

FREIBERGER
FORSCHUNGSHEFTE

B 46

METALLFORMUNG

KARLHEINZ WEBER

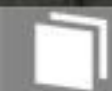
**Berechnungsunterlagen zur Ermittlung von Walzkraft
und Drehmoment beim Warmwalzen
(nach R. B. Sims)**



AKADEMIE-VERLAG BERLIN

1959

FFH
B 46 c



Deutscher
Brennstoff-Club
Zentrale Bucherei

Unser
391



TU BERGAKADEMIE FREIBERG



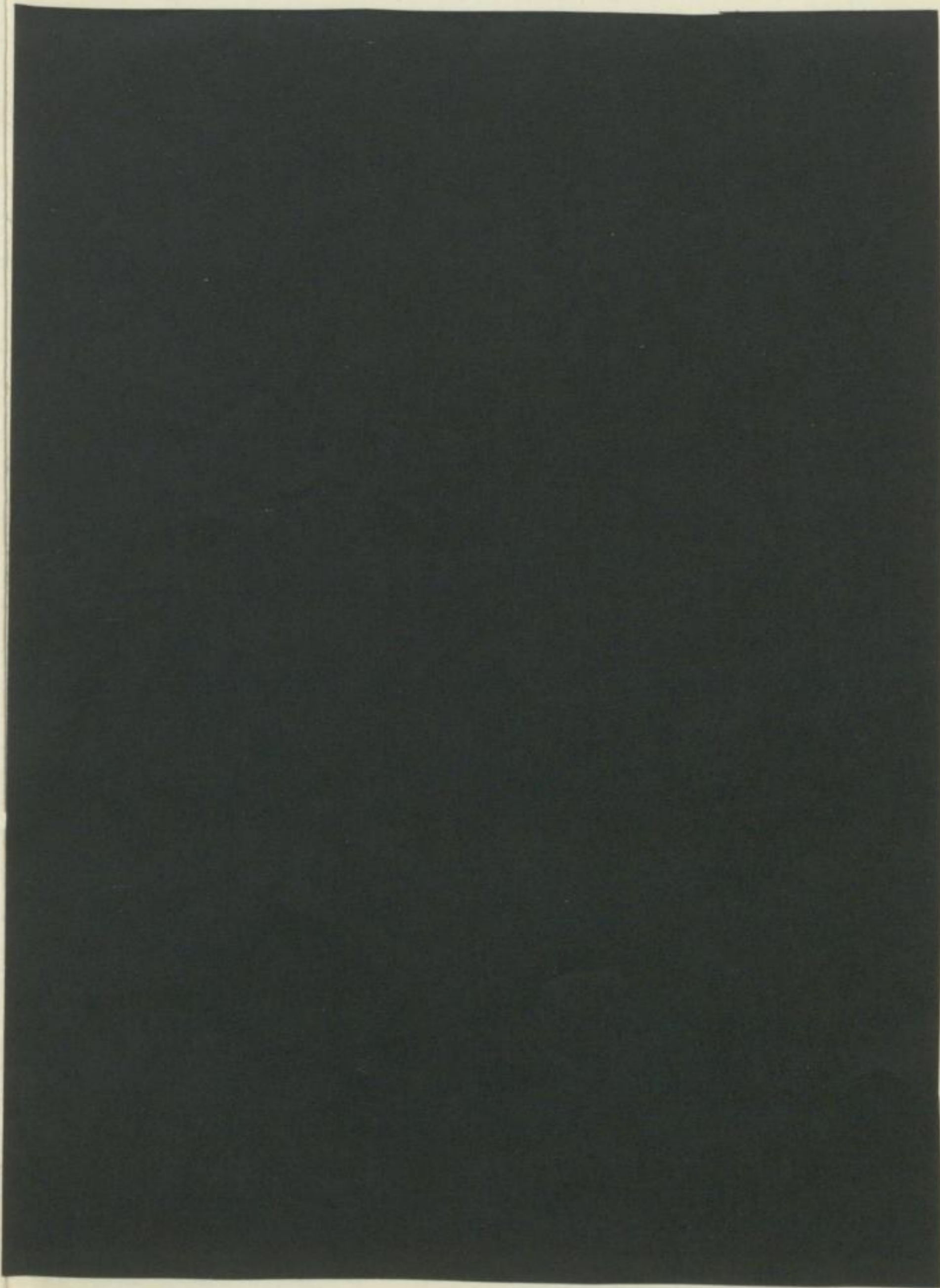
XU XVI 1142 . B46C

FREIBERGER FORSCHUNGSSHEFTE

B 46

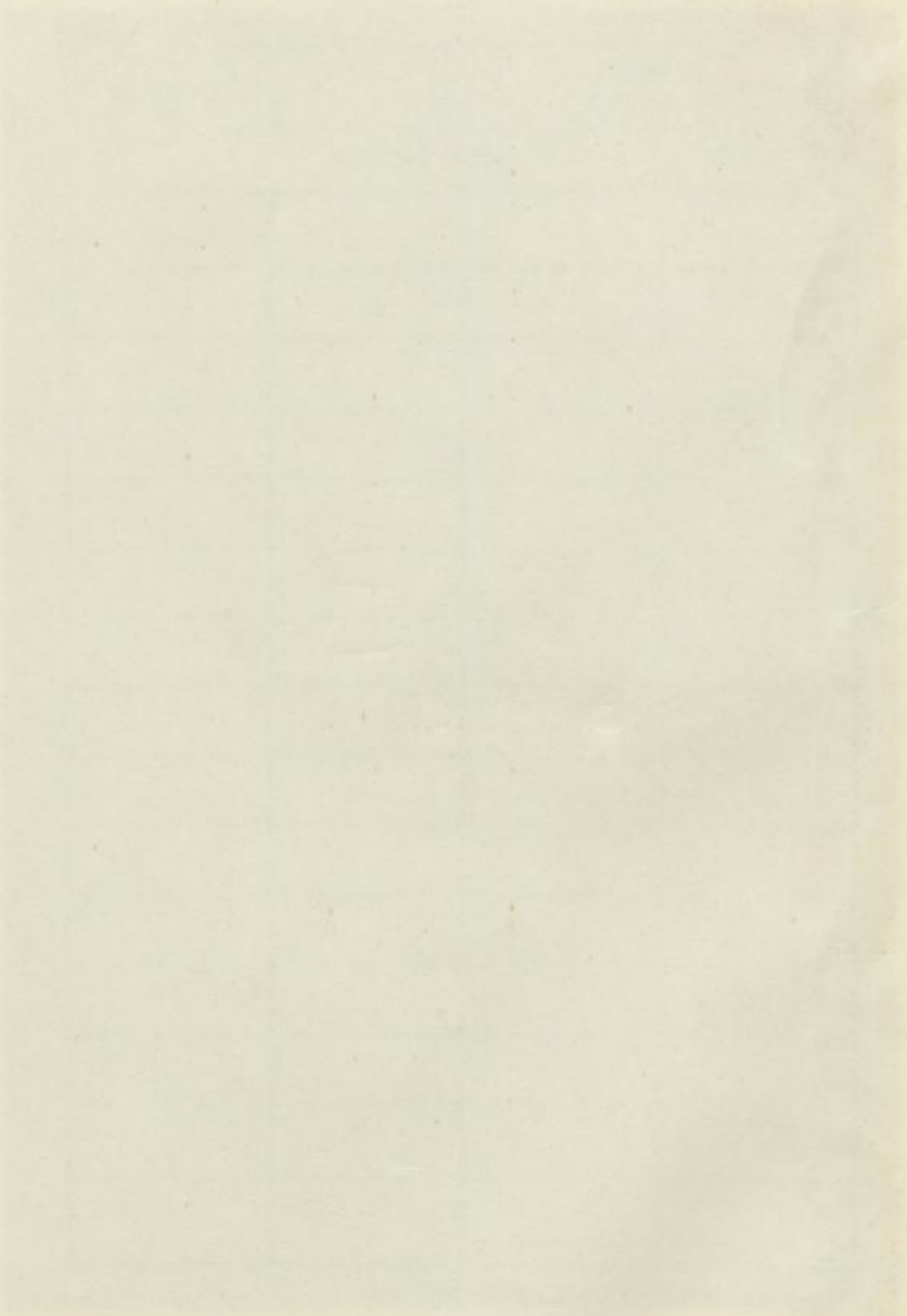
Herausgegeben vom Rektor der Bergakademie Freiberg

B 46



FREIBERGER FORSCHUNGSHETTE

B 48



FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Herausgegeben vom Rektor der Bergakademie Freiberg

B 46

INHALT

Berechnung von Walzkraft und Drehmoment beim Warmwalzen nach
R. B. Sims

Q_y- und Q_z-Funktionen nach R. B. Sims

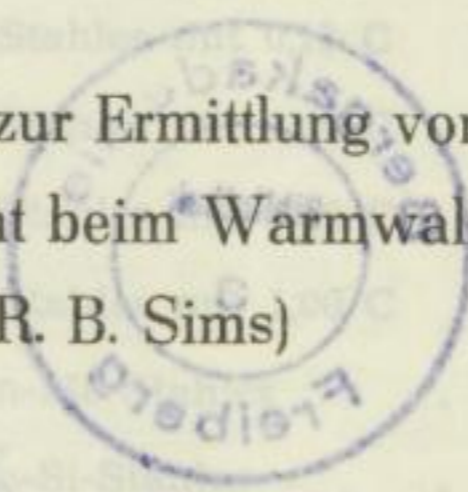
Das Formänderungsverhalten bei der Warmumformung
von Stahl

METALLFORMUNG

Formänderungsverhalten verschiedener Stähle

Formänderungsverhalten eines C-Stahls

Berechnungsunterlagen zur Ermittlung von Walzkraft
und Drehmoment beim Warmwalzen
(nach R. B. Sims)



Von

KARLHEINZ WEBER

Institut für Metallformung an der Bergakademie Freiberg



A k a d e m i e - V e r l a g · B e r l i n

Freib. Forsch.-H.	B 46	S. 1-116	76 Bilder	1 Tabelle	Berlin, April 1959
-------------------	------	----------	-----------	-----------	--------------------

Ungedruckte
Manuskripte

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Herausgegeben vom Rektor der Bergakademie Freiberg

B 46

METALLFORMUNG



XVI 7742

Von

B 46 c

KARLHEINZ WEBER

Institut für Metallformung an der Bergakademie Freiberg

„Freiberger Forschungshefte“, Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften. Herausgeber: Der Rektor der Bergakademie Freiberg, Prof. Dr.-Ing. H. Härtig. — Chefredakteur: Dipl.-Ing. R. Wendler, Freiberg, Klubhaus der Bergakademie, August-Bebel-Str. 5 (Fernr. 2497). — Verlag: Akademie-Verlag, GmbH, Berlin W 8, Mohrenstr. 39 (Fernruf 20 03 86), Postscheckkonto 350 21. — Die Freiberger Forschungshefte erscheinen in zwangloser Folge in den Reihen A, B, C und D. Ausführliches Verzeichnis aller lieferbaren Hefte von der Redaktion der Bergakademie oder dem Akademie-Verlag. — Preis dieses Heftes: DM 5,—. Bestell- und Verlags-Nr. 2062/B 46. — Vertrieb: Für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik durch den Buchhandel; für das Gebiet der Deutschen Bundesrepublik durch die Buchhandlung Kunst und Wissen, Inhaber Erich Bieber, Stuttgart S, Wilhelmstraße 4—6; für das gesamte Ausland über den Buchhandel bei der Deutschen Buch-Export und -Import GmbH, Leipzig C 1, Leninstraße 16.

Satz und Druck: VEB Ratsdruckerei Freiberg, Fischerstraße 7, III/11/4 559 28 E. — Veröffentlicht unter der Lizenz-Nr. 202.100/631/59 des Ministeriums für Kultur, HV Verlagswesen der Deutschen Demokratischen Republik. — Printed in Germany. Alle Rechte vorbehalten.

Berechnung von Walzkraft und Drehmoment beim Warmwalzen

INHALT

	Seite
Berechnung von Walzkraft und Drehmoment beim Warmwalzen nach R. B. Sims	7
QP- und QG-Funktion nach R. B. Sims	11
Das Formänderungsverhalten bei der Warmformgebung von Stahl	14
Formänderungsfestigkeit verschiedener Stähle	15
Formänderungsfestigkeit eines C-Stahles mit 0,15 C	17
Formänderungsfestigkeit eines C-Stahles mit 0,46 C	27
Formänderungsfestigkeit eines C-Stahles mit 0,56 C	35
Formänderungsfestigkeit eines C-Stahles mit 1,00 C	45
Formänderungsfestigkeit eines Mn-Mo-Stahles	55
Formänderungsfestigkeit eines Mn-Si-Stahles	65
Formänderungsfestigkeit eines Mn-Cr-Stahles	75
Formänderungsfestigkeit eines Cr-Si-Stahles	83
Formänderungsfestigkeit eines Ni-Cr-Mo-Stahles	93
Formänderungsfestigkeit eines rostfreien Stahles	103
Berechnungsbeispiel	113
Schlußbetrachtung	115
Literatur	115

Ungültig

Deutsches
Brennstoffinstitut
Freiberg/Sa.

INHALT

Verfahren zur Bestimmung der Formänderungsenergie

INHALT

Seite	
7	Berechnung von Walzkraft und Drehmoment beim Warmwalzen nach R. B. Sims
11	Q _g - und Q _c -Funktion nach R. B. Sims
14	Das Formänderungsverhalten bei der Warmumformung von Stahl
15	Formänderungsenergie verschiedener Stähle
17	Formänderungsenergie eines C-Stahles mit 0,25 C
27	Formänderungsenergie eines C-Stahles mit 0,45 C
35	Formänderungsenergie eines C-Stahles mit 0,55 C
45	Formänderungsenergie eines C-Stahles mit 1,00 C
55	Formänderungsenergie eines Mn-Stahles
65	Formänderungsenergie eines Si-Stahles
75	Formänderungsenergie eines Mn-Cr-Stahles
85	Formänderungsenergie eines Cr-Stahles
95	Formänderungsenergie eines Ni-Cr-Mn-Stahles
105	Formänderungsenergie eines rostfreien Stahles
115	Berechnungsbeispiel

Die Formänderungsenergie ist ein Maß für die bei der Umformung eines Werkstoffes aufzubringende Energie. Sie ist eine Funktion der Umformungsart, des Umformungsgrades und der Umformtemperatur. Die Formänderungsenergie wird in der Regel in J/cm³ angegeben.

Die Formänderungsenergie ist eine wichtige Kenngröße für die Umformbarkeit eines Werkstoffes. Sie ist ein Maß für die Umformbarkeit eines Werkstoffes und wird in der Regel in J/cm³ angegeben.

Die Formänderungsenergie ist eine wichtige Kenngröße für die Umformbarkeit eines Werkstoffes. Sie ist ein Maß für die Umformbarkeit eines Werkstoffes und wird in der Regel in J/cm³ angegeben.

Deutsches
Brennstoffinstitut
Freiburg
1952

Berechnung von Walzkraft und Drehmoment beim Warmwalzen

nach R. B. Sims

Die Kenntnis der Vorgänge im Walzspalt bilden die Grundlage für die Ermittlung von Walzkraft, Drehmoment und Walzarbeit. Ausgangspunkte für die rechnerische Erfassung dieser Vorgänge sind dabei die Gedankengänge von Th. v. Kármán [1] und E. Siebel [2], die hydrodynamische Walztheorie von A. Kneschke [3] sowie empirische Lösungen. Trotz der Vielzahl der inzwischen geschaffenen Berechnungsmöglichkeiten zur Ermittlung von Walzkraft und Drehmoment beim Warmwalzen, bestehen noch erhebliche Schwierigkeiten bei der Handhabung der entsprechenden Gleichungen und Unklarheiten über die Gültigkeit ihrer praktischen Anwendung. Besonders der Betriebsmann verlangt Formeln, die einfach zu handhaben sind und die die Vorgänge im Walzspalt auch quantitativ gut erfassen. Der Grund, daß wertvolle Gedanken bis heute nur beschränkt Eingang in die theoretischen und praktischen Untersuchungsverfahren gefunden haben, dürfte in langwieriger, mathematischer Rechenarbeit zu suchen sein.

R. B. Sims [4] veröffentlichte 1954 Formeln zur Berechnung der Walzkraft und Drehmomente für das Warmwalzen. Ausgangspunkt seiner Betrachtungen sind die Kármán'sche Differentialgleichung [1] sowie die von E. Orwan [5] abgeleitete Fließbedingung für die plastische Formgebung. Es ist ihm gelungen, die abgeleiteten Beziehungen so darzustellen, daß sie einfach anzuwenden sind. Das von Sims entwickelte Verfahren ermöglicht eine Berechnung der technischen Kenngrößen beim Walzen einfacher Querschnitte mit großem Zeitgewinn. Zur Prüfung seiner Brauchbarkeit wurden vom Metallformungs-Institut der Bergakademie Freiberg Walzversuche auf dem als Duo eingerichteten Versuchswalzwerk durchgeführt. Als Versuchswerkstoff diente Stahl C 45, da dessen Formänderungsverhalten von W. Lueg und H. G. Müller [6] auf sehr sorgfältige Art ermittelt worden war. Die Versuchsergebnisse zeigten eine gute Übereinstimmung, so daß es angebracht erschien, Berechnungsunterlagen zur Ermittlung von Walzkraft und Drehmoment für das Warmwalzen nach R. B. Sims zusammenzustellen. Das war möglich, nachdem P. M. Cook [7] und W. Lueg [6] zahlreiche Stähle hinsichtlich ihres Formänderungsverhaltens untersucht hatten, da diese Werte der wesentlichste Bestandteil für die Anwendung des Simsschen Rechenverfahrens sind. Diesen beiden Wissenschaftlern ist eine breite Anwendung dieses Verfahrens durch die Ermittlung zahlreicher k_f -Werte zu verdanken.

Da die Formänderungsfestigkeit bei der Warmformgebung eine Funktion der Temperatur ϑ , der Formänderung φ bzw. ϵ , der Formänderungsgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$ und des Werkstoffes ist,

$$k_{f \text{ warm}} = f(\vartheta, \varphi, \dot{\varphi}, \text{Werkstoff}),$$

ist es notwendig, das Formänderungsverhalten verschiedener Stähle in Abhängigkeit von den vier Einflußgrößen zu erfassen. In den nachstehenden Diagrammen von P. M. Cook und W. Lueg finden diese Erkenntnisse ihren Ausdruck.

Für den Einfluß des Werkstoffes wird neben der Zusammensetzung auch die Korngröße und der Gefügebau von einer gewissen Bedeutung sein.

Die Legierungselemente erhöhen im allgemeinen die Formänderungsfestigkeit. Neben den Kohlenstoffgehalten der Stähle sind deshalb die Anteile der Legierungselemente zu beachten, da der Kohlenstoffgehalt nicht in allen Fällen allein der bestimmende Faktor für eine Erhöhung oder Erniedrigung der Formänderungsfestigkeit sein wird.

Ein Vergleich des Formänderungsverhaltens der beiden unlegierten Kohlenstoffstähle mit 0,56 % C und 1,00 % C (Seiten 37 bis 44 und 47 bis 54) zeigt bei annähernd gleichen Anteilen an Begleitelementen, daß mit steigender Temperatur ab $\approx 1000^\circ\text{C}$ und Formänderungen über $\varphi \approx 0,4$ der höher kohlenstoffhaltige Stahl kleinere k_f -Werte aufweist als der mit niedrigerem C-Gehalt. Die Abweichung der k_f -Werte voneinander wird dabei wesentlich vom Betrag der Formänderungsgeschwindigkeit bestimmt.

Es erschien an dieser Stelle angebracht, auf diese Erscheinung hinzuweisen, um eventuelle Trugschlüsse zu vermeiden.

Die Simssche Theorie und ihre Ableitung soll hier nicht in allen Einzelheiten behandelt werden, sondern das Bestreben besteht vielmehr darin, die für die Berechnung von Walzkraft und Drehmoment erforderlichen Formeln in einer knappen verständlichen Form wiederzugeben, um zusammen mit den k_f -Werten von P. M. Cook und W. Lueg verschiedener Stahlsorten eine Berechnungsunterlage für das Warmwalzen zu schaffen.

Für die Beurteilung des Rechnungsverfahrens erscheint es jedoch erforderlich, die von Sims für die Ableitung seiner Beziehungen gemachten Voraussetzungen kurz anzuführen:

R. B. Sims geht von folgenden Annahmen aus:

- Die Umformung wird als ein annähernd ebener Stauchvorgang angesehen, wobei die Breitung vernachlässigt wird. Diese Voraussetzung ist dann fast genau erfüllt, wenn das Verhältnis von Breite zu Dicke größer als 5, besser noch, wenn es größer als 10 ist.
- Die Reibungskräfte, d. h. das Produkt aus Normalspannung s und Reibungsbeiwert μ , können beim Walzen zwischen trockenen, rauhen Walzen an der Berührungsfläche sehr leicht die Fließgrenze $k_f/2$ des Werkstoffes bei reiner Schubbeanspruchung übersteigen, so daß dort der Höchstwert der Reibungskräfte durch die Fließgrenze gegeben ist. Höhere Kräfte, als zur Überwindung der Fließgrenze erforderlich sind, können sich nicht einstellen.

Dann gilt:

$$\mu \cdot s = \frac{k_f}{2} \quad (\text{für } \mu = 0,4 \text{ und größer}) \quad (1)$$

Darin bedeuten:

μ = Reibungsbeiwert

s = Normalspannung

k_f = Formänderungsfestigkeit

- Der Walzvorgang ist vergleichbar mit einem Stauchvorgang zwischen rauhen, unter dem Walzwinkel α zueinander geneigten, ebener Preßflächen. Unter dieser

Annahme wird von E. Orowan [5] eine Horizontal- und Normalspannung verbindende Fließbedingung der folgenden Form abgeleitet:

$$p = s - \frac{\pi}{4} \cdot k_f \quad (2)$$

Hierin ist p die Horizontalspannung.

d) Beim Auftreten der Walzenabplattung ändert sich der wirksame Walzenradius, da sich der Walzenmittelpunkt nach oben verschiebt. Die Walzenabplattung wird durch die Hitchcock'sche [8] Formel berücksichtigt:

$$R' = R \left(1 + c \frac{P}{b_m \cdot \Delta h} \right) \quad (3)$$

Es bedeuten:

R = Walzenradius in mm

P = Walzkraft in t

Δh = Dickenabnahme oder Stauchung = $\Delta h = h_0 - h_1$ in mm

h_0 = Dicke des Walzgutes vor dem Stich

h_1 = Dicke des Walzgutes nach dem Stich

c = Konstante, die für Stahlwalzen $0,222 \text{ mm}^2/\text{t}$ beträgt

R' = wirksamer oder berichtiger Walzenradius

e) Es wird gesetzt:

$$\sin \alpha = \tan \alpha \approx \alpha$$

$$\cos \alpha = 1 \text{ und } 1 - \cos \alpha = \frac{\alpha^2}{2}$$

Für die kleinen Walzwinkel ist dies in erster Näherung berechtigt.

Wie aus obigen Ausführungen zu ersehen ist, geht Sims bei seinen Betrachtungen davon aus, daß das Walzgut an den Walzen über der Berührungsfläche haftet.

Mit Hilfe dieser Annahmen und der Kármán'schen Differentialgleichung

$$\frac{d(p \cdot h)}{dx} = 2s(\sin \alpha \pm \mu(x) \cdot \cos \alpha) \quad (4)$$

erhält R. B. Sims eine Differentialgleichung der folgenden Form:

$$\frac{d}{d\alpha} \left(\frac{s}{k_f} - \frac{\pi}{4} \right) = \frac{R' \pi \alpha}{2(h_1 + R' \alpha^2)} \pm \frac{R'}{(h_1 + R' \alpha^2)} \quad (5)$$

Wenn der Walzwinkel α klein, die Differenz der Normal- und Vertikalspannung vernachlässigbar ist und ebene Verformung herrscht, so läßt sich die spezifische Walzkraft als Summe der Normalspannung s entlang des Berührungsbogens ausdrücken:

$$P = R' \int_0^{\alpha_1} s \cdot d\alpha \quad (6)$$

Werden die Lösungen der obigen Differentialgleichung (5) in Gleichung (6) eingeführt, so erhält Sims die einfache Walzkraftformel

$$P = k_f \sqrt{R' \Delta h} \cdot b_m \cdot Q_P \left(\frac{R'}{h_1}, \varepsilon \right) \quad (7)$$

Darin ist Q_P eine Funktion des Verhältnisses $\frac{R'}{h_1}$ und der bezogenen Formänderung

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$

Für die Berechnung des spezifischen Drehmomentes geht Sims davon aus, daß das Drehmoment

$$Md = 2 \cdot RR' \int_0^{\alpha_1} s \cdot \alpha \cdot d\alpha \quad (8)$$

ist. Mit den Lösungen der Differentialgleichung erhält er wiederum eine einfache Formel für die Ermittlung des Drehmomentes:

$$Md = 2 RR' \cdot k_f \cdot b_m \cdot Q_G \left(\frac{R'}{h_1}, \varepsilon \right) \quad (9)$$

Q_G ist ebenfalls eine Funktion von R'/h_1 und ε .

In Formel (7) und (9) bedeuten:

k_f = Formänderungsfestigkeit des Walzgutes (n. Diagramm)

b_m = mittlere Walzgutbreite

$\Delta h = h_0 - h_1$ = Dickenabnahme

R = Walzenradius

R' = berichtigter Walzenradius der abgeplatteten Walze nach Hitchcock gemäß Formel (3)

Q_P u. Q_G = Rechenwerte von R. B. Sims vertafelt (siehe Tab. 1 bzw. Bilder 1 und 2)

Zu erwähnen ist noch, daß für das Warmwalzen in guter Näherung $R' = R$ gesetzt werden kann.

Wenn der Walzwinkel α klein, die Differenz der Normal- und Vertikalspannung vernachlässigbar ist und ebene Verformung herrscht, so läßt sich die spezifische Walzkraft als Summe der Normalspannung σ entlang der Berührungslinie ausdrücken:

Der Walzkraftverlauf ist in der Abbildung dargestellt. Unter dem Winkel α wirkt die Normalspannung σ ein, unter dem Winkel β die Vertikalspannung τ .

Tabelle 1

Zahlenwerte der Funktionen $Q_P (R'/h_1, \Delta h/h_0)$ und $Q_G (R'/h_1, \Delta h/h_0)$

$\Delta h/h_0$	$\frac{R'}{h_1}$	Q_P	Q_G	$\Delta h/h_0$	$\frac{R'}{h_1}$	Q_P	Q_G
0,1	5	0,9513	0,0114	0,1	100	1,5976	0,00115
0,2		1,0109	0,0267	0,2		1,9630	0,0031
0,3		1,0485	0,0465	0,3		2,2628	0,0059
0,4		1,0685	0,0720	0,4		2,5232	0,0097
0,5		1,0719	0,1053	0,5		2,7563	0,0150
0,6		1,0545	0,1509	0,6		2,9549	0,0226
0,1	10	1,0285	0,0063	0,1	150	1,7814	0,0008
0,2		1,1257	0,0154	0,2		2,2387	0,0024
0,3		1,1952	0,0274	0,3		2,6129	0,0046
0,4		1,2443	0,0431	0,4		2,9422	0,0077
0,5		1,2761	0,0640	0,5		3,2407	0,0119
0,6		1,2852	0,0931	0,6		3,5021	0,0180
0,1	20	1,1371	0,0036	0,1	200	1,9397	0,0007
0,2		1,2863	0,0091	0,2		2,4699	0,0020
0,3		1,4006	0,0166	0,3		2,9061	0,0039
0,4		1,4908	0,0266	0,4		3,2943	0,0065
0,5		1,5609	0,0401	0,5		3,6486	0,0101
0,6		1,6072	0,0591	0,6		3,9630	0,0153
0,1	30	1,2219	0,0027	0,1	250	2,0776	0,00065
0,2		1,4093	0,0069	0,2		2,6694	0,0017
0,3		1,5567	0,0126	0,3		3,1678	0,0034
0,4		1,6795	0,0203	0,4		3,6066	0,0057
0,5		1,7792	0,0310	0,5		4,0103	0,0090
0,6		1,8528	0,0459	0,6		4,3684	0,0136
0,1	50	1,3521	0,00175	0,1	300	2,2012	0,0005
0,2		1,6044	0,0049	0,2		2,8570	0,0016
0,3		1,8066	0,0090	0,3		3,3996	0,0030
0,4		1,9763	0,0148	0,4		3,8879	0,0052
0,5		2,1234	0,0226	0,5		4,3354	0,0080
0,6		2,2413	0,0337	0,6		4,7353	0,0123

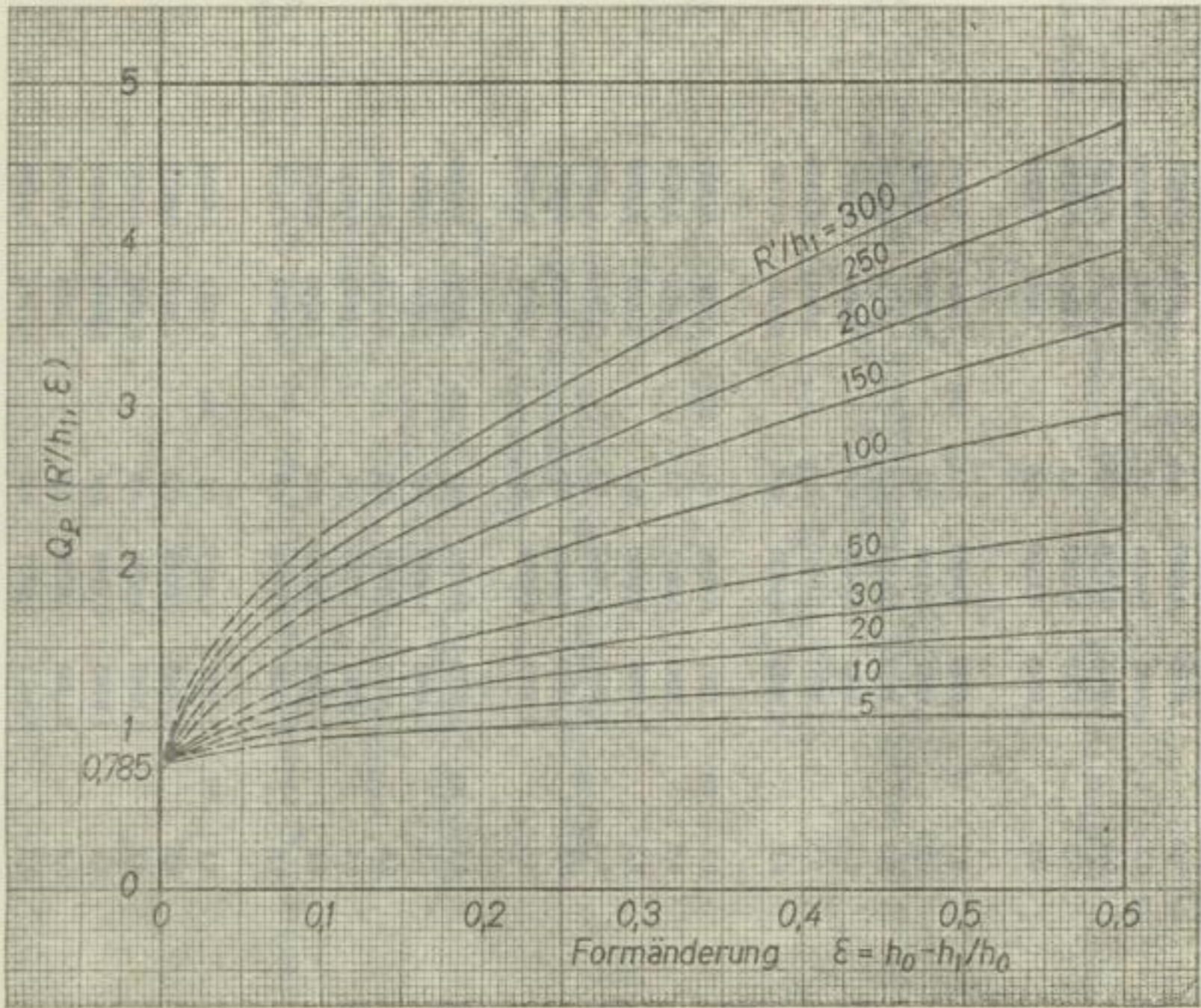


Bild 1
 Q_p -Funktion
 nach R. B. Sims

Durch die Kurven der Abb. 1 ist die Funktion $Q_p(R'/h_1, \epsilon)$ für die verschiedenen Werte von R'/h_1 dargestellt. Die Kurven sind für $\epsilon = 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6$ gezeichnet. Die Kurven sind für $R'/h_1 = 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300$ gezeichnet. Die Kurven sind für $R'/h_1 = 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300$ gezeichnet.

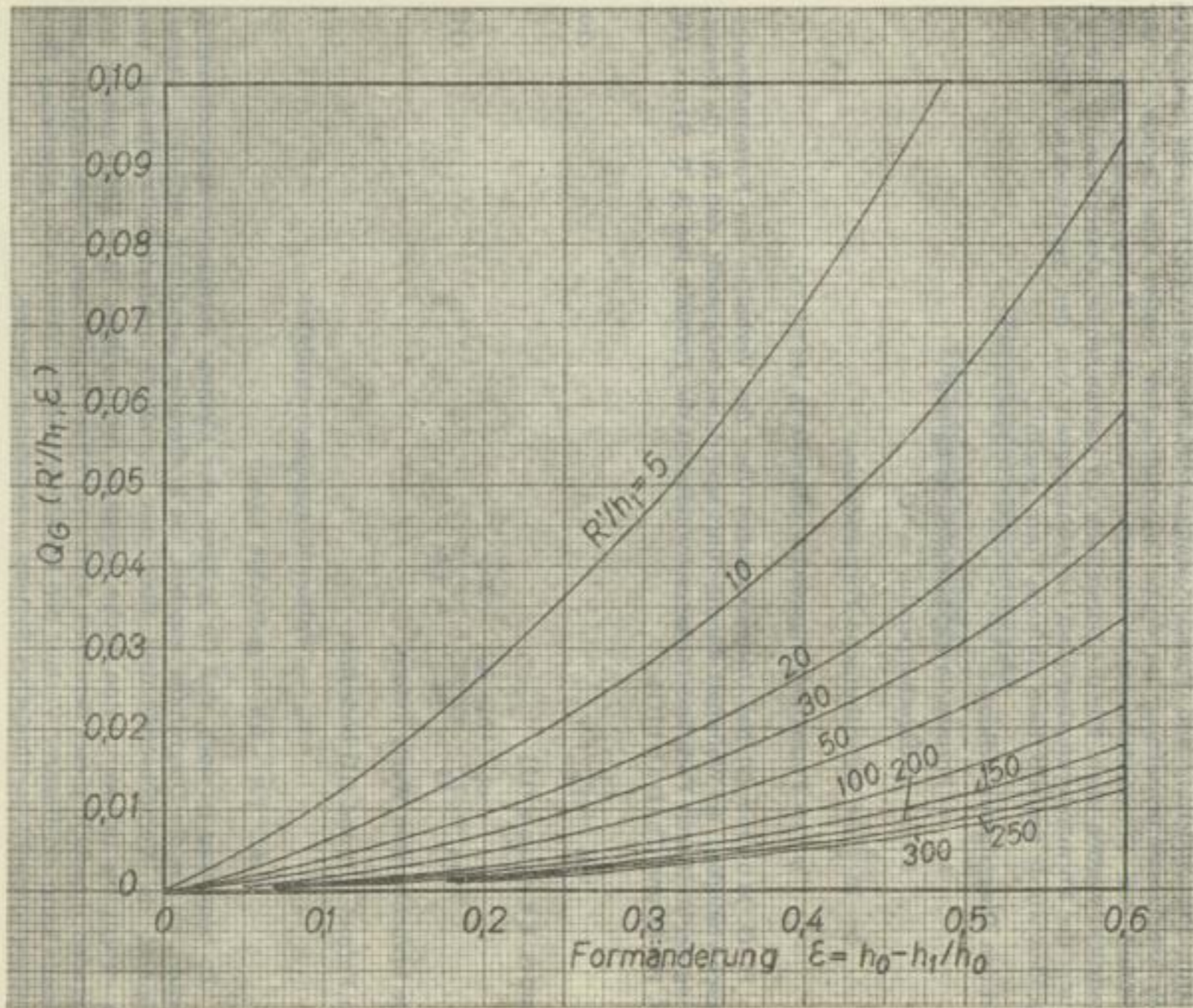


Bild 2
 Q_G -Funktion
nach R. B. Sims

Das Formänderungsverhalten bei der Warmformgebung von Stahl

Wie bereits erwähnt, wurden k_f -Werte von P. M. Cook und W. Lueg ermittelt. Sie bilden die Grundlage für das Simssche Rechnungsverfahren. Der Verlauf der Formänderungsfestigkeit für die Warmformgebung in Abhängigkeit von der Temperatur, Formänderung und Formänderungsgeschwindigkeit ergibt für eine bestimmte Werkstoffzusammensetzung im doppeltlogarithmischen System eine Gerade, da der Einfluß der Formänderungsgeschwindigkeit durch eine Exponentialfunktion ausgedrückt werden kann. Für die Darstellung der nachstehenden Diagramme zur Ermittlung der Formänderungsfestigkeit in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflußgrößen wurde deshalb diese einfache Form gewählt.

In den Diagrammen bedeuten:

$$\begin{aligned}k_f &= \text{Formänderungsfestigkeit in kg/mm}^2 \\ \vartheta &= \text{Walzguttemperatur in } ^\circ\text{C} \\ \varphi &= \ln \frac{h_0}{h_1} = \text{logarithmische Formänderung} \\ \dot{\varphi} &= \text{Formänderungsgeschwindigkeit in sec}^{-1}\end{aligned}$$

H. G. Müller [9] hat Untersuchungen über das Verhalten der Formänderungsgeschwindigkeit im Walzspalt durchgeführt und dabei festgestellt, daß für die Ermittlung der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit die Formeln von R. B. Sims [10], H. Hoff und Th. Dahl [11]

$$\dot{\varphi}_m = \frac{v_u}{l_d} \cdot \varphi \quad (10)$$

und S. Ekelund [12]

$$\dot{\varphi}_m = \frac{v_u}{l_d} \cdot \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot \frac{2h_0}{h_0 + h_1} \quad (11)$$

die brauchbarsten Werte liefern.

In Formel (10) und (11) bedeuten:

$$\begin{aligned}v_u &= \text{Walzenumfangsgeschwindigkeit} \\ l_d &= \sqrt{R \cdot \Delta h} = \text{gedrückte Länge}\end{aligned}$$

Zu bemerken ist noch, daß für größere oder kleinere Formänderungsgeschwindigkeiten, als sie die Diagramme angeben, die k_f -Geraden geradlinig verlängert werden können, da Versuchsergebnisse über das Formänderungsverhalten von $\dot{\varphi} = 0,01$ bis 100 sec^{-1} eine solche Annahme rechtfertigen. Eine Verlängerung der Geraden innerhalb dieses Bereiches wird zu richtigen Ergebnissen führen; auch darüber hinaus kann ein linearer Verlauf der Formänderungsfestigkeit in der gegebenen Darstellung (doppeltlogarithmisches System) angenommen werden.

Formänderungsfestigkeit verschiedener Stähle

(v. F. M. Cook)

0,15 C

0,15 Si

0,05 Mn

0,024 S

0,005 P

Das Formänderungsverhalten bei der Warmumgebung von Stählen

Wie bereits erwähnt, wurden k_f -Werte von P. M. Cook und W. Luag ermittelt. Sie bilden die Grundlage für das Sims'sche Rechenverfahren. Der Verlauf der Formänderungsfestigkeit für die Warmumgebung in Abhängigkeit von der Temperatur, Formänderung und Formänderungsgeschwindigkeit ergibt für eine bestimmte Werkstofftemperatur im doppeltlogarithmischen System eine Gerade, da der Einfluß der Formänderungsgeschwindigkeit durch eine Exponentialfunktion ausgedrückt werden kann. Für die Darstellung der nachstehenden Diagramme zur Ermittlung der Formänderungsfestigkeit in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflußgrößen wurde deshalb diese einfache Form gewählt.

Formänderungsfestigkeit

In den Diagrammen bedeuten:

- k_f → Formänderungsfestigkeit
- θ → Walztemperatur in °C
- $\ln \frac{h_0}{h}$ → logarithmische Formänderung
- $\dot{\epsilon}$ → Formänderungsgeschwindigkeit in sec^{-1}

verschiedener Stähle

H. G. Müller [6] hat Untersuchungen über das Verhalten der Formänderungsgeschwindigkeit im Walzpaß durchgeführt und dabei festgestellt, daß für die Ermittlung der mittleren Formänderungsgeschwindigkeit die Formeln von R. B. Sims [10], H. Hoff und Th. Dahl [11]

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{v_0}{L} \cdot \frac{h_0 - h}{h_0} \quad (10)$$

und S. Skelway [12]

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{v_0}{L} \cdot \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot \frac{2h_0}{h_0 + h} \quad (11)$$

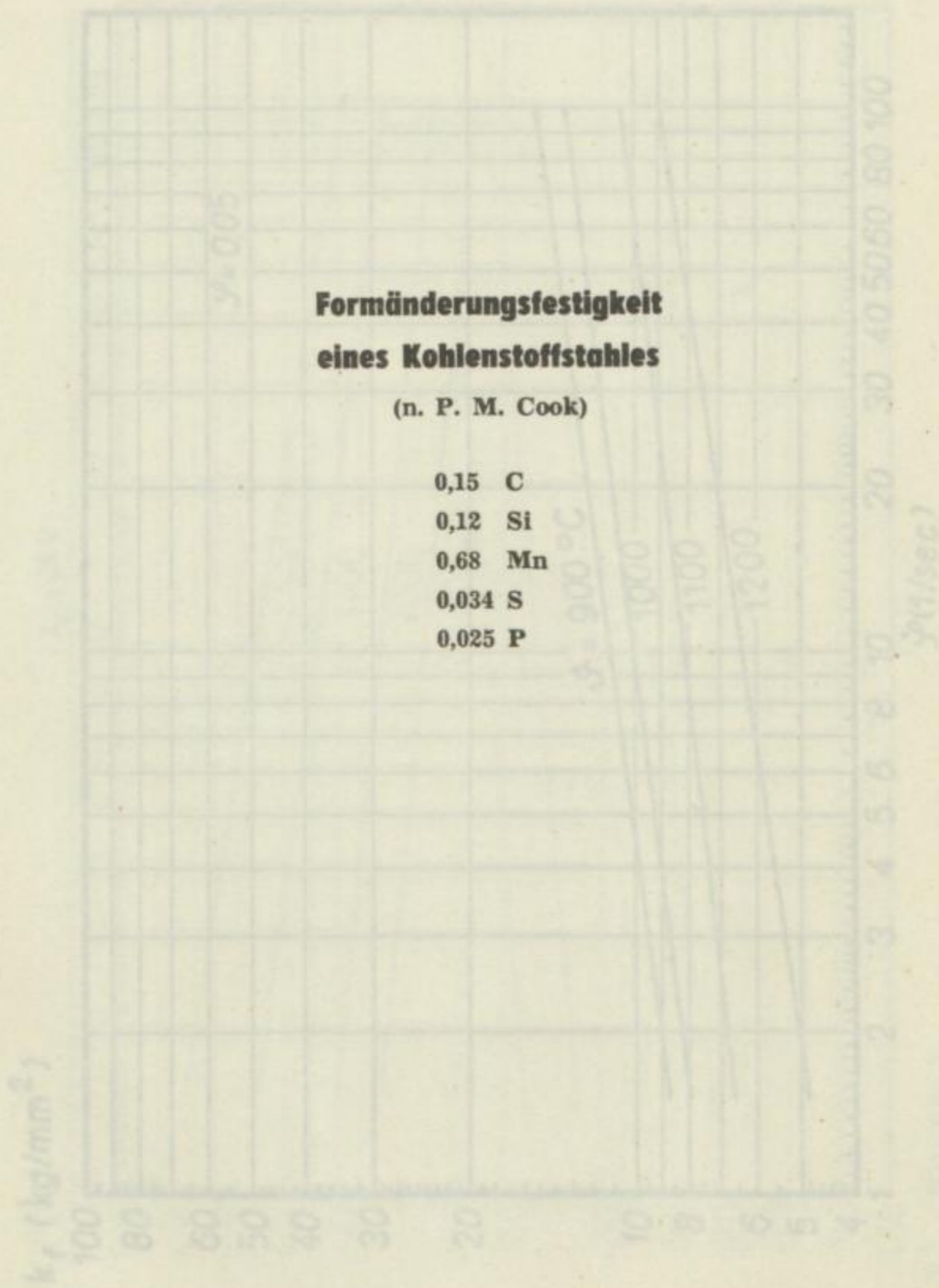
die brauchbarsten Werte liefern.

In Formel (10) und (11) bedeuten:

v_0 → Walzumfangsgeschwindigkeit

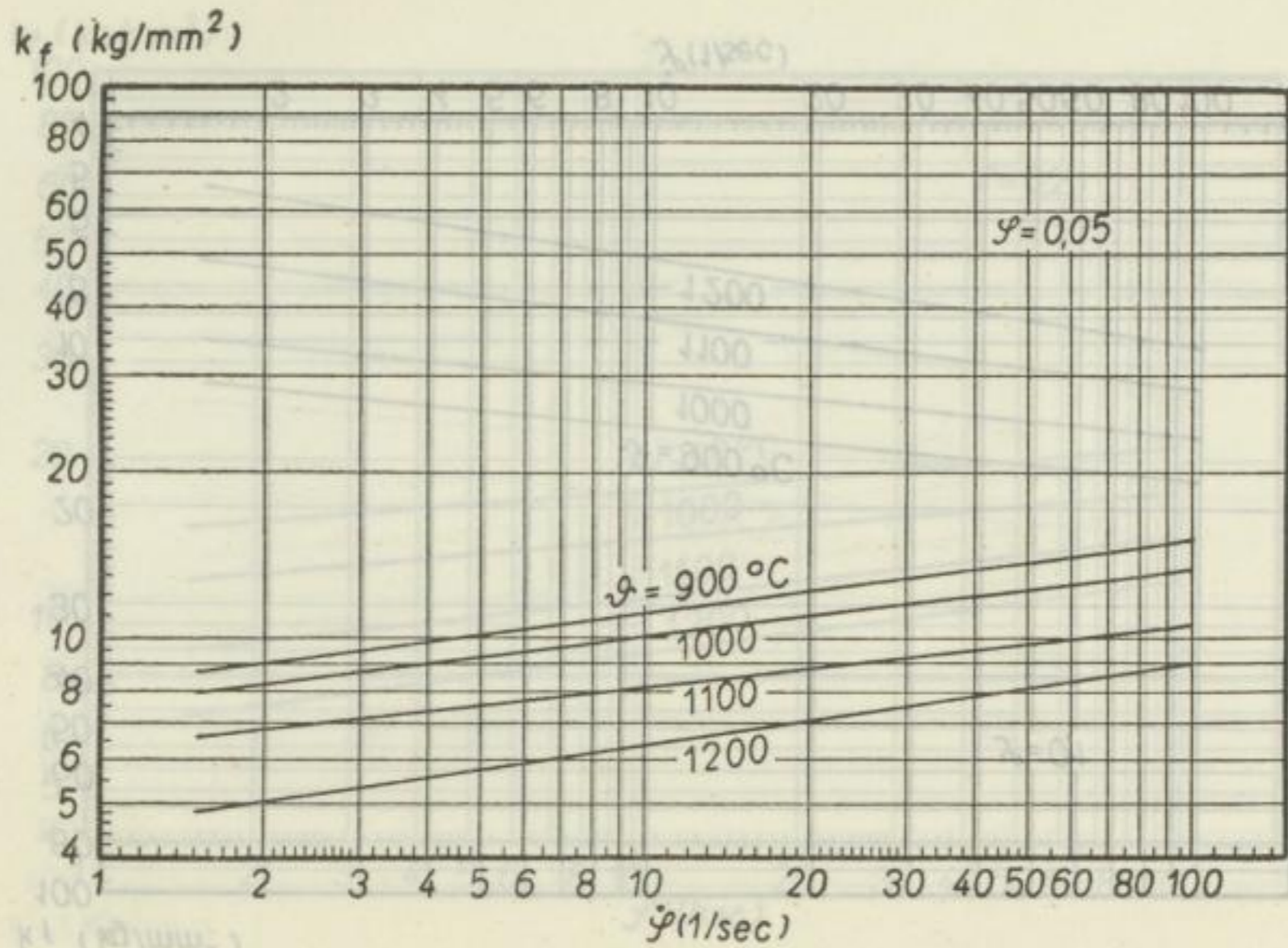
L → gedrückte Länge

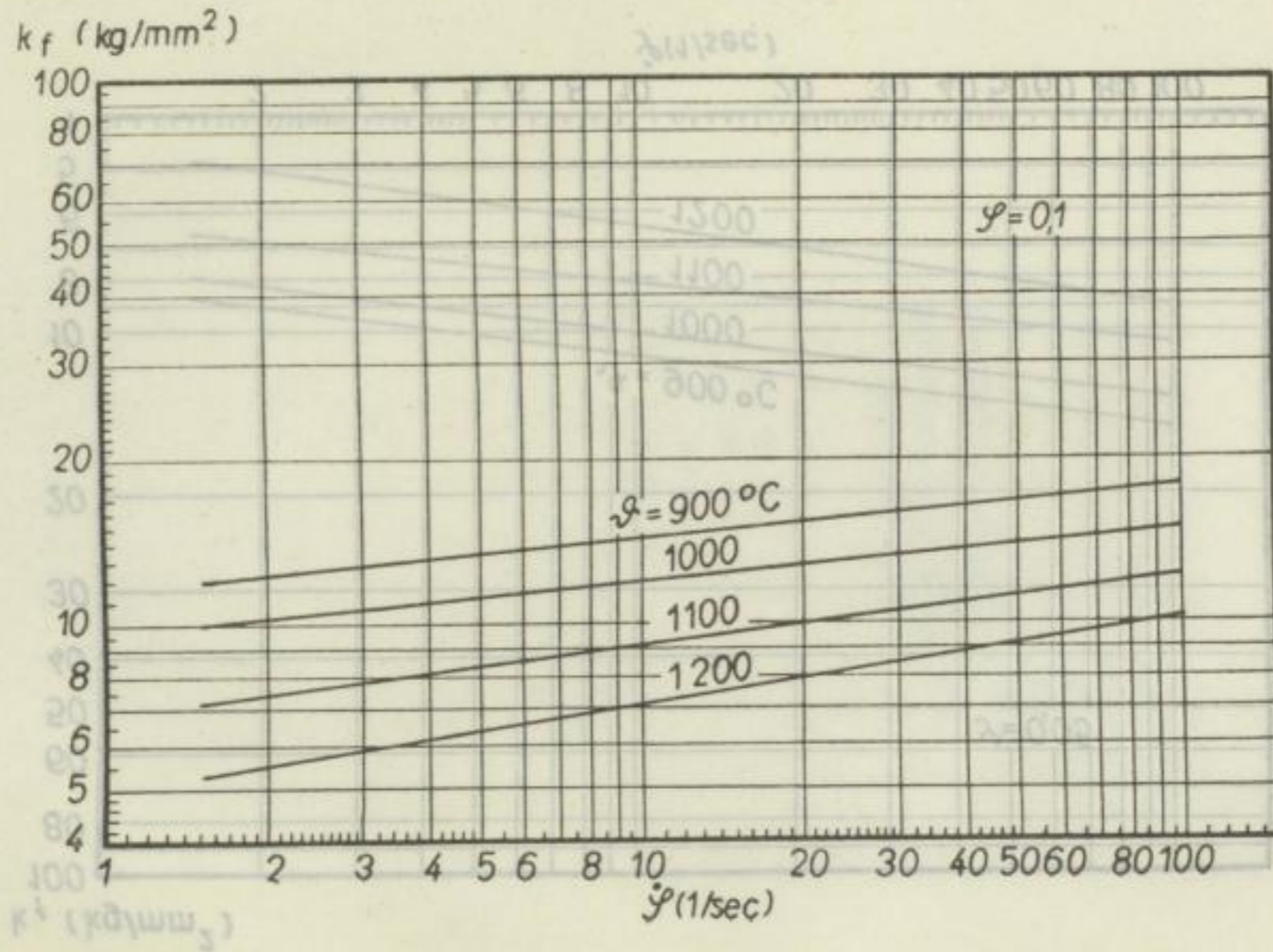
Zu beachten ist noch, daß für größere oder kleinere Formänderungsgeschwindigkeiten, als sie die Diagramme angeben, die k_f -Geraden geradlinig verlängert werden können, da Versuchsergebnisse über das Formänderungsverhalten von $\dot{\epsilon} = 0,01$ bis 100 sec^{-1} eine solche Art der Verlängerung der Geraden innerhalb dieses Bereiches wird zu richtigen Ergebnissen führen; auch darüber hinaus kann ein linearer Verlauf der Formänderungsfestigkeit in der angegebenen Darstellung hyperlogarithmisches System angenommen werden.



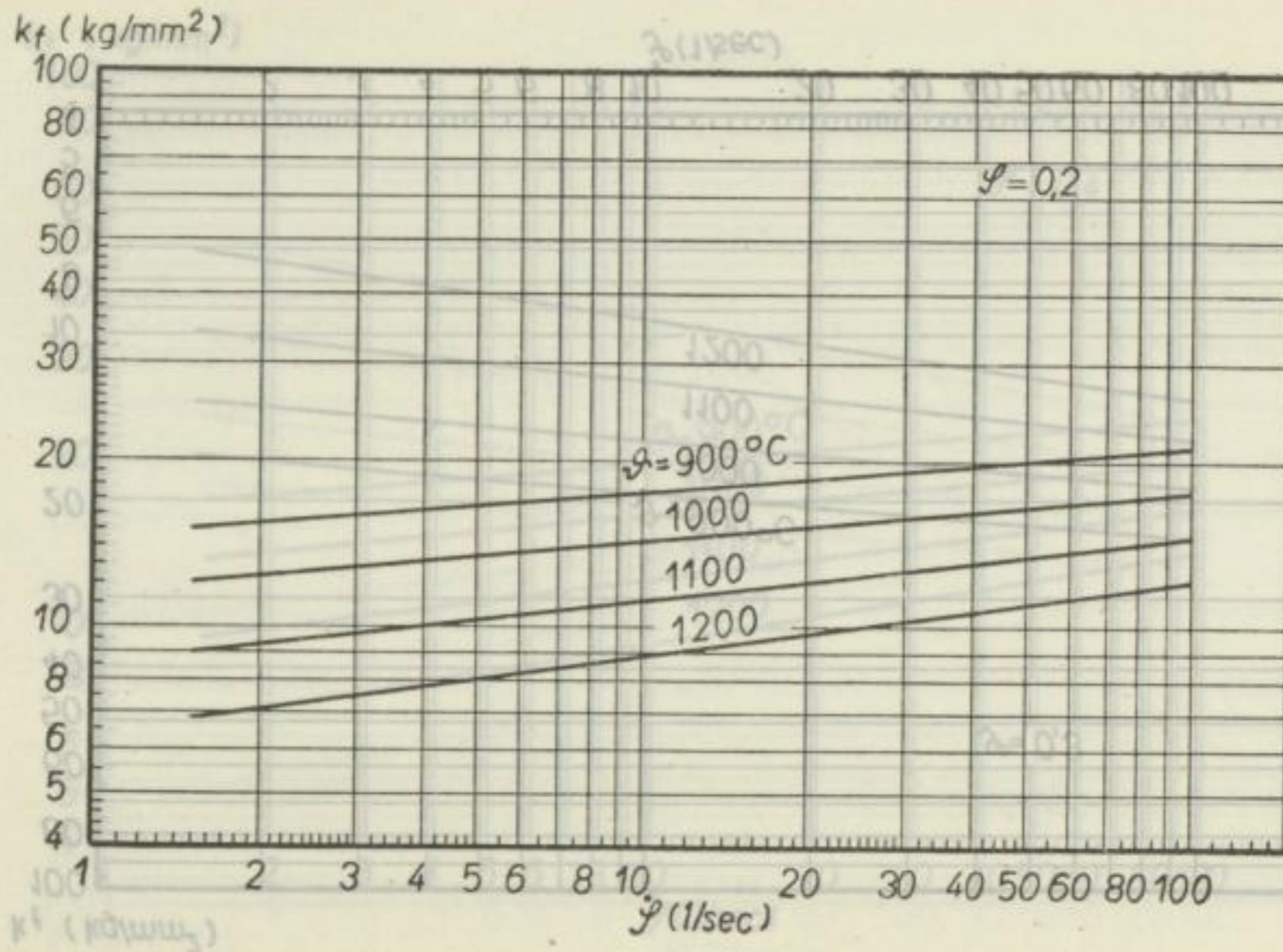
Formänderungsfähigkeit
eines Kohlenstoffstahles
(v. F. M. Cook)

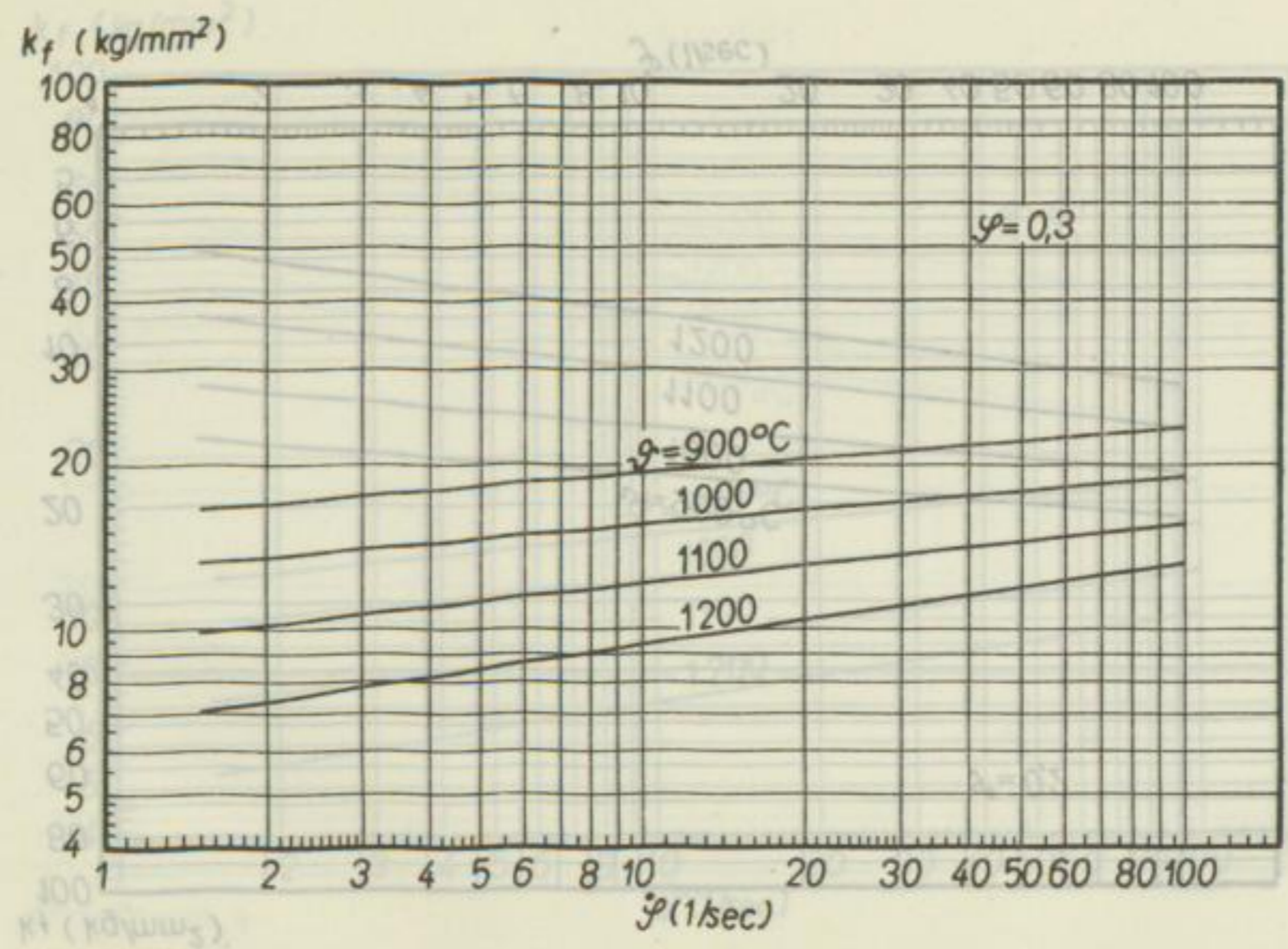
0,12 C
0,12 Si
0,68 Mn
0,021 S
0,022 P



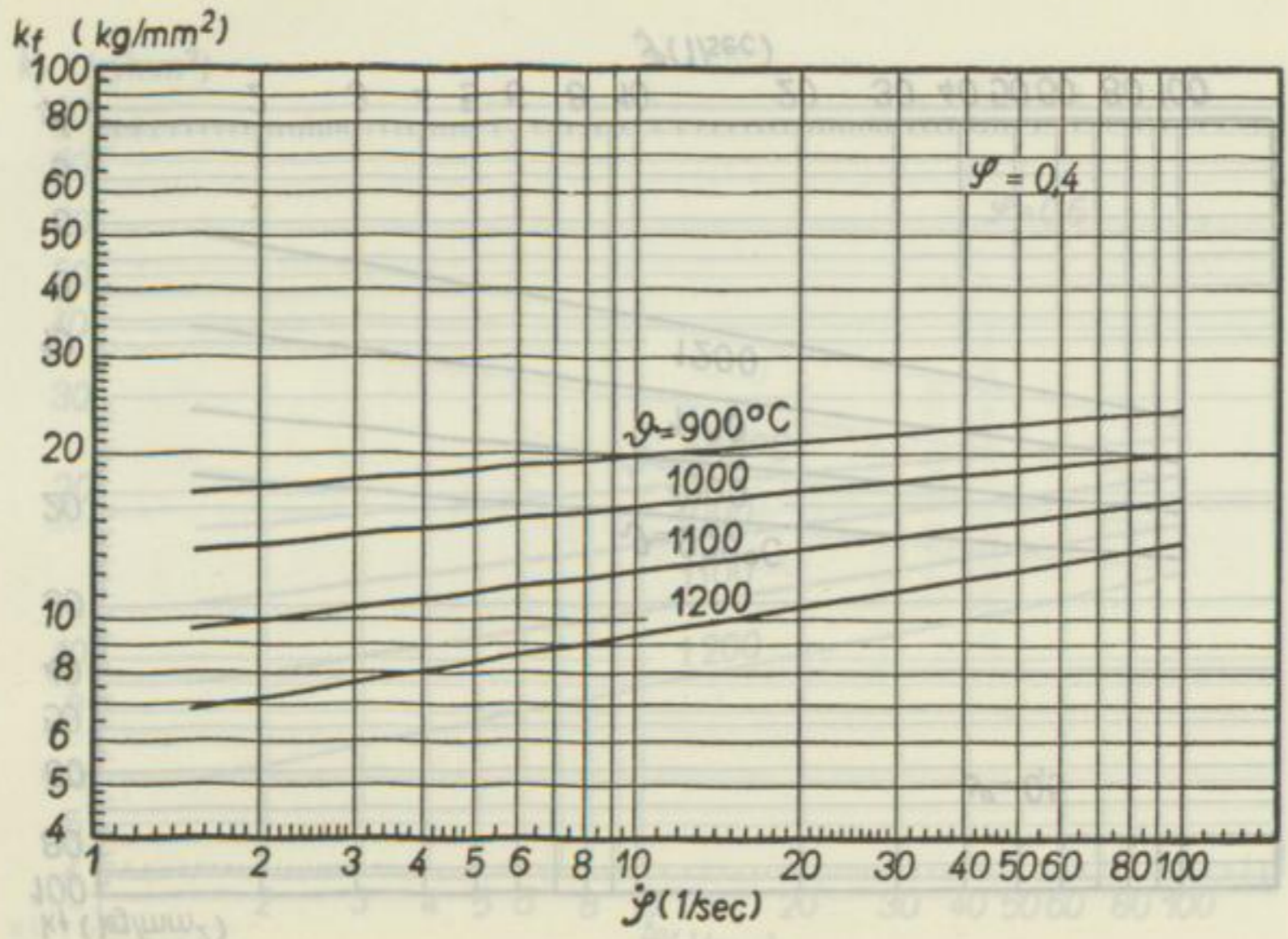


Karlheinz Weber

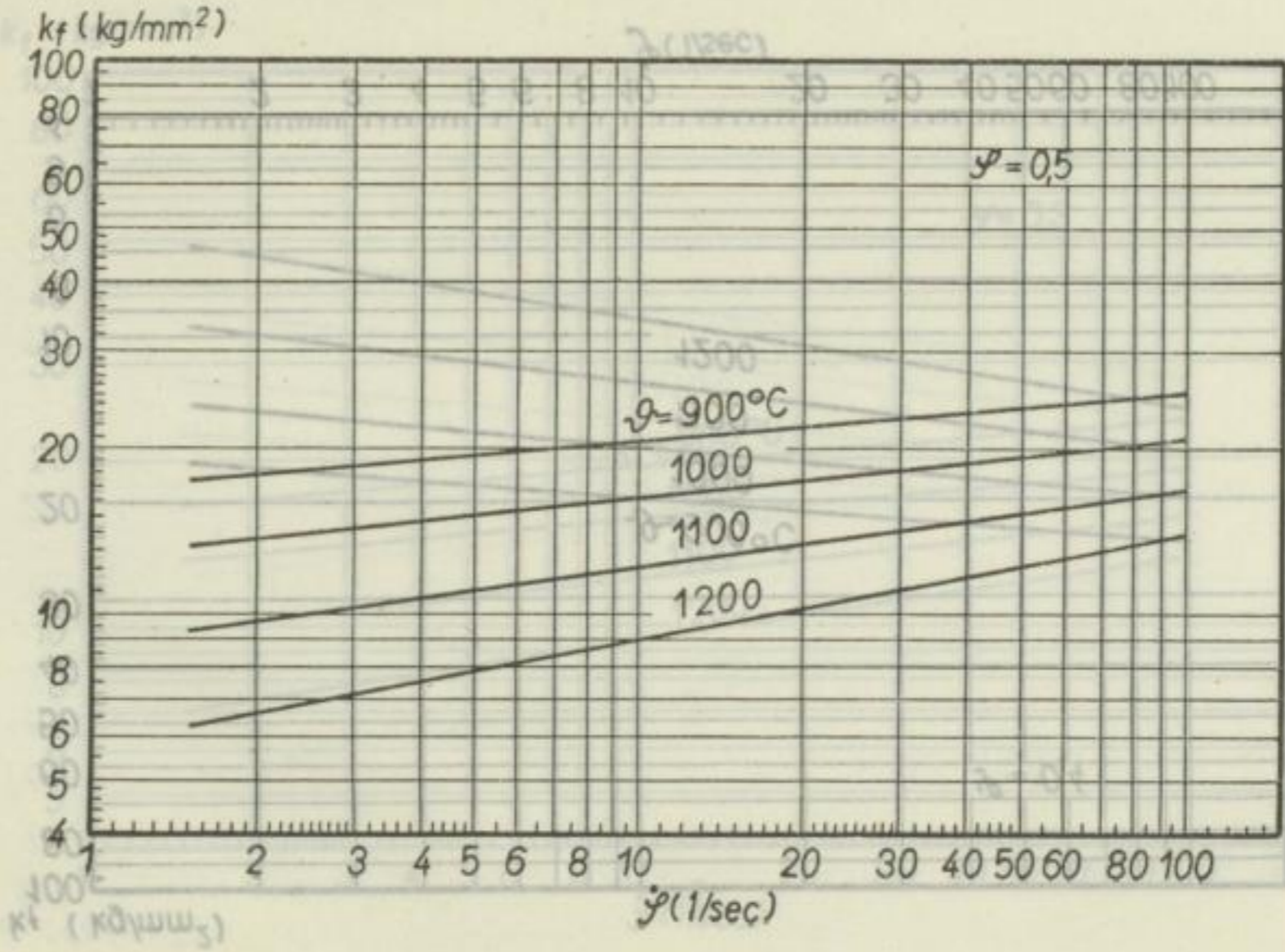




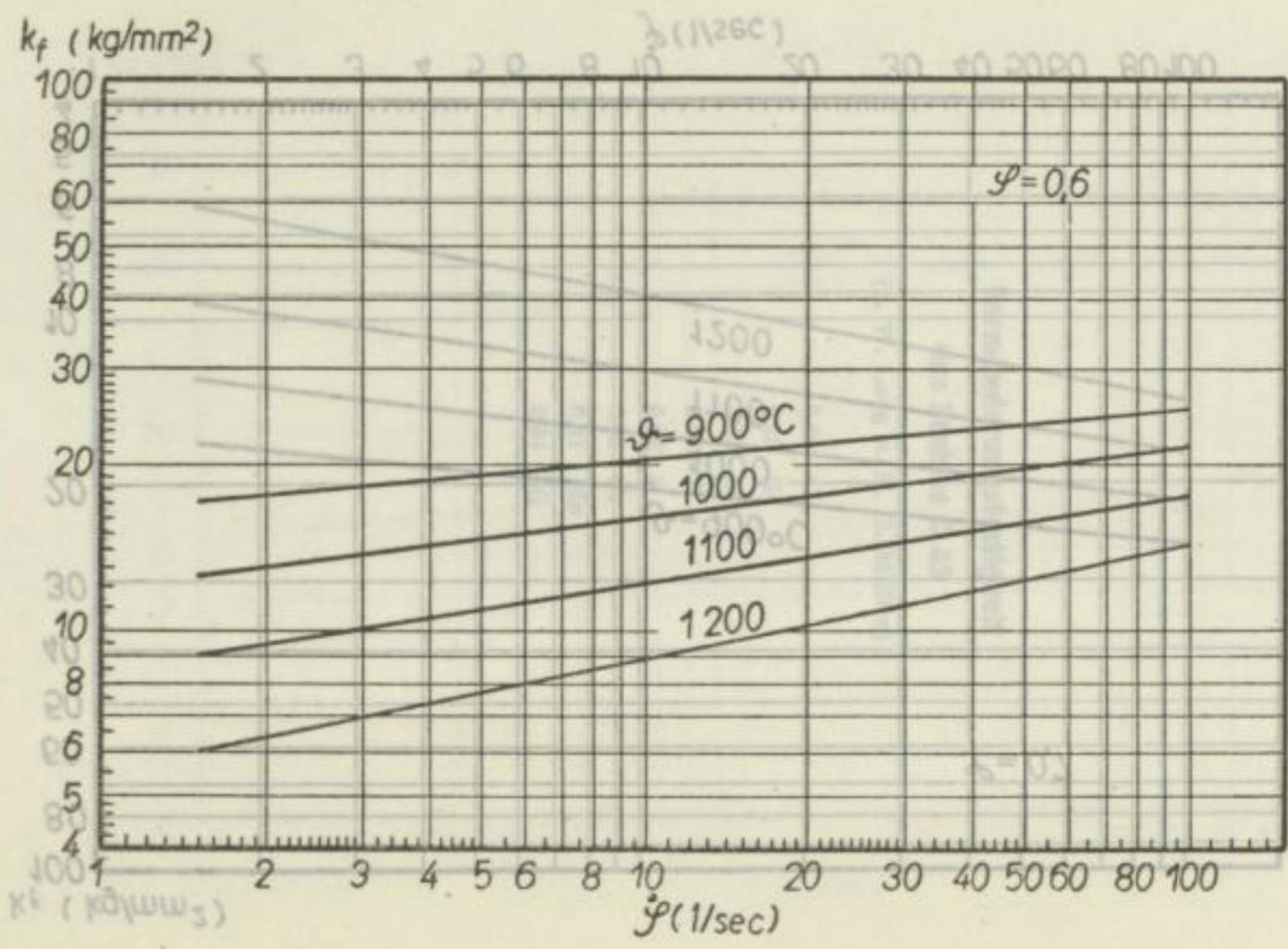
Karlheinz Weber



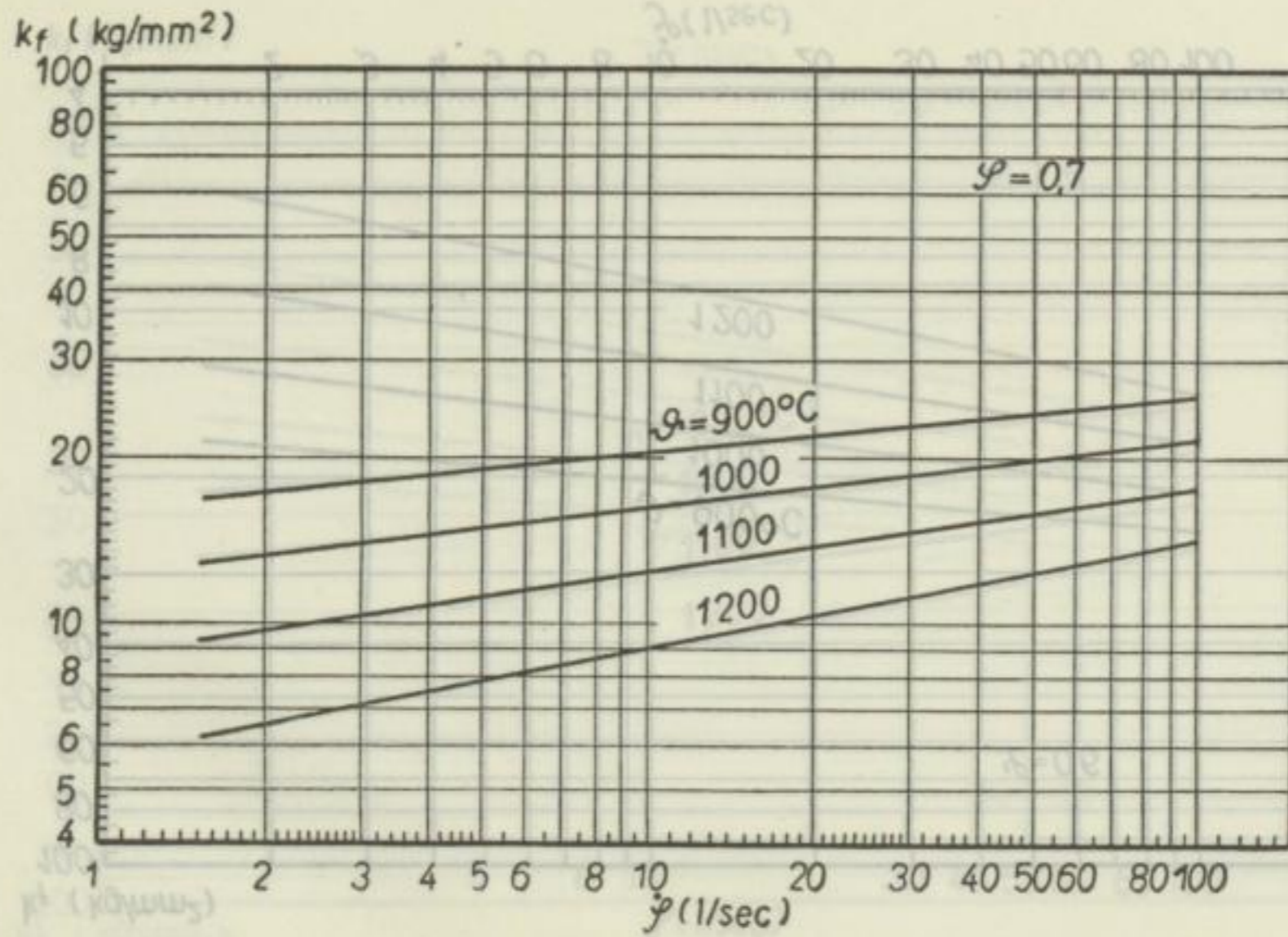
Berechnung von Walzkraft und Drehmoment

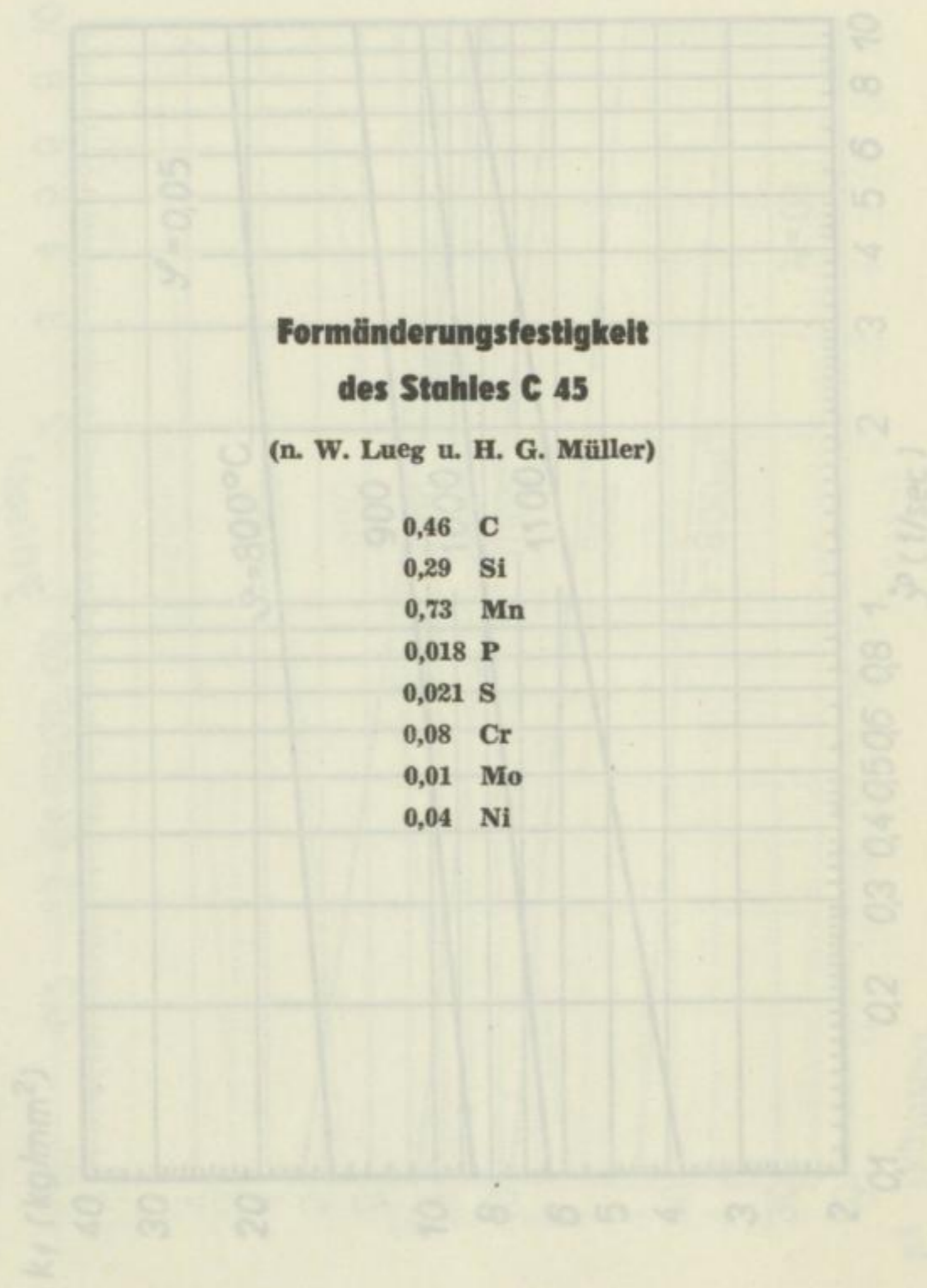


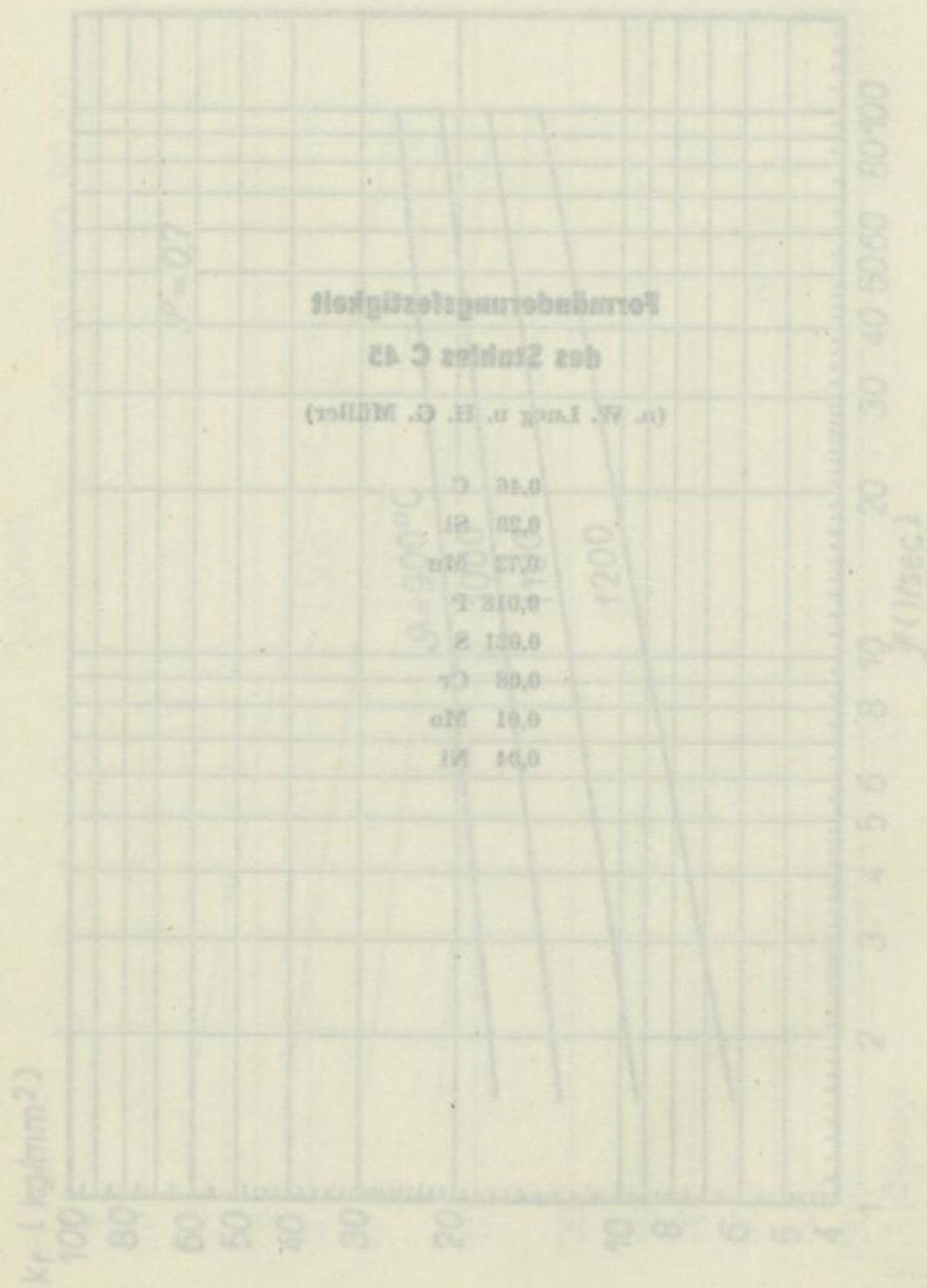
Karlheinz Weber

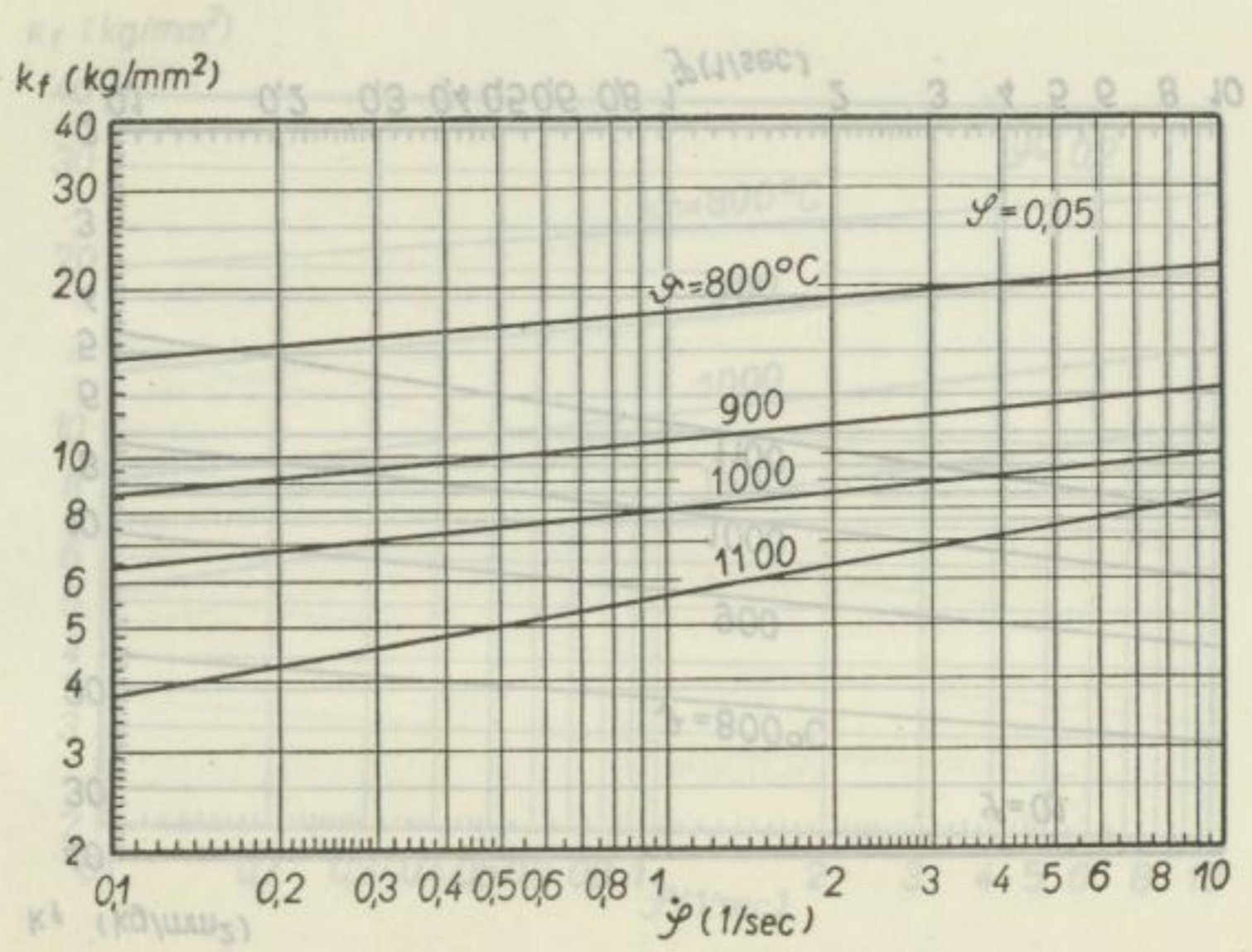


Berechnung von Walzkraft und Drehmoment

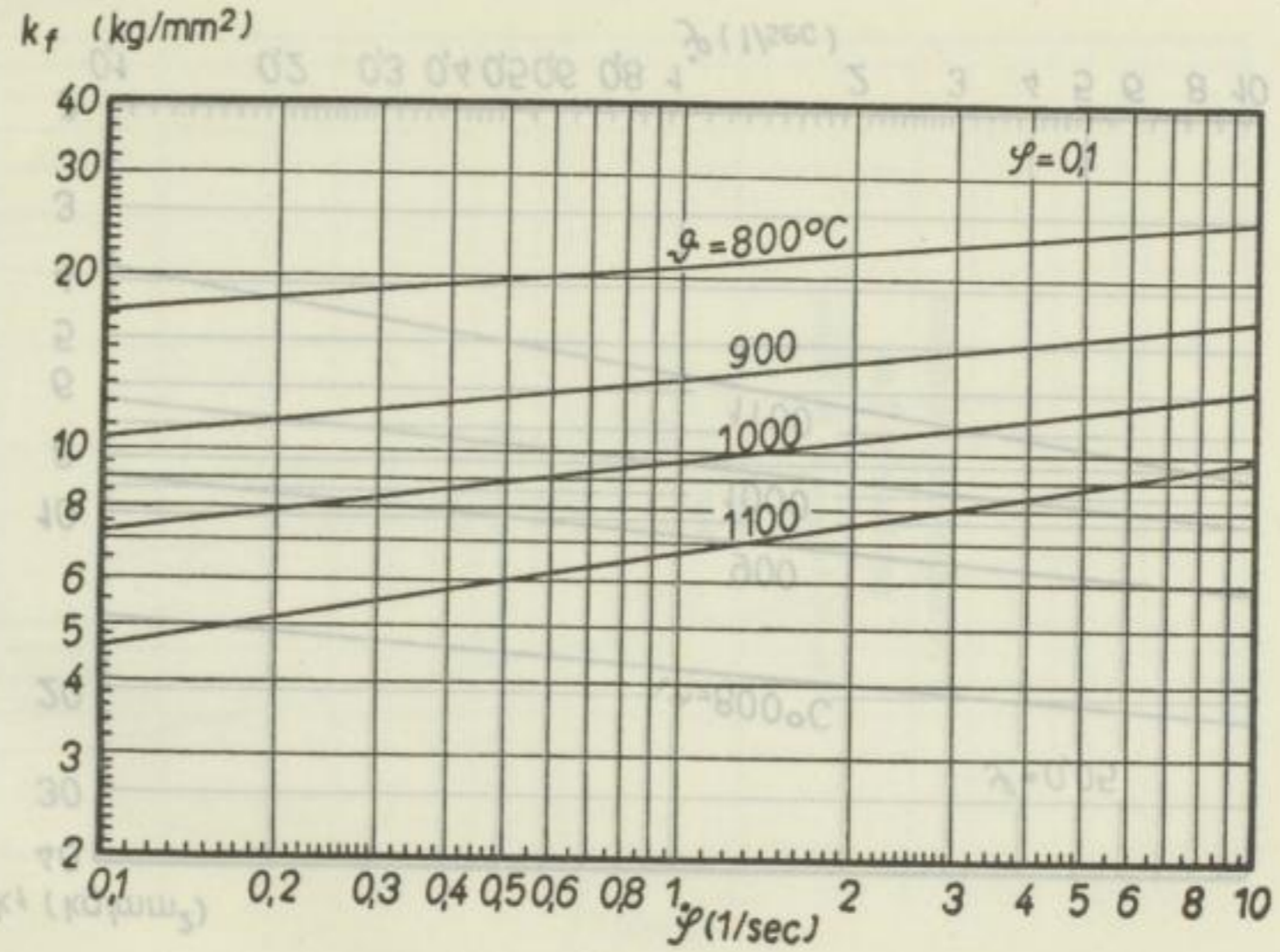




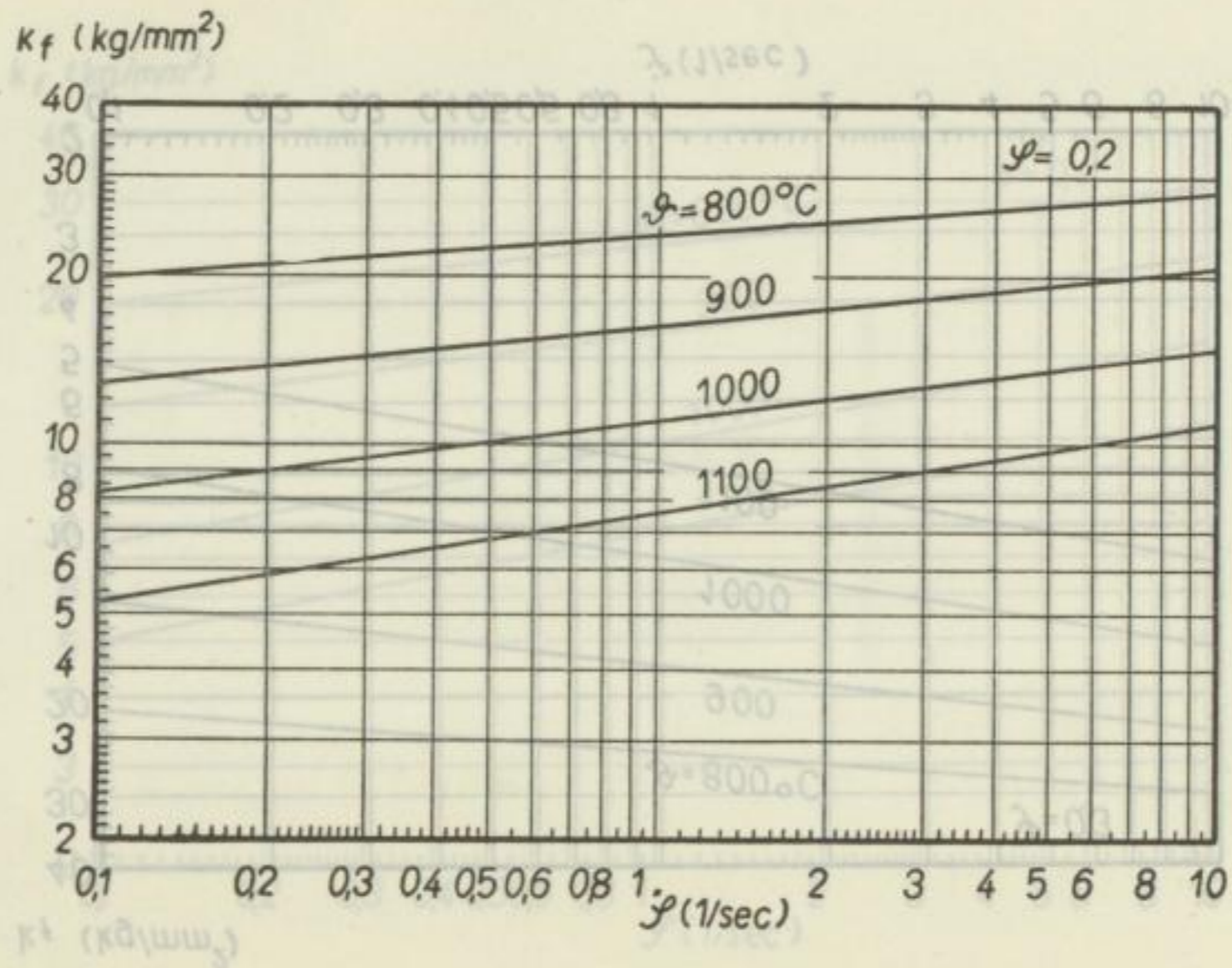


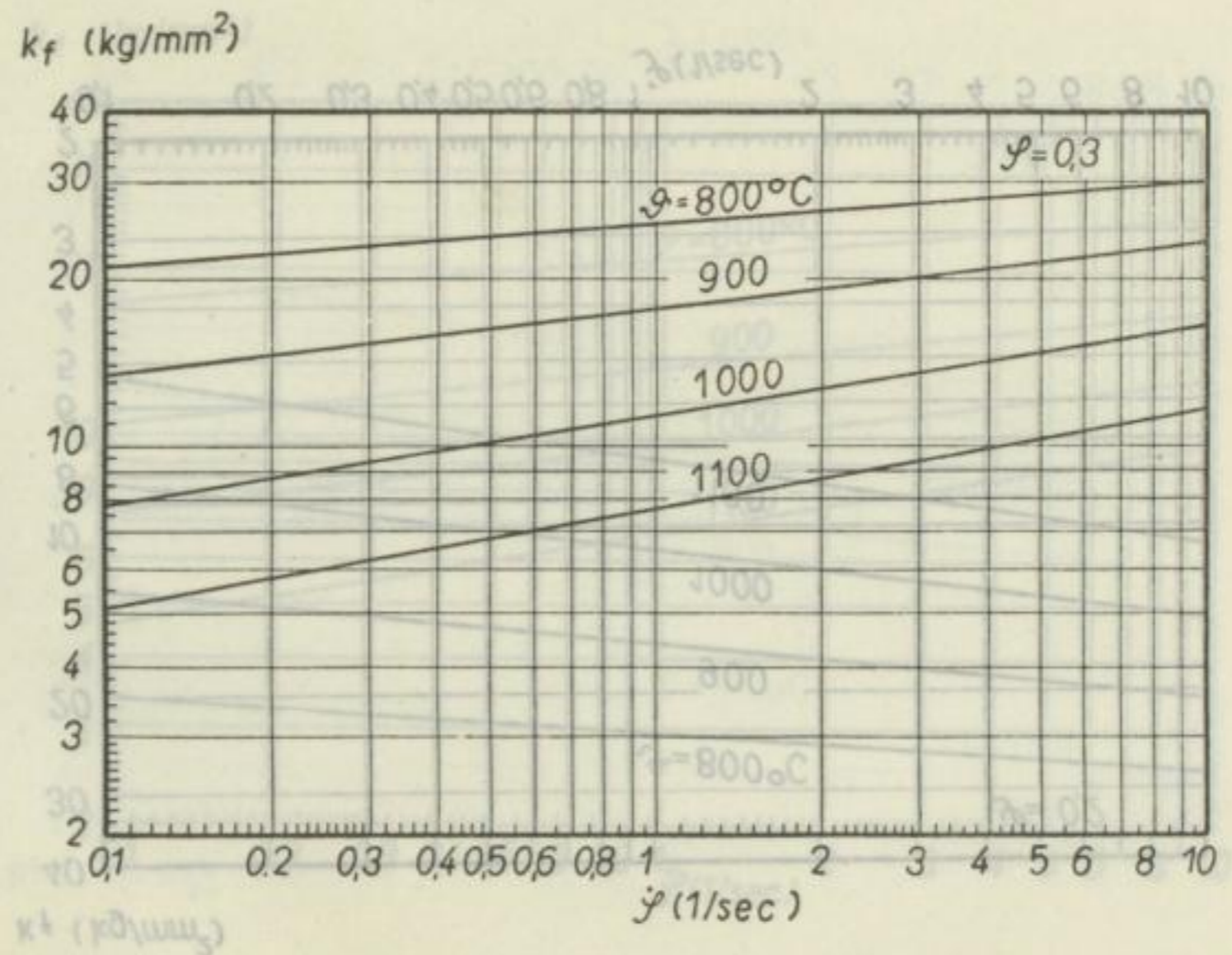


Berechnung von Walzkraft und Drehmoment



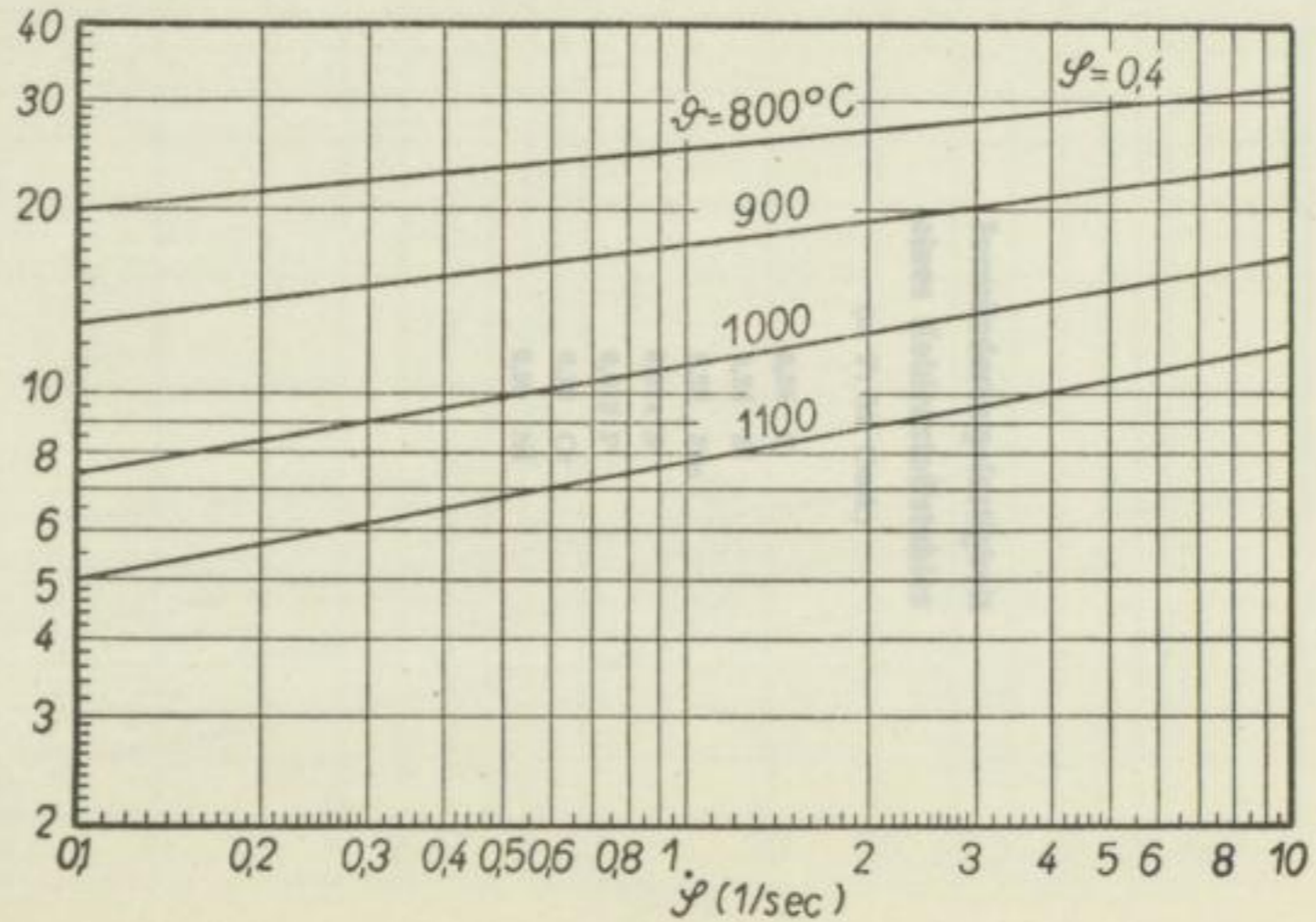
Karlheinz Weber

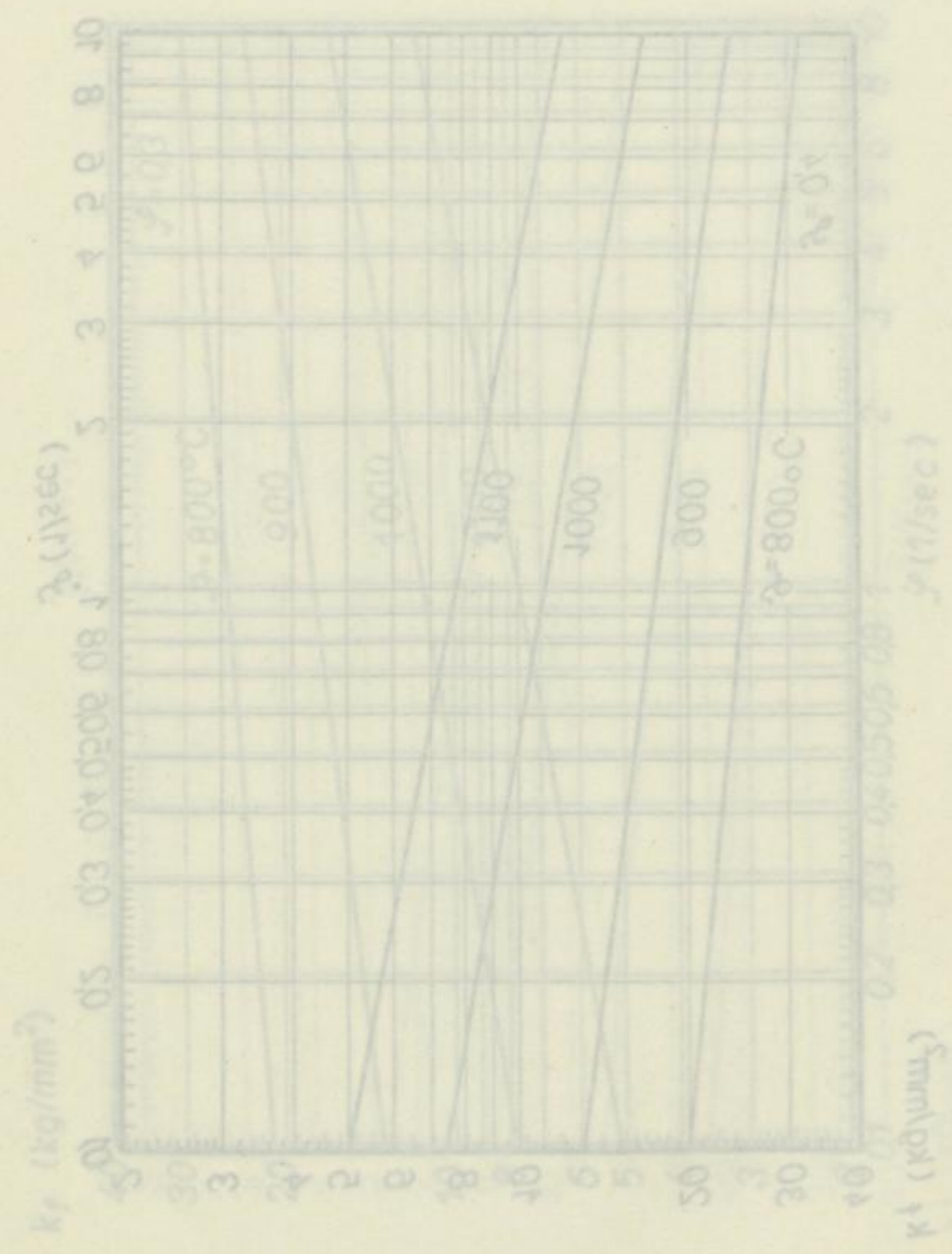


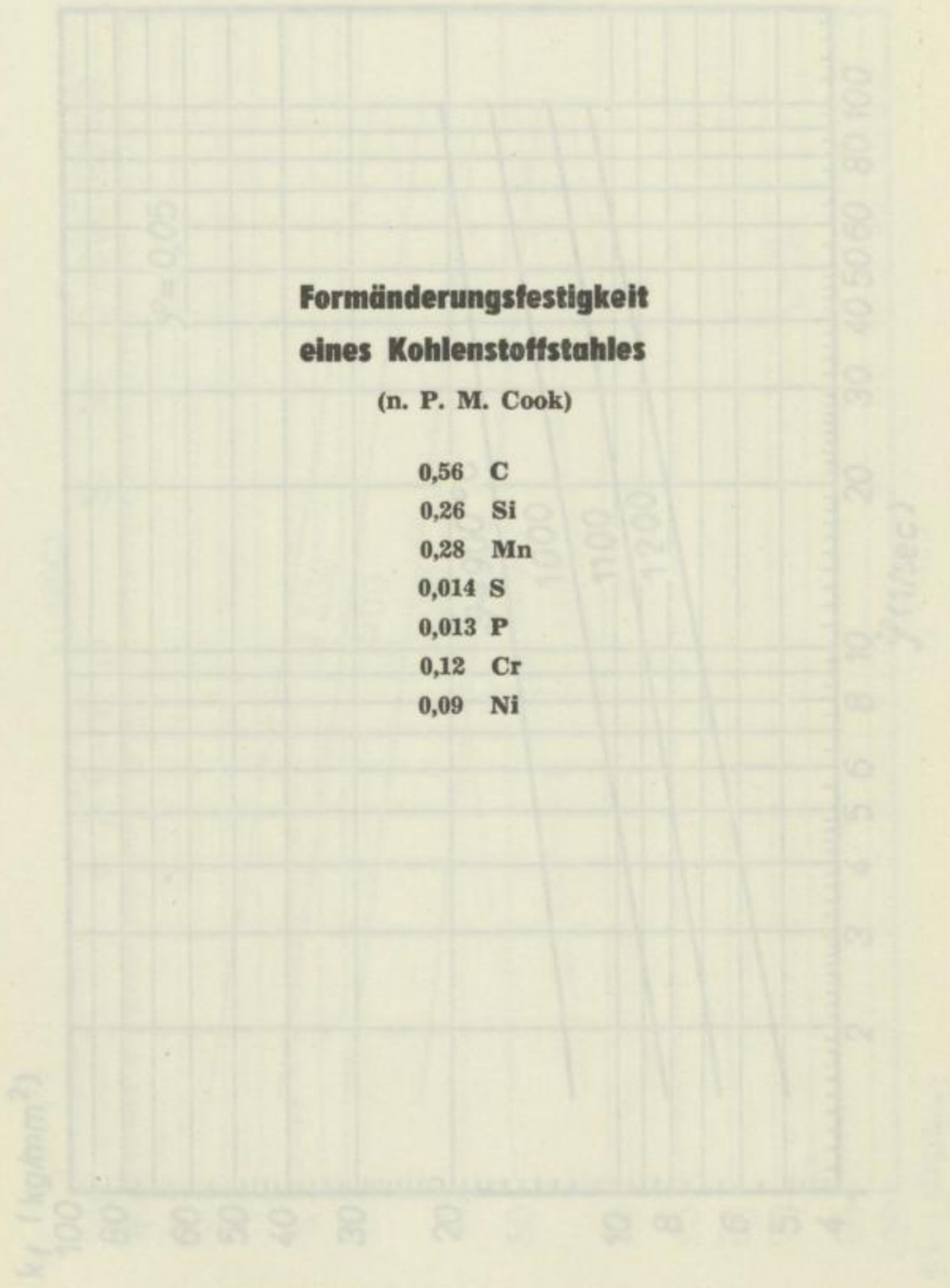


Karlheinz Weber

k_f (kg/mm²)



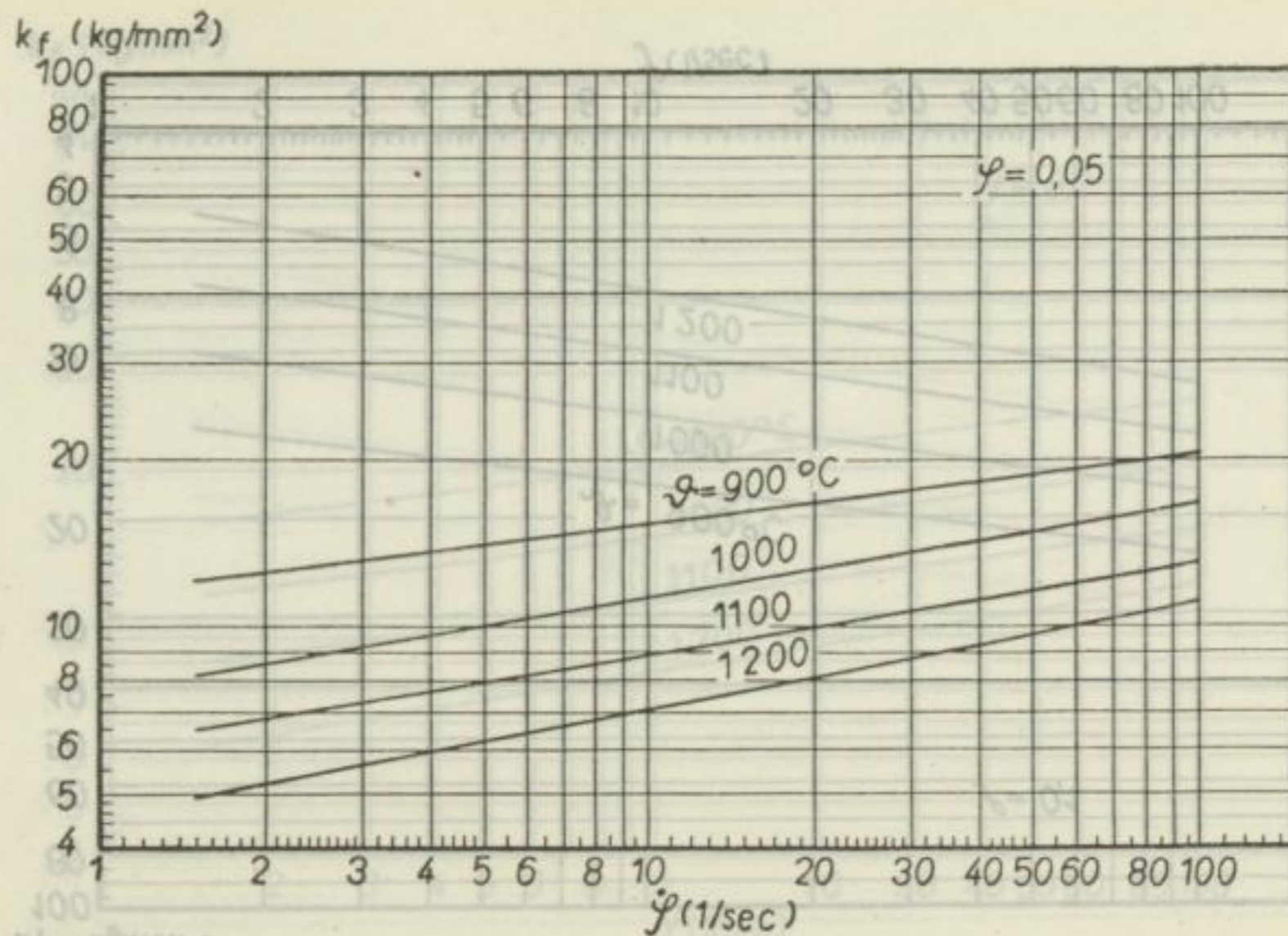


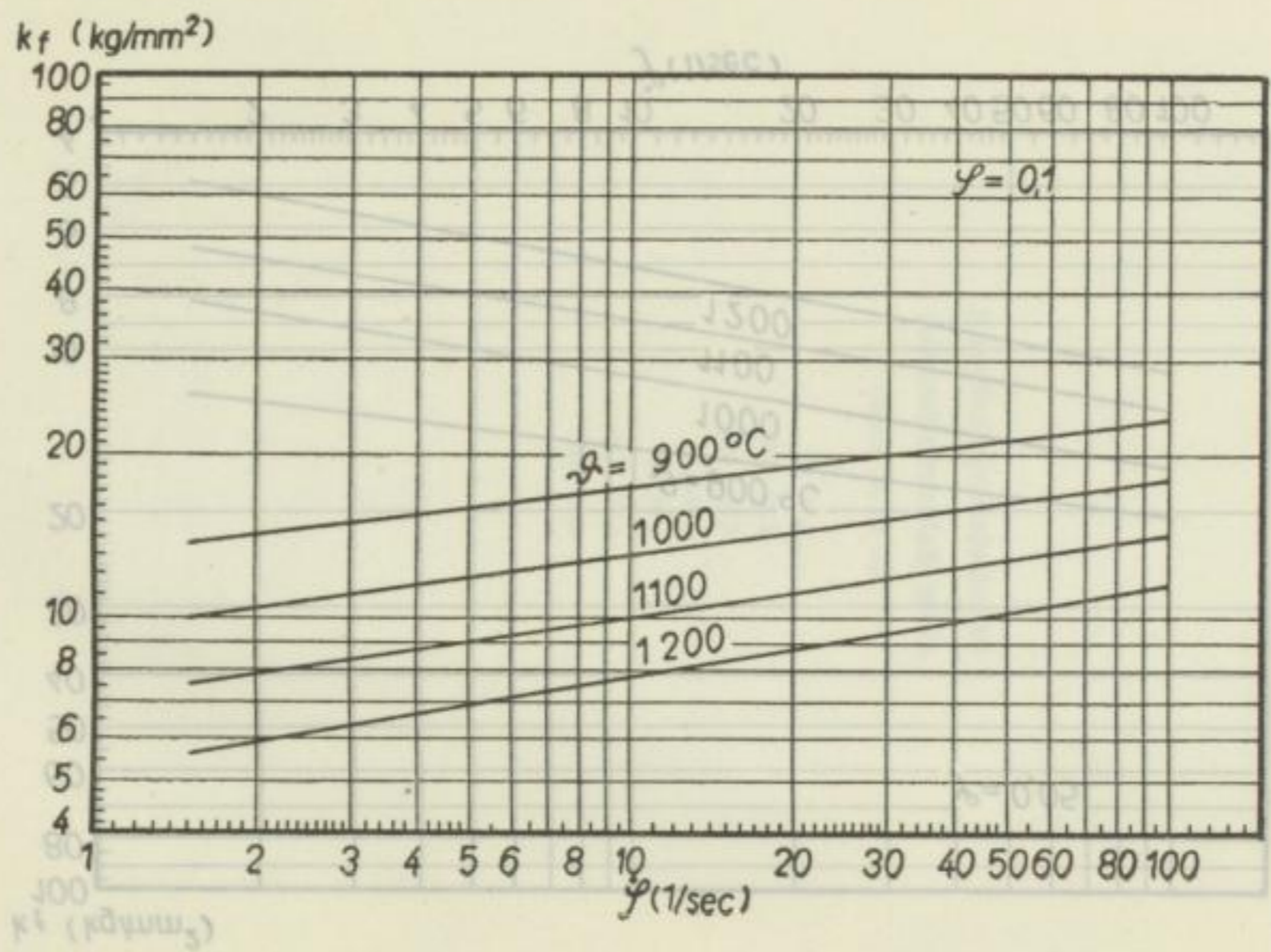


Formänderungsfähigkeit
eines Kohlenstoffstahls

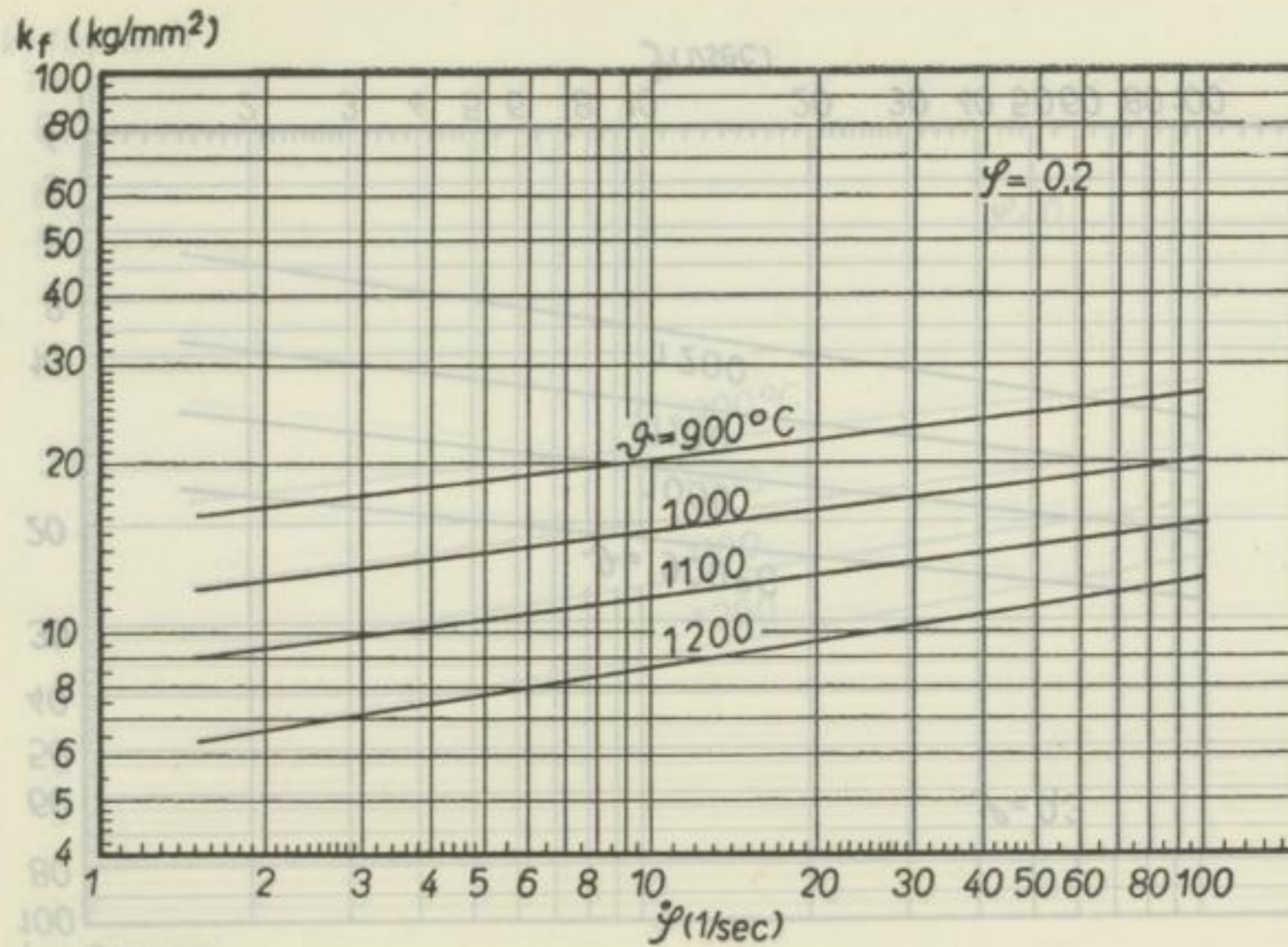
(n. F. M. Cook)

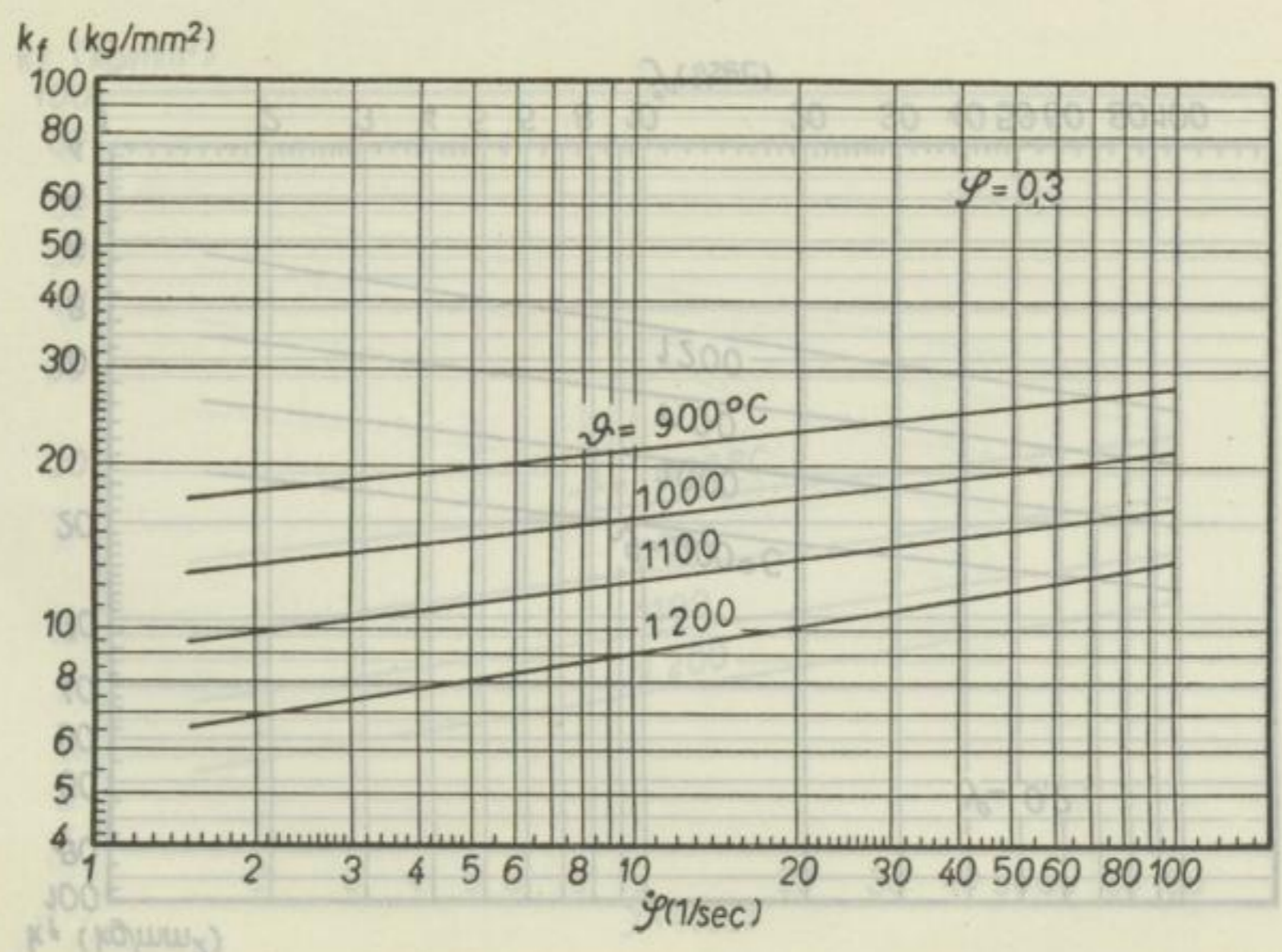
C	0,28
Si	0,28
Mn	0,28
S	0,014
P	0,012
Cu	0,12
Ni	0,08



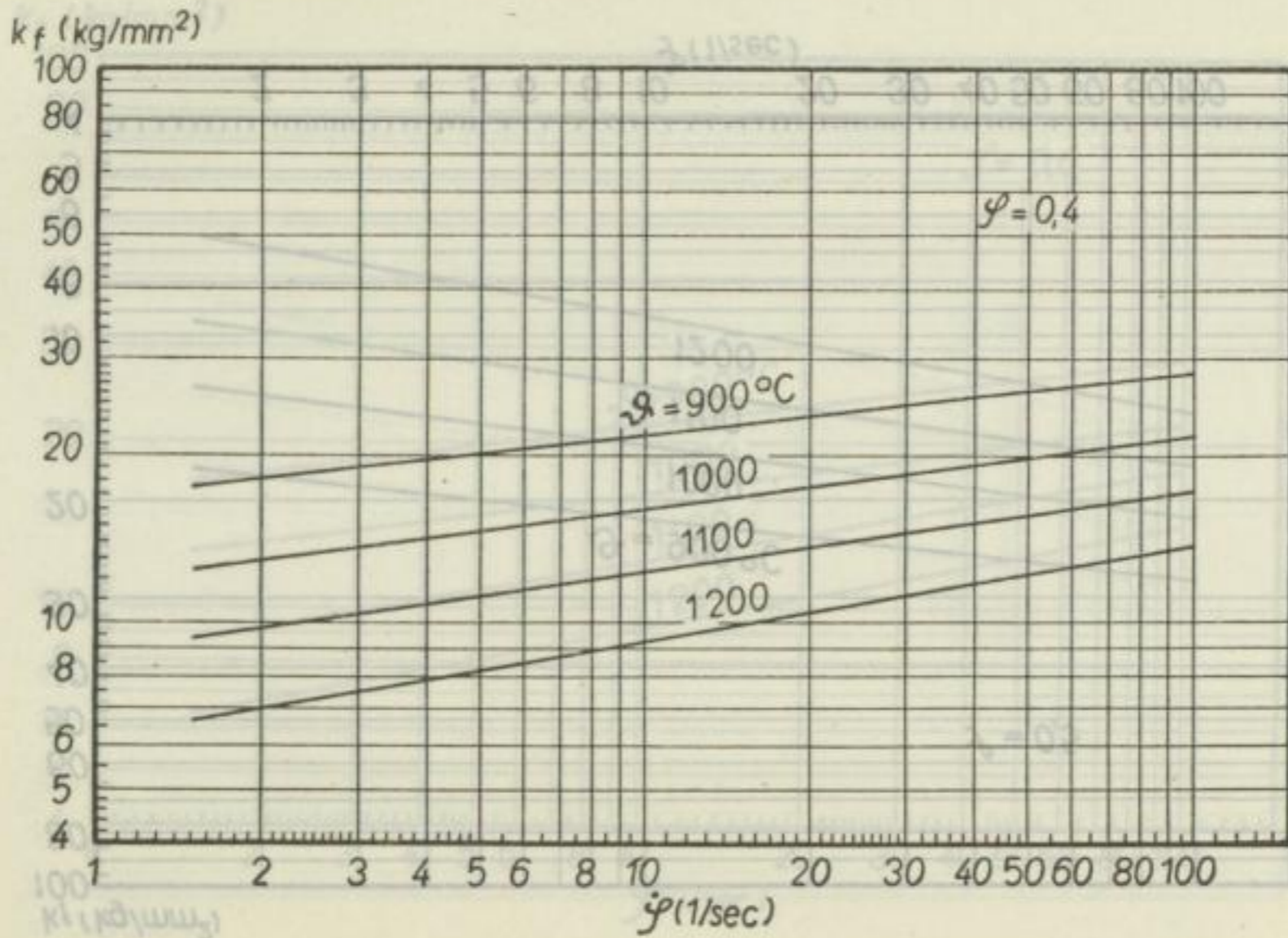


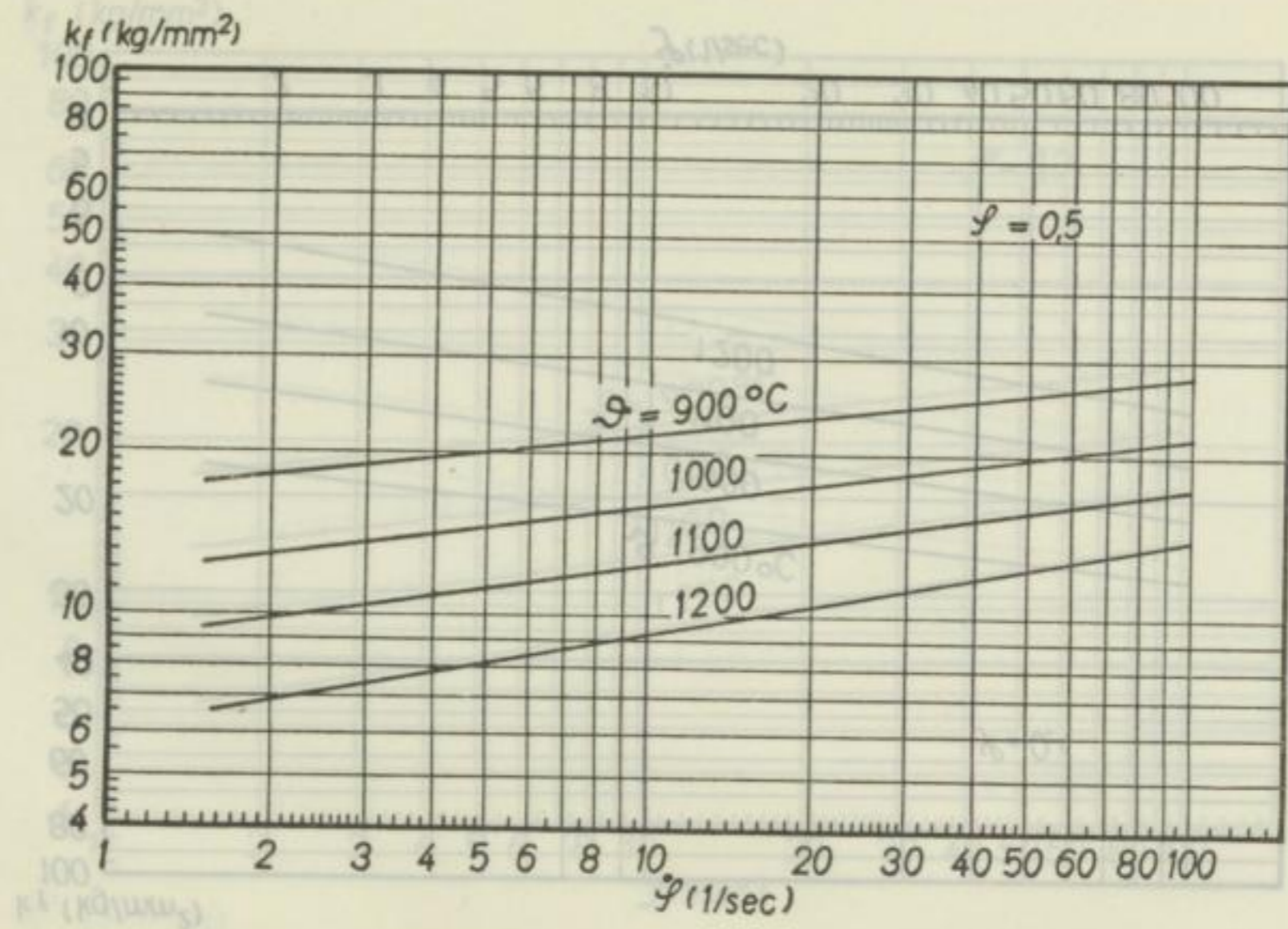
Karlheinz Weber

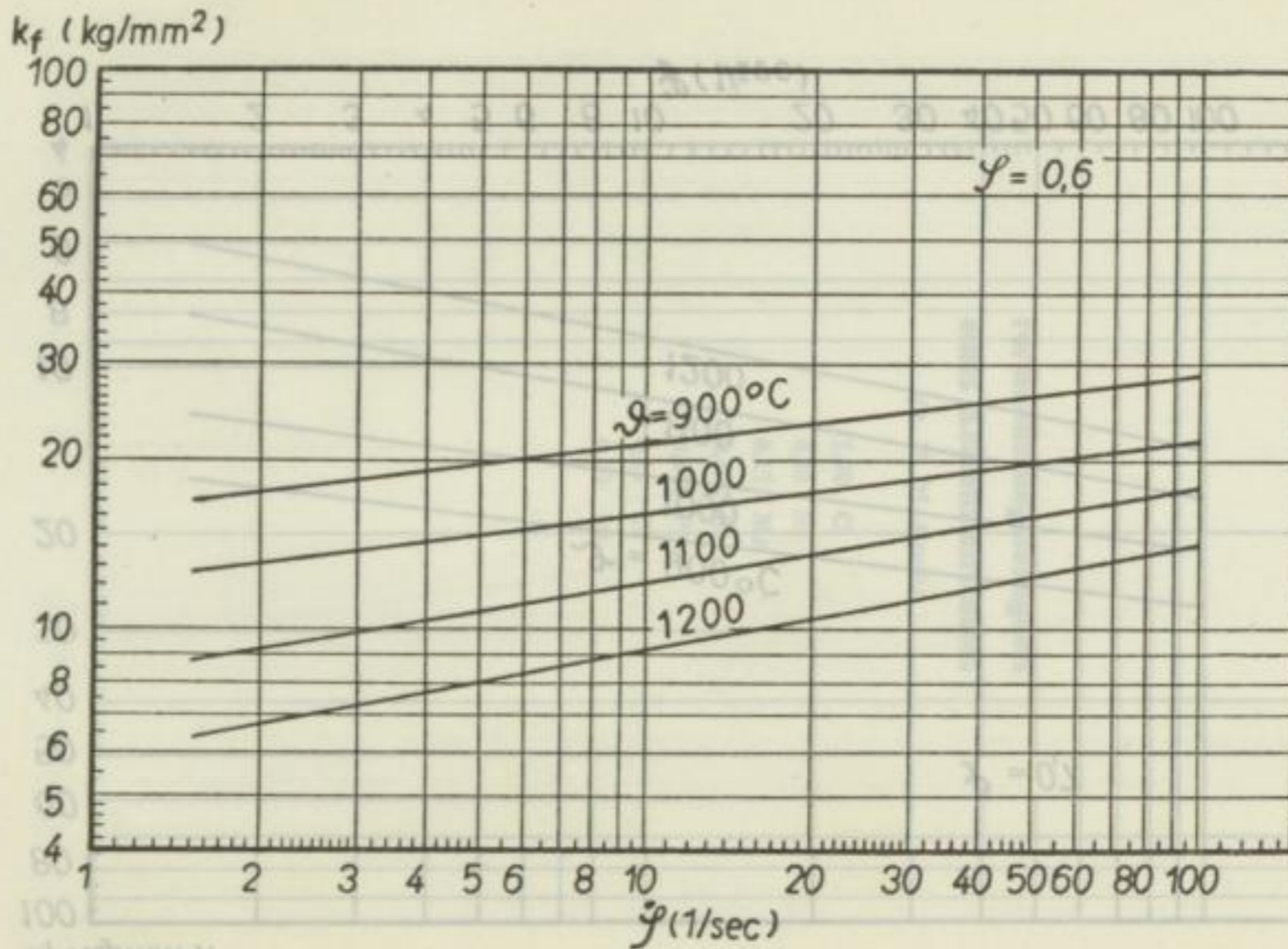


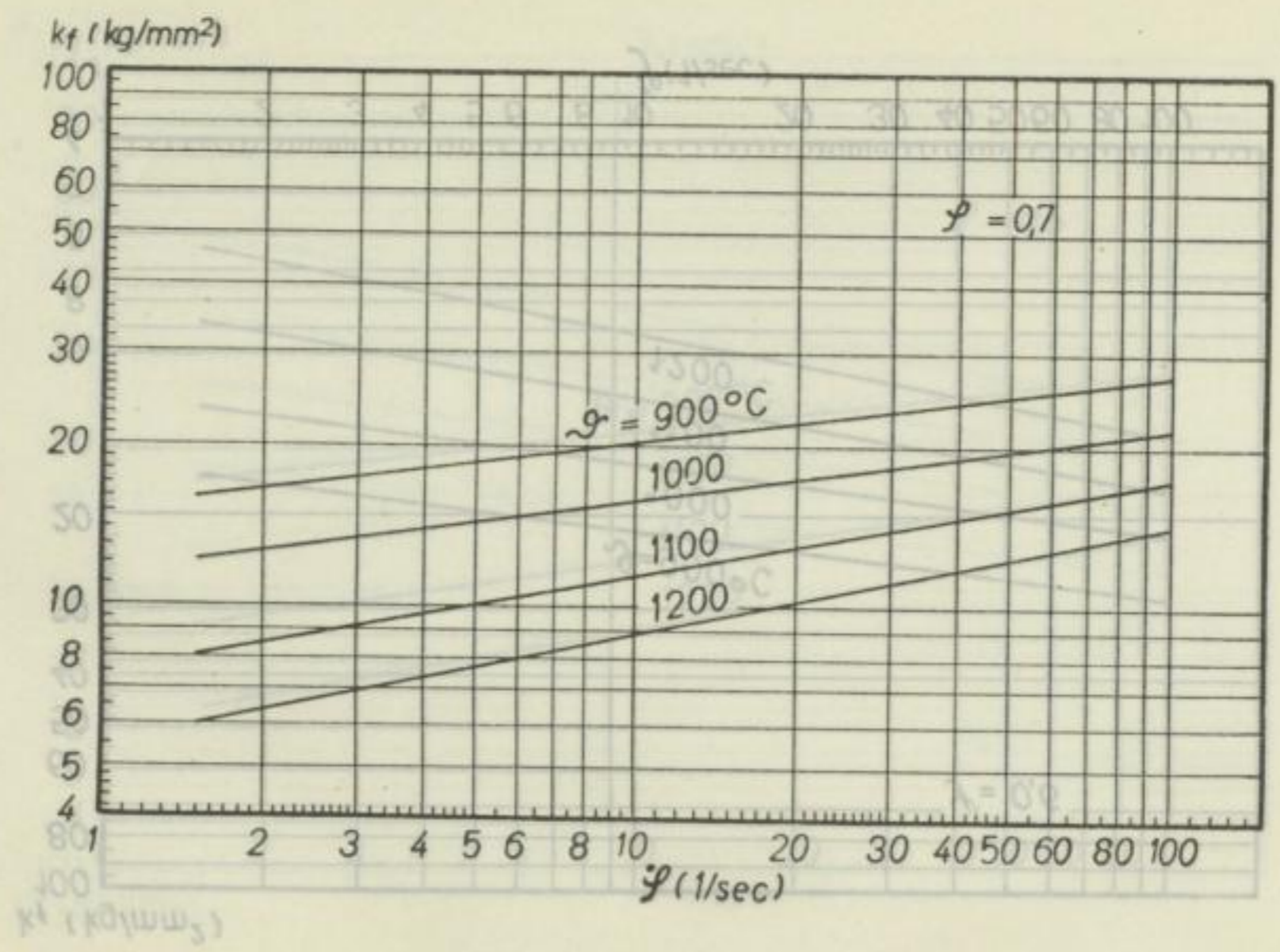


Karlheinz Weber

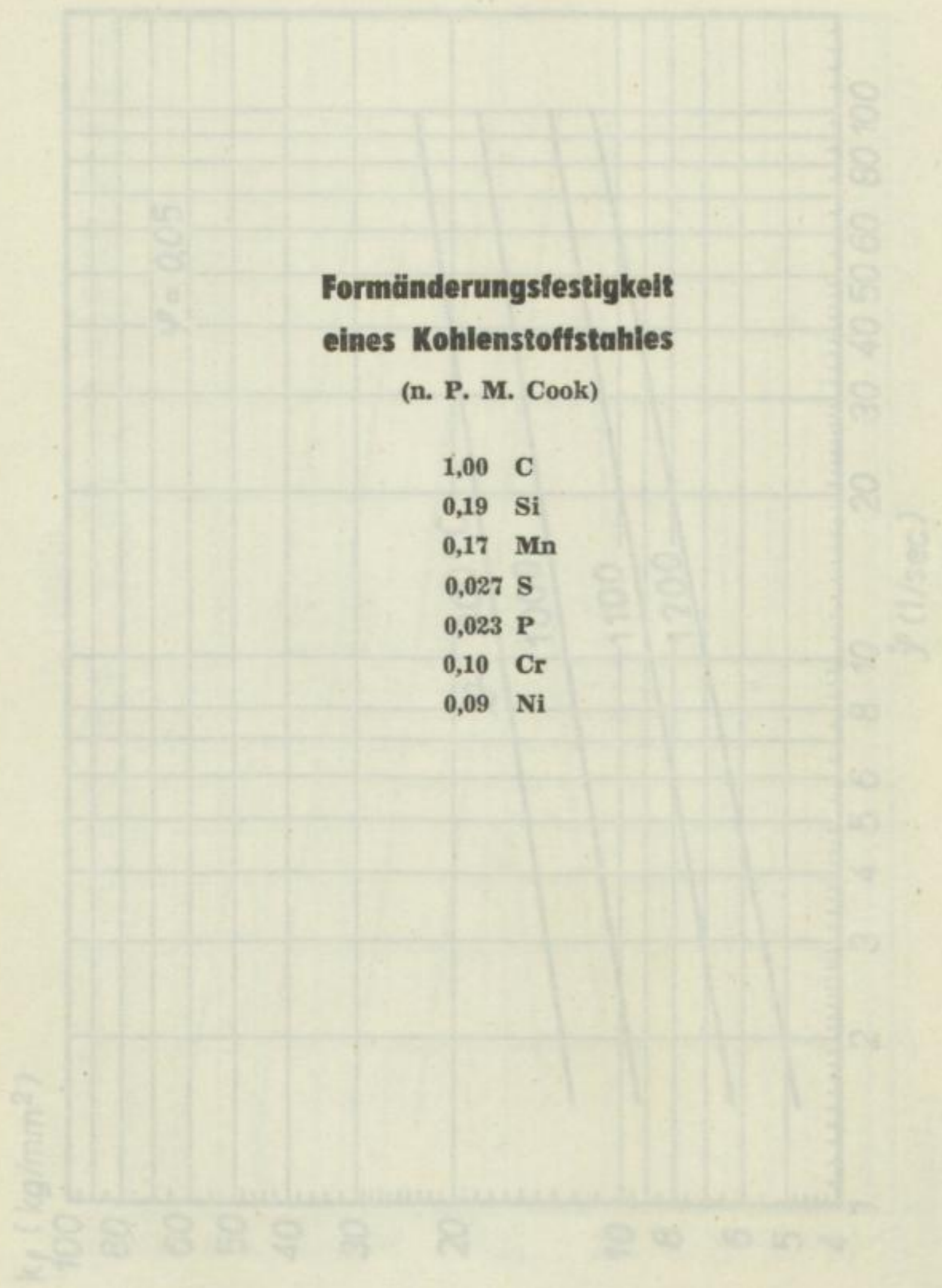


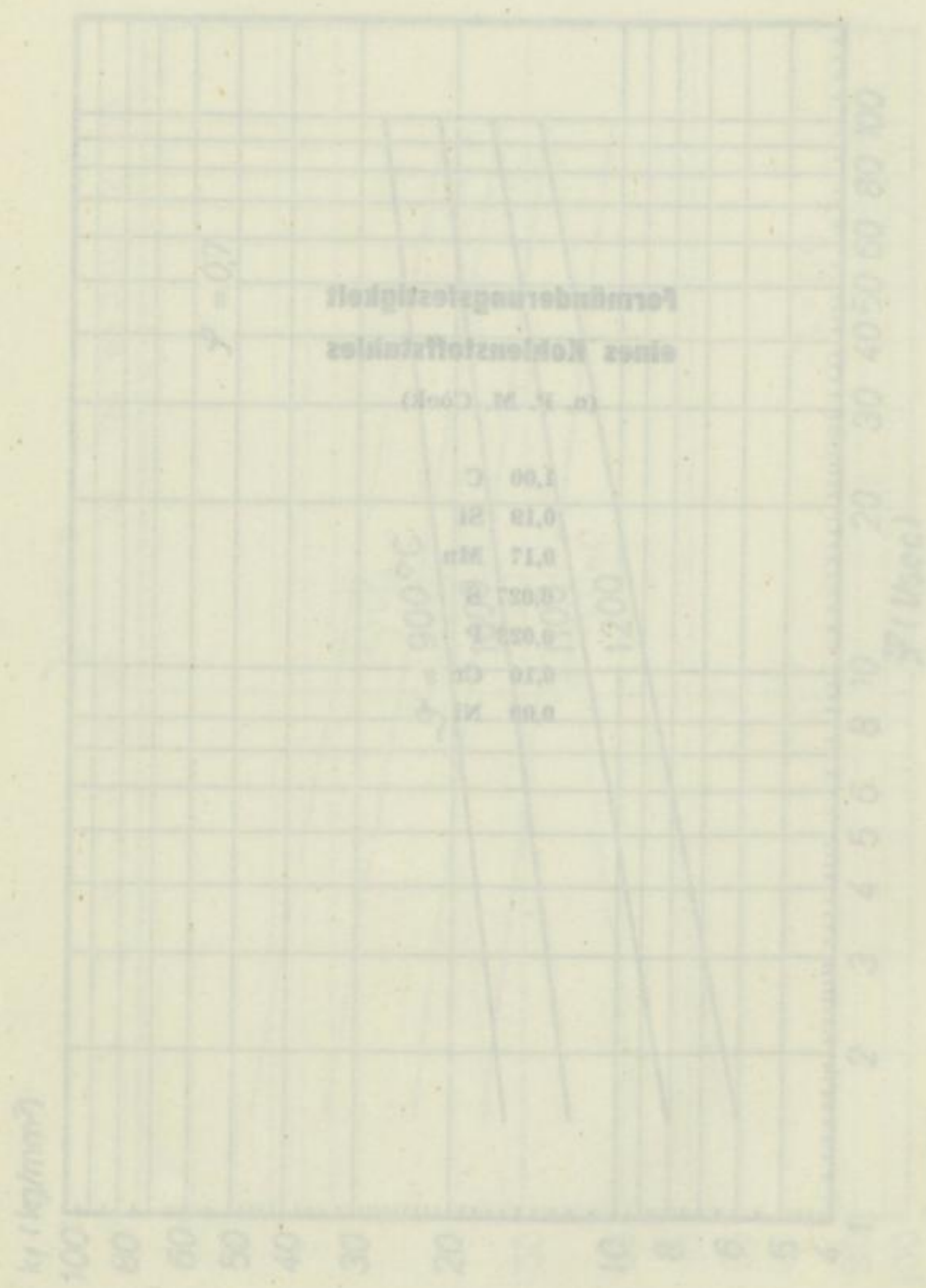


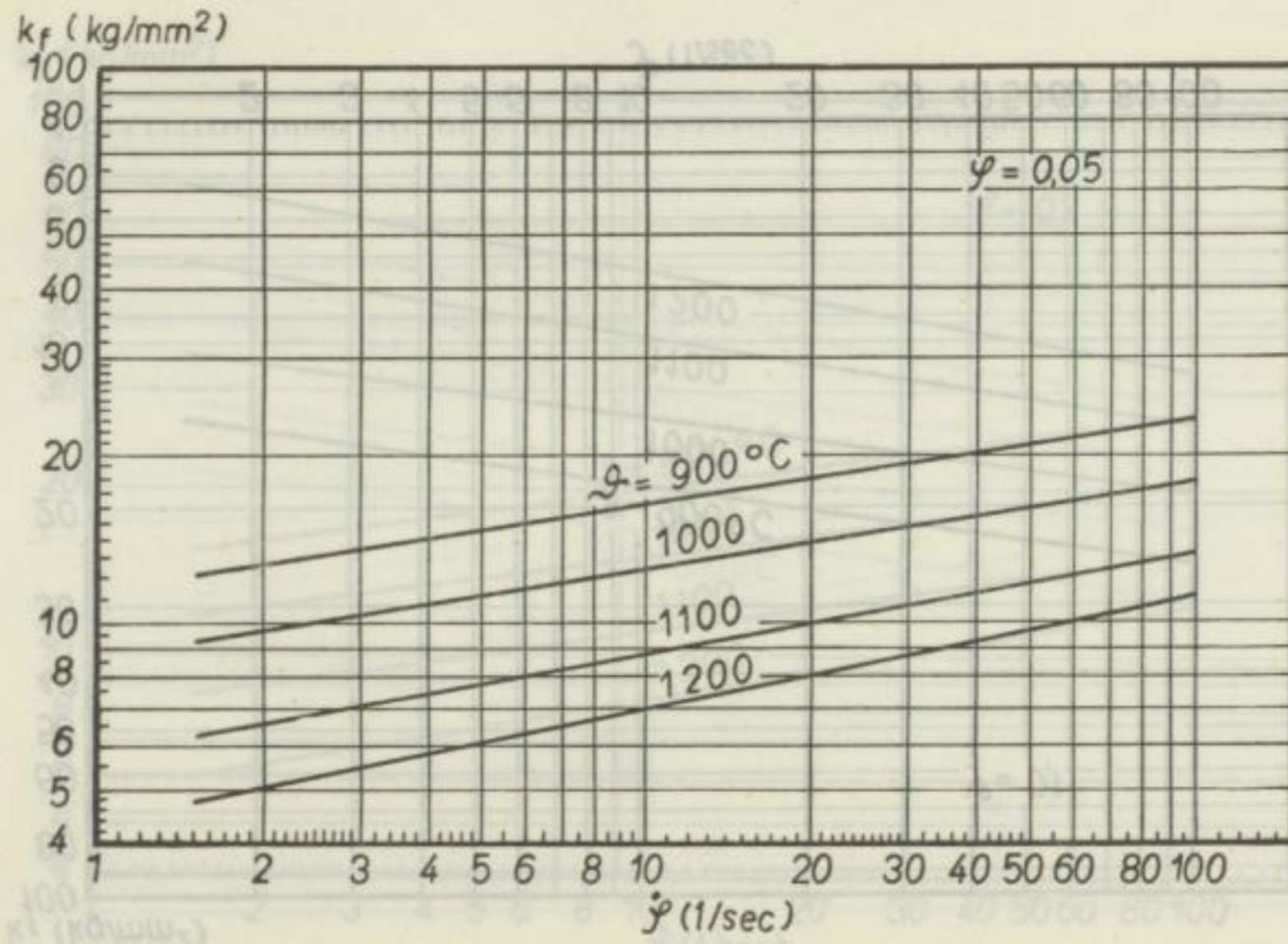




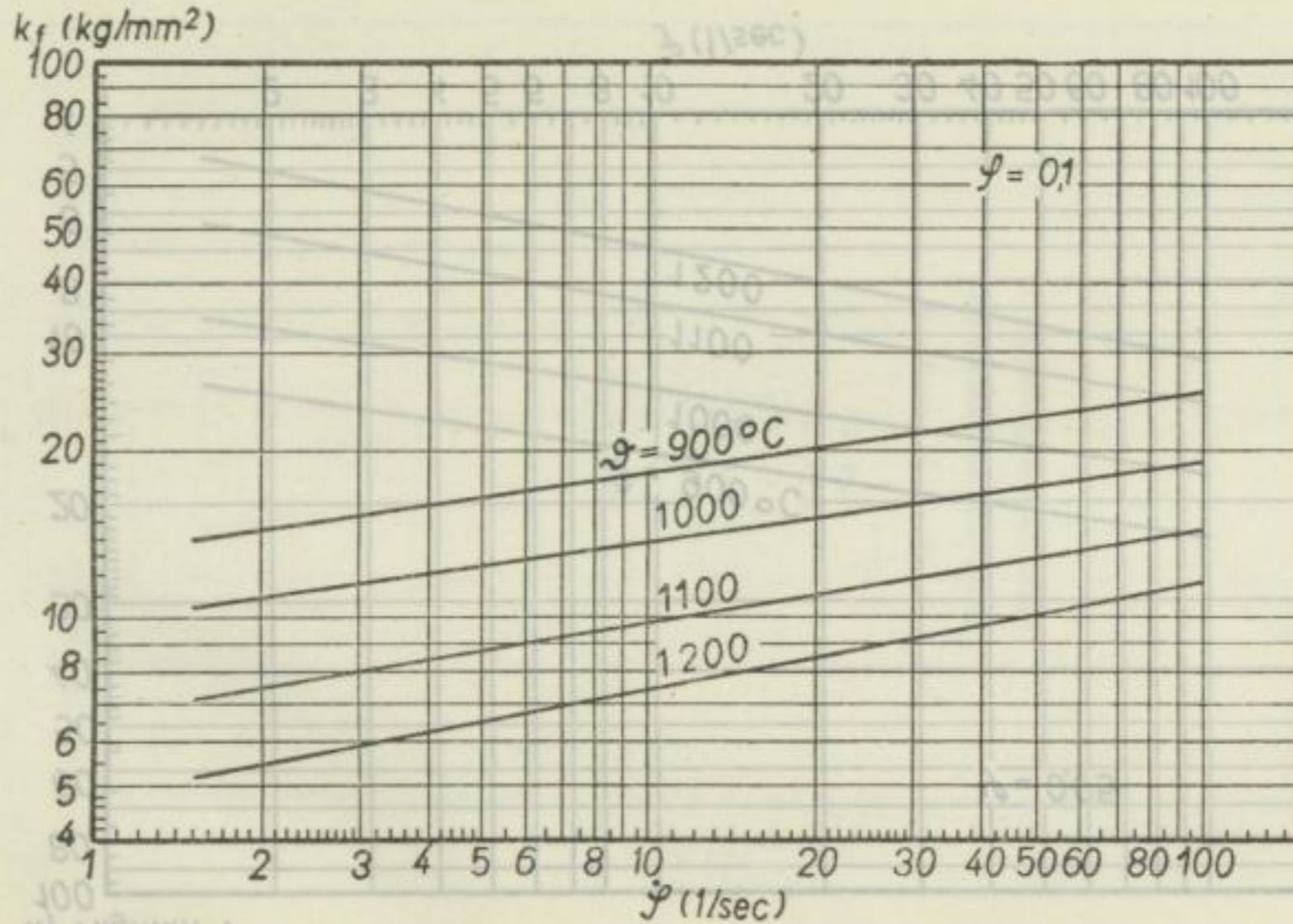
Karlheinz Weber



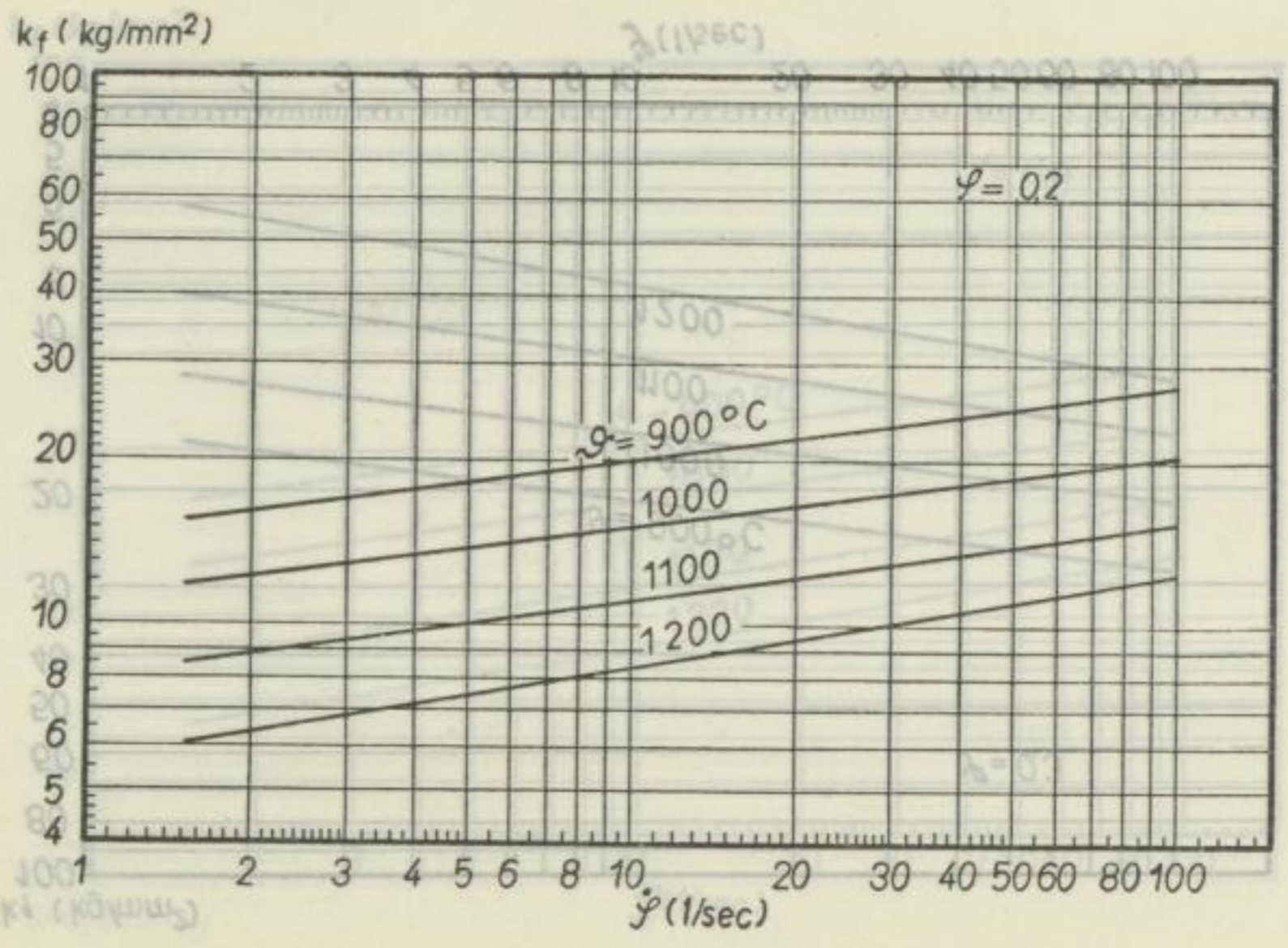




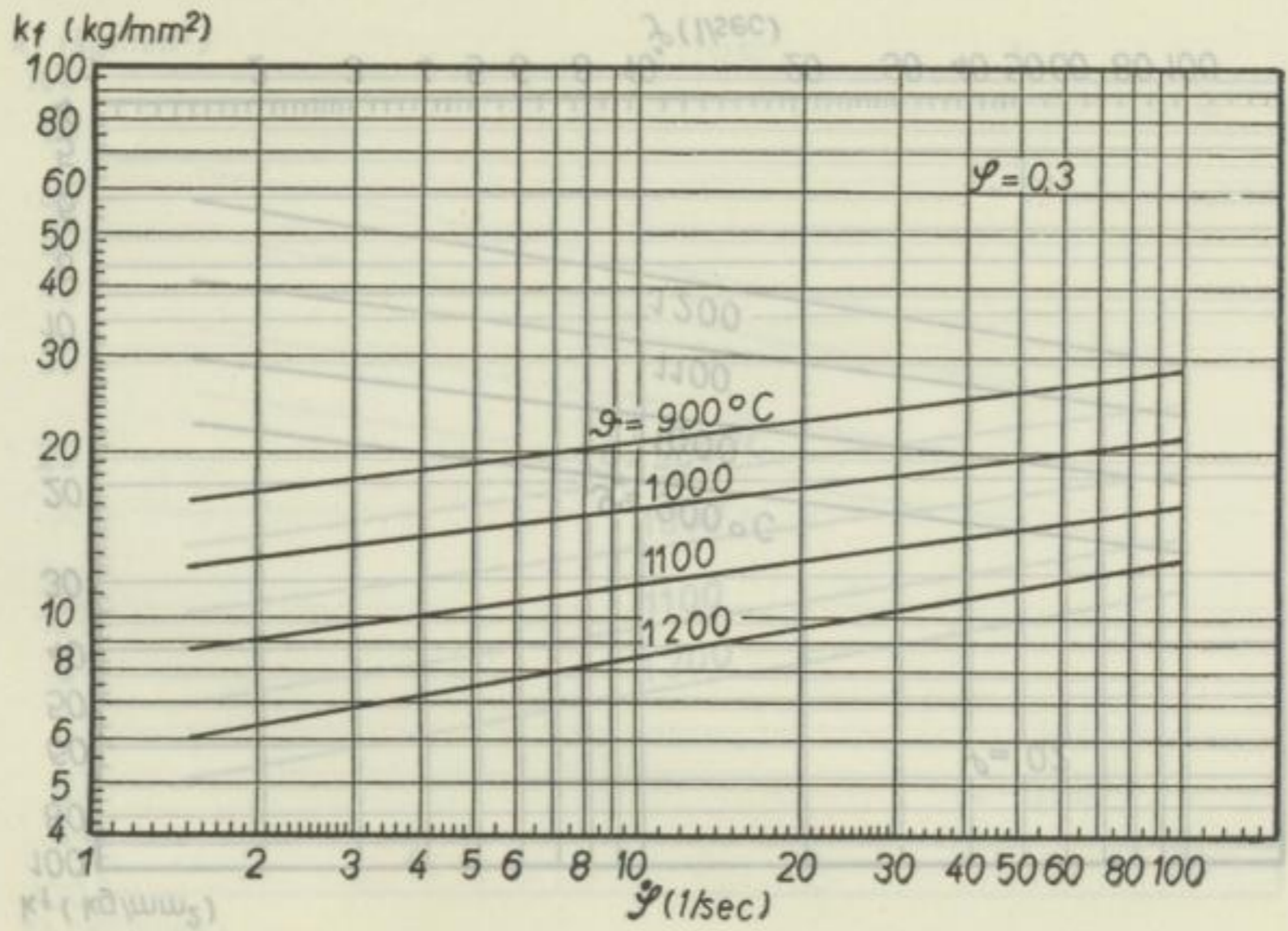
Berechnung von Walzkraft und Drehmoment



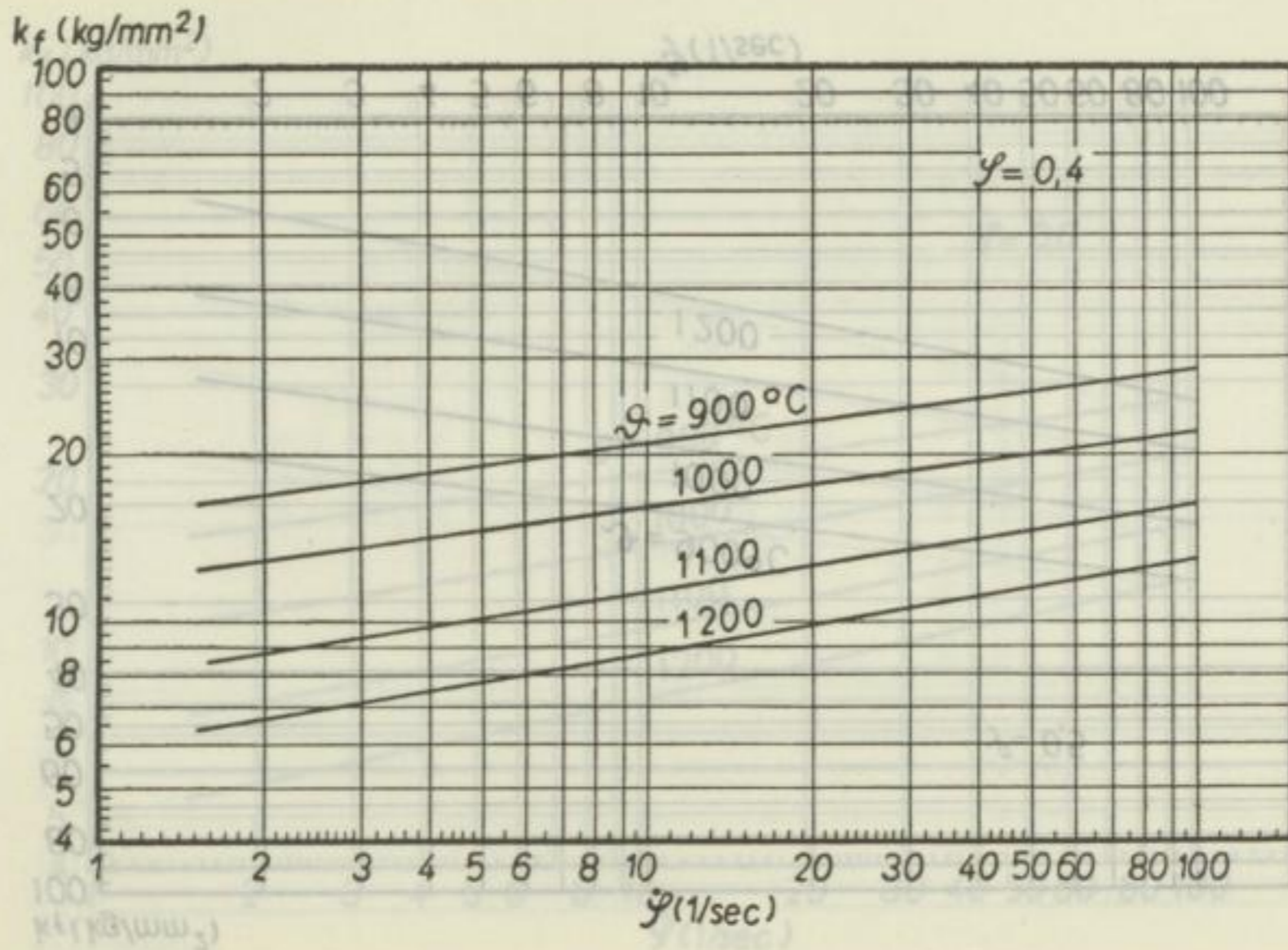
Verlagsgesellschaft Carl Heinz Weber, Stuttgart

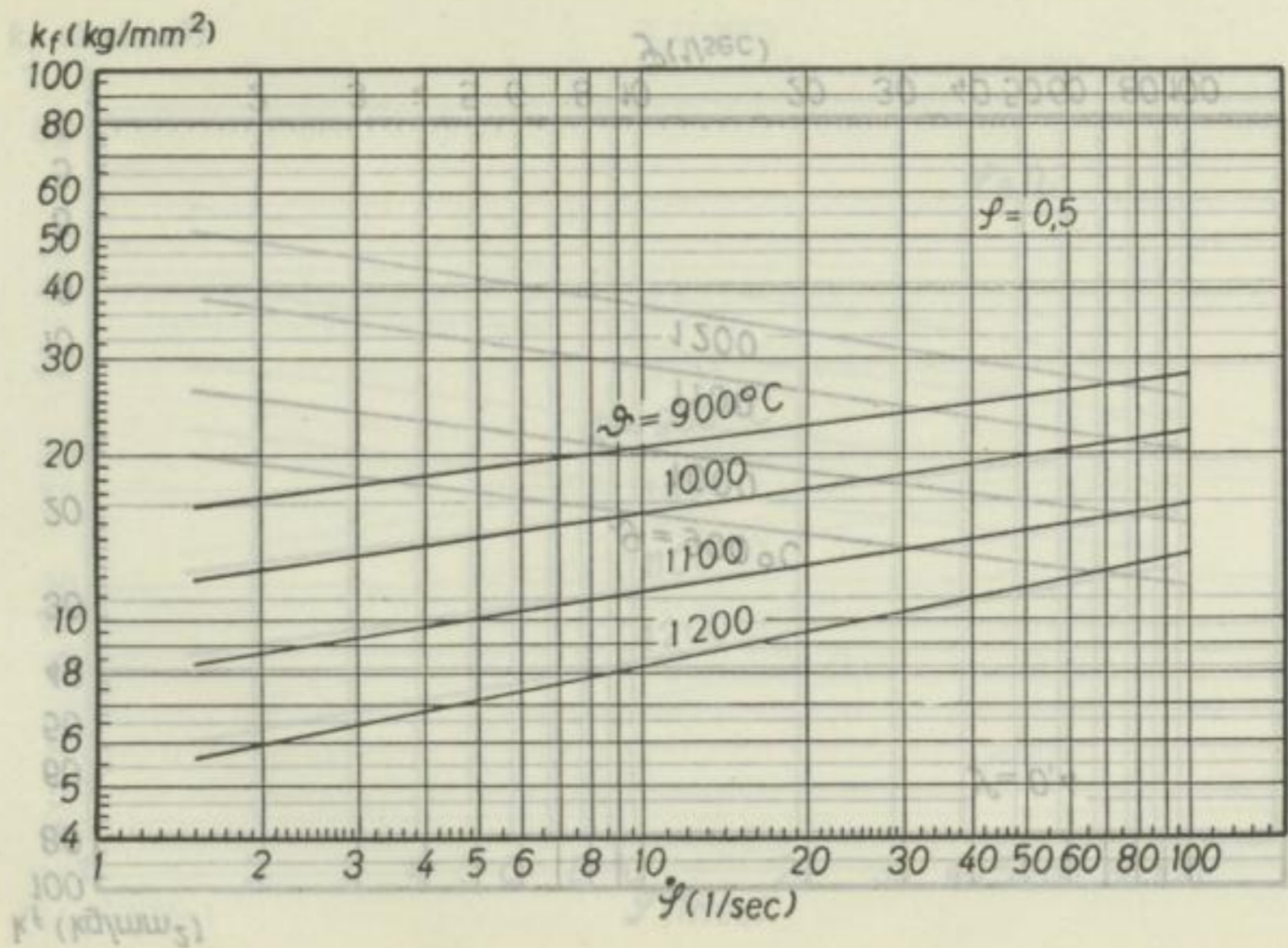


Berechnung von Walzkraft und Drehmoment

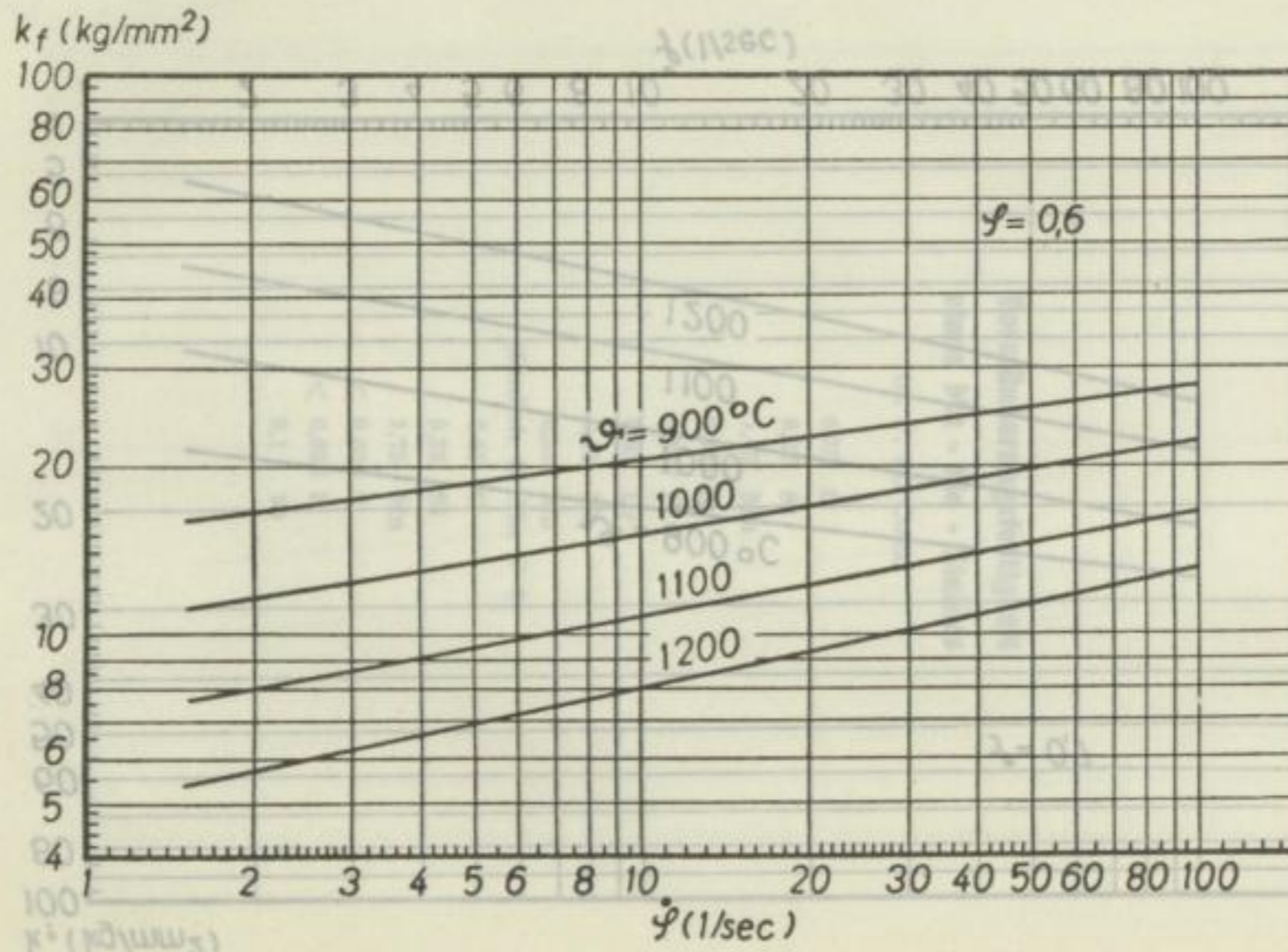


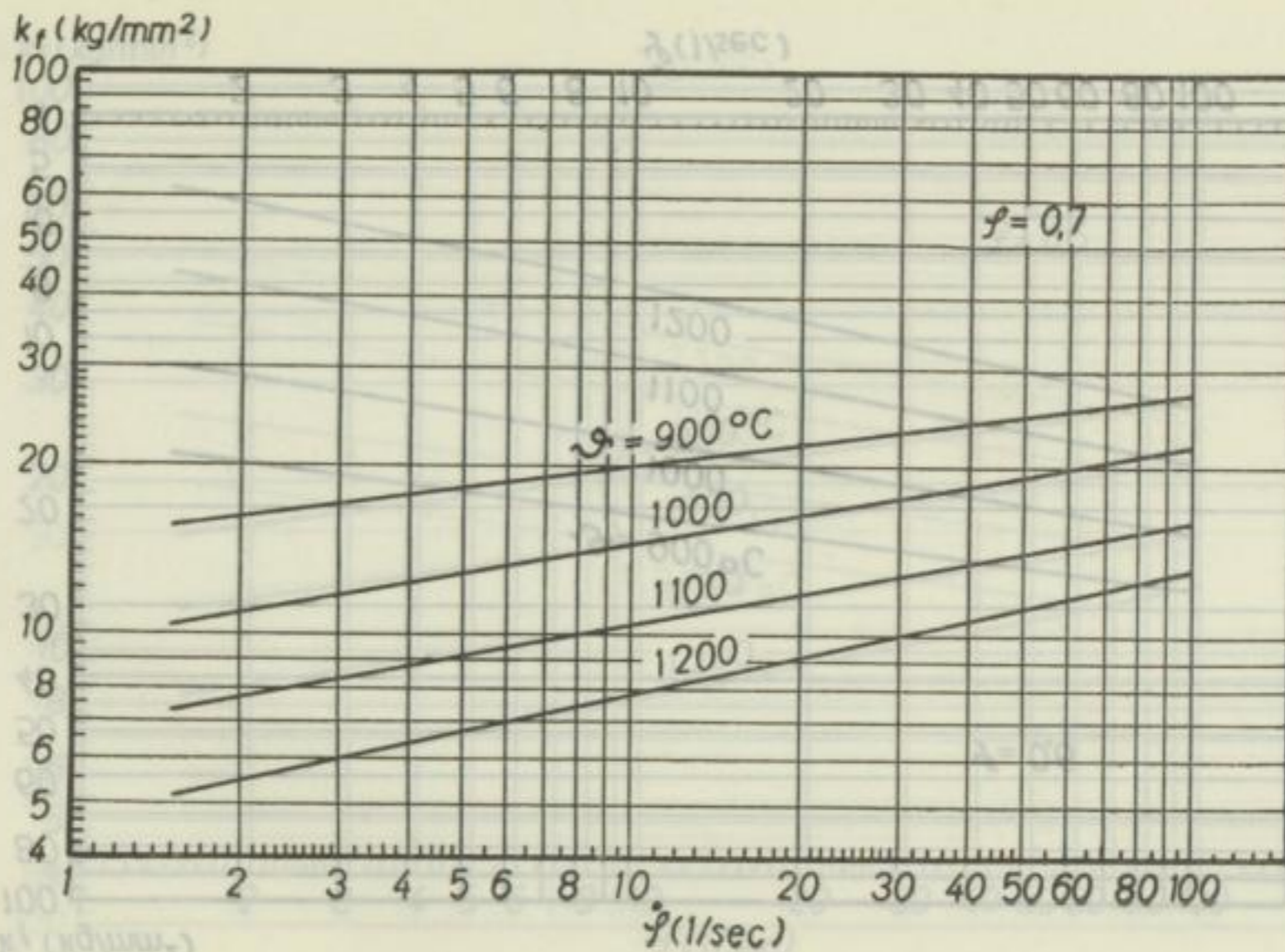
Verfasser: Karlheinz Weber



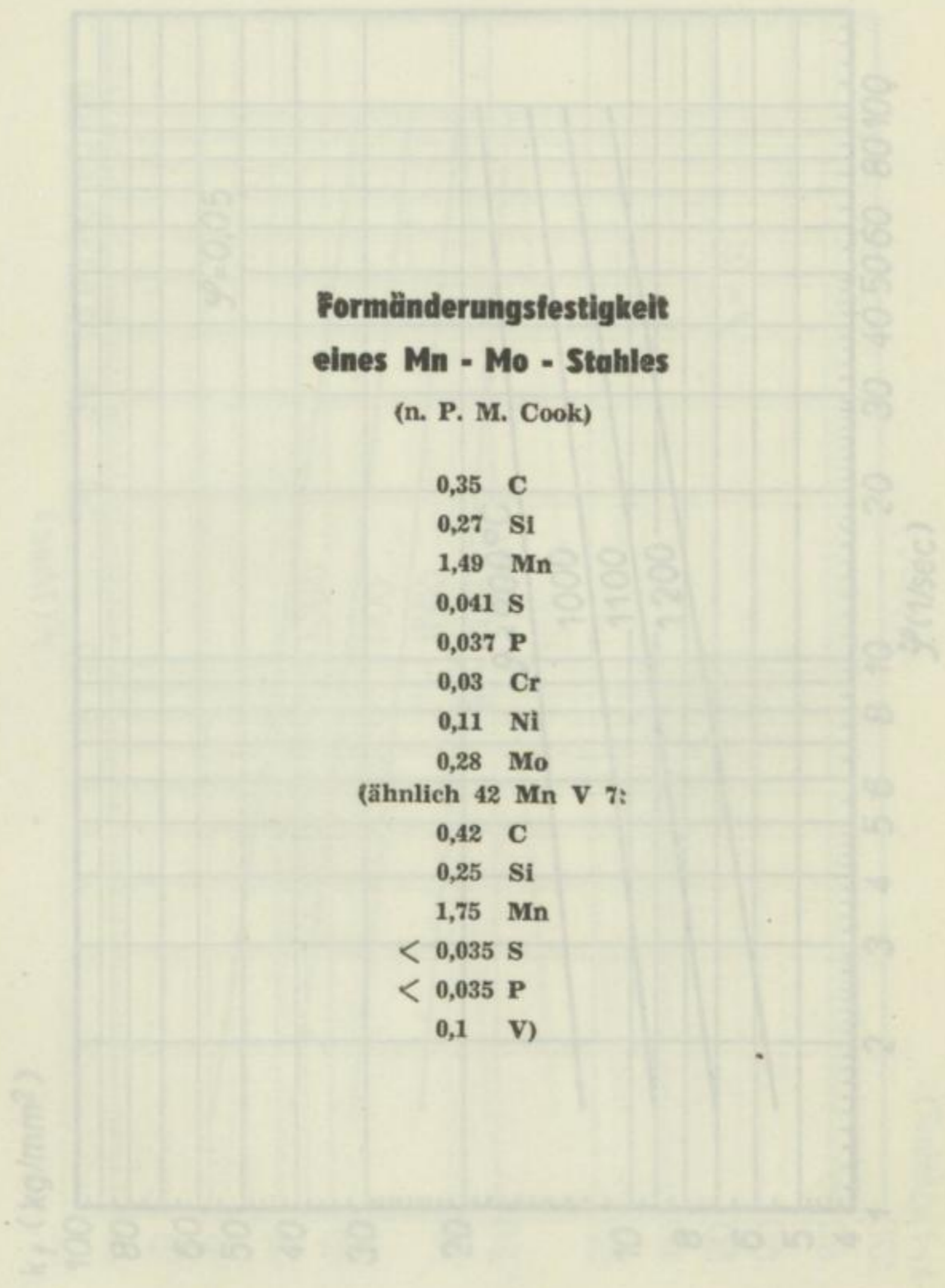


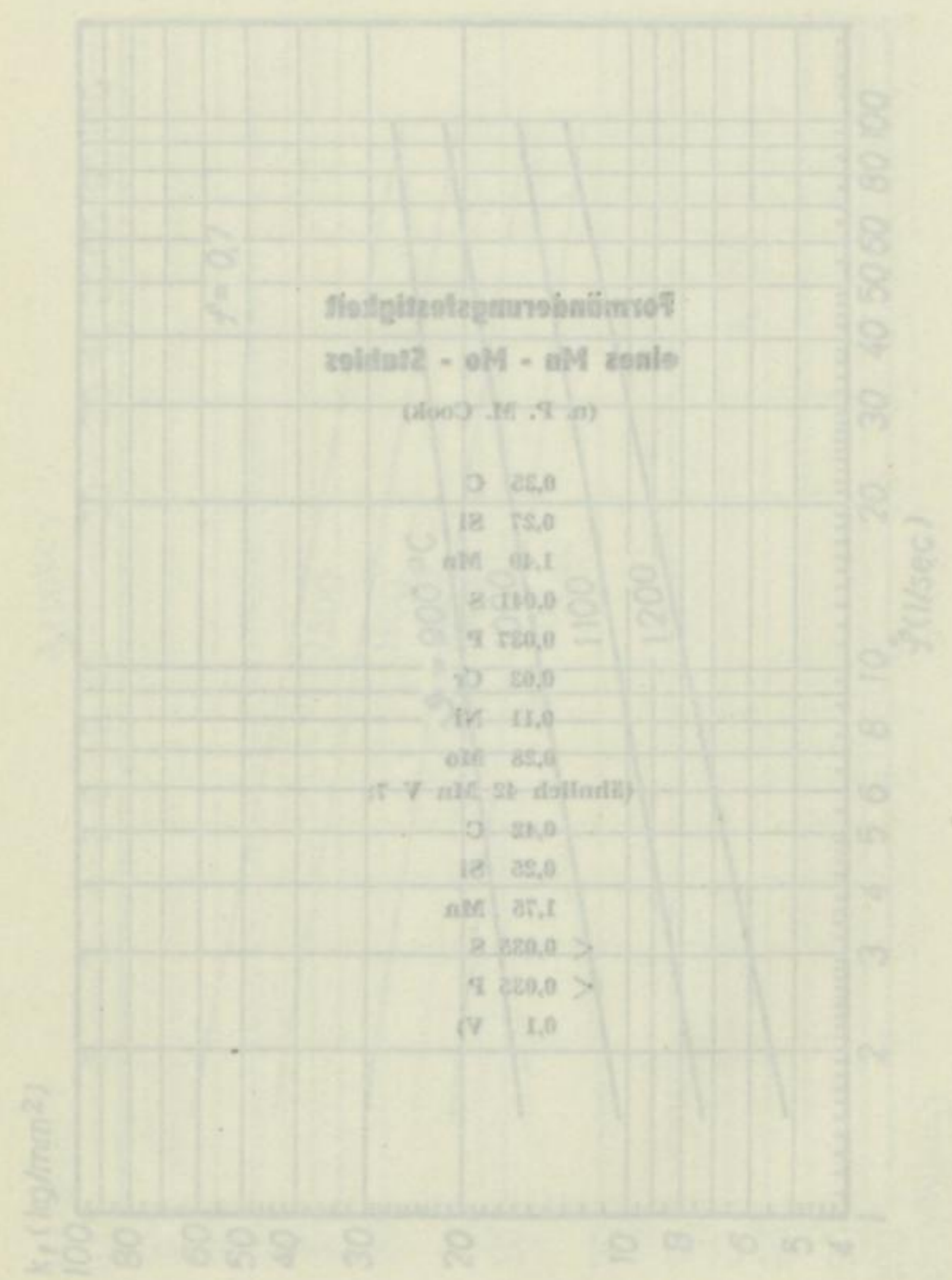
Institut für
 Metallkunde
 Freiberg

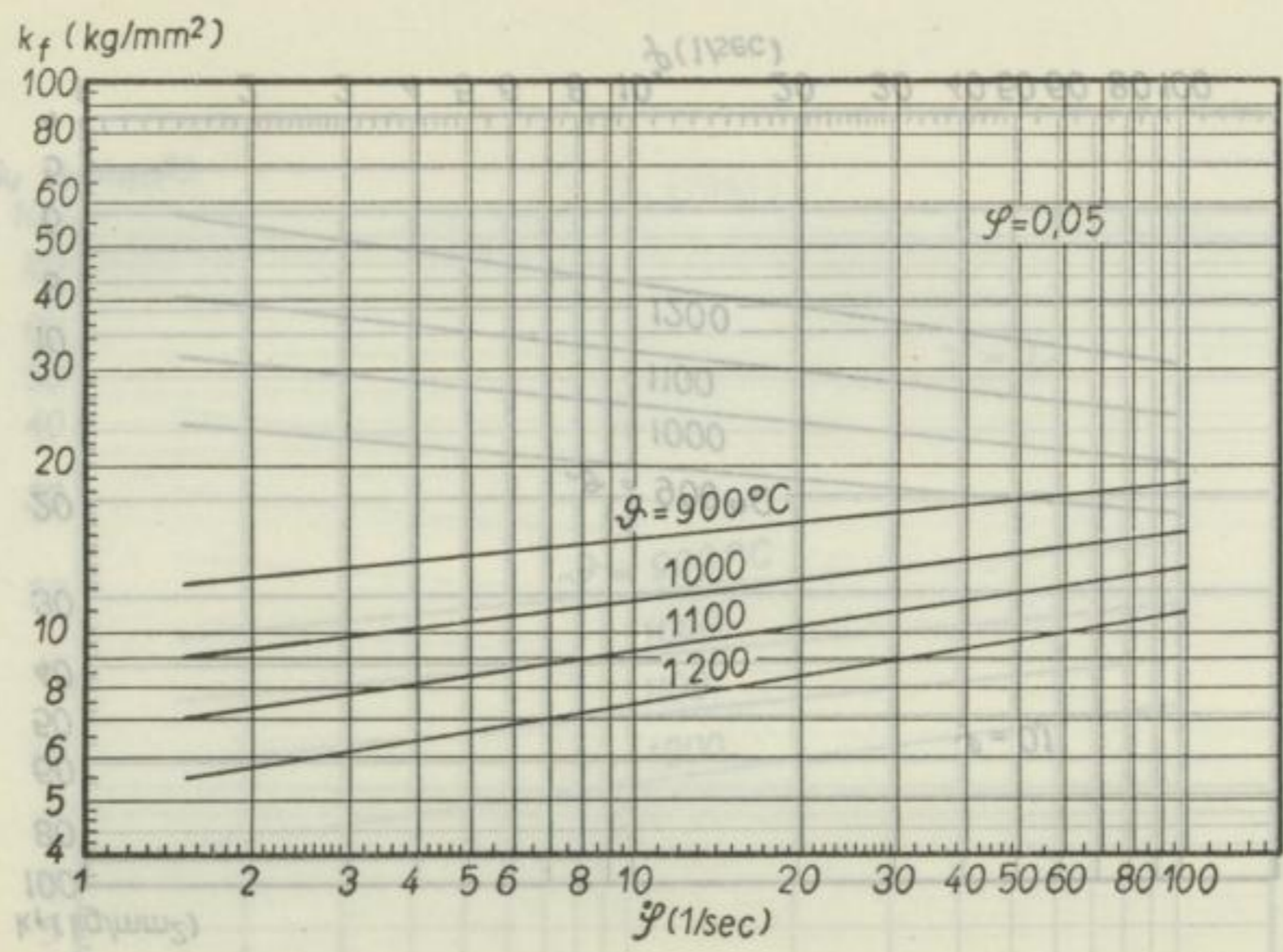




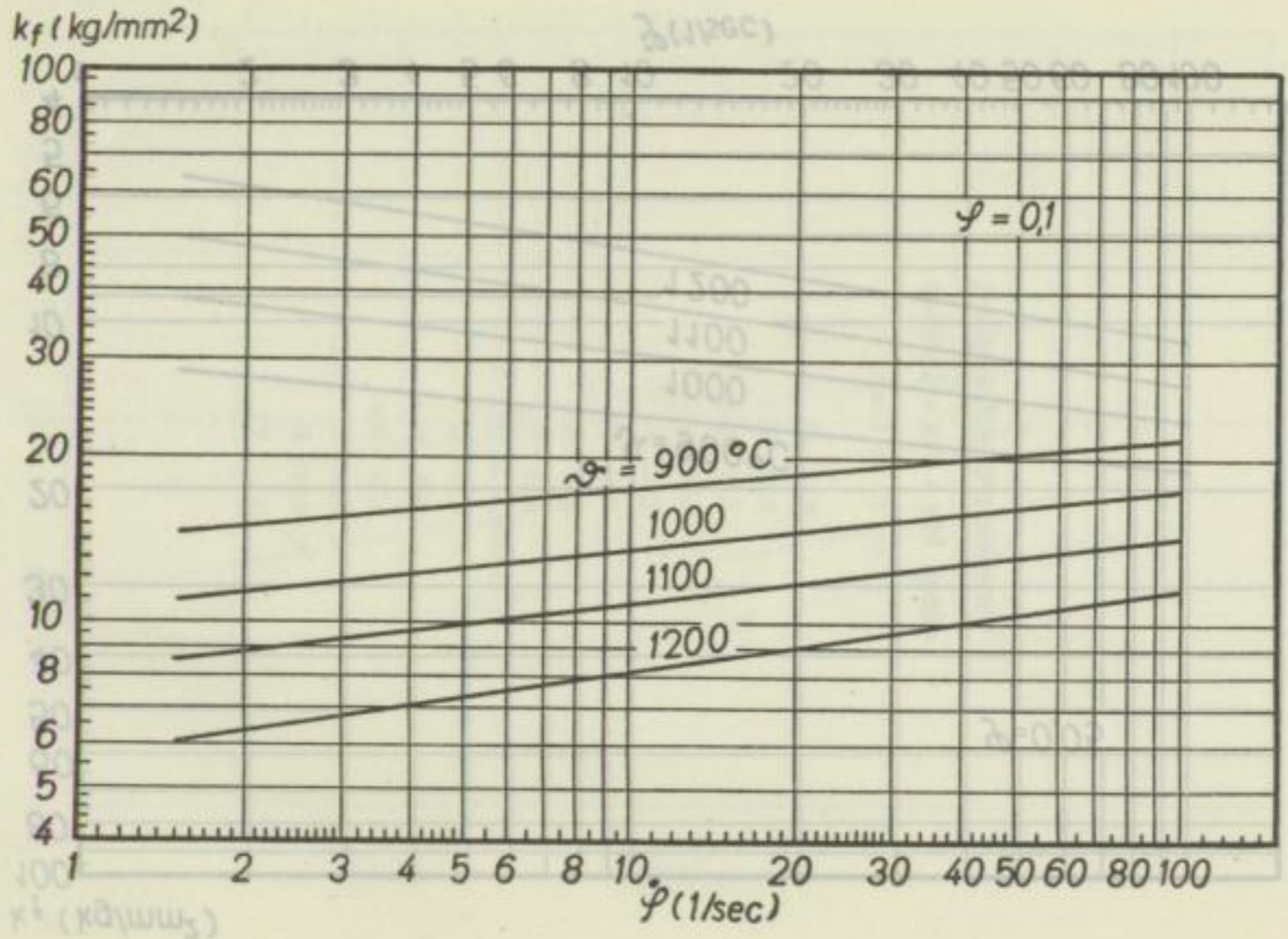
Karlheinz Weber



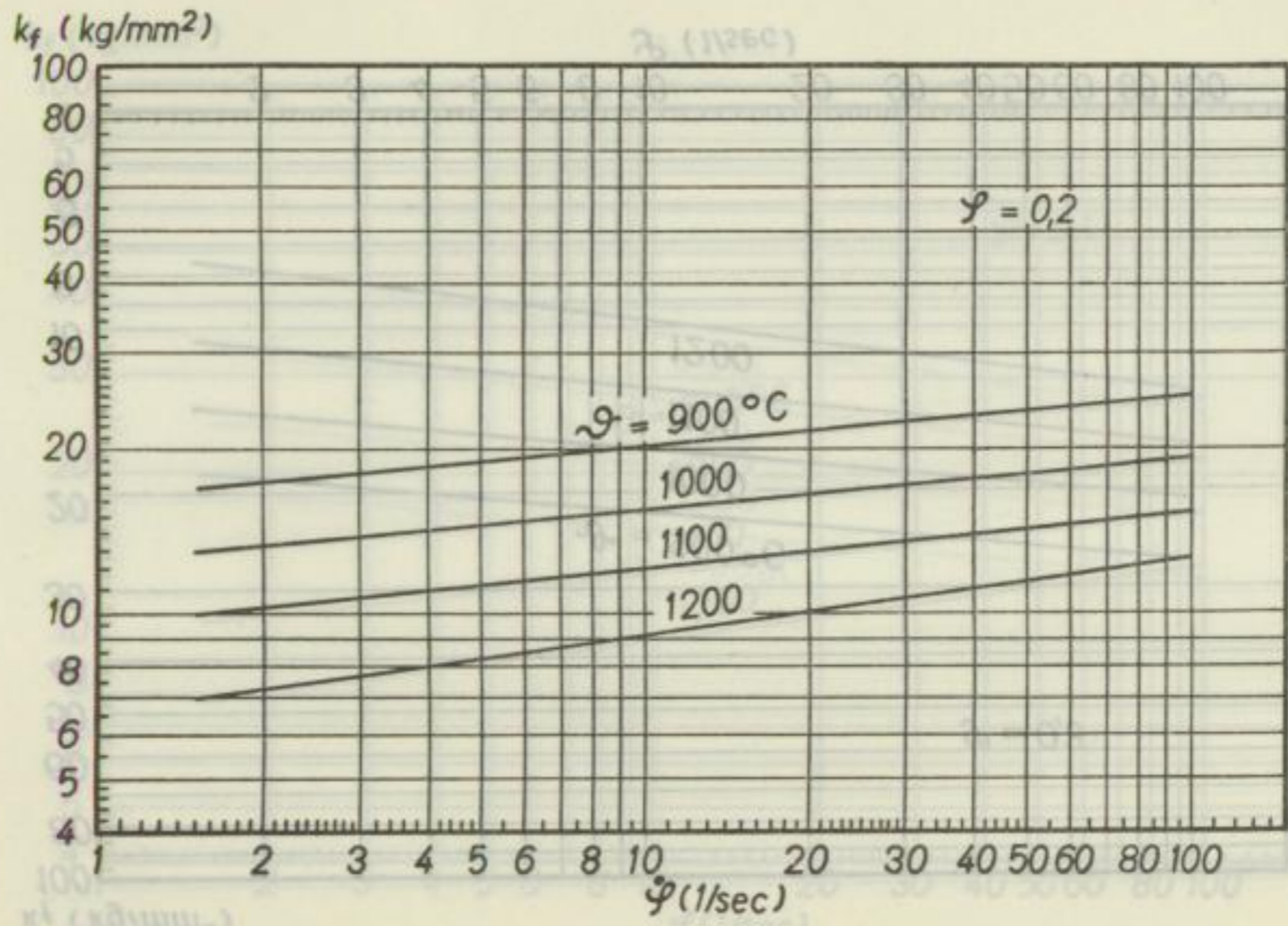




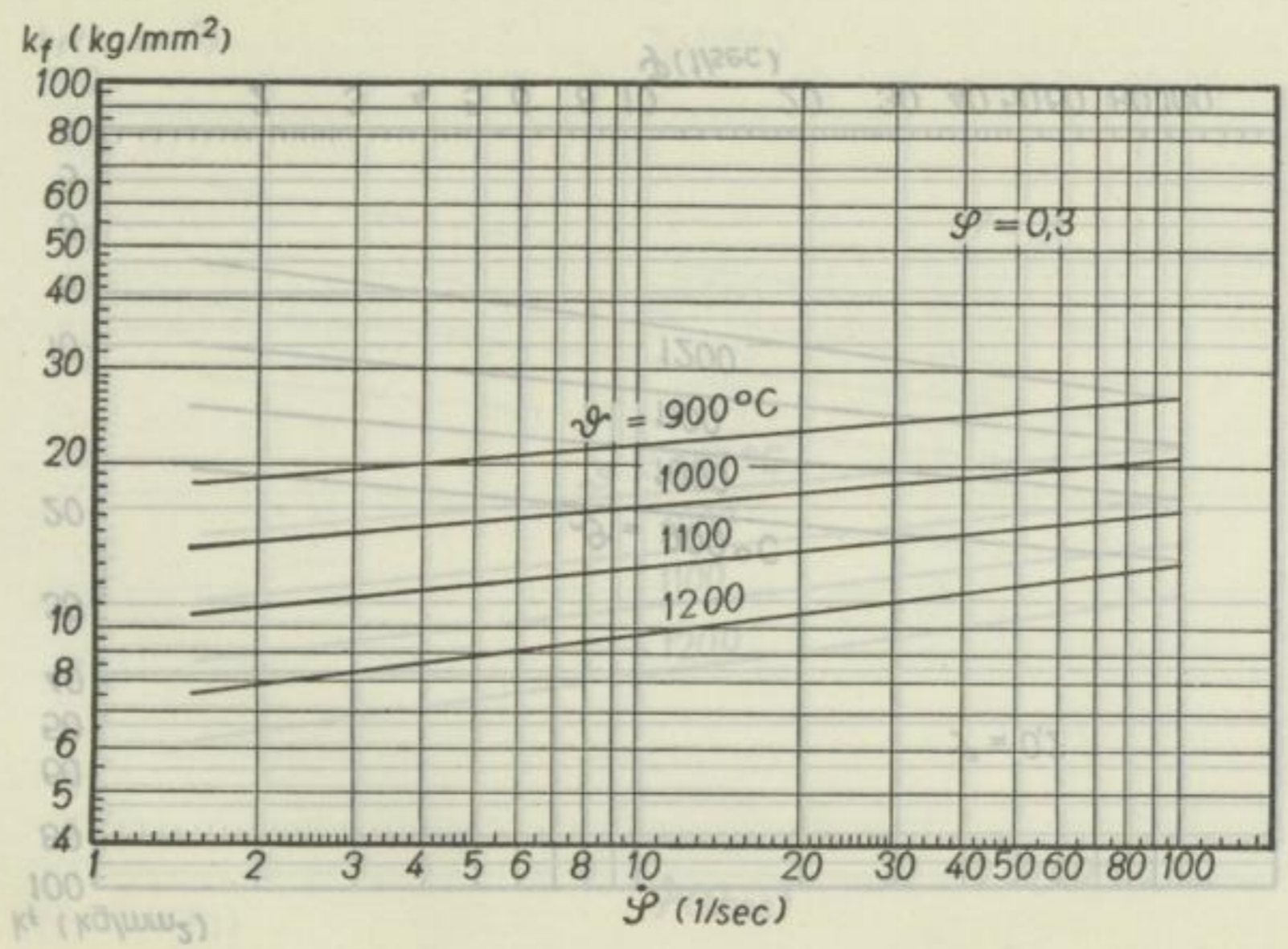
Berechnung von Walzkraft- und Drehmoment



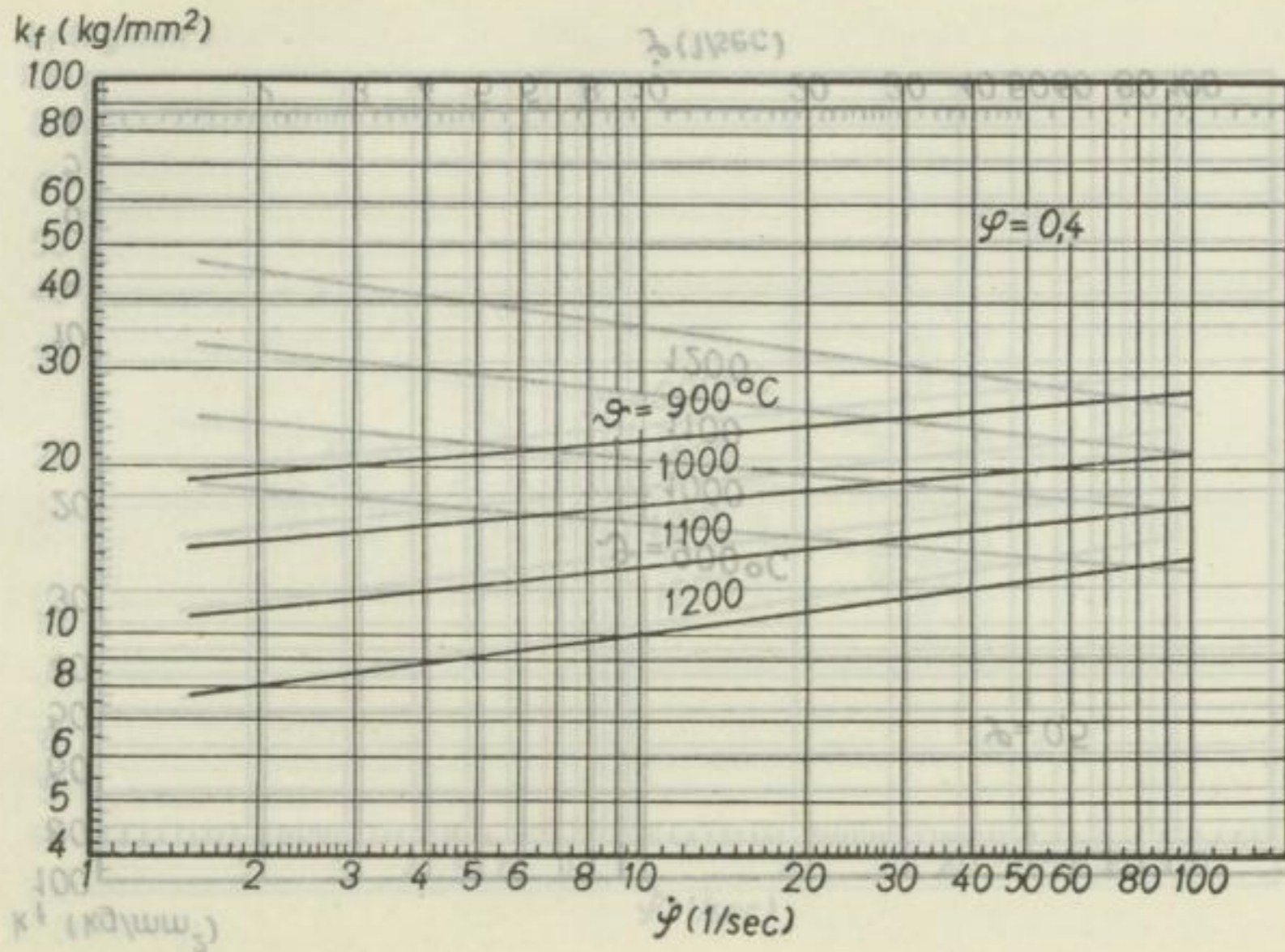
Karlheinz Weber

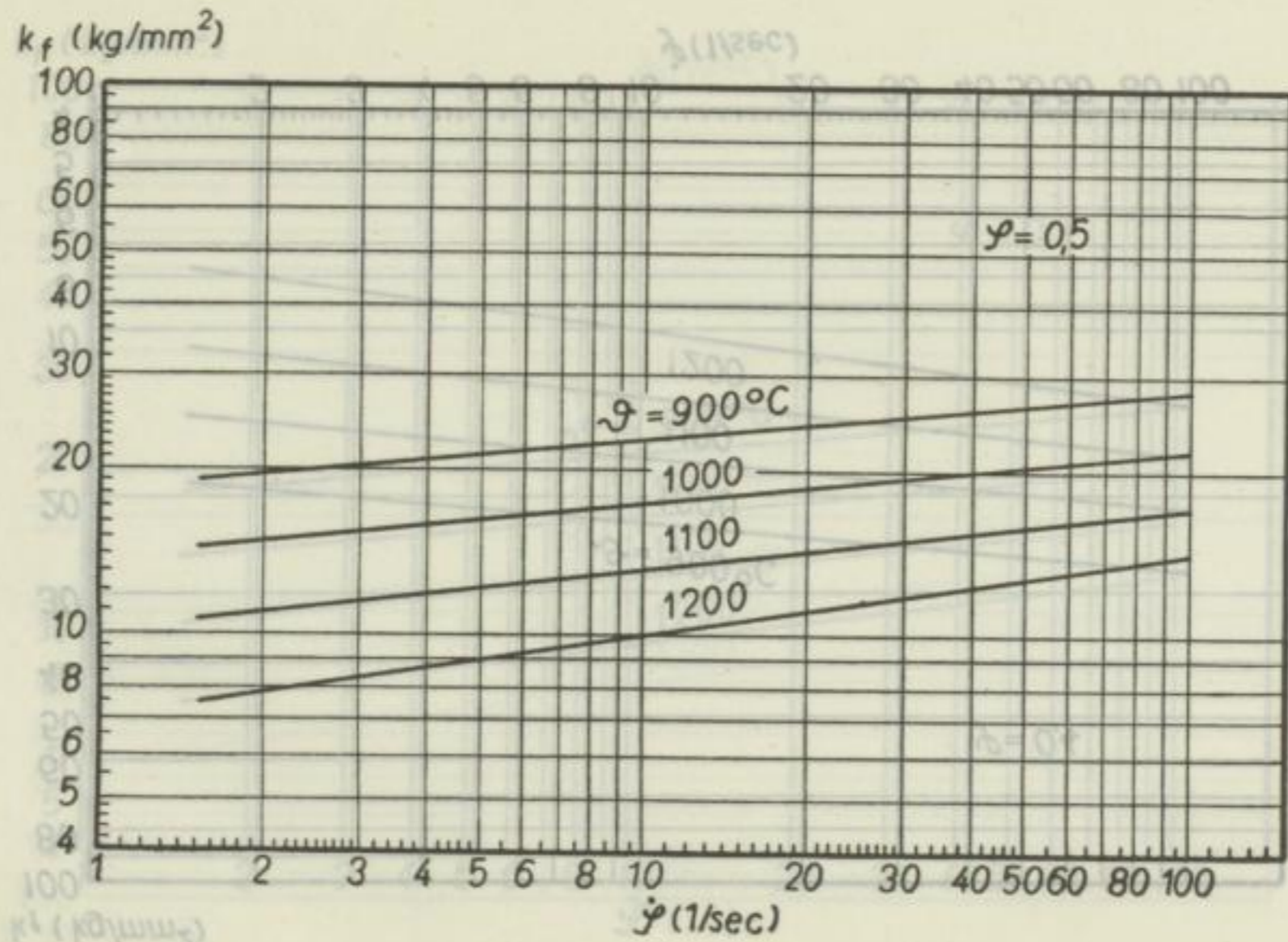


Berechnung von Walzkraft und Drehmoment

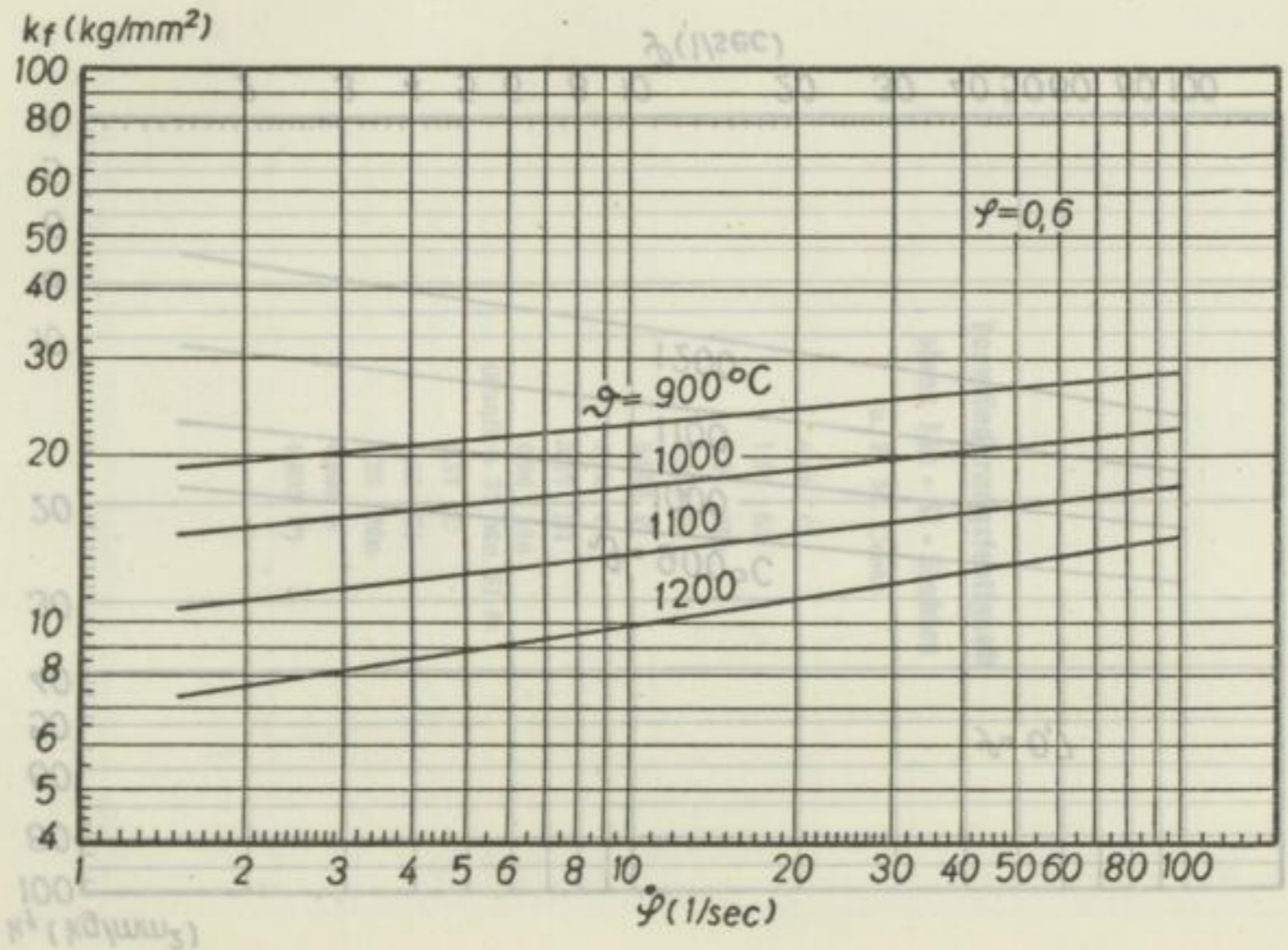


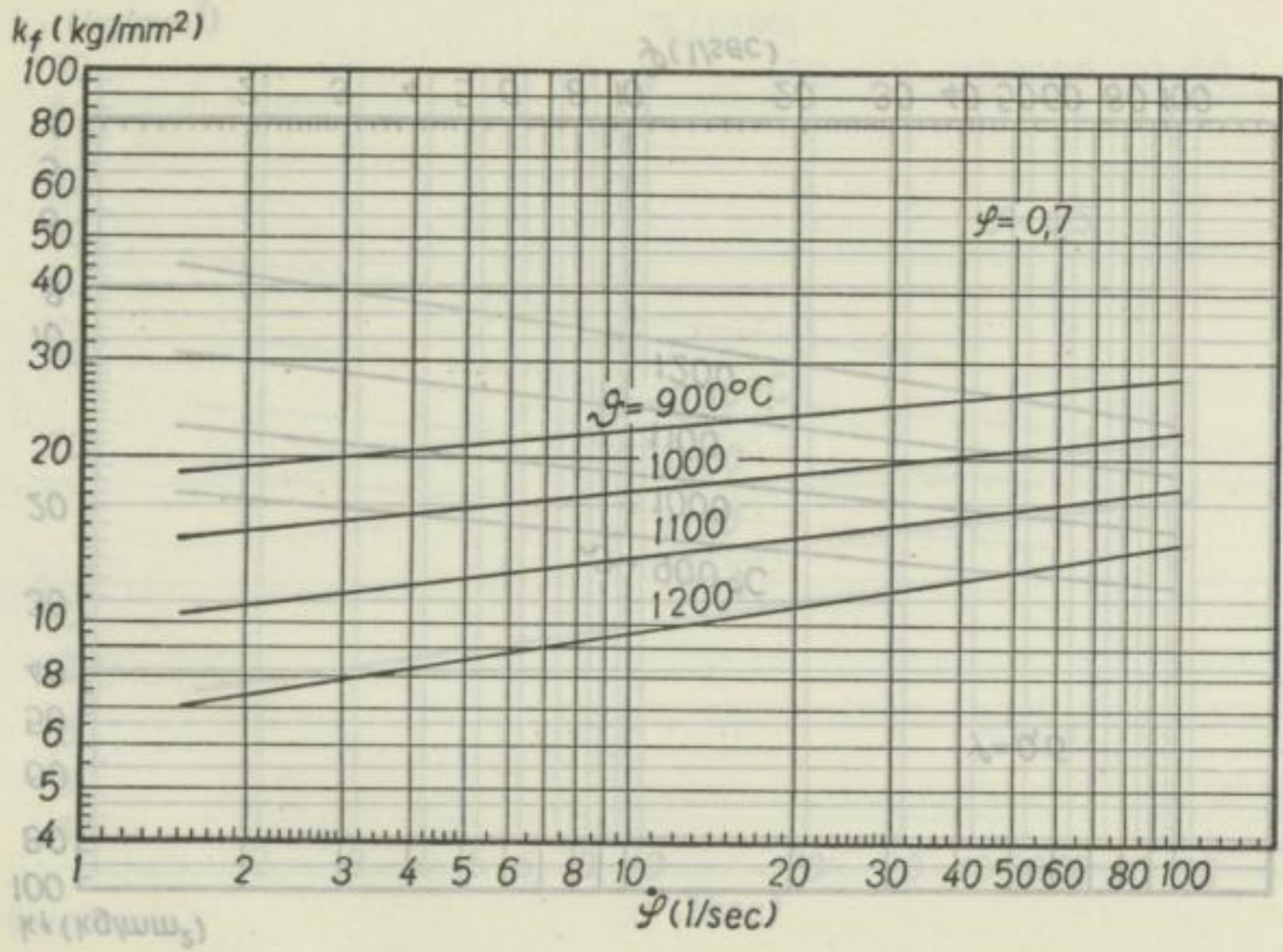
Karlheinz Weber



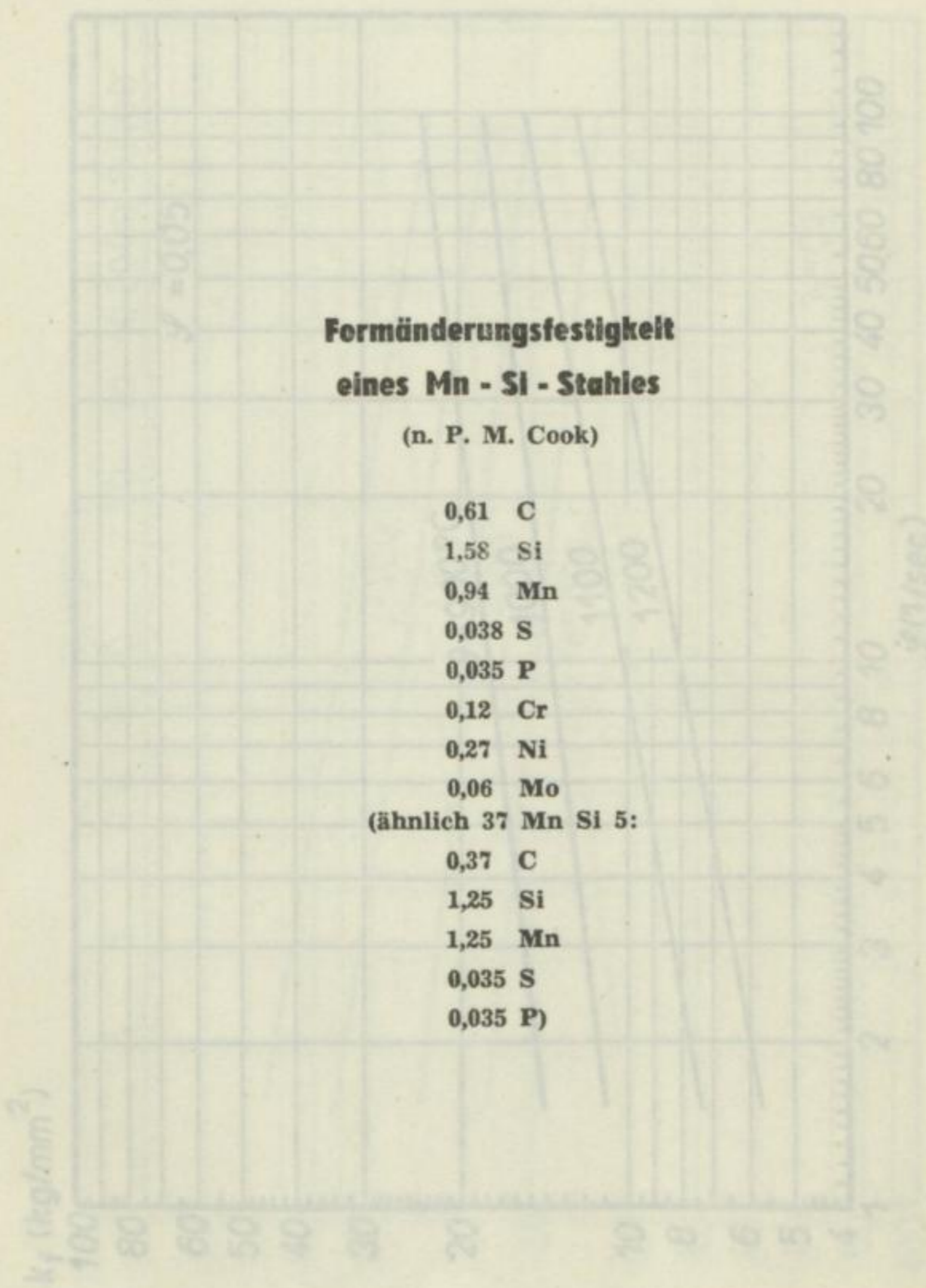


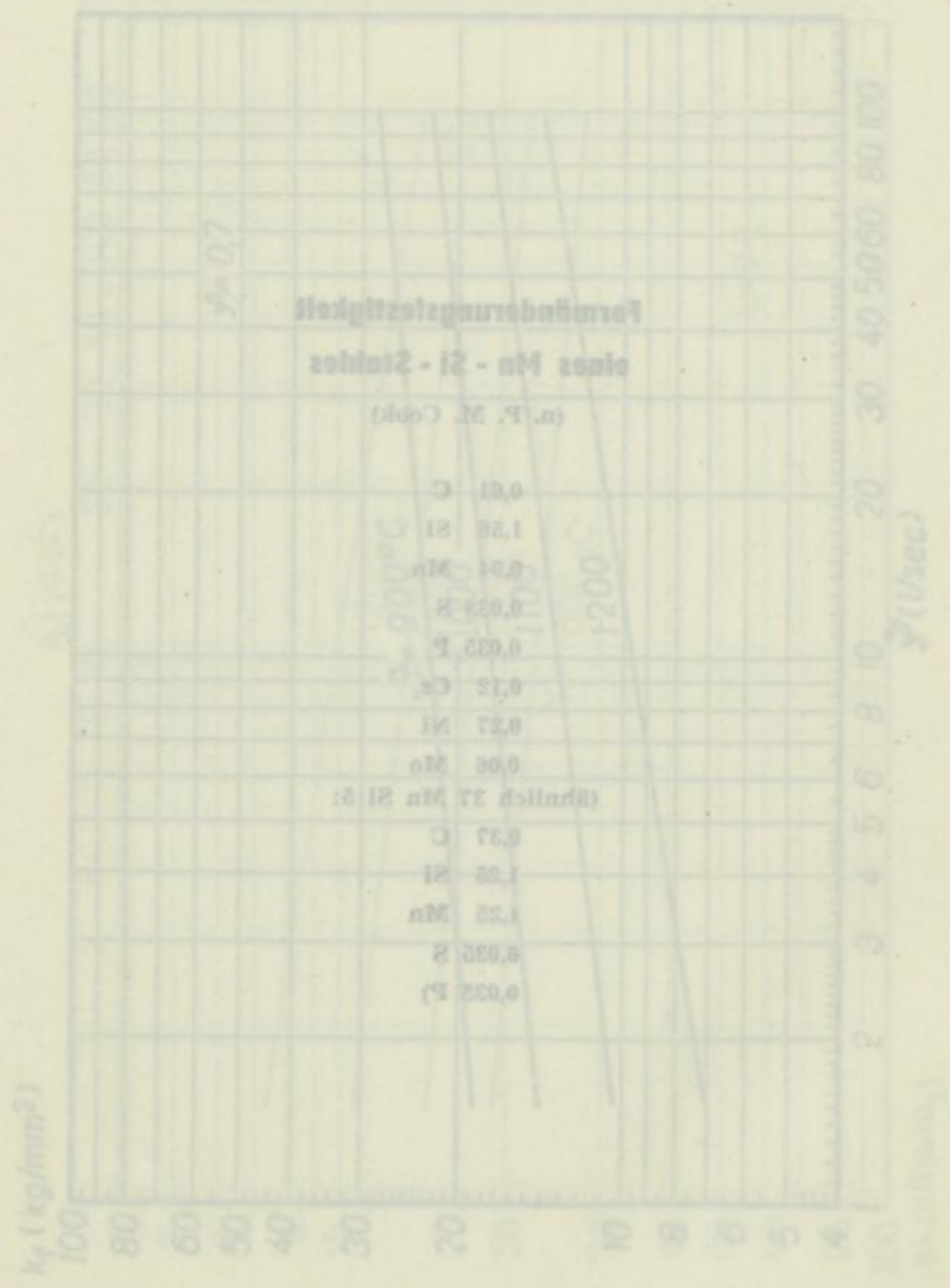
Karlheinz Weber

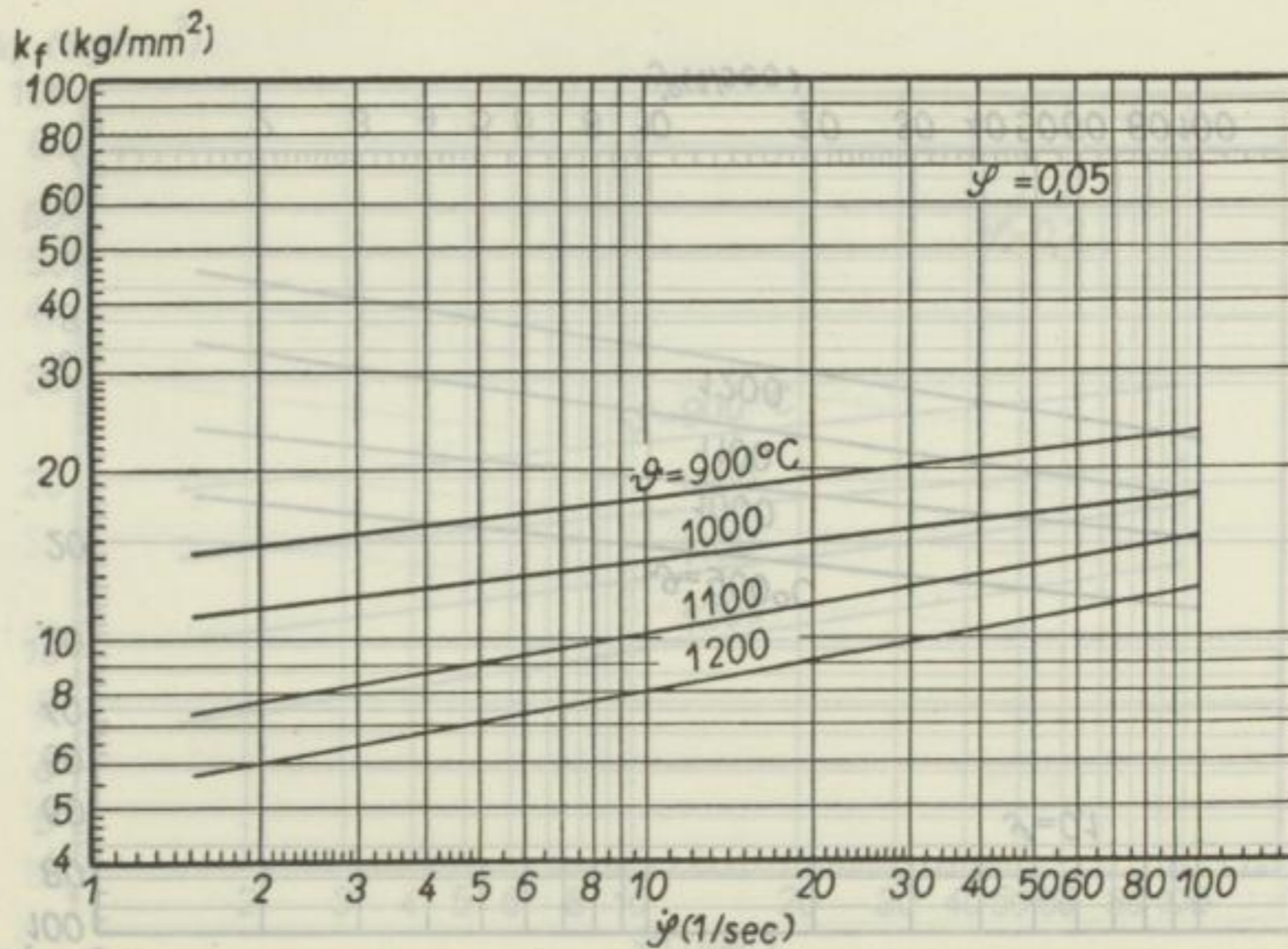


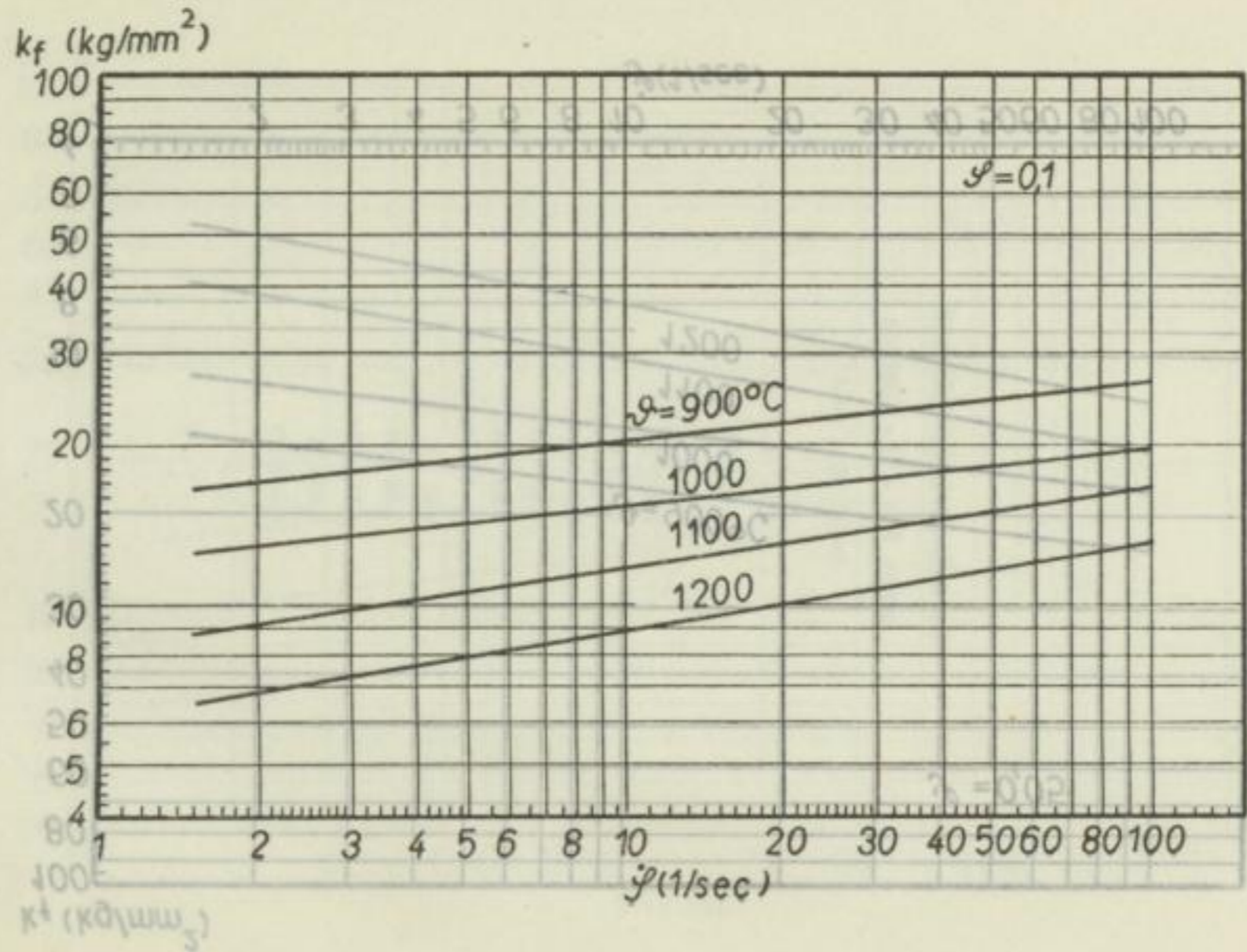


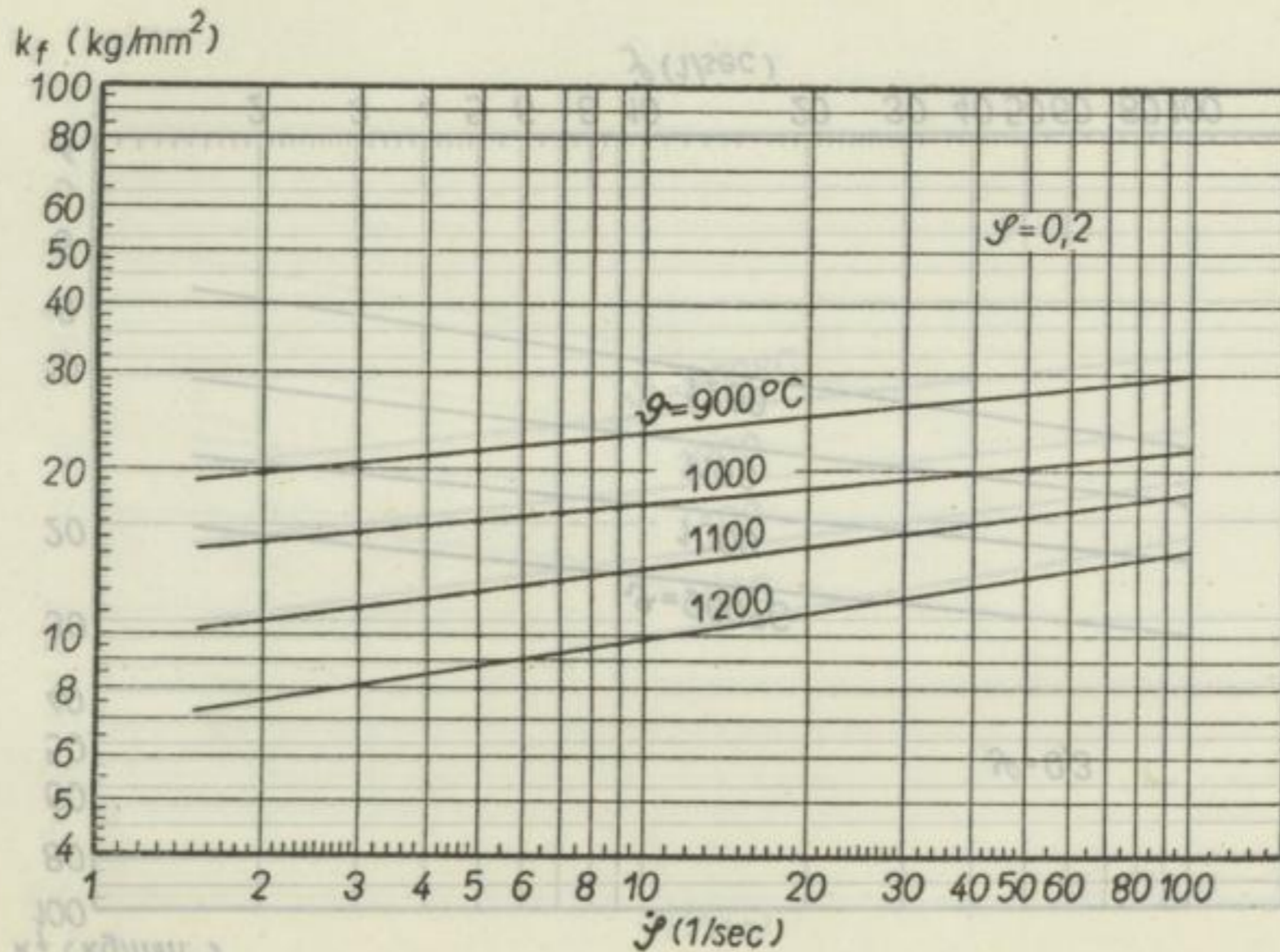
Handwritten text: Karlbahn Weber

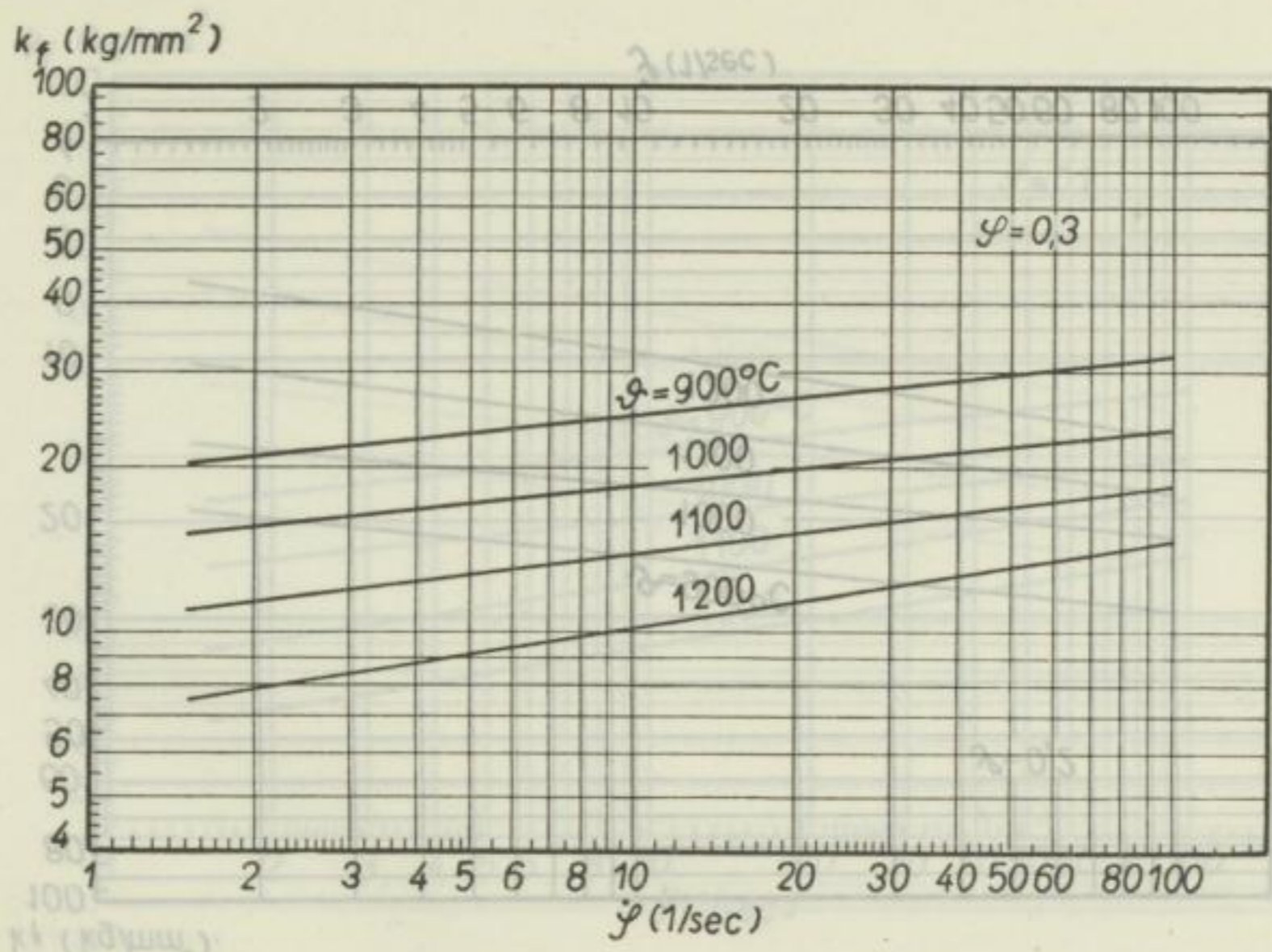




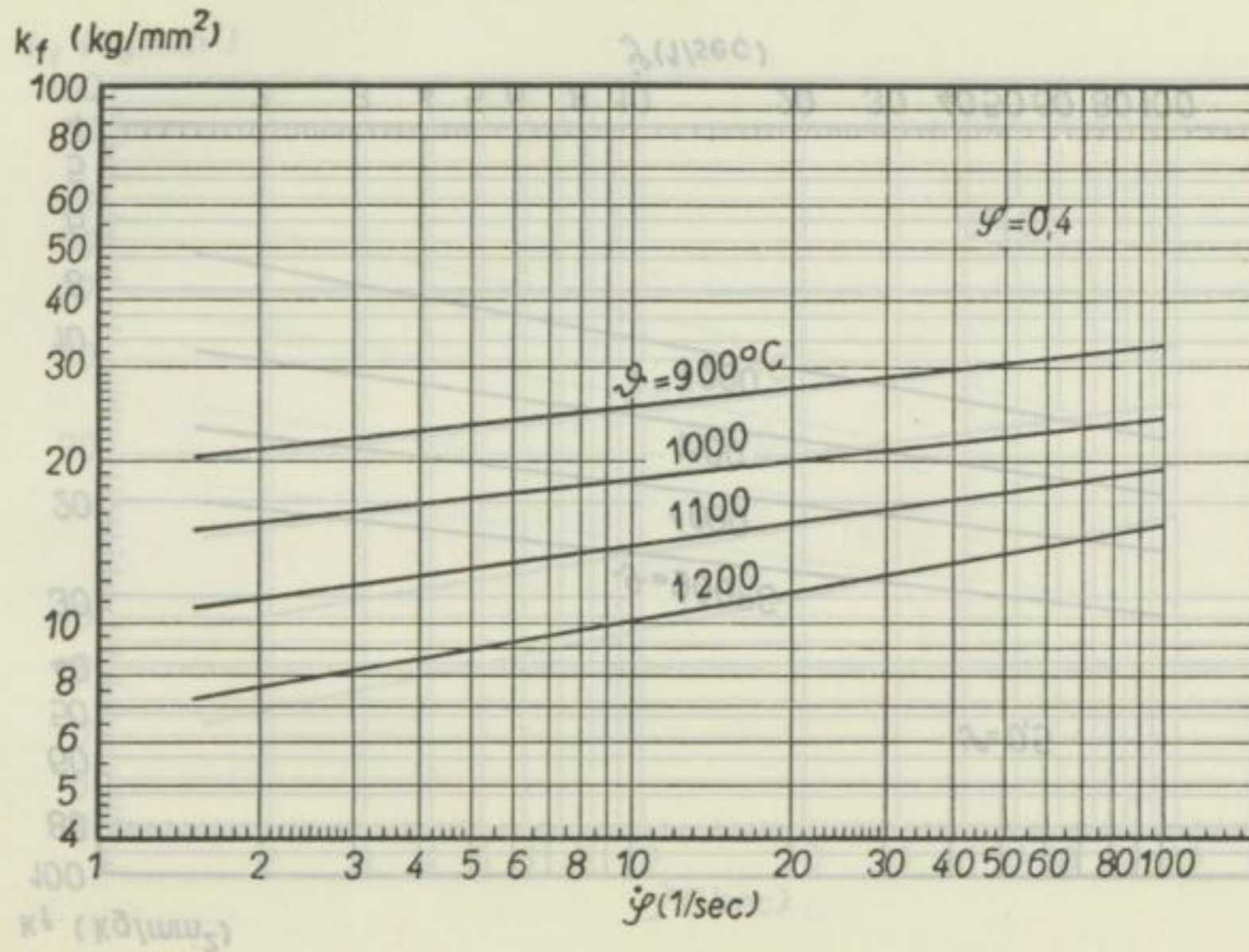


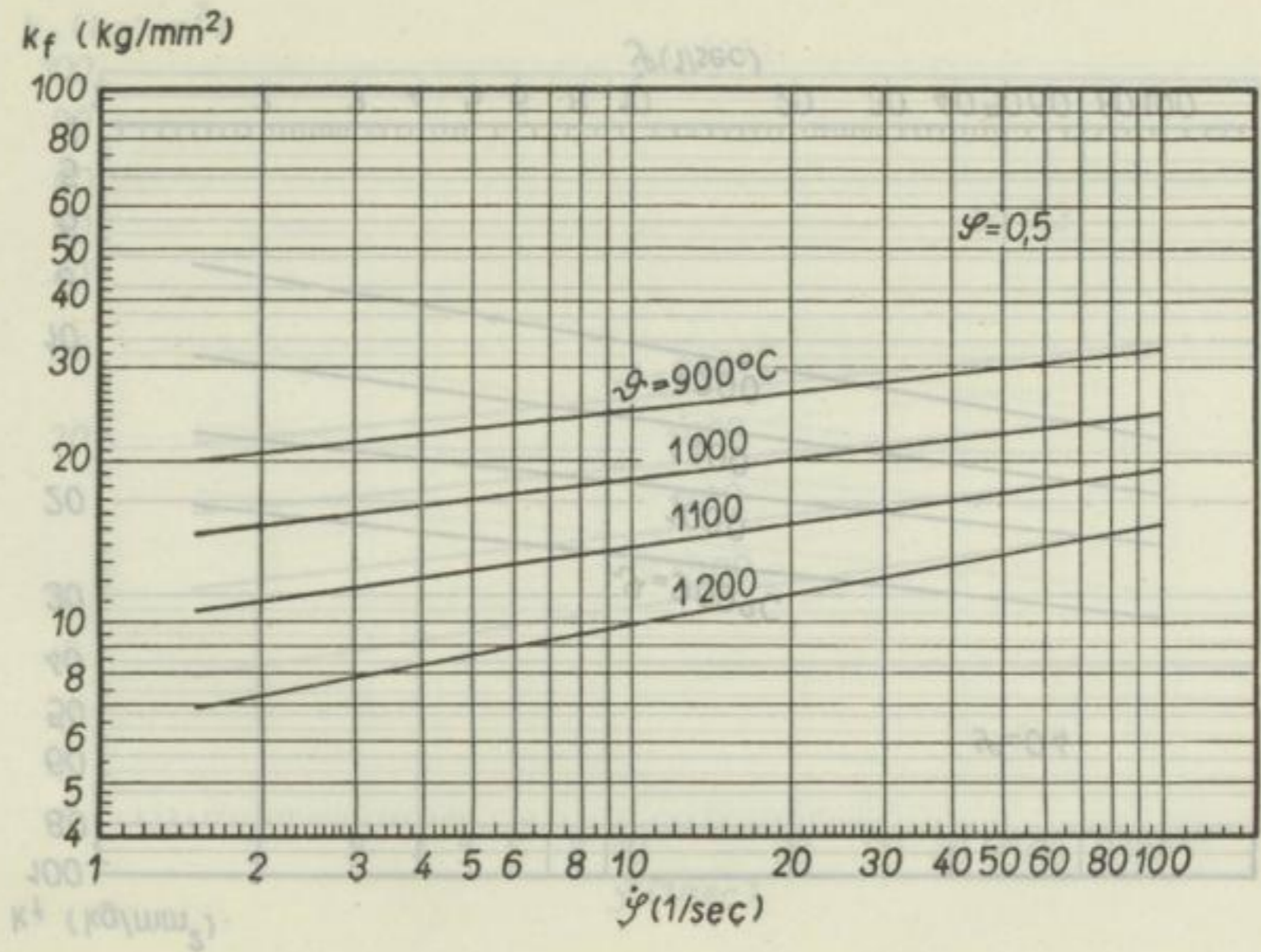




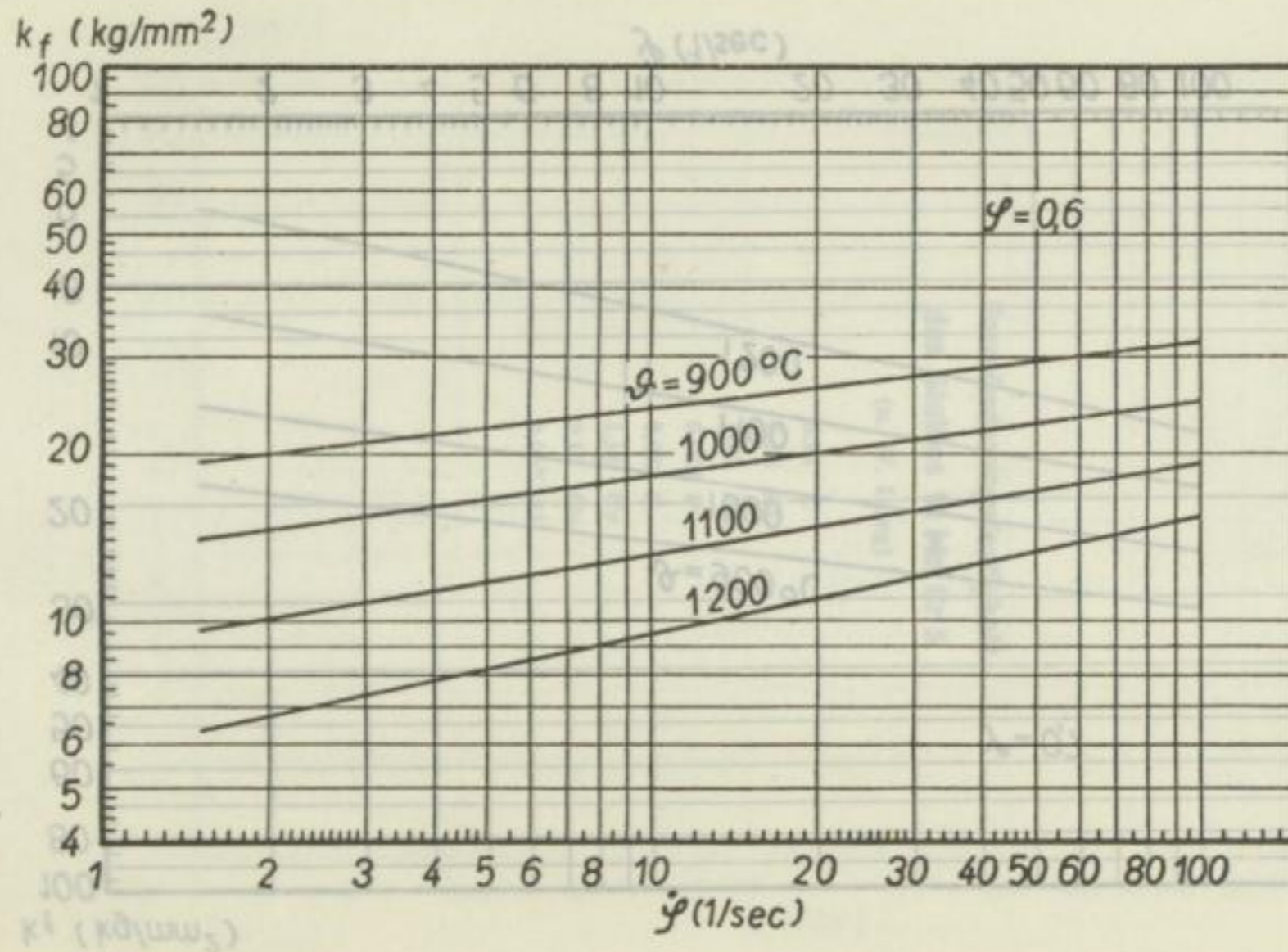


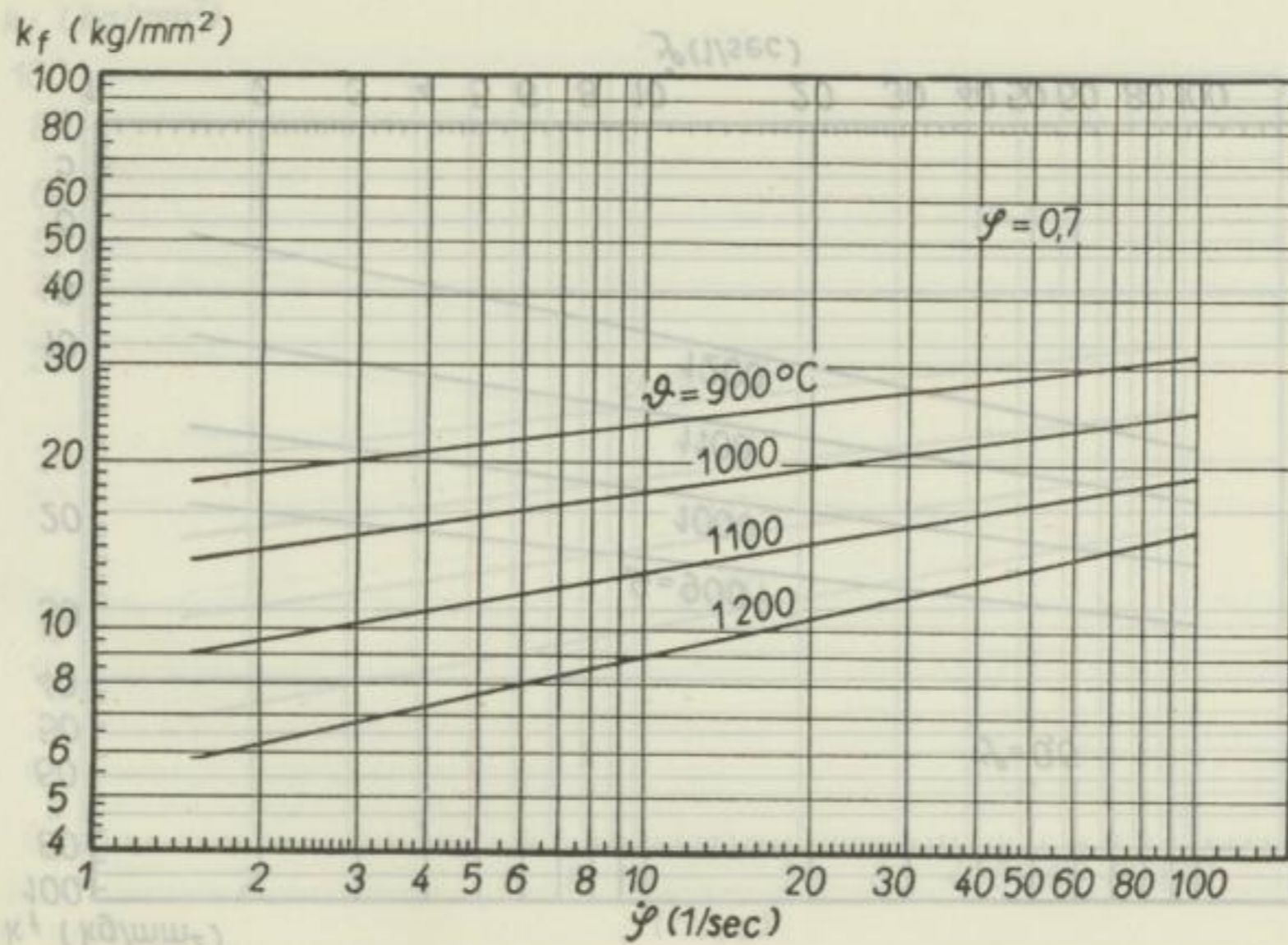
Karlheinz Weber



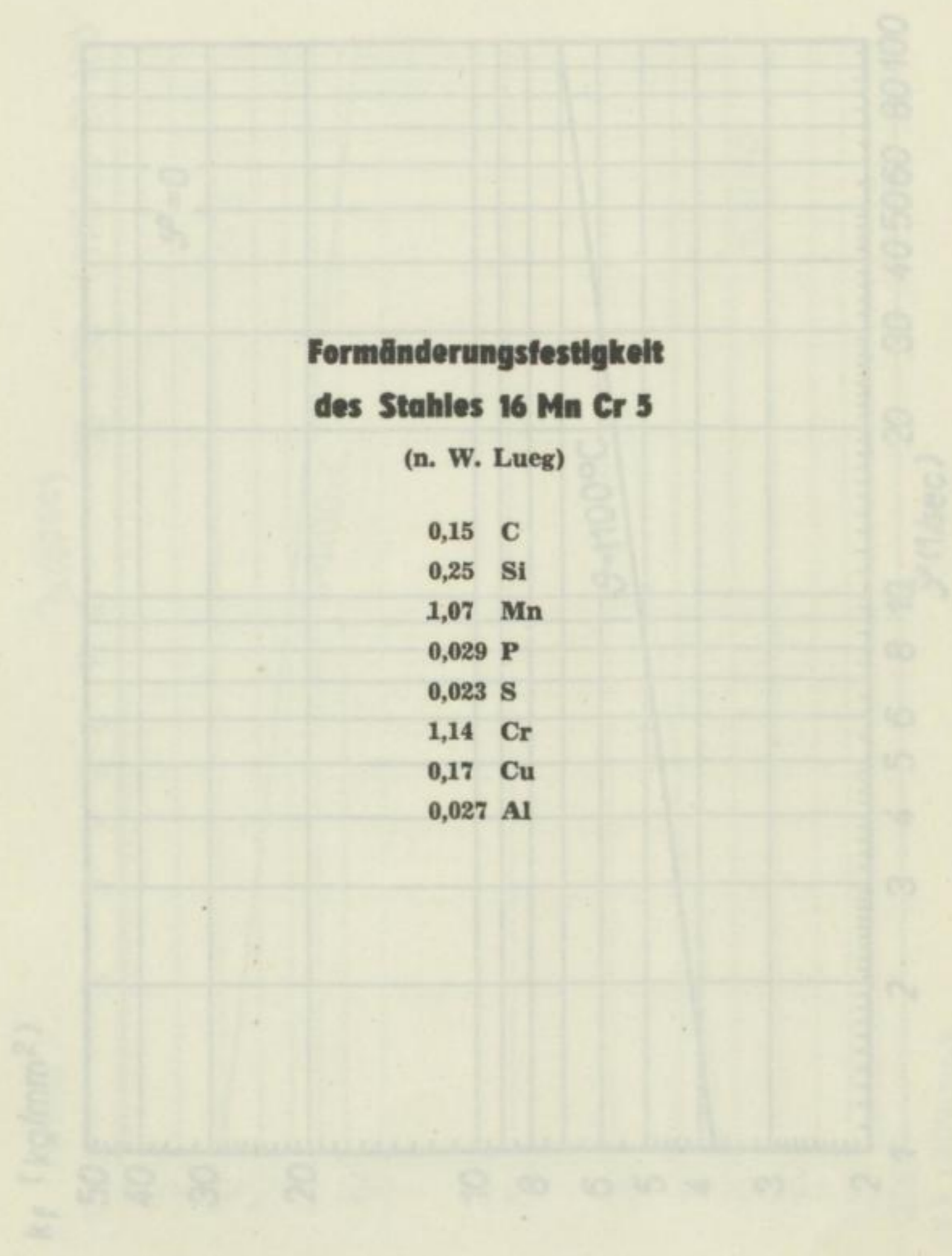


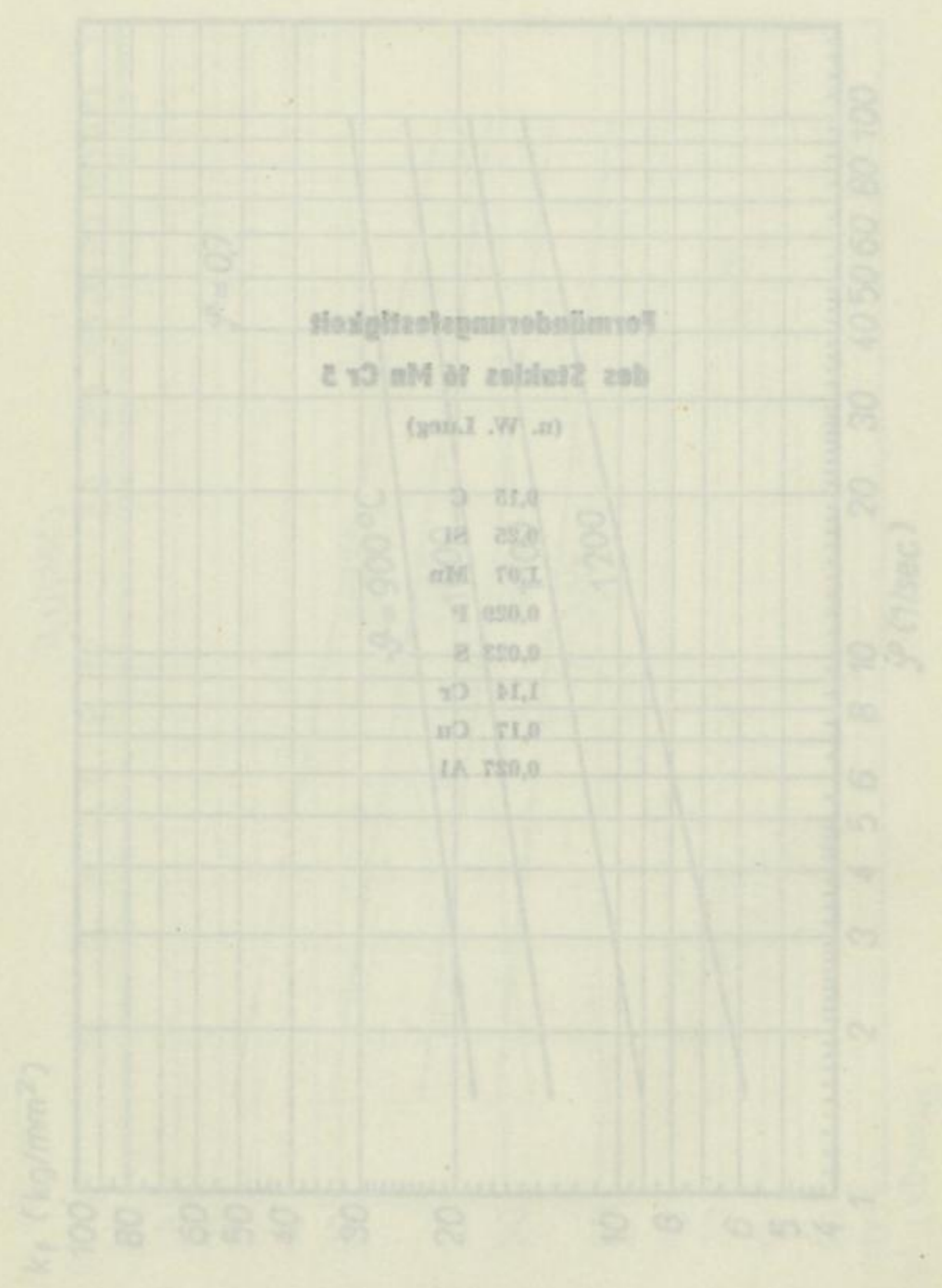
Karlheinz Weber



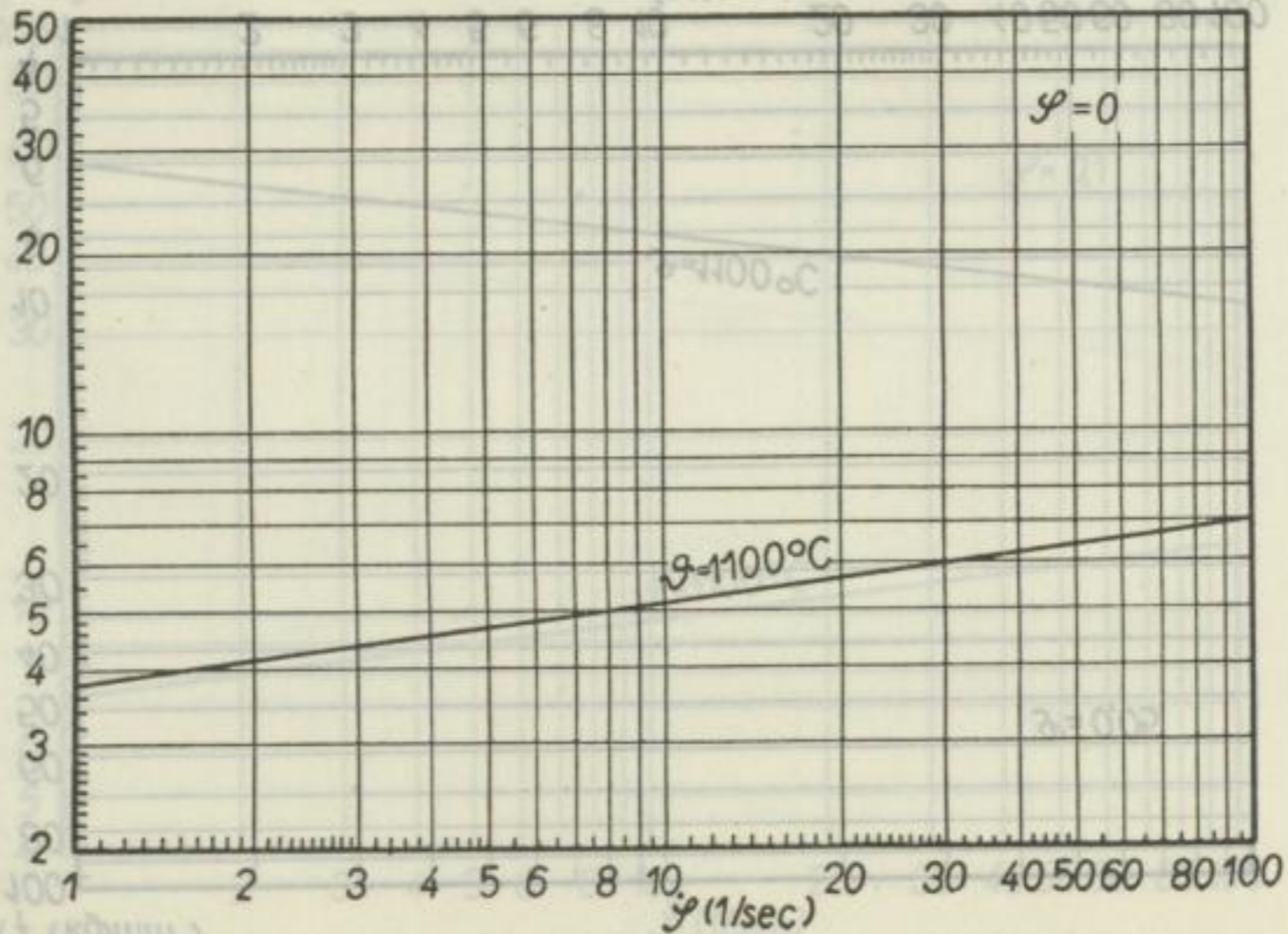


Karlheinz Weber

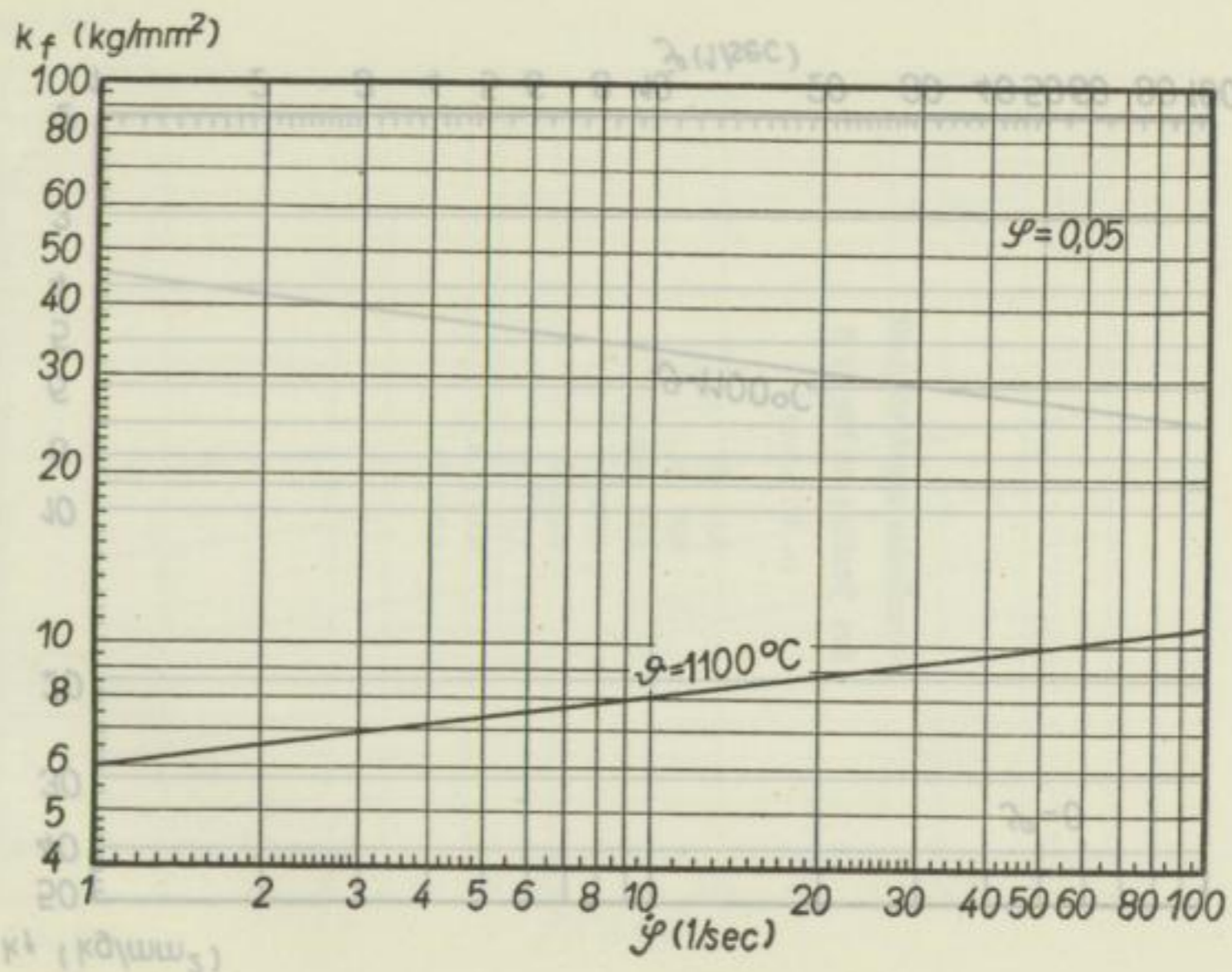


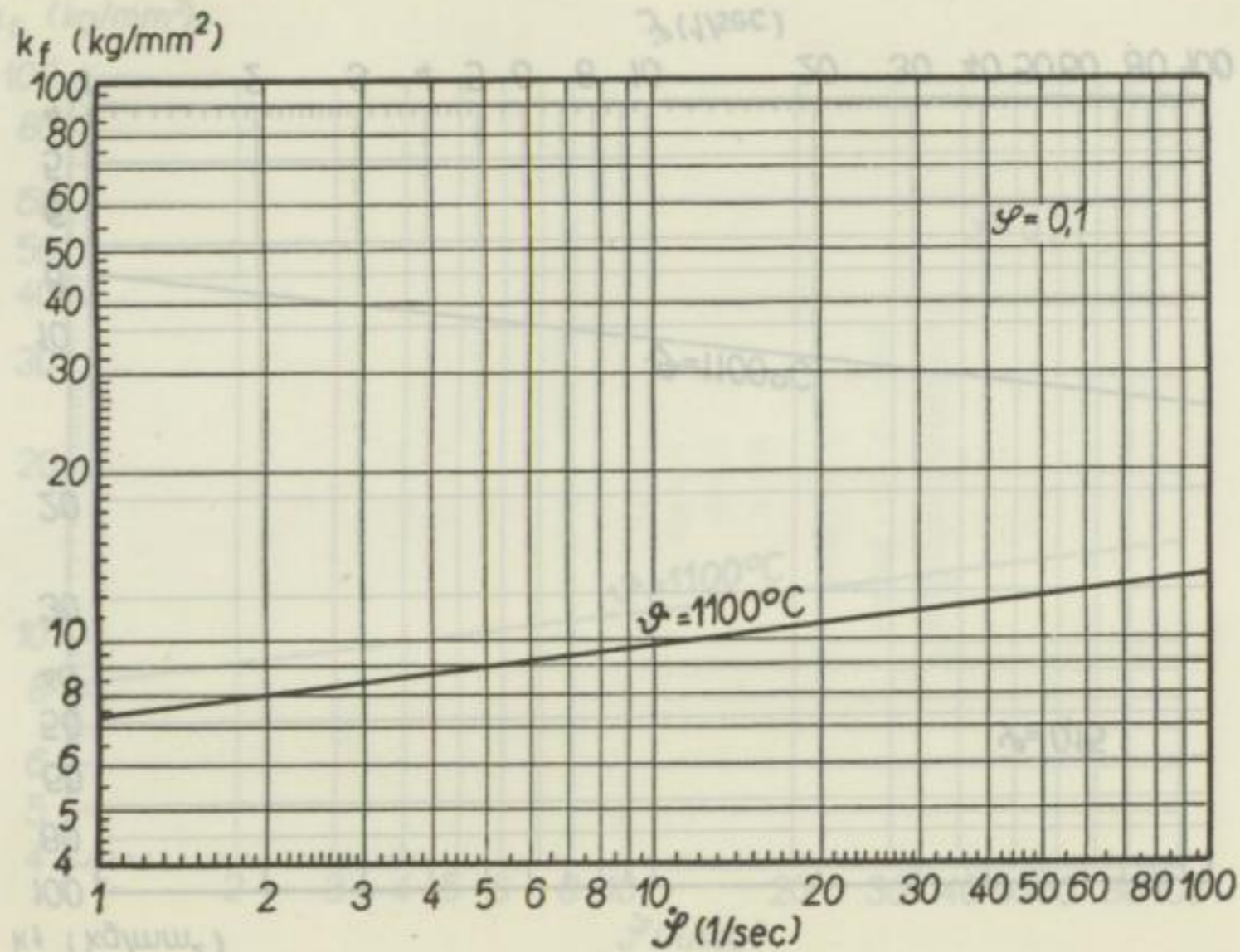


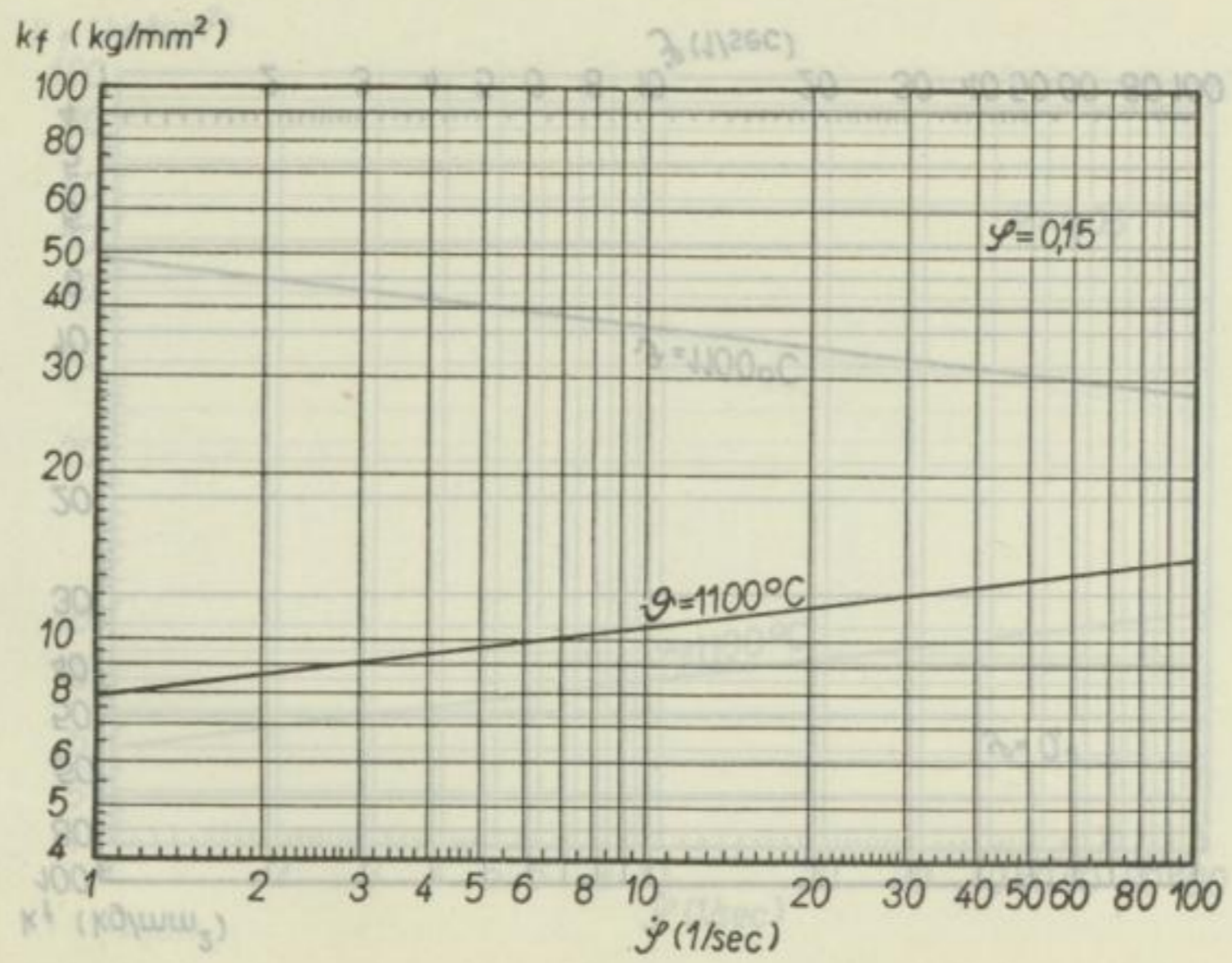
k_f (kg/mm²)



Berechnung von Walzkraft und Drehmoment

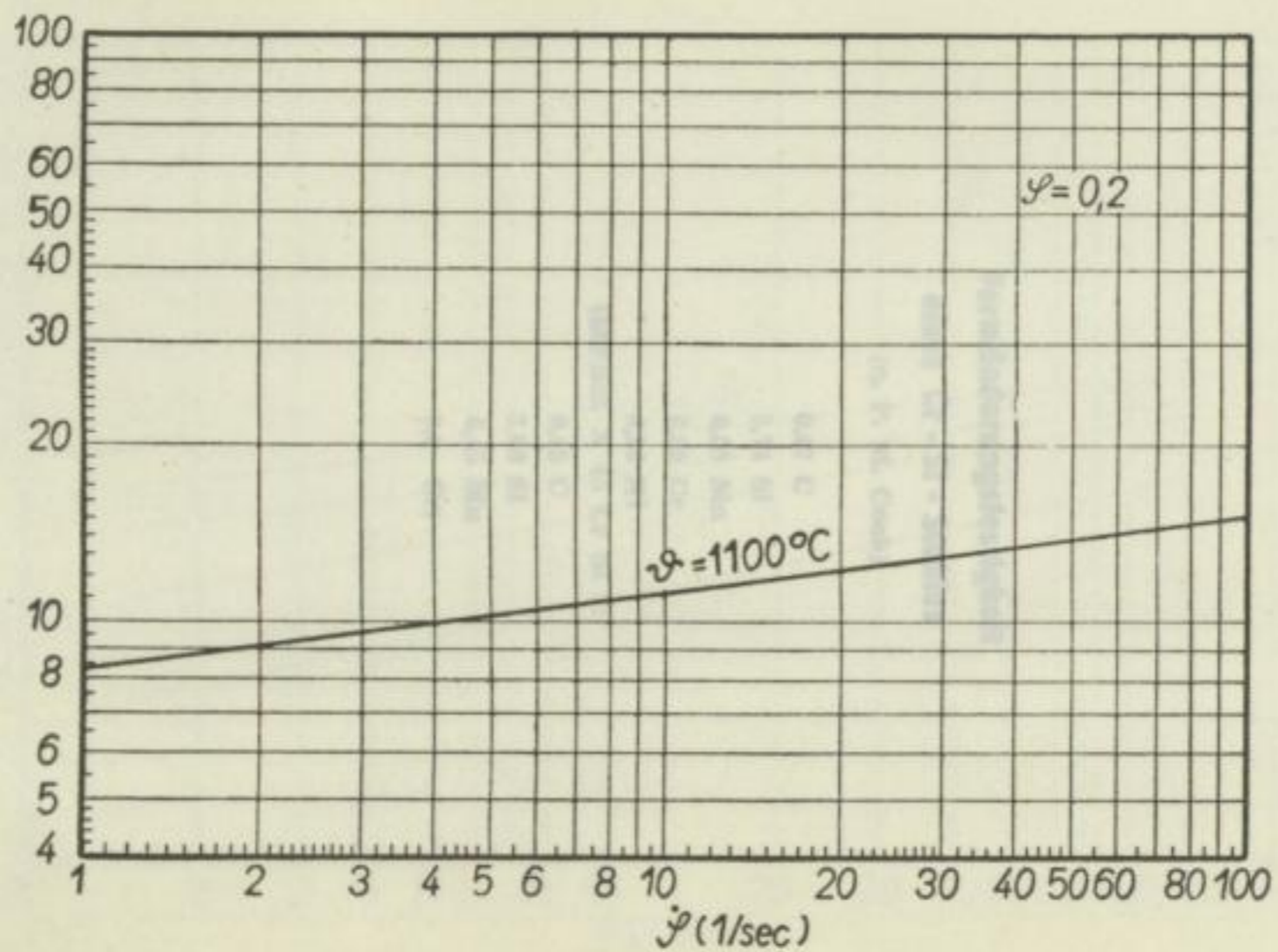


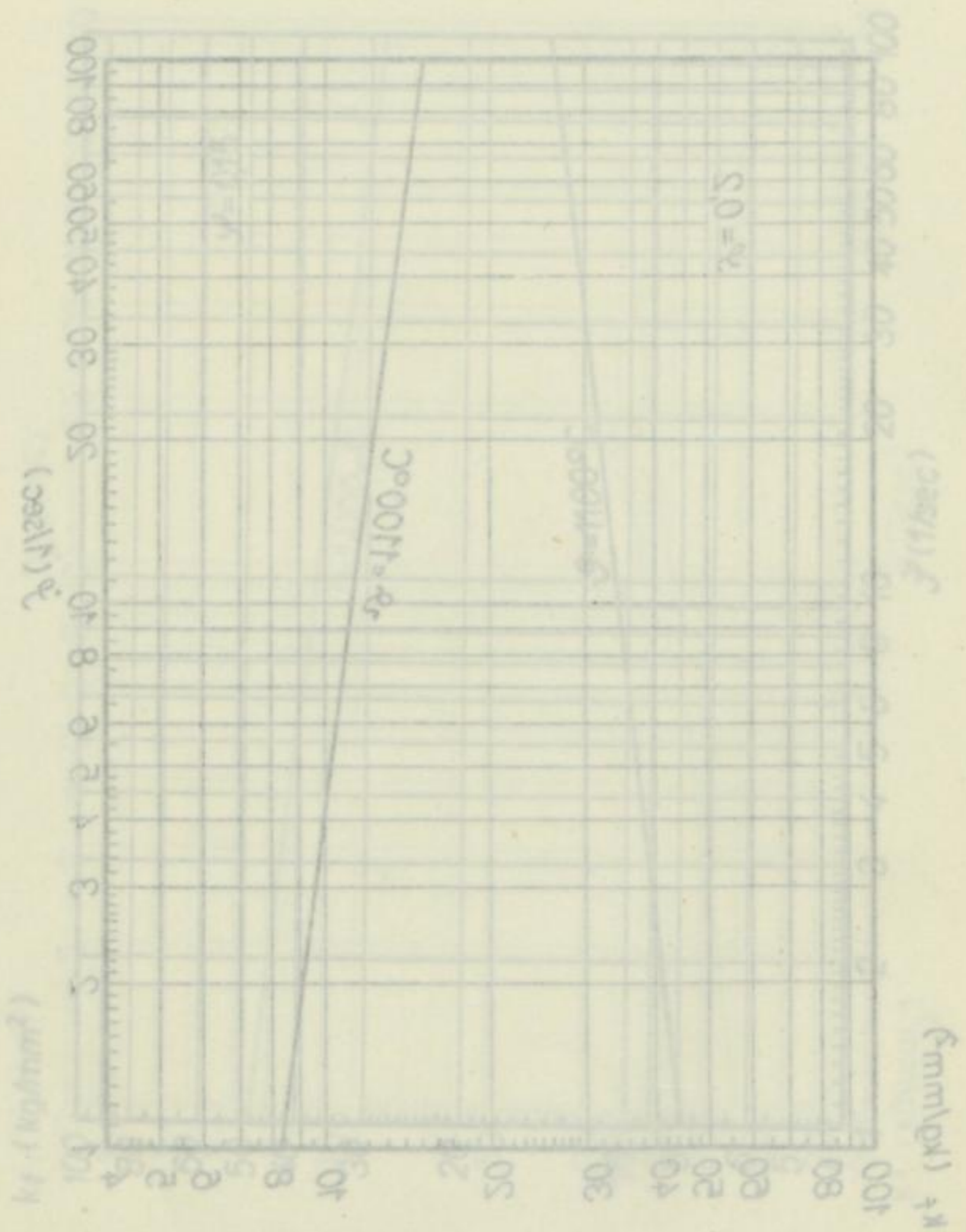




Karlsruhe: Weber / Gumboldt

k_f (kg/mm²)





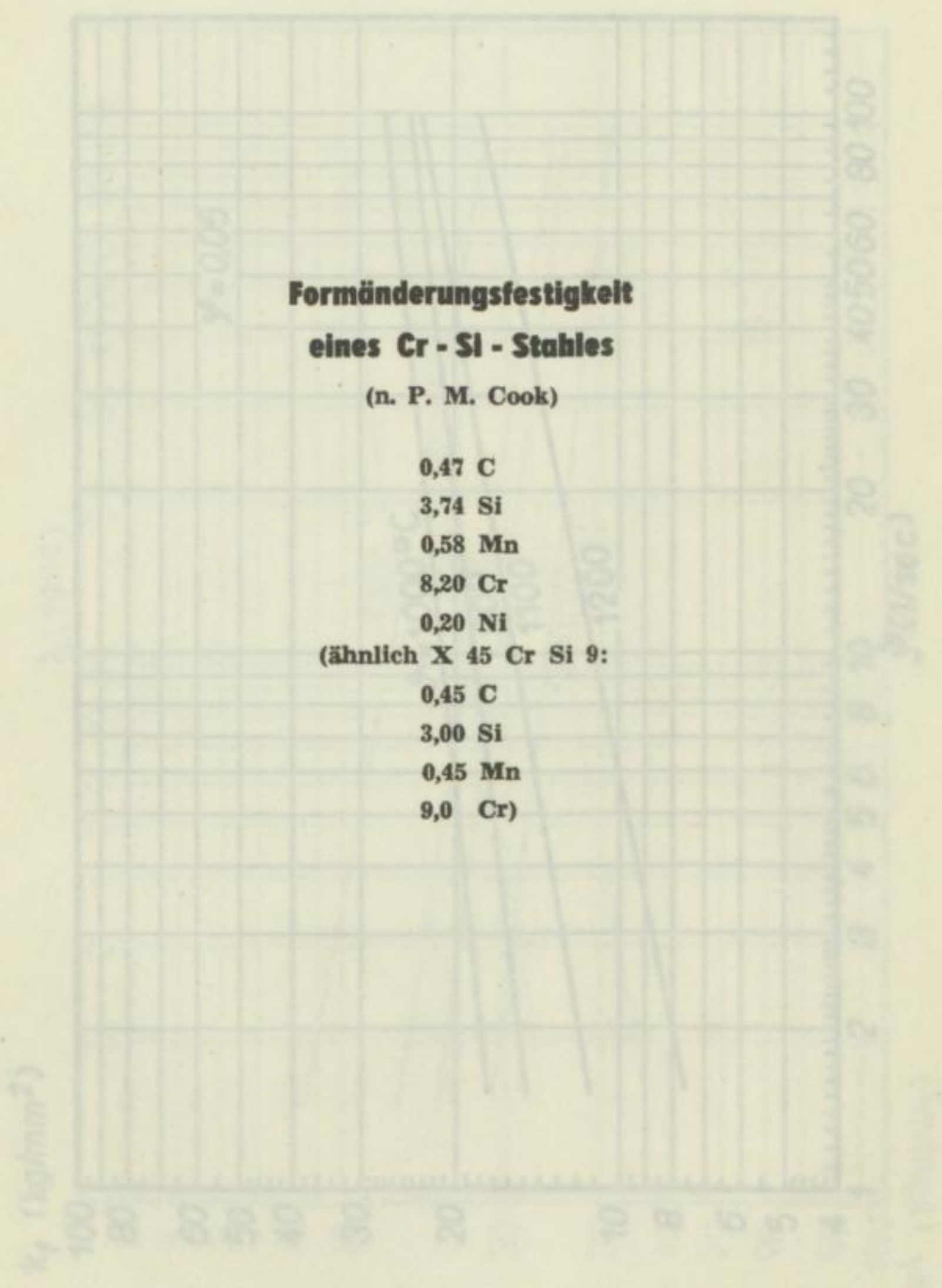
**Formänderungsfestigkeit
eines Cr - Si - Stahles**

(n. P. M. Cook)

- 0,47 C
- 3,74 Si
- 0,58 Mn
- 8,20 Cr
- 0,20 Ni

(ähnlich X 45 Cr Si 9:

- 0,45 C
- 3,00 Si
- 0,45 Mn
- 9,0 Cr)



Formänderungszeitigkeit

eines Cr - Si - Stahles

(n. P. M. Cook)

0,17 C

2,74 Si

0,28 Mn

8,20 Cr

0,20 Ni

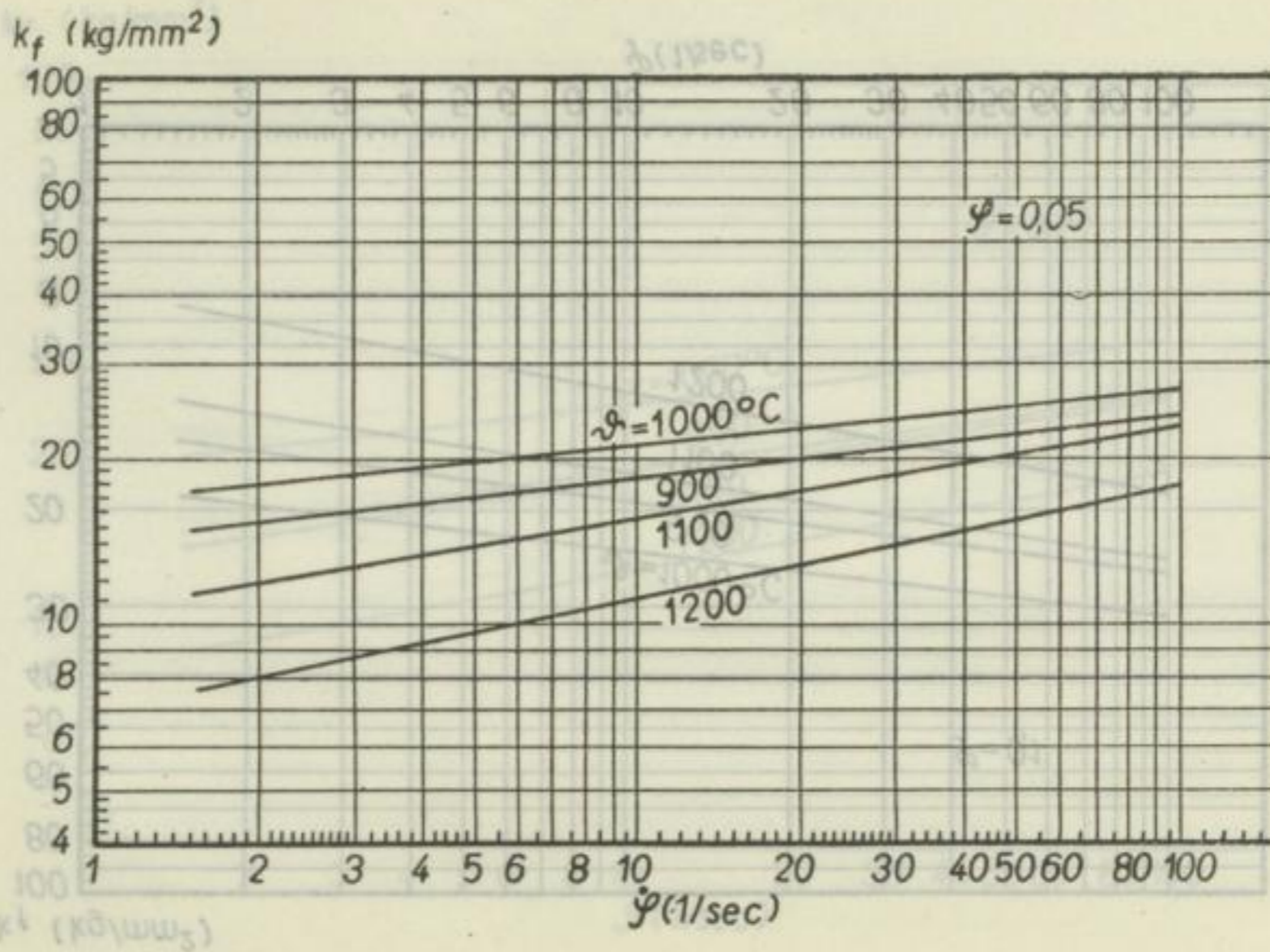
(ähnlich X 45 Cr Si 9)

0,45 C

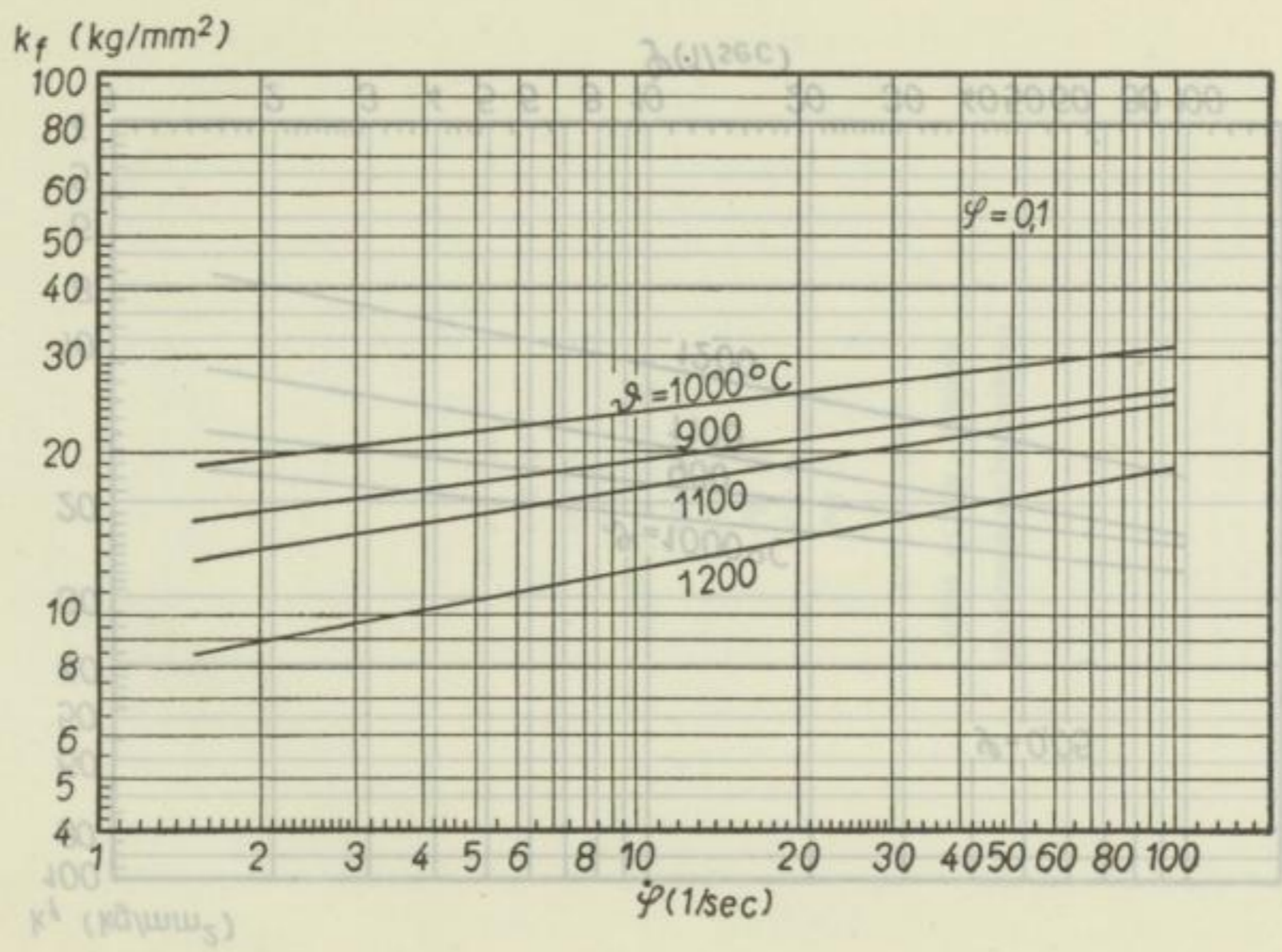
2,00 Si

0,45 Mn

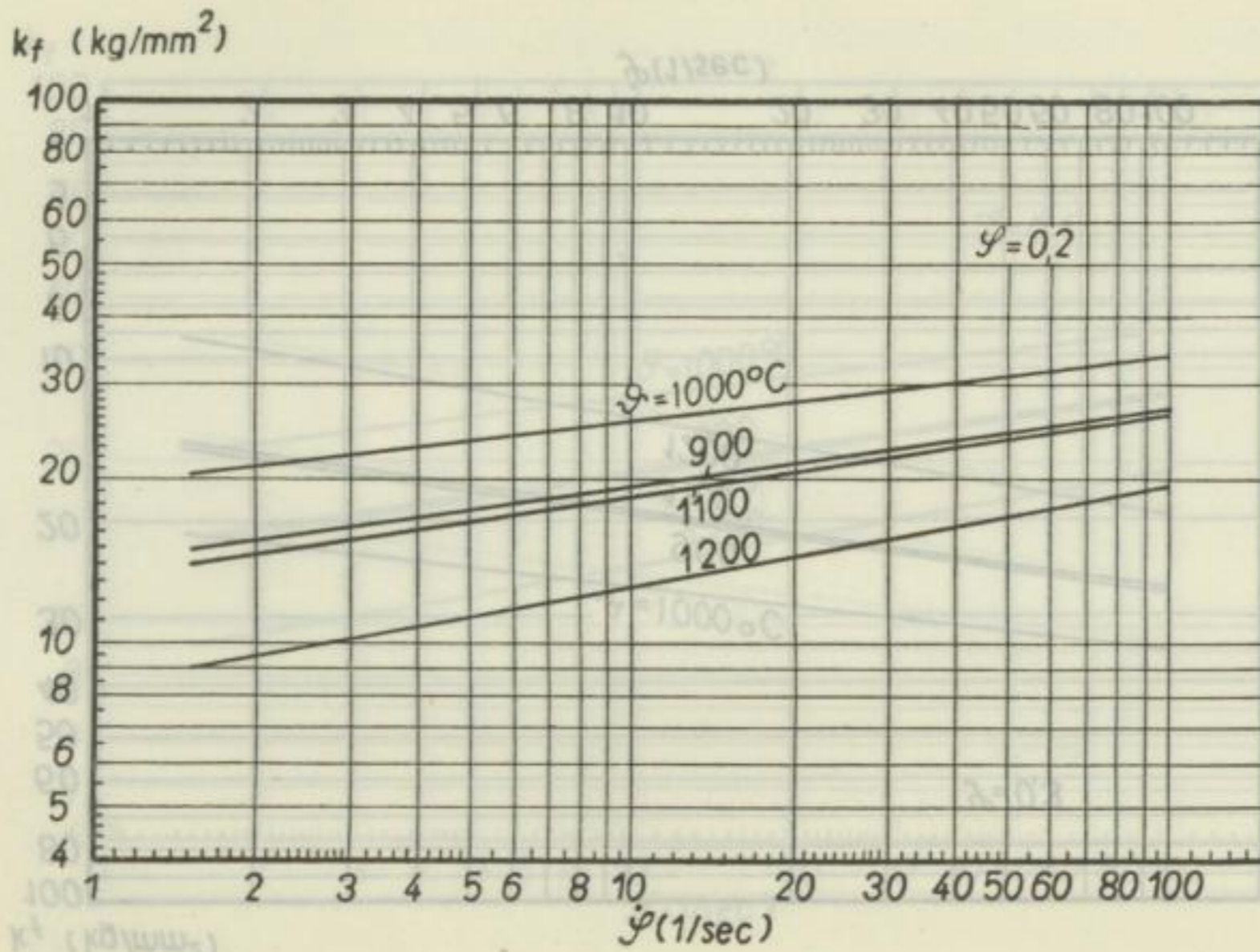
0,0 Cr

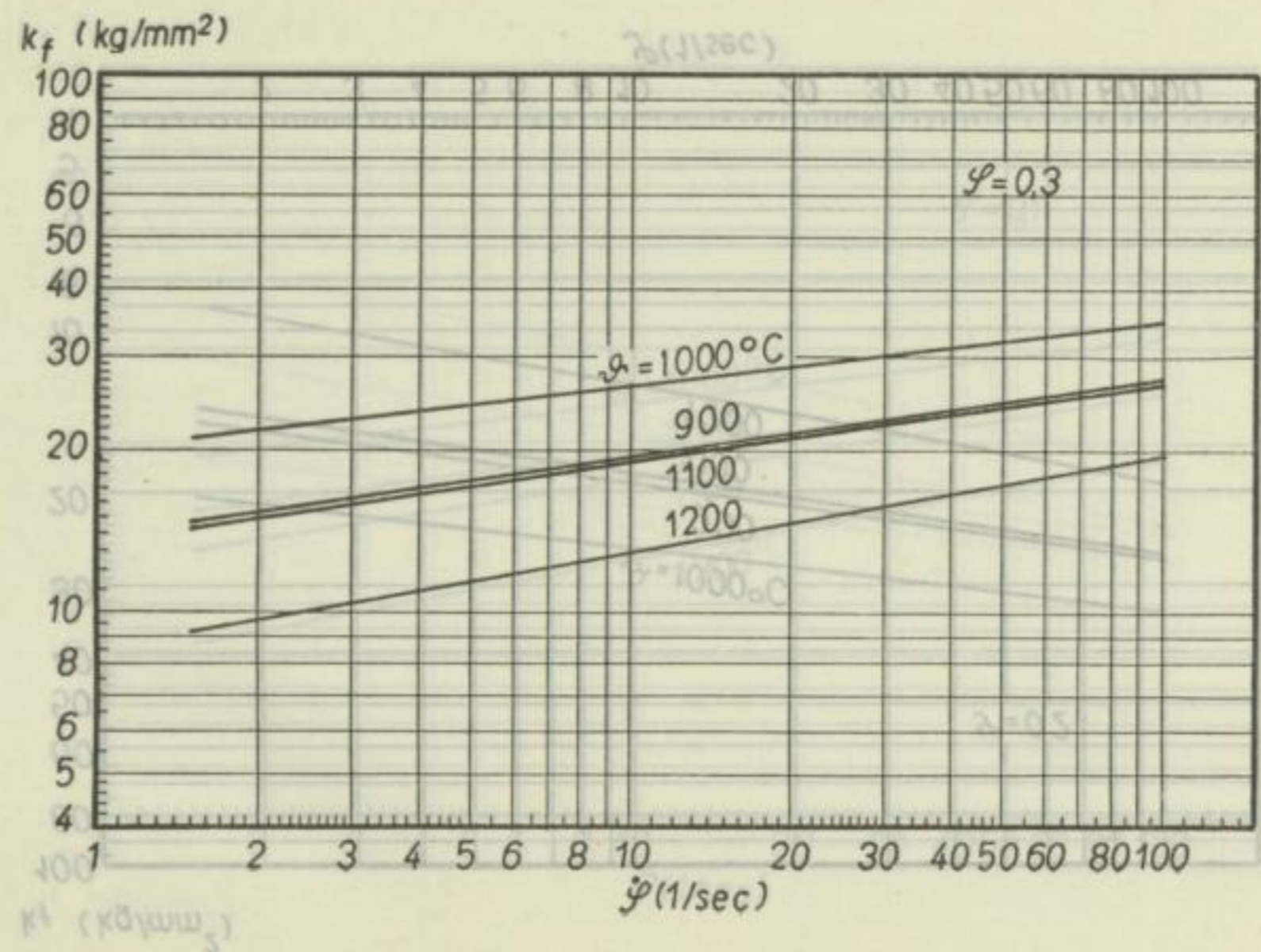


Berechnung von Walzkraft und Drehmoment

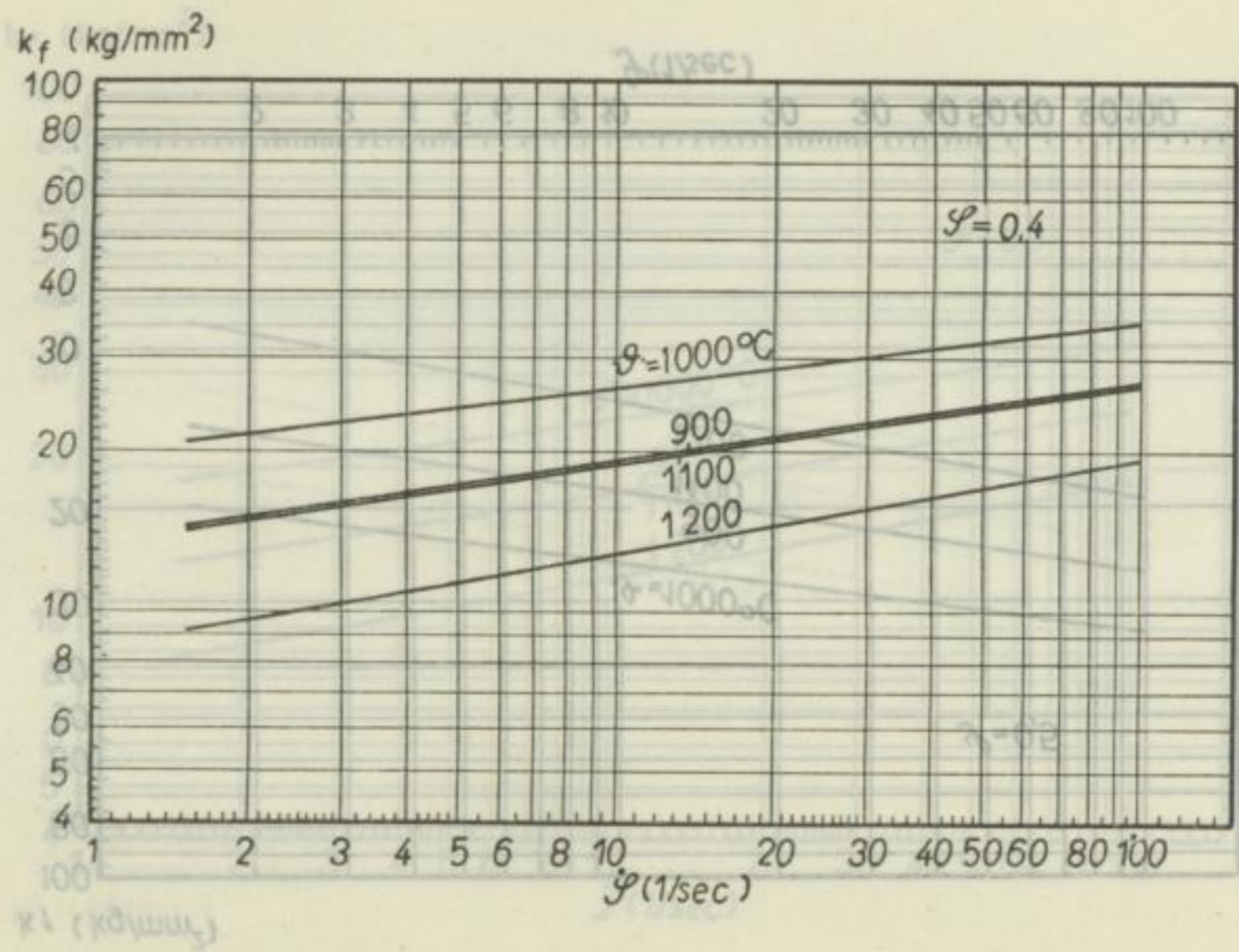


Karlheinz Weber

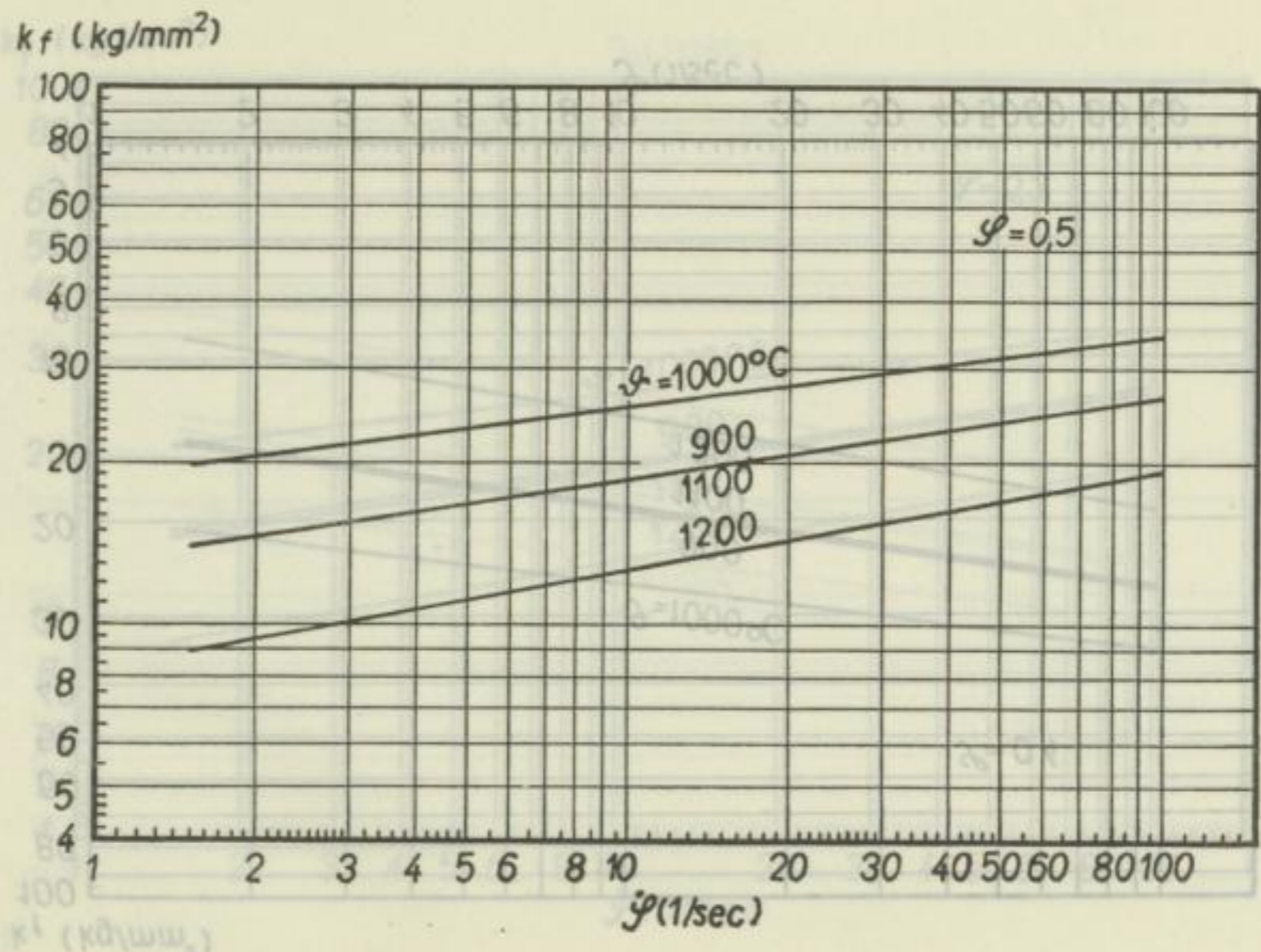




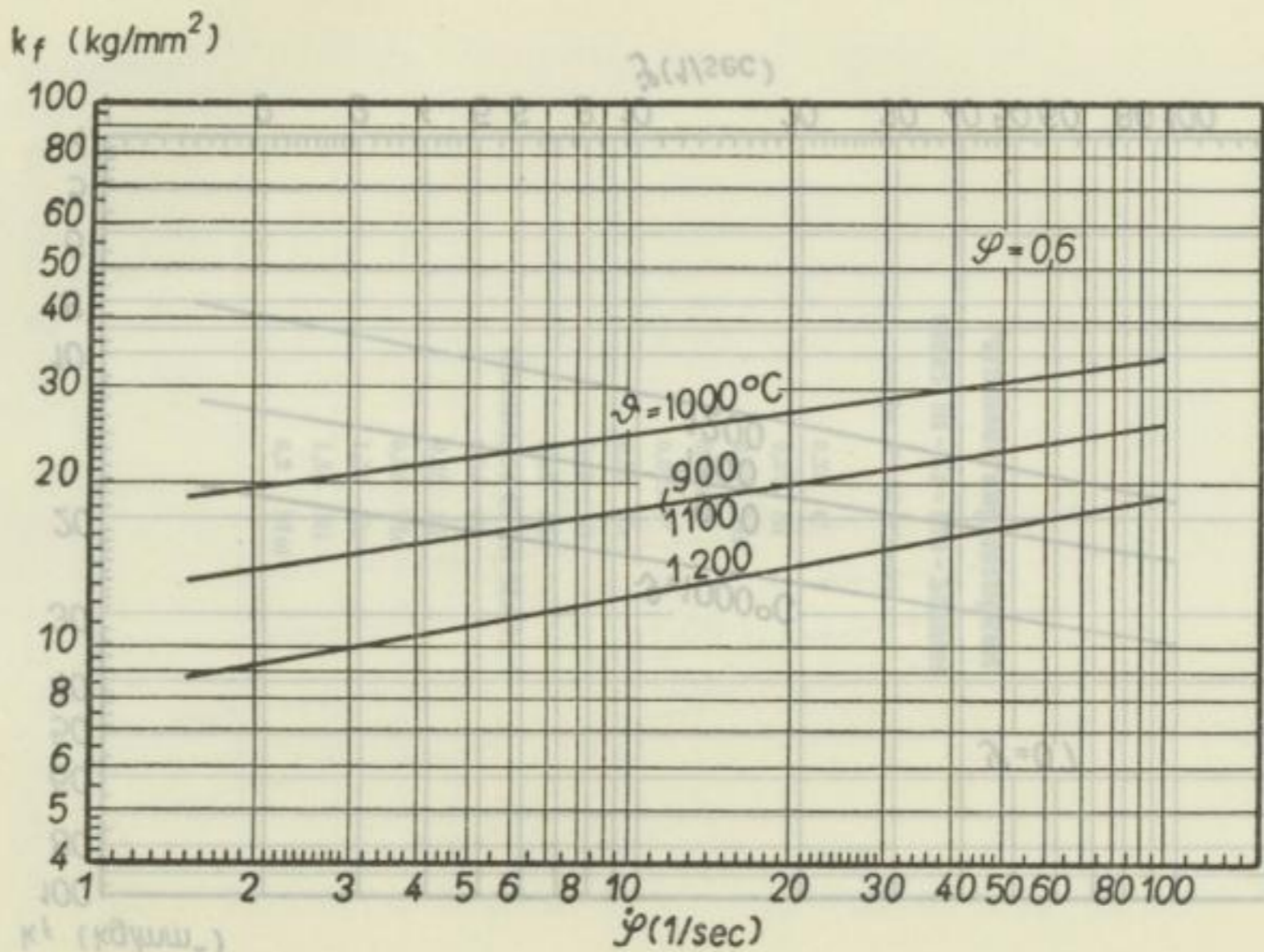
Karlheinz Weber

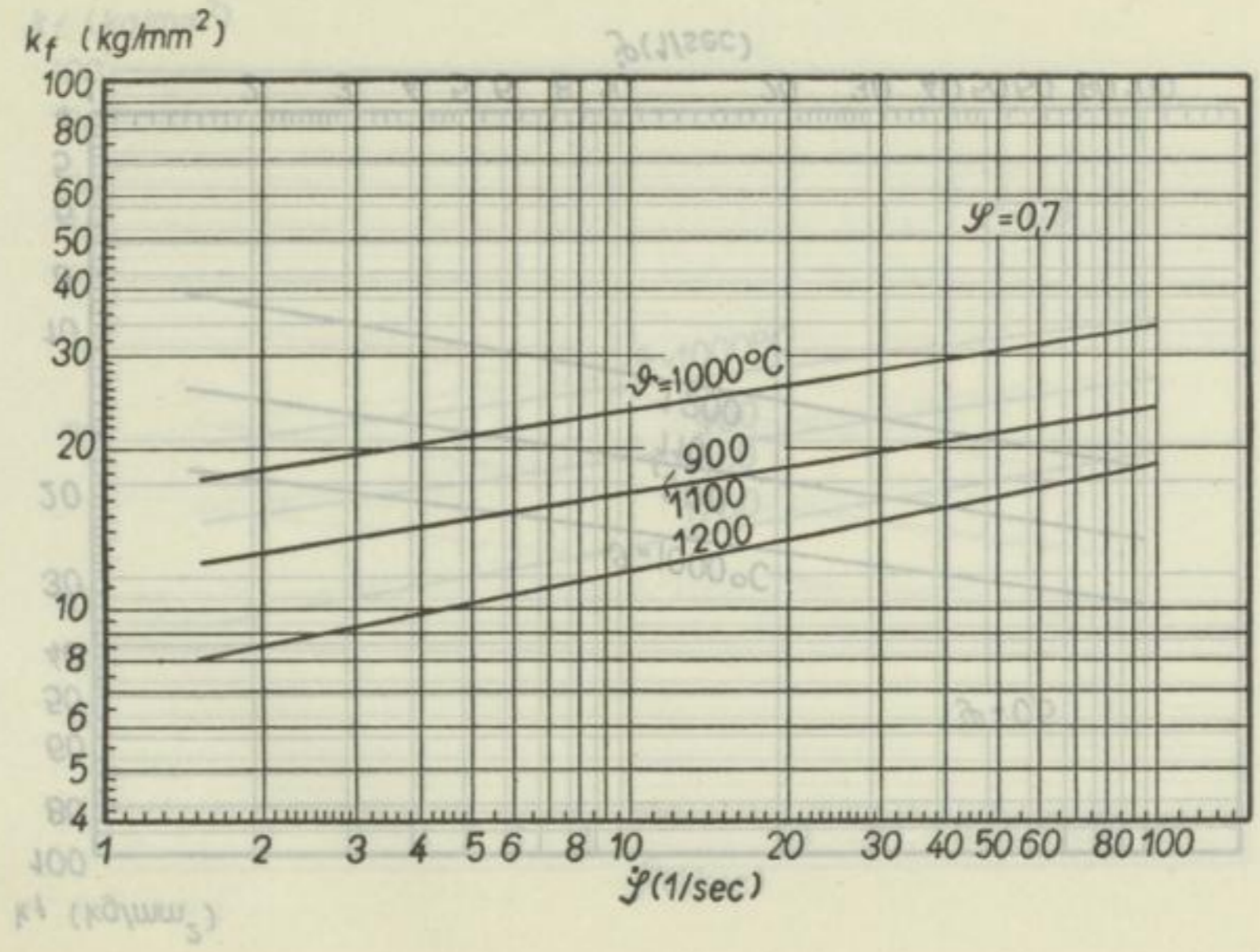


Berechnung von Walzkraft und Drehmoment



Karlheinz Weber





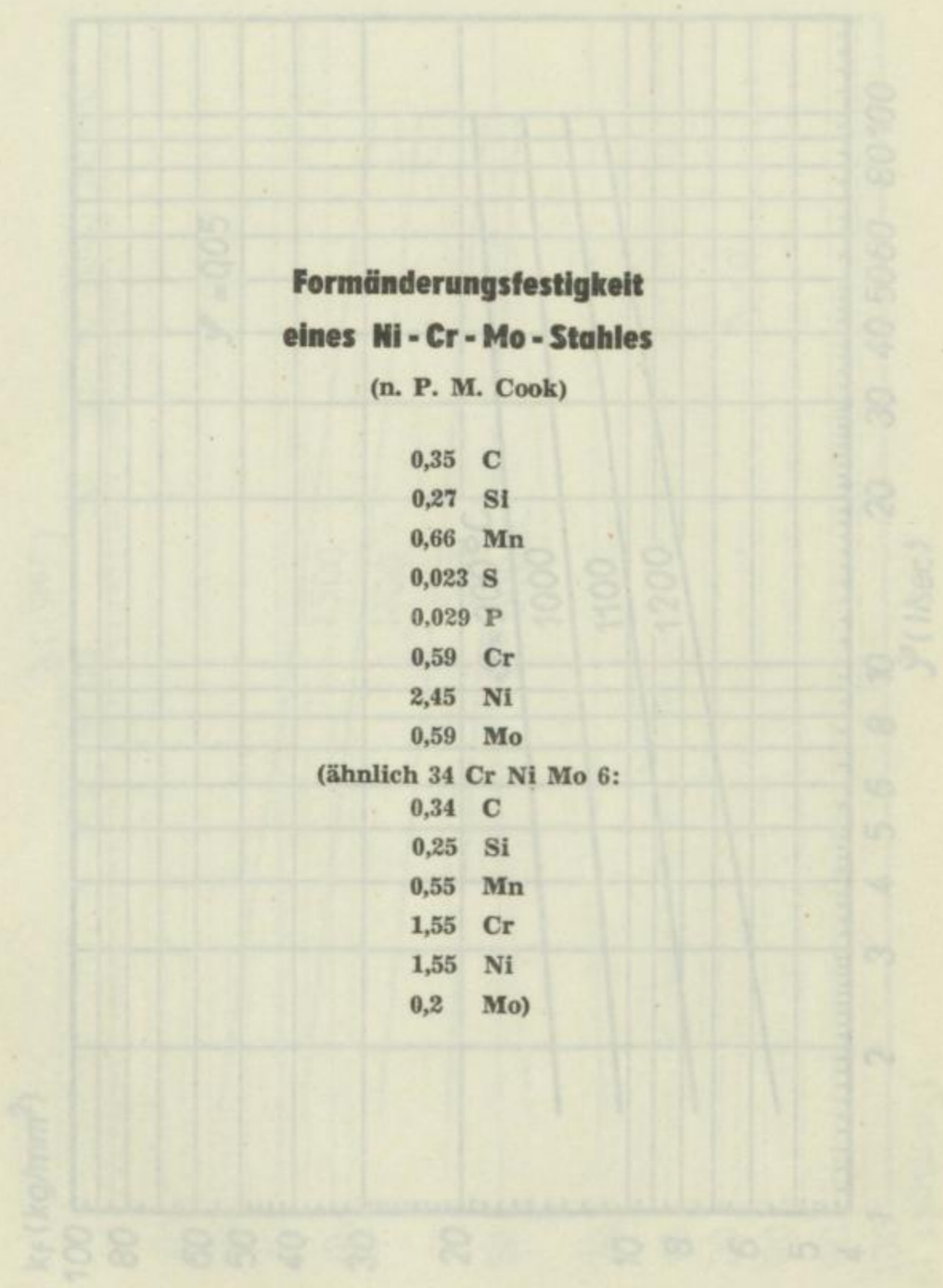
Formänderungsfestigkeit eines Ni - Cr - Mo - Stahles

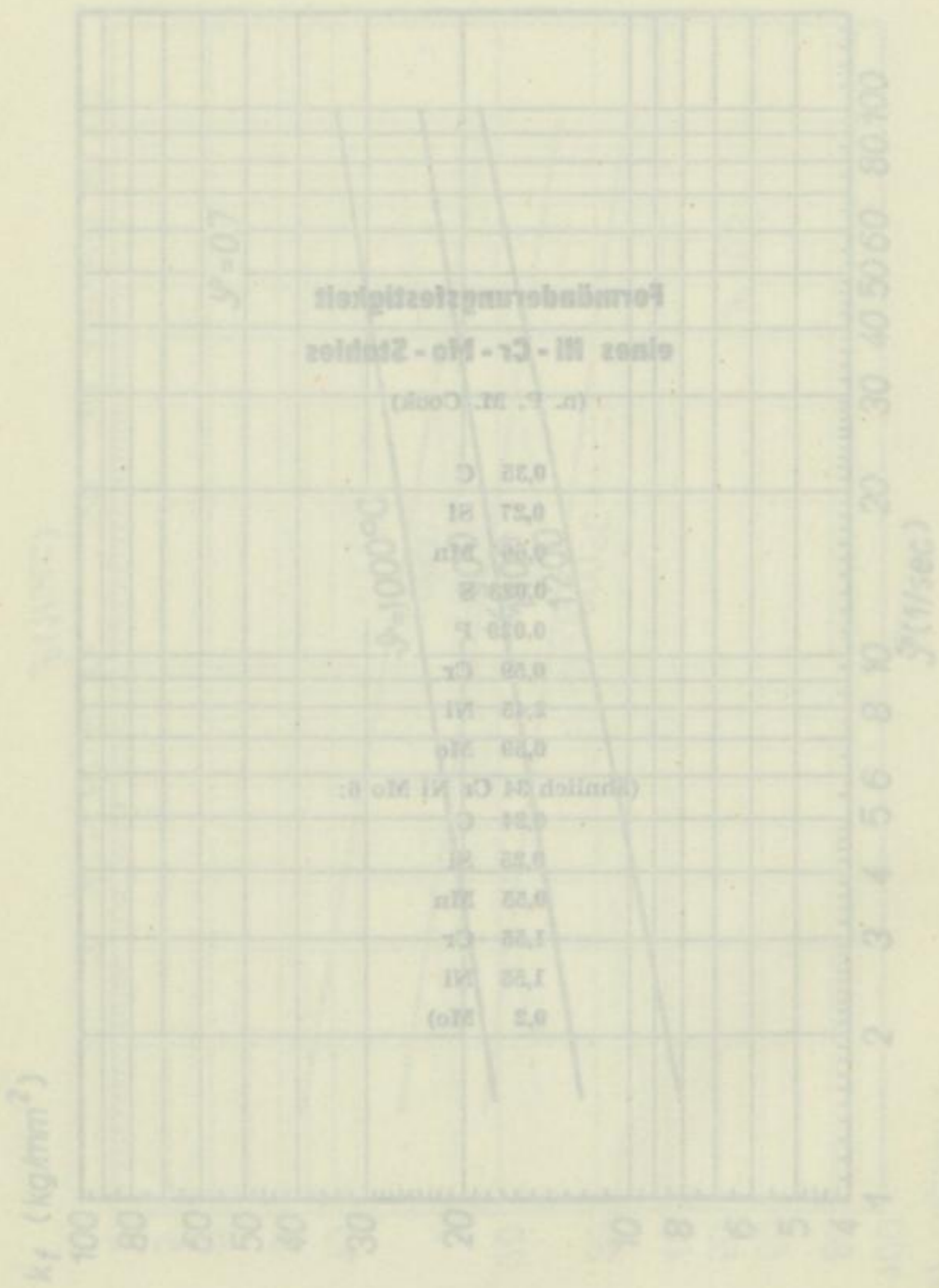
(n. P. M. Cook)

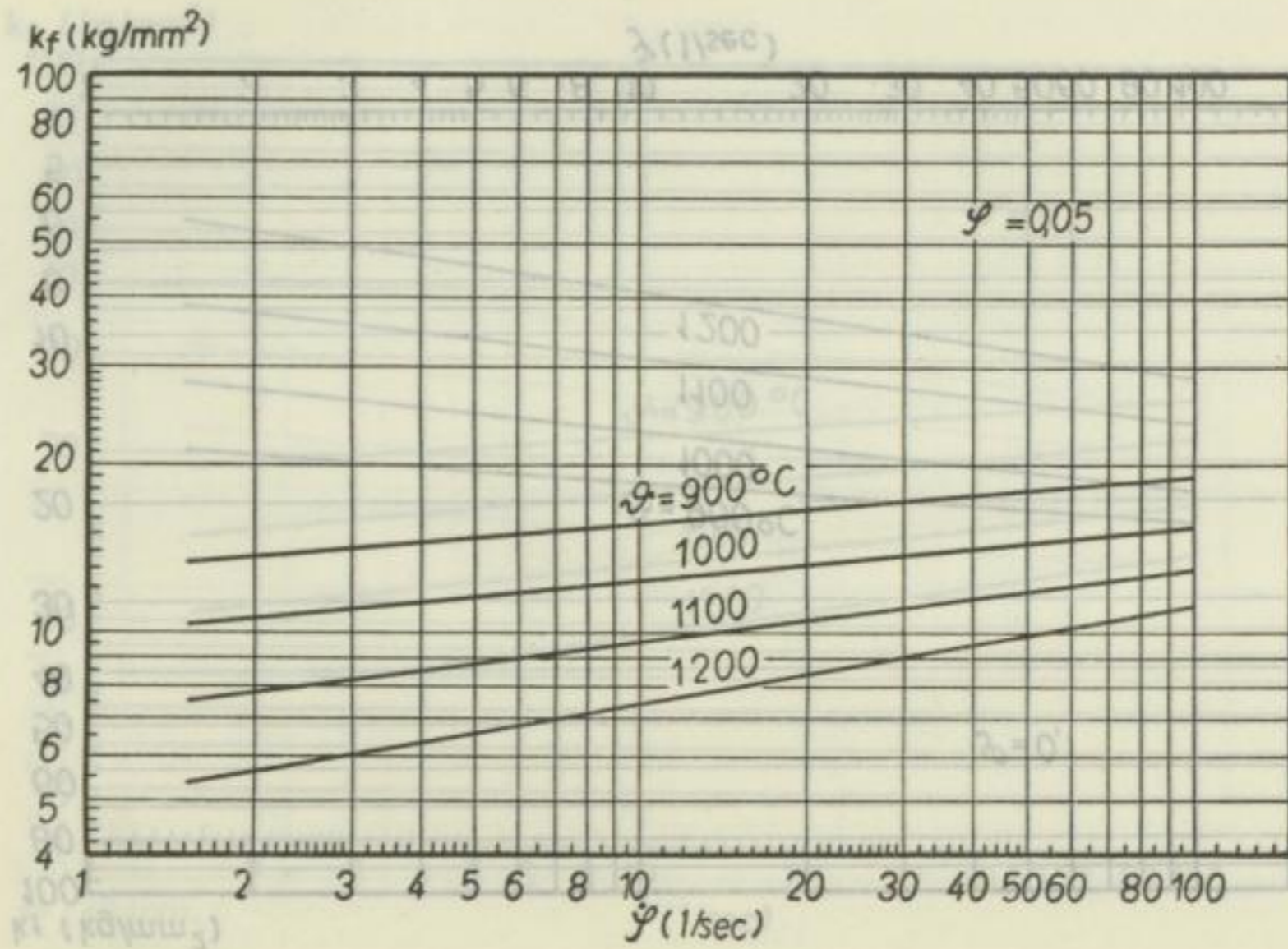
- 0,35 C
- 0,27 Si
- 0,66 Mn
- 0,023 S
- 0,029 P
- 0,59 Cr
- 2,45 Ni
- 0,59 Mo

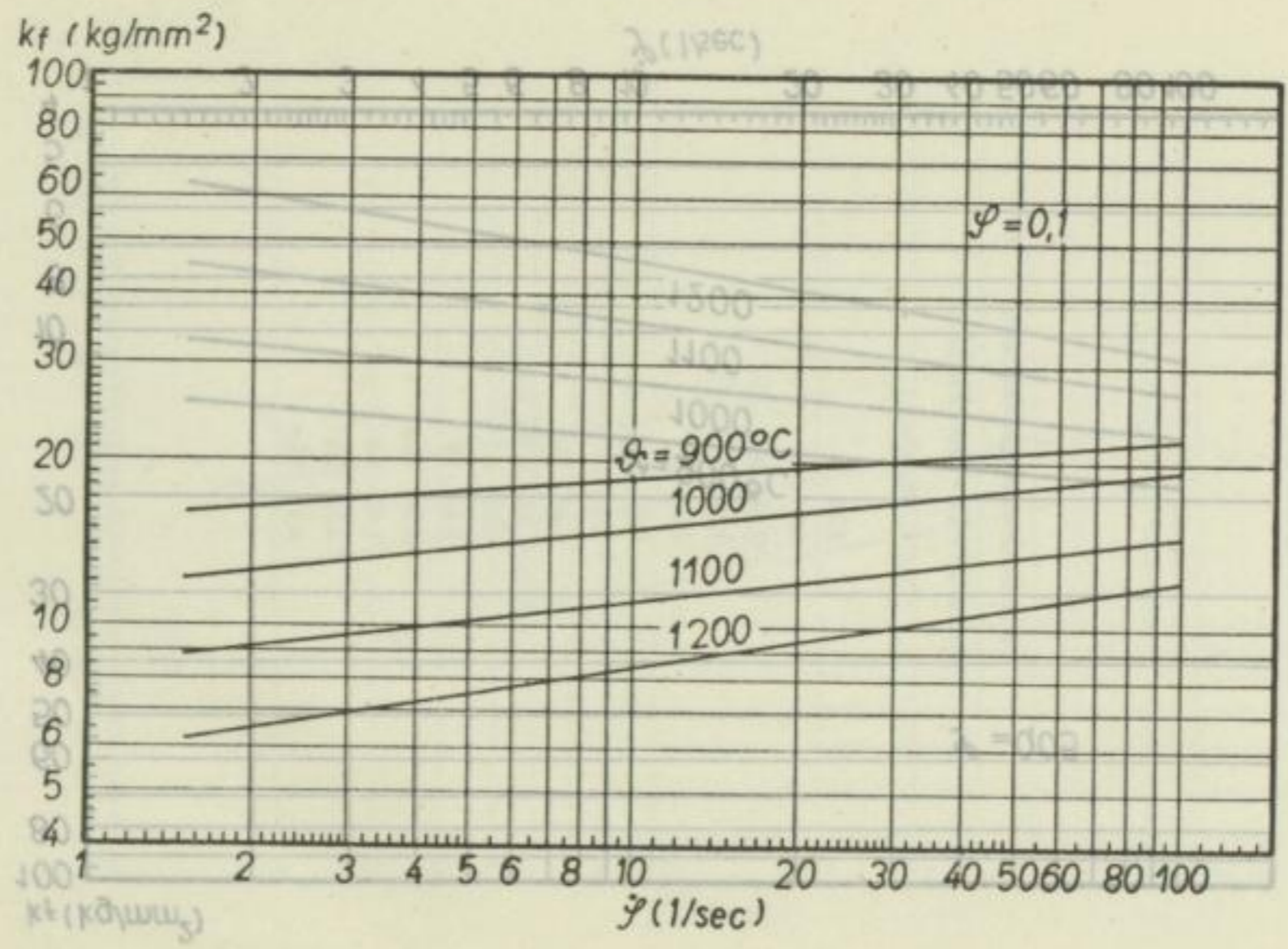
(ähnlich 34 Cr Ni Mo 6:

- 0,34 C
- 0,25 Si
- 0,55 Mn
- 1,55 Cr
- 1,55 Ni
- 0,2 Mo)

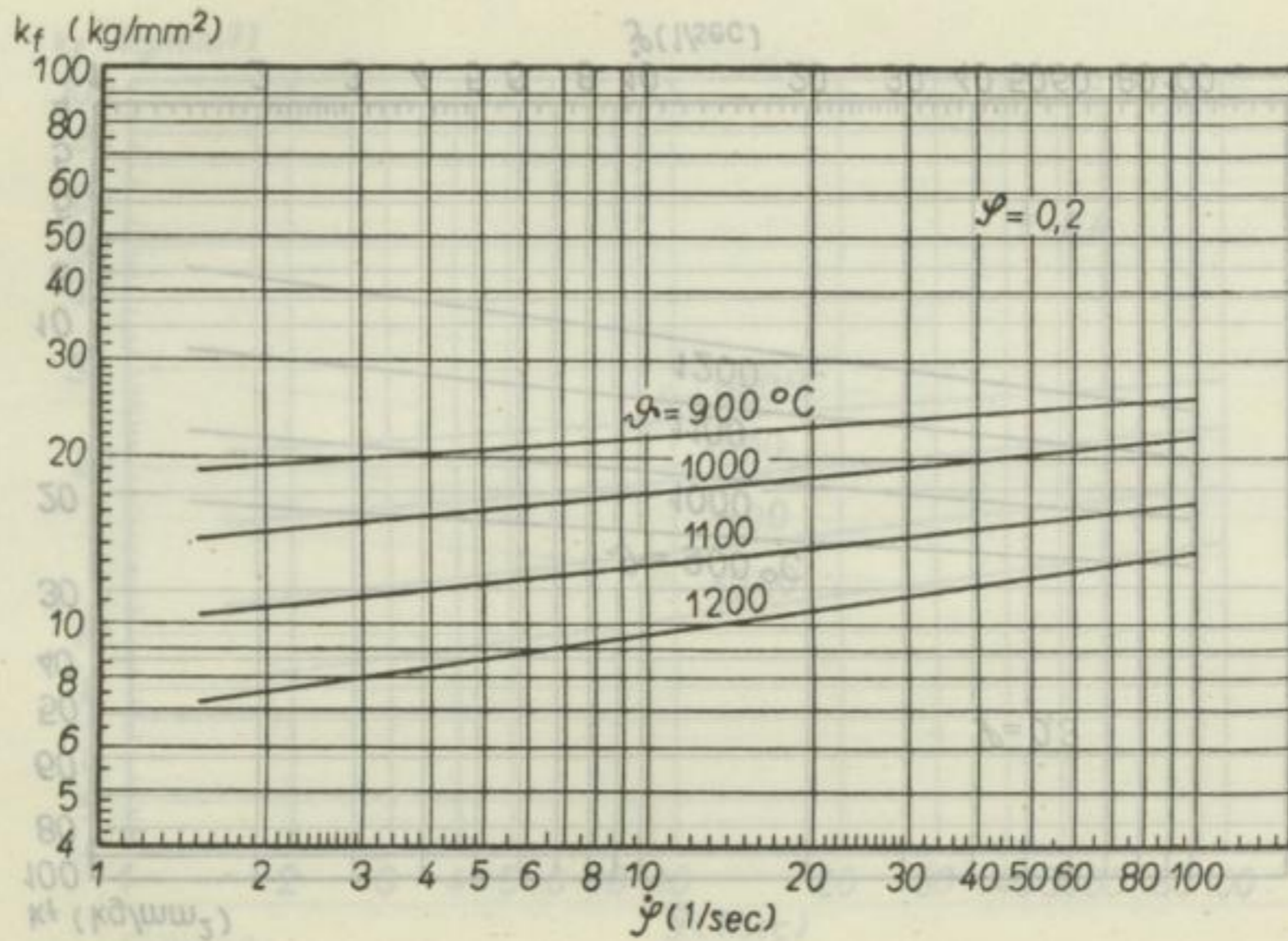


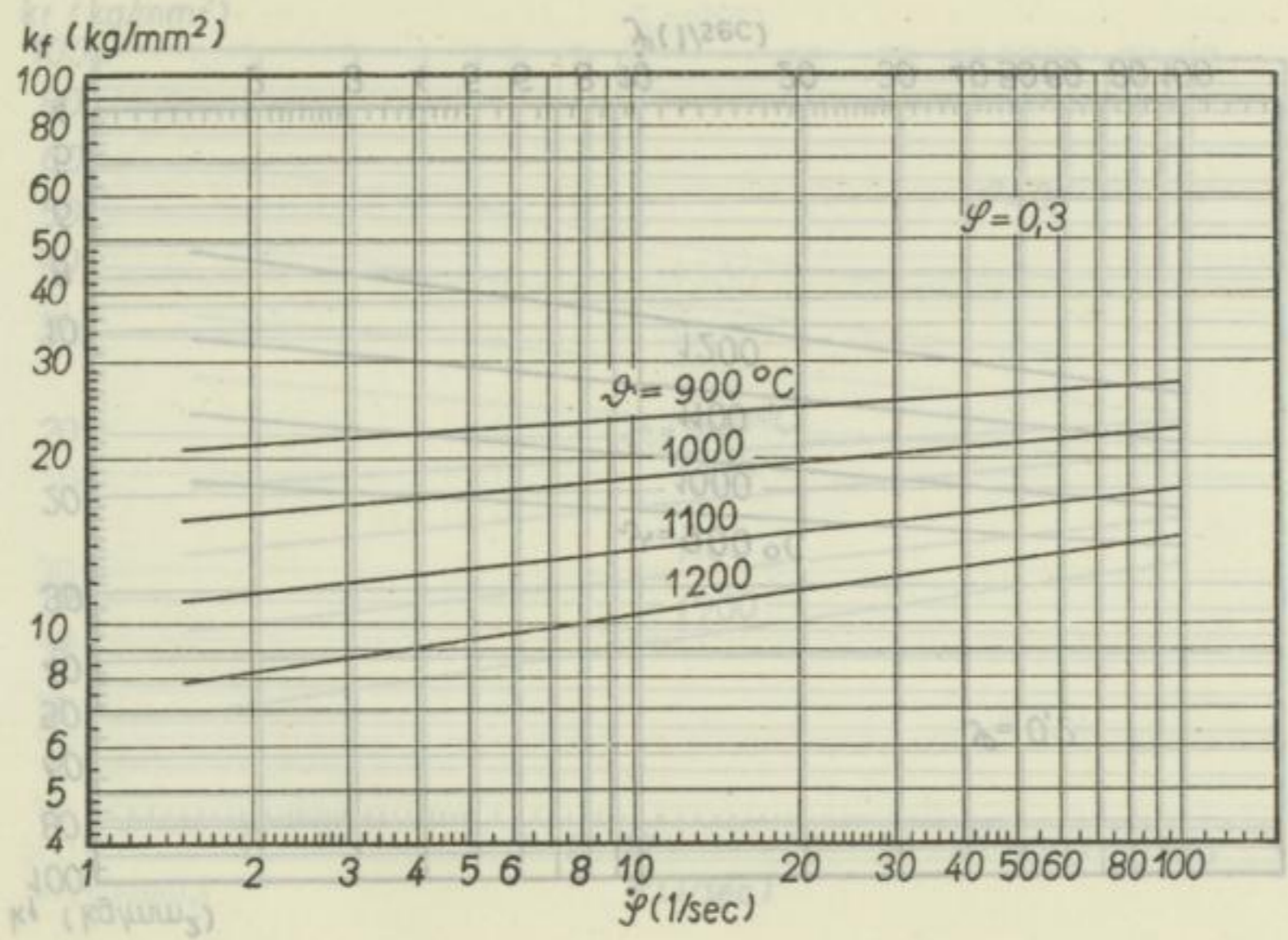




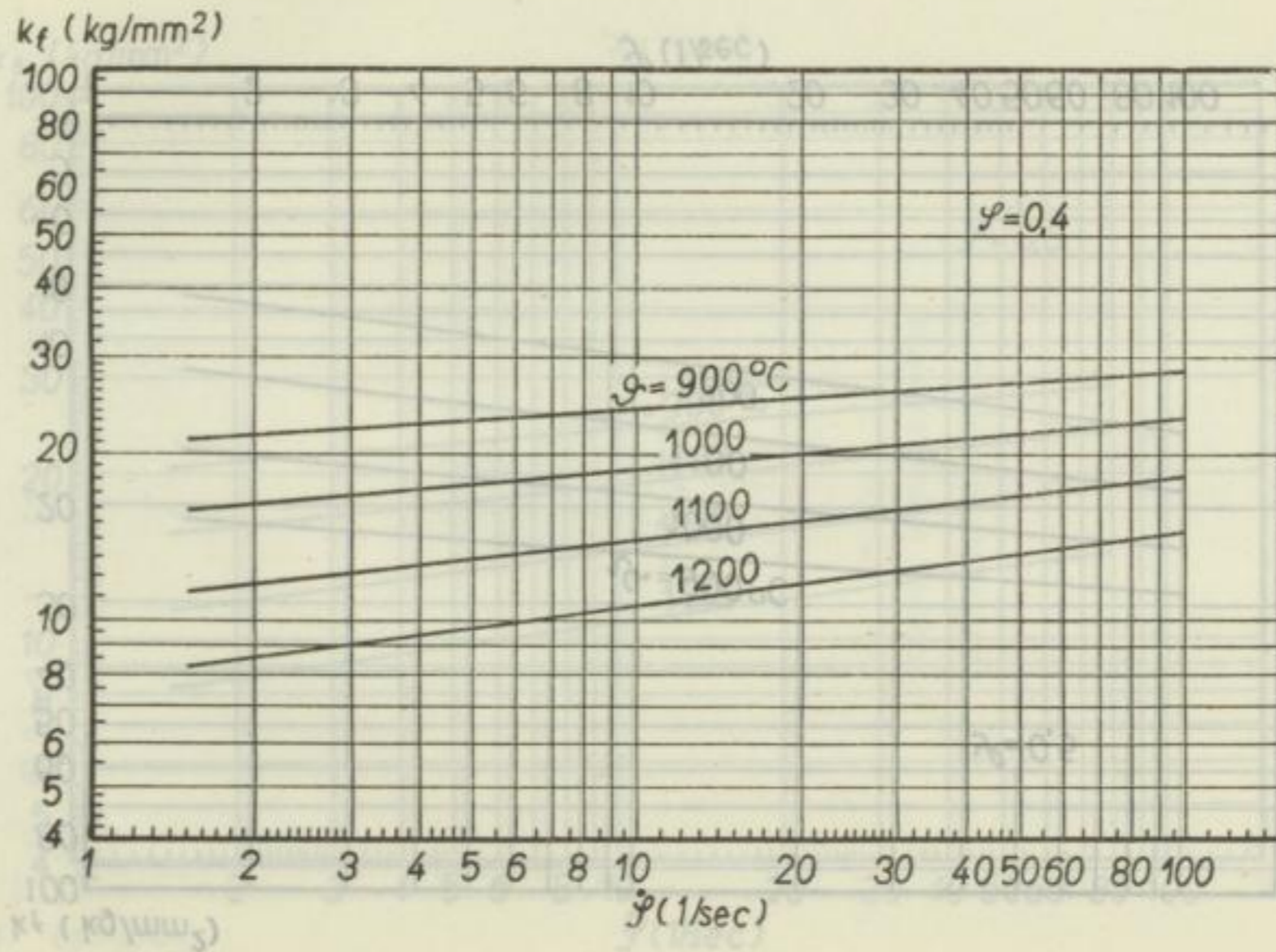


Karlheinz Weber

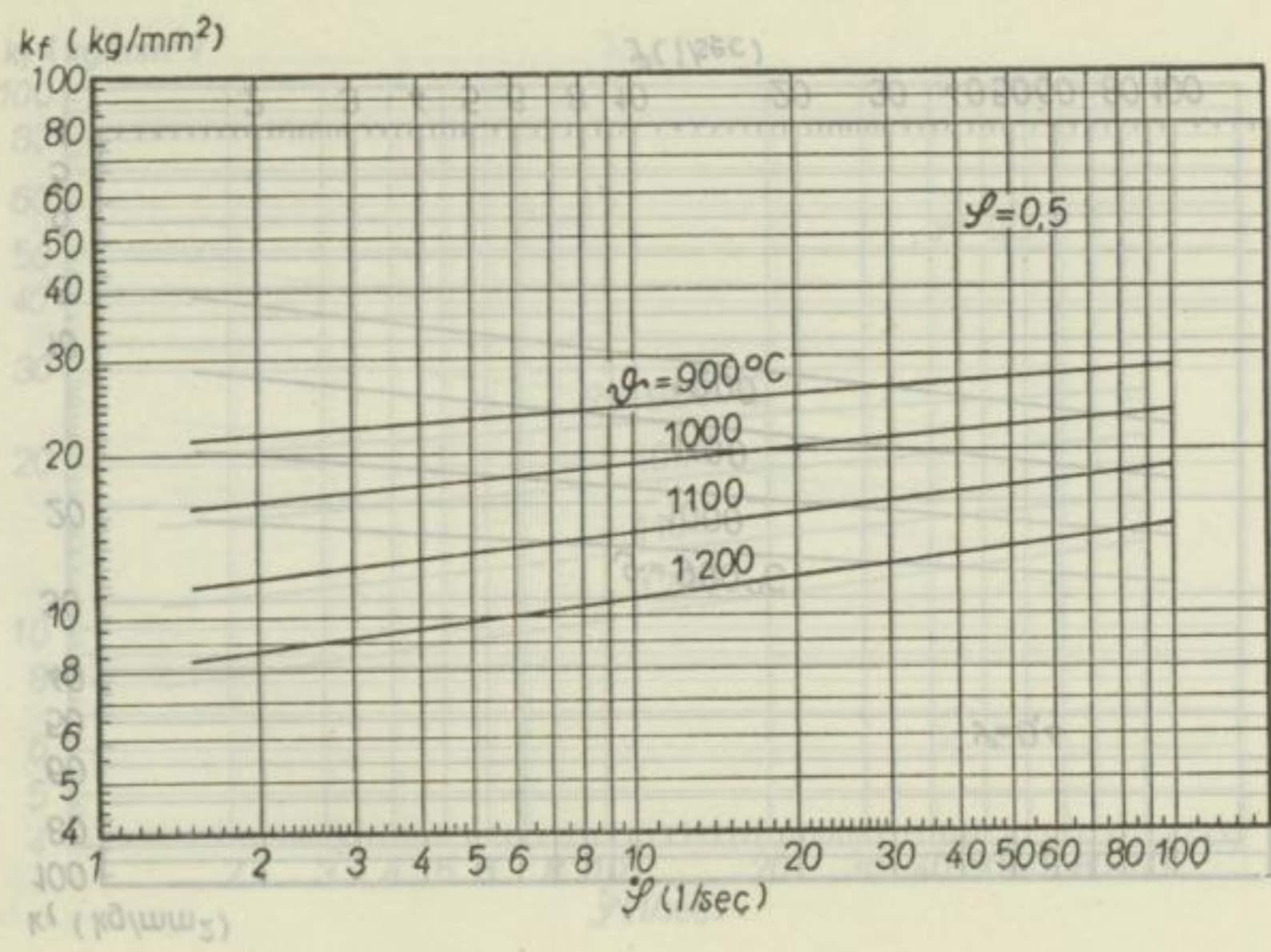


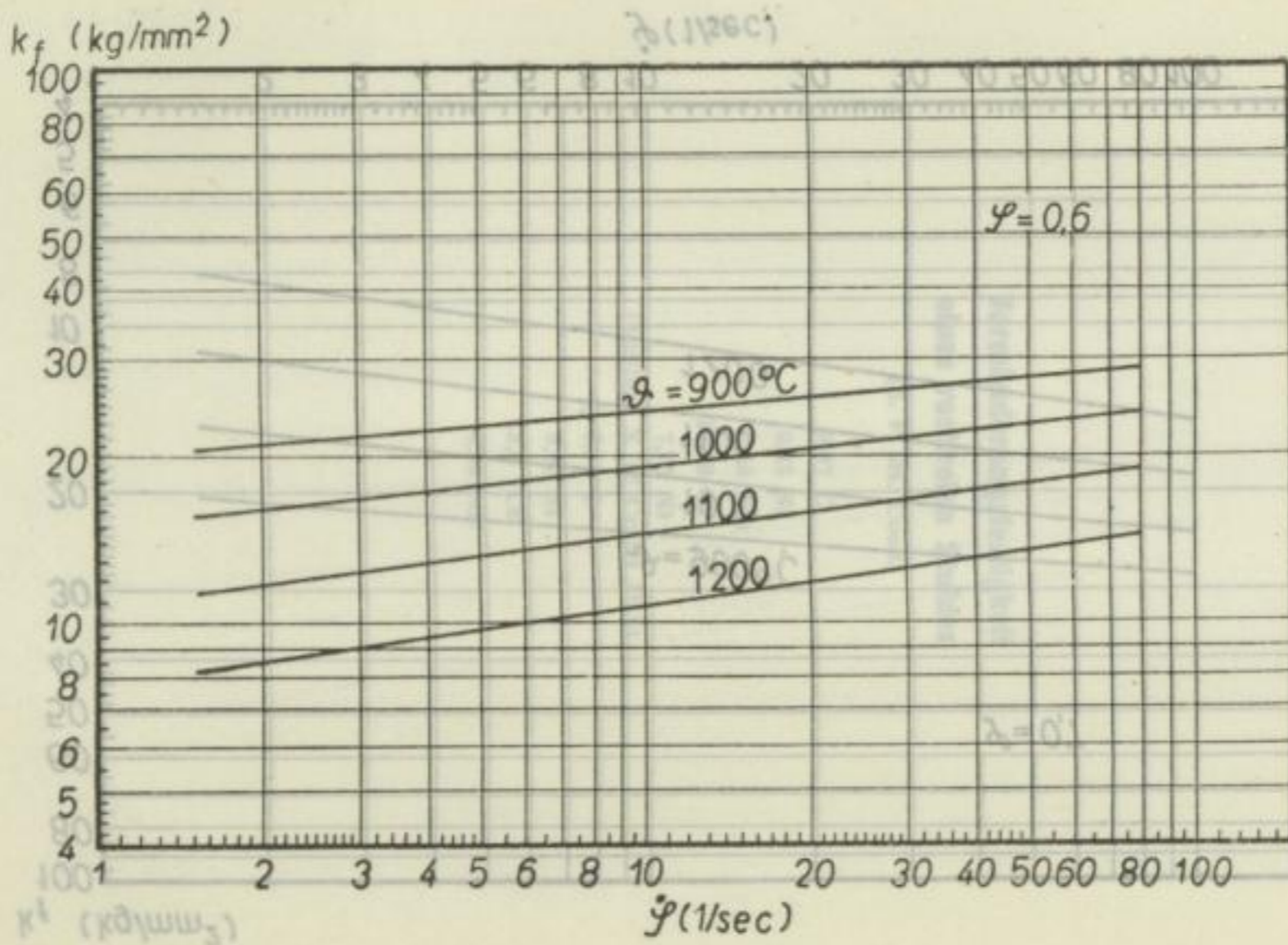


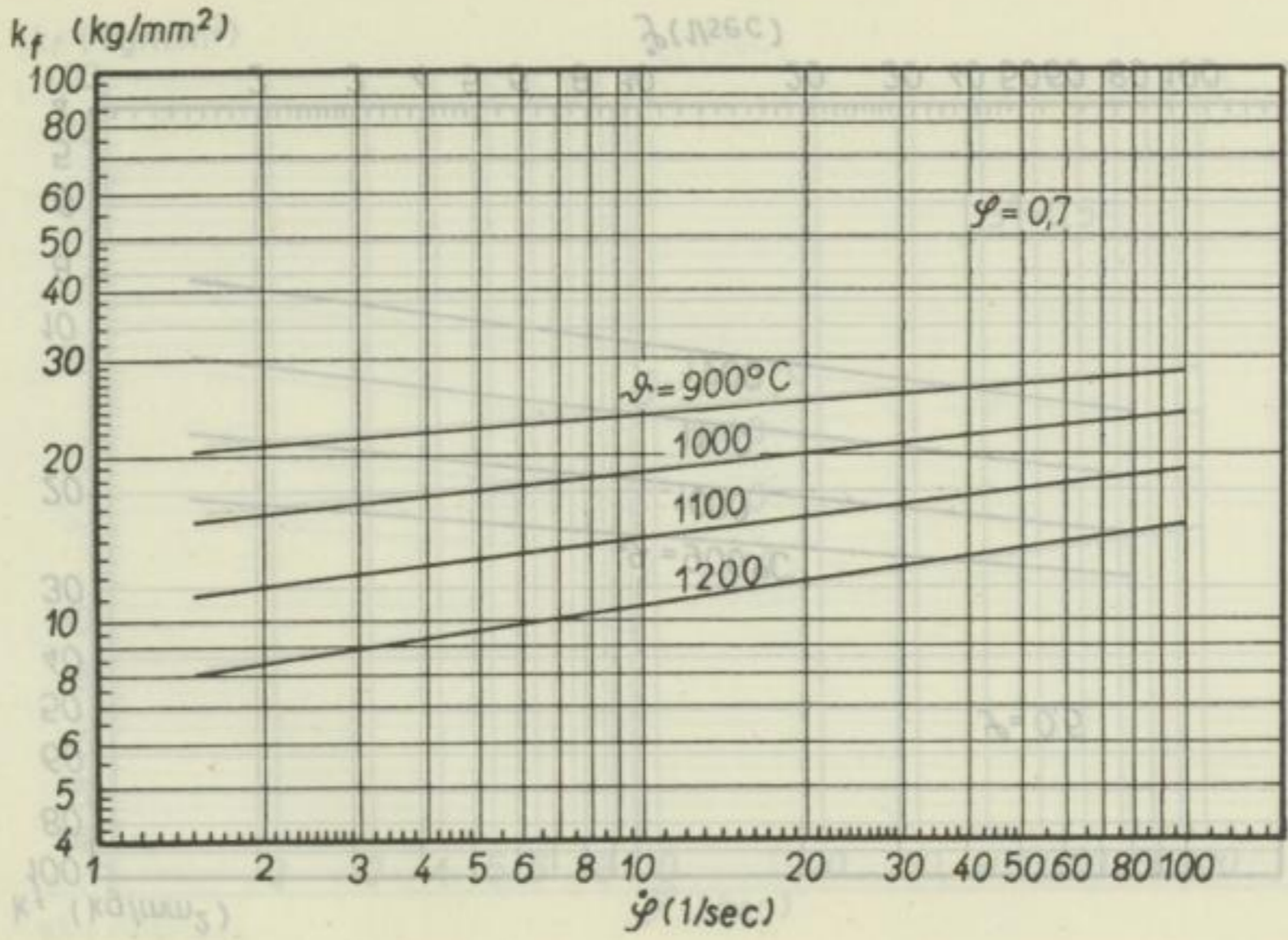
Karlheinz Weber



Berechnung von Walzkraft und Drehmoment







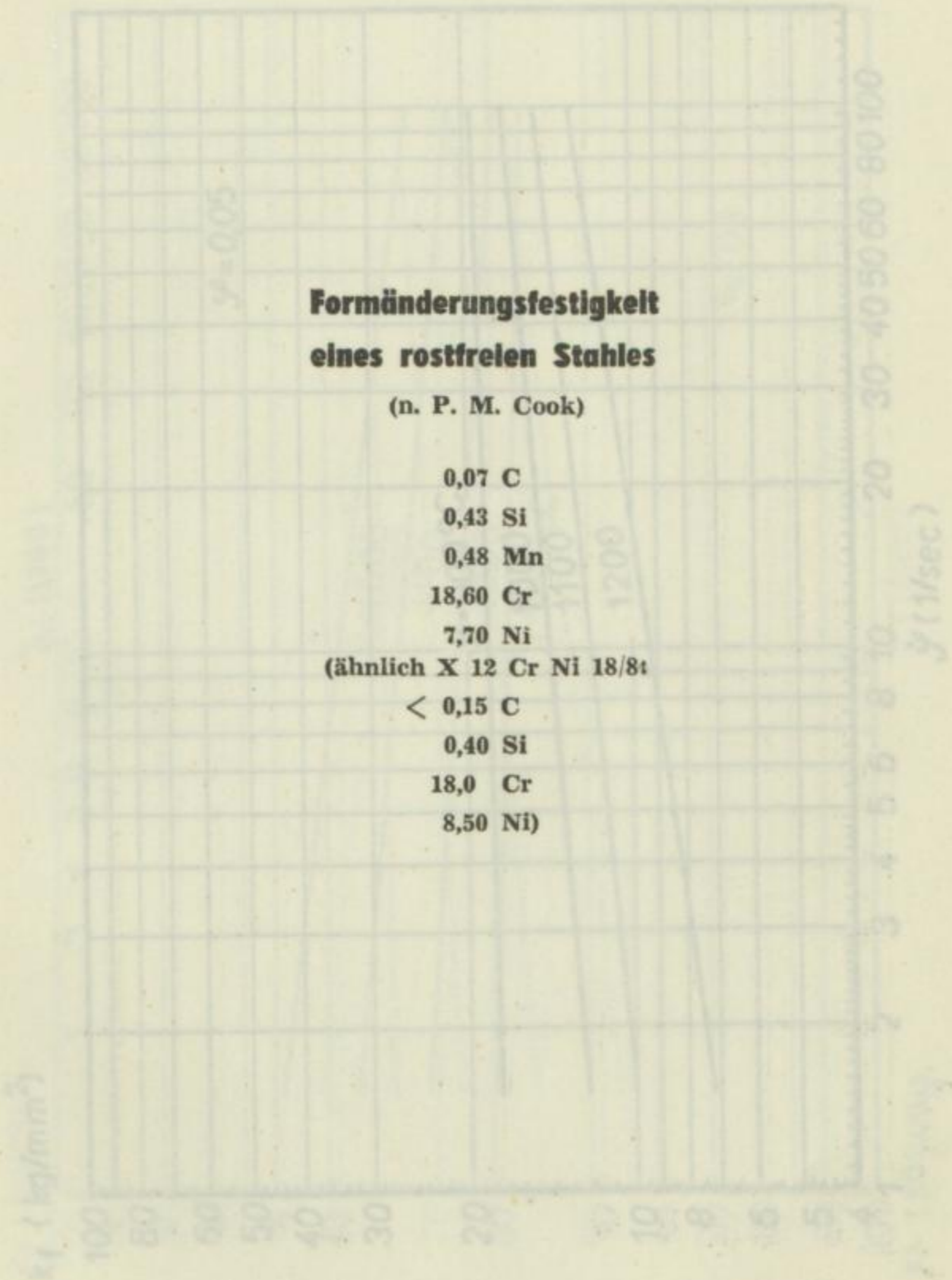
**Formänderungsfestigkeit
eines rostfreien Stahles**

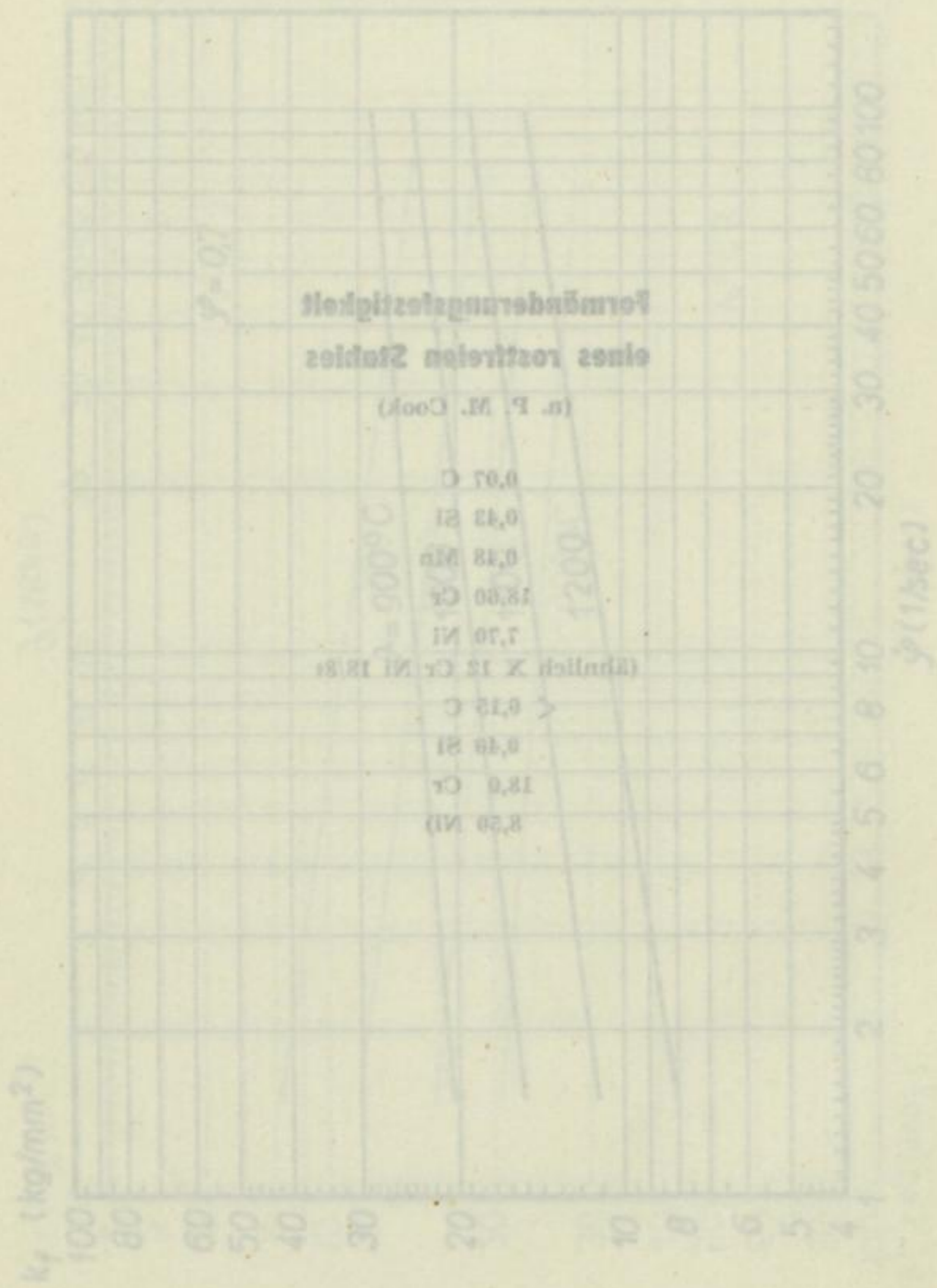
(n. P. M. Cook)

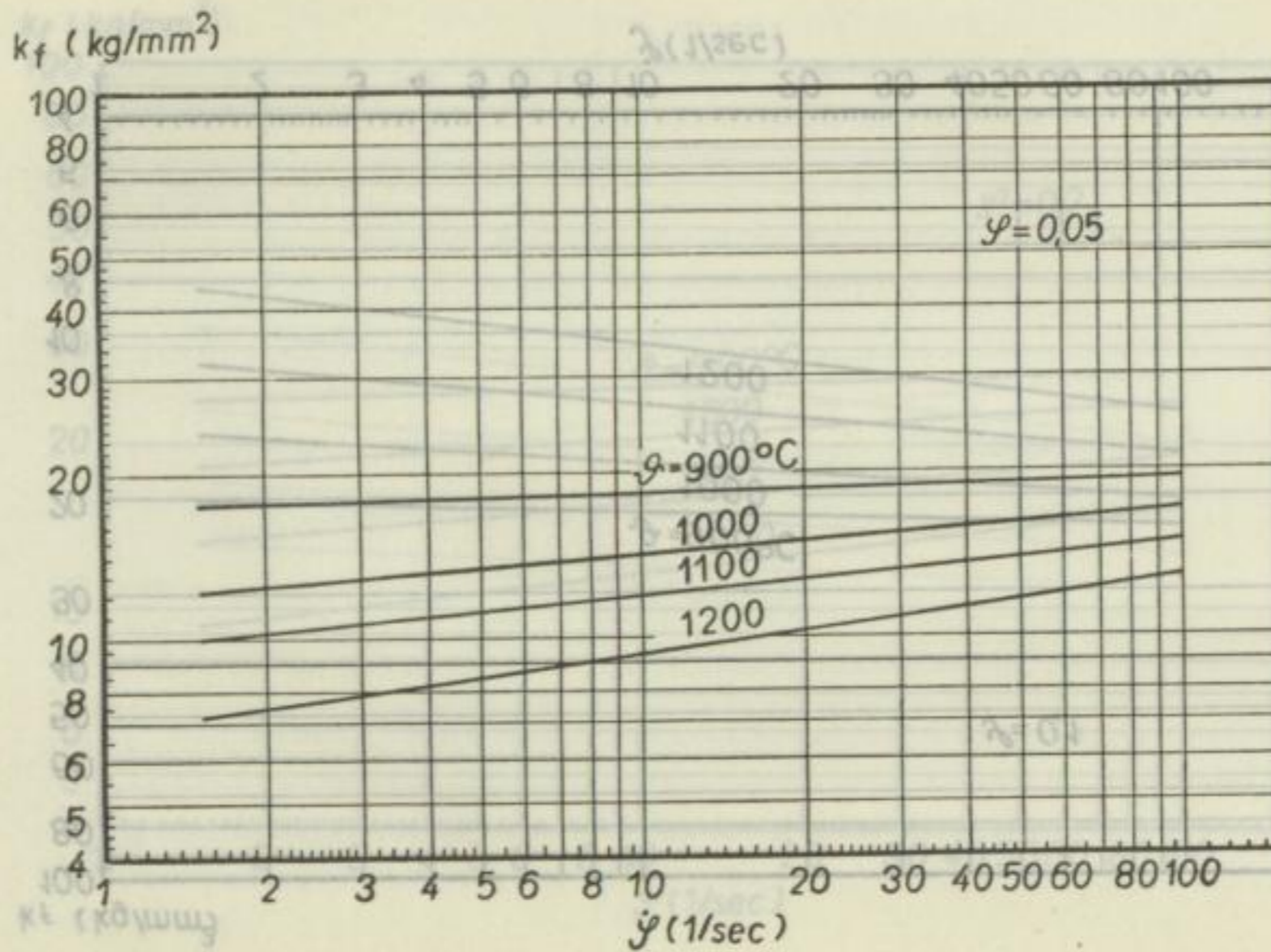
- 0,07 C
- 0,43 Si
- 0,48 Mn
- 18,60 Cr
- 7,70 Ni

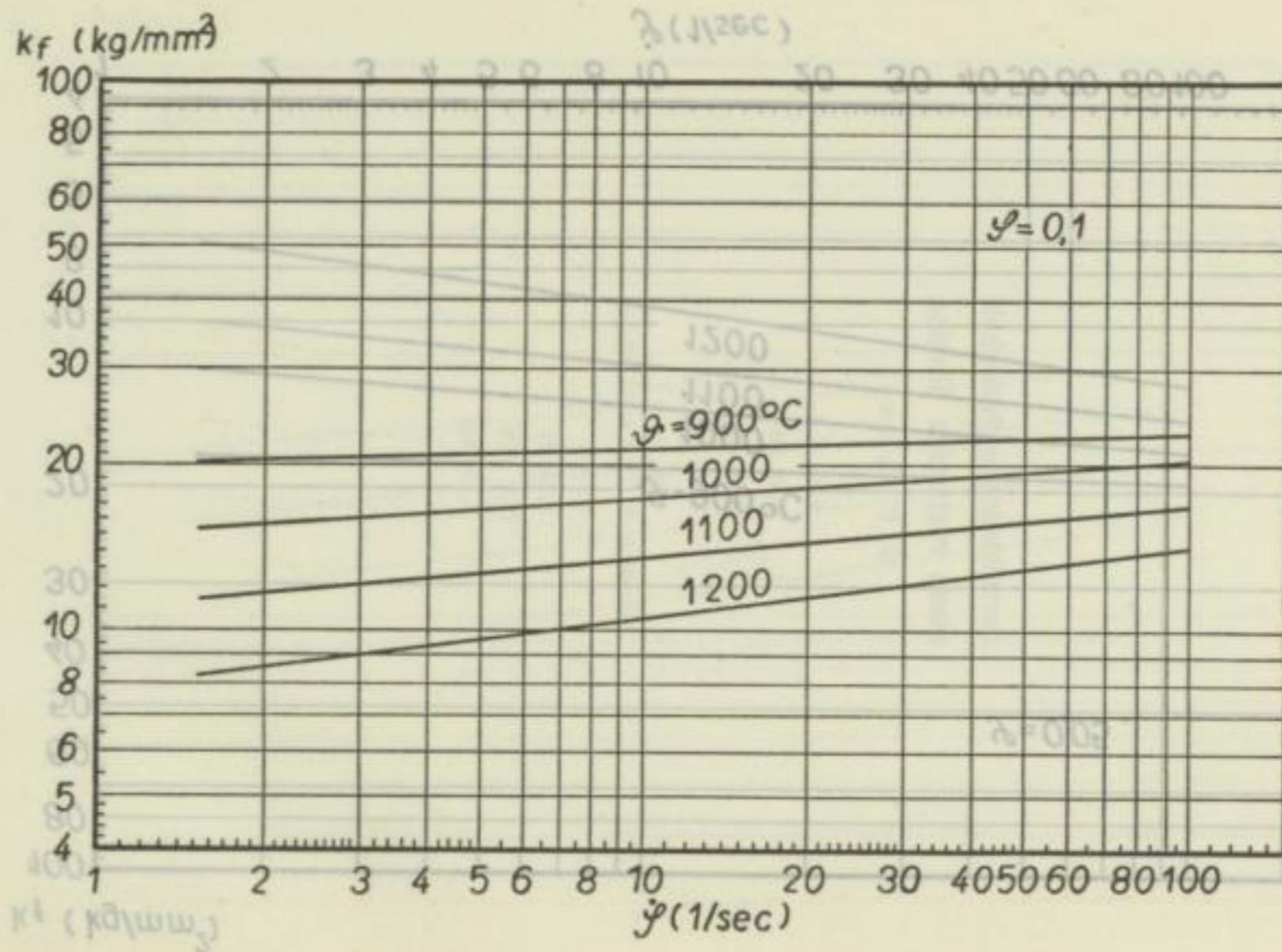
(ähnlich X 12 Cr Ni 18/8t)

- < 0,15 C
- 0,40 Si
- 18,0 Cr
- 8,50 Ni)

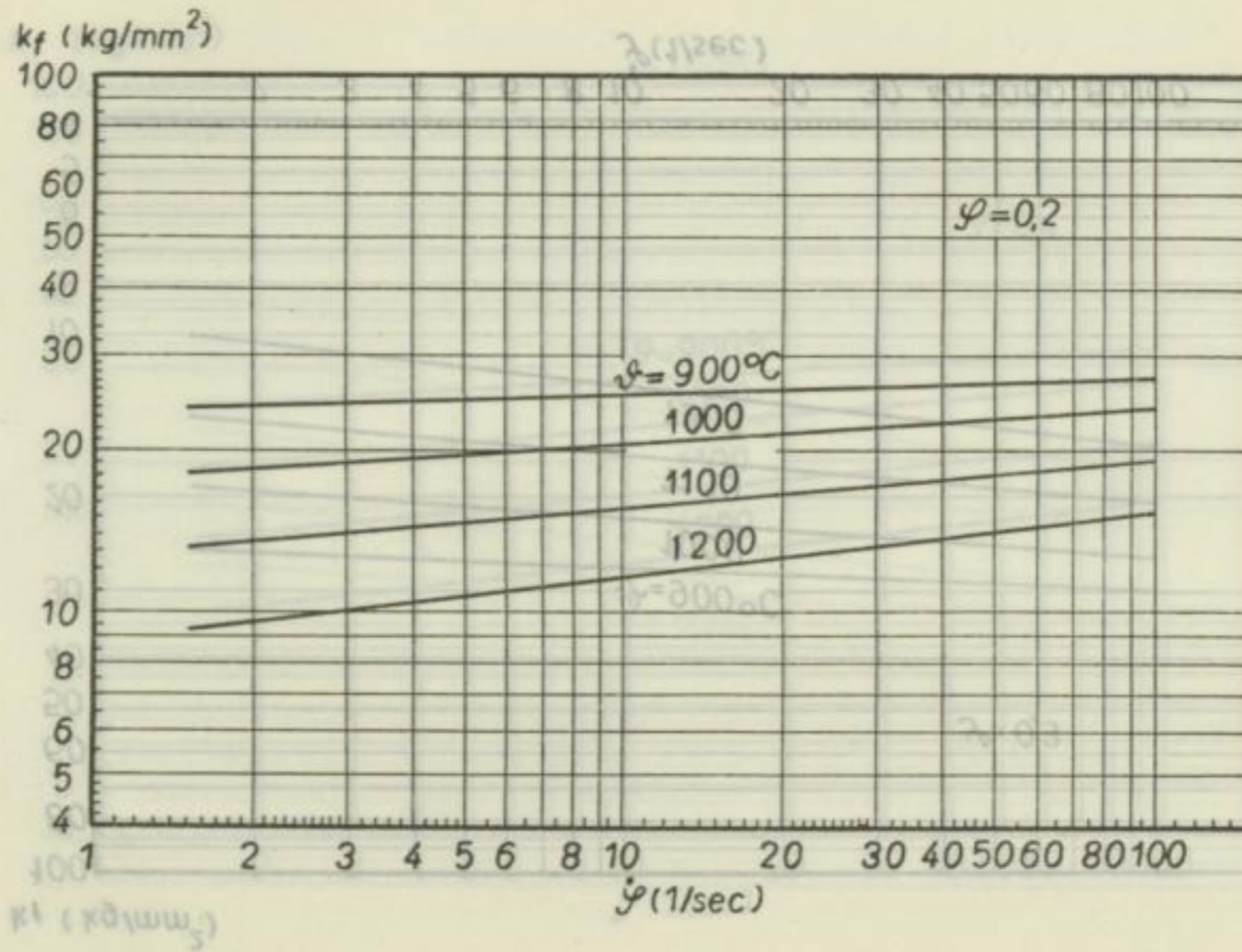


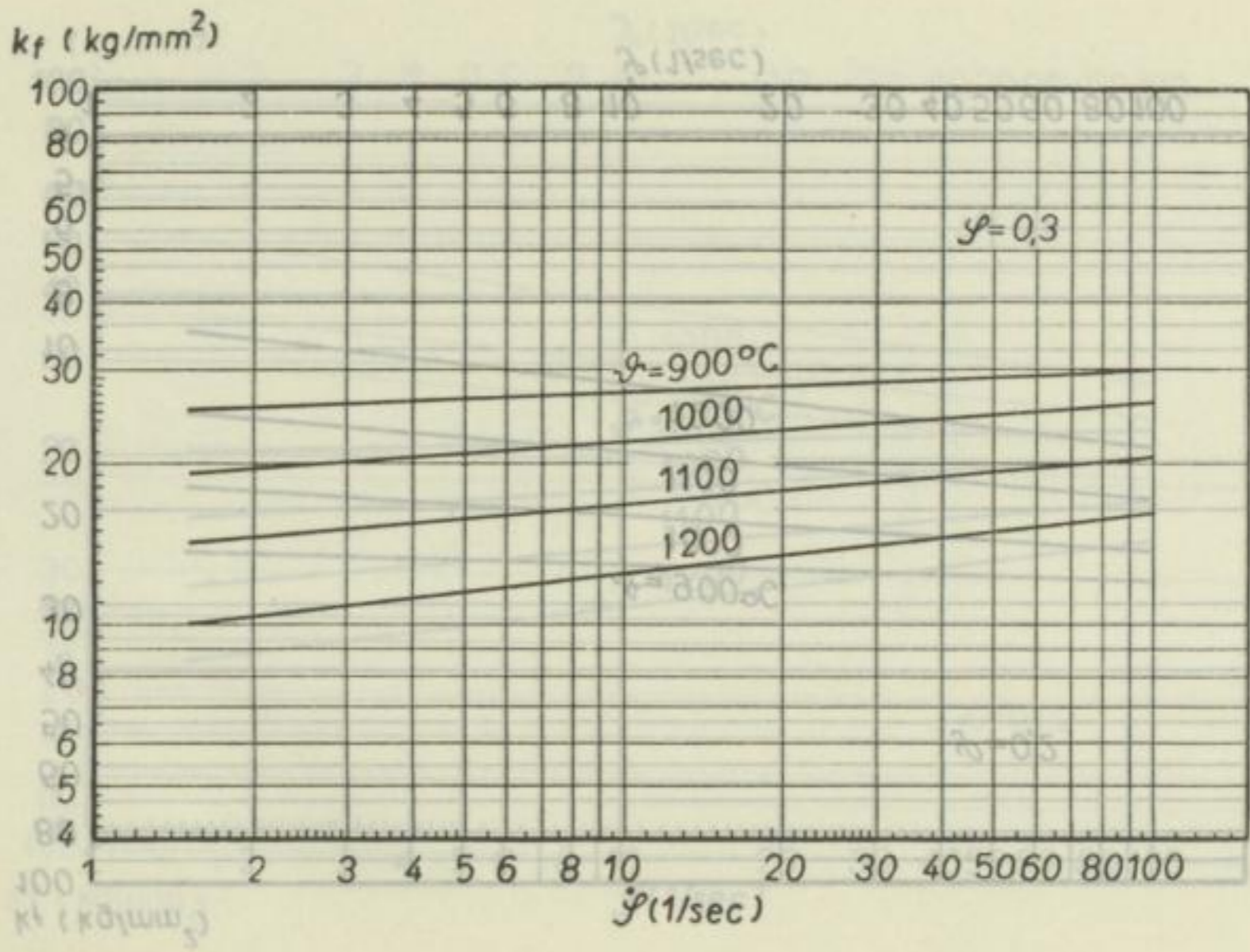




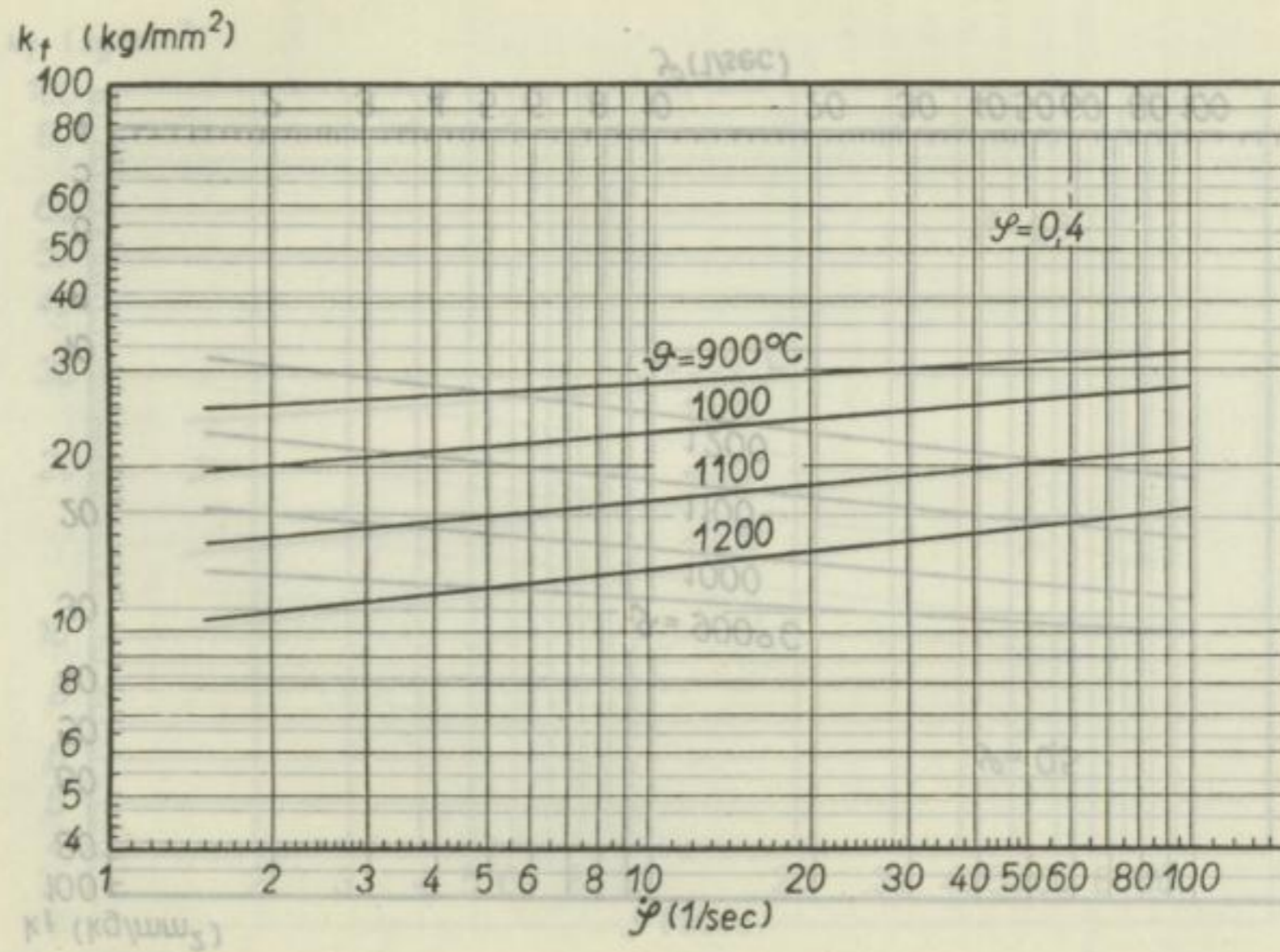


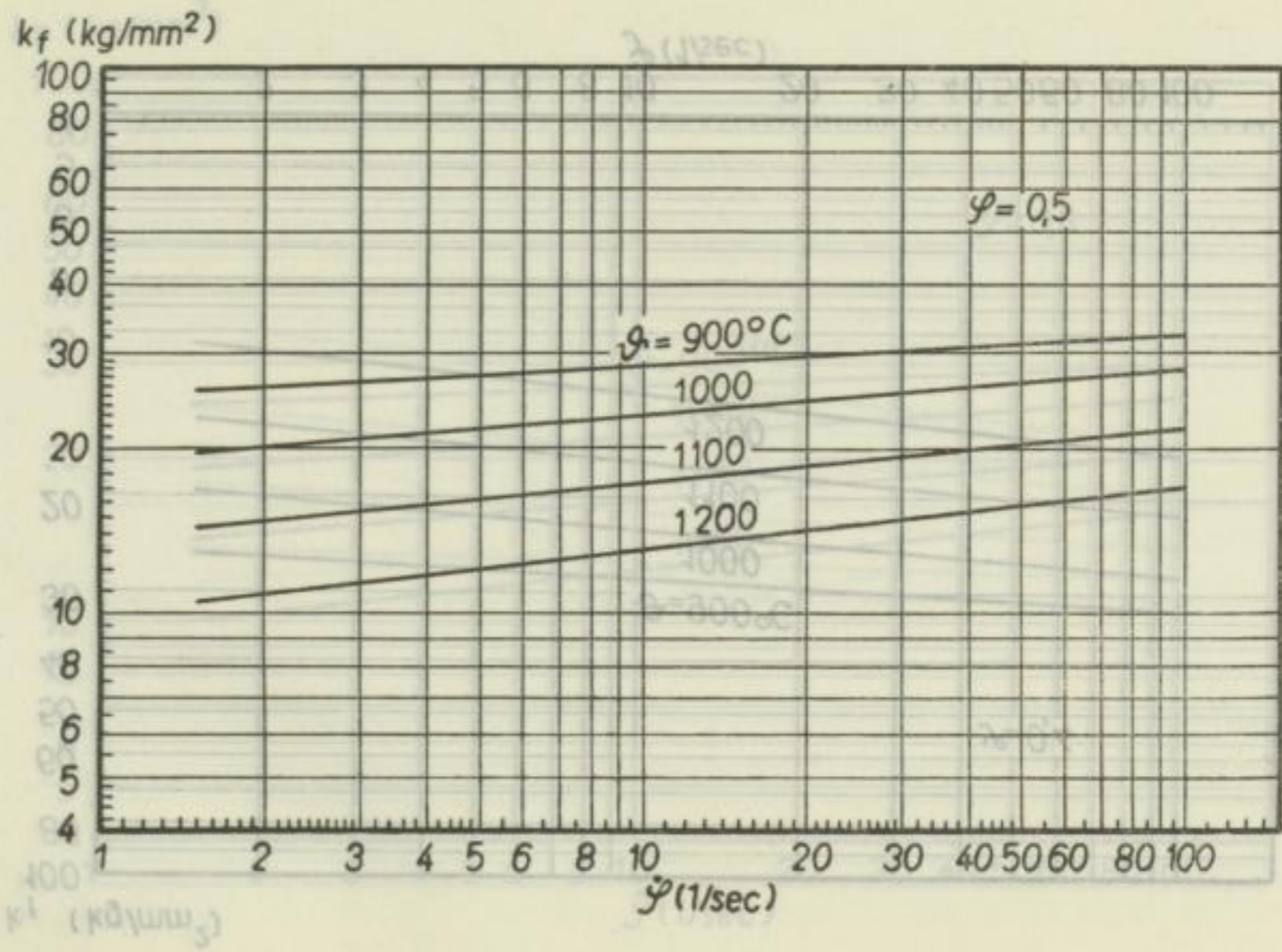
Karlheinz Weber



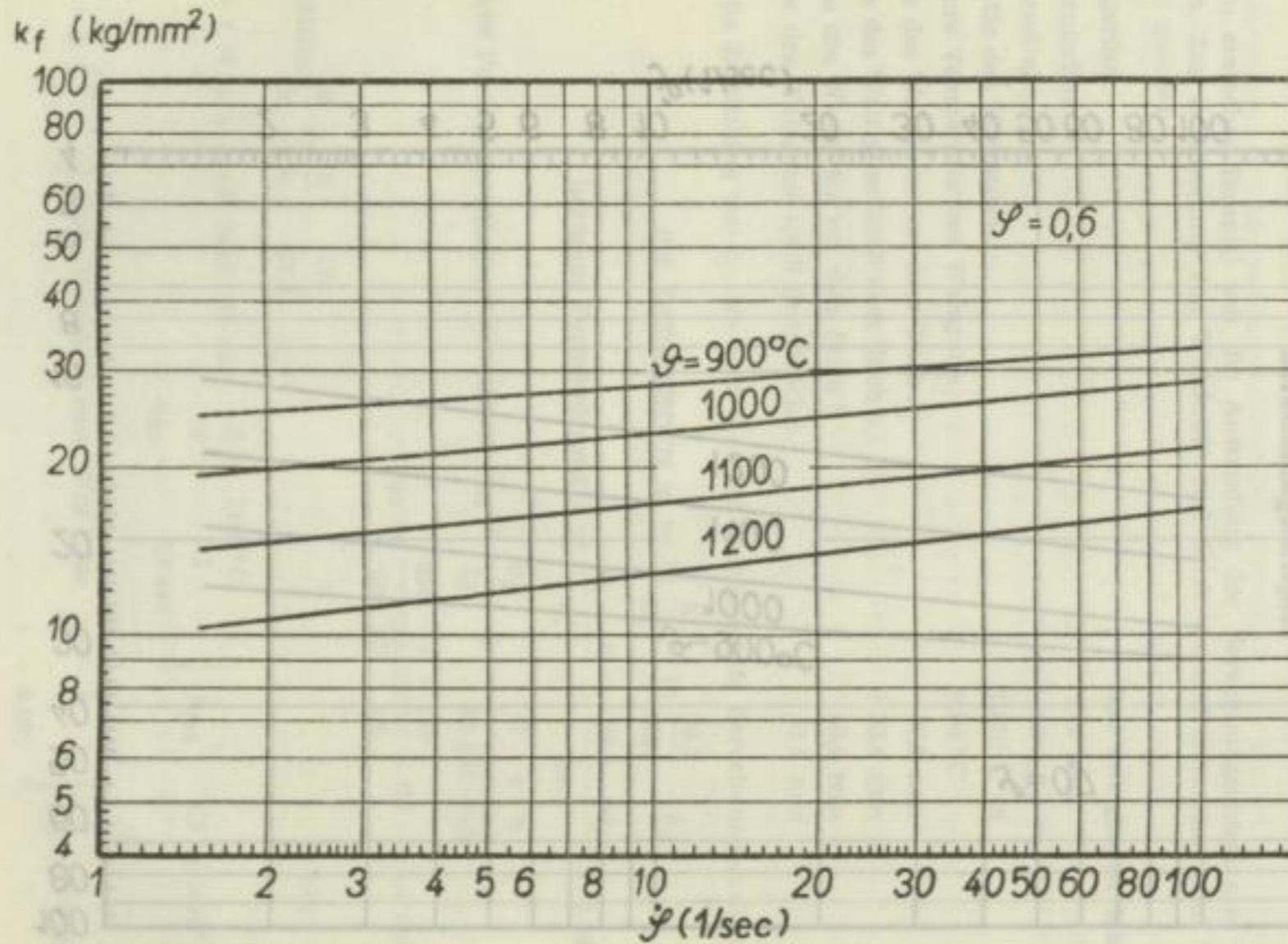


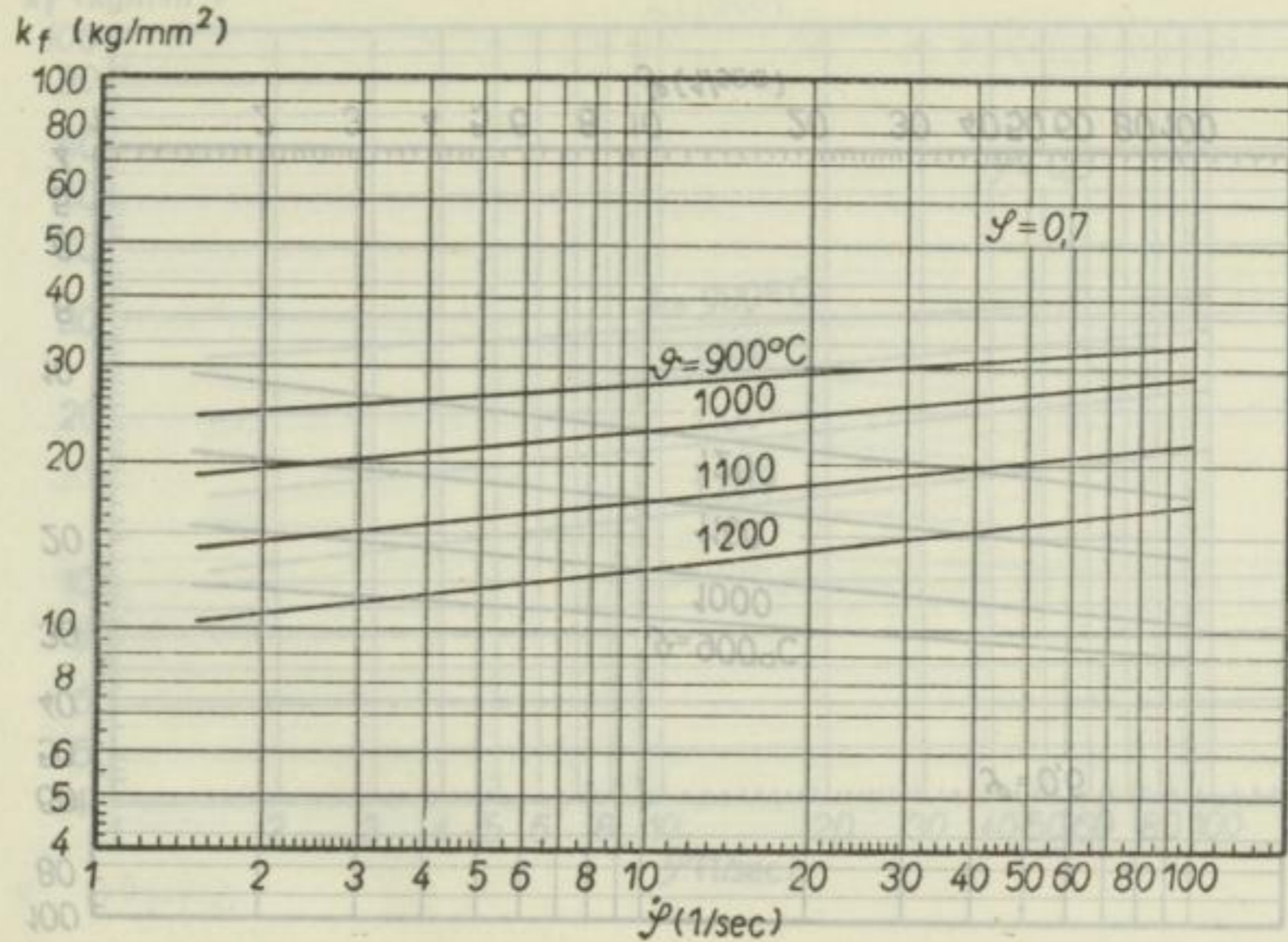
Handwritten: Karlheinz Weber





Karlheinz Weber





k_f (kg/mm²)

$\dot{\varphi}$ (1/sec)

Um die Walzkraft und das Umformungsdrehmoment nach den Stischen Gleichungen (7) und (8) berechnen zu können, ist noch die Kenntnis der mittleren Walzgeschwindigkeit notwendig.

Berechnungsbeispiel

Ein einfaches Beispiel soll die Anwendung der Berechnungsunterlagen verdeutlichen. Zur Bestimmung von Walzkraft und Umformungsdrehmoment sind folgende Daten gegeben:

Walzgerüst	:	Duo mit glatten Walzen
Walzenradius R	:	178 mm
Walzendrehzahl n	:	118 min ⁻¹
Qualität des Walzgutes	:	Stahl C 45
mittlere Temperatur des Walzgutes	:	1100 °C
Dicke des Walzgutes vor dem Stich h_0	:	39,2 mm
Dicke des Walzgutes nach dem Stich h_1	:	35,4 mm
Ereite des Walzgutes vor dem Stich b	:	50,0 mm
Breite des Walzgutes nach dem Stich b_1	:	31,3 mm

Für die Ermittlung von k_f , Q_P und Q_G sind nachstehende Berechnungen erforderlich:

$$\text{log. Formänderung } \varphi = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{39,2}{35,4} = 0,1$$

$$\text{bezogene Formänderung } \varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{39,2 - 35,4}{39,2} = 0,097$$

$$\text{mittlere Formänderungsgeschwindigkeit } \dot{\varphi}_m = \frac{v_u}{l_d} \cdot \varphi = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{60 \sqrt{R \cdot \Delta h}} \cdot \varphi$$

$$\dot{\varphi}_m = \frac{356 \cdot \pi \cdot 118}{60 \sqrt{178 \cdot 3,8}} \cdot 0,1 = 8,4 \text{ sec}^{-1}$$

$$\text{Verhältnis } \frac{R'}{h_1} \cong \frac{R}{h_1} = \frac{178}{35,4} = 5,02$$

$$k_f = f(\theta, \varphi, \dot{\varphi}_m) \text{ nach Seite 30 für } \left. \begin{array}{l} \theta = 1100^\circ\text{C} \\ \varphi = 0,1 \\ \dot{\varphi}_m = 8,4 \text{ sec}^{-1} \end{array} \right\} k_{fm} = 9,5 \text{ kg/mm}^2$$

$$Q_P = g\left(\frac{R'}{h_1}, \varepsilon\right) \text{ nach Tabelle 1 bzw. Bild 1 für } \left. \begin{array}{l} \frac{R'}{h_1} = 5 \\ \varepsilon = 0,097 \end{array} \right\} Q_P = 0,95$$

$$Q_G = h\left(\frac{R'}{h_1}, \varepsilon\right) \text{ nach Tabelle 1 bzw. Bild 2 für } \left. \begin{array}{l} \frac{R'}{h_1} = 5 \\ \varepsilon = 0,097 \end{array} \right\} Q_G = 0,011$$

Deutscher
Brennstoffanstalt
Freiberg/Sa.

Um die Walzkraft und das Umformungsdrehmoment nach den Simsschen Gleichungen (7) und (9) berechnen zu können, ist noch die Kenntnis der mittleren Walzgutbreite notwendig.

Es ist:

$$b_m = \frac{b_0 + 2 \cdot b_1}{3} = \frac{50 + 2 \cdot 51,8}{3} = 51,2 \text{ mm} \quad (12)$$

Diese Beziehung kommt den wirklichen Verhältnissen näher als die einfache Mittelwertsbildung $b_m = \frac{b_0 + b_1}{2}$, da die Breitung des Walzgutes im Walzspalt nicht linear von b_0 nach b_1 zunimmt. Die Breitenzunahme des Walzgutes ist am Walzspalteintritt größer als am Austritt, so daß b_1 stärker als b_0 in die Mittelwertsbildung eingeht.

Die Walzkraft kann nun nach Gleichung (7) und das Umformungsdrehmoment nach Gleichung (9) berechnet werden:

$$P = k_f \cdot \sqrt{R \Delta h} \cdot b_m \cdot Q_P \left(\frac{R'}{h_1}, \varepsilon \right)$$

$$P = 9,5 \cdot \sqrt{178} \cdot 3,8 \cdot 51,2 \cdot 0,95 = 12000 \text{ kg} \hat{=} 12,0 \text{ t}$$

$$Md = 2 R \cdot R' \cdot k_f \cdot b_m \cdot Q_G \left(\frac{R'}{h_1}, \varepsilon \right)$$

Für das Warmwalzen gilt $R' \approx R$, folglich:

$$Md = 2 \cdot 178^2 \cdot 9,5 \cdot 51,2 \cdot 0,011 = 338 \text{ mkg} \hat{=} 0,34 \text{ mt}$$

Anmerkung zu Formel (3):

Die Konstante c in Formel (3) wurde nach Hitchcock [8] berechnet. Danach ist:

$$c = \frac{16 \cdot (1 - \mu^2)}{\pi \cdot E} \quad (3a)$$

Es bedeuten:

c = Konstante in mm^2/t

E = Elastizitätsmodul des Walzenwerkstoffes in t/mm^2

μ = Querszahl (Reziprokwert der Poissonschen Zahl)

$$\left(\mu = \frac{1}{m} = 0,3 \right)$$

Deutsches
Brennstoffinstitut
Freiberg/Sa.

Schlußbetrachtung

Mit den vorliegenden Berechnungsunterlagen dürften Voraussetzungen zur Ermittlung der Kennwerte des Walzvorganges — Walzkraft P und Umformungsdrehmoment M_d — für das Warmwalzen einfacher Flachquerschnitte ohne behinderte Breitung weitgehend gegeben sein, da Gleichungen zur Verfügung stehen, die nach Kenntnis der Formänderungsfestigkeit des entsprechenden Stahles einfach zu gebrauchen sind und der Nachweis über die Gültigkeit dieses Rechnungsverfahrens mit Stahl C 45 erbracht wurde. Inwieweit mit der Sims'schen Theorie die Druckverteilung im Walzspalt auch quantitativ richtig zu beschreiben ist, kann erst entschieden werden, wenn entsprechende Versuchsergebnisse vorliegen. Diese Untersuchungen sind für die Grundlagenforschung von Bedeutung, da die betrieblichen Forderungen nur auf eine möglichst genaue quantitative Erfassung des Walzvorganges hinzielen. Mit der hier beschriebenen Berechnung dürfte diese Forderung ihre Erfüllung finden.

Zum Abschluß der kurzen Betrachtungen über das Sims'sche Rechnungsverfahren erscheint der Hinweis für die Grundlagenforschung von Bedeutung, daß bei der Überprüfung dieses Verfahrens durch das Metallformungs-Institut der Bergakademie Freiberg besonders gute Ergebnisse für Formänderungen $\epsilon \cong 20\%$ erzielt wurden.

Literatur

- [1] v. Karman, Th.: Z. f. angew. Mathematik u. Mechanik 5 (1925) S. 139—141.
- [2] Siebel, E.: Stahl und Eisen 45 (1925) S. 1563—1606.
- [3] Kneschke, A.: Freib. Forsch.-H. B 16 (1957) S. 5—34.
- [4] Sims, R. B.: Proc. Inst. Mech. Eng. 168 (1954) S. 191—200 u. 209—214.
vgl. Stahl u. Eisen 1955, S. 1049—1051, und 1117—1118.
- [5] Orowan, E.: J. Proc. Inst. Mech. Eng., London 150 (1944) S. 140—167;
vgl. Stahl u. Eisen 1945, S. 122—123.
- [6] Lueg, W., u. Müller, H. G.: Archiv f. d. Eisenhüttenwesen 1957, S. 505—516.
Forschungsberichte des Wirtschafts- u. Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen Nr. 263,
S. 29.
- [7] Cook, P. M.: Veröffentlicht von: The Institution of Mechanical Engineers; Westminster 1957; vgl. Werkstattstechnik u. Maschinenbau 1958, S. 673—676.
- [8] Hitchcock, J. H.: Amer. Soc. Mech. Engrs. 1935 (Report of spec. Research Comm.)
Am. soc. Mech. Eng. Research. Publications (1930) Appendix I.
- [9] Müller, H. G.: Dissertation Techn. Hochschule Aachen 1956; vgl. Stahl und Eisen 1956,
S. 1343—1356 u. S. 1457—1463.
- [10] Sims, R. B.: Proc. Inst. Mech. Eng. 168 (1954) S. 193.
- [11] Hoff, H., u. Dahl, Th.: Grundlagen des Walzverfahrens
Stahleisenbücherei 2. Auflage (1955), S. 190.
- [12] Ekelund, S.: Jernk. Ann. 111 (1927) S. 39—97; vgl. Stahl u. Eisen 1929, S. 706.

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften

Reihe B Metallurgie

B 4 Metallformung

Vorträge des Berg- und Hüttenmännischen Tages 1953

Format 17 x 24 cm — 74 Seiten — 49 Bilder — 1 Tabelle — DM 7,—

KÜHNÉ: Einheitliche Grundlagen zur Auswertung von Forschungsergebnissen in der spanlosen Formung — NETTER: Druck- und Drehmomentmessungen im Walzwerk — ZOUHAR: Ein Beitrag zur Frage der Drahtpatentierung durch elektrische Widerstandserwärmung — REBLING: Die Stellung des Hütteningenieurs im neuen Rechnungswesen der volkseigenen Industrie.

B 5 Metallkunde

Vorträge des Berg- und Hüttenmännischen Tages 1953

Format 17 x 24 cm — 79 Seiten — 59 Bilder — 4 Tabellen — DM 9,—

ENGELHARDT: Atomistische Ursache der Verfestigung — PETROW/BUCHANOWA: Ein neues Verfahren, Legierungsproben wechselnder Zusammensetzung zu erzeugen, und die Möglichkeit seiner Anwendung — THÜMLER: Beitrag zur Kinetik der Sinterung von Eisen — ERDMANN-JESNITZER/MAY: Einfluß der gegenseitigen Kristallorientierung auf Verwachsungsvorgänge

B 16 Metallformung

Vorträge des VIII. Berg- und Hüttenmännischen Tages

21.—26. Mai 1956 in Freiberg

Format 17 x 24 cm — 108 Seiten — 82 Bilder — 14 Tabellen — DM 10,—

KNESCHKE: Zur hydrodynamischen Theorie des Warmwalzens — GELEJI: Die Berechnung des mittleren Verformungswiderstandes bzw. Walzdruckes beim Warm- und Kaltwalzen — WUSATOWSKI: Analyse der im Walzspalt bei eintretender Breitung vorkommenden Erscheinungen (Auszug) — JURETZEK: Walzdrücke und Drehmomente beim Walzen auf Flachbahnen mit Ober- und Unterdruck — CHANG TSO-MEI: Das Formänderungsvermögen von Gußeisen mit Kugelgraphit.

B 27 Metallformung

Vorträge des IX. Berg- und Hüttenmännischen Tages

13.—15. Juni 1957 in Freiberg

Format 17 x 24 cm — 440 Seiten — 116 Bilder — 7 Tabellen — DM 13,—

WUSATOWSKI: Ein Versuch zur Bestimmung der richtigen Größe der Formänderungsfestigkeit bei dreiachsiger plastischer Verformung — GÄRTNER: Versuche zur Übertragung des Kegelstauchverfahrens auf das Warmstauchen von Metallen — GELEJI: Eine neue Walztheorie — WUSATOWSKI/SZALAJDA: Der Fließscheidenwinkel und die Vorellung beim Walzen mit Breitung — KONCEWICZ: Spezialrechenchieber für Ekelundsche Formeln — RYTEL: Der mittlere Streckungsgrad bei irregulären Kalibrierungen.

AKADEMIE - VERLAG · BERLIN

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften

B 20

Metallkunde

FRITZ GÜNTHER

Zum Einfluß der Korngröße auf die Vermeßbarkeit von Röntgen-Rückstrahlaufnahmen

Format 17 x 24 cm — 112 Seiten — 72 Bilder

17 Tabellen — DM 11,—

Im Hinblick auf die Bedeutung der röntgenographischen Präzisionsmeßverfahren für die Technik (Legierungsforschung, röntgenograph. Spannungsmessung u. a. m.) wurde am Beispiel des Planfilm-Rückstrahlverfahrens der Einfluß der Kristallgröße im Versuchsobjekt auf die Gestalt und Vermeßbarkeit von Röntgeninterferenzlinien erörtert. Auf Grund gewisser Annahmen bzgl. Form und Anordnung der Kristallite in der Probe erfolgte eine Abschätzung des Glanzwinkelintervalls, innerhalb dessen die Vermessung einer Röntgen-Rückstrahllinie im Korngrößenbereich zwischen 10^{-5} mm und 10^{-1} mm bei verschiedener Wahl der Aufnahmebedingungen unsicher ist. Unter Berücksichtigung der strahlengeometrischen Einflußgrößen und der durch die Teilchengröße bedingten Reflexbreite ergab sich, daß für eine optimale Korngröße von 10^{-4} mm Gitterkonstanten an Hand einer Rückstrahllinie prinzipiell nicht genauer als bis auf einige Einheiten der 5. Dezimalen bestimmbar sind und darüber hinaus der Meßfehler bei den in der Technik bisher üblicherweise angewendeten Rückstrahlverfahren mindestens in der Größenordnung von $1 \cdot 10^{-4}$ Å liegt.

A K A D E M I E - V E R L A G · B E R L I N

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften

D 23

Kultur und Technik

ALEXANDER VON HUMBOLDT

Über den Zustand des Bergbaus und Hüttenwesens in den Fürstentümern Bayreuth und Ansbach im Jahre 1792

Eingeleitet und bearbeitet von Dr. H. Kühnert
in Verbindung mit Prof. Dr.-Ing. habil. O. Oelsner

Der größte Schüler der Bergakademie Freiberg kann hundert Jahre nach seinem Tode nicht besser geehrt werden als durch die Veröffentlichung seines ersten dienstlichen Berichtes, der hinsichtlich seiner Form, seines Umfanges und der Fülle seiner Beobachtungen und Erfahrungen schon ganz die Klaue des Löwen verrät und von der überragenden Größe des Wissenschaftlers Humboldt ebenso Zeugnis ablegt wie von der Güte der Ausbildung der Freiburger Akademie, die ihrem Schüler in der kurzen Zeit von nur einem Jahre ein erstaunliches Rüstzeug mitgeben konnte. Der Bericht, der bisher nur in Bruchstücken veröffentlicht und noch nirgends in seiner vollen Bedeutung gewürdigt worden ist, stellt ein Musterbeispiel wirtschaftswissenschaftlicher Untersuchungen dar, die auf eine unmittelbare Veränderung und Verbesserung einer Reihe von Produktionszweigen abzielen. Herbert Kühnert, der aus drei verschiedenen Handschriften, einer Münchener, einer Nürnberger und einer Merseburger, den vollständigen Text in mühevoller Kleinarbeit rekonstruierte, hat dem Bericht einen Kommentar beigefügt, der die Zeit und lebensgeschichtlichen Zusammenhänge darlegt, aus denen heraus dieses Frühwerk, wie man es ohne Zögern nennen kann, gewürdigt werden muß. Hier ist nicht eine belanglose Jugendarbeit dem Riesenwerk des großen Naturwissenschaftlers hinzugefügt, sondern ein Dokument geboten, in dem der innere und äußere Bildungsgang Humboldts bis zu diesem Zeitpunkt kulminiert und wie in einem Brennspiegel alles zusammengefaßt ist, was das Phänomen Humboldt ausmacht. Es dürfte keinen Studierenden technischer und besonders montanistischer Hochschulen geben, dem dieser Bericht nicht zur Kenntnis gebracht würde als Beispiel dafür, mit welcher Kraft, welchem Eifer und mit welchem Ergebnis technisch-naturwissenschaftliche Studien betrieben werden können.

A K A D E M I E - V E R L A G · B E R L I N