogenannte Zündverzögerung. Diese Zündverzögerungszeit liegt bei den R-Stoffen je nach Stoff in der Größenordnung von 0,01 sec und kann bei fallender Temperatur bis auf 0,3 sec und mehr ansteigen. Es muß also während einer gewissen Zeit, eben der Zündverzögerungszeit, der Brennstoff mit dem S-Stoff in Berührung bleiben, soll überhaupt Zündung entstehen. Wie bereits erwähnt, ist in vorliegender Arbeit die Aufgabe gestellt, die Zündung aus dem Strahl heraus, zu erzielen. Es muß also durch die Eigenart der Düsenkonstruktion dafür gesorgt werden, daß bei einem gegebenen Einspritzüberdruck während der fraglichen Zeit die Treibstoffteile weder an eine Wand gelangen, noch durch die Schubdüse hindurch die Kammer verlassen können, sondern sie müssen in Berührung bleiben, damit die Zündung aus dem Strahl eingeleitet werden kann. Treffen die Stoffe auf die Wand, so erfolgt eine zusätzliche Vermischung bzw. Verlangsamung der Strömungsgeschwindigkeit, wodurch in den meisten Fällen die Zündung erleichtert werden wird. Versuchsmäßig lautet die Fragestellung, bei welchem Einspritzdruck sind die Verhältnisse so gelagert, daß obige Forderung für die Zündung aus dem Strahl heraus erfüllt werden.

Allgemein läßt sich sagen, je niedriger die Austrittsgeschwindigkeit aus der Düse ist, d.h. auch je niedriger der Einspritzdruck ist, um so mehr sind die Bedingungen dafür gegeben, daß die erforderlichen Berührungszeiten für die Stoffe erreicht werden. Sieht man sich daraufhin einmal die Vorgänge beim Ein- und Abschalten an, so erkennt man, daß unter Umständen noch gute Zündungen erzielt werden, obwohl die Austrittsgeschwindigkeiten so hoch liegen, daß nach Ablauf der Zündverzögerungszeit die Stoffe längst den Fußboden erreicht haben. Bevor die Düse überhaupt spritzen kann, muß erst der Einspritzdruck aufgebaut werden. Dieser Druckaufbau benötigt selbst bei einer Ventilöffnungszeit Null stets eine endliche mehr oder weniger kurze Zeit, weil ja wegen der Dehnung der Stoffleitungen usw. ein gewisses Stoffvolumen eingefördert werden muß. Streng genommen wird also die Strömung beschleunigt durch einen wachsenden Druck, beginnend vom Überdruck Null aus. Danach gibt es also stets eine gewisse Zeitspanne, wo die Austrittsgeschwindigkeiten eine Zündung zulassen, wenn auch beim voll ausgebildeten Überdruck an keine Zündung mehr zu denken ist. Es wird also bei relativ langsamen Druckanstieg stets eine Zündung und zwar nach der getroffenen Vereinbarung sofortige Zündung geben, da bei einer einmal vorhandenen Flamme das Zünden der nachfolgenden Stoffteile bis zu sehr hohen Austrittsgeschwindigkeiten sichergestellt ist. Ist dagegen der Druckanstieg steil, so holen später ausgetretene Treibstoffteile die vorher ausgetretenen langsameren ein und reißen sie mit sich fort, bevor die Induktionsperiode für dieselben zu Ende ist, bevor also die Zündung einsetzen kann. Beim Abschalten dagegen, wenn der Einspritzdruck verschwindet, (der Druckaufbau geht langsamer vor sich als der Druckaufbau, wie man sich leicht überlegen kann) ist stets mit Zündung zu rechnen, weil ja dabei ein

Fortspülen der langsamen Teile nicht stattfinden kann.

Weiterhin erkennt man daraus, daß es nicht gleichgültig sein kann, ob die Stoffleitungen bis unmittelbar an die Austrittsöffnungen des Düsenkopfes gefüllt sind, oder ob sie sich nach dem Abstellen mehr oder weniger entleeren. Der Anfahrvorgang bei gefüllten Leitungen wird in erster Linie durch die Öffnungsgeschwindigkeit des Ventils gegeben, bei entleerten Leitungen dagegen zusätzlich noch durch die auszufüllenden Volumen. Ist der Auffüllungsgrad der Leitungen unterschiedlich auch von Versuch zu Versuch, was durchaus im Bereich der Möglichkeit liegt, so erklären sich allein daraus recht erhebliche Streuungen im Versuchsergebnis. Vorstehende Überlegungen wurden durch entsprechende Beobachtungen bei den Versuchen voll bestätigt.

Eine weitere maßgebende Größe für die Einleitung der Zündung sind die Temperaturen, die die reagierenden Teilchen vor Beginn der Reaktion besitzen, weil dadurch der Zündverzug und damit auch die Zeit festliegt, während der die Teilchen sich berühren müssen. Da der hauptsächlich interessierende Punkt, die Grenze zwischen Sofortzündung und Zündung mit merkbarem Verzug, Zündungen innerhalb kurzer Zeit verlangt, besitzt die Temperatur nur der Teilchen Bedeutung die etwa innerhalb der ersten 0,5 sek ausströmen. Es muß also bei exakt ausgeführten Messungen die Stofftemperatur im Düsenkopf oder in unmittelbarer Nachbarschaft davon gemessen werden.

Als Zündverzugszeit hat die Zeit zu gelten, die verstreicht vom ersten Zusammentreffen der beiden Brennstoffkomponenten bis zur Zündung aus dem Strahl heraus. Da durch Verwirbelung der Strahlen beim Auftreffen aufeinander Teile beschleunigt und Teile verzögert werden, so ist es wahrscheinlich, daß die Zündung durch Zusammentreffen verzögerter Teilchen erfolgt. Es ist dabei durchaus denkbar, daß vom ersten Zusammentreffen der Brennstoffkomponenten bis zum Zündeinsatz eine längere Zeit als die im Tropfen-Versuch gemessene Zündverzugszeit verstreicht, weil das Zusammentreffen mit zündfähiger Geschwindigkeit nicht gleichzeitig mit dem Zusammentreffen der ersten Brennstoffteilchen zu geschehen braucht. In diesem Falle wird also die Zündung mehr oder weniger dem Zufall überlassen.

Die Reproduzierbarkeit derartiger Versuche kann dann natürlich nicht allzu groß sein. geringfügigste Änderungen können in einem solchen Falle zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen führen. So ist es ohne weiteres möglich, daß bei zwei vollkommen gleich ausgebildeten Einbrinddüsen die Ergebnisse recht verschieden ausfallen, wenn der Zündeinsatz von den oben geschilderten Erscheinungen abhängig ist.

b.) Einfluß der verwendeten Versuchsanordnung.

Die vorliegende Apparatur wurde gebaut unter dem Gesichtspunkt, mit möglichst geringem Aufwand schnell zu überschlägigen Ergebnissen zu gelangen, damit unter anderem mit der Einlagerung der Stoffkomponenten der besten der 5 Mischungen begonnen werden kann. Es mußte daher bewußt auf alle Verfeinerungen und alle Meßeinrichtungen, die nicht sofort greifbar waren, verzichtet werden. Die Mängel, die dadurch in der Versuchsgenauigkeit auftreten, lassen sich aber zum Teil durch entsprechend große Anzahl von Messpunkten und durch sorgfältige Versuchüberwachung weitestgehend ausgleichen. Zur richtigen Beurteilung

der gewonnenen Ergebnisse sollen daher die verbesserungswürdigen Teile der Apparatur genannt werden.

Wie aus obigen Überlegungen hervorgeht, können brauchbare reproduzierbare Werte nur bei wohl definiertem Anfahrvorgang erwartet werden. Da die Leitungen zwischen den Absperrventilen und dem Düsenkopf aus herstellungstechnischen Gründen verhältnismäßig lang ausgeführt werden mußten und außerdem die Ventile erst nach mehreren Umdrehungen der Spindel voll geöffnet sind, fehlen die Bedingungen zu Erzeugung stets exakt gleichbleibender Voraussetzungen für den Anfahrvorgang. Wie weit die Leitungen zwischen Ventil und Düsenkopf vor Versuchsbeginn voll Stoff standen, konnte ebenfalls nicht kontrolliert werden.

Die Temperaturmessung ist eine Vergleichsmessung die Temperatur der ausschlaggebenden Stoffteile zu bestimmen, stieß auf Schwierigkeiten, die sich in der verfügbaren Zeit nicht beheben ließen. Zur Einengung der dadurch möglichen Fehler wurden die drei Kühlbehälter gleichmäßig auf die vorgesehene Temperatur abgekühlt und während einer angemessenen Zeit darauf gehalten. Beim Versuch bestimmt man die Temperatur der Stoffe in den seitlichen Kühlbehältern durch Thermoelemente. Da die Kühlbäder gleiche Temperaturen besitzen und außerdem eine angemessene Zeit zum Temperatúrausgleich zur Verfügung stand, wird nun geschlossen, daß in allen Leitungen die Stofftemperatur gleiche Werte besitzt von der Höhe der Thermoelementenanzeige. Außerdem war es nicht möglich, die Kopftemperatur festzustellen. Durch sorgfältige Kontrolle der Kühlbadtemperaturen und durch Einlegen angemessener Pausen von Messung zu Messung wurde versucht, allen wesentlichen Teilen der Apparatur gleiche Temperatur zu geben.

Die Zeitmessung erfolgte von Hand. Als Einspritzbeginn gilt der Zeitpunkt, an dem die ersten Treibstoffteilchen die Düse verlassen (meistens als Nebel sichtbar.) Bei entsprechender Übung und unter Berücksichtigung, daß stets die gleiche Person die Messung durchführte, konnte eine brauchbare Gleichmäßigkeit der Meßwerte erreicht werden, zumindest waren zusätzliche Störungen ausgeschaltet, die durch die subjektiven Fehler bei mehreren messenden Personen auftreten würden. Zündverzugswerte unter 0,3 sek konnten nicht mehr mit Sicherheit gemessen werden. Zur Feststellung feinerer Unterschiede, wie z.B. Einfluß von Mischungsverhältnis, verschiedener Einspritzdrücke usw. genügt diese Art der Zeitmessung nicht.

In den Leitungen von den seitlichen Kühlbehältern über die Absperrventile zu den mittleren Kühlbehältern stehen Stoffmengen, die nicht der vollen Abkühlung ausgesetzt sind. Es strömt bei jedem Versuch zunächst der im mittleren Behälter befindliche Stoffteil aus, gefolgt von den etwas wärmeren Teilen aus den Zuleitungen, an die sich dann wieder kalte Stoffe anschließen. Es liegt also die Befürchtung nahe, daß die Zündung durch die wärmeren Teile erfolgt, wodurch das Versuchsergebnis grundsätzlich gefälscht werden könnte. Auf alle Fälle treffen aber zunächst die kalten Teile, deren Auströmzeit 0,5 bis 1 sek beträgt, und für welche auch die angegebene Temperatur stimmt, aufeinander. Da bei der Untersuchung die Grenze zwischen Sofortzündung und Zündung mit Verzug in erster Linie interessiert, und nicht zwischen Verzug und keine Zündung, ergibt jede mögliche Zündung durch die wärmeren nachfolgenden Teile stets eine Zündung mit Verzug und keine Sofortzündung, liegt also im unbrauchbaren Bereich. Dabei besitzt die Größe des Zündverzugs nur geringe Bedeutung, da sich diese

Werte nicht in brauchbarer Weise reproduzieren ließen.

c.) Die erhaltenen Versuchsergebnisse.

Die Versuche mit der Kreiselkraftdoppeldüse (Abb. 1 und 5 bis 9) zeigen einen Kurvenverlauf, wie er aufgrund der Zündverzüge nach der Testapparatur zu erwarten war. Eine scharfe Grenze zwischen den Bereichen brauchbare und unbrauchbare Zündung kann nicht festgestellt werden. Die eingezeichneten Linien befinden sich an der wahrscheinlichsten Trennstelle dieser beiden Bereiche. Im Einzelfalle kann durchaus bei Erhöhung der Messpunktzahl eine Änderung des Linienverlaufes eintreten. Ob die Streuungen ausschließlich auf Stoffeigenschaften beruhen, konnte nicht geklärt werden. Auf alle Fälle muß bei der Beurteilung der Einfluß der Unzulänglichkeiten der Versuchapparatur berücksichtigt werden. Das gute Zünden von Ergol 57 g bei $+20^{\circ}\text{C}$, auch bei höchsten Drücken, paßt nicht recht in einen sinnvollen Kurvenverlauf. Im Ganzen zeigt die Kreiselkraftdoppeldüse recht günstige Zünd-eigenschaften.

Die Kurven der Messungen am Einzelkreiselkraftdüsenkopf (Abb. 2 und 10 bis 14) zeigen den gleichen Verlauf wie bei der Doppelkreiselkraftdüse. Nur liegen hier die Kurven im Gesamten tiefer, so daß mit Ergol 57 g und Tonka 506 B nicht mehr brauchbare Zündungen erzielt werden konnten. Ein plausibler Grund für das Verhalten von Ergol 57 h (Abb. 10) bei Umgebungstemperatur kann nicht angeführt werden, es wird aber vermutet, daß er in der Unzulänglichkeit der Versuchapparatur zu suchen ist. Im Übrigen gilt bezüglich der Streuungen und der Lage der Grenzlinien das gleiche wie oben angeführt.

Auch beim Brennkopf (Abb. 3 und 15 bis 19) zeigen sich gleiche Grundtendenzen bis auf Ergol 57 h (Abb. 15) und Tonka 505 C (Abb. 16). Bei Ergol 57 h lassen sich Zündungen bis zu tiefsten Temperaturen bei höchsten Drücken (30 at) mit nur geringem Verzug (0,4 bis 0,6 sec) erzielen. Dagegen wächst bei $+20^{\circ}\text{C}$ und 5 at der Zündverzug auf 1,5 sec an. Es ist keine Tendenz wie bei den anderen Düsen feststellbar. Etwas Ähnliches wurde auch bei Tonka 505 C festgestellt. Die Punkte Sofortzündung bei 20 bis 30 at und 0°C bzw. -20°C sind Zündensätze mit deutlichem Verzug, dessen Wert aber stets kleiner als 0,3 sec war. Bei $+20^{\circ}\text{C}$ dagegen treten Zündverzüge zwischen 1,0 und 2,0 sec auf. Bei -40°C konnten keine Zündungen mehr erzielt werden. Dieses Verhalten kann unseres Erachtens auf die Reaktion an der Wand selbst zurückgeführt werden. Es ist durchaus möglich, daß ein katalytischer Einfluß auf den Reaktionsbeginn ausgeübt wird, wie er ja auch bekanntlich bei Verbrennungsmotoren beobachtet wurde.

Der Lochdüsenkopf (Abb. 4 und 20 bis 24) zündet noch schlechter als der Einzelkreiselkraftdüsenkopf. So konnten hier für Tonka 506 B und Ergol 57 g keine brauchbaren Zündbereiche festgestellt werden. Bzgl. der Messgenauigkeit und der Streuung gilt das gleiche wie oben angeführt. Nur hat sich hier die Reihenfolge der Bewertung zwischen Ergol 57 h und Tonka 505 C umgekehrt. Im Übrigen sei der Vollständigkeit halber erwähnt, daß Versuche mit einem zweiten konstruktiv gleichen Kopf zu anderen Werten führten.

d.) Vergleich zwischen Testapparatur und den Werten bei Zündung mit den Düsenköpfen.

In Tabelle Seite 14 sind die Einspritzdrücke, bei denen noch Sofortzündung bei den entsprechenden Temperaturen erzielt werden konnte, mit den in der Zündapparatur gefundenen Zündwerten (vgl. Abb. 30) gegenüber gestellt. Dabei zeigt sich, daß die Tendenzen, nach denen größeren Zündverzugszeiten geringere zulässige Einbringdrücke zugeordnet sein müssen, sich richtig ergeben. Zahlenzusammenhänge zwischen Zündverzugszeit und zulässigen Einbringdrücken lassen sich jedoch nicht entnehmen.

Die Versuche im Lochdüsenkopf, Brennkopf und Einzelkraftdüsenkopf wurden von uns für die Bewertung in nur beschränktem Maße herangezogen. Das Zündverhalten der Stoffe in der ^{Kreisel} Kreiselkraftdoppeldüse ist, obwohl diese Düse die brauchbarsten Werte lieferte, doch so unterschiedlich, daß nur grobe Vergleiche möglich sind. Bei einem in der Zündapparatur gemessenen Wert von 20/100 sek dürften in dieser Düse gerade noch Sofortzündungen bei niedrigen Einspritzdrücken erreicht werden.

Tonka 506 B zeigt Werte, die aufgrund der Zündwerte in der Testapparatur erwartet werden konnten. Der hohe Benzinanteil, der wegen der Beschaffungslage zugesetzt werden sollte, stört die Zündfreudigkeit erheblich. Das nach den Werten der Testapparatur erwartete gute Verhalten von Ergol 57 h trat nicht ein, dagegen verhielt sich Ergol 57g in der Kreiselkraftdoppeldüse überraschend gut. Scheinbar wirkt der Zusatz von Tetrahydrofuran zum Ergol 57 h verschlechternd. Bei Tonka 505 C wäre bei Normaltemperatur ein besseres Ergebnis zu erwarten gewesen.

Aus den vorliegenden Ergebnissen kann noch kein direkter Zusammenhang zwischen den Werten der Testapparatur und den Einspritzdrücken festgestellt werden. Außer den schon erwähnten Gründen physikalischer Art dürfte die chemische Zusammensetzung eine wesentliche Rolle bei dem unterschiedlichen Verhalten spielen. Auch bei der Testapparatur wurden teilweise erhebliche Streuungen gefunden (vgl. Abb. 31). Die Klärung dieser Frage ist bereits in Arbeit und dürfte nach Erledigung auch Rückschlüsse auf die Streuungen in der Düse zulassen.

(Die Werte sind so geordnet, daß dem 1. Versuch der niedrigste, dem letzten Versuch der höchste Zündverzug zugeordnet wurde; sie sind also nicht in der Reihenfolge der durchgeführten Messungen aufgetragen.)

Gegenüberstellung d. Einspritzdrücke, bei denen noch Sofortzündung erzielt wurde mit d. in der Zündapparatur festgestellten Zündwerten.

Brennst. Mischung	Temp.	Lochdüsenkopf	Brennkopf	Einzelkreiseldüsenkopf.	Kreiseld. Doppeldüse	Zündwert in Zündapparatur in 1/100 sec
		at	at	at	at	
Ergol 57h	+20 ^o x)	2	12	-	11	25
	0	1,5	12	5	8	2,9
	-20	-	12	2,5	6	3,5
	-40	-	12	1	5	6,5
Tonka 505 G	+20 ^o x)	3	30	3	7	1,8
	0	2	30	1	5	2,5
	-20	0,5	30	0,7	4	5,0
	-40	-	-	-	3,5	12
Ergol 57g	+20 ^o x)	-	9	-	20	4,5
	0	-	3	-	11	5,5
	-20	-	1	-	8	8,0
	-40	-	1	-	7	17
Tonka 506 B	+20 ^o x)	-	9	-	5	3,7
	0	-	3	-	3	5,5
	-20	-	1	-	2	12
	-40	-	-	-	-	28

Bei Stoff 841 fehlen zur Zeit die Werte in der Zündapparatur.

x) bzw. Raumtemperatur

3 12 45 17 2 2

Zusammenfassung.

Bei der Entwicklung der R-Stoffe muß in erster Linie geachtet werden auf hohes spez. Gewicht, guten Ausbrand, Kältefestigkeit und gute Zündeigenschaften auch bei tiefen Temperaturen. Die vorliegende Arbeit soll Unterlagen für die Zündeigenschaften der Stoffe in Düsenköpfen geben und die Übertragbarkeit der nach der Tropfen-Methode gefundenen Zündwerte überprüfen. Gleichzeitig sollte aus einer Reihe beschaffungsmäßig günstiger Mischungen die geeignetste zur Freigabe für die Bevorratung ausgewählt werden. Untersucht wurden die Stoffe Tonka 506 B, Tonka 505 C, Ergol 57 g, Ergol 57 h und 841 in den Düsenköpfen, Kreiselkraftdoppeldüse, Einzelkreiselkraftdüsenkopf, Brennkopf und Lochdüsenkopf. Die Ergebnisse sind wiedergegeben in den Abb. 1 - 4 und 5 - 24. Die Übertragbarkeit der Werte der Tropfen-Methode ist nicht besonders gut, man kann aber annehmen, daß sich bei einem Zündverzögerung von 0,2 sek gerade noch ein Druck in Kreiselkraftdoppeldüsenkopf finden läßt (etwa 1,5 atü), wo brauchbare Zündung stattfindet. Die Zündeigenschaften der Stoffe Tonka 505 C, Ergol 57 h und 841 sind so ähnlich, daß sie für Einlagerungszwecke gleichmäßig geeignet erscheinen. Die Messungen erfolgten nur mit den Düsenköpfen allein und nicht auch in Brennkammern bzw. Vorsatzstücken, die den zylindrischen Teil der Brennkammer nachahmen, weil wegen der möglichen Reflektion der Stoffe an den Wandungen eine Erleichterung des Zündensatzes erwartet werden muß. Leider mußte wegen der dringend notwendigen Entscheidung über die Auswahl des zu bevorratenden Stoffes auf eine sorgfältige Durchbildung der Versuchsanlage verzichtet werden, sodaß die gewonnenen Ergebnisse nur überschlägigen Wert besitzen. Es wurden dabei aber eine Reihe Erfahrungen gesammelt für den Bau einer Apparatur, die das Zündverhalten der Stoffe unter gerätegebundenen Bedingungen genau zu messen gestattet und mit der dann die hauptsächlich interessierenden Stoffe genauestens untersucht werden können.

Nachtrag:

Aus bestimmten beschaffungsmäßigen Gründen wurde der Stoff Tonka 507 entwickelt mit der Zusammensetzung

27 % Anilin,
27 % Optal O und
46 % Xylol.

Diese Mischung zündete in der Kreiselkraftdoppeldüse bis hinunter zu -40° C und bis hinauf zu 30 at sofort. Außerdem sei erwähnt, daß Tonka 505 C im Vollgerät 109 - 558 bei Umgebungstemperatur bereits erfolgreich gefahren wurde.

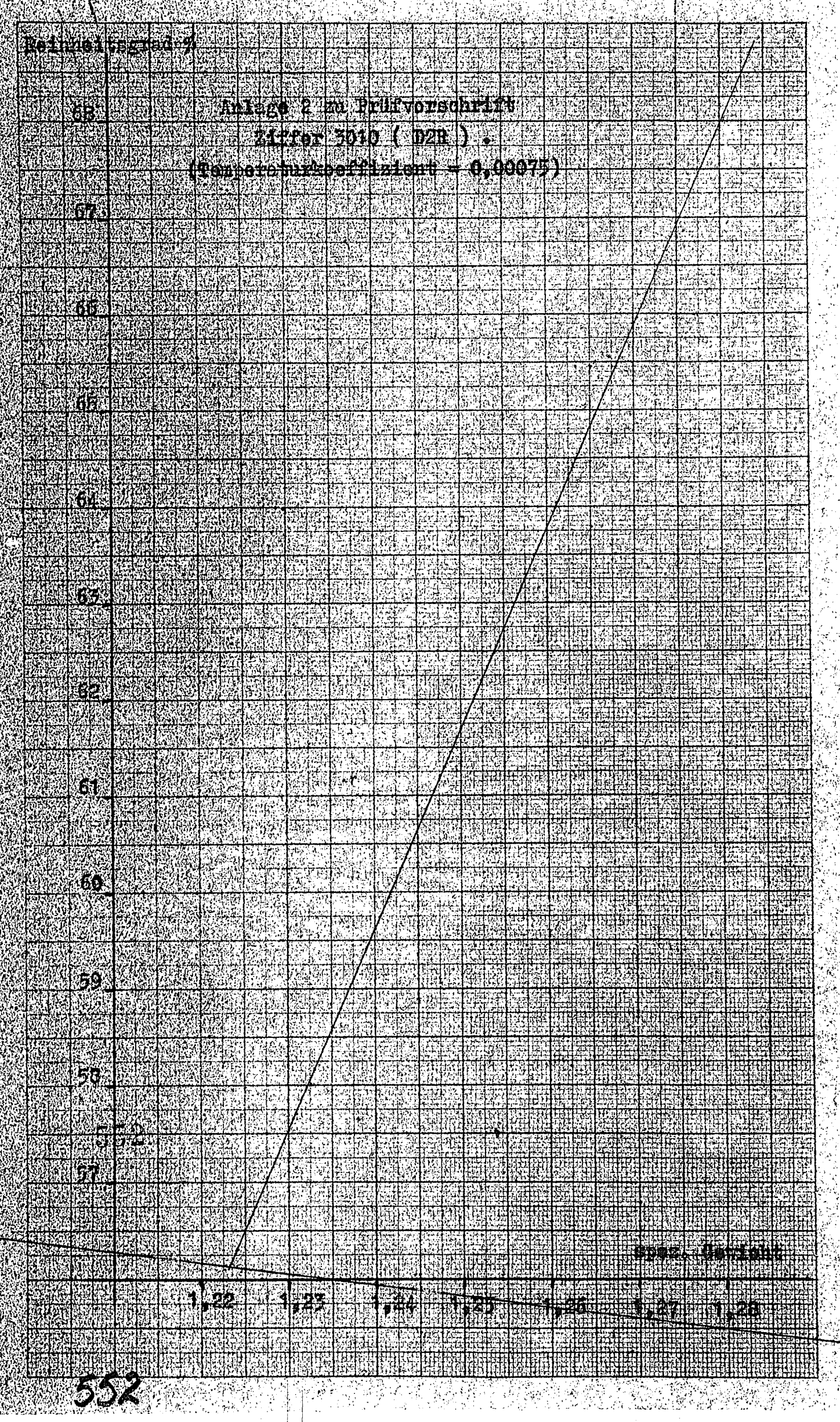
Reinheitsgrad 7

Anlage 2 zu Prüfvorschrift
Ziffer 3010 (D2R) .
(Temperaturkoeffizient = 0,00075)

65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77

1,22 1,23 1,24 1,25 1,26 1,27 1,28

552



Reinheitsgrad %

68

Anlage 2 zu Prüfvorschrift

Ziffer 3010 (D2R) .

(Temperaturkoeffizient = 0,00075)

67

66

65

64

63

62

61

60

59

58

57

553

1,22

1,23

1,24

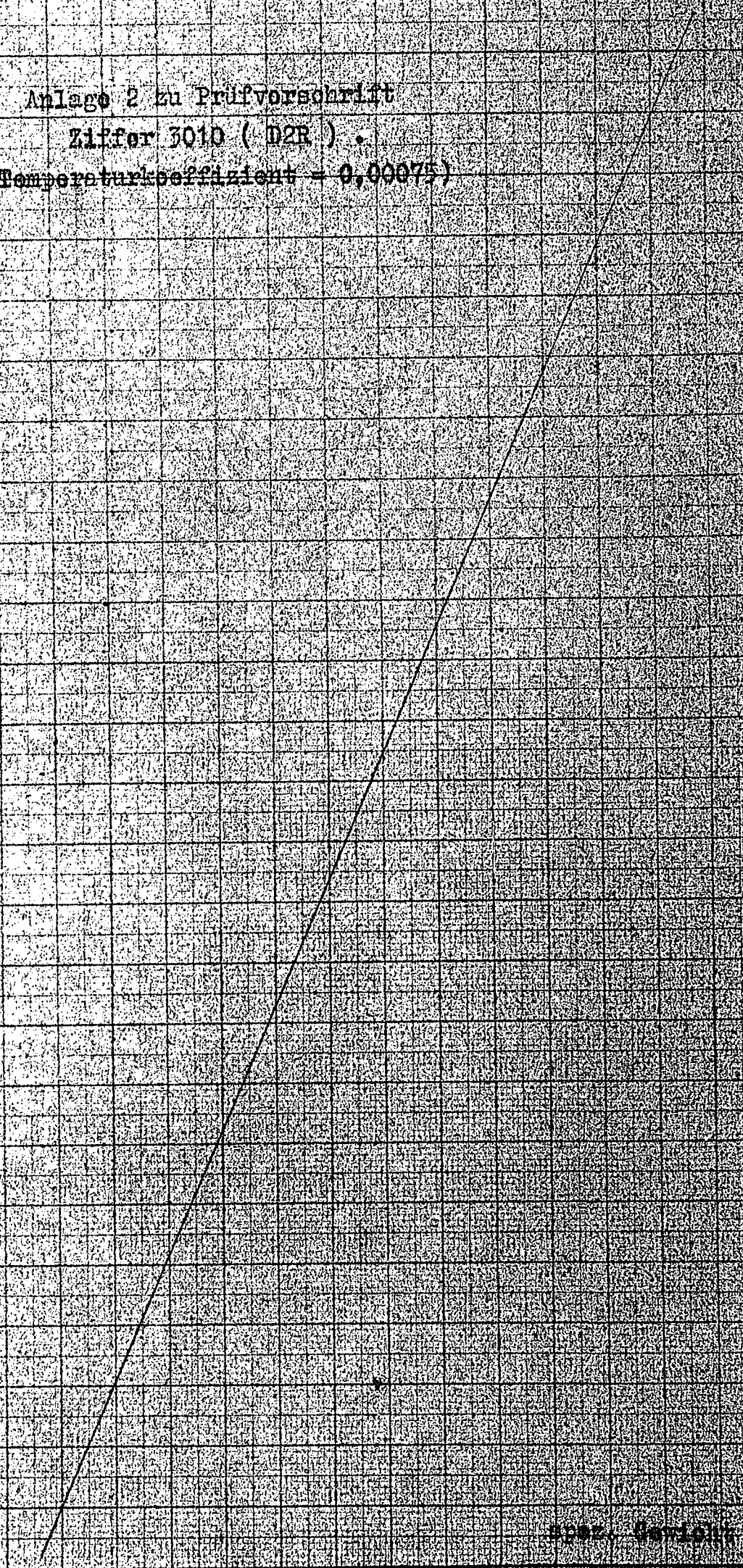
1,25

1,26

1,27

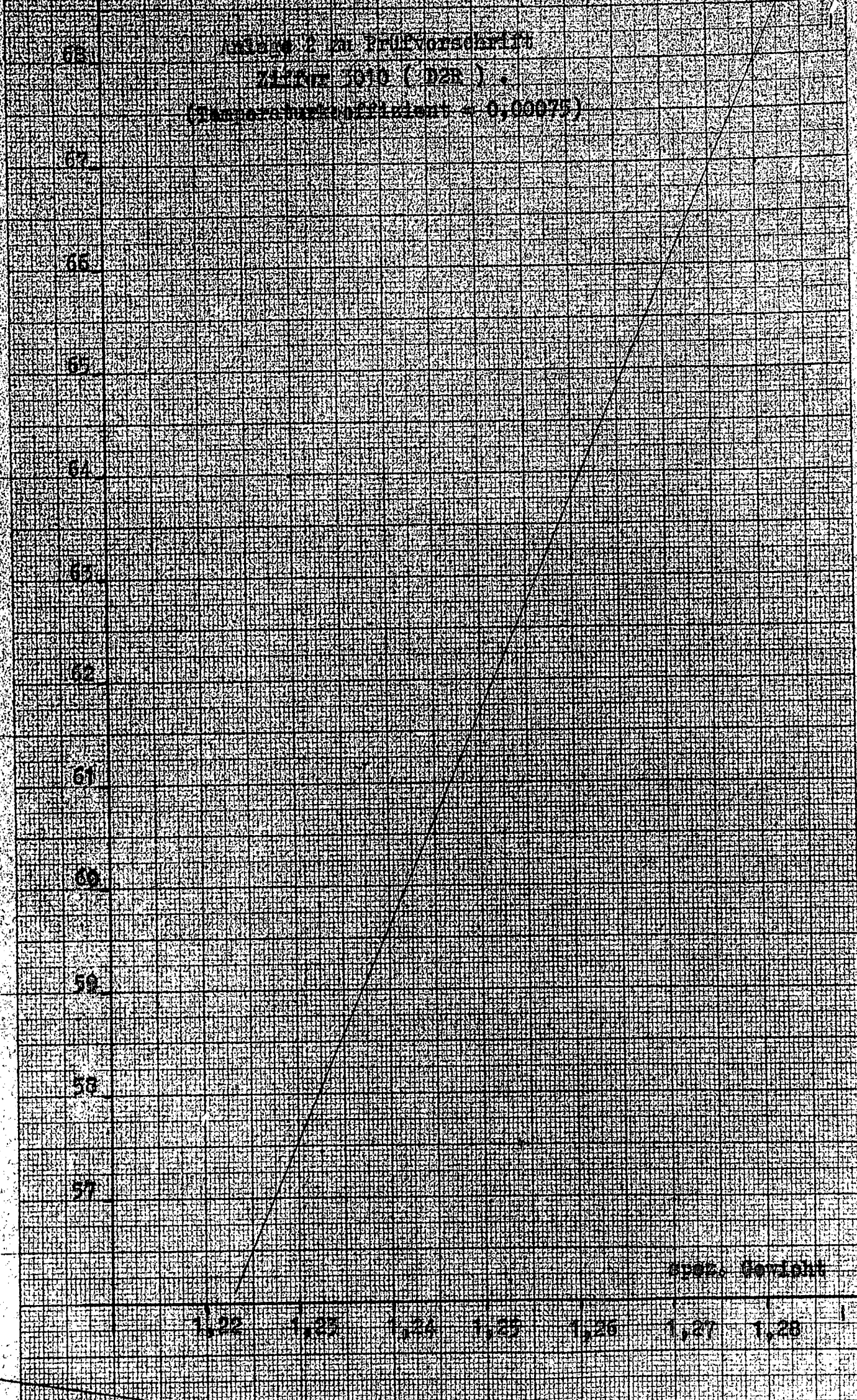
1,28

spez. Gewicht



Rechnungsgang

Wahlwert λ für Wahlverfahren
Mitarbeiter (MZR) .
(Wahlwertkoeffizient = 0,00075)



1996, Berlin

4

Reinheitsgrad %

Anlage 2 zu Prüfvorschrift

Ziffer 3010 (D2R) .

(Temperaturkoeffizient = 0,00075)

68

67

66

65

64

63

62

61

60

59

58

57

spez. Gewicht

1,22

1,23

1,24

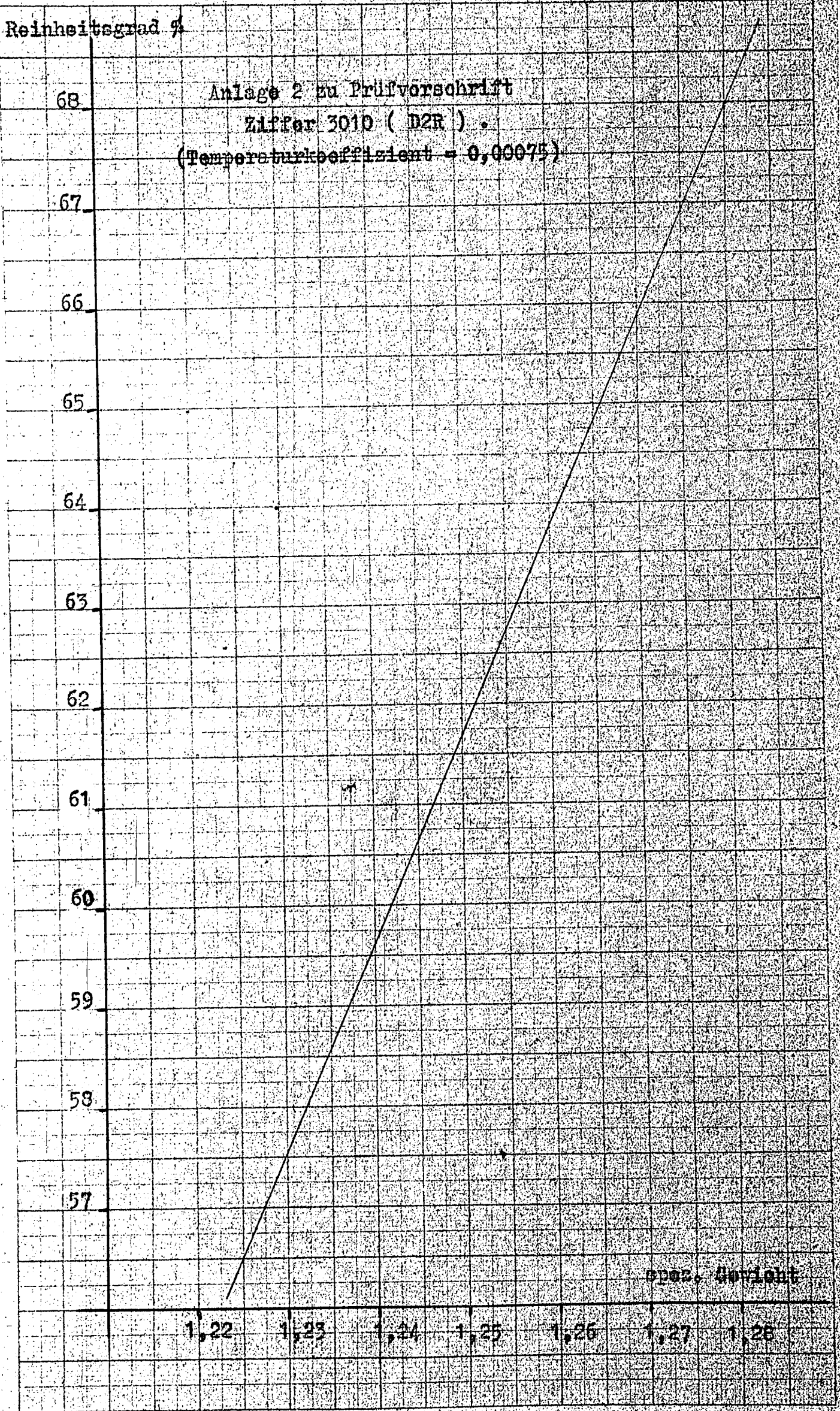
1,25

1,26

1,27

1,28

5



Reinheitgrad %

Anlage zu Prüfvorschrift

Ziffer 3010

(Temperaturkoeffizient = 0,001)

88

87

86

85

84

83

82

81

80

79

78

77

76

spez. Gewicht

1,32

1,33

1,34

1,35

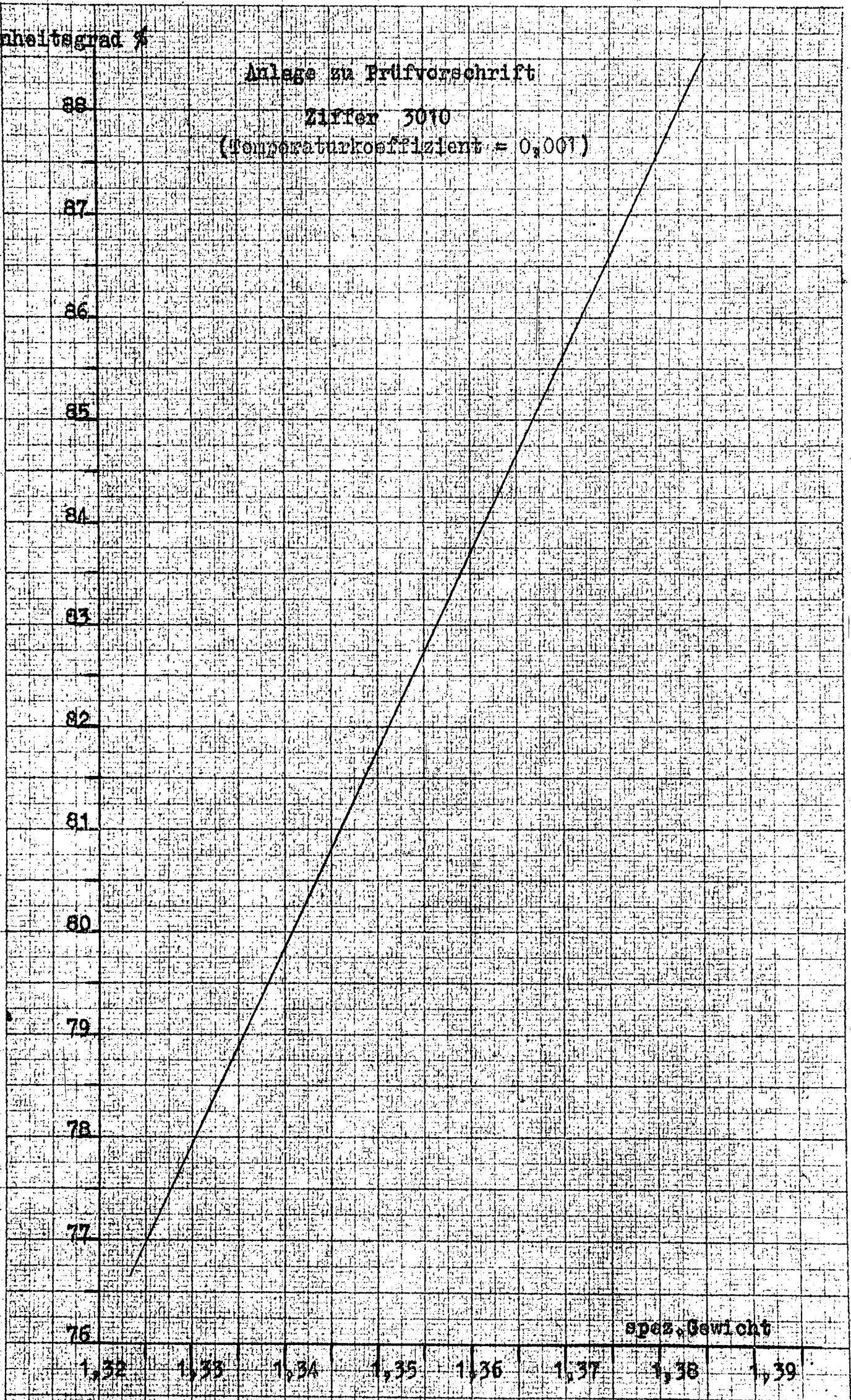
1,36

1,37

1,38

1,39

556



Reinheit in Grad %

Anlage zu Prüfvorschrift

Ziffer 3010

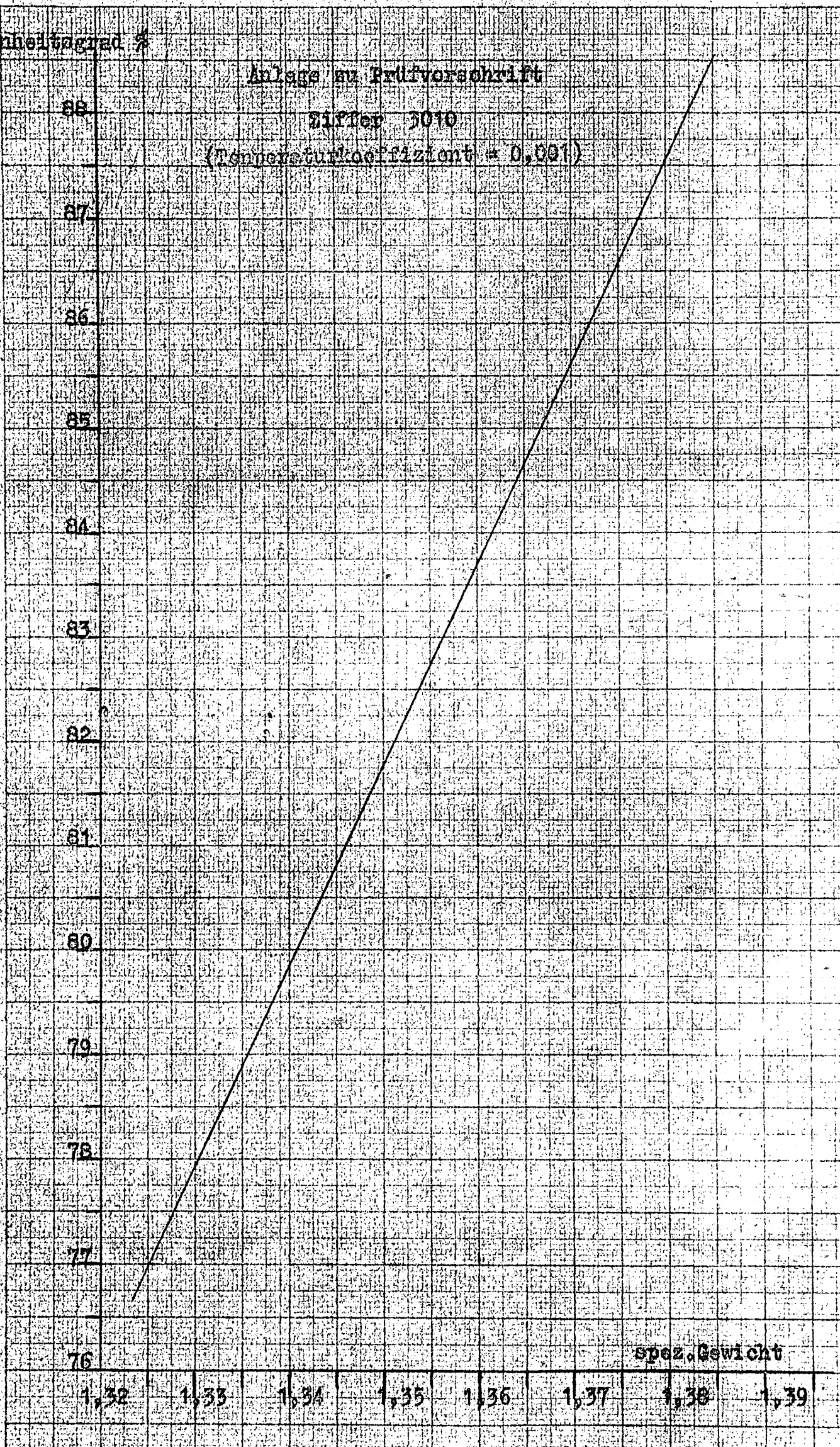
(Temperaturkoeffizient = 0,001)

88
87
86
85
84
83
82
81
80
79
78
77
76

1,32 1,33 1,34 1,35 1,36 1,37 1,38 1,39

spez. Gewicht

557



Reinheitsgrad %

Anlage zu Prüfvorschrift

88

Ziffer 3010

(Temperaturkoeffizient $\neq 0,001$)

87

86

85

84

83

82

81

80

79

78

77

76

spez. Gewicht

1,32

1,33

1,34

1,35

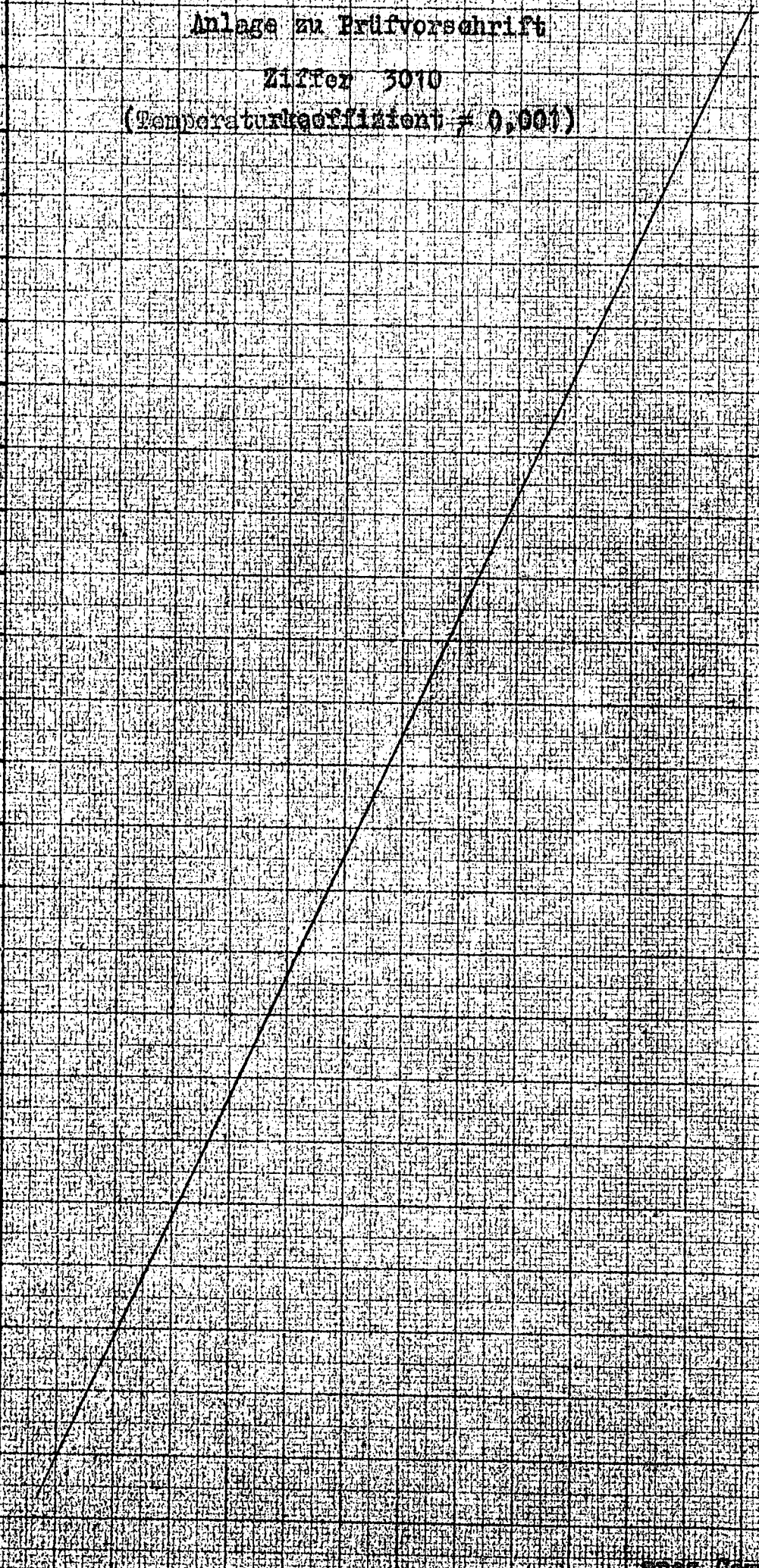
1,36

1,37

1,38

1,39

58



Reinheitsgrad %

Beleg zu Erläuterung Nr.

111111 1010

(Nennwertbestimmte 0,001)

88
87
86
85
84
83
82
81
80
79
78
77
76

Spez. Gewicht

1,32 1,33 1,34 1,35 1,36 1,37 1,38 1,39

559

