

Technischer Prüfstand

Nur für den Dienstgebrauch

M 7 A 65

F. 20

Herrn Prof. Dr. Wilke
" " Dr. H. Reppel

Deutsche Luftfahrtforschung

Forschungsbericht Nr. 1759

Tafeln zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, des Schall-
druckverhältnisses und der kennzeichnenden Werte von Ex-
pansions- und insbesondere Schubdüsen bis zu 3000°

Noeggerath

Verfaßt bei

Luftfahrtforschungsanstalt Hermann Göring, Braunschweig
Institut für Motorenforschung

6538

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen
der Luftfahrtforschung des Generalfliegermeisters (ZWB)
Berlin-Adlershof

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstbereich des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb dieses Dienstbereichs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen.

Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstbereichs des Empfängers ist ausgeschlossen.

Der Bericht ist unter Stahlblechverschluß mit Patentschloß zu halten.

Tafeln zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, des Schall-
druckverhältnisses und der kennzeichnenden Werte von Expan-
sions- und insbesondere Schubdüsen bis zu 3000°

für ideale Gase unter Berücksichtigung der Temperatur-
abhängigkeit der spezifischen Wärme.

Übersicht:

Auf Grund des L u t z' schen Ansatzes für die spezi-
fische Wärme, wonach die thermischen Eigenschaften eines
Gases durch die Angabe einer einzigen Konstanten hinreichend
genau erfaßt werden, wird eine Tafel entwickelt, aus der bei
Expansion von einer gegebenen Temperatur aus die Schallge-
schwindigkeit, die Temperatur bei Erreichung der Schallge-
schwindigkeit, das Schalldruckverhältnis und das je s aus-
strömende Gasgewicht für beliebige Gase unmittelbar abge-
lesen werden kann.

Mit Hilfe der Tafeln werden die für die Auslegung von Schub-
düsen benötigten Kennwerte (spezifischer Schub und Erweite-
rungsverhältnis) bestimmt und in zahlreichen Diagrammen
Übersichtlich zusammengestellt.

Der Bericht umfaßt:

26 Seiten mit

1 Tafel und

16 Diagrammen

LUFTFAHRTFORSCHUNGSANSTALT HERMANN GÖRING
INSTITUT FÜR MOTORENFORSCHUNG

Der Institutsleiter:

Schmidt

(E. Schmidt)

Der Abteilungsleiter:

Lutz
(O. Lutz)

Der Bearbeiter:

Noeggerath
(W. Noeggerath)

Braunschweig, den 31.12.1942

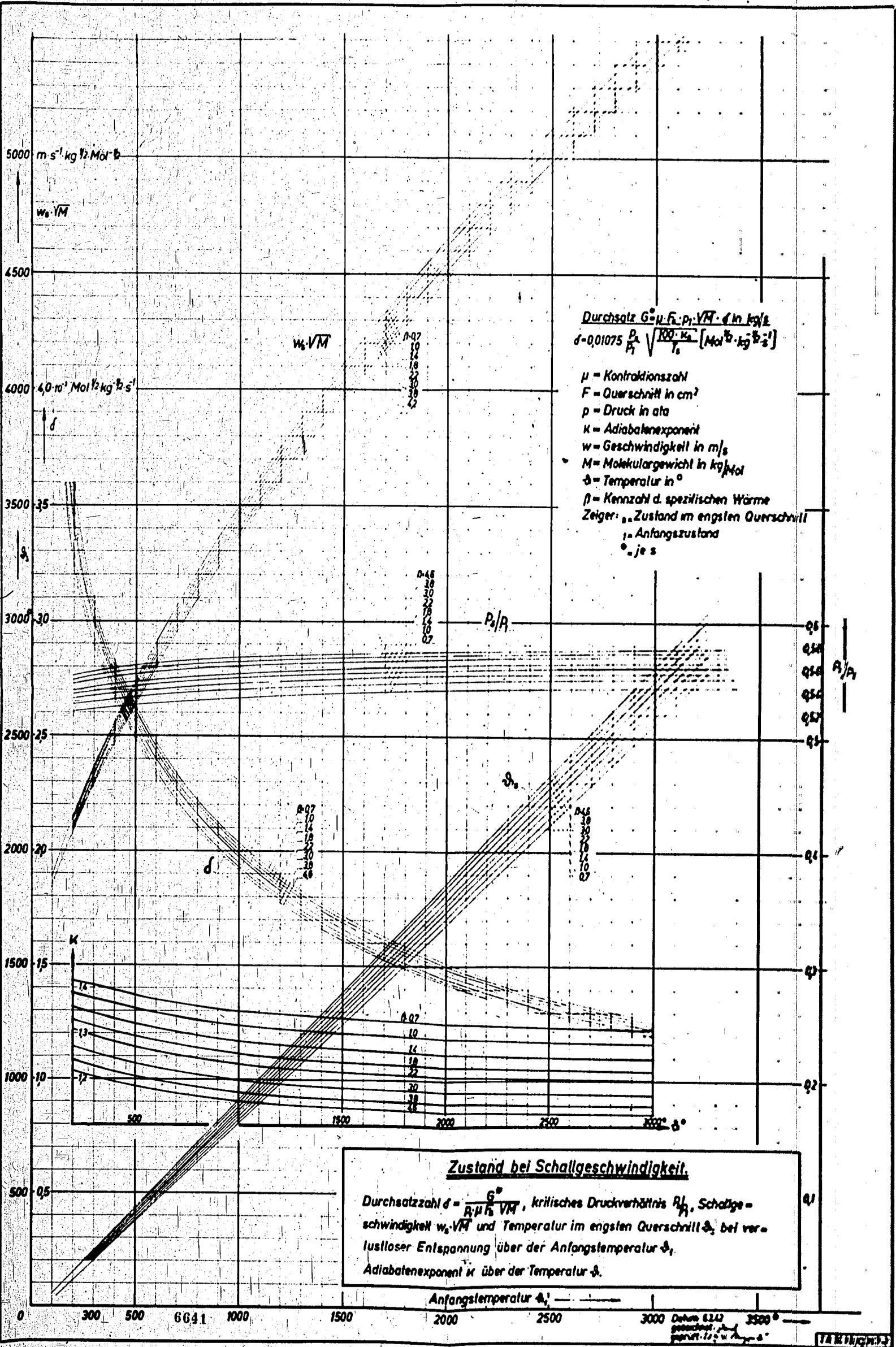
Herrn Prof. Dr. Wilke:

Beiliegende Tafeln zu den Ihnen bereits
zugegangenen Berichten Nr. 1758 und
1759 erhielten wir von der ZwB auf
Veranlassung der Hüftfahrtforschungs-
anstalt München.

den 17.2.44

6640

Pichler



Durchsatz $G = \mu \cdot F_1 \cdot p_1 \cdot \sqrt{M} \cdot \delta$ in kg/s
 $\delta = 0,01075 \frac{P_2}{P_1} \sqrt{\frac{100 \cdot \kappa}{T_1}} \text{ [Mol }^{\frac{1}{2}} \cdot \text{ kg }^{-\frac{1}{2}} \cdot \text{ s }^{-1}]$

- μ = Kontraktionszahl
- F = Querschnitt in cm^2
- p = Druck in ata
- κ = Adiabatenexponent
- w = Geschwindigkeit in m/s
- M = Molekulargewicht in kg/mol
- δ = Temperatur in $^\circ$
- β = Kennzahl d. spezifischen Wärme
- Zeiger: „Zustand im engsten Querschnitt“
- „ Anfangszustand
- je s

Zustand bei Schallgeschwindigkeit.
 Durchsatzzahl $\delta = \frac{G}{P_1 \mu F_1 \sqrt{M}}$, kritisches Druckverhältnis P_2/P_1 , Schallgeschwindigkeit $w_0 \cdot \sqrt{M}$ und Temperatur im engsten Querschnitt δ_2 bei verlustloser Entspannung über der Anfangstemperatur δ_1 , Adiabatenexponent κ über der Temperatur δ_1 .

Tafeln zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, des Schall-
druckverhältnisses und der kennzeichnenden Werte von Expan-
sions- und insbesondere Schubdüsen bis zu 3000°

für ideale Gase unter Berücksichtigung der Temperatur-
abhängigkeit der spezifischen Wärme.

Übersicht:

Auf Grund des L u t z' schen Ansatzes für die spezifische Wärme, wonach die thermischen Eigenschaften eines Gases durch die Angabe einer einzigen Konstanten hinreichend genau erfaßt werden, wird eine Tafel entwickelt, aus der bei Expansion von einer gegebenen Temperatur aus die Schallgeschwindigkeit, die Temperatur bei Erreichung der Schallgeschwindigkeit, das Schalldruckverhältnis und das je s ausströmende Gasgewicht für beliebige Gase unmittelbar abgelesen werden kann.

Mit Hilfe der Tafeln werden die für die Auslegung von Schubdüsen benötigten Kennwerte (spezifischer Schub und Erweiterungsverhältnis) bestimmt und in zahlreichen Diagrammen übersichtlich zusammengestellt.

Der Bericht umfaßt:

26 Seiten mit
1 Tafel und
16 Diagrammen

LUFTFAHRTFORSCHUNGSANSTALT HERMANN GÖRING
INSTITUT FÜR MOTORENFORSCHUNG

Der Institutsleiter:

Schmidt

(E. Schmidt)

Der Abteilungsleiter:

Lutz
(O. Lutz)

Der Bearbeiter:

Noeggerath
(W. Noeggerath)

Braunschweig, den 31.12.1942

6642

Tafeln zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, des Schall-
druckverhältnisses und der kennzeichnenden Werte von Expan-
sions- und insbesondere Schubdüsen bis zu 3000°

für ideale Gase unter Berücksichtigung der Temperatur-
abhängigkeit der spezifischen Wärme.

I. Art, Umfang und Anwendung der Tafeln.

Die bislang übliche analytische Berechnung der Schallgeschwindigkeit und des kritischen Druckverhältnisses mit unveränderlichen κ -Werten¹⁾ und die danach durchgeführte Bestimmung der Kennwerte und Abmessungen von Expansions- und Schubdüsen führt bei grossen Temperaturintervallen zu Ungenauigkeiten, da die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme hierbei nicht berücksichtigt wird. O. L u t z hat ein Verfahren angegeben²⁾, nach dem mit Hilfe der \mathcal{J}, \mathcal{T} -Tafel für Luft- und Verbrennungsgase³⁾ die gesuchten Grössen bis zu Temperaturen von 1400° bestimmt werden können. Nachdem nun auch die Temperaturabhängigkeit der spez. Wärme berücksichtigende \mathcal{J}, \mathcal{S} - und \mathcal{T}, \mathcal{S} -Tafeln bis zu 3000° vorliegen⁴⁾, wurden die zur Auslegung von Expansions- und insbesondere Schubdüsen wichtigsten Werte daraus errechnet und in Tafeln zusammengestellt.

Der Darstellung liegt wiederum der L u t z'sche Ansatz für die spez. Wärme idealer Gase³⁾,

1) vergl. etwa Hütte I, 27. Aufl. S. 584.

2) O. Lutz, Die graphische Ermittlung von Ausströmvorgängen, Luftfahrtforschung 10 (1940) 332.

3) O. Lutz u. F. Wolf, \mathcal{J}, \mathcal{T} -Tafel für Luft- und Verbrennungsgase, Berlin, 1938.

4) O. Lutz u. W. Noeggerath, Tafeln zur Bestimmung des Wärmeinhaltes, der adiab. Endtemperatur u. des adiab. Wärmegefälles zwischen 0-3000° für ideale Gase unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der spez. Wärme, F. S.

$$L_p = f_1(\beta) + \beta \cdot f_2(\beta),$$

zugrunde, wobei $f_1(\beta)$ und $f_2(\beta)$ empirisch bestimmte, für alle Gase gleiche Funktionen sind und β eine das spezielle Gas kennzeichnende Konstante ist (Luft $\beta = 1$, Normalverbrennungsgas aus Kohlenwasserstoff mit 0,85 GT Kohlenstoff und 0,15 GT Wasserstoff ohne Dissoziation $\beta = 1,5$). Die genauen Werte der β -Zahlen für die meisten technisch interessierenden Gase sind in der 3,3 - und 7,3 - Tafel⁴⁾ zusammengestellt. In den meisten Fällen ausreichende Mittelwerte für Temperaturbereiche von 200 bis 3000° und 200 bis 1000, 1000 bis 2000, 2000 bis 3000° können der hier beigefügten Zahlentafel entnommen werden.

Die Tafeln wurden für Temperaturen von 300 bis 3000°, für Kennzahlen β der spez. Wärme von 0,7 bis 4,2 (teilweise bis 4,6) und für Entspannungsverhältnisse β bis zu 350:1 aufgestellt; da sie für ideale Gase entworfen wurden, tritt eine Abhängigkeit vom Druck nicht in Erscheinung. Bei ihrer Anwendung ist lediglich stets zu prüfen, ob die Entspannung nicht in ein Gebiet führt, in dem die Gasgleichung nicht mehr erfüllt ist. Die Strömung wurde stets als verlustlos angenommen.

a) Tafeln zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, des Schall-druckverhältnisses und des engsten Öffnungsquerschnittes.

Aus der Tafel kann für gegebene Anfangstemperatur die Temperatur im engsten Querschnitt β_g , das kritische Druckverhältnis p_g/p_1 sowie die Durchsatzzahl δ unmittelbar abgelesen werden. Aus der letzteren folgt, falls das Molekulargewicht der strömenden Gase bekannt ist, der sekundliche Durchsatz $G^* = \mu \cdot F_g \cdot p_1 \sqrt{M} \cdot \delta$, bzw. bei gegebenem Durchsatz der erforderliche engste Querschnitt (μ = Einschnürungsziffer, F_g = engster Querschnitt in cm^2 , p_1 = Anfangsdruck in ata, M = Molekulargewicht in kg/mol). Weiterhin kann der Tafel bei bekanntem Molekulargewicht die Geschwindigkeit w_g (= Schallgeschwindigkeit) im engsten Querschnitt entnommen werden. Endlich ist, jedoch nicht über der Anfangstemperatur, sondern über der Temperatur, der Adiabatenexponent κ eingetragen.

Günstigste Mittelwerte von β zur Bestimmung des Wärmeinhaltes.

Stoff	Bereich: 200 - 3000°	200 - 1000°	1000 - 2000°	2000 - 3000°
H ₂ O	2,32 (\pm 2,9%)	2,17 (\pm 0,7%)	2,25 (\pm 1,5%)	2,42 (\pm 1,2%)
CO ₂	3,87 (\pm 3,0)	4,03 (\pm 1,3)	3,94 (\pm 1,7)	3,73 (\pm 1,0)
OH	0,84 (\pm 1,9)	0,85 (\pm 1,7)	0,77 (\pm 0,4)	0,82 (\pm 0,6)
CC	1,00 (\pm 0,3)	1,01 (\pm 0,1)	1,01 (\pm 0,1)	1,00 (\pm 0,1)
NO	1,10 (\pm 1,1)	1,17 (\pm 0,3)	1,12 (\pm 0,5)	1,08 (\pm 0,4)
O ₂	1,22 (\pm 0,9)	1,22 (\pm 0,9)	1,23 (\pm 0,5)	1,21 (\pm 0,1)
H ₂	0,78 (\pm 2,2)	0,79 (\pm 2,0)	0,70 (\pm 0,5)	0,75 (\pm 1,0)
N ₂	0,97 (\pm 0,4)	0,97 (\pm 0,4)	0,96 (\pm 0,1)	0,965 (\pm 0)
	Bereich: 200 - 1500°	200 - 1000°	1000 - 1500°	
NH ₃	3,85 (\pm 6,8)	3,67 (\pm 5,0)	4,25 (\pm 1,9)	

Die eingeklammerten Zahlen geben die größten Fehler der mit den Mittelwerten von β im angegebenen Bereich bestimmten Wärmeinhalte an.

b) Tafeln zur Bestimmung der Konstanten nicht erweiterter Schubdüsen.

Für nicht erweiterte Düsen wurden 2 Gruppen von Diagrammen entworfen, aus denen der spez. Schub (= Schub je Flächeneinheit des engsten Düsenquerschnittes und je p_1 Anfangsdruck) und der Schubbeiwert (= Verhältnis zwischen dem Schub der nicht erweiterten Düse und dem Schub der erweiterten Düse) für verschiedene β unmittelbar über dem Entspannungsverhältnis entnommen werden können. Mit Hilfe des spez. Schubes kann z.B. bei gegebenem Anfangsdruck der zur Erreichung des gewünschten Schubes erforderliche engste Querschnitt bzw. bei gegebenem Querschnitt der erhaltene Schub sofort bestimmt werden, während der Schubbeiwert dazu dient, aus dem vorhandenen Wärmegefälle den tatsächlich erreichten Schub oder den spez. Treibstoffverbrauch zu bestimmen.

c) Tafeln zur Bestimmung der Kennwerte erweiterter Expansionsdüsen, insbesondere von Schubdüsen.

Es wurden ebenfalls 2 Gruppen von Diagrammen gezeichnet, aus denen der spez. Schub und das Erweiterungsverhältnis der Düse unmittelbar entnommen werden können. Der spez. Schub dient, wie bei der nicht erweiterten Düse, zur Bestimmung des engsten Querschnittes, bzw. zur Bestimmung des Schubes.

II. Bemerkungen zur Berechnung der Tafeln.

a) Berechnung der Schallgeschwindigkeit und des kritischen Temperaturverhältnisses.

Für ideale Gase ist die Schallgeschwindigkeit eine Zustandsgröße. Es gilt daher stets

$$w_s \cdot \sqrt{M} = \sqrt{\kappa_s \cdot g \cdot R \cdot T_s} = 91,19 \sqrt{\kappa_s T_s} \quad (1)$$

Andererseits ist bei adiabatischer Entspannung zur Erzeugung der Geschwindigkeit w_s das Wärmegefälle

$$i_1 - i_s = A \frac{w_s^2}{2g} \quad (2)$$

erforderlich, woraus sich durch Gleichsetzung mit (1)

$$J_1 - J_S = 0,993 \cdot \kappa_S \cdot T_A \quad (3)$$

ergibt.

Mit Hilfe der J, θ - Tafel kann daraus die jeder Temperatur θ_S zugehörige Temperatur θ_1 ermittelt werden; aus dem so ^{tur}ge- fundenen Kurvenverlauf bestimmt sich dann die gesuchte Abhän- gigkeit $\theta_S = f(\theta_1)$.

b) Bestimmung des kritischen Druckverhältnisses.

Der T, θ - Tafel kann bei gegebener Temperaturdifferenz $\theta_1 - \theta_S$ die "identische Entropie-Differenz $\Delta T' = 4$) entnommen werden, woraus gemäss

$$\Delta T' = A R \ln p_1/p_S \quad (4)$$

das kritische Druckverhältnis p_S/p_1 berechnet werden kann.

c) Bestimmung des Durchsatzes durch Düsen bei verlustloser Entspannung.

Der sekundliche Durchsatz durch eine Düse bestimmt sich zu

$$G^* = \mu \cdot \phi \cdot F_S \cdot w_S / v_S = \mu \cdot \phi \cdot F_S \cdot p_S \sqrt{\frac{\kappa_S g}{R \cdot T_S}} \quad (5)$$

Setzt man verlustlose Entspannung ($\gamma = 1$) voraus und führt man als Dimensionen für den Querschnitt cm^2 , für den Druck kg/cm^2 und für das Molekulargewicht kg/mol ein, so erhält man

$$G^* = \mu \cdot F_S \cdot p_1 \sqrt{M} \cdot \delta \quad (6)$$

falls

$$\delta = 0,01075 \cdot p_S/p_1 \cdot \sqrt{100 \kappa_S/T_S} \quad (7)$$

gesetzt wird. δ wird im Folgenden als Durchsatzzahl bezeichnet.

d) Kennwerte der richtig erweiterten Schubdüse.

Bezieht man den Schub auf den tatsächlich durchströmten engsten Querschnitt und auf den Druck p_1 vor der Düse, so kann man schreiben

$$S = \mu \cdot F_s \cdot p_1 \cdot \delta_D \quad (8)$$

die dimensionslose Grösse δ werde spezifischer Schub genannt.

Nach dem Impulssatz gilt für vollständige und verlustlose Entspannung auf den Gegendruck

$$S = G^* / g \cdot w_{ad} \quad (9)$$

Durch Einsetzen von (2) und (6) erhält man damit für

$$\delta_D = 91,51 \cdot \delta \sqrt{h_{ad} / g} \quad (10)$$

wobei δ bekannt ist und h_{ad} für die verschiedenen Druckgefälle aus den \mathcal{J}, \mathcal{H} - und \mathcal{T}, \mathcal{H} - Tafeln bestimmt wird.

Das Erweiterungsverhältnis für die richtig erweiterte Düse wird durch die Anwendung der Kontinuitäts- und der Gasgleichung auf die betreffenden Querschnitte zu

$$\mu_2 F_2 / \mu_s F_s = w_s p_s T_2 / w_{ad} p_2 T_s \quad (11)$$

woraus sich mit (10)

$$\frac{\mu_2 F_2}{\mu_s F_s} = \frac{\delta \cdot w_s \sqrt{M}}{g \cdot \delta_D} \cdot \frac{p_s / p_1}{p_2 / p_1} \cdot \frac{T_2 / T_1}{T_s / T_1} \quad (12)$$

ergibt.

e) Kennzahlen der nicht erweiterten Schubdüse.

Bei verlustloser Entspannung erhält man für den Schub der nicht erweiterten Düse

$$S_s = G^* / g \cdot w_s + F_s (p_s - p_2) \quad (13)$$

woraus der spez. Schub $\delta_{D,s}$ unter Berücksichtigung von (8) und (6) zu

$$\delta_{D,s} = \delta \cdot w_s \sqrt{M/g} + (p_s/p_1 - p_2/p_1) \quad (14)$$

folgt.

Damit kann auch der Schubbeiwert

$$\gamma_{D,s} = \delta_{D,s} / \delta_D \quad (15)$$

berechnet werden.

Düsen-Kennwerte

Nicht erweiterte Düse

Spezifischer Schub $\delta_{D_s} = \frac{S_s}{\mu_s \cdot F_s \cdot p_1} = \frac{d}{g} w_s \sqrt{M} + \left(\frac{p_2}{p_1} - \frac{p_2}{p_1} \right)$ und Schubbeiwert $\psi_{D_s} = \frac{\delta_{D_s}}{\delta_D}$ bei verlustloser Entspannung über dem Entspannungsverhältnis.

Hilfstafeln Nr. TR5010/C/335 - 5010/C/338

Laval-Düse

Spezifischer Schub $\delta_D = \frac{S}{\mu_s \cdot F_s \cdot p_1} = \frac{91,51 \cdot d \cdot \sqrt{\lambda_{ad}}}{g}$ und Erweiterungsverhältnis $= \frac{\mu_2 \cdot F_2}{\mu_s \cdot F_s} = \frac{d \cdot w_s \cdot \sqrt{M}}{g \cdot \delta_D} \cdot \frac{p_3/p_1}{p_2/p_1} \cdot \frac{T_2/T_1}{T_s/T_1}$ bei verlustloser Entspannung über dem Entspannungsverhältnis.

Hilfstafeln Nr. TR5010/C/323 - 5010/C/334

Schub $S = \mu_s \cdot F_s \cdot p_1 \cdot \delta$

engster Querschnitt $F_s = \frac{S_s}{\mu_s \cdot p_1} \cdot \frac{1}{\delta_{D_s}}$ bzw. $\frac{S}{\mu_s \cdot p_1} \cdot \frac{1}{\delta_D}$

β = Kennzahl d. spez. Wärme

p = Druckverhältnis R/p_2

μ = Kontraktionszahl

F = Querschnitt in cm^2

p = Druck in ata

ϑ = Temperatur in $^\circ$ λ = Wärmegefälle in kcal/Mol

S = Schub in kg

g = Erdbeschleunigung in ms^{-2}

d = Durchsatzzahl

w_s = Schallgeschwindigkeit in ms^{-1}

M = Molekulargewicht in kg/Mol

Zeiger: 1 = Anfangszustand

2 = Endzustand d. ad. Entspannung auf Außenzustand

3 = Zustand im engsten Querschnitt

D = Düse

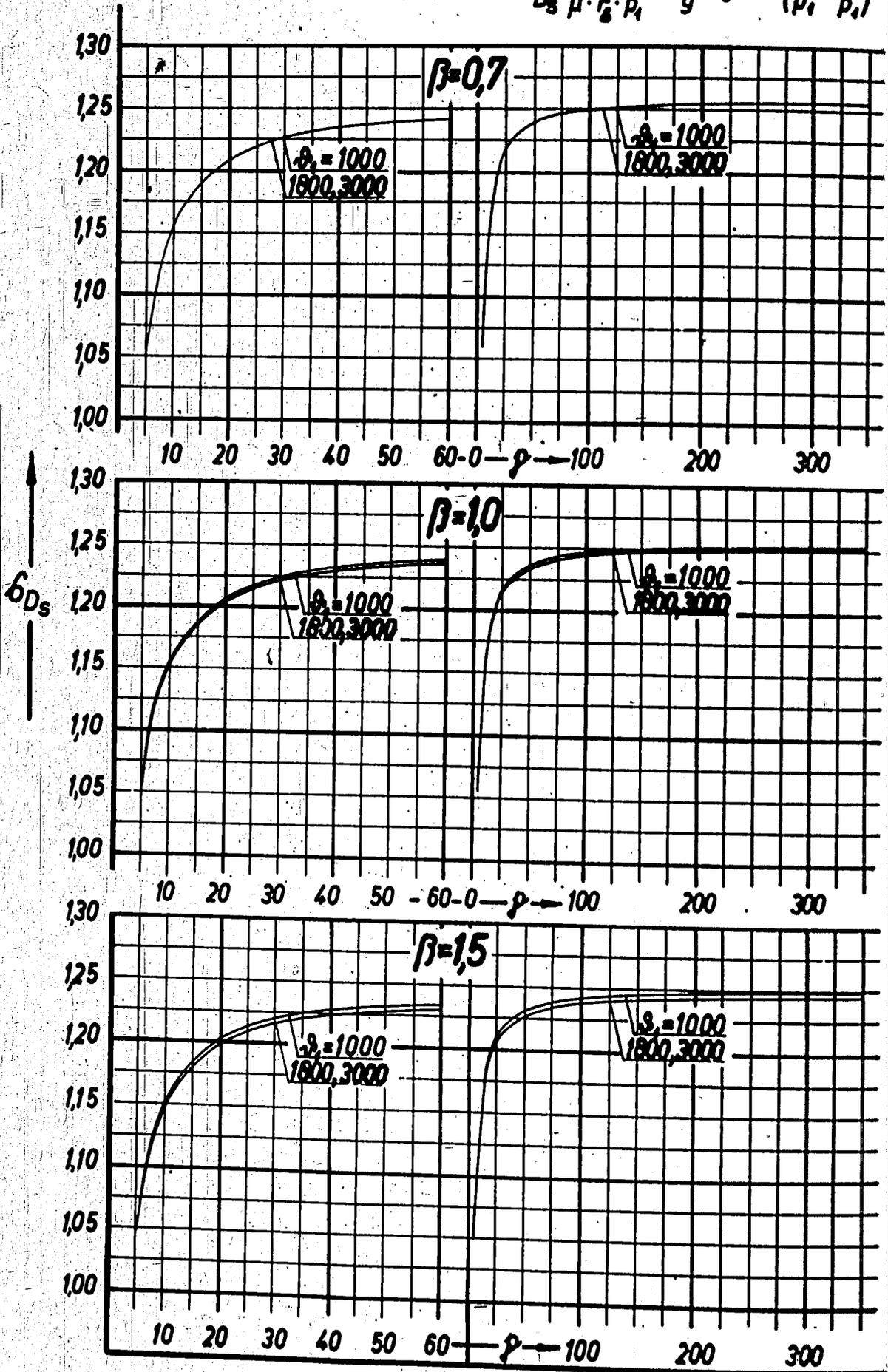
ad = adiabatisch

Düsen-Kennwerte

Nicht erweiterte Düse

Spezifischer Schub

$$C_{D_s} = \frac{S_s}{\mu \cdot F_s \cdot P_1} = \frac{d}{g} w_s \sqrt{M + \left(\frac{P_2}{P_1} - \frac{P_2}{P_1} \right)}$$

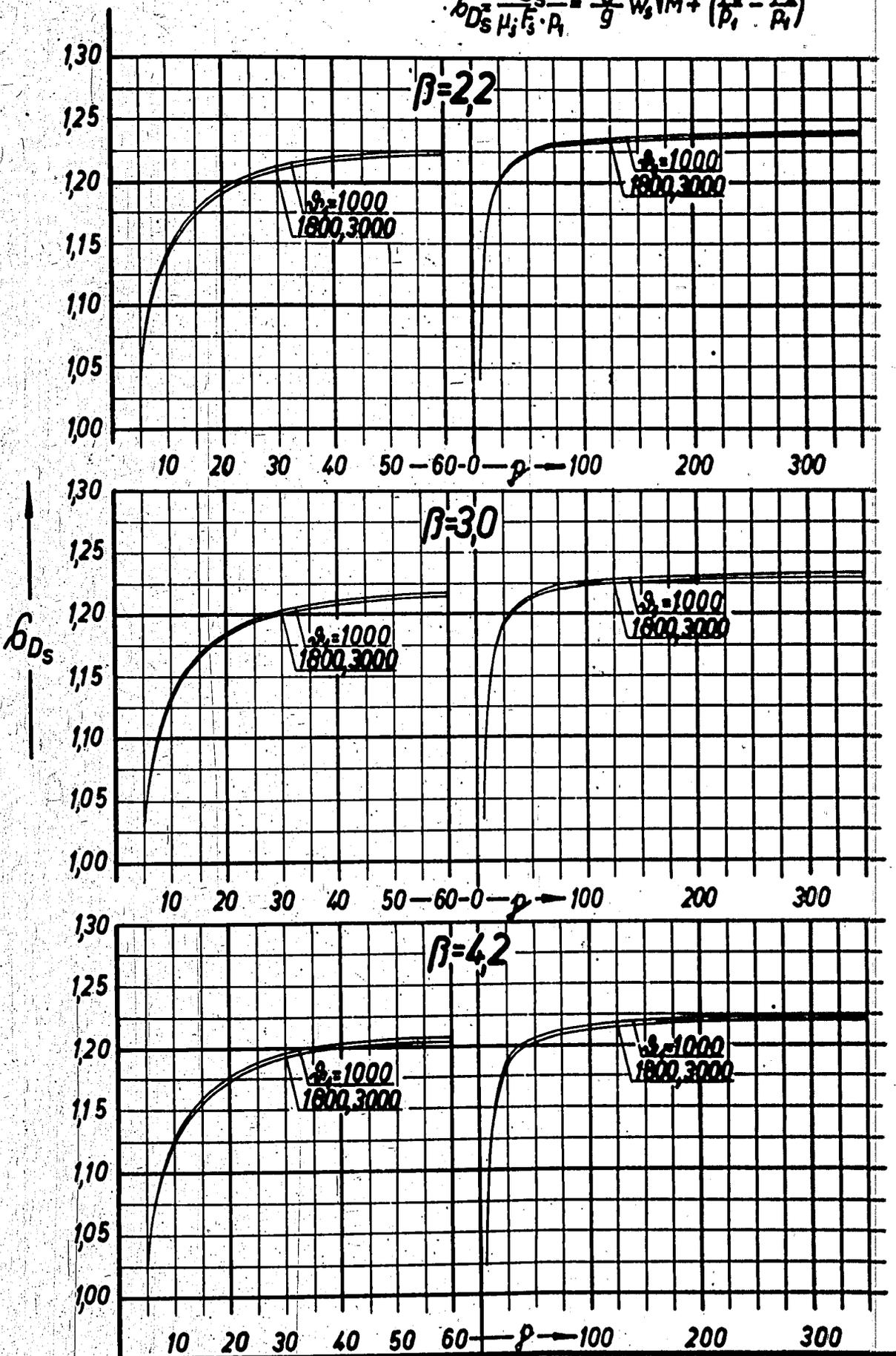


Düsen-Kennwerte

Nicht erweiterte Düse

Spezifischer Schub

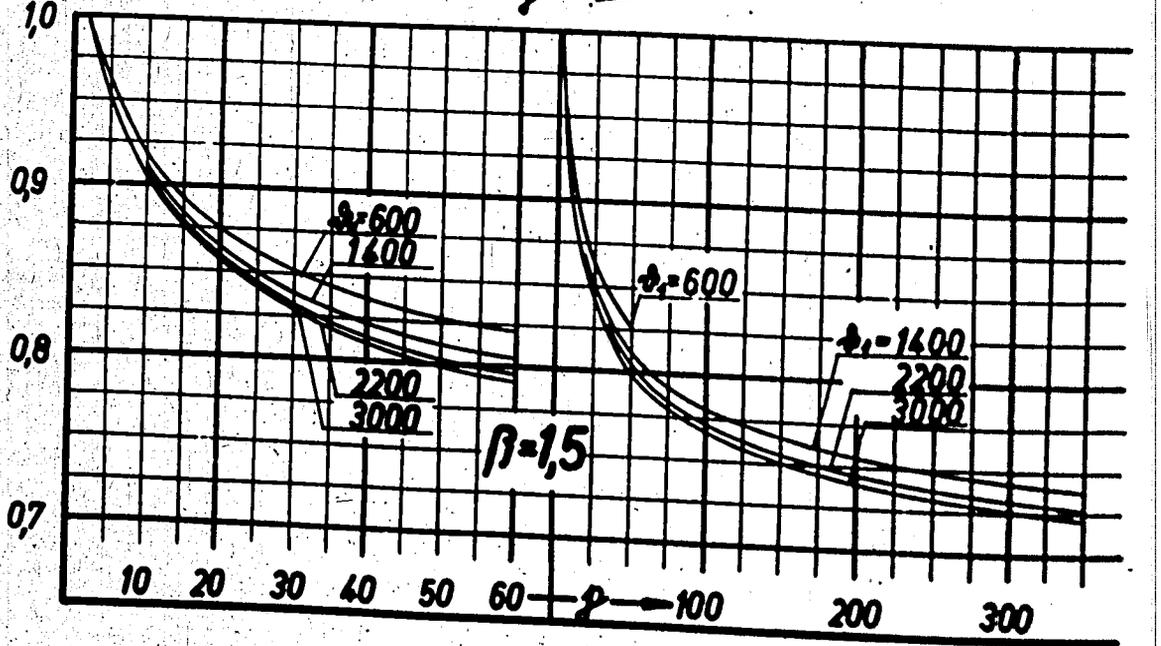
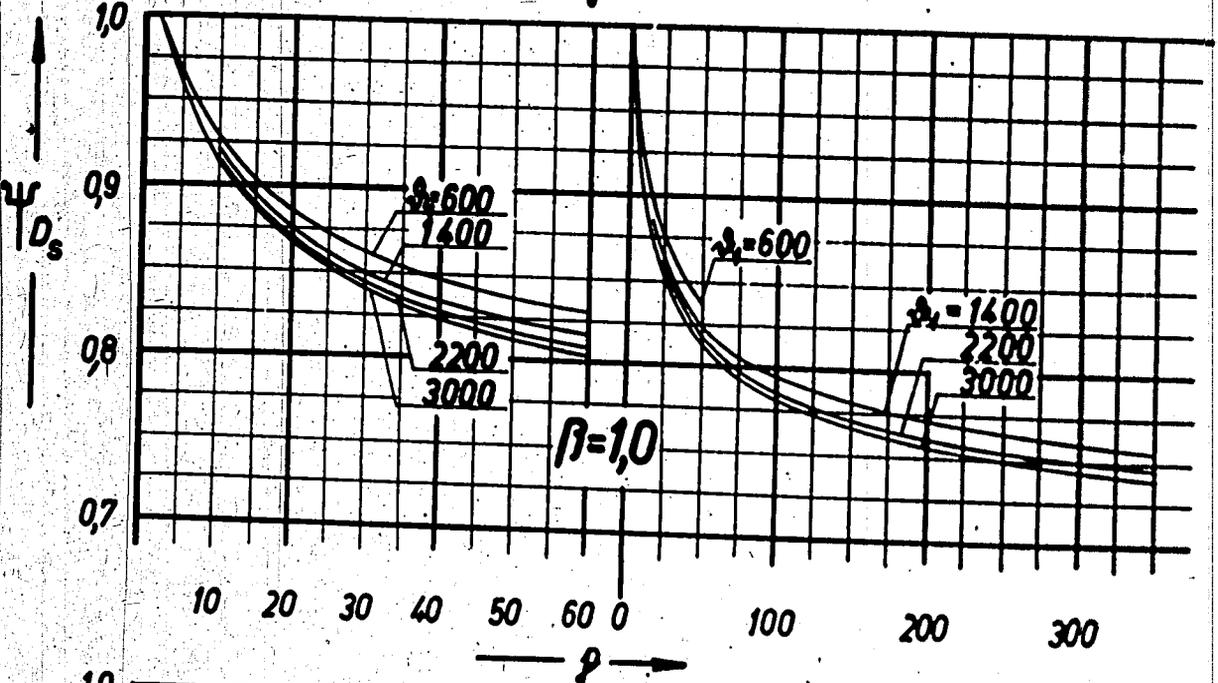
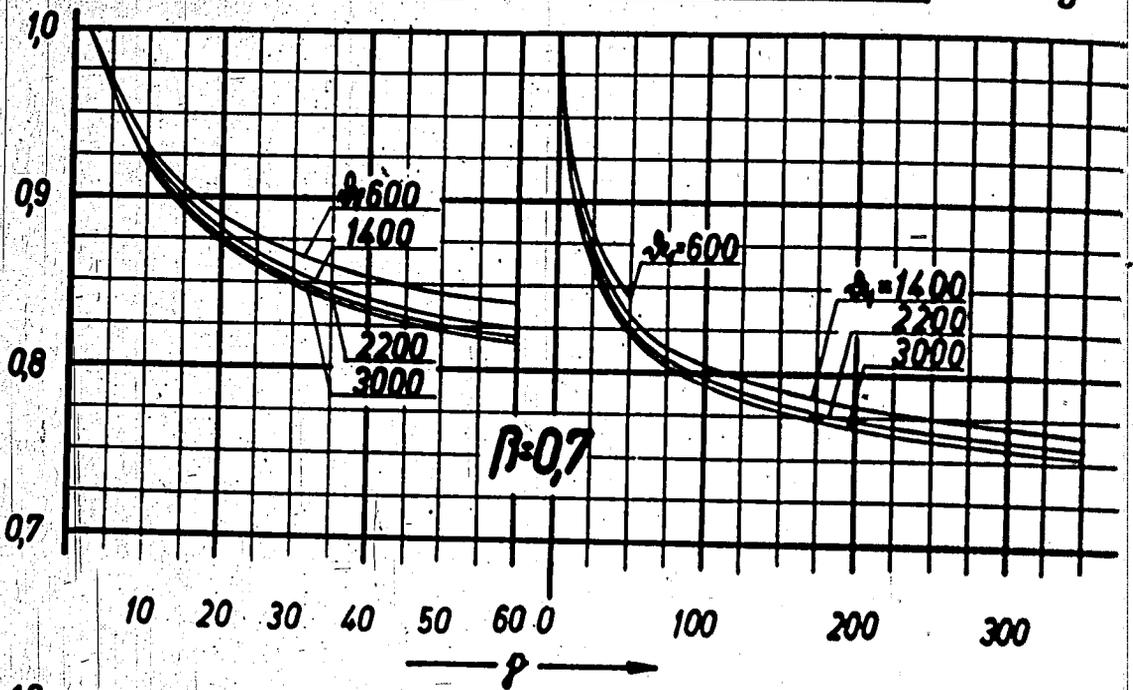
$$\delta_{D_s} = \frac{S_s}{\mu_j F_3 \cdot P_1} = \frac{d}{g} w_s \sqrt{M + \left(\frac{P_2}{P_1} - \frac{P_2}{P_1} \right)}$$



Düsen-Kennwerte

Nicht erweiterte Düse

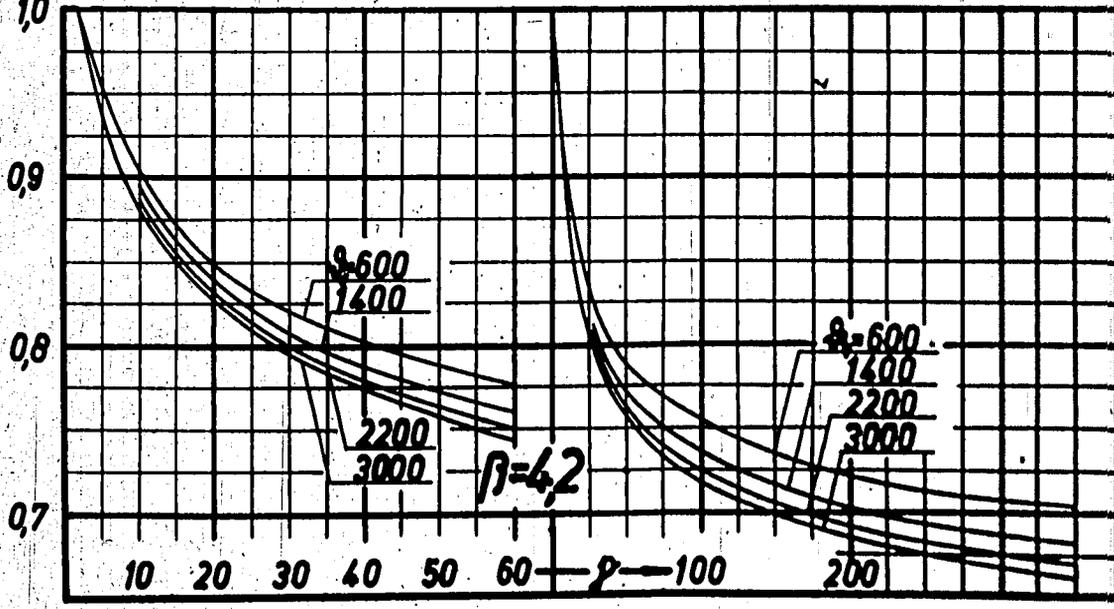
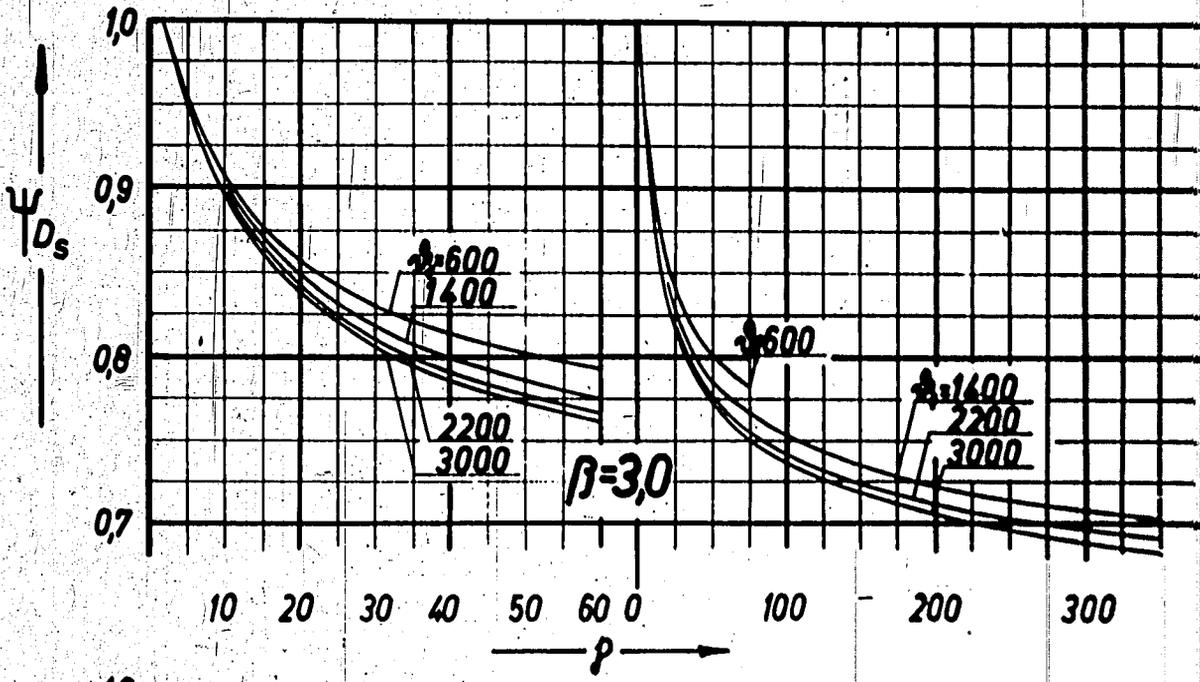
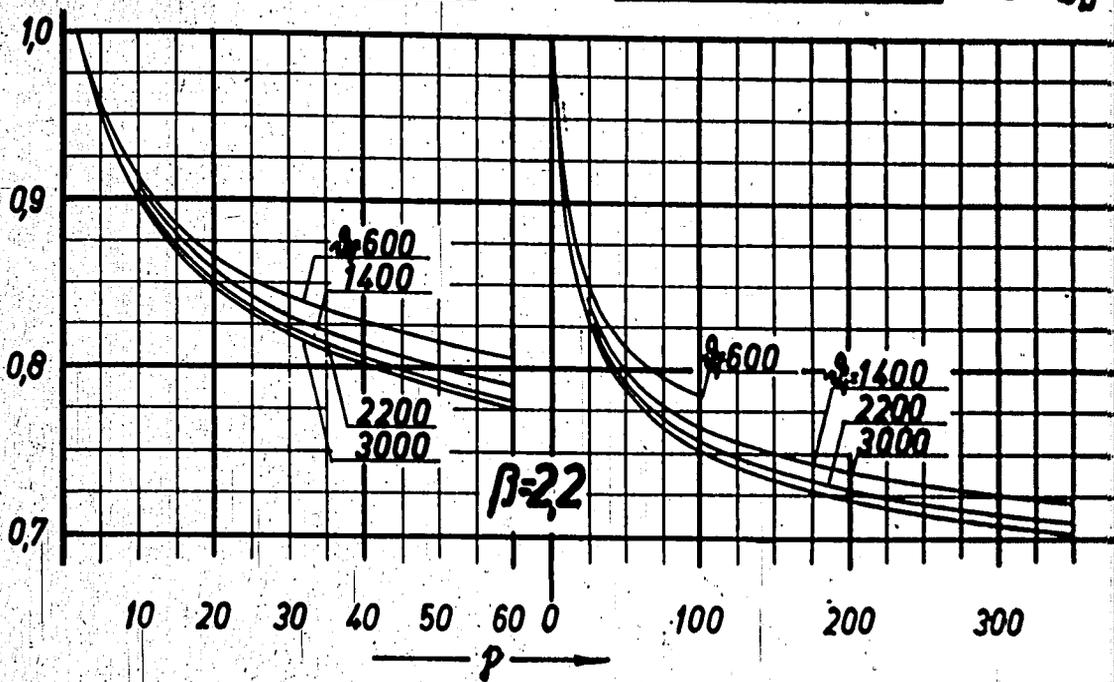
Schubbeiwert $\psi_{D_s} = \frac{S_{D_s}}{S_D}$



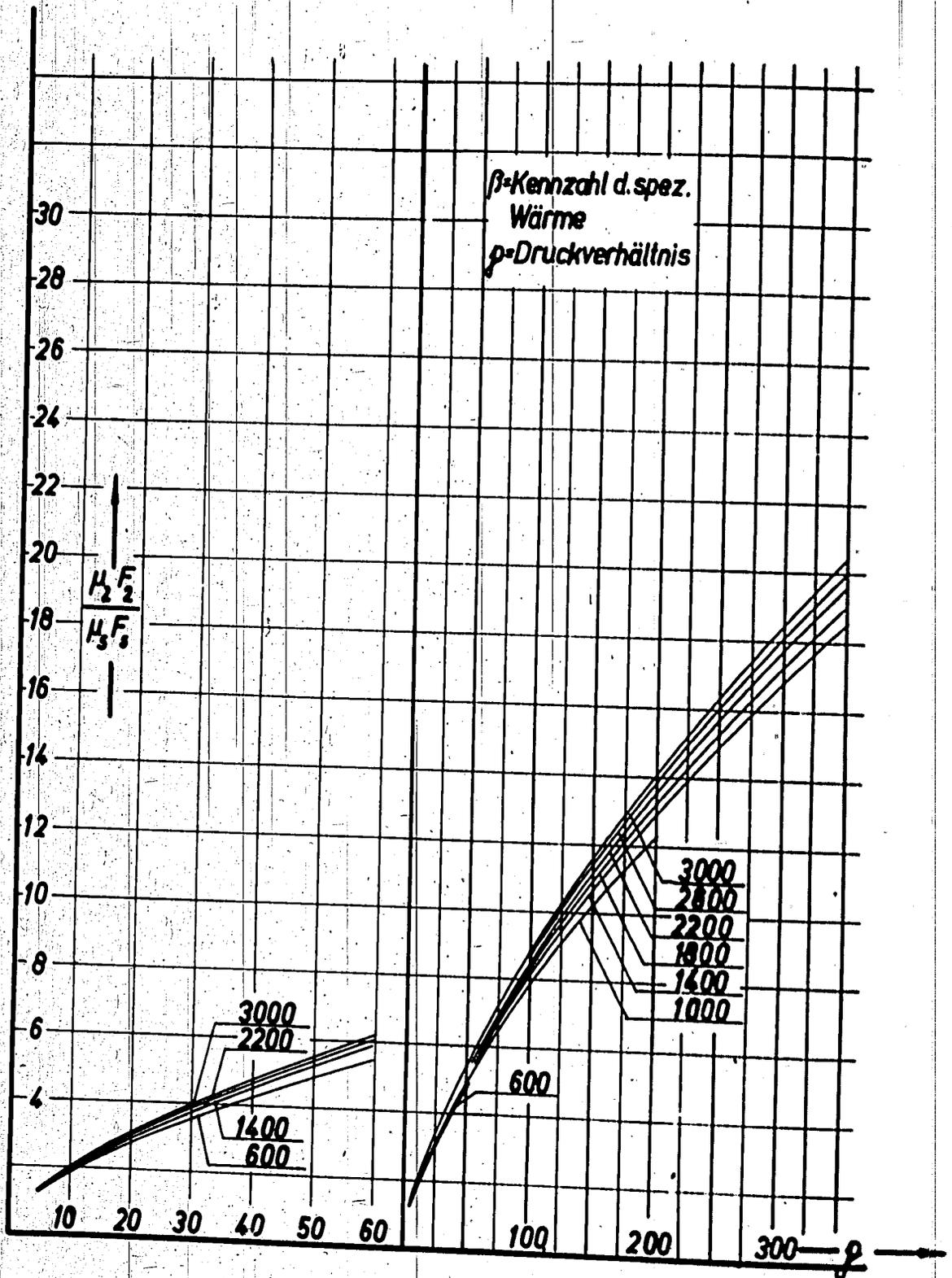
Düsen-Kennwerte

Nicht erweiterte Düse

Schubbeiwert $\psi_{D_s} = \frac{F_D}{F_D}$



Düsen-Kennwerte



Laval-Düse

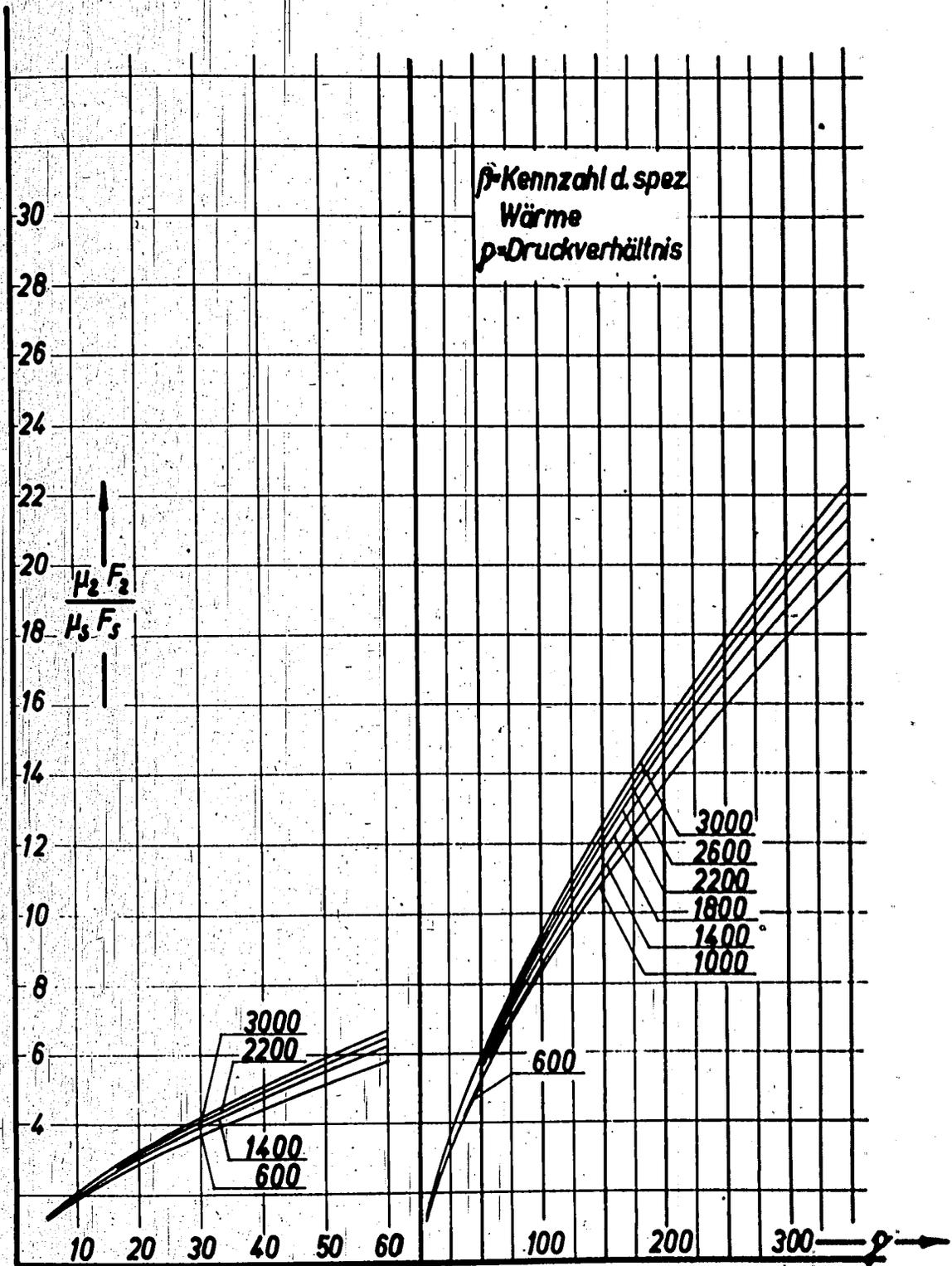
Erweiterungs-Verhältnis $\frac{H_2 F_2}{H_3 F_3}$

$\beta = 0,7$

$1 < p < 60$

$1 < p < 350$

Düsen-Kennwerte



Laval-Düse

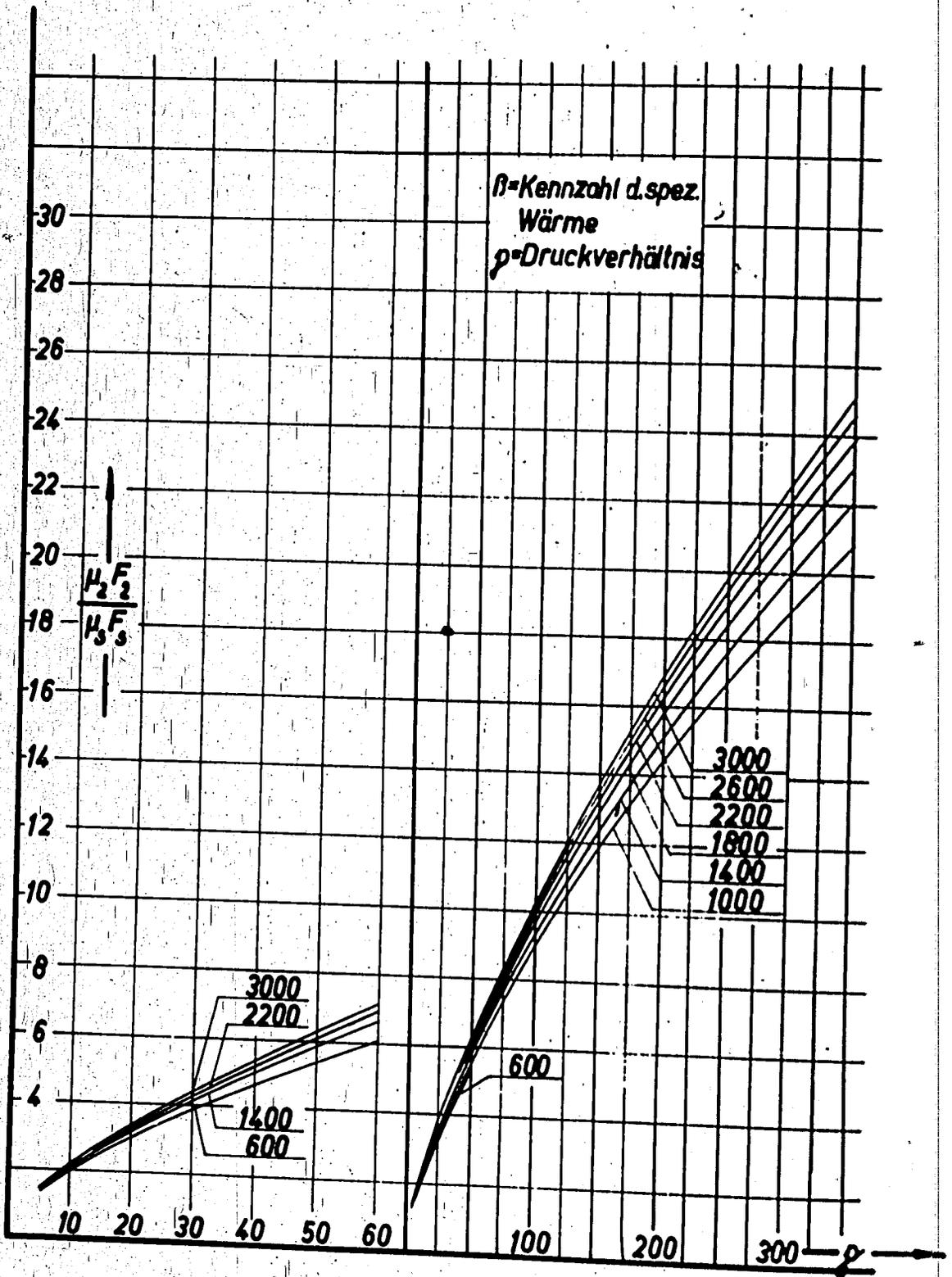
Erweiterungs-Verhältnis $\frac{\mu_2 F_2}{\mu_1 F_1}$

$\beta=1,0$

$1 < p < 60$

$1 < p < 350$

Düsen-Kennwerte



Laval-Düse

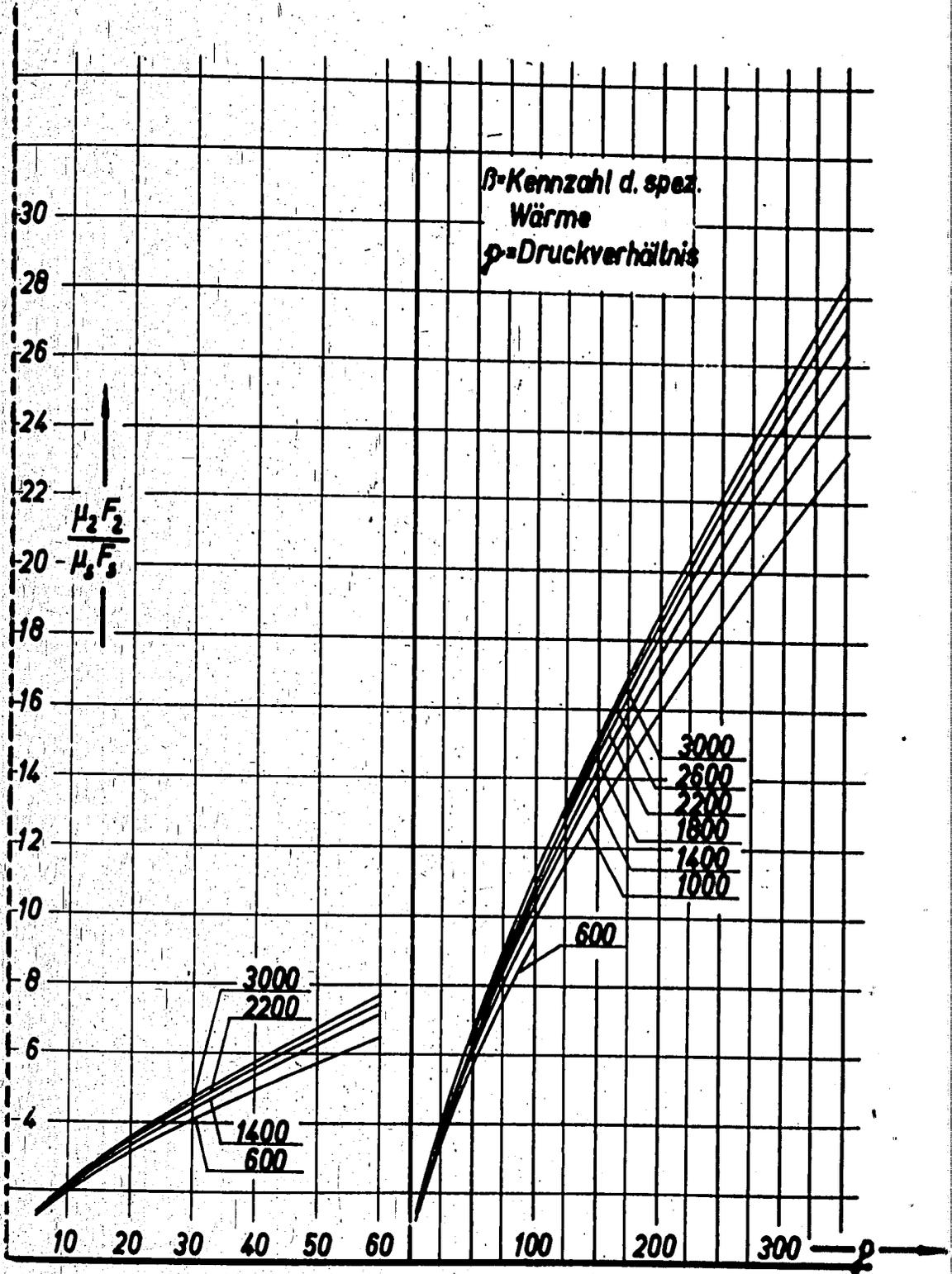
Erweiterungs-Verhältnis $\frac{F_2}{F_3}$

$\beta = 1,5$

$1 < p < 60$

$1 < p < 350$

Düsen-Kennwerte



Laval Düse

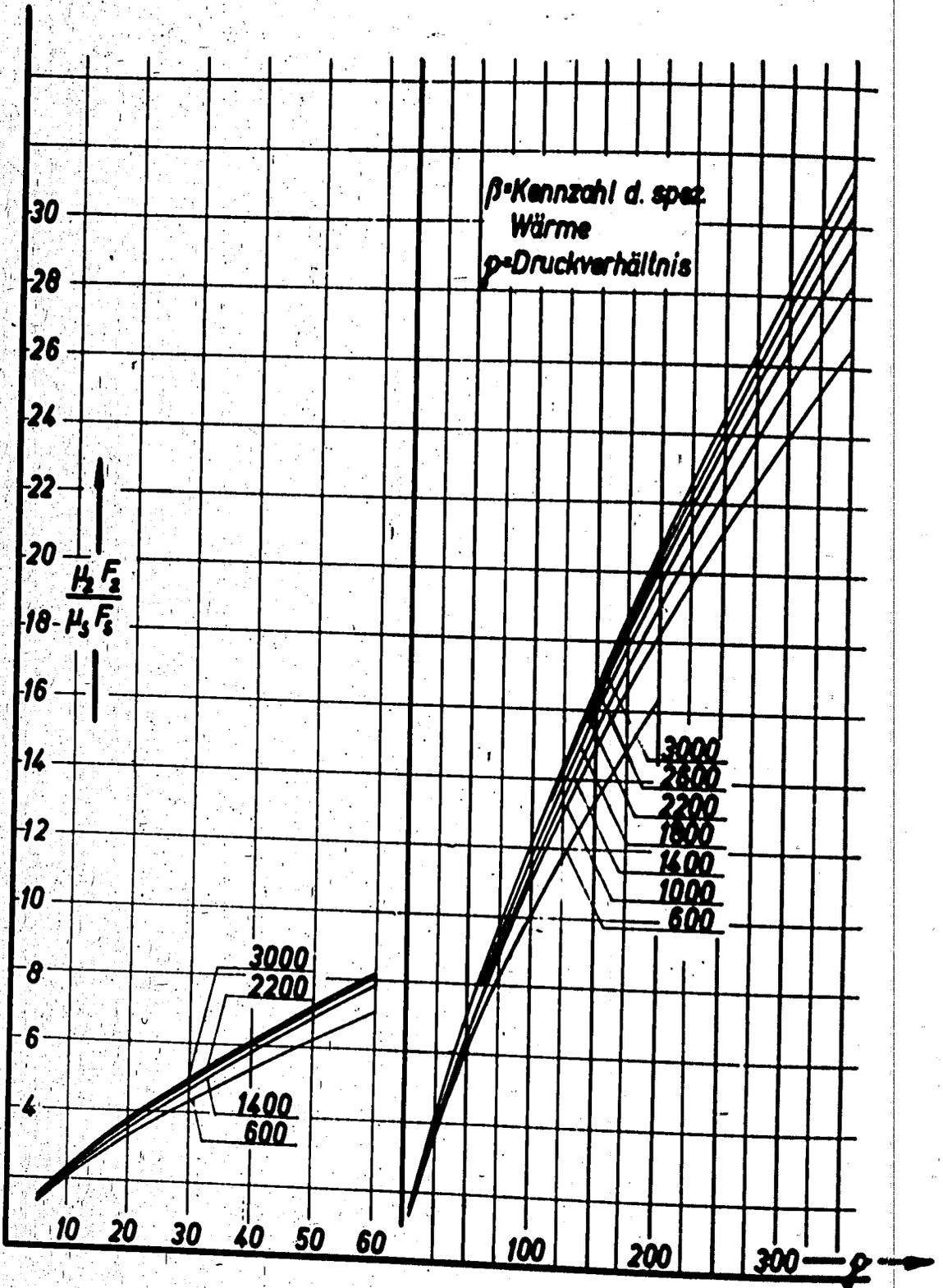
Erweiterungs-Verhältnis $\frac{\mu_2 F_2}{\mu_1 F_1}$

$\beta=22$

$1 < p < 60$

$1 < p < 350$

Düsen-Kennwerte



Laval-Düse

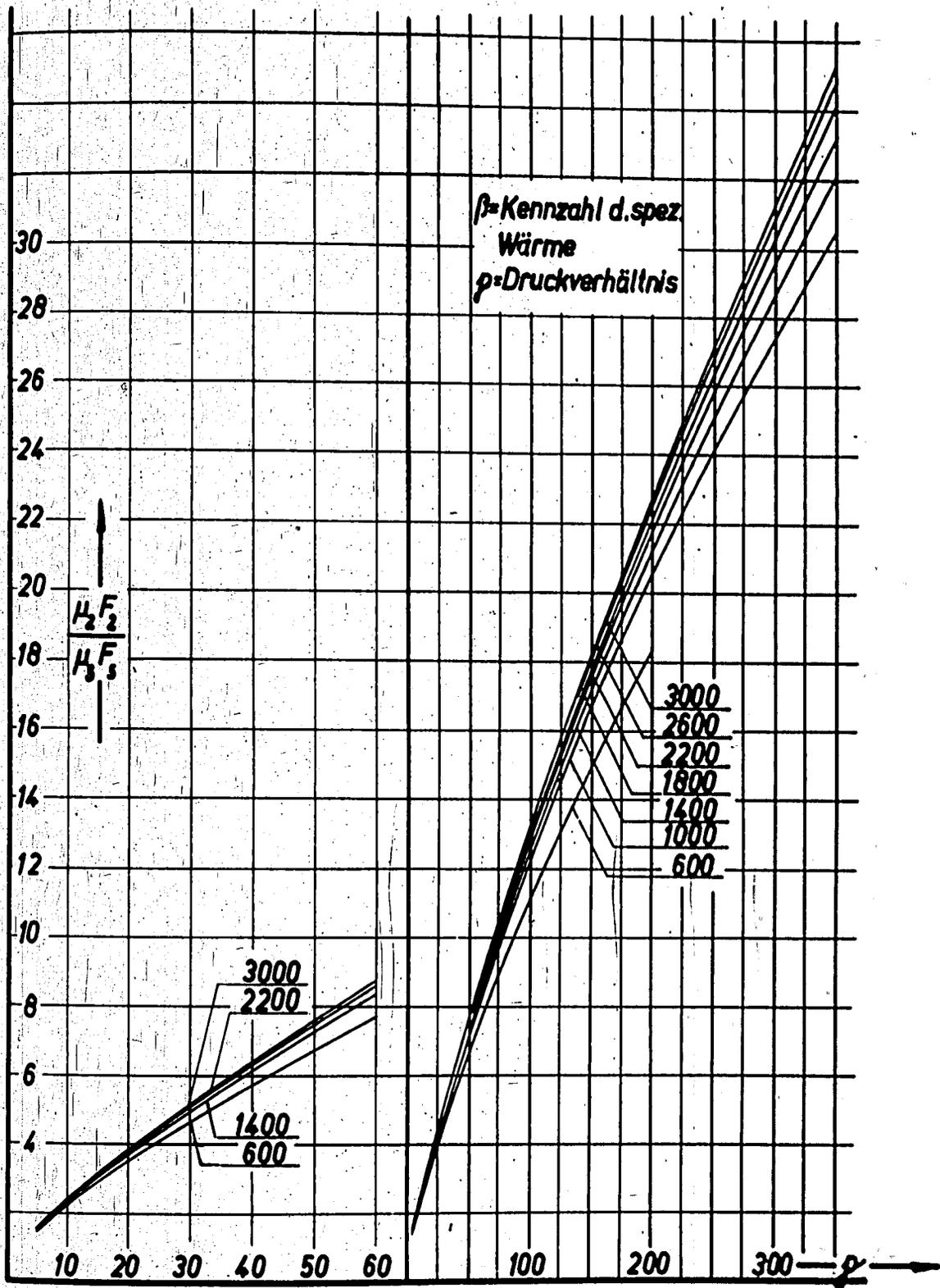
Erweiterungs-Verhältnis $\frac{H_2 F_2}{\mu_s F_s}$

$\beta=30$

$1 < p < 60$

$1 < p < 350$

Düsen-Kennwerte



Laval-Düse

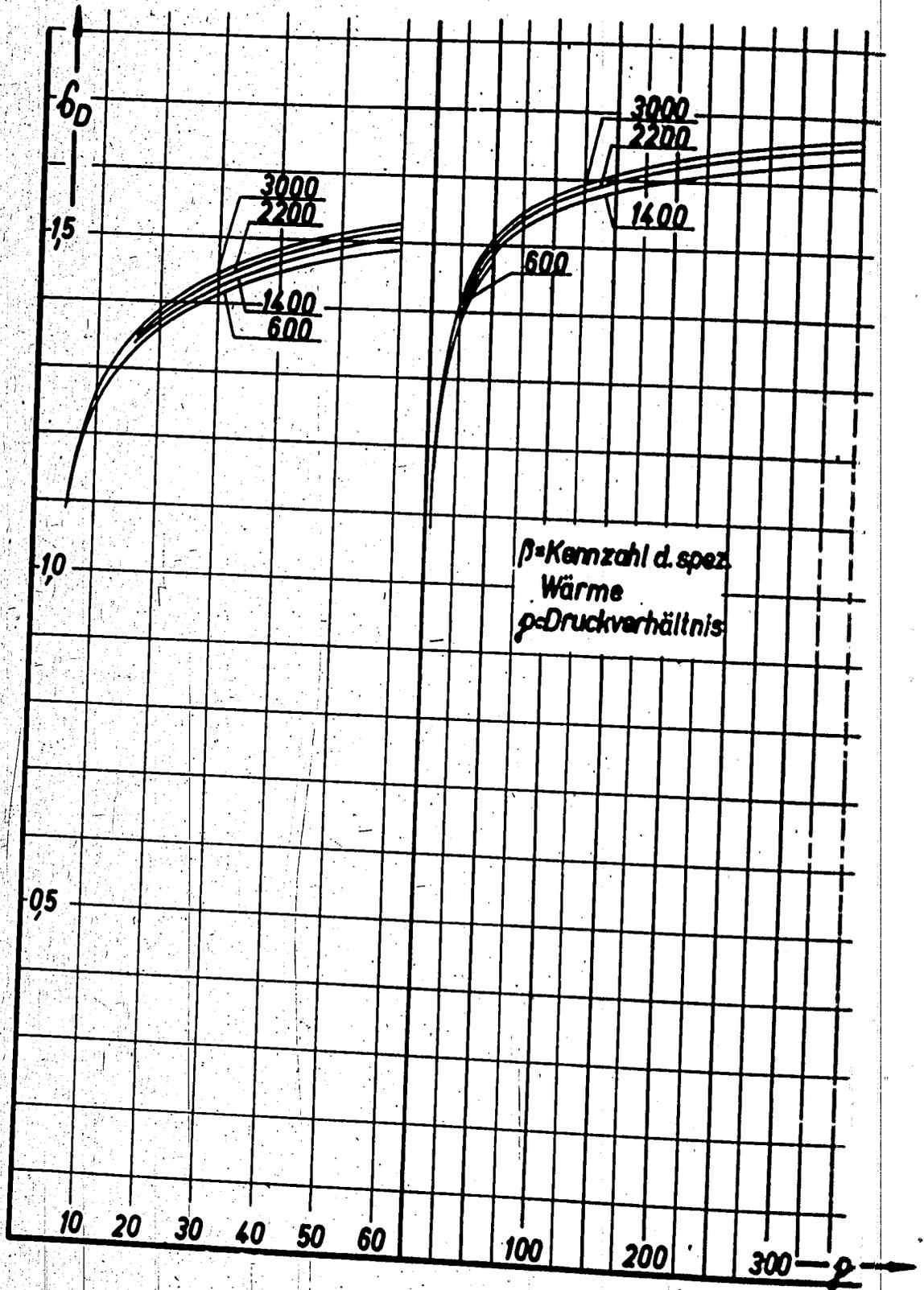
Erweiterungs-Verhältnis $\frac{\mu_2 F_2}{\mu_1 F_1}$

$\beta \ 4,2$

$1 < p < 60$

$1 < p < 350$

Düsen-Kennwerte

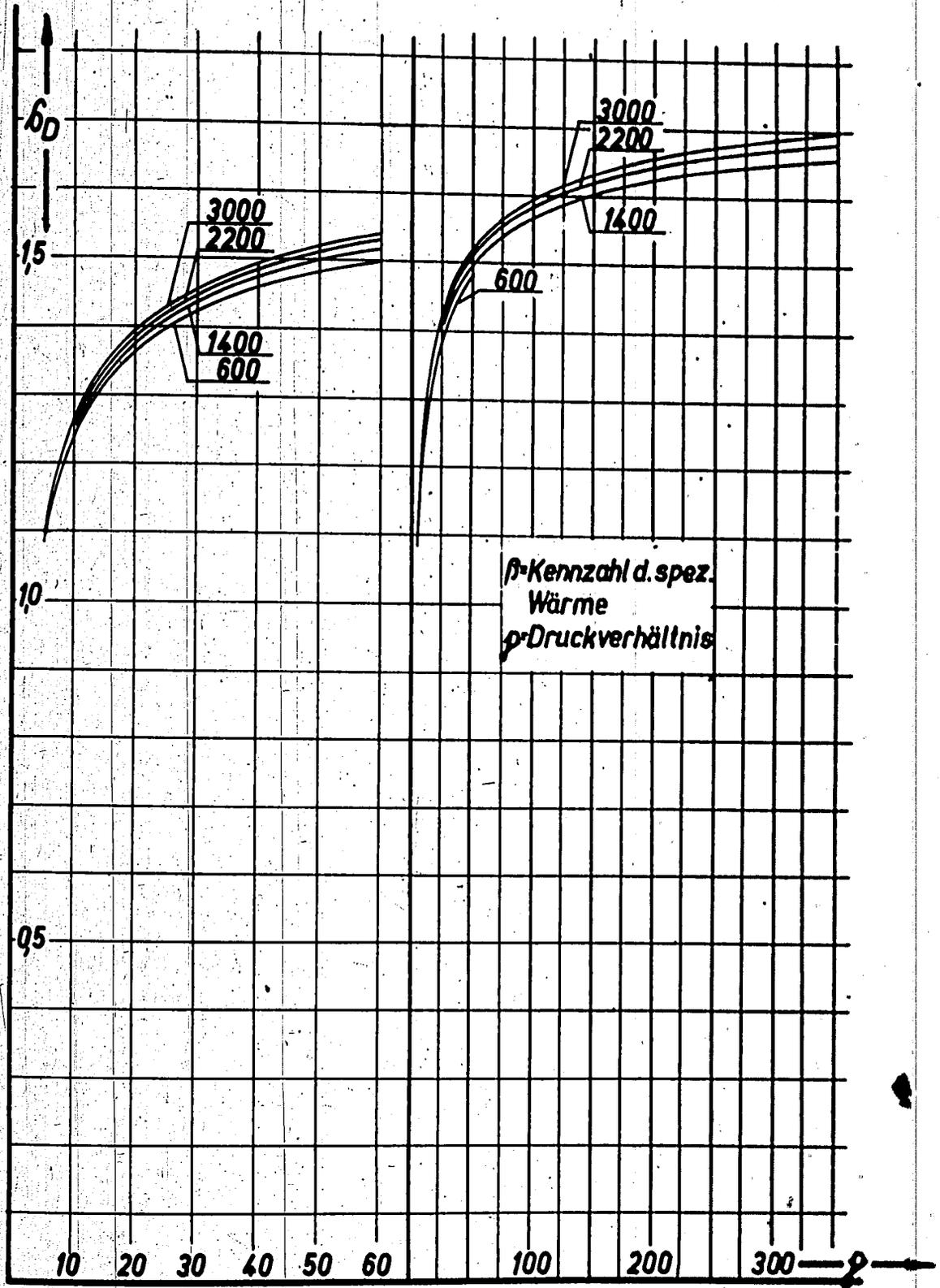


Laval-Düse

Spezifischer Schub $G_D = \frac{S}{H_i \cdot R \cdot F_i}$

$\beta = 0.7$
 $1 < p < 50$
 $1 < p < 350$

Düsen-Kennwerte



Laval-Düse

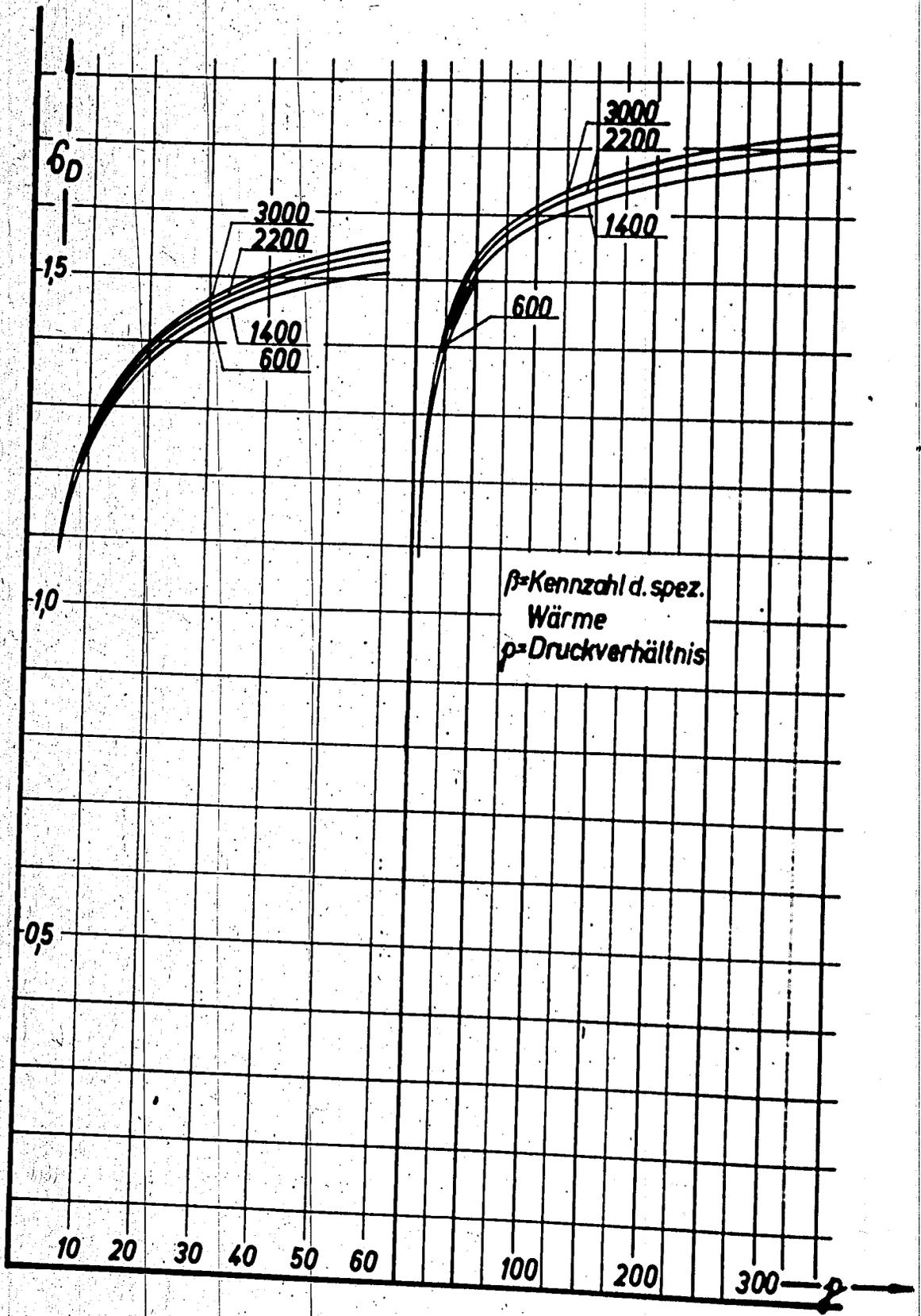
Spezifischer Schub $\delta_D = \frac{S}{\mu_i R_i F_i}$

$\beta = 1,0$

$1 < p < 60$

$1 < p < 350$

Düsen-Kennwerte



Laval-Düse

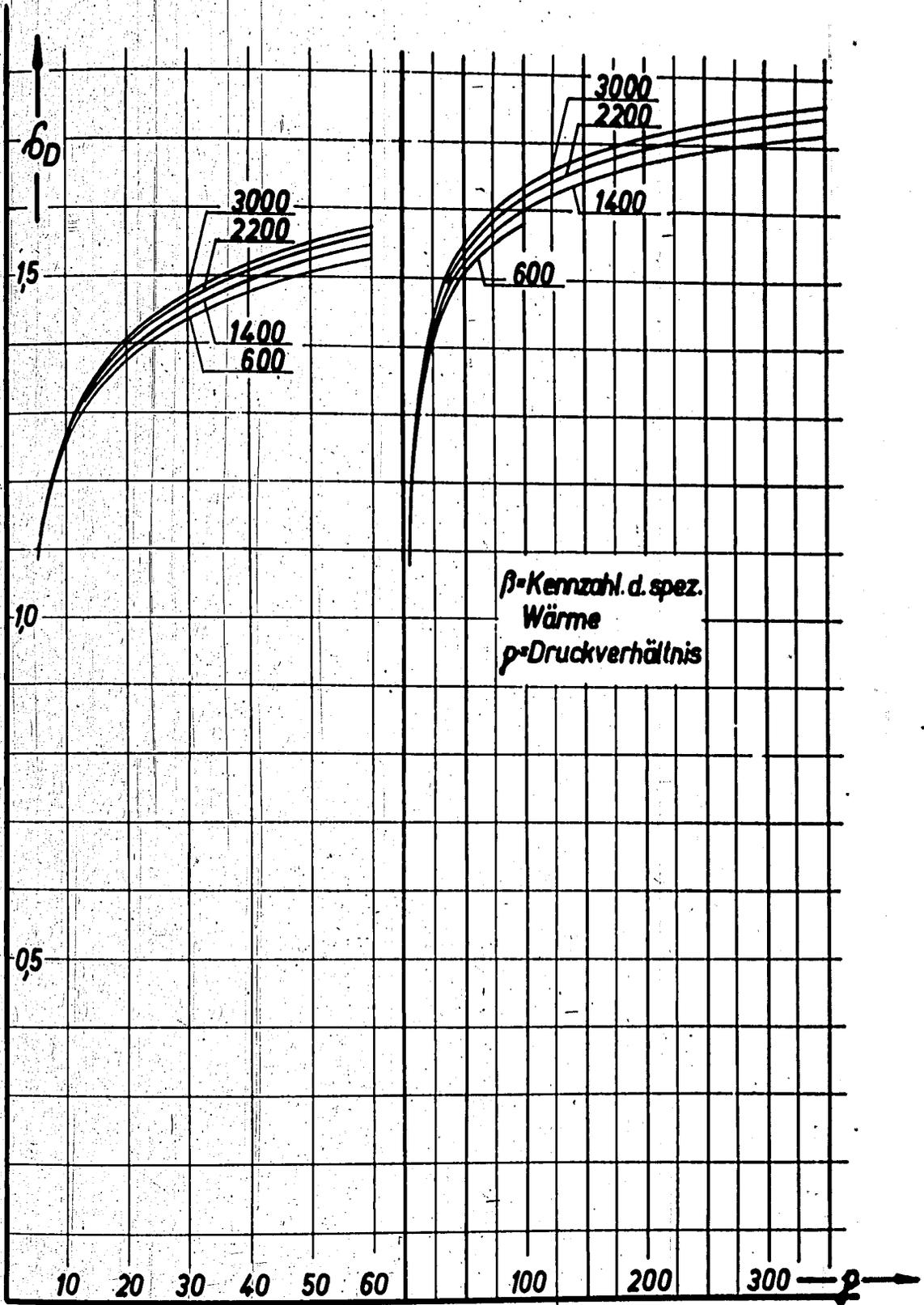
Spezifischer Schub $\delta_D = \frac{S}{M_i P_i F_i}$

β 1,5

$1 < p < 60$

$1 < p < 350$

Düsen-Kennwerte



Laval-Düse

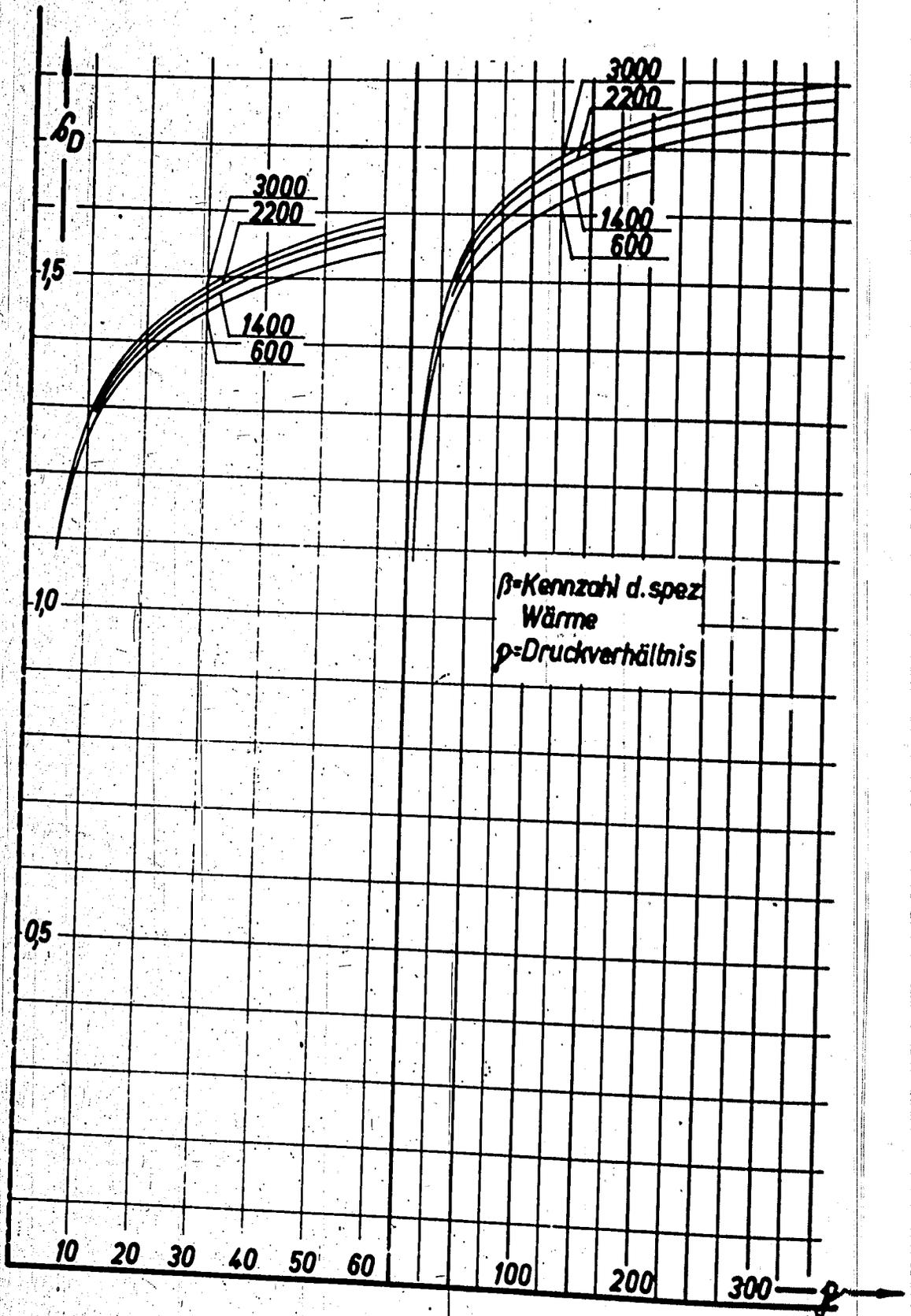
Spezifischer Schub $\delta_D = \frac{S}{H_i \cdot A_i \cdot F_i}$

$\beta=22$

$1 < p < 60$

$1 < p < 350$

Düsen-Kennwerte



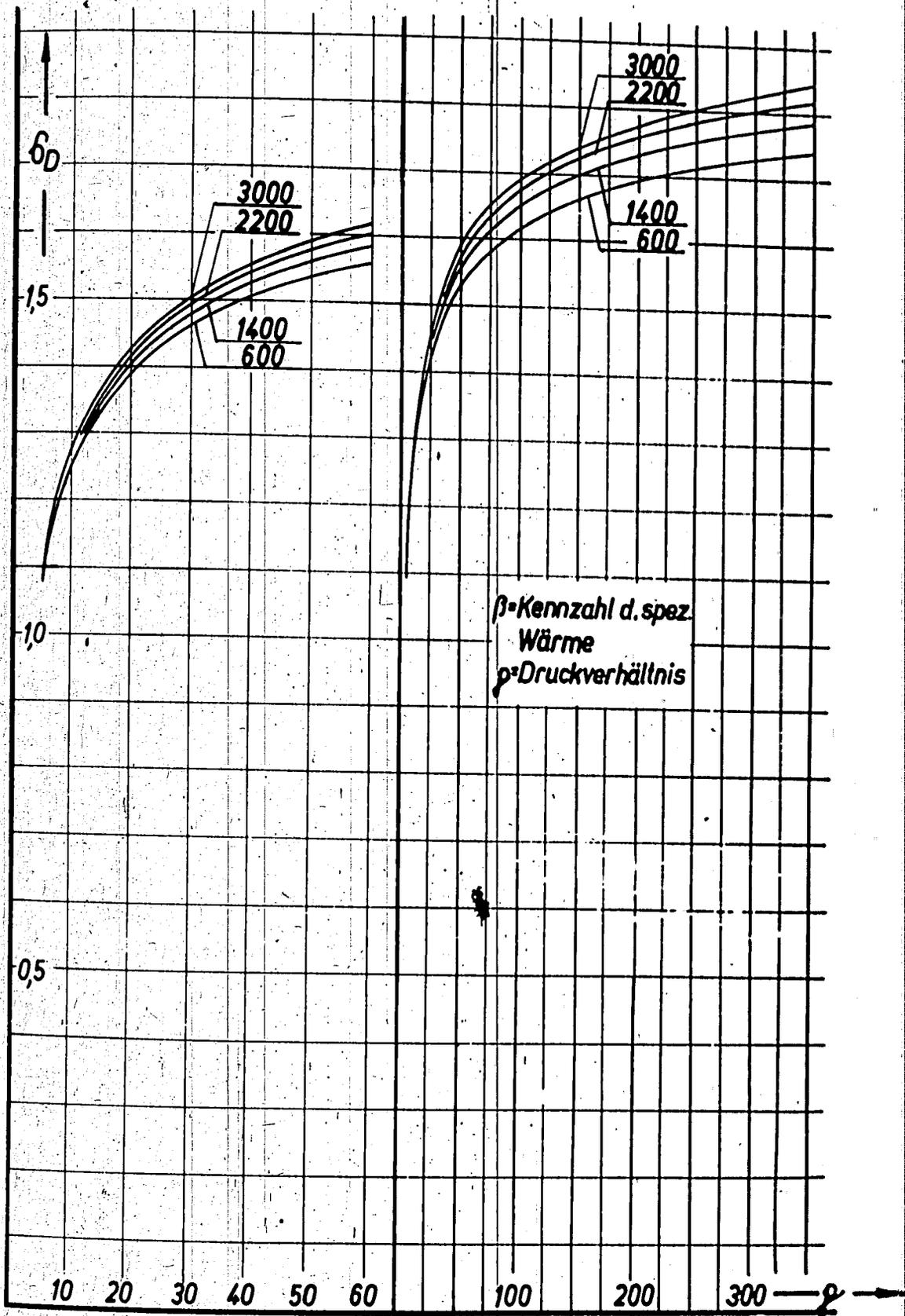
β -Kennzahl d. spez. Wärme
 p -Druckverhältnis

Laval-Düse

Spezifischer Schub $\delta_D = \frac{S}{\mu_3 P_1 F_3}$

$\beta = 30$
 $1 < p < 60$
 $1 < p < 350$

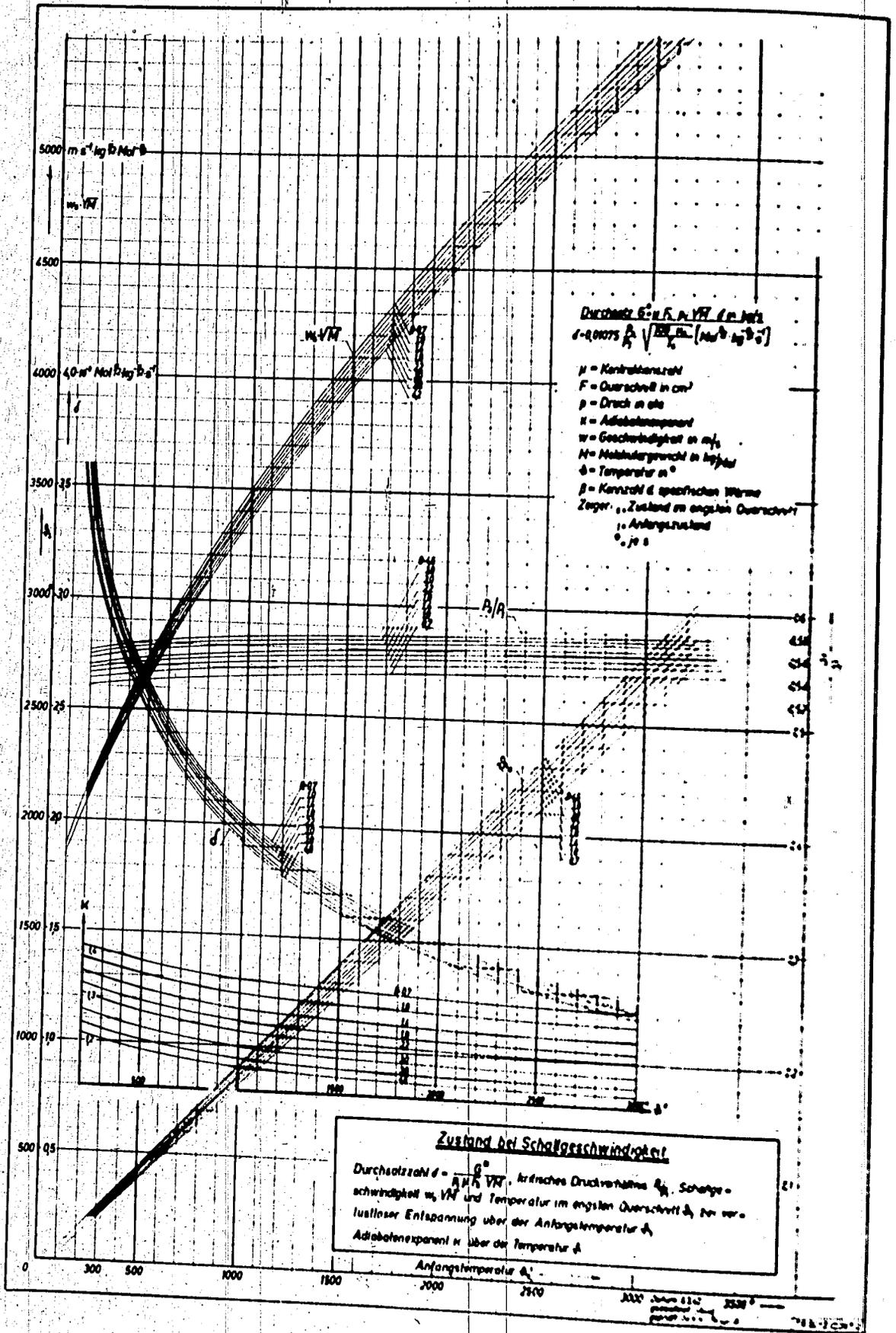
Düsen-Kennwerte



Laval-Düse

Spezifischer Schub $\delta_D = \frac{S}{\mu_i R_i F_i}$

$\beta = 4,2$
 $1 < p < 60$
 $1 < p < 350$



Diese Tafel kann auch im Format A 2 gegen Erstattung der Unkosten bezogen werden.