Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
Band: 3 (1935)

Artikel: Schichtenweises Fliessen in Balken aus Baustahl
Autor: Kollbrunner, Curt F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-4151

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

SCHICHTENWEISES FLIESSEN IN BALKEN AUS BAUSTAHL

ECOULEMENT PAR COUCHES DANS LES POUTRES EN ACIER

FLOWING WITHIN SUCCESSIVE LAYERS IN STEEL BEAMS

Dr. sc. techn. CURT F. KOLLBRUNNER, Zürich.

1. Einleitung.

Der Schlußsatz der sehr ausführlichen Abhandlung: „Die Fließgrenze bei behinderter Formänderung" von A. Thum und F. Wunderlich [1]) lautet:

> „Als Gesamtergebnis kann festgestellt werden, daß die bisherigen Theorien über die Streckgrenze bei ungleichmäßiger Spannungsverteilung nicht mehr gültig sind. Die Ursache dieser Abweichung liegt wohl darin, daß der Werkstoff das Bestreben hat, in Schichten, d. h. „quantenhaft", zu fließen."

Da die jeweils fließenden Schichten zwischen elastischem und plastischem Material so dünn sind, daß sie nur wenige Kristallitschichten umfassen, dürfen sie nicht mehr als quasiisotrop aufgefaßt werden.

Wie dieses „quantenhafte" Fließen bei einem freiaufliegenden Balken, mit einer Einzelkraft in Balkenmitte, stattfindet, wird hier kurz skizziert.

2. Versuchseinrichtung.

Am Institut für Baustatik an der E. T. H. (Prof. Dr. Ing. L. Karner) wurden im Zusammenhang mit Untersuchungen über das Traglastverfahren [2]) in den Monaten Oktober 1934 bis Januar 1935 Biegeversuche mit 19 einfachen Balken, deren freie Längen zwischen 30 cm und 140 cm schwankten, und die durch eine Einzelkraft in Balkenmitte belastet wurden, durchgeführt. Dabei wurden die Dehnungsverteilungen und die Durchbiegungen verschiedener Querschnitte bestimmt; das „quantenhafte" Fließen wurde durch Zeitmessungen festgehalten. Hier wird nur auf die letzteren Untersuchungen eingetreten.

Verwendet wurden durchwegs I-Träger aus Stahl 37, die sämtliche derselben Charge entstammten [3]).

Elastizitätsmodul			$E = 2\,080\,000$ kg/cm²
Proportionalitäts- = Fließgrenze			$= 3\,360$ kg/cm²
I-Profil:	Höhe	= 46 mm	$F = 4{,}99$ cm²
	Breite	= 35 mm	$J_x = 16{,}73$ cm⁴
	Stegdicke	= 3,6 mm	$W_x = 7{,}28$ cm³

[1]) Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens 1932. Bd. 3, Nr. 6, S. 261.

[2]) F. Stüssi und C. Kollbrunner, Beitrag zum Traglastverfahren. Die Bautechnik. 1935, Heft 21, S. 264.

[3]) Die Versuchsträger wurden von Herrn F. Hetzel, Teilhaber der Firma Küderli & Co., Zürich, in verdankenswerter Weise kostenlos zur Verfügung gestellt.

Die Versuche wurden mit einer auf dem Prinzip der Hebelübertragung konstruierten Maschine ausgeführt. Eine solche Maschine hat gegenüber den hydraulischen Pressen den Vorteil, daß die Last, unabhängig von der Durchbiegung des Versuchsbalkens, konstant bleibt. Mit Rücksicht auf strenge

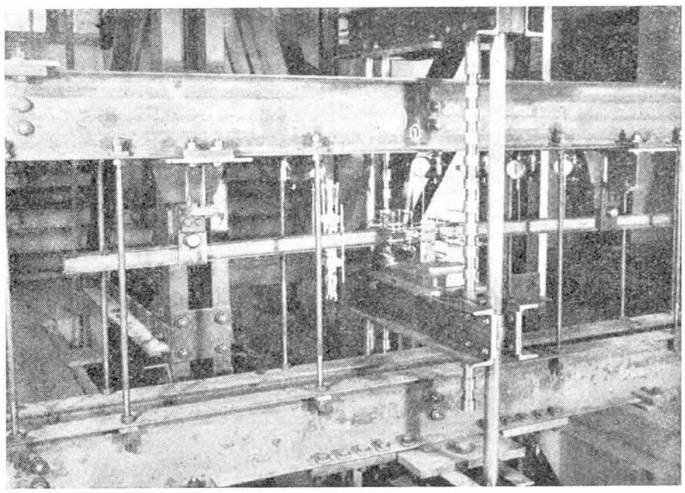

Fig. 1.

Symmetrie wurden beide Auflager als Rollen (Durchmesser = 3 cm) ausgebildet. Die Last wurde durch ein Schneidenlager mit einem Schneidenradius von 0,1 cm übertragen. Um ein Kippen zu verhindern, wurden bei der Last-

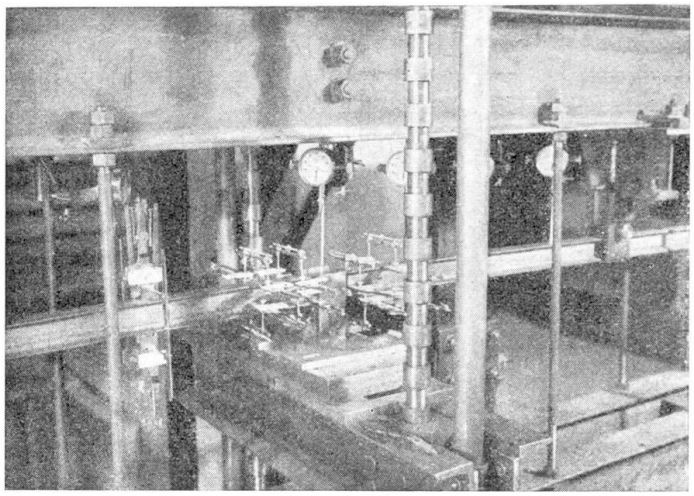

Fig. 2.

übertragung und über den Auflagern seitliche Führungen angebracht. Die Durchbiegungen wurden mit Huggenberger-Meßuhren (Teilung 1 : 100 mm) bestimmt.

Ausgehend von einer Minimalbelastung von 490 kg, wurden bei stetiger Laststeigerung (25—50 kg) die Durchbiegungen gemessen und nach Überschreitung der Fließgrenze in Funktion der Zeit bestimmt. Entlastungen wurden keine vorgenommen.

Fig. 1 veranschaulicht die Versuchsanordnung; Fig. 2 zeigt den Balken unter der Minimallast, Fig. 3 schon in stark deformiertem Zustand.

3. Resultate.

Tabelle I gibt die Meßresultate des Balkens No. 556/30, $l = 140$ cm, bei der Laststeigerung von $P = 685$ kg auf 735 kg. (Die Randfasern erreichen die Fließgrenze bei $P = 700$ kg.)

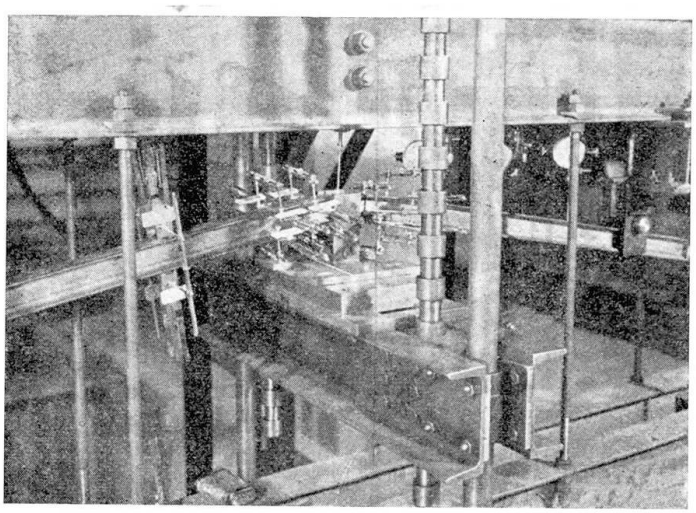

Fig. 3.

Tabelle I.

Untersuchungsbereich	Punkt	Zeit Sek.	δ mm	Δt Sek.	$\Delta \delta$ mm	$v_M = \frac{\Delta \delta}{\Delta t}$ mm/Sek. $\cdot 10^{-2}$
	1	0	0,00			
	2	10	0,00	10	0,00	0,000
	3	40	6,49	30	6,49	21,63
	4	240	16,12	200	9,63	4,815
I	5	720	25,79	480	9,67	2,015
	6	780	26,26	60	0,47	0,783
	7	960	27,39	180	1,13	0,628
II	8	1140	28,18	180	0,79	0,438
	9	1320	29,04	180	0,86	0,478
	10	1500	29,52	180	0,48	0,267
III	11	1560	29,70	60	0,18	0,300
	12	1740	29,97	180	0,27	0,150
	13	1920	30,21	180	0,24	0,133
IV	14	2100	30,28	180	0,07	0,039
	15	2280	30,48	180	0,20	0,111
	16	2460	30,55	180	0,07	0,039
V	17	2640	30,84	180	0,29	0,161
	18	2820	30,98	180	0,14	0,078

In den Untersuchungsbereichen No. I—V wurden die durchschnittliche Dauer eines „Durchbiegungssprunges“ (hervorgerufen durch das schichtenweise Zusammenbrechen des Zementit-Gerippes und nachträgliches plasti-

sches Verformen der weichen Ferritkörner[4]) t_s, die durchschnittliche Dauer des Intervalles zwischen zwei Sprüngen t_i, und die durchschnittliche Durch-

Tabelle II.

Unt. Ber.	t_s Sek.	t_i Sek.	$t_s + t_i$ Sek.	$\delta_{i+s} = \frac{\Delta\delta}{\Delta t}(t_s+t_i)$ mm	δ_i mm	$v_i = \frac{\delta_i}{t_i}$ mm/Sek.	$\delta_s = \delta_{i+s} - \delta_i$ mm	$v_s = \frac{\delta_s}{t_s}$ mm/Sek.
I	10	10	20	0,1566	0,0383	0,00383	0,1183	0,01183
II	10	20	30	0,1432	0,0292	0,00146	0,1140	0,01140
III	7	38	45	0,0675	0	0	0,0675	0,09650
IV	7	60	67	0,0745	0	0	0,0745	0,01064
V	7	85	92	0,0716	0	0	0,0716	0,01022

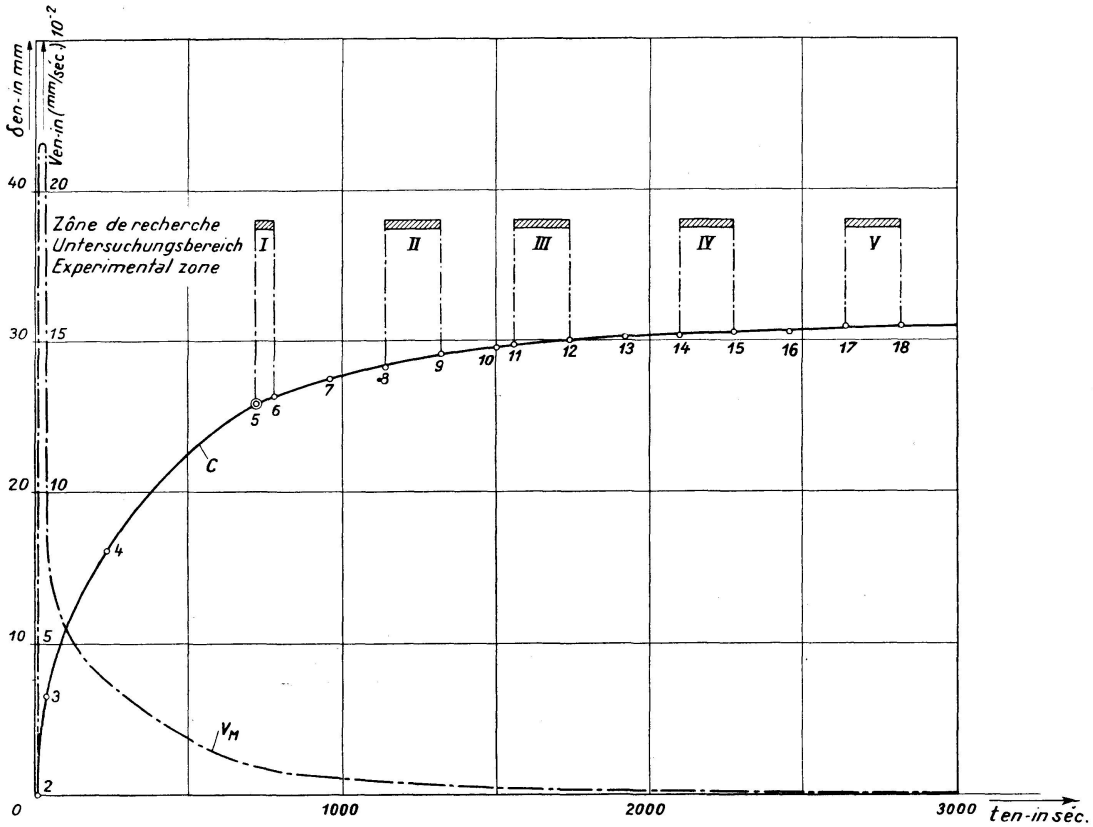

Fig. 4.

$c =$ { Courbe de la flèche en fonction du temps. / Durchbiegungskurve in Funktion der Zeit. / Curve of bending as a function of the time.

$v_M =$ { Courbe de la vitesse moyenne du déplacement. / Kurve der mittleren Durchbiegungsgeschwindigkeit. / Curve of the mean speed of bending.

biegung pro Intervall δ_i, bestimmt. Daraus wurden die minimale Intervallgeschwindigkeit v_i und die maximale Sprunggeschwindigkeit v_s berechnet. (Tabelle II.)

Bei der plötzlichen Laststeigerung von 50 kg (Lasterhöhung von 685 kg auf 735 kg) wuchs die Durchbiegung δ in Balkenmitte nach dem in Fig. 4

[4]) A. Nadai. Der bildsame Zustand der Werkstoffe. Verlag J. Springer, Berlin 1927.

angegebenen Diagramm (Kurve C); d. h. nach 10 Sekunden Reaktionszeit, während welchen der Balken in Ruhe blieb, nahmen die Durchbiegungen anfänglich sehr stark zu, um sich später asymptotisch einem Grenzwert zu nähern. Gleichzeitig zeigten sich durch das Abspringen der spröden Walzhaut die typischen Fließfiguren. v_M sind die aus der Kurve C berechneten mittleren Durchbiegungsgeschwindigkeiten in Balkenmitte.

Nach 720 Sekunden wurde zum ersten Male das schichtenweise Fließen von Auge beobachtet. Daß dieser Vorgang schon früher beginnt, nämlich nach ca. 615 Sekunden, ersieht man aus Fig. 5. Von 615 Sekunden an pendelt die Durchbiegungsgeschwindigkeit zwischen v_s und v_i. Dabei nimmt die Inter-

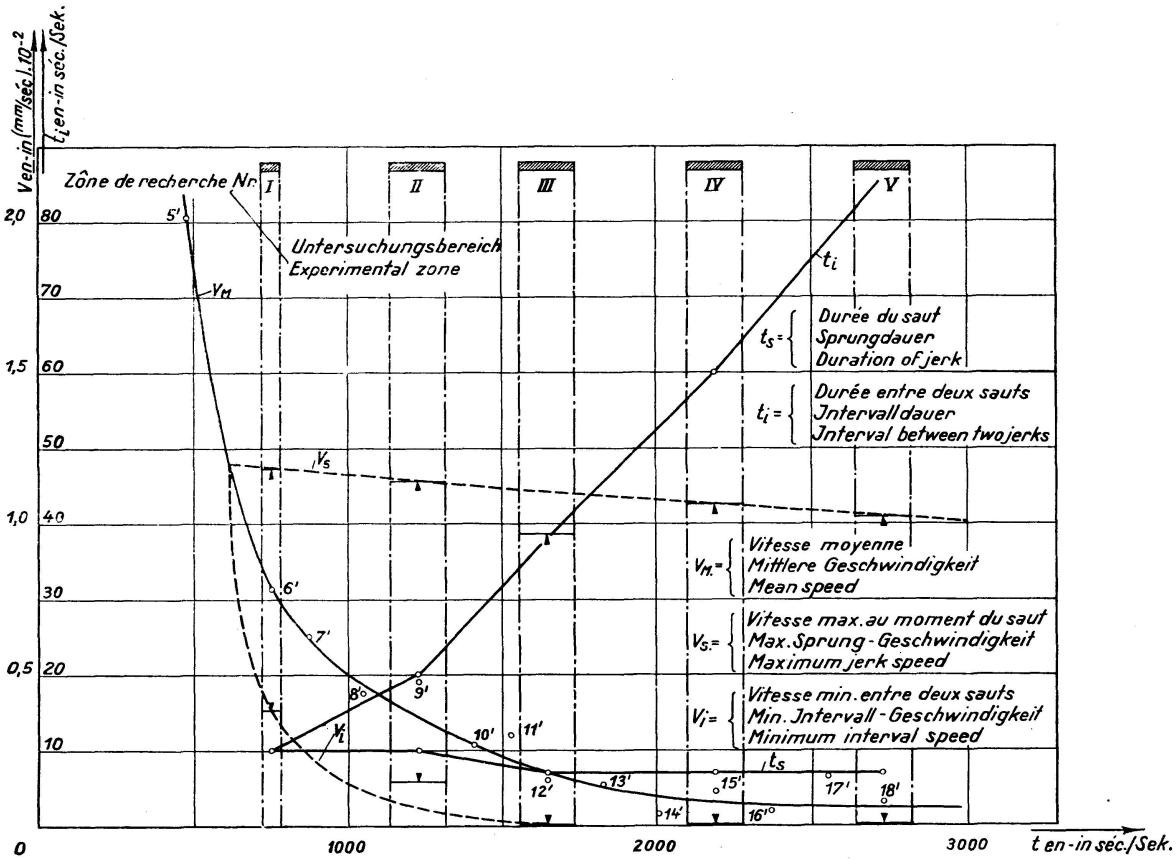

Fig. 5. $v = \begin{cases} \text{Diagramme vitesse — temps.} \\ \text{Geschwindigkeit — Zeit — Diagramme.} \\ \text{Speed — time — diagram.} \end{cases}$

valldauer t_i rasch zu. Bei $t = 6000$ Sekunden wird $t_i = \infty$, d. h. es findet keine Zunahme der Durchbiegung mehr statt.

Vergrößert man nunmehr die Last, so zeigt sich wieder das gleiche Bild: Anfängliche starke Durchbiegungsvermehrung, hervorgerufen durch das gleichzeitige Zusammenbrechen verschiedener Schichten, infolge relativ großer Laststeigerung (50 kg). Nach einer gewissen Zeit Beginn des schichtenweisen Fließens. Würde man die Last nur um sehr wenig vermehren, so könnte man das „quantenhafte" Fließen schon von Anfang an beobachten.

Fig. 6 veranschaulicht das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm des Untersuchungsbereiches I, Fig. 7 dasjenige des Untersuchungsbereiches IV. v_i wird nach 1650 Sekunden zu Null, d. h. während der Intervalldauer findet keine Durchbiegungsvermehrung mehr statt.

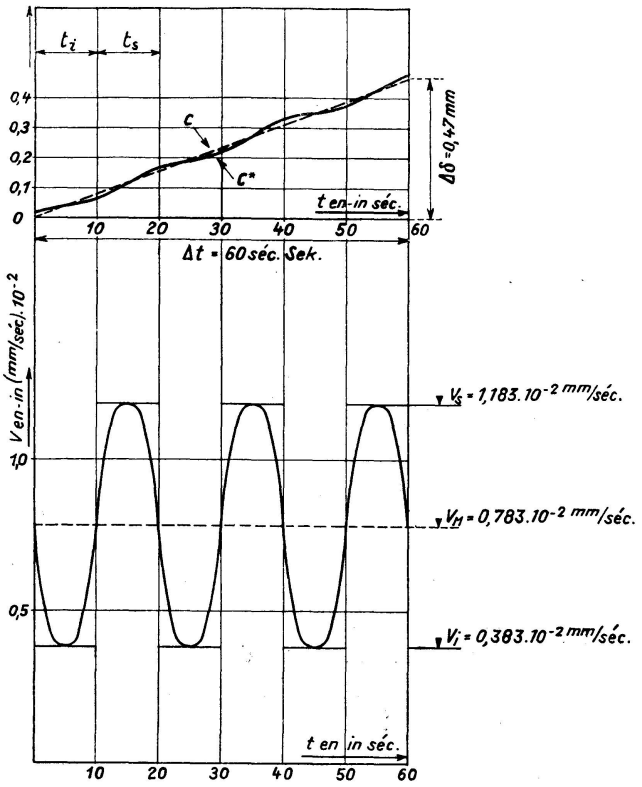

Fig. 6.

Zone de recherches.
Untersuchungsbereich. } No. I.
Experimental zone.

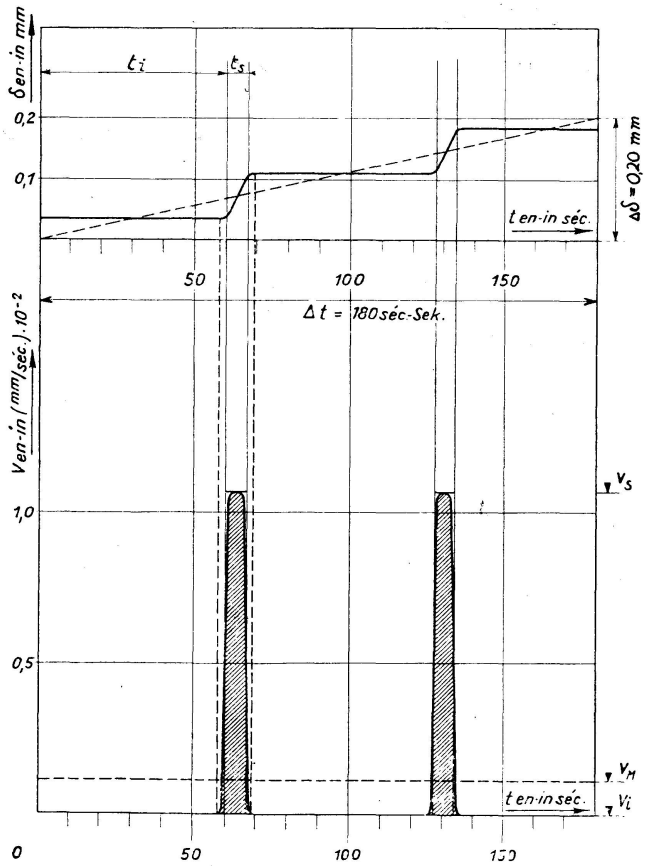

Fig. 7.

Zone de recherches.
Untersuchungsbereich. } No. IV.
Experimental zone.

Interessant ist folgende Beobachtung: Beklopft man den Versuchsbalken beidseitig gleichzeitig achsial, so tritt ein relativ großer Sprung der Durchbiegungsvermehrung auf (gleichzeitiges Zusammenbrechen verschiedener Schichten), jedoch zeigt weiteres Klopfen keinen Effekt mehr. Erst wenn die Zeit verstrichen ist, in der der Balken ohne äußere Einflüsse die erzwungene Durchbiegung erreicht hätte, tritt neuerdings Durchbiegungsvermehrung ein.

Zusammenfassung.

Das schichtenweise — oder „quantenhafte" Fließen bei einem freiaufliegenden Balken aus Stahl 37, mit einer Einzelkraft in Balkenmitte, wird durch Versuche festgehalten und durch Geschwindigkeits-Zeit-Diagramme veranschaulicht.

Man ersieht daraus deutlich, daß nach vorangegangenem Zusammenbruch mehrerer Schichten (hervorgerufen durch eine relativ große Laststeigerung), mit- bezw. so rasch hintereinander, daß sie durch die Versuchseinrichtung nicht mehr unterschieden werden konnten, das schichtenweise Fließen einsetzt. D. h. das Fließen findet nur noch sprungweise statt; in den Intervallen zwischen den Sprüngen „fließt" das Material anfänglich langsam, später überhaupt nicht mehr. Es braucht somit immer eine gewisse „Überbelastung", die mit dem Siedeverzug bei Flüssigkeiten vergleichbar ist[5]), um das Fließen, resp. den Zusammenbruch einer dünnen Zone von wenigen Kristallitschichten einzuleiten. Diese Schichten sind so dünn, daß sie nicht mehr als quasiisotrop aufgefaßt werden dürfen.

Résumé.

L'écoulement stratifié qui se manifeste sur une poutre en acier St. 37 reposant librement sur ses appuis, et soumise à une charge unique localisée au milieu, est établi au moyen d'essais et concrétisé par le tracé des diagrammes vitesse-temps.

On constate nettement qu'après „la rupture" simultanée de plusieurs „couches" (provoquée par une augmentation relativement importante de la charge), cette „rupture" se produisant soit rigoureusement simultanément, soit en succession si rapide que les „ruptures" individuelles ne peuvent pas être nettement distinguées sur l'appareil d'essai, l'écoulement stratifié commence à se manifester. Cet écoulement se produit d'une manière saccadée; dans les intervalles entre les phases d'écoulement net, le métal continue à subir un écoulement lent, mais qui finit par s'arrêter. Il faut donc toujours une certaine surcharge pour amorcer l'écoulement ou la „rupture" d'une zône de faible épaisseur constituée par un petit nombre de couches de cristallites; cette surcharge est comparable au phénomène de la surchauffe. Les couches de cristallites elles-mêmes sont si minces que l'on ne peut plus les considérer comme quasi-isotropes.

Summary.

The yielding in layers, or "quantum-like" yielding, in a freely supported beam of St. 37 loaded with a single force in the middle, is determined by tests and represented by speed-time diagrams.

---

[5]) W. Prager. Die Fließgrenze bei behinderter Formänderung. Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, 1933, Bd. 4, Nr. 2, S. 95.

From this it is clearly seen that after several layers (because of a relatively great increase in the load) have broken down simultaneously or so quickly after each other that they can no longer be differentiated by the testing equipment, the yielding by layers sets in, i. e. the yielding takes place only by jerks. In the intervals between these jerks, the material yields at the beginning slowly, later not at all. Consequently a certain "overloading", which is comparable to the boiling lag in liquids, is always required in order to start the yielding or the breakage of a thin zone of few crystallite layers. These layers are so thin that they may no longer be considered as quasi-isotropic.