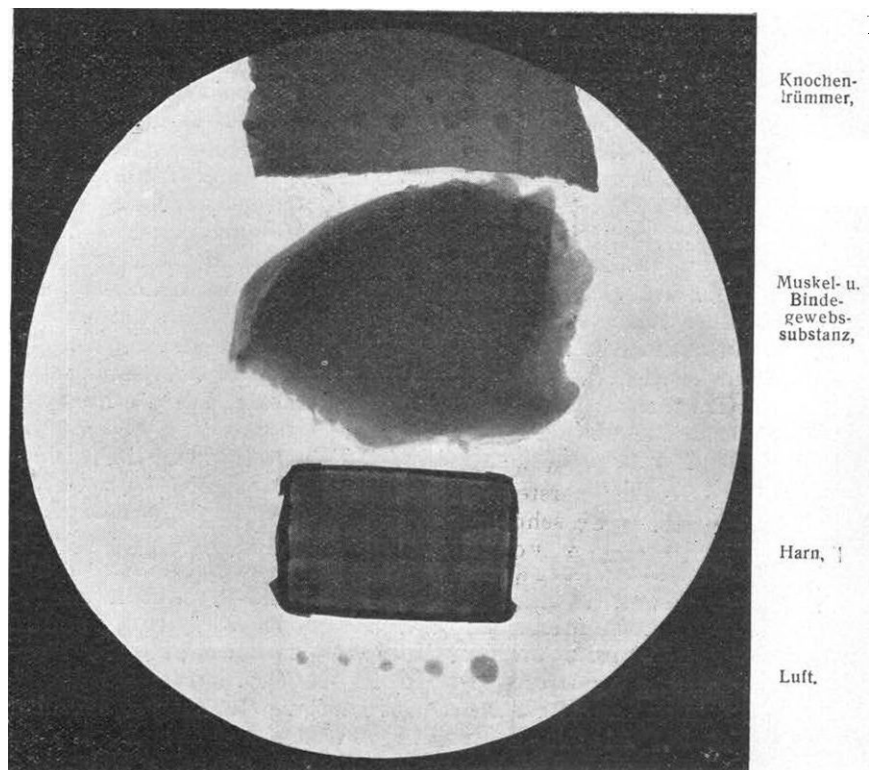


Es handelt sich um einen schwächlichen Mann, bei dem zystoskopisch eine größere Anzahl von erbsen- bis bohnen großen Steinen in der Blase gesehen wurden, und zwar lagen diese Konkreme so, daß sie in Rückenlage des Patienten neben- und übereinander an der unteren Wand der Blase einen ungefähr kleinapfelgroßen Haufen bildeten. Die nach völliger Entleerung der Blase folgende röntgenologische Untersuchung ergab auf der Platte auch nicht die Spur einer Aufhellung, die mit diesem Steinhaufen in ursächlichen Zusammenhang hätte gebracht werden können.

Daß dieses Versagen des Röntgenverfahrens nicht durch einen technischen Fehler bedingt war, was ja gerade bei Stein-aufnahmen so leicht der Fall sein kann, mag zunächst mit daraus hervorgehen, daß der Patient kurz darauf auch von anderer Seite mehrmals hintereinander mit Röhren verschiedenster Härtegrade resultatlos röntgenographiert ist. Eine Indikation für Sauerstoffeinführung nach Burckhard und Polano lag zunächst nicht vor, weil die Anwesenheit der Steine ja bereits zystoskopisch erwiesen war, speziell mit Rücksicht darauf, daß von Albers-Schönberg in Uebereinstimmung mit Kuttner auf die Gefahren derselben selbst bei Verwendung reinen Sauerstoffes auch neuerdings wieder hingewiesen worden ist. Diese wie gesagt zystoskopisch gesehenen Steine wurden dann zum Teil zertrümmert, zum Teil ganz aus der Blase ausgespült. Ihre Zahl betrug etwa 45; die chemische Untersuchung ergab reine Harnsäure. Nun ist es ja an sich bekannt, daß kleine harnsaure Konkreme sich häufig der röntgenographischen Darstellung mehr oder weniger entziehen. Immerhin schien es doch bemerkenswert, daß ein Steinhaufen von Kleinapfelgröße bei einem schwächlichen Patienten röntgenographisch nicht zu identifizieren sein sollte. Ich habe deshalb diese Steine auf ihr Absorptionsvermögen für X-Strahlen zunächst auf folgende Weise untersucht:

Fig. 1. Einbettung in:



Knochen-
trümmer,

Muskel- u.
Binde-
gewebs-
substanz,

Harn,

Luft.

Aus der Medizinischen Universitäts-Poliklinik
in Königsberg i. Pr.

(Direktor: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Julius Schreiber.)

Untersuchungen über die röntgenologische Darstellbarkeit von Steinen des harnleitenden Apparates.

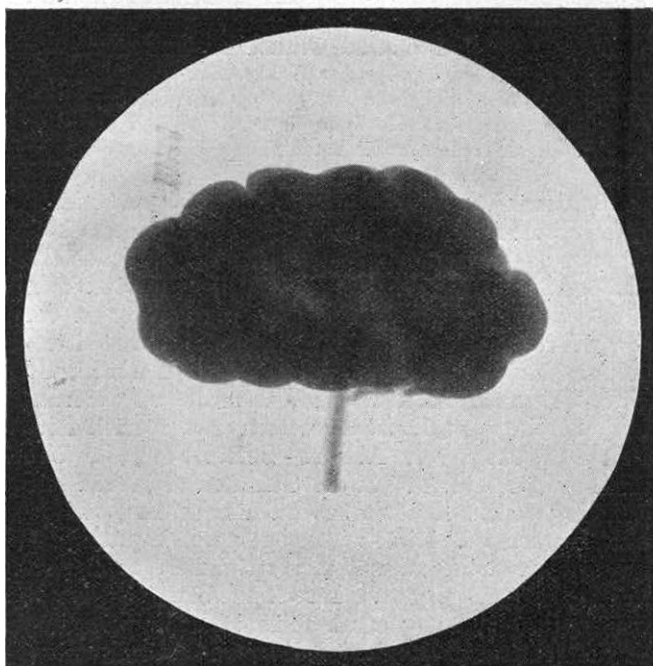
Von Privatdozent Dr. Walter Telemann.

Die Anregung zu den nachfolgenden Untersuchungen ergab ein Fall von Blasensteinen, den ich zunächst kurz skizzieren möchte.

Sie wurden in diejenigen Substanzen, mit denen sie innerhalb des menschlichen Körpers in Absorptionskonkurrenz treten, eingebettet, und zwar, wie es aus Fig. 1 zu ersehen ist, in Knochen- und Bindegewebssubstanz und in Harn. Außerdem wurden zwei erbsengroße Steine in das mäßig mit Harn gefüllte Nierenbecken einer Hammelniere gebracht und das Organ gleichfalls röntgenographiert (Fig. 2). Es zeigte sich, daß die Steine in Knochensubstanz recht gut, in Muskel- und Bindegewebssubstanz (so gut wie garnicht), im Harn und im Hammelnierenbecken absolut nicht zu differenzieren waren.

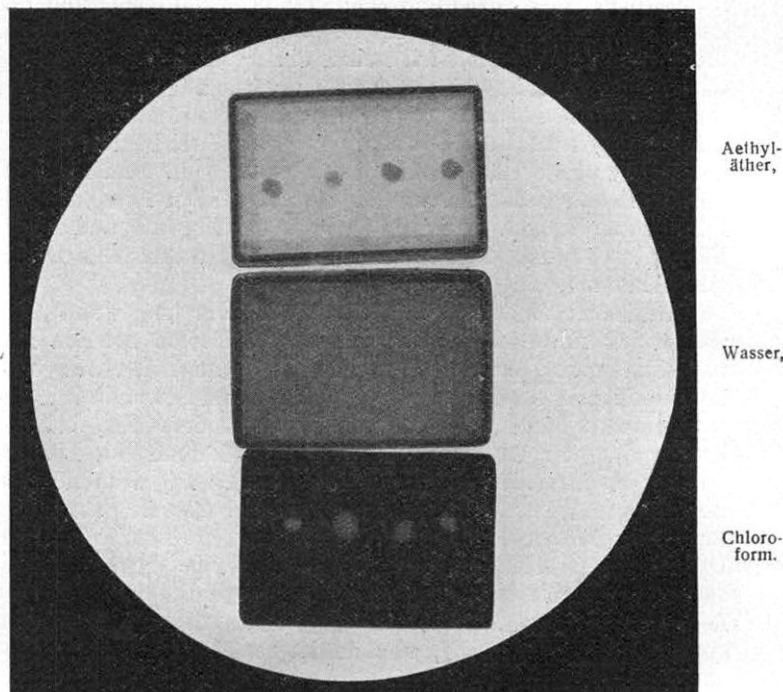
Röntgenographierte ich die Konkreme dagegen nach Einbettung in andere Substanzen, z. B. Aethyläther, Wasser und Chloroform, Verhältnisse, wie sie Fig. 3 veranschaulicht, so wurden sie in zwei dieser Flüssigkeiten in charakteristischer Weise wieder sichtbar.

Fig. 2.



Einbettung in ein mit Harn gefülltes Hammelnierenbecken.

Fig. 3. Einbettung in:



In Äthyläther, als einem leichter zu durchstrahlenden Stoffe, bildeten sie sich im Sinne einer größeren Absorption ab, also gewissermaßen positiv; in Wasser wiederum wie in Harn etc. garnicht und in Chloroform, als einer schwerer zu durchstrahlenden Flüssigkeit, wurden sie im Sinne einer geringeren Absorption, also gewissermaßen negativ sichtbar.

Aus den erwähnten Untersuchungsergebnissen folgt zunächst rein empirisch, daß reine harnsaure Konkreme in den in Betracht kommenden Körperweichteilen und Körpersäften und in Wasser, weil diese Substanzen im allgemeinen nach diesen Versuchen dasselbe Absorptionsvermögen für Röntgenstrahlen haben, nicht zu differenzieren sind, daß aber Stoffe von größerem resp. kleinerem Absorptionsvermögen wie Knochensubstanz und Luft (Fig. 1) ihrer Darstellung nicht im Wege stehen. Sie wären also in der Blase nur nach Sauerstofffüllung darzustellen gewesen, im Nierenbecken garnicht, da die Methode der Gasinsufflation in die Nierenbecken außerordentlich unsicher und dabei nicht ungefährlich ist. Diese Tatsache widerspricht durchaus den Anschauungen von Rumpel und Kümmell, nach denen „in jedem Falle bei geeigneter Anwendung von Röntgenstrahlen der Nachweis eines Steines auf der Röntgenplatte zu erbringen ist“.

Bei dieser in dem erwähnten Falle feststehenden Unsicherheit in der Darstellung von Harnkonkrementen liegt natürlich die Frage sehr nahe: Lassen sich für die verschiedenen Arten von Steinen im allgemeinen irgendwelche sicheren Beziehungen bezüglich ihres absorptiven Verhaltens gegenüber X-Strahlen innerhalb des menschlichen Körpers ableiten, sodaß irgendwelche sichere Anhaltspunkte für ihre Darstellung festgelegt werden können?

Den momentanen Stand der Anschauungen hierüber skizziert Albers-Schönberg in seinem Lehrbuch, in dem er entsprechend den neuesten Forschungen eine Übersicht über die Darstellbarkeit der Steine gibt. Er sagt kurz, daß die Phosphatsteine wegen des hohen Absorptionsvermögens ihrer einzelnen Bestandteile eigentlich die best darstellbaren sein müßten; in der Tat aber die oxalsauren Steine bekanntlich ein höheres Absorptionsvermögen hätten, offenbar weil sie dichter wären. Ungünstiger lägen die Verhältnisse bei harnsauren Steinen; Xanthin- und Cystinsteine wären theoretisch die ungünstigsten. Praktisch verhielte sich jedoch die Sache bezüglich der Cystinsteine nach Angaben der Literatur durchaus anders.

Schon früher hat es Rumpel versucht, dieser Frage experimentell näher zu treten, indem er die verschiedenen Substanzen, aus denen Harnsteine zu bestehen pflegen, entweder

als kristallinisches Pulver oder komprimiert in Tablettenform röntgenographierte. Er hat dabei die selteneren Substanzen, wie Cystin und Xanthin, die gerade für derartige Versuche aus später zu erörternden Gründen ein besonderes Interesse bieten, nicht berücksichtigt. Diese Versuche haben, wie es der Autor selbst zugibt, keinen besonderen Wert, und zwar nach meinem Dafürhalten vor allen Dingen deshalb, weil er dabei, wie wir es später sehen werden, gerade die Hauptsache verabsäumt hat, nämlich die Absorption der untersuchten Stoffe in Beziehung zu bringen zu der Absorption von Körpersubstanzen.

Ganz allgemein ist es zunächst bekannt, vor allen Dingen durch die Untersuchungen von Walter, die er gelegentlich seiner Arbeiten über die Deutlichkeit im Röntgenbilde zur Darstellung gebracht hat, daß jeder allseitig umschlossene Körper (Verhältnisse, wie sie für die Steindarstellung lediglich in Betracht kommen) dann röntgenographisch darstellbar ist, wenn er ein anderes Absorptionsvermögen zeigt als seine Umgebung; also wenn er eine höhere oder geringere Absorptionsfähigkeit besitzt als das gleiche Volumen des ihn umgebenden Stoffes.

Auf diesen Tatsachen geht die Anordnung meines experimentellen Vorgehens zur Vergleichung der Absorptionsfähigkeit von verschiedenen Steinsubstanzen mit Körperweichteilen hervor.

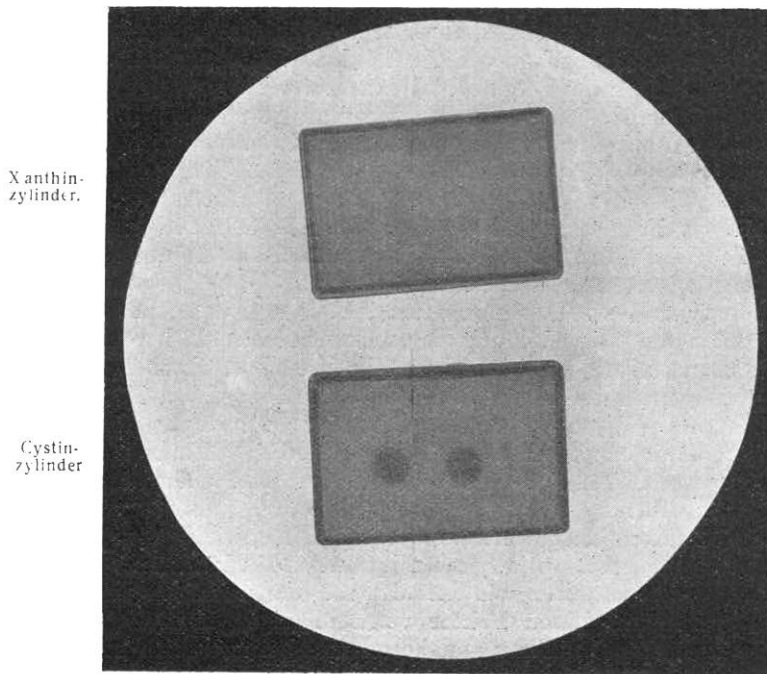
Chemisch reine Steinsubstanzen wurden in Form von kleinen Zylindern unter dem Druck von 150–200 Atmosphären hergestellt. Als Vergleichsobjekt wurde Wasser gewählt, aus dem ja die Körperweichteilschubstanzen fast ausschließlich bestehen und das in der Tat, wie es auch aus den vorhergehenden Versuchen hervorgeht, dasselbe Absorptionsvermögen zeigt wie Muskel, Bindegewebe und Harn. Diese Zylinder wurden in eine genau gleichhohe Schicht von Wasser gebracht und so röntgenographiert.

Die gewonnenen vergleichenden Absorptionsergebnisse sind nun, wie ich fand, theoretisch rechnerisch innerhalb gewisser Grenzen kontrollierbar; und diese Tatsache scheint mir ganz besonders interessant zu sein, zumal da die experimentell gefundenen Werte mit den rechnerisch gefundenen außerordentlich gut übereinstimmen und somit den Beweis für die Richtigkeit beider Methoden gegenseitig erbringen. Ferner erscheint mir dieses Vorgehen deshalb bemerkenswert, weil praktisch für die Beurteilung der Absorption gewisser Steinarten Neues daraus hervorgeht.

Wie es bekannt ist, durchdringen die Röntgenstrahlen die Körper im allgemeinen umgekehrt proportional zu ihrem Atomgewicht und ihrer physikalischen Dichte.

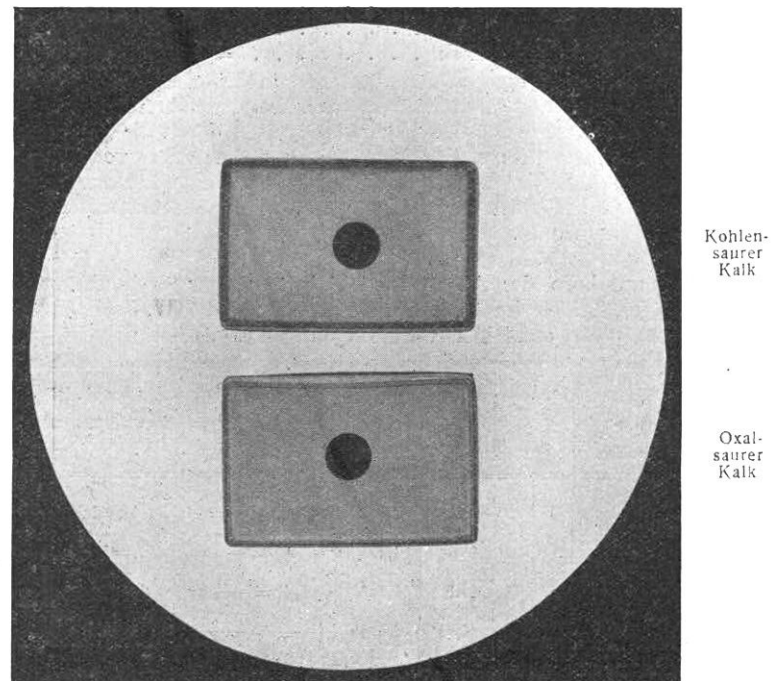
In einer Arbeit von Walter leitet der Autor für dieses

Fig. 4.



Einbettung in gleichhohe Schichten von Wasser.

Fig. 5.



Einbettung in gleichhohe Schichten von Wasser.

komplexe, ganz allgemein gültige Phänomen Formeln über die vergleichende Absorptionsfähigkeit verschiedener Stoffe gegenüber Röntgenstrahlen ab, deren genauere Ausführung im Original zu finden ist und von denen ich die folgende anführe, weil ich sie zum Ausgangspunkt meiner weiteren theoretischen Erörterungen gemacht habe.

Wenn wir bei der röntgenologischen Darstellung zweier Körper, die auf der Platte dieselbe Absorption für X-Strahlen ergeben, das spezifische Gewicht des einen = s_1 , das Atomgewicht = a_1 , die Dicke desselben = d_1 , dieselben Werte des anderen Körpers = s_2 bzw. a_2 bzw. d_2 setzen, so absorbiert der erste Körper

$$\frac{s_1 \cdot d_1 \cdot a_2}{s_2 \cdot d_2 \cdot a_1}$$

mal soviel Röntgenstrahlen als der zweite Körper. Das Resultat dieses Bruches ergibt uns also die Zahl, um die der erste Körper mehr absorbiert als der andere, ist also unter der Voraussetzung der gleichen Absorption = 1.

$$\frac{s_1 \cdot d_1 \cdot a_2}{s_2 \cdot d_2 \cdot a_1} = 1,$$

demnach würden die Dickenverhältnisse zweier Substanzen, die gleich viel Röntgenstrahlen absorbieren, sich verhalten:

$$\frac{s_2 \cdot d_1}{s_1 \cdot d_2} = \frac{d_1}{d_2} = x.$$

Die Division der numerischen Dickenwerte

$$\frac{d_1}{d_2} = x$$

ergibt dann die Zahl, um die bei gleicher Dicke Körper 1 Körper 2 an Absorption für Röntgenstrahlen übertrifft, also für in Wasser oder Körpersubstanz eingebettete Steine den Wert, um den der Stein mehr oder weniger absorbiert als seine Umgebung. Unter welchen Reservaten derartige zahlenmäßige Resultate für die Steindarstellung eine Bedeutung haben, wird zum Schluß zusammenfassend erörtert werden. Zunächst ist die obige Formel nur für Elemente mit einheitlichem Atomgewicht aufgestellt. Haben wir zusammengesetzte Körper vor uns, wie es bei den Steinsubstanzen der Fall ist, so besteht die Schwierigkeit, das Molekulargewicht natürlich lediglich für die röntgenologische Absorption in Beziehung zum Atomgewicht zu bringen. Da die Röntgenstrahlen nun die Körper im allgemeinen unabhängig von ihrem chemischen Aufbau umgekehrt proportional zum Atomgewicht durchdringen, so kann man wohl mit Recht an Stelle des Atomgewichtes für zusammengesetzte Körper das mittlere Atomgewicht, d. h. das Molekulargewicht der Substanz, dividiert durch die Anzahl der Atome setzen, das ich zunächst einmal mit a_m bezeichnen möchte. Daß dieses Vorgehen in der Tat berechtigt ist, ergibt gleichfalls die später zu ersiehende Uebereinstimmung zwischen experimentellen und rechnerischen Befunden.

Unter diesen Voraussetzungen gelangen wir demnach zu folgender Formel:

$$\frac{s_2 \cdot a_{m1}}{s_1 \cdot a_{m2}} = \frac{d_1}{d_2} = x.$$

Wenn wir in diese die entsprechenden Werte für Harnsäure (1) und Wasser (2) einsetzen, so erhalten wir:

$$\frac{1 \cdot 10,5}{1,8 \cdot 6} = \frac{10,5}{10,8} = 0,97 = \text{cr. } 1.$$

Daraus folgt nun auch theoretisch in Uebereinstimmung mit den früheren experimentellen Versuchen mit Steinen aus reiner Harnsäure, daß diese im menschlichen Körper röntgenologisch nicht darstellbar ist, und zwar deshalb nicht, weil sie nur $\frac{3}{100}$ weniger, also ungefähr dasselbe Absorptionsvermögen hat als die gleiche Körpermenge. Das ist auch der Grund, weshalb in gichtischen Gelenken und anderen gichtischen Affektionen Harnsäureanhäufungen röntgenologisch fast nie gefunden werden.

Ungünstiger noch als Harnsäure sollen nach Albers-Schönberg theoretisch Cystin- und Xanthinsteine sein. Zur Ausrechnung ihrer Absorptionsverhältnisse bedurfte es erst der Feststellung ihrer spezifischen Gewichte, die ich in der Literatur nicht auffinden konnte. Diese wurden im hiesigen Chemischen Universitätsinstitute an unter hohem Druck hergestellten Substanzzylindern für Cystin = 1,475, für Xanthin = 1,68 gefunden. Hiernach ergibt für Xanthin die Formel:

$$\frac{1 \cdot 10,1}{1,6 \cdot 6} = \frac{10,1}{10,08} = 1,00.$$

Zu genau demselben Ergebnis führt der experimentell röntgenographische Versuch, den Fig. 4 veranschaulicht, nämlich daß die Absorption von Xanthin gleich derjenigen des gleichen Körpervolumens ist. Diesem doppelten Resultat entspricht die Tatsache, daß in der Literatur kein Fall von röntgenographischer Darstellung eines reinen Xanthinsteines beschrieben worden ist.

Am allerungünstigsten sollen nach den bisherigen Anschauungen die Absorptionsverhältnisse für die röntgenographische Darstellung bei Cystin liegen.

Die Formel ergibt:

$$\frac{1 \cdot 10,36}{6 \cdot 1,475} = \frac{10,36}{8,85} = 1,18.$$

Aus diesem Resultat ersehen wir, daß Cystinsteine theoretisch für die Darstellbarkeit nicht so ungünstig, wie es behauptet wird, dastehen, sondern daß sie vermöge ihres um etwa ein Fünftel gegen Körpersubstanz differierenden Absorptionsvermögens bei guter Technik dargestellt werden müssen. Die von Rumpel beschriebenen Fälle von Darstellung reiner Cystinsteine sind daher durchaus nicht als ein außerhalb der theoretischen Erwägungen stehendes Ereignis aufzufassen, sondern nur ein weiterer Beweis für deren Richtigkeit. Dasselbe Resultat ergibt auch mein experimenteller Versuch (Fig. 4), in dem Cystinsubstanz in der gleichen Menge Wasser sich sehr deutlich darstellbar erweist.

Soweit die Steine, die bezüglich ihrer röntgenologischen Darstellung gegenüber Körpersubstanzen Schwierigkeiten bieten resp. bieten sollten wie das Cystin. — Immerhin ist es wohl auch noch interessant, von den wichtigeren anderen Steinen, die bei einigermaßen geeigneter Technik, wie wir wissen, ohne weiteres darstellbar sind, die Absorptionsverhältnisse festzustellen. Die Resultate, deren Ausrechnung die beigegebene Tabelle ergibt, sind folgende:

Phosphorsaure Ammoniakmagnesia	= 1,20,
Phosphorsaurer Kalk	= 1,25,
Kohlensaurer Kalk	= 1,33,
Oxalsaurer Kalk	= 1,36.

Diese Resultate ergeben ohne weiteres die Reihenfolge in der Darstellbarkeit der eben erwähnten Steine; eine Tatsache, die freilich bereits praktisch gefunden und daher bekannt war und durch die gegebenen Zahlenwerte ihre theoretische Bestätigung findet; der vorstehende röntgenographische Versuch mag die Uebereinstimmung mit den rechnerischen Werten bezüglich der beiden günstigsten Steinsubstanzen veranschaulichen (Fig. 5).

Berechnungstabelle der Absorptionsfähigkeit einiger Steinsubstanzen für Röntgenstrahlen im Vergleich zu derjenigen des Wassers bei unendlich harter Röntgenstrahlung.¹⁾

Steinsubstanz	Molekulargewicht	Anzahl der Atome	Mittleres Atomgewicht	Spezifisches Gewicht	$\frac{S_2 \cdot a_{m_1}}{S_1 \cdot a_{m_2}} = \frac{d_1}{d_2} = ?$	Zahl um die Körp. 1. X = Körp. 2 an Absorption übertrifft
Wasser	18	3	6	1	$\frac{1 \cdot 6}{6 \cdot 1} = \frac{6}{6} = 1$	1 unsichtbar
Harnsäure	168	16	10,5	1,8	$\frac{1 \cdot 10,5}{1,8 \cdot 16} = \frac{10,5}{28,8} = 0,97$	0,97 = 1 unsichtbar
Xanthin	152	15	10,1	1,68 ³⁾	$\frac{1 \cdot 10,1}{1,68 \cdot 15} = \frac{10,1}{25,2} = 1,00$	1,00 unsichtbar
Cystin	145	14	10,36	1,475 ³⁾	$\frac{1 \cdot 10,36}{1,475 \cdot 14} = \frac{10,36}{20,65} = 1,18$	1,18 sichtbar
Phosphorsaure Ammoniakmagnesia	127	11	11,55	cr. 1,6	$\frac{1 \cdot 11,55}{1,6 \cdot 11} = \frac{11,55}{17,6} = 1,20$	1,20 sichtbar
Phosphorsaurer Kalk	310	13	23,9	3,18	$\frac{1 \cdot 23,9}{3,18 \cdot 13} = \frac{23,9}{41,34} = 1,25$	1,25 sichtbar
Kohlensaurer Kalk	100	5	20	cr. 2,5	$\frac{1 \cdot 20}{2,5 \cdot 5} = \frac{20}{12,5} = 1,33$	1,33 sichtbar
Oxalsaurer Kalk	128	7	18	2,2	$\frac{1 \cdot 18}{2,2 \cdot 7} = \frac{18}{15,4} = 1,36$	1,36 sichtbar

Wir sehen also aus diesen theoretisch und experimentell gefundenen Absorptionsverhältnissen, daß im allgemeinen alle Steine bis auf reine Xanthin- und Harnsäuresteine röntgenographisch darstellbar sind, inklusive der Cystinsteine. Bei der Seltenheit der reinen Xanthinsteine kommen diese für Fehldiagnosen kaum in Frage, um so mehr aber die harnsauren Steine, zumal da unter ihnen ein relativ hoher Prozentsatz chemisch reiner Steine vorkommt, während gemischte natürlich je nach dem Prozentgehalt anderer Zusätze günstigere Darstellungschancen bieten müssen. Diesen mangelnden Darstellungsverhältnissen für Harnsäurekonkremente entspricht offenbar die Tatsache, daß, während Strümpell in Statistiken vor Einführung der Röntgenographie konstatiert, daß ein hoher Prozentsatz aller Konkreme Uratsteine sind, eine röntgenologische Statistik von Rumpel unter 22 Steinen nur 1 harnsaures Konkremment aufführt. Es müssen also offenbar Uratsteine häufig übersehen werden. Entsprechend dieser Behauptung sind in unserem Institute eine Anzahl von Fällen, in denen klinisch die Diagnose auf Lithiasis gestellt werden mußte, röntgenologisch nicht zu verifizieren gewesen; und wenn Immanuelmann und Israel aus ihren Statistiken nur 2—3% Fehldiagnosen ableiten, so dürften diese Zahlen vielleicht noch zu niedrig gegriffen sein. Eine Annahme, deren Berechtigung allerdings höchstens eine größere Menge von zufälligem Sektionsmaterial einwandfrei erweisen könnte.

Hiermit sei zunächst dasjenige nochmals zusammengefaßt, was aus den vorstehenden Untersuchungen als praktisch verwertbar zu erwähnen ist.

Theoretisch ist es ferner interessant, daß es für den speziellen Fall der Harnsteine gelingt, die sonst so schwierigen röntgenologischen Absorptionsverhältnisse im menschlichen Körper (allerdings mit Zuhilfenahme des Wassers) zahlenmäßig so auszudrücken, daß man die Resultate für das praktische Verständnis der Steindarstellung verwerten kann. Dabei bedarf allerdings noch folgende auffallende Erscheinung einer Erklärung, nämlich, daß einige experimentell gefundene Absorp-

tionswerte quantitativ mit den numerischen nicht absolut, sondern nur relativ übereinstimmen; d. h. daß z. B., während die vergleichenden rechnerischen Werte für die beiden letztgenannten und abgebildeten Steine kohlenaurer Kalk und oxalsaurer Kalk im Vergleich zu dem des Wassers gleich 1,33 und 1,36 sind, diejenigen auf der photographischen Platte und ebenso auf der beigegebenen Reproduktion ein Vielfaches der umgebenden Flüssigkeit betragen. Dieses Verhalten entspricht der Tatsache, daß in der vorher als Ausgangspunkt gewählten Formel zwei Faktoren nicht berücksichtigt sind, nämlich die Sekundärstrahlenbildung und das Röntgensche Absorptionsgesetz. In der Tat beruht nun die eben erwähnte Differenz zwischen Rechnung und Abbildung, wenn wir von der Sekundärstrahlenbildung als weniger in Betracht kommend und bis zu einem gewissen Grade beeinflussbar, absehen, vor allen Dingen auf dem zweiten nicht berücksichtigten Faktor, daß nämlich beim Durchgang durch bestimmte Stoffe die Röntgenstrahlen gewissermaßen durch Filtration einen immer größer werdenden Härtegrad annehmen und einen immer größer werdenden Verlust ihrer weicheren, photographisch aktiveren Komponente erfahren, Verhältnisse, die in dem sog. Röntgenschen Absorptionsgesetz ihren Ausdruck finden. Die eruierten Zahlenwerte würden also nur dann absolut richtig sein, wenn wir diesen Faktor vernachlässigen könnten, was bei sehr harter Strahlung annähernd und bei unendlich harter absolut der Fall sein würde. Außerdem entsprechen sie ferner dann absoluten Werten, wenn die zu vergleichenden Substanzen untereinander annähernd dasselbe Absorptionsvermögen zeigen und demnach die durch das Absorptionsgesetz bedingten Fehler für beide Substanzen dieselben sind; Verhältnisse, die bei den Versuchen mit Harnsäure und Xanthin auch gleichzeitig bezüglich der Sekundärstrahlen vorliegen, sodaß diese wichtigen Werte als absolut richtig aufzufassen sind. Für die anderen Steinsubstanzen ergeben die Zahlenwerte nur relative Absorptionszahlen, die uns aber bezüglich der Darstellbarkeit im Körpergewebe überhaupt und bezüglich der besseren, resp. schlechteren Darstellbarkeitsverhältnisse im Vergleich zueinander richtigen Aufschluß geben.

¹⁾ Ohne Berücksichtigung der Sekundärstrahlen.

²⁾ d_1 Dicke der Steinsubstanz, d_2 Dicke des Wassers, Werte, die gleiche Absorption für Röntgenstrahlen zeigen und deren Division $\frac{d_1}{d_2}$ daher den Wert ergibt, um den bei gleicher Dicke die Steinsubstanz mehr absorbiert als Wasser.

³⁾ Eigene Bestimmung.