Materialprüfung mit Röntgenstrahlen

Autor(en): **Brandenberger, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **101/102 (1933)**

Heft 4

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-83026

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Materialprüfung mit Röntgenstrahlen. — Diplomarbeiten der Architektenschule der E. T. H. — Die Bedeutung von Torfschichten für die Auswertung von Sondierbohrungen. — Der schwerste Backenbrecher. — Eidgen. Amt für Wasserwirtschaft. — Diesel-elektrische Lokomotiven für Rangier- und Verschiebedienst. — Mitteilungen: Die experimentelle Untersuchung des Walzvorgangs. Das Geräusch elektrischer Maschinen. Untersuchungen über den Lauf des Webstuhls. Eidgen. Technische Hochschule. Elektroschweisskurs des Schweizer. Elektrotechnischen Vereins. Der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband. Der elektrische Kraftbetrieb in der amerikanischen Industrie. Neue Brücke Bel-Air-Montbenon in Lausanne. Schienen-Omnibus der Flatwerke. Architekten-Monographien. Die Diplomarbeiten 1933 der Architektenschule der E. T. H. — Nekrologe: Emil Bürgin. — Literatur.

Band 102 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. 4

Materialprüfung mit Röntgenstrahlen.

Von Dr. E. BRANDENBERGER, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Mineralog. Institut der E. T. H. und an der E. M. P. A. in Zürich.

Die besondern Eigenschaften der Röntgenstrahlen befähigen diese in doppelter Hinsicht, ein Mittel der Materialprüfung zu werden: Die Eigenschaft der Röntgenstrahlen, Materie in beträchtlicher Schichtdicke zu durchdringen, erlaubt ihre Anwendung zur Materialdurchleuchtung. Auf der Eigentümlichkeit der Röntgenstrahlen, dass sie an der Materie, insbesondere wenn sie einen geordneten molekularen Bau besitzt, Interferenzerscheinungen erfahren, beruht ihre Anwendung zur Untersuchung des molekularen Aufbaus der Materie, in erster Linie der festen Körper. Materialdurchleuchtung und Untersuchung des Feinbaus der festen Stoffe besitzen beide für die Materialprüfung ein fundamentales Interesse, und es hat in der Tat diese zweifache Verwertbarkeit der Röntgenstrahlen bei der Materialprüfung Röntgenuntersuchungen mannigfachster Art in der Technik ermöglicht. Aus dieser Anwendung der Röntgenstrahlen in der Technik — und zwar sowohl in Laboratorium, Werkstätte und auf der Baustelle — ist eine sehr grosse Zahl besonderer Untersuchungsmethoden hervorgegangen, die den verschiedenen Anwendungsgebieten angepasst worden sind. Hier kann es sich jedoch nur darum handeln, die Prinzipien der Materialprüfung mit Röntgenstrahlen und deren Hauptanwendungen in den Grundzügen zu umreissen.

I.

Das Röntgenlicht erfährt beim Durchgang durch irgendwelche Materie eine Absorption, die bei konstanter Intensität der einfallenden Strahlung umso stärker ausfällt, je höher die Dichte und das Atomgewicht und je grösser die Schichtdicke des betreffenden Materialstückes. Materialien, aufgebaut aus leichten Atomen und von relativ geringer Dichte, wie Holz, Leichtmetalle, Porzellan u. s. w., lassen die Röntgenstrahlen mit einer verhältnismässig kleinen Schwächung passieren, während die Röntgenstrahlen Stoffe aus schweren Atomen und von hoher Dichte, z. B. Blei und Quecksilber, nur schwierig durchdringen, so dass diese in grösserer Schichtdicke für Röntgenstrahlen praktisch undurchlässig sind. Diese verschieden starke Absorption der Röntgenstrahlen durch verschiedene Stoffe bildet die Grundlage ihrer Verwendung zur Materialdurchleuchtung: Fehlstellen in einem Material, wie Hohlräume, Einschlüsse, Risse, Seigerungen u. s. w. sind stets Bereiche anderer Dichte und zumeist auch anderer chemischer Zusammensetzung, so dass sie ein anderes Absorptionsvermögen für Röntgenstrahlen besitzen als das normale Material. Sie treten auf einem photographischen Film hinter dem Prüfstück als Orte erhöhter oder verminderter Schwärzung hervor, je nachdem ihr Absorptionsvermögen kleiner oder grösser als jenes des Normalstoffes ist. Auf einem Leuchtschirm beobachtet man sie entsprechend als Stellen grösserer oder kleinerer Helligkeit gegenüber dem Helligkeitsgrad, der dem normalen Material zukommt. Die Unterschiede im Absorptionsvermögen sind bei Verwendung weicher (langwelliger) Röntgenstrahlen deutlicher wahrzunehmen als bei Durchleuchtung mit harter (kurzwelliger) Röntgenstrahlung. Da jedoch die weiche Strahlung an und für sich weniger durchdringend ist und daher bei gegebenem Materialstück ganz wesentlich höhere Belichtungszeiten erfordert, gibt es für jede Röntgendurchleuchtung bezüglich Fehlererkennbarkeit und Wirtschaftlichkeit eine optimale Röntgenstrahlung. Bei Untersuchungen an stark absorbierendem Material in beträchtlicher Stärke wählt man demnach eine relativ harte Strahlung durch eine entsprechend hoch eingestellte Spannung an der Röntgenröhre, um die Belichtungszeiten nicht über ein erträgliches Mass steigern zu müssen. Die Grenze der Durchstrahlbarkeit eines Materials mit Röntgenstrahlen ist heute in erster Linie eine Frage der Wirtschaftlichkeit einer Röntgenuntersuchung. Die bestehenden Erfahrungen haben ergeben, dass folgende Materialstärken als *Durchstrahlbarkeitsgrenzen* gelten können (unter Anwendung einer konstanten kontinuierlichen Gleichspannung von 200 000 V, von 60 min Belichtungszeit unter sehr empfindlicher photographischer Aufnahme des Röntgenbildes): Al 410 mm, Fe 85 mm, Cu 55 mm.

Die *Fehlererkennbarkeit* ist von einer grössern Zahl von Faktoren abhängig; mit wachsender Schichtdicke nimmt sie ab und ist zudem für stark absorbierende Stoffe kleiner als für solche mit geringer Absorption. Sie beträgt für 100 mm Al, für 50 mm Fe und für 40 mm Cu je rund 1 % (Hohlräume mit Luft vorausgesetzt), d. h. es sind z. B. in einem Al-Gusstück Poren von einer Ausdehnung von 1 mm auf 100 mm Schichtdicke, beides in Richtung des Strahlenganges, noch feststellbar. Ueber die Fehlererkennbarkeit orientieren zudem die Abb. 1 und 2.

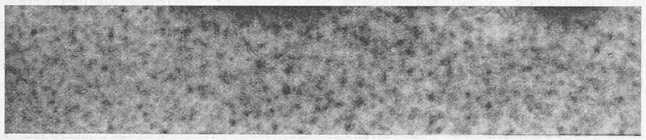
Abb. 1. Fehlererkennbarkeit in Aluminium. Durchleuchtete Schichtdicke 46 mm. Bohrungen, die senkrecht zur Durchleuchtungsrichtung angebracht wurden, erscheinen als dunkle Streifen. Durchmesser der Bohrungen von links nach rechts: 1,5 mm, 1,1 mm, 0,7 mm, 3 mm. (Helle Striche rechts: stecken gebliebene Bohrer, die wegen des grössern Absorptionsvermögens von Stahl weiss erscheinen.)

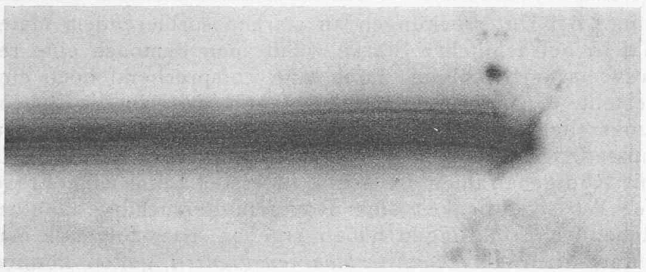
Abb. 2. Fehlererkennbarkeit in Eisen. Durchleuchtete Schichtdicke 15 mm. Bohrungen, senkrecht zur Durchleuchtungsrichtung angebracht, erscheinen als dunkle Streifen. Durchmesser der Bohrungen von links nach rechts: 2,0 mm, 1,5 mm, 1,5 mm, 1,1 mm, 0,7 mm, 0,5 mm und 0,4 mm.

Verglichen mit andern Methoden der Werkstoff- und Werkstückprüfung hat die Röntgendurchleuchtung den Vorteil, dass sie keine Zerstörung des Untersuchungsobjektes erfordert. Dies ist besonders für die Werkstückkontrolle von Interesse, wenn es sich um Stücke handelt, für die sich eine serienmässige Röntgenprüfung lohnt. Die Ausbildung fahrbarer Röntgenanlagen ermöglicht sodann die Anwendung der Röntgendurchleuchtung an beliebig grossen Werkstücken wie an fertigen Konstruktionen, ohne dass eine Demontage notwendig wäre.[1]) Schwierigkeiten bieten allein Konstruktionen oder Formen von Objekten, die die Anbringung des photographischen Films oder des Leuchtschirms in der für die Röntgenuntersuchung erforderlichen Lage nicht oder nur beschränkt zulassen. Die Anwendung besonderer Aufnahmeverfahren erlaubt die sichere Umdeutung des Projektionsbildes, das die Röntgenaufnahme von einer Fehlstelle vermittelt, in den Raum und die eindeutige Lokalisierung der betreffenden Fehlstelle. Auch in dieser Beziehung ist die Materialdurchleuchtung mit Röntgenstrahlen andern physikalischen Methoden zum Nachweis von Materialfehlern überlegen.

Es würde zu weit führen, an dieser Stelle eine vollständige Uebersicht über die Anwendbarkeit der Röntgen-

[1]) Als Beispiel einer solchen Untersuchung siehe etwa R. Bernhard, „Röntgenuntersuchung der Eisenbetonbinder eines Güterschuppens". („V D I - Z", Bd. 76, S. 805).





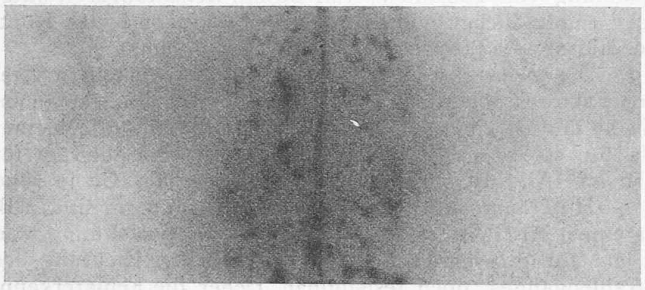


Abb. 3 (oben). Gussporen in Aluminium. Die Poren sind deutlich als dunkle Punkte erkennbar. Durchleuchtete Schichtdicke 38 mm.

Abb. 4 (Mitte). Nachweis eines Lunkers mit Röntgenstrahlen. Durchleuchtete Schichtdicke 39 mm Eisen. Der Lunker befand sich in einem geschweissten Blech, die Schweissnaht ist rechts erkennbar: X-Naht mit zahlreichen Poren, schlecht gebundener Nahtmitte und zahlreichen Bindefehlern gegen das Blech.

Abb. 5 (darunter). Röntgenaufnahme einer Schweissnaht (X-Naht in Aufsicht). Die mangelhaft geschweisste Nahtmitte macht sich als durchgehender schwarzer Strich in der Mitte bemerkbar, die Poren erscheinen als dunkle Punkte, Bindefehler (in der Aufsicht nie deutlich) als grössere unscharfe Dunkelstellen. Durchleuchtete Materialstärke 39 mm Eisen.

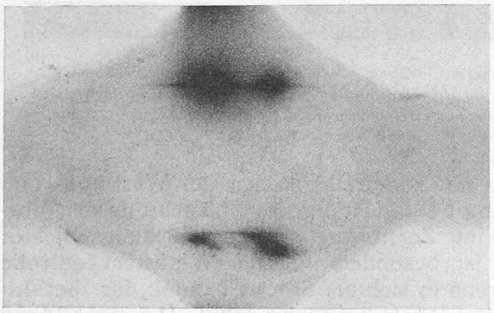


Abb. 6. Röntgenaufnahme einer Doppelkehlnaht. Bindefehler und mangelhaftes Aufsitzen der aufgeschweissten dünnern Bleche sind deutlich wahrzunehmen. Durchleuchtete Materialstärke 60 mm Eisen.

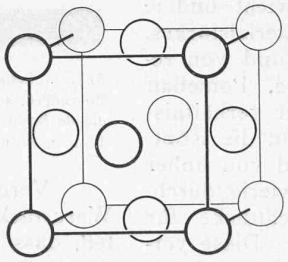


Abb. 7. Kristallgitter von Kupfer, Aluminium, Gold, Silber. Alle diese Metalle besitzen diese Anordnung der Metallatome im sog. allseits flächenzentrierten Würfel; sie unterscheiden sich voneinander nur in der absoluten Grösse der Würfelkante. Deren Länge beträgt für Kupfer $3{,}61 \cdot 10^{-8}$ cm. Der Kristall entsteht durch eine periodische Wiederholung dieser Würfel nach drei Richtungen des Raumes.

durchleuchtung auf dem Gesamtgebiet der Materialprüfung zu geben, ganz abgesehen davon, dass die heute gangbaren Anwendungen das mögliche Anwendungsgebiet der Röntgendiaskopie noch nicht erschöpfen. Einige der Hauptanwendungen sind die folgenden: Durchleuchtungen von Holz- und Leichtmetallkonstruktionen haben sich besonders im Flugzeugbau eingebürgert, werden aber auch anderweitig mehr und mehr herangezogen. Die Porzellanindustrie benutzt das Verfahren bei der Prüfung von Isolatoren besonderer mechanischer und elektrischer Festigkeit. Auf dem Gebiet der Metallverarbeitung seien erwähnt: Durchleuchtung von Gusstücken auf Lunker und andere Fehlstellen (Abb. 3), Dichtigkeit und Seigerungen, Untersuchungen von Schweissnähten auf Poren, Schlackeneinschlüsse, Bindefehler usw. (siehe Abb. 4, 5 und 6), Prüfung von Nietverbindungen, insbesondere auf Nietlochrisse, Untersuchung von gewalzten Blechen, von Rohren, Hochdruckbehältern, Kesseln und ähnlichen Gegenständen, Prüfung von geschlagenen, gezogenen, geschmiedeten oder gepressten Metallteilen, wobei vor allem mittels der Röntgenuntersuchung auf Haarrisse, entstanden bei der Verarbeitung, geprüft wird. Auf allen diesen Anwendungsbereichen hat die Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen erfolgreich gearbeitet, oftmals allerdings erst, nachdem durch systematische Untersuchungen die notwendige, spezielle Methodik entwickelt worden war.[2]) Der Wert solcher Vorversuche liegt im Besonderen auch darin, die Grenzen des Verfahrens einwandfrei festzulegen; denn der Materialdurchleuchtung mit Röntgenstrahlen sind selbstverständlich trotz ihrer vielfältigen Verwertbarkeit und Anpassungsfähigkeit an Objekt nach Material und Standort Grenzen gezogen. Eine wissenschaftliche Methode wird aber erst dann beherrscht, wenn die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit eindeutig bekannt sind.

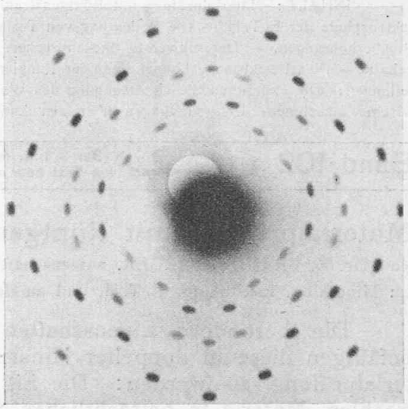


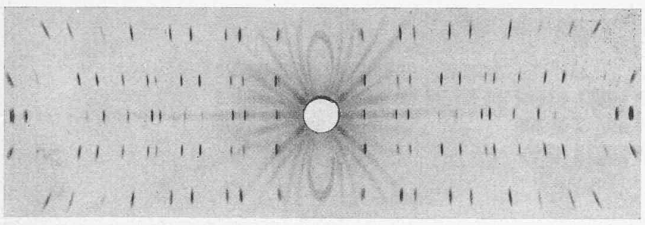
Abb. 8. Röntgenaufnahme an einer Steinsalzplatte parallel zur Würfelfläche. Röntgenstrahl senkrecht zur Steinsalzplatte, Film hinter derselben in paralleler Lage zur Platte. Der zentrale Schwärzungspunkt rührt vom einfallenden Röntgenstrahl her, die symmetrisch darum angeordneten Punkte entsprechen je einem Interferenzstrahl.

In vielen Fällen ist es bereits an und für sich von Bedeutung, die in einem Material vorhandenen Fehlstellen mit der geschilderten Methode kennen zu lernen. Das eigentliche Ziel der Materialprüfung mit Röntgenstrahlen muss es aber sein, die gefundenen Materialfehler in einen eindeutigen Zusammenhang mit den Materialeigenschaften zu bringen, um aus dem Röntgenbild in sicherer Weise auf die Materialeignung und die zulässige Beanspruchung eines Materials schliessen zu können. Die heute noch unzulängliche Grundlage zu einer solchen Entwicklung der Materialdurchleuchtung muss erst durch systematisch angestellte Versuche und Zusammenarbeit mit den andern Prüfverfahren geschaffen werden.

II.

Fällt ein feines Bündel Röntgenstrahlen auf einen Kristall, so beobachtet man auf einem photographischen Film hinter dem Kristall neben der Schwärzung, die vom direkten Strahl herrührt, ein System von weitern Schwärzungspunkten. Der einfallende Röntgenstrahl erfährt am Kristall eine Beugung, sodass in bestimmten Richtungen sekundäre Strahlen auftreten, denen die erwähnten Punkte auf dem Film (das sog. Beugungs- oder Interferenzmuster des Kristalls) entsprechen. Diese Beugungs- (Interferenz)-erscheinung der Röntgenstrahlen an Kristallen hängt mit dem *Gitterbau der Kristalle* zusammen

[2]) Zur nähern Orientierung über die Materialdurchleuchtung mit Röntgenstrahlen nennen wir: R. Berthold, „Technische Röntgendurchstrahlung". Leipzig 1930. Zahlreiche Sondergebiete über die Verwendung der Röntgenstrahlen in der Technik behandeln die „Ergebnisse der Techn. Röntgenkunde", von denen bis heute aus den Jahren 1930—1932 drei Bände vorliegen. Praktische Hinweise enthalten z.B. die Arbeiten W. Grimm und F. Wulff, Autogene Metallbearb. Bd. 25, Heft 5 und Heft 14/15, 1932.



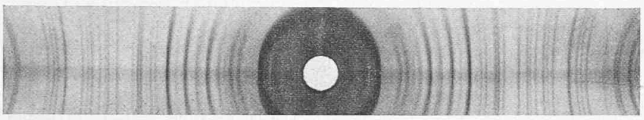


Abb. 9 (oben). Röntgenaufnahme an einem Quarzkristall. Der Kristall wurde während der Aufnahme um eine Axe gedreht, der Film befand sich zylindrisch um diese Axe angeordnet, während der Röntgenstrahl senkrecht zu dieser Axe einfiel.
Abb. 10 (unten). Röntgenaufnahme an Quarzpulver.

(siehe Abb. 7), da die Atome in den Kristallen in Form von Raumgittern angeordnet sind und von einander Abstände besitzen, die eine mit der Wellenlänge der Röntgenstrahlen (10^{-8} cm) vergleichbare Grösse besitzen. Abb. 8 und 9 zeigen derartige Röntgenaufnahmen an Einkristallen, während Abb. 10 die an einem Kristallpulver erhaltenen Röntgeninterferenzen darstellt. Hier erscheint statt der Interferenzpunkte ein System von Linien, indem die zahllosen Kriställchen des Pulvers alle möglichen Lagen zum einfallenden Röntgenstrahl einnehmen, sodass durch eine Ueberlagerung zahlreicher Interferenzpunkte die hier auftretenden Interferenzlinien entstehen. Ein solches System von Interferenzlinien wird an jeder Art von feinkristalliner Materie erhalten, also auch an Kristallhaufwerken, wie sie in den

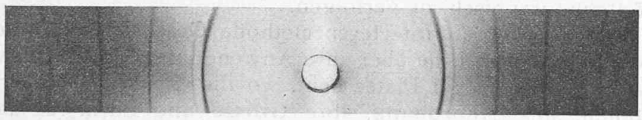


Abb. 11. Röntgenaufnahme an einem legierten Stahl.

Metallen (siehe Abb. 11), in Fasern organischer oder anorganischer Natur, in feinkristallinen Bindemitteln, wie Zementen u. dgl., in hochdispersen Rohmaterialien u. s. w. vorliegen.

Die Lage der einzelnen Interferenzlinien und ihre Intensität ist für jeden Stoff charakteristisch entsprechend dem verschiedenen Gitteraufbau, den die einzelnen Kristallarten besitzen. Chemisch gleich zusammengesetzte Substanzen von verschiedenem Kristallbau (wie etwa Diamant und Graphit) ergeben verschiedene Röntgendiagramme, so dass mit der Röntgenmethode die verschiedenen Modifikationen eines Stoffes auseinander gehalten werden können. Aus den Röntgeninterferenzen lässt sich die Atomanordnung in den Kristallen ermitteln (sog. *Kristallstrukturbestimmung*). Die Kenntnis der Kristallstruktur eines Stoffes ist für das Verständnis seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften und damit auch für sein technisches Verhalten von grundlegender Bedeutung.

Da die Röntgeninterferenzen eine Kristallart im allgemeinen eindeutig zu kennzeichnen vermögen, benutzt man umgekehrt das Röntgenverfahren zum Nachweis von Kristallarten, um beispielsweise die Identität von Kristallarten (künstliche und natürliche Produkte!), die Umwandlung solcher in neue, Gemische mehrerer Kristallarten auf ihre Zusammensetzung usw. zu prüfen. Technisch bedeutsam sind solche Untersuchungen vor allem dann, wenn eine mikroskopische Prüfung wegen der Kleinheit der einzelnen Kristalle nicht mehr möglich ist. Während die letztgenannte Prüfung Kristalle von linearen Dimensionen bis minimal 10^{-4} cm erfassen kann, beginnen die Röntgeninterferenzen erst bei einer mittleren Kristallgrösse von 10^{-6} cm zu verschwinden. Aus diesem Grunde ist die Röntgenuntersuchung mit Erfolg zur Untersuchung von sehr feinkristallinen Rohmaterialien wie Kaolin, Bauxit u. s. w.[3]) oder ebensolchen Erzeugnissen, wie sie zumeist in den Zementen und den keramischen Produkten vorliegen, herangezogen worden. Schliesslich hat sich auf Grund dieser Ueberlegenheit gegenüber der mikroskopischen Methode mittels der Röntgenverfahren für den Grossteil der sog. amorphen Materie ein normaler kristalliner Aufbau von allerdings zum Teil submikroskopischer Kristallgrösse nachweisen lassen. *Diese Tatsache hat ihre besondere Bedeutung darin, dass danach der Mehrzahl der Werkstoffe ein kristalliner Bau eigen ist.* Die Kenntnis des kristallinen Zustandes und seiner Eigentümlichkeiten muss aus diesem Grunde die Technik heute besonders interessieren.

Sind in einem Kristallhaufwerk Kristalle von linearen Ausdehnungen über 10^{-3} cm vorhanden, so erhält man an Stelle der homogen geschwärzten Linien solche, die sich aus zahlreichen Pünktchen zusammensetzen (siehe Abb. 12, die ein solches Diagramm darstellt und damit gleichsam eine Mittelstellung zwischen Abb. 9 und 10 einnimmt).

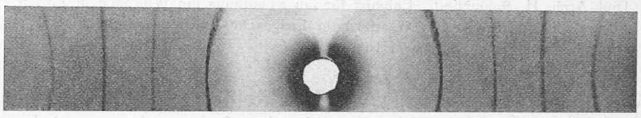


Abb. 12. Röntgenaufnahme an einem Eisenblech. Die Ringe zeigen einzelne Pünktchen entsprechend einer Korngrösse bis gegen 10^{-2} cm.

Veränderungen der Korngrösse in Kristallhaufwerken sind somit leicht im Röntgendiagramm zu erkennen. Vorgänge wie Kornzertrümmerung und Kornauflösung, ebenso Rekristallisationserscheinungen lassen sich röntgenographisch ohne Schwierigkeiten verfolgen und zwar sind diese Versuche erfahrungsgemäss empfindlicher als mikroskopische Beobachtungen. Liegen Kristalle von einer mittleren Grösse unter 10^{-5} cm vor, so stellt sich eine Verbreiterung der Interferenzlinien ein; ihre quantitative Bestimmung erlaubt Teilchengrössen im Bereich submikroskopischer Dimensionen bis zu 10^{-7} cm zu bestimmen.

Sind die Kristalle eines Haufwerkes nicht regellos angeordnet, sondern werden von ihnen gewisse Lagen bevorzugt, so erhält man ein Röntgendiagramm von der Art der Abb. 13: die Interferenzlinien sind nicht mehr gleichmässig geschwärzt, sondern scheinen in eine Reihe von

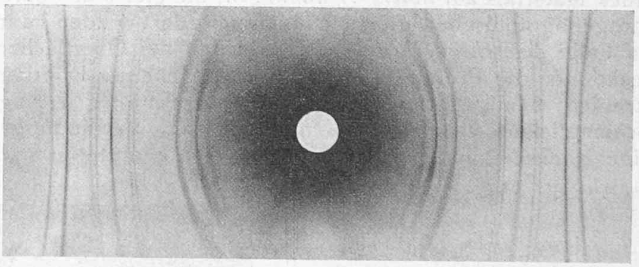
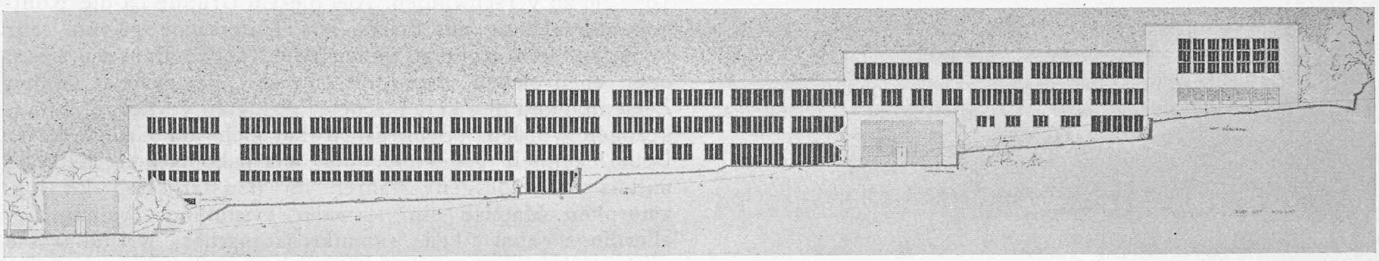


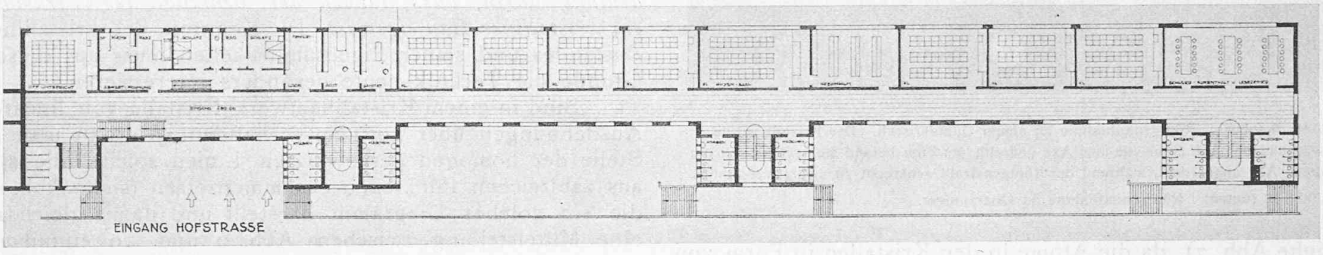
Abb. 13. Röntgenaufnahme an einem Aluminiumdraht.

Schwärzungsmaxima aufgelöst. *Geregelte Texturen* in Kristallhaufwerken, wie sie z. B. beim Ziehen von Drähten entstehen oder wie sie das Walzen hervorruft, lassen sich röntgenographisch erfassen und zum Bau des Einzelkristalls in Beziehung setzen. Wesentlich sind geregelte Texturen ferner bei den Faserstoffen, wie Asbesten, Textilfasern aller Art, Haaren u. s. w., deren Architektur sich erst mittels der Röntgenuntersuchung abklären liess.

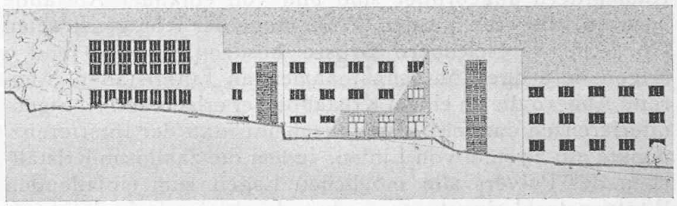
Eine besondere technische Bedeutung hat die röntgenographische Untersuchung der Veränderungen, die ein Material durch mechanische oder thermische *Beanspruchung*

[3]) Beispiele solcher Untersuchungen sind F. Kästner und F. K. Mayer, Chem. d. Erde, Bd. 6, S. 269, 1931; J. Jakob, C. Friedlaender u. E. Brandenberger, Schweiz. Min. Petr. Mitt. Bd. 13, S. 74, 1933.





Dipl. Arch. H. Scheibling. Entwurf für ein Schulhaus am Wolfbach in Zürich.
Oben: Südost-Ansicht 1 : 1000, darunter Erdgeschoss-Grundriss 1 : 800.
Rechts: Ansicht aus Nordwest 1 : 1000.



oder durch chemischen Angriff erleidet. Vielfach vermag die Röntgenprüfung hierüber Auskunft zu geben und kann damit die äusserlich wahrnehmbaren Effekte auf den kristallinen Bau und dessen Veränderungen zurückführen. Inter- und intrakristalline Erscheinungen lassen sich im allgemeinen sehr leicht mit einer Röntgenuntersuchung voneinander unterscheiden. Im Falle der *mechanischen Verformung* eines Einkristalls werden die Interferenzpunkte zu sog. Asterismen verzerrt, wie sie Abb. 14 zeigt. Beim polykristallinen Material wird unter dem Einfluss einer mechanischen Beanspruchung in der Regel zunächt eine Kornzertrümmerung festgestellt; gleichzeitig lässt sich eine elastische Verzerrung des Kristallgitters nachweisen. Mit wachsender Verformung bemerkt man die zunehmende Störung des Gitterbaus in einem Anwachsen der diffusen Streustrahlung, in einer Abnahme der Intensität der Interferenzlinien, in einer Verbreiterung derselben u. s. w. Vor allem ist dann die Untersuchung der Interferenzen unter hohen Ablenkungswinkeln sehr aufschlussreich, die zudem am fertigen Werkstück ohne Zerstörung desselben möglich ist (siehe Abb. 15). Eine damit zusammenhängende Frage ist die Untersuchung eines Materials auf *innere Spannungen*, die gleichfalls durch röntgenographische Untersuchungen gefördert werden kann. Im Falle des *chemischen Angriffs* bringt bei Oberflächenreaktionen die Prüfung der Materialoberfläche mit Röntgenstrahlen häufig Erfolg, indem verhältnismässig geringe Schichtdicken von Häuten neugebildeter Verbindungen eine Kennzeichnung auf Grund der Röntgeninterferenzen erlauben. Wird durch einen chemischen Prozess ein Material durch und durch umgewandelt, so bietet sich die Möglichkeit, den Ablauf der Reaktion, das Auftreten neuer Kristallarten, das Verschwinden der primär vorhandenen röntgenographisch zu verfolgen.

Das über die Interferenzmethode Gesagte enthält bereits das Wesentliche über ihre Anwendungen; eine solche wird überall da am Platze sein, wo die Struktur von Kristallen, ihre Anordnung, ihre Grösse und Form für das technische Verhalten eines Materials massgebend sind, oder wo es sich darum handelt, das Wesen einer Kristallbeanspruchung irgendwelcher Art abzuklären. Grosse Industriezweige ziehen heute bereits Nutzen aus systematischen Röntgenuntersuchungen; als besonders entwickelte Anwendungen seien hervorgehoben: Untersuchung von metallischen Werkstoffen und der Vorgänge der Metallverarbeitung in ihrem weitesten Sinne, Untersuchung von mineralischen Rohstoffen, von Erzeugnissen der keramischen Industrie, von Gläsern und anorganischen Bindemitteln, Untersuchung von natürlichen und künstlichen Faserstoffen organischer und anorganischer Natur, Untersuchung von Produkten der anorganischen und organischen chemischen Industrie und des gesamten Verlaufs chemischer Prozesse.

*

Wie jede Methode der Materialprüfung bedarf auch die Röntgenographie der regen Mitarbeit aller andern einschlägigen Prüfverfahren; denn auch hier ist es die geschickte Kombination der Röntgenprüfung mit andern Versuchen, die allein vollen Erfolg verspricht.

In kurzer Zeit sind die Röntgenstrahlen zum unentbehrlichen Hilfsmittel der Materialprüfung geworden. Aus dieser Einsicht heraus sind das Mineralogische Institut an der E. T. H. und die E. M. P. A. eine Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Materialprüfung mit Röntgenstrahlen eingegangen. Es ist daher heute möglich, an der E. M. P. A. Röntgenprüfungen im umschriebenen Rahmen vornehmen zu lassen und die Frage der Verwendung der Röntgenprüfverfahren in Einzelfällen abzuklären.

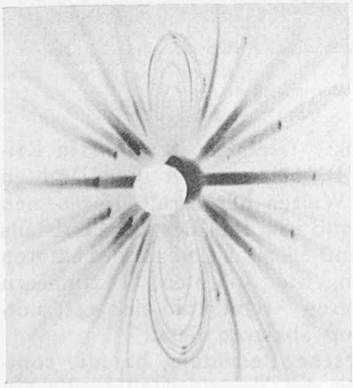


Abb. 14. Röntgenaufnahme an einem plastisch gebogenen Steinsalzkristall. Der Vergleich mit Abb. 8 zeigt deutlich das veränderte Bild, das durch die Verbiegung der Netzebenen im Kristallgitter entstanden ist.

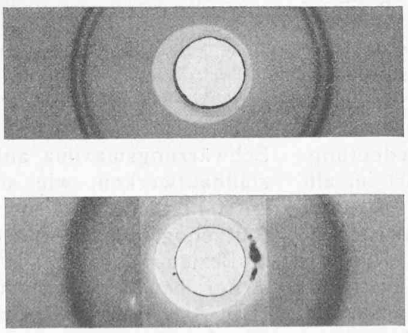


Abb. 15. Ein bestimmter Typus von innern Spannungen in den Kristallgittern macht sich im Verbreitern des sog. $K\alpha$-Dubletts bemerkbar. Beim Fehlen solcher Gitterstörungen erhält man zwei deutlich getrennte Linien (oberes Bild) Sind solche vorhanden, so erscheinen die beiden Linien zu einem breiten Band verwaschen (unteres Bild). Nach dieser Methode werden heute bereits fertige Konstruktionen auf innere Spannungen geprüft.