

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105/106 (1935)
Heft: 2

Artikel: Röntgenographische Feingefügeuntersuchungen an Brückentragwerken
Autor: Regler, Fritz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-47372>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 27.11.2024

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

INHALT: Röntgenographische Feingefügeuntersuchungen an Brückentragwerken. — Französische Flutkraftwerk-Projekte. — Atelierhaus G. Schuh in Zollikon-Zürich. — Atelierhäuser von Arch. W. Boesiger, Zürich. — Ueber Dauerfestigkeit von Schweissverbindungen — Mitteilungen: Vom Gewitter. Selbsteinstellende Drehmomentzeiger. Die Filter- und Entkeimungsanlagen der Wasserversorgung von Nancy. Eine neue Franki-Beton-Spundwand. Bauprojekte der Triumphatoren. Eisengewinnung

nach dem Krupp-Rennverfahren. Das Baubudget der S. B. B. Basler Rheinhafenverkehr. Vom Stand der Bauarbeiten der Säntis-Schwebebahn. Elektrisch betriebene Molkereien. Die Wasserkraftnutzung in Schottland. Stadtrat von Zürich. — Wettbewerbe: Primarschulhaus mit Turnhalle in Knouau. Gewerbliche Berufsschule Winterthur. — Nekrologe: Jacques Stutz. Alex Alder. Bitte an unsere Leser. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 105

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 2

Röntgenographische Feingefügeuntersuchungen an Brückentragwerken.

Von Dr. phil. FRITZ REGLER, Privatdozent an der T. H. Wien, Leiter der Versuchsanstalt für röntgentechnische Materialuntersuchungen.

An langjährig beanspruchten Tragwerken bewirkt die dem Kristallgitter des Baustoffes im Laufe der Zeit zugeführte Energiemenge eine starke Erhöhung der Interferenzlinienbreite. Da das Kristallgitter eines Baustoffes, wie der Verfasser nachweisen konnte, nur eine bestimmte Energiemenge aufzunehmen imstande ist und der Bruch eines gegebenen Materials immer bei der selben Interferenzlinienbreite eintritt, kann auf diesem Wege auf die Lebensdauer eines Tragwerkes geschlossen werden.

EINFÜHRUNG.

Wie schon früher in dieser Zeitschrift¹⁾ gezeigt wurde, ist die röntgenographische Feingefügeuntersuchung für die moderne Materialprüfung unentbehrlich geworden, da sie Kenntnisse vermittelt, die durch keine anderen Untersuchungsmethoden erreicht werden können. In nachfolgender Abhandlung soll über die Ergebnisse solcher Untersuchungen nach den Methoden des Verfassers zur Bestimmung der durch die Beanspruchung hervorgerufenen Gefügeveränderungen an Brücken und Stahlbauwerken, ohne jede Beschädigung derselben, kurz berichtet werden.

Wie der Verfasser schon in zahlreichen anderen Abhandlungen nachweisen konnte²⁾, nimmt die radiale Breite B der Interferenzlinien³⁾ im Röntgendiagramm mit wachsender, sei es elastischer, sei es bildsamer Verformung zu. Der Zusammenhang zwischen B und der Spannung σ ist bei elastischer Verformung durch die Gleichung:

B = mσ + n (1)

im Gebiet der bildsamen Verformung durch die Gleichung:

B = m̄σ + n̄ (2)

gegeben, wobei m̄ > m gilt. Die beiden Geraden schneiden sich an der Streckgrenze. Bei Kaltverformung eines Stahles, etwa bei Fertigwalzen der Bleche unterhalb der Warmformgebungstemperatur, bleibt der lineare Zusammenhang mit gegenüber den warm gewalzten Blechen veränderten Konstanten ebenfalls erhalten. Der Höchstwert für die Linienbreite B_{max} ist in beiden Fällen der gleiche. Auch bei Dauerbiegestäben mit 10⁷ Lastwechseln nimmt die Interferenzlinienbreite mit der Grösse der Beanspruchung zu, ähnlich wie bei der statischen Beanspruchung. Trotz der viel geringeren Werte für σ tritt auch in diesem Fall an der Dauerbruchstelle der selbe Wert für die Linienbreite auf, wie an der Bruchstelle der Zugstäbe (gleiches Material vorausgesetzt). Bei Dauerbiegestäben ist die Zunahme der Linienbreite trotz der nur elastischen Beanspruchung der Probestäbe fast zur Gänze irreversibel.

Hält man bei Amslerschen Dauerbiegestäben die Amplitude der Beanspruchung konstant und variiert die Zahl der Lastwechsel, so erhält man den Kurvenzug der Abb. 1. Obwohl die Probestäbe bei 5.10⁷ Lastwechseln noch nicht brachen, ist aus dem Kurvenverlauf der Abb. 1 deutlich erkennbar, dass die Kristallgitterstörungen ständig zunehmen. Der Kurvenverlauf ist sowohl von dem verwendeten Material als auch von der Höhe und Art der Beanspruchung abhängig. Untersuchungen zur Feststellung der Kurvenzüge bis zum Bruch des Materials werden erst durchgeführt. Der Verfasser konnte feststellen, dass bei jedem Material gegebener chemischer Zusammensetzung die Interferenzlinienbreite einem bestimmten, für das betreffende Material charakteristischen Höchstwert zustrebt, den es an der Bruchstelle erreicht und niemals überschreitet. Dieser Höchstwert ist als Materialkonstante vollkommen unabhängig davon, auf welche Weise der Bruch herbeigeführt wird, ob durch Zerreißen,

Zerhämmern, Zerreiben oder durch Dauerbruch. Er ist auch unabhängig von der Vorbehandlung des Metalls und der Art der Beanspruchung und stellt sich als Mass der Kristallgitterstörungen dar, bei denen die Lösung der atomaren Bindungen eintritt. So beträgt z. B. bei der vom Verfasser gewählten Versuchsanordnung die charakteristische Linienbreite beim Bruch für Baustahl St 44 B₍₀₂₂₎ = 6,63 mm, für altes Schweisseisen B₍₀₂₂₎ = 6,33 mm. Voraussetzung für diese Art der Untersuchungen ist die Beibehaltung der gleichen Aufnahmekamera und der gleichen Abstände zwischen Untersuchungsmaterial und Aufnahmekamera⁴⁾. Die radiale Interferenzlinienbreite für jede untersuchte Stelle ist auch unabhängig von der Richtung des primären Röntgenstrahlenbündels zur Richtung der verformenden Kraft. Sie ist ein Mass für die dem Fe-Gitter zugeführte Energiemenge, d. h. eines Teils der dem Material zugeführten Gesamtenergie, daher auch ein Mass für den potentiellen Energiegehalt der Atome. Da jedes Kristallgitter zur Lösung der atomaren Bindungen eine ganz bestimmte, charakteristische Energiemenge benötigt, ist es verständlich, dass der Bruchstelle eines Materials immer die gleiche Interferenzlinienbreite entspricht. Die einem Kristallgitter zugeführte Energiemenge ist, konstante Temperatur und gleiches Untersuchungsmaterial vorausgesetzt, eine Funktion sowohl der wirkenden Kraft, wie der erzielten Verformung und der Zeitdauer der Energieeinwirkung.

ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN AN LANGJÄHRIG BEANSPRUCHTEN BRÜCKENTRAGWERKEN.

Die vom Verfasser untersuchten, durchschnittlich über 60 Jahre in Betrieb stehenden Tragwerke von Eisenbahnbrücken waren grösstenteils aus Schweisseisen⁵⁾ hergestellt. Die Untersuchung an beanspruchten Stellen der Tragwerke lehrte, dass das Schweisseisen im Anlieferungszustand nur geringe Kennzeichen einer Kaltverformung aufweist und ein fast störungsfreies Kristallgitter mit einer radialen Linienbreite von rd. 3,30 mm besitzt. Wie zahlreiche Laboratoriumsversuche des Verfassers nachweisen konnten, tritt trotz der chemischen Inhomogenitäten des Schweisseisens der Bruch dieses Materials immer bei einer Linienbreite von B₍₀₂₂₎ = 6,33 mm ein, da die chemischen Verunreinigungen grösstenteils nicht im Eisengitter gelöst erscheinen, sondern als selbständige Bestandteile im Material eingelagert sind.

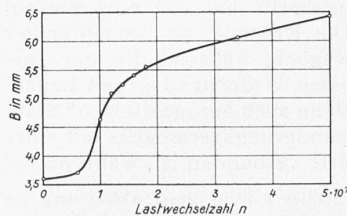


Abb. 1. Abhängigkeit der radialen Interferenzlinienbreite B in mm von der Schwingungszahl n bei gleichbleibender Beanspruchung von 24 kg/mm² für Probestäbe aus Baustahl St. 44.

Die stärker beanspruchten Bauteile der Tragwerke zeigten in den meisten Fällen im Röntgendiagramm eine ausgeprägte Faserstruktur oder ein zerrüttetes Gefüge, verbunden mit sehr hohen Werten für die Linienbreite, also mit grossen Kristallgitter - Störungen. Die stärkstbeanspruchten

Stellen eines Stahlüberbaues, der vor seinem Ausbau stand, zeigten so hohe Werte für die Linienbreite, dass sie von

4) Hingegen beeinflussen Veränderungen in der Expositionszeit und in der Entwicklungszeit die Ergebnisse nicht.

5) Später angebrachte Verstärkungen aus Flusseisen, bezw. Bessemerstahl sind in ihrem Verhalten dem Schweisseisen ähnlich.

1) E. Brandenberger, „SZ“, 1933, Bd. 102, S. 39* (inzwischen zu einem Sonderdruck erweitert).

2) Siehe Literaturverzeichnis am Ende dieses Berichtes.

3) Die Interferenzlinienbreite ist ein Mass für die Grösse der Kristallgitterstörungen.

dem an der Bruchstelle dieses Materials gefundenen Werte nur mehr wenig entfernt war. Nach dem Ausbau geht bei solchen stark beanspruchten Bauteilen die Interferenzlinienbreite bloss um einige hundertstel Millimeter zurück; auch bleibt die Faserstruktur erhalten. Trotz der Faserstruktur und der grossen Linienbreite zeigten die Tragwerke keine grösseren Durchbiegungen bzw. Verformungen. Die bedeutenden Kristallgitterstörungen müssen daher auf die schwingende Beanspruchung der Tragwerke über lange Zeiten zurückgeführt werden. Wegen der ungleichartigen Beanspruchung der einzelnen Bauteile gestatten die Interferenzlinienbreiten keinen direkten Vergleich der wirksamen Spannungen, sondern nur der dem Fe-Gitter zugeführten Energiemengen.

Das Auftreten von Faserstrukturen mit einer für Stahl ausserordentlichen Deutlichkeit ohne stärkere Verformung des Baustoffes kann nur durch eine Verdrehung der Kristalle ohne grössere Ortsveränderung derselben erklärt werden. Unter dem Einfluss von geringen gerichteten Kräften entsteht bei gleichzeitiger Ueberlagerung einer Schwingungsbeanspruchung ebenso wie unter pulsierender, gerichteter Beanspruchung die Einstellung der Kristalle in die Faseraxe nicht durch Biegegleitung, sondern durch Kristallverdrehung. Die Röntgendiagramme solcher „ermüdeter“ Stähle sind von Röntgendiagrammen stark kaltgewalzter Stähle nicht mehr zu unterscheiden, da beide eine hohe Linienbreite und eine Faserstruktur aufweisen. Grosse Linienbreiten und zahlreiche feine Punkte den Interferenzlinien entlang kennzeichnen reine Schwingungsbeanspruchung des Bauteiles. Für die Beurteilung der Brauchbarkeit eines Baustahles für den Brückenbau ist nicht allein die im Kurzzeitversuch ermittelte Zugfestigkeit und Streckgrenze massgebend, sondern die Grösse der von ihm aufzunehmenden Energiemenge, allerdings bei Einhaltung gewisser Festigkeits- und Dehnungswerte. Die funktionellen Zusammenhänge der Zunahme der Linienbreite mit zunehmendem Energiegehalt der Atome sind noch nicht klar gelegt.

Jede Druckbeanspruchung ruft im Röntgendiagramm die selbe Faserstruktur hervor wie eine Zugbeanspruchung in senkrechter Richtung. Es lässt sich daher aus den Röntgendiagrammen nicht nur der Grad der „Ermüdung“⁶⁾ des Baustoffes, sondern auch die Art seiner Beanspruchung bestimmen. Dabei zeigt sich, dass die Kristalle hochbeanspruchter Stellen eine ausserordentlich leichte Verdrehbarkeit besitzen. In welcher augenfälliger Weise die Röntgendiagramme die Kristallverdrehung durch Veränderungen der Beanspruchungsart nachweisen, zeigen die Abb. 2 a und 2 b. Abb. 2 a zeigt das Röntgendiagramm eines auf reinen Zug beanspruchten Bauteils mit einer radialen Interferenzlinienbreite $B_{(022)} = 6,03 \text{ mm}$ ⁷⁾, Abb. 2 b das Röntgendiagramm der selben Stelle fünf Monate später. Infolge eines Umbaus hat sich die Zugbeanspruchung in eine Wechselbeanspruchung verwandelt; das Röntgendiagramm 2 b besitzt daher das typische Aussehen eines schwingend beanspruchten Materials; die Linienbreite hat von 6,03 mm auf 6,09 mm zugenommen⁸⁾. Die Kristalle so beanspruchter Stähle sind also leicht beweglich, während die der „gealterten“ Stähle⁹⁾ einen grossen Widerstand gegen Lagenveränderungen besitzen, wie denn auch bei „gealterten“ Stählen eine Abnahme ihres Formänderungsvermögens mit einer Zunahme ihrer Festigkeitswerte verbunden ist, während bei

⁶⁾ Unter „Ermüdung“ eines Stahles soll in dieser Abhandlung ein hoher Grad von Gitterstörungen als Folge dauernder elastischer Beanspruchung ohne wesentliche Formänderung verstanden werden.

⁷⁾ Der schwache Hof auf beiden Seiten der Interferenzlinie, der die Linienbreite angibt und dessen Vermessung schon im Röntgennegativ ein geschultes Auge voraussetzt, ist naturgemäss in der Reproduktion nicht zu erkennen.

⁸⁾ Die Vermessung der Interferenzlinie ist auch dann möglich, wenn diese in Punkte aufgelöst ist, da sämtliche Punkte einer sehr schwachen, aber homogen geschwärtzten, scharf begrenzten Interferenzlinie überlagert sind. Diese schwache Linie ist in der Wiedergabe 2 b nicht erkennbar.

⁹⁾ Unter „gealterten“ Stählen sind solche zu verstehen, die nach erfolgter plastischer Deformation und nachherigem Lagern eine Verfestigung erfahren haben.

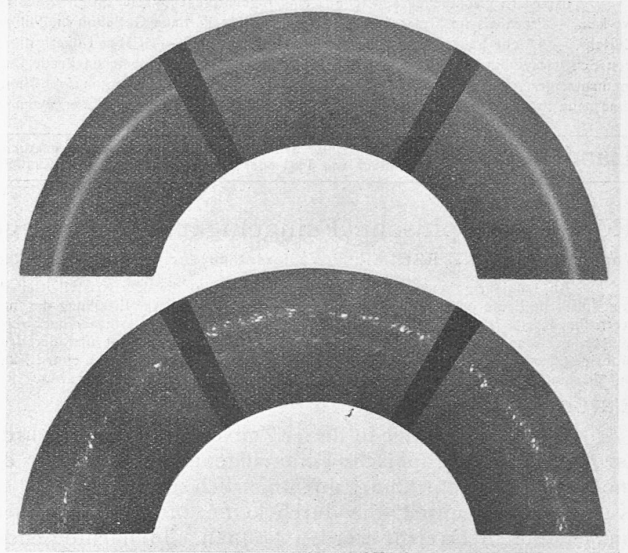


Abb. 2 a und b. Veränderung des Aussehens des Kegel-Reflexionsdiagrammes von der untersuchten Stelle der Diagonale 2 A c der Abb. 4 nach fünfmonatlicher Betriebseinwirkung unter veränderten Spannungsbedingungen (Positivkopien).

ermüdeten Stählen mit Ziehstruktur beide Werte abnehmen. In beiden Fällen verhindern die grossen Kristallgitterstörungen eine grössere Formänderungsmöglichkeit. Während aber bei gealterten Stählen der erhöhte Reibungswiderstand der Kristalle aneinander die Festigkeitseigenschaften erhöht, ist bei ermüdeten Stählen mit Faserstruktur der Reibungswiderstand der Kristalle aneinander geringer als bei unbeanspruchten Stählen, weshalb die Festigkeitswerte sinken¹⁰⁾.

Um feststellen zu können, ob die durch die Beanspruchung hervorgerufene Materialermüdung über den ganzen Querschnitt eines Bauteiles verteilt ist oder wegen der stets höheren Randfaserbeanspruchung nur an der Oberfläche eines Bauteils auftritt, wurde ein Stück eines ausgebauten Obergurtes mittels Kaltsäge senkrecht zur Längserstreckung des Gurtes durchgeschnitten und die Schnittfläche nach gründlichem Abätzen zur Entfernung der durch den Schneidevorgang erzeugten Kaltverformungen röntgenographisch untersucht. Die fortlaufenden Zahlen in der Abb. 3 zeigen die untersuchten Stellen an; die Tabelle I gibt die erhaltenen Werte für die Interferenzlinienbreite wieder. Wie aus ihr hervorgeht, sind tatsächlich die Werte der Stellen 8, 10, 11 und 15 am grössten, die Randfaserbeanspruchung verursacht also an den Materialrändern eine höhere Kristallgitterstörung als im Innern des Materials selbst. Jedoch ist der Abfall der Werte für die Linienbreite entlang den Lamellen nicht sehr bedeutend, auch die Stellen 9 und 13 weisen noch sehr beträchtliche

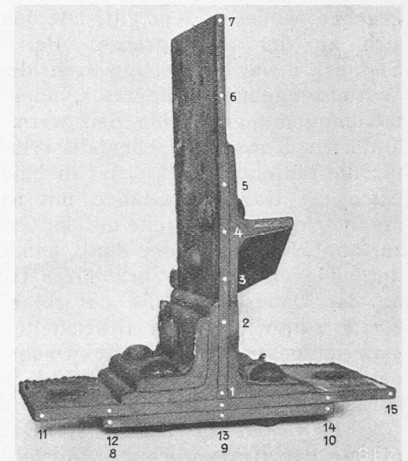


Abb. 3. Schnitt durch einen Tragwerksobergurt. Die Ziffern zeigen die untersuchten Stellen an.

¹⁰⁾ Beim Ausbau von Bauteilen mit besonders hohen Linienbreiten und stark ausgeprägter Faserstruktur traten durch blossen Fall aus rd. 1 m Höhe auf weichen Erdboden klaffende Risse auf. Der Baustoff war also nicht mehr imstande, die beim Aufprallen frei werdende Energie ohne Lösung der atomaren Bindungen aufzunehmen.

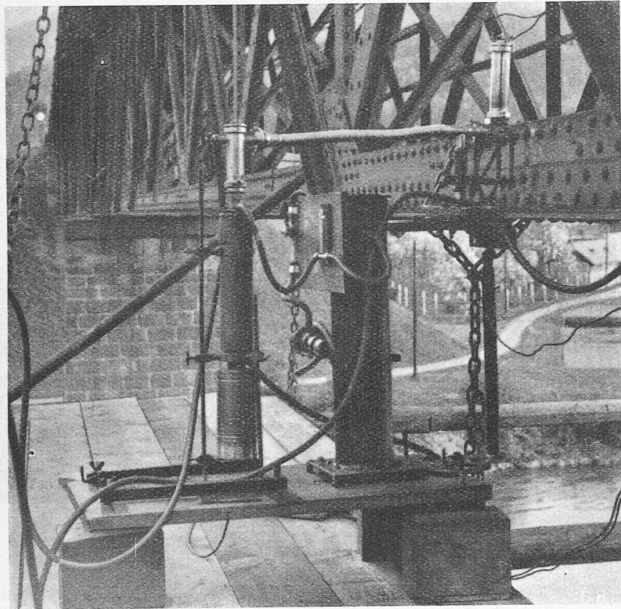


Abb. 5. Röntgenröhre an der Hochvakuumpumpe bei der Untersuchung eines Stehbleches des Untergurtes einer Gitterbrücke. Die Kegelkamera ist abgenommen, man erkennt deutlich die zu untersuchende, geätzte Stelle.

Werte für die Linienbreite auf. Obwohl die „Ermüdung“ des Baustoffes an der Oberfläche der Lamellen grösser ist als im Materialinnern, ist dennoch das ganze Material schon als ziemlich ermüdet anzusehen. Auffallend sind ferner die verhältnismässig grossen Werte der Stellen 2 und 3, die ihre Ursache in plötzlichen Querschnittsübergängen haben dürften und auf Stellen erhöhter Beanspruchung hinweisen¹¹⁾.

TABELLE I.

a	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
b	4,85	5,20	5,28	4,67	5,03	4,88	5,33	5,97	5,02	5,83	5,92	5,60	5,54	5,54	6,06

a = Nummer der untersuchten Stelle in Abb. 3.
b = Radiale Interferenzlinienbreite B in mm.

TABELLE II.

Diagonale	Masche	Richtung	B ₍₀₂₂₎ mm	Diagonale	Masche	Richtung	B ₍₀₂₂₎ mm
2	A	a	4,54	2	E	a	5,21
2	A	b	4,51	2	E	b	5,16
2	A	c	6,03	2	E	c	5,93
2	B	a	5,25	2	F	a	5,13
2	B	b	5,16	2	F	b	5,12
2	B	c	5,58	2	F	c	6,11
2	C	a	5,23	3	—	a	5,36
2	C	b	5,21	3	—	b	5,31
2	C	c	5,13	3	—	c	5,16
2	D	a	5,28	4	—	a	5,68
2	D	b	5,23	4	—	b	5,70
2	D	c	5,47	4	—	c	5,35

TABELLE III.

für die Stelle 1 im Untergurt.

Lamelle	Richtung	B ₍₀₂₂₎ mm
o	a	5,54
u	a	5,61
o	b	5,55
u	b	5,68
—	c	5,82

¹¹⁾ Ueber die spontane Zunahme der Gittersstörungen an gekerbten Stählen bei Schwingungsbeanspruchung wurde vom Verfasser an anderer Stelle eingehender berichtet.

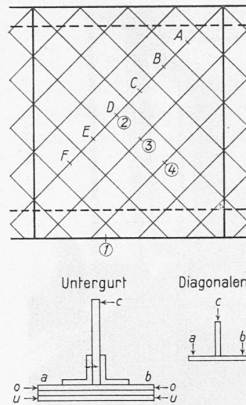


Abb. 4. Schematische Darstellung eines Feldes einer Tragwand zur Kennzeichnung der untersuchten Stellen.

Die im folgenden angeführten Ergebnisse der röntgenographischen Feingefüge-Untersuchung an Brückentragwerken stammen von einem zweigeleisigen Tragwerk mit Fahrbahn unten und einer Spannweite von 80 m. Abb. 4 gibt ein Feld der untersuchten Tragwand schematisch wieder. Zur Untersuchung gelangten in diesem Felde die mit 2, 3 und 4 bezeichneten Diagonalen sowie der Untergurt an der Stelle 1. Wurden an einer Diagonale mehrere Tragwerkmaschinen untersucht, so sind diese mit den Buchstaben A, B usw. bezeichnet. Jede Diagonale wurde an den drei in der Abbildung mit Pfeilen eingezeichneten Stellen ihres Querschnittes untersucht, wobei a und b die in der Tragwand gelegenen Flächen der Diagonalen, c die abstehenden Schenkel der Diagonalen bedeuten. Beim Untergurt bedeutet der Buchstabe a den flussaufwärts gerichteten, b den flussabwärts gerichteten Teil der Lamellen des Untergurtes, c das Stehblech. Der entsprechende Querschnitt ist in Abb. 4 mit Angabe der Röntgenstrahlenrichtung eingetragen. Die Oberlamellen sind mit o, die Unterlamellen mit u bezeichnet. Die erhaltenen Werte für die Linienbreite sind in den Tabellen II und III wiedergegeben.

Aus dem Aussehen der Röntgendiagramme geht hervor, dass es innerhalb eines bestimmten Bauteiles zur Ausbildung verschiedener Beanspruchungsarten kommen kann. Insbesondere zeigen die Lamellen der Gurte meist ein gänzlich anderes Verhalten als das Stehblech. Aber auch zwischen Ober- und Unterlamellen kann es zu einer Umkehrung der Beanspruchungsart kommen. Das Stehblech zeigte reine Wechselbeanspruchung. Aus diesen Erkenntnissen folgt die völlige Verschiedenheit der Beanspruchungsverteilung nicht nur über den Querschnitt jedes Bauteiles, sondern auch über die Längserstreckung der Diagonalen von Masche zu Masche.

Die Bestimmung der voraussichtlichen Lebensdauer eines älteren Brückentragwerkes mit Hilfe der ermittelten Interferenzlinienbreiten wäre nun folgendermassen durchzuführen. An den meistbeanspruchten Stellen des Tragwerkes werden in regelmässigen, grösseren Zeitabständen Feingefügeuntersuchungen durchgeführt. Auf Grund dieser Untersuchungen wird die Abhängigkeit der Zunahme der Interferenzlinienbreiten von der Beanspruchungsdauer ermittelt. Trägt man nun diesen Zusammenhang für jede untersuchte Stelle in Form einer Kurve auf, so kann bei gleichbleibender Beanspruchung des Tragwerkes durch Extrapolation der Kurve bis zur Bruchlinienbreite auf die Lebensdauer jeder Stelle geschlossen werden.

Die für die Durchführung solcher Röntgenuntersuchungen gewählte Versuchsanordnung ist aus Abb. 5 ersichtlich. Als Röntgenstrahlenquelle diente eine offene Glühkathoden-Röntgenröhre Seemannscher Bauart; die Hochspannungs- und Schaltanlage sowie die Dunkelkammer befanden sich in einem Eisenbahnwagen. Als Aufnahmekamera fand die Kegelkamera des Verfassers Verwendung, die mit der Röntgenröhre verschraubt wurde. Um ein Verwackeln der Röntgenaufnahme durch eine Erschütterung zu verhindern, wurde die Röntgenröhre mit dem zu untersuchenden Konstruktionsteil mittels Schraubenzwingen zu einem System verbunden. Die verwendete Hochspannung betrug bei den vorliegenden Untersuchungen 30 kV bei 20 mA, die Expositionszeit 1 bis 2 Minuten.

Zu besonderem Danke bin ich verpflichtet dem Hauptdezenten für Brücken- und Unterbau der Oester. Bundesbahnen, Herrn Ministerialrat Ing. Friedrich Roth, für seine wertvollen Anregungen, sowie die tatkräftige Förderung dieser Untersuchungen, und Herrn Zentralinspektor Dr. Ing.

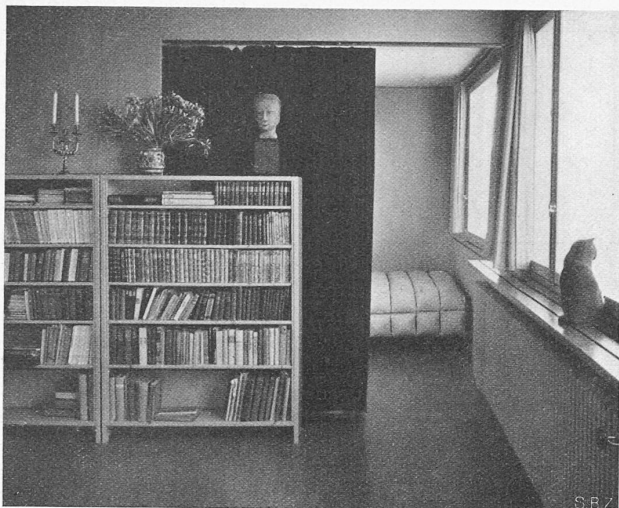


Abb. 4. Wohnzimmer und Schlafzimmer der Dame gegen Norden.



Abb. 5. Wohnzimmer gegen Süden, Austritt auf die Gartenterrasse.

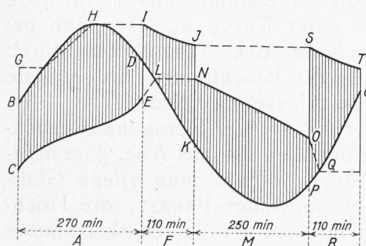
Alfred Pohl, Leiter der Materialprüfungsanstalt der Oester. Bundesbahnen, für die mir in liebenswürdiger Weise mitgeteilte Ergebnisse der Festigkeitserprobungen und seine aufschlussreichen Auskünfte in technologischen Fragen.

*

LITERATURVERZEICHNIS: *F. Lihl*, Zeitschr. f. Phys. 89, 537 bis 545, 1934; *Phys. Zeitschr.* 35, 460 bis 468, 1934. — *F. Regler*, Zeitschr. f. Phys., J. Springer, Berlin, 71, 371 bis 388, 1931; 74, 547 bis 564, 1932; 82, 337 bis 354, 1933; *Mitteil. d. Techn. Versuchsamtes*, J. Springer, Wien, XXII, 49 bis 60, 1933; *Annalen d. Phys.*, J. A. Barth, Leipzig, 5, 637 bis 664, 1934. — *W. A. Wood*, *Proc. Phys. Soc.*, 44, 67, 1932.

Französische Flutkraftwerk-Projekte.

Das Problem, von der mit dem Monde wandernden Flutenergie ein bisschen zur Befriedigung des mit anderer Periode schwankenden Leistungsbedarfes eines Netzes einzufangen, ist mancherlei Lösungen fähig.¹⁾ A. Defour, der sich seit Jahren damit befasst, hat sich zunächst die Aufgabe gestellt, aus einem 740 min dauernden Flut- und Ebbe-Zyklus eine konstante Leistung zu holen. Er bewerkstelligt dies prinzipiell mit Hilfe zweier Bassins, die er in dem durch die Abbildung veranschaulichten 4 Takt-Verfahren abwechselnd über die Turbinen mit dem Meer verbindet: Die Kurve BHPU stellt den zeitlichen Verlauf der Meereshöhe, der Linienzug CLNQ denjenigen des Wasserspiegels des Hauptreservoirs, die Linie GIJT jenen des Niveau des Hilfsbehälters dar. Während der Phase A ergiesst sich die Flut durch die Turbinen in das Hauptbassin. Das (grössere) Hilfsbassin füllt sich inzwischen,



in der Zeit zwischen G und H direkt ans Meer angeschlossen, auf, um sich nun seinerseits, während der Phase F, durch die Turbinen ins Meer zu senken, nachdem der Strom aus diesem durch die Turbinen unterbrochen und direkt ins Hauptbassin (zu dessen weiterer Auffüllung zwischen E und L) geleitet worden ist. In der Phase M wird das zwischen dem Spiegel des Hauptbassins und der Ebbe vorhandene Gefälle nutzbar gemacht, indem das aufgestaute Wasser dieses Speichers durch die Turbinen ins Meer zurückgelenkt wird. In der Phase R senken sich beide Bassins auf ihr Ausgangsniveau zurück, wobei der Energiebedarf der Turbinen allein durch das Hilfsreservoir gedeckt wird. — Die jeweilige Neigung der Kurve eines Speichers gibt (bei gegebener Spiegeloberfläche), die demselben minutlich zuder abströmende Wassermenge und damit die nötige Schleusenöffnung an, der durch Schraffur hervorgehobene jeweilige Abstand

¹⁾ Ueber das englische Flutkraftwerk am Severn vergleiche SEV-Bulletin 1933, Seite 496. — Bretonisches Flutkraftwerk Abervrac'h in „E. T. Z.“ 6. August 1931.

dieser Kurve von der Flutkurve das verfügbare Gefälle, woraus sich — nach Berücksichtigung des jeweiligen Wirkungsgrades des Turbinen-Aggregats — die momentan verfügbare Leistung errechnet. Sie kann, indem man die Schleusenöffnungen in Funktion des Gefälles passend reguliert, auf einer bei gegebener Flutamplitude konstanten Höhe gehalten werden. Durch eine geschickte Modifikation des skizzierten 4 Takt Zyklus gelingt es sogar, die Leistungskurve einem vorgegebenen Konsumbedarfs-Diagramm mit Mittags- und Abendspitze anzuschmiegen, und zwar bei beliebiger zeitlicher Phasenverschiebung der Flutwelle gegenüber der Tageskurve des Verbrauchs. Allerdings schwingt die sogenannte „Amplitude“ der Flutwelle, d. h. der Höhenunterschied zwischen Ebbe und Flut, im Monat zweimal zwischen Extremalwerten hin und her, die z. B. in den Buchten von Pontrieux und Tréguier an der bretonischen Küste zwischen 2,9 und 10,5 m liegen. Nicht blos die täglich nötigen Retouche an dem 4 Takt-Zyklus, sondern vor allem die wirtschaftliche Bemessung und Gestaltung der Anlage sind unter diesen mannigfach variablen Verhältnissen eine Kunst, die freilich durch einen Energieaustausch mit andern, etwa thermischen Kraftwerken wesentlich erleichtert würde.

Die nebenstehend reproduzierte Abbildung stammt aus einer Uebersicht über die Studien Defours der *Revue Générale de l'Electricité* vom 24. März 1928 (Band 23, S. 546). In der Nummer vom 25. August 1934 jener Zeitschrift erörtert Defour neuerdings ein eingehendes Flutkraftprojekt für die genannte Flussmündung von Tréguier, deren geschützte Lage, 10 km von der Küste, den Bau eines Wellenbrechers erübrigt. Es versteht sich, dass der geschilderte „cycle Defour“ in Wirklichkeit etwas abgeändert werden muss. So sind für Pontrieux drei Turbinengruppen vorgesehen, die eine zur Ausnutzung des Gefälles zwischen dem Meer und dem Hauptreservoir, die zweite zur Verwertung der Energie des Hilfsbehälters, die dritte zur Unterstützung bald der ersten, bald der zweiten Gruppe. Zeitweise arbeiten die Gruppen zusammen. Das den Turbinen dienstbare Gefälle schwankt zwischen 1 und 8,4 m. Die Studiengesellschaft „L'Energie des Marées“ hat verschiedene Konzessions-Begehren zur Errichtung solcher Kraftwerke gestellt; den Baubeginn desjenigen von Abervrac'h haben wir anno 1931 (Bd. 98, S. 91) ange-

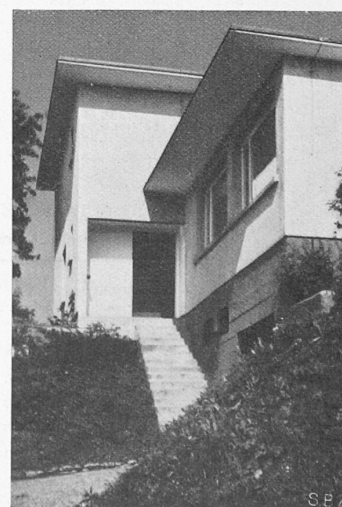


Abb. 3. Eingang und Garage-Zufahrt.