

Zeitschrift: Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie suisse des sciences médicales = Bollettino dell' Accademia svizzera delle scienze mediche

Herausgeber: Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften

Band: 3 (1947-1948)

Heft: 4-5

Artikel: Zielsetzung und Ergebnisse systematischer Feinstrukturuntersuchungen mittels der Röntgeninterferenzen beim Menschen

Autor: Brandenberger, E. / Schinz, H.R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-306897>

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: 09.07.2025

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

Aus dem Laboratorium für technische Röntgenographie und Feinstrukturuntersuchung des Mineralog. Instituts der E.T.H. und der E.M.P.A. und aus dem Röntgeninstitut und der radiotherapeutischen Klinik der Universität Zürich

Zielsetzung und Ergebnisse systematischer Feinstrukturuntersuchungen mittels der Röntgeninterferenzen beim Menschen

Von E. Brandenberger und H. R. Schinz, Zürich

Jenes wesentliche, erst den Untersuchungen mittels der Röntgeninterferenzen zu verdankende Ergebnis, daß bei den festen Körpern der kristallisierte Zustand allgemein bei weitem vorherrscht, gilt uneingeschränkt auch für die in lebenden Organismen vorhandenen festen Stoffe. Gleichfalls hier sind feste Substanzen zur Regel aus *Kristallen* aufgebaut, so sehr an ihnen für das bloße Auge wie auch unter dem Mikroskop und Übermikroskop zumeist jegliche Anzeichen eines kristallisierten Körpers fehlen. Ja es dominiert im Bereich des Lebewesens noch ausgesprochener als anderswo dieser Fall, daß feste Stoffe aus Kristallen von bloß *submikroskopischer* Größe bestehen. Unter solchen Umständen kann deren Kennzeichnung nicht mehr auf mikroskopischem Wege erfolgen, sondern muß von den *Röntgeninterferenzmethoden*, vor allem vom sog. Pulver-Verfahren nach *Debye* und *Scherrer*, übernommen werden. In der Tat gestattet die röntgenographische Feinstrukturuntersuchung auch bei nur submikroskopisch dimensionierten Kristallen die Natur der einerlei oder mehrerlei *Kristallarten* zu bestimmen, die *Größe* und *Güte der Kristalle* zu beurteilen und endlich deren *Anordnung* im Verband des von ihnen gebildeten Haufwerks festzustellen. Damit aber sagen derartige röntgenographische Untersuchungen selbstverständlich wesentlich mehr aus als eine chemisch-analytische Kennzeichnung der Stoffe, ganz abgesehen davon, daß sich Röntgendiagramme bereits an sehr geringen Substanzmengen aufnehmen lassen, welche weit unter dem liegen, was eine quantitative chemische Analyse verlangt. Selbst, wenn für eine chemische Analyse Material in hinreichender Menge zur Verfügung steht und es sich überdies um einheitlich und relativ einfach zusammengesetzte Stoffe (wie etwa SiO_2 oder CaCO_3) handelt, kann uns der chemisch-analytische Befund sehr oft nicht genügen. So stets dann, wenn solche

Verbindungen in mehr als einer einzigen kristallisierten Erscheinungsform auftreten, somit als verschiedene Kristallarten von allerdings gleicher Zusammensetzung (in sog. verschiedenen *Modifikationen*) vorkommen. Jetzt gilt es zusätzlich abzuklären, *welche* dieser verschiedenen Modifikationen einer Verbindung im Einzelfall vorliegt, ob es sich um CaCO_3 in Form von Calcit, Aragonit oder Vaterit, um SiO_2 in Form von α - oder β -Quarz, um α - oder β -Tridymit oder endlich um α - oder β -Cristobalit handelt, ganz abgesehen von der Möglichkeit, daß SiO_2 auch als Glas und damit als amorph-fester Stoff vorhanden sein kann. Feststellungen solcher Art sind nicht allein vom kristallkundlichen Standpunkt aus bedeutsam, sondern müssen ein *unmittelbares* biologisches und medizinisches Interesse beanspruchen: so etwa in dem Sinne, daß die Bildungsbedingungen der verschiedenen Modifikationen eines Stoffes recht verschiedenartig sein können, es deshalb aber nicht gleichgültig sein kann, ob in einem Organismus die eine oder die andere Modifikation entsteht, oder aber daß Fremdstoffe, je nach der Modifikation, in der sie von einem Organismus aufgenommen werden, wesentlich verschiedene Wirksamkeit und Wirkungsweise besitzen können (hierher gehört das bekannte Beispiel, daß unter den SiO_2 -Modifikationen Quarz silikotisch weitaus am wirksamsten ist, Tridymit und Cristobalit deutlich geringere Wirkung besitzen, amorph-glasiges SiO_2 keine eigentliche Silikose hervorrufen soll). In jenen Fällen, wo es sich nicht um einheitlich zusammengesetzte Gebilde, sondern um solche aus *mehreren* Kristallarten handelt, wird die Ergänzung der chemischen Analyse durch die gleichzeitige röntgenographische Untersuchung *allgemein* zum unbedingten Erfordernis, vermögen doch die analytischen Befunde sehr häufig nicht in eindeutiger Weise über die in einem derartigen Gemenge anwesenden Bestandteile Aufschluß zu geben (es kann eben die Aufteilung der Analysenwerte nicht selten in der verschiedensten Art auf die an sich denkbaren Verbindungen vorgenommen werden). Hier wird die Röntgenuntersuchung allerdings oftmals nicht mit einer einzigen Aufnahme auskommen, sondern es sind jetzt an verschieden behandelten Proben (z. B. entorganisierten, entkalkten, veraschten, mit Säure behandelten) Röntgendiagramme aufzunehmen, um insbesondere auch jene Kristallarten zu erfassen, welche mit nur geringen Anteilen vertreten sind.

Bei der großen Vielseitigkeit, mit der sich die Röntgeninterferenzmethoden allgemein zur Behandlung der verschiedenartigsten Aufgaben heranziehen lassen (1)¹⁾, ist es nicht verwunderlich, daß diese Verfahren in den letzten zwei Jahrzehnten bereits mehrfach auch bei der Bearbeitung medizinischer Fragen verwendet wurden. Unsere eigene Absicht

¹⁾ Die Ziffern in Klammern beziehen sich auf das Literaturzitat.

bestand indes nicht darin, derartige «Gelegenheitsuntersuchungen» um einige weitere zu vermehren, sondern es war unser Vorhaben vielmehr dahin gerichtet, die röntgenographischen Methoden in *systematischer* Weise zur Klärung medizinischer Probleme zu benützen, nicht zuletzt, um damit zu belegen, wie sehr die röntgenographische Feinstrukturuntersuchung, der mikroskopischen Prüfung heute längst ebenbürtig, als ein *allgemein verwertbares Hilfsmittel der medizinischen Forschung* zu gelten hat und in dieser Beziehung entschieden eine vermehrte und allgemeinere Beachtung verdient. Dabei muß es als selbstverständlich erscheinen, daß überall da, wo das verfügbare Material und dessen Beschaffenheit es gestatten, die röntgenographische Untersuchung mit andersartigen Verfahren (vor allem mit der chemischen Analyse und der mikroskopisch-kristalloptischen Prüfung) zu kombinieren ist, um damit zu möglichst eindeutigen und allseitig gesicherten Ergebnissen zu gelangen. Trotz solchem Bemühen bleiben aber dennoch, wie uns die Erfahrung lehrte, nicht wenige Fälle, bei welchen infolge Kleinheit der Kristalle oder in Anbetracht der nur sehr geringen, der Untersuchung verfügbaren Substanzmenge die röntgenographische Methode die *allein* anwendbare bleibt und dann versucht werden muß, gestützt auf das Röntgendiagramm als einzigen Befund die medizinisch interessierenden Fragen zu beantworten.

Ohne die methodische Seite unserer Untersuchungen hier weiter zu berühren (siehe hierzu [2] und [3]), mögen im folgenden in summarischer Übersicht die Resultate der röntgenographischen Feinstrukturuntersuchungen an medizinischen Objekten, wie wir sie seit 1942 laufend betrieben haben, mitgeteilt werden.

A. Untersuchungen an körpereigenen Bestandteilen

1. Die *Verknöcherung im gesunden und kranken Skelett*: Als anorganischer Anteil der Knochensubstanz wird sowohl beim gesunden wie beim kranken Knochen durchwegs eine Kristallart vom *Apatit*-Typus festgestellt. Mit den Knochenerkrankungen, wie sie bei renaler, schwerer florider, gewöhnlicher Rachitis, bei Osteomalacie, bei Marmorknochen, Osteosklerose, Osteomyelitis, Ostitis deformans oder fibrosa usw. vorliegen, ist *keine* nachweisbare Veränderung der anorganischen Knochensubstanz verbunden.

Es ließ sich in keinem Falle der von uns untersuchten Knochenkrankheiten eine faßbare Veränderung hinsichtlich der die anorganische Knochensubstanz aufbauenden Kristallart als solcher noch in bezug auf Größe und Güte der Apatitkristalle feststellen (3). Auch eine Glühbehandlung führte in den meisten Fällen zu keiner grundsätzlichen Ver-

änderung des Systems der Röntgeninterferenzen (es erschienen diese nach dem Glühen lediglich als wesentlich schärfere Linien, nunmehr in einer Abfolge, welche vollkommen mit dem Diagramm des Hydroxylapatits übereinstimmt); einzig im Falle einer Pseudoleukämie erschienen nach dem Glühen an Stelle der Apatitinterferenzen jene des $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, indem hier offensichtlich eine wesentliche P_2O_5 -Adsorption eine Umwandlung des primär vorhandenen Apatits in das Tricalciumphosphat bewirkte.

2. Die *Verkalkungen* im menschlichen Organismus bestehen zur überwiegenden Mehrheit gleichfalls aus einer Kristallart vom *Apatit*-Typus, jetzt aber mehrfach eindeutig als *Hydroxylapatit* $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ zu bestimmen. Solche «Apatitverkalkungen» waren z. B. Lymphknoten, eine verkalkte Linse, eine verkalkte Aorta, Venensteine, Speichelsteine, Prostatasteine, Hirnsand, ein Stein aus chronischer Bursitis und ein solcher aus einem tuberkulösen Spitzenherd, wie auch die Verkalkung eines Rippenknorpels, eines osteogenen Sarkoms und einer Placenta sowie von Silikose-Lungen sich als Apatit-Ablagerungen erwiesen. Dabei schwankt die Güte und Größe der Apatitkristalle bei den verschiedenen Verkalkungen in erheblichem Ausmaß: neben solchen, welche nahezu mikrokristallinen Apatit enthalten, gibt es auf der andern Seite Verkalkungen, deren Apatitkristalle wesentlich kleiner und unvollkommener ausgebildet sind als im Falle der Knochensubstanz. Abgesehen von den Harnsteinen (siehe 6) wurde einzig bei den Pankreassteinen und bei einem Gallenstein statt Apatit als Verkalkungsmaterial Calciumcarbonat, und zwar in Form von *Calcit* angetroffen (3).

3. Die *Hartsubstanzen des Zahnes* besitzen als anorganischen Anteil gleichfalls eine Kristallart vom *Apatit*-Typus, auch hier (speziell im Falle des Schmelzes) meist eindeutig als Hydroxylapatit bestimmbar. Auch die von uns untersuchten Zahnsteinproben erwiesen sich als Apatitablagerungen (siehe [3] und [4]). Ebenfalls hier wurde in einzelnen Fällen eine Umwandlung des Apatits in $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ festgestellt, wenn die Proben einer Glühbehandlung unterzogen wurden.

Bezüglich 1. und 3. haben unsere Untersuchungen die Auffassungen von R. Klement u. Mitarb., von N. W. Taylor u. Mitarb., von J. Thewlis, A. T. Jensen u. Mitarb. bestätigen und in wesentlichem Umfange verallgemeinern können; letzteres gilt insbesondere hinsichtlich Punkt 2, indem zu dieser Frage bisher keinerlei systematische Untersuchungen vorlagen. Umgekehrt stehen unsere Befunde in unverkennbarem Gegensatz zu den Vorstellungen von M. J. Dallemagne, zu welchen wir bereits in 3. ausführlich Stellung genommen haben. Daß es sich in jenen Fällen, wo einwandfrei identifizierbare Apatite auftreten, um Hydroxylapatit

mit höchstens untergeordnetem Carbonatanteil handeln muß, zeigen insbesondere jene Röntgendiagramme, welche unter Verwendung der langwelligen Cr-K-Strahlung in Aufnahmekammern vom Durchmesser 114,4 mm angefertigt wurden, indem bei derart weitgehender «Auflösung» des Interferenzsystems die Unterschiede zwischen den verschiedenen Apatiten (z. B. Hydroxyl- und Carbonatapatit) sehr augenfällig werden.

4. Die *Otolithen* sind Bildungen aus Calciumcarbonat, und zwar wiederum in Form von *Calcit* bei verhältnismäßig großen Kristallindividuen, so daß (in Übereinstimmung mit mikroskopischen Beobachtungen) die Gehörsteine des Menschen in der Hauptsache als Einkristalle anzusprechen sind (3).

5. Ein *Gichttophus* erwies sich als eine Ablagerung von *Mononatriumurat-Monohydrat*, wobei dieses in eben noch erkennbaren Mikrokristallen vorlag (5).

6. Im Rahmen der Untersuchung einer größeren Zahl von *Harnsteinen*, welche gegenwärtig noch im Gange ist (6), wurden bisher die folgenden Kristallarten angetroffen: *Hydroxylapatit*, *Struvit* ($\text{Mg}(\text{NH}_4)(\text{PO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), *Whewellit* (Ca-Oxalat-Monohydrat), *Weddelit* (Ca-Oxalat-Dihydrat)¹⁾, sodann mit besonderer Häufigkeit Bildungen aus *Harnsäure*, während das Ca-Phosphat *Brushit* ($\text{CaH}(\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) bisher nur ein einziges Mal festzustellen war. Diese Beobachtungen stehen in vollkommener Übereinstimmung mit den Befunden von *A. T. Jensen* sowie den neuesten Untersuchungen von *E. L. Prien* und *C. Frondel*²⁾, welche außer den vorgenannten Kristallarten einzig als seltene Ausnahmefälle noch Bildungen aus Cystin und $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Whitlockit) erwähnen.

7. Im Falle einer Reihe von uns untersuchter *Harnsedimente* ergab sich, daß diese teilweise vollkommen *röntgenamorph* sind, oder dann

¹⁾ In unsern frühern Veröffentlichungen wurde das Ca-Oxalat-Dihydrat irrtümlich als Ca-Oxalat-Trihydrat bezeichnet, indem wir unsere Bestimmung vor allem auf die Angaben der «X-Ray Diffraction Cards» der American Society für Testing Materials stützten, welche sich indessen als unrichtig erwiesen. Wir verdanken Herrn Kollege *Jensen* in Kopenhagen den Hinweis darauf, daß es sich bei unserm vermeintlichen Trihydrat um Dihydrat handeln könnte. Ein Vergleich unserer Diagramme mit jenen von *A. T. Jensen* hat dies denn auch vollkommen bestätigt. Es ist uns ein besonderes Anliegen, an dieser Stelle auf die Arbeiten von *A. T. Jensen* zum Problem des Aufbaus der Harnsteine hinzuweisen, welche uns erst vor kurzem bekannt wurden, trotzdem sie bereits aus den Jahren 1938–1941 stammen. Es dürfen diese Untersuchungen unzweifelhaft für sich beanspruchen, erstmals in systematischer und einwandfreier Weise die röntgenographischen Methoden zum Studium der Harnsteine verwendet zu haben, nachdem frühere Versuche in dieser Richtung recht fraglichen Charakter hatten (siehe *Jensen, A. T.*: On Concrements from the Urinary Tract II. Acta chir. Scand. [Schwd.] 84, 3, 207 [1940]. Dasselbst weitere Literatur).

²⁾ *Prien, L.*, und *Frondel, C.*: Studies in Urolithiasis I. The Composition of urinary calculi. The Journal of Urology 57, 6, 949 (1947).

neben röntgenamorphen Anteilen nur untergeordnet kristalline Anteile enthalten. Wo sie schließlich einen weitgehend kristallinen Charakter besitzen, war als Kristallart stets nur *Struvit* nachzuweisen. Ein röntgenamorpher Aufbau kommt auch den Ablagerungen im sogenannten Harnsäureinfarkt der Neugeborenen zu.

B. Untersuchungen an körperfremden Bestandteilen

Auch die Kennzeichnung körperfremder Bestandteile läßt sich infolge der oft nur sehr geringen Größe der einzelnen Kristalle sehr häufig einzig auf röntgenographischem Wege vornehmen. Aus dem Rahmen der von uns an einer größeren Zahl von *Silikose-Lungen* vorgenommenen Untersuchungen (7, 8) gehören hierher: der Nachweis von *Quarz* in Silikoselungen sowie in den Lymphknoten, allenfalls auch in der Milz von Silikotikern, der Nachweis von *Quarz und Glimmer* (Sericit) sowie von *Quarz und Feldspat* (Orthoklas) in Silikoselungen, dazu die Feststellung weiterer, SiO_2 -freier Kristallarten wie *Magnetit* (Fe_3O_4) und *Hämatit* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) in Silikoselungen usw. Es mag in diesem Zusammenhang als ein weiteres Beispiel einer einwandfrei gelungenen Charakterisierung eines Fremdstoffes der Nachweis von ThO_2 in Thoriumdioxiddepots der Leber genannt werden. Gerade bei derartigen Untersuchungen ist allerdings oftmals eine Anreicherung der Fremdstoffe notwendig, um diese in ausreichender Konzentration dem Röntgeninterferenzversuch unterziehen zu können. In vielen Fällen ist hierzu eine Veraschung des Materials der einfachste Weg, insofern die körperfremden Substanzen beim Glühen keine Veränderungen erfahren. Für solche Versuche genügen unter Umständen bereits sehr kleine Präparate, bei Silikoselungen nicht selten einzelne Mikroschnitte, so daß der Gehalt an Fremdstoffen sich für *hinreichend lokalisierte* Bereiche bestimmen und damit *die Wanderung der körperfremden Substanz* in allen Einzelheiten verfolgen läßt (Näheres hierzu siehe in [7] und [8]).

Wenn im Rahmen unserer Untersuchungen bevorzugt kristallisierte Objekte *anorganischer* Natur behandelt wurden, so muß andererseits darauf hingewiesen werden, daß die Röntgeninterferenzmethoden in gleicher Weise auch die Struktur und Konstitution der *organischen* Baustoffe der Organismen aufzuklären gestatten¹⁾. Auch bei diesen handelt es sich bevorzugt um kristalline Körper, wiewohl hier vermehrt die Möglichkeit amorpher Zustände und dann vor allem auch eines Auftretens gemischter Phasen, welche in submikroskopischer Verteilung kristalline und amorphe Bereiche umfassen, gegeben ist (9).

¹⁾ Siehe z. B. den zusammenfassenden Bericht *W. T. Astbury*, On the structure of biological fibres and the problem of muscle. Proc. Roy. Soc. (B.) **134**, 303 (1947).

Zusammenfassung

Anhand von Untersuchungen an kranken und gesunden Knochen, Verkalkungen der verschiedensten Art, von Ablagerungen in Gichtknoten, von Harnsteinen und Harnsedimenten usw. wird die Bedeutung einer *systematischen* Verwertung der Röntgeninterferenzmethoden für die medizinische Forschung aufgezeigt.

Résumé

En étudiant des os pathologiques et sains, des calcifications de différentes variétés, des tophus de la goutte, des calculs et des sédiments urinaires, etc., les auteurs ont démontré l'importance de l'utilisation *systématique* des méthodes d'interférences des rayons X pour la recherche médicale scientifique.

Riassunto

Si mostra l'importanza per la ricerca medica di una utilizzazione *sistematica* del metodo d'interferenza dei raggi X, sulla base di ricerche eseguite sulle ossa ammalate e normali, sulle calcificazioni di ogni genere, depositi in nodi gottosi, calcoli urinari, sedimento urinario, ecc.

Summary

On the basis of investigations on diseased and healthy bones, on various types of calcification, on deposits in gouty nodes, on urinary calculi and urinary deposits, etc. the significance of a *systematic* application of X-rays interferences for medical research is demonstrated.

Wir beschränken uns hier auf die Anführung unserer eigenen Untersuchungen. Literaturhinweise sind in allen nachstehend zitierten Arbeiten enthalten.

1. Die mit röntgenographischen Methoden lösbaren Aufgaben sind ausführlich behandelt in *Brandenberger, E.*: Röntgenographisch-analytische Chemie, Möglichkeiten und Ergebnisse von Untersuchungen mit Röntgeninterferenzen in der Chemie. Basel 1945. – 2. Einen Überblick über die röntgenographischen Methoden für die Bedürfnisse des Mediziners gibt: *Brandenberger, E.*, und *Schinz, H. R.*: Schweiz. med. Wschr. **74**, 1299 (1944). – 3. *Brandenberger, E.*, und *Schinz, H. R.*: Helv. Med. Acta (A), **12**, Suppl. XVI (1945). – 4. *Brandenberger, E.*, und *Schinz, H. R.*: Schweiz. med. Wschr. **77**, 1147 (1947). – 5. *Brandenberger, E.*, *de Quervain, F.*, und *Schinz, H. R.*: Schweiz. med. Wschr. **77**, 642 (1947). – 6. *Brandenberger, E.*, *de Quervain, F.*, und *Schinz, H. R.*: Helv. Med. Acta **14**, 195 (1947). – 7. *von Albertini, A.*, *Brandenberger, E.*, und *Rüttner, J. R.*: Z. Unfallmed. u. Berufskrankh. **39**, 1 (1946). – 8. Sodann den ausführlichen Bericht: *von Albertini, A.*, *Brandenberger, E.*, und *Rüttner, J.*: Vjschr. Naturforsch. Ges. Zürich **92** (1947), Beiheft 3. – 9. *Brandenberger, E.*: Grundlagen der Werkstoffchemie. Zürich 1947 (siehe speziell S. 55 ff.).