

Aus der Universitäts-Augenklinik in Bern. — Direktor: Prof. Dr. A. Siegrist.)

Über Entstehung von Diskontinuitätsflächen in der Linse.

Von

Dr. Hans Goldmann,
Oberarzt der Klinik.

Mit 6 Textabbildungen.

I. Einleitung.

Nachdem es *Hess*¹ mit primitiven Methoden gelungen war, beim Menschen und bei Tieren Reflexe an der Kernoberfläche der Linse als physiologischen Befund zu erheben und damit prinzipiell den Streit über kontinuierliche oder diskontinuierliche Zunahme des Brechungsindex in der Linse zu entscheiden, gelang es *Gullstrand*² durch die ingeniose Anordnung seiner Spaltlampe eine Fläche mit Brechungssprung in der Linse nachzuweisen. *Vogt*³ hat dann in einer Reihe von Untersuchungen gezeigt, daß nicht nur *eine* solche Fläche in der menschlichen Linse zu finden ist, sondern eine ganze Reihe, daß sie mit dem Alter an Zahl zunehmen und die Helligkeit ändern. Je tiefer gegen den Kern ein solcher Diskontinuitätsstreifen liegt, um so älter ist er. *G. Meyer*⁴, ein Schüler *Vogts*, hat dann in einer Reihenuntersuchung die ungefähre Zeit des Auftretens dieser Reflexstreifen untersucht.

Wir haben durch diese wertvollen Arbeiten wichtige Aufschlüsse über das Alter gewisser Linsenschichten und der in ihnen vorkommenden Veränderungen erhalten. Über die Entstehung und den Mechanismus dieser Entstehung wissen wir aber bis heute nichts. Um jeden Irrtum auszuschalten, sei betont, daß ich hier unter Entstehung nicht das optische Zustandekommen eines Reflexes verstehe, der bekanntlich überall dort auftritt, wo ein Brechungssprung an einer Fläche stattfindet, sondern die biologische Entstehung. Es ist also bisher nicht bekannt, wieso es zum Auftreten sprunghafter Änderungen des Brechungsindex in der Linse kommt.

Befunde, welche bei der Tetaniekatarakt des Hundes^{5,6} und später der Ratte⁶ erhoben wurden, haben mich veranlaßt, der oben skizzierten Frage näherzutreten und weitere Experimente anzustellen. Wenn sie zu einer vorläufigen Lösung des Problems geführt zu haben scheinen, so muß doch erst eine Reihe weiterer Versuche die Richtigkeit (unserer Deutung für *alle* Fälle erhärten. Darum die Überschrift „Ent-

stehung von Diskontinuitätsstreifen“ und nicht „Die Entstehung der Diskontinuitätsstreifen“.

Wir setzen die Diskontinuitätsstreifen des Menschen als bekannt voraus und wir werden uns in dieser Arbeit mit ihnen nicht weiter beschäftigen. Unsere Arbeit wird vorläufig nur das Problem behandeln, wie es zum Auftreten *reflektierender* Oberflächen in der Linse kommt, nicht aber wie zartgetrübte evtl. „diffus reflektierende“ Zonen zustande kommen. Auch die Frage, woher die oft verschiedene Färbung der einzelnen Reflexstreifen kommt, wird nicht berührt werden. Ich will, um jede Unklarheit auszuschalten, für unsere Arbeit definieren, was ich in ihr unter „Diskontinuitäts- oder Reflexfläche“ verstehe: Eine Diskontinuitätsfläche ist jene optische Fläche, welche 2 Medien verschiedenen Brechungsindex scheidet, so daß an ihr ein echter Reflex auftritt. Diese Fläche braucht nicht glatt zu sein, sie kann gebuckelt und geknittert sein, aber von jedem endlichen Flächenelement muß das einfache Reflexionsgesetz gelten, d. h. es darf zu *einer* Einfallsrichtung der Strahlen nur *eine* einzige Reflexionsrichtung an diesem Flächenelement gehören. Ist dies aber der Fall, dann muß ein Flächenelement bei binokularer Beobachtung den beiden Augen verschieden hell erscheinen, es muß also, binokular betrachtet, *glänzen*. Diese Definition nimmt als Kriterium einer echten Diskontinuitätsfläche also nur den binokularen Glanz und seine Grundlage, die strenge Gültigkeit des Reflexionsgesetzes. Dabei auftretende diffuse Lichtzerstreuung, welche als Zeichen irgendeiner optischen Inhomogenität des Mediums Linsenzonen auch ohne Einstellung auf den Reflex in einfacher fokaler Beleuchtung deutlich sichtbar werden läßt, will ich als „Lichtzerstreuung“, nicht als „innere Reflexion“ bezeichnen, weil so offen bleibt, ob wir es mit einer zarten Reflexion an unebenen Flächen oder mit einem echten Tyndallphänomen zu tun haben.

Wir werden zunächst eine Darstellung der Befunde, die wir erhoben, geben; wir werden dann versuchen zu zeigen, daß das Auftreten von Reflexstreifen in unseren Versuchen nicht zufällige Ereignisse waren, und wir wollen endlich aus allen Experimenten die Schlüsse ziehen, welche sie zu ziehen gestatten. Bereits bekannte Ergebnisse und einfache theoretische Überlegungen werden das Bild vervollständigen.

II. Versuche.

1. Beobachtungen an parathyreopriven Hunden.

Die Versuche an parathyreopriven Hunden sind an anderen Orten^{5, 6} genau beschrieben, und wir beschränken uns auf die Mitteilung der Fakta, die hier in Betracht kommen. Bilder werden sie illustrieren.

Was zunächst die Diskontinuitätsflächen normaler Hunde in der vorderen Linsenhälfte anbetrifft, so konnte ich nur zwei feststellen,

eine tiefe zarte und eine etwa 8 Teilstriche von der Kapsel entfernte, diffus reflektierende, oberflächlichere (bei einjährigen Tieren).

Von den beiden in gleichem Alter (von 9. resp. 10. Wochen) operierten Geschwistern wurde bei dem einen (Bobby) durch genügende Ca. lact.-Gaben dafür gesorgt, daß nur in weiten Zeitabständen tetanische Anfälle auftraten. Wir haben a. a. O. die Zusammenhänge zwischen musk. Sympt. und Katarakt genau auseinandergesetzt. Wir wissen seitdem, daß auf einen Zustand tetanischer Übererregbarkeit nach E. k.-Exstirpation mit Gesetzmäßigkeit Linsenveränderungen folgen.

Dabei entstehen, wenn kurzdauernde (nur wenige Tage währende) Anfallsperioden von geringer Stärke in weiten Abständen einander folgen, subkapsuläre Punkttrübungen und kleine kommaförmige Trübungsvakuolen. Infolge des ständigen, von der Oberfläche ausgehenden Wachstums der Linse rücken diese Trübungen von der Kapsel in die Tiefe der Linsenrinde hinein. Wenn dieses Abrücken wahrnehmbar wird, dann sieht man bei Untersuchung im maximal verschmälerten Bündel der Spaltlampe, daß die Schichte der Trübungen nach vorn eine reflektierende Begrenzung aufweist, also einen Diskontinuitätsstreifen, der manchmal auch durch stärkere Lichtzerstreuung, d. h. zarte Sichtbarkeit auch im einfachen fokalen Licht ausgezeichnet ist. Dabei ist zunächst die Sichtbarkeit durch den Kapselreflex erschwert. Rückt die Trübungsschichte weiter in die Tiefe, so wird die Reflexfläche deutlicher sichtbar. Bei noch weiterem Abrücken nimmt ihre Lichtstärke wieder langsam ab. Das Auftreten des ersten Diskontinuitätsstreifens, der so erzielt wurde, war deshalb der Beobachtung schwerer zugänglich, weil bereits, bevor die Versuche unternommen wurden, knapp subkapsulär ein zarter Diskontinuitätsstreifen bestand, vor dem sich dann die ersten Trübungen etablierten. Beim nachfolgenden Abrücken der oberflächlichen Linsenschichten von der Kapsel wurde dieser Diskontinuitätsstreifen undeutlicher und von dem am *vorderen* Rand der Trübungslage auftretenden neuen Streifen überstrahlt, so daß wir eine Zeitlang den Eindruck hatten, als seien die Punkttrübungen, die zuerst *vor* dem Diskontinuitätsstreifen lagen, *hinter* ihn gerückt. Bei genauester Kontrolle gelang es aber dann, den alten zarten Diskontinuitätsstreifen kernwärts von den Trübungen noch nachzuweisen.

Auf diese Weise folgten bei dem Hund Bobby auf 6 Gruppen von Anfällen mit Ausbildung subkapsulärer Trübungen 6 Diskontinuitätsstreifen. Noch einmal sei hier gesagt, daß die auftretenden Trübungen circumscripte Effloreszenzen waren, die beim Abrücken von der Kapsel in ihrer Gesamtheit geometrisch eine Schichte bildeten, welche aber als durchgehende Schichte *nicht* oder kaum durch zarte Lichtzerstreuung, keineswegs aber als Trübungsschichte sichtbar war, während bei entsprechender Anordnung der Spaltlampe die Punkttrübungen durch

einen Reflexstreifen verbunden waren (s. Abb. 32 b der im gleichen Hefte abgedruckten Arbeit über Tetaniekatarakt).

Der 2. Hund (Fiffi) befand sich, wie a. a. O. geschildert ist, lange Zeit fast ununterbrochen in einem Zustand musk. Übererregbarkeit, weshalb von einzelnen, durch klare Intervalle geschiedenen Schichten der Trübungen nicht mehr die Rede sein konnte. Suchte man nach Reflexen, so war in der ganzen Schichtdicke ein breiter Asbestglanz zu sehen. Wichtig für unsere späteren Erörterungen ist aber folgende Tatsache:

Die beiden Hunde aus *gleichem* Wurf, ungefähr zu *gleicher* Zeit operiert, hatten am *gleichen* Tage die ersten tetanischen Symptome. Am *gleichen* Tage traten die ersten Linsenveränderungen auf. Als wir 2 Monate nach dem ersten Anfall die beiden Hunde vergleichend untersuchten, wobei Bobby erst 2 Anfälle hinter sich hatte, während bei Fiffi 14 Tage lang ein Zustand mehr oder weniger heftiger Übererregbarkeit bestanden hatte, da zeigte es sich, daß die Dickenzunahme der Linse bei dem Hund (F.) mit häufigen Anfällen viel geringer war als bei dem anderen (B.). Die Dickenzunahme verhielt sich bei gleicher Lichteinfall- und Beobachtungsrichtung an allen Linsenorten ungefähr wie 2:3 (Abb. 1 a und b).

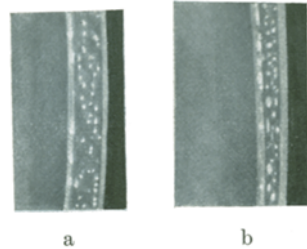


Abb. 1. Vergleich der Dickenzunahme der Linsen (rechtes Auge) der beiden gleich alten Hundegeschwister Bobby und Fiffi 2 Monate nach dem ersten Tetanieanfall. a) Bobby; b) Fiffi. Schmales Bündel, Schnitt axial; Winkel: Lichteinfall-Beobachtungsrichtung 45°; Vergr. 24fach.

2. Beobachtungen an parathyreoopriven Ratten.

Bei 12 *normalen* Ratten zwischen 100 und 200 g war in der vorderen Linsenhälfte zunächst der Kapselstreifen, welcher in der Peripherie aus 2 Anteilen zu bestehen schien, zu sehen. Von den beiden Anteilen zeigte der eine, welcher der oberflächlichsten Linsenschichte anzugehören schien, Chagrinierung, während der zweite Anteil, der nie, auch bei schmalstem Bündel nicht, vom ersten völlig zu trennen war (sie bildeten in diesem Fall 2 Seiten eines Reflexes), zarteste Faserzeichnung aufwies, ja sogar in günstigen Fällen die einzelnen Fasern als allerfeinste Gitterzeichnung hervortreten ließ. Es folgte der Kapsel ein etwa 4 Teilstriche (etwa 0,16 mm) dickes, zartgraues Intervall, als dessen hintere Begrenzung vielleicht ein allerfeinster Diskontinuitätsstreifen bestand; doch läßt sich dies mit Sicherheit nicht sagen, so fein ist die Helligkeitszunahme, die zu dieser Ansicht verführt und möglicherweise nur ein Kontrastphänomen ist. Hingegen gibt es fast regelmäßig knapp vor dem grauen Kern der Rattenlinse einen feinen Diskontinuitätsstreifen, welcher aber deutlich vom Beginn der grauen Kernzone durch ein klares Intervall geschieden ist. Die Linse von Ratten zwischen 100 und 200 g

weist also außer dem Kapselstreifen nur *eine* zarte, sichere Diskontinuitätsfläche auf, und es besteht darum die Wahrscheinlichkeit, daß das Auftreten neuer Diskontinuitätsflächen bei Veränderungen in der Linse mit diesen zusammenhängen und nicht zufälliger Natur sind.

Bei 6 jungen Ratten zwischen 40 und 50 g konnte man bei allen ohne Unterschied folgenden Befund erheben: etwa 3—4 Teilstriche unter der Kapsel war ein schöner Reflexstreifen zu sehen. Sowohl kapselwärts von ihm als auch tiefer in der Linse bis zum grauen Kern ist keine Spur einer anderen Diskontinuitätsfläche zu finden. Es handelt sich offenbar um den gleichen Streifen, wie er bei den erwachsenen Tieren geschildert wurde, nur ist er noch nicht so nahe an den Kern herangerückt.

Wir haben a. a. O.⁶ bei unseren Rattenversuchen zwischen erwachsenen und jungen Ratten unterschieden. Wir werden diese Scheidung auch hier beibehalten. Wir haben in unserem Rattenmaterial an erwachsenen die folgenden Beobachtungen bei Ratte 1, Ratte 13, Ratte 21 und Ratten 28, 29, 30, 35 gemacht. Bei Ratten 5, 10 und 11 haben wir nicht darauf geachtet.

Bei Ratte 1, deren Protokoll a. a. O. wiedergegeben ist, rückte die einzige gebildete Schichte von Trübungen in die Tiefe, und bei Einstellung des Reflexes ließ sich in dieser Ebene, knapp merkbar *vor* den Trübungen, ein Reflexstreifen nachweisen. In unseren Abbildungen (siehe vorhergehende Arbeit Abb. 6, 8, 10) sieht es so aus, als ob dieser Streifen auch außerhalb des Reflexes diffus zartgrau lichtstreuend nachweisbar gewesen wäre. In Wirklichkeit war er so kaum zu sehen. Nur im Reflex trat er deutlich hervor. Bei Ratte 15 waren im Abstand von 1 Monat 2 Anfallsgruppen aufgetreten. Ihnen entsprachen 2 Zonen von Trübungen; jeder von beiden lag vorn ein Reflexstreifen an. Daneben bestand natürlich der normale pränucléare Reflex.

Besonders interessant ist Ratte 21. Diese war am 27. II. 1928 parathyreoidektomiert worden. Am 23. II., 29. II. und 1. III. zeigte sie musk. Sympt. (Tremor + Trousseauisches Phänomen und Steifigkeit). Gleichzeitig traten subkapsuläre Punkttrübungen auf, welche zum Teil bis zum Stadium der Kommaform fortschritten. Von da ab erhielt die Ratte Ca. lact.-Lösung, so daß keine weiteren Anfälle auftraten. Bis zum 12. III. waren die Punkttrübungen fast geschwunden. Nur noch um die Naht fanden sich einzelne Pünktchen. Diese waren bis zum 4. IV. deutlich etwa $\frac{3}{4}$ —1 Teilstrich ($\frac{1}{30}$ mm) von der Kapsel abgerückt und man sah jetzt, daß sie in einem deutlichen Reflexstreifen lagen. Bis zum 24. V. war dieser Diskontinuitätsstreifen etwa $1\frac{1}{2}$ Teilstriche von der Kapsel abgerückt, die Punkte waren jetzt ganz verschwunden. An diesem Tage sahen wir die Linsenoberfläche übersät mit frischen (etwa 3 Tage alten) Trübungspunkten. Die musk. Sympt. waren nicht mehr geprüft worden, und nur in 8-tägigen Zwischenräumen

hatten Spalllampenuntersuchungen stattgefunden. Bis zum 27. VI. waren diese neuen Punktrübungen unter Abnahme ihrer Zahl von der Kapsel deutlich abgerückt und zeigten wiederum einen Reflexstreifen. Subkapsulär gab es neuerdings frische Punkte. Der Reflexstreifen des ersten Anfalles war undeutlicher geworden. Am 27. VII. sahen wir etwa 1 Teilstrich tief feine Punkte mit deutlichem zarten Reflexstreifen, 2 Teilstriche tief grobe Punkte, ebenfalls mit einem Reflexstreifen, und 6 Teilstriche tief den normalen Reflexstreifen, während der zarte Reflex, welcher vom ersten Anfall herrührte, nicht mehr zu sehen war (Abb. 2). Am 28. VIII. bestanden etwa 2—3 Teilstriche tief grobe Flecktrübungen, verbunden durch einen deutlichen Diskontinuitätsstreifen. Die Gliederung in 2 Schichten ist nicht mehr möglich. Der normale tiefe Reflex ist vorhanden.

Bei jungen Ratten, welche nur Punktrübungen aufwiesen, konnten wir niemals das Auftreten eines Reflexstreifens wie bei den Erwachsenen nachweisen (z. B. Ratte 20, Ratte 31). Bei den jungen Tieren, bei denen es zur Ausbildung einer Rosette um die Naht kam, war zunächst wegen der groben Veränderungen (der dichtliegenden Trübungsvakuolen und gequollenen Fasern) kein sicherer Befund, den Reflexstreifen betreffend, zu erheben. Wenn aber in der Tiefe die Auflösung der Rosette und die Spaltung in 2 Schichten, wie es a. a. O. beschrieben ist, erfolgt und die zartgetrübbte Zone mit Faserzeichnung aufgetreten war, dann sah man den 2 Blättern entsprechend 2 mehr oder weniger deutliche Diskontinuitätsstreifen. Dabei hatte der vordere deutlichere Streifen nicht immer die gleiche Lage: in manchen Fällen sah man ihn in der Zonenschicht, manchmal auch zwischen ihr und dem hinteren Blatt. In weit peripheren Bezirken war nur *ein* Diskontinuitätsstreifen zu sehen.



Abb. 2. Ratte 21.
Rechtes Auge,
27. VII. 1928.
Schnitt im
schmalen Bü-
schel. Vergröße-
rung 24fach.

Interessant ist Ratte 23, bei der es in der Linse zum Auftreten von zwei Vakuolenschichten kam, denen beim weiteren in die Tiefe Rücken 2 Schichten destrukturierter Vakuolen entsprachen. Von der hinteren war eine zarte Zone ein Stück weit peripher verfolgbar. Von der vorderen ging eine deutliche Zone aus, welche sich später, wie üblich, von der Trübungsschicht trennte. An der Zone und den beiden Trübungsschichten bestanden helle Diskontinuitätsstreifen.

3. Beobachtungen an naphthalinvergifteten Kaninchen.

Aus dem Vorangehenden schien hervorzugehen, daß Diskontinuitätsstreifen im Zusammenhang mit Schädigungen subkapsulärer Schichten auftreten. Um diesen Gedanken weiter zu verfolgen und zu stützen,

wurden Versuche mit Naphthalinfütterung bei jungen Kaninchen unternommen. Der Vorgang war der, daß an Kaninchen von etwa 900—1000 g Gewicht einige Tage hindurch mit der Schlundsonde etwa 1,0—1,2 g Naphthalin in 20 proz. ölicher Lösung verabreicht wurde. Die Naphthalindosis wurde gegeben, bis die ersten „glasklaren Speichen“ subkapsulär in den Linsen auftraten. Dann wurde die Vergiftung abgebrochen und wöchentlich an der Spaltlampe untersucht. 5 Kaninchen überlebten genügend lang die Vergiftung.

Zunächst ist es nötig, die normalen Verhältnisse der Diskontinuitätsstreifen bei Kaninchen zu kennen, um möglichst Irrtümer auszuschließen. Ich habe zu diesem Zweck bei 11 Kaninchen zwischen 1000 und 2000 g die Linsen untersucht und meine Aufmerksamkeit wegen der exakten Untersuchungsmöglichkeit auf die vordere Linsenhälfte beschränkt. Im Mittelpunkt der Linse sieht man beim Kaninchen fast regelmäßig eine grauweiße Trübung. Wir fanden sie bei allen 11 Kaninchen. Davor sahen wir eine zartgrau schimmernde Diskontinuitätsfläche liegen, die dadurch ausgezeichnet ist, daß sie zarte, faserige Struktur aufweist und einen leicht diffus verbreiterten Reflex liefert. In 9 von 11 Paar Kaninchenlinsen fand sich halbwegs zwischen Zentrum und Kapsel ein silbergrauer Diskontinuitätsstreifen. Näher zur Kapsel war bei allen Kaninchen ein gelbbrauner Reflexstreifen zu finden, der axial bei 4 Kaninchen verdoppelt war. Der Kapselreflex zeigte die gleiche Eigentümlichkeit wie bei den Ratten, daß er aus einem chagrinierten und einem faserigen Anteil bestand. In diesem ließ sich, besonders peripher, mit großer Schönheit Faser für Faser nachweisen.

Kaninchen 5, 940 g.

16. und 17. XII. Je 0,8 g Naphthalin.

18. XII. Beiderseits massenhaft zarte Speichen subkapsulär.

20. XII. Sie sind spurlos verschwunden. Man sieht nur an der Spaltlampe einige strahlig angeordnete krümelige Linien, dort, wo vorher die glasklaren Speichen waren. Bis zum

15. II. 1928 sind die Trübungen etwa 3 Teilstriche weit in die Tiefe gerückt. Sie haben die Anordnung geändert und bilden nahe der Naht eine Fläche mit krümeligen Punkten. Von ihr aus geht nach peripher eine glänzende, gelbe, sehr helle Diskontinuitätsfläche. Vor ihr liegen auch noch einige fleckige Trübungen. Die Diskontinuitätsfläche ist nur als Reflex zu sehen. Tiefer in der Linse liegen die alten Reflexe.

3. III. Tot. Bild nicht geändert.

Kaninchen 6, 1305 g.

24. II. Deutlich ein gelblicher und ein tiefer liegender zartgrauer Reflex. 1,2 g Naphthalin.

25. II. 1 g Naphthalin.

26. II. Viele zarte glasklare Speichen. Fundus: Beginnende Retinitis naphthalinica.

27. II. Speichen geschwunden.

6. III. Subkapsulär regellos angeordnete Trübungspunkte um die Naht, zusammen Figuren bildend wie Wasser auf fettem Glas. Stellenweise dendritisch verzweigte Punktreihen.

28. III. Die Trübungen sind etwa 2—3 Teilstriche von der Kapsel abgerückt und bilden um die Naht eine Platte unregelmäßiger Begrenzung, welche reflektiert. Weiter peripher, wo sich keine Trübungen mehr befinden, nur sehr heller, gelblicher Diskontinuitätsstreifen. Hier und da sieht man in ihm zarteste Faserzeichnung.

4. IV. Ungefähr gleiches Bild.

Bis 19. IV. stark in die Tiefe gerückt, axial etwa 5 Teilstriche.

Kaninchen 7. Wie Kaninchen 6.

Kaninchen 8, 895 g. Gelblicher und weißer Diskontinuitätsstreifen.

27. VI, 28. VI, 29. VI. Je 1 g Naphthalin.

30. VI. Speichen.

2. VIII. Keine Spur von Speichen mehr.

5. VIII. An der vorderen Kapsel, von der Naht ausgehend, einige Trübungspunktreihen, an der hinteren Kapsel unregelmäßige subkapsuläre Trübungen.

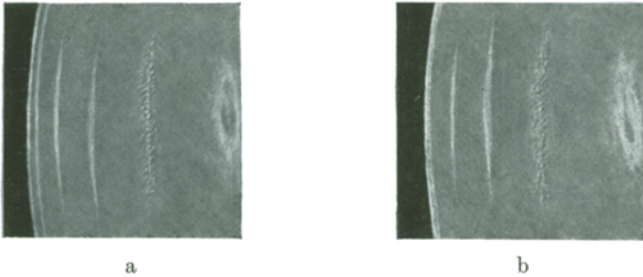


Abb. 3. Vergleichsbild von Naphthalinkaninchen 9 und gleich altem Kontrolltier aus dem gleichen Wurf, 29. IX. 1928. a) Naphthalinkaninchen 9; rechtes Auge, Schnitt im schmalen Bündel und Reflex. Vergr. 24fach. b) Kontrolltier; rechtes Auge, sonst alles wie a.

Am 20. VII. besteht axial etwa 2—3 Teilstriche tief um die deutliche Nahtzeichnung eine Fläche von Punkttrübungen, welche geknittert ist. Etwas weiter peripher ist vor den Trübungen zart angedeutet ein Diskontinuitätsstreifen zu sehen, noch weiter peripher ist er sehr deutlich und hell, leicht gelblich. Ein Kontrolltier des gleichen Wurfes zeigt diesen Diskontinuitätsstreifen nicht.

Kaninchen 9, 1385 g. Die Linsen zeigen, an der Spaltlampe untersucht, in der vorderen Linsenhälfte außer dem Kapselstreifen einen gelblichen und zwei bläulichweiße Diskontinuitätsstreifen, von welchen der tieferliegende breit verwaschen ist; zentral kleine Kernkatarakt. Ein als Kontrolltier benutztes Geschwister des gleichen Wurfes von 1365 g Gewicht hat die identische Linsenmorphologie. Kaninchen 9 erhält am

28. VIII. 6 ccm 20proz. Naphthalinöl.

29. VIII. Keine Linsenveränderungen. 6 ccm Naphthalinöl.

30. VIII. Nichts Besonderes an den Linsen. 7 ccm Naphthalinöl.

31. VIII. Linsenoberfläche bräunlich, hier und da zarteste speichenförmige Vorwölbung der Faseroberfläche. Retinitis naphthalinica. Kein Naphthalinöl mehr.

4. IX. O. s. mehr als o. d. Punkte um die Naht, einige Vakuolenreihen in der Faserrichtung.

15. IX. In einem Abstand von $\frac{2}{3}$ Radius der Linsenoberfläche vom Pol sind die zarten Trübungen etwa 2 Teilstriche von der Kapsel in die Tiefe gerückt.

Am rechten Auge sind nur oben einige feine streifige Trübungen in Faserrichtung vorhanden, am linken Auge mehr. Etwas vor den Trübungen, sich peripher eben vom Kapselreflex loslösend, deutlicher bläulichweißer Diskontinuitätsstreifen.

25. IX. Weiter von der Kapsel abgerückt und sehr deutlich. Der Reflexstreifen findet sich *nicht nur dort, wo Trübungen liegen*, sondern ist z. B. am rechten Auge unten sehr deutlich (siehe Abb. 3a). Das Kontrolltier hat nur die am 28. VIII. beobachteten Reflexstreifen (siehe Abb. 3b).

Unter unseren Kaninchen fanden wir eins, welches *spontan* in einer Schichte um die Naht zarte Trübungen, etwa 3 Teilstriche unter der Kapsel, aufwies. Diese Schichte war nur im Umkreis der Naht trübe (etwa $\frac{1}{3}$ Linsenbreite). Weiter peripher setzte sie sich in einen gelblichen Diskontinuitätsstreifen fort.

4. Beobachtungen an mit Röntgenstrahlen behandelten Ratten.

Die Schädigungen, welche wir bisher untersuchten, waren toxisch und wirkten auf beide Augen eines Tieres. Es bestände immer noch die Möglichkeit, daß *zufällig* mit den Trübungen die Diskontinuitätsstreifen sich entwickelt haben. Bisher gelang es uns nie, bei normalen Individuen von Ratten und Kaninchen einseitiges Entstehen von Diskontinuitätsstreifen nachzuweisen. Darum suchte ich nach Möglichkeiten, einseitig oberflächliche Linsenschädigungen zu setzen. Es schien dazu die Röntgenbestrahlung das geeignete Mittel zu sein. Man kann leicht ein einziges Auge bestrahlen, während das andere Auge ein ideales Kontrollsystem darstellt. Außerdem ist bekannt, daß die Wirkung der Röntgenstrahlen vor allem eine Wachstumshemmung oder allgemeiner eine Schädigung wachsender Gewebe ist, und da das Wachstum der Linse von ihrer Oberfläche aus erfolgt, würde die Röntgenschädigung hauptsächlich oberflächlich angreifen, wodurch wir auch einen, den toxischen Schädigungen ähnlichen Angriffspunkt der Einwirkung erhalten.

Ich habe entsprechende Versuche an 8 Ratten angestellt. Bei den 4 ersten wurde die notwendige Strahlendosis bestimmt. Verwendet wurden 4 Ratten von 40 g Gewicht, die so unter die Röntgenröhre gelegt wurden, daß ihre Köpfe ein Kreuz bildeten, wobei die Schnauzen dessen Mittelstück darstellten. Die Fokushautdistanz betrug 30 cm, die Feldgröße war 11×11 cm, die Härte der Strahlung 200 Kilovolt, die Stromstärke 4 Milliampere. Die Ratten hatten $\frac{1}{2}$ Stunde vor Versuchsbeginn je 1 mg Morphium erhalten und wurden auf Brettchen, Rücken nach oben, aufgebunden. Sie waren dann so ruhig, daß die Abdeckung mit Bleigummi während der ganzen Versuchsdauer unverrückt blieb. Von jeder Ratte wurde ein Auge und seine Umgebung so, wie die Skizze zeigt, der Strahlung ausgesetzt (Abb. 4). Die Strahlung

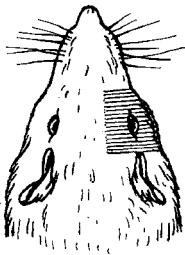


Abb. 4. Vgl. Text S. 206: schraffierte Partie bestrahlt, alles andere abgedeckt.

war mit 0,5mm Kupfer und 0,5mm Aluminium gefiltert. Auf diese Weise erhielt Ratte 1: 2000 französische R (1500 französische R ungefähr gleich 500 deutsche R) aufs rechte Auge. Dann wurde die Ratte aus dem Feld entfernt. Ratte 2 erhielt 4000 französische R, Ratte 3: 6000 französische R und Ratte 4: 8000 französische R.

Ich lasse nun die Protokolle folgen:

Ratten 3 und 4 waren für unsere Versuche nicht zu gebrauchen, weil sie zu hohe Dosen erhalten hatten. Sie zeigten nach einer Latenz von 8 Tagen zunächst diffuse Keratitis parench., dann Ulcera, fernerhin Nekrose der Kieferweichteile, später Phthisis bulbi und gingen nach 4 Wochen ein.

Ratte 1. schwarzweiße Ratte, 40 g.

21. X. 1927. *O. d.* gleich *o. s.* Linsenkern graulich opaleszenz, etwa 3 Teilstriche unter der Kapselzarte Diskontinuitätsfläche. Die Ratte erhält 2000 französische R aufs rechte Auge.

25. X. Normal.

1. XI. *O. d.*: Diffuse Keratitis epithelialis. *O. s.*: ohne Befund.

3. XI. *O. d.*: Auf der Linsenoberfläche feinste frische Pünktchen.

8. XI. Idem.

18. XI. In der bestrahlten Kopfpartie sind die Haare spärlicher geworden und während sonst der ganze Kopf schwarz behaart ist, ist die bestrahlte Kopfpartie grauhaarig. Auf der Linse des rechten Auges einige Pünktchen mehr.

30. XI. *O. d.*: Von dem Kapselstreifen scheint sich ein Diskontinuitätsstreifen abzulösen. *O. s.*: Normaler Kapselstreifen mit dem oben beschriebenen beiden Anteilen.

9. XII. *O. d.*: noch immer Pünktchen an der Oberfläche. Nun sieht man beim Einstellen des Reflexes im maximal verschmälerten Büschel, deutlich vom Kapselstreifen getrennt, etwa $1\frac{1}{2}$ Teilstriche tief einen distinkten, ziemlich hellen Diskontinuitätsstreifen; er ist nur im Spiegelbezirk nachweisbar und liegt peripher weiter von der Kapsel ab als axial. *O. s.*: Keine Spur eines solchen Diskontinuitätsstreifens.

20. XII. *O. d.*: Etwa 2—3 Teilstriche von der Kapsel schöner Diskontinuitätsstreifen (Abb. 5a, b). Von den Punkten sind einige von der Kapsel abgerückt. *O. s.*: Wie früher.

8. II. 1928. *O. d.*: Diskontinuitätsstreifen etwa 3—4 Teilstriche tief, Reflexion viel zarter; vor ihm bis zur Kapsel Intervall mit stärkerer diffuser Lichtzerstreuung. In diesem Intervall feine weiße Pünktchen. Die Haare im bestrahlten Bezirk sind wieder dichter geworden, aber alle sind grauweiß. *O. s.*: Ohne Befund.

Bis zum 19. IV. 1928 hat sich das Bild kaum geändert; es scheint nur, als ob in der grau streuenden Rindenzone, welche wieder mehr Punkte enthält, noch ein ungleichmäßiger, ganz zarter Diskontinuitätsstreifen aufgetreten wäre. *O. s.*: Nichts davon. Das Bild ändert sich nun nicht mehr wesentlich.

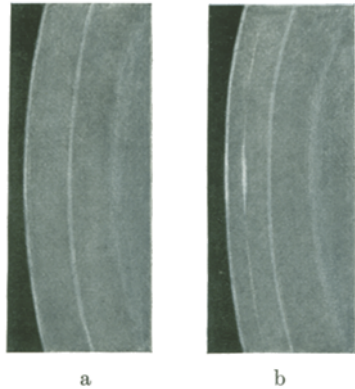


Abb. 5. Röntgenratte 1. Rechtes Auge bestrahlt; Vergleichsbild beider Augen 2 Monate nach der Bestrahlung. Schnitt im schmalen Büschel. Verg. 24fach. a) Normales linkes Auge; b) bestrahltes rechtes Auge.

Am 30. VIII. liegt die zart reflektierende Fläche nur etwa 3 Teilstriche tief, in ihr und vor ihr in der grau streuenden Schichte Punkte. *O. s.*: Ohne Befund. Haare über den Augen in Form eines Zügels noch immer grauweiß.

1. IX. 1928. Tot. 220 g.

Ratte 2, schwarzweiß, 40 g.

21. X. 1927. Linsen *o. s.*: Etwa 3 Teilstriche tief, zarter Kontinuitätsstreifen usw. wie Ratte I. 4000 fr. R auf *o. s.*

1. XI. *O. d.*: Ohne Befund. *O. s.*: Cornea zart grau, diffus trüb, starke Keratitis epithelialis.

3. XI. *O. s.*: Feinste Pünktchen auf der Linsenoberfläche. *O. d.*: Ohne Befund.

8. XI. *O. s.*: Mehr Pünktchen auf der Linsenoberfläche, welche ganz zart diffus trüb scheint.

18. XI. Haare im bestrahlten Gebiet wie bei Ratte I, nur noch deutlicher.

22. XI. *O. s.*: Subkapsulär zartgraue Trübungen und Punkte.

30. XI. Zartgraue Trübungsschichte scheint sich mit einem unregelmäßigen Diskontinuitätsstreifen von der Kapsel zu lösen.

9. XII. *O. d.*: Ohne Befund. *O. s.*: Unter der Kapsel eine etwa einen Teilstrich dicke Partie mit stellenweise grob sichtbarer, trüber Faserzeichnung und Punkten. Gegen die Tiefe hin ist diese veränderte Zone durch eine helle geknitterte Diskontinuitätsfläche begrenzt. Die zart getrübte Partie zeigt oben eine lanzettförmige dunkle Aussparung.

20. XII. *O. d.*: Ohne Befund. Die zarte Fasertrübung mit den Diskontinuitätsstreifen ist etwa 2 Teilstriche tief gerückt. Peripher temporal sind fast keine Trübungen vorhanden. Dort besteht allein ein heller Diskontinuitätsstreifen bei Einstellung des Reflexes. Die Schichte zwischen Kapsel und Diskontinuitätsstreifen zerstreut vermehrt das Licht und enthält Punkttrübungen.

Am 8. II. 1928 sind im bestrahlten Hautgebiet die nachgewachsenen Haare schneeweiß. Die zarte Fasertrübungsschichte mit dem Diskontinuitätsstreifen in *o. s.* liegt nun etwa 3—4 Teilstriche tief. In den darüberliegenden Schichten Punkttrübungen *o. d.* ohne Befund. Bis zum

19. IV. 1928 hat sich die Schichte mit der zarten Fasertrübung zu einer weißen Zonularkatarakt umgewandelt. Zwischen ihr und der Kapsel liegt eine Schichte mit Punkttrübungen, einzelne Vakuolen und Wasserspalten. Die Schichten zwischen der Zone und dem Kernzentrum sind klar. Die weißen Haare bestehen fort. Bis zum

28. VIII. hat sich in *o. s.* auch die ganze Schichte bis zur Kapsel total getrübt, es besteht eine subkapsuläre Vakuolenschichte. Der Kern ist noch immer klar. *o. d.*: Ohne Befund.

Nach den Erfahrungen an den ersten Ratten wurden 4 weitere Ratten mit Röntgenstrahlen behandelt, und zwar R. 5 und R. 6 mit 2000 franz. R und R. 7 und R. 8 mit je 3000 franz. R. Ratte 6 habe ich zur Beantwortung einer besonderen Frage verwendet und sie wird nachher kurz behandelt werden. Bei R. 5 war folgender Verlauf festzustellen:

Ratte 5, weiß, 45 g.

26. I. 1928. *O. d.* = *o. s.* wie Ratte I und 2. 2000 franz. R auf *o. d.*

8. II. Am bestrahlten Auge Keratitis epithelialis.

13. III. Punkte subkapsulär, keine Diskontinuitätsstreifen mehr zu sehen.

27. III. Man sieht *o. d.* etwa einen Teilstrich tief einen zarten Diskontinuitätsstreifen. Davor einige Punkte.

4. IV. Diskontinuitätsstreifen etwa $1\frac{1}{2}$ Teilstriche, zwischen ihm und der Kapsel grau lichtstreuendes Intervall mit Punkten. *o. s.*: Ohne Befund.

2. V. Diskontinuitätsstreifen ist undeutlich geworden.

20. V. Tot.

Ratte 7 und *Ratte 8* zeigen einen fast gleichen Verlauf, weshalb wir sie zusammen abhandeln.

26. I. 1928. *Ratte 7*, 70 g, weiß. *o. a.*: Linsen normal, etwa 5 Teilstriche tief zarter Diskontinuitätsstreifen, Kern wie bei den anderen Ratten. *Ratte 8*, 45 g, weiß. Linsen wie bei *Ratte 7*.

Ratte 7: 3000 franz. R auf *o. d.*; *Ratte 8*: 3000 franz. R auf *o. s.*

3. II. In der bestrahlten Partie werden die Haare spärlicher.

6. II. Keratitis epithelialis am bestrahlten Auge.

21. II. (Sub)kapsuläre Punkte am bestrahlten Auge. Faserzeichnung an der Oberfläche etwas verdeutlicht.

13. III. Am bestrahlten Auge sieht man etwa einen Teilstrich tief einen deutlichen Diskontinuitätsstreifen, Punkte immer noch subkapsulär.

27. III. Am bestrahlten Auge etwa 2 Teilstriche tief Diskontinuitätsstreifen. Zwischen ihm und der Kapsel zartgrau lichtstreuende Zone mit Punkten; bei *Ratte 8* deutlicher als bei *Ratte 7*. Subkapsulär sieht man jetzt eine Schichte mit gequollenen Fasern, auch im Lupenspiegel sichtbar. Dasselbst auch einige streifenförmige zarte Trübungen.

19. IV. Diskontinuitätsstreifen etwa 2—3 Teilstriche tief, sonst idem.

2. V. Diskontinuitätsstreifen etwa 3 Teilstriche tief, undeutlicher. Zwischen Kapsel und Diskontinuitätsstreifen zartgrau streuende Zone usw.

10. VII. Am bestrahlten Auge etwa 3 Teilstriche dicke zartgraue Zone, hinten durch einen Diskontinuitätsstreifen begrenzt. Punkte in der Zone. Die Faserzeichnung liegt zum Teil subkapsulär, zum Teil tiefer. Wo sie tiefer liegt, ist ein Diskontinuitätsstreifen nachweisbar.

28. VIII. Zone etwa 4 Teilstriche dick, mit zartem Diskontinuitätsstreifen als hintere Begrenzung. Mitten in der zartgrauen, von Punkten durchsetzten Zone an einigen Stellen deutlicher, unregelmäßiger, etwa 2 Teilstriche tief liegender Diskontinuitätsstreifen. *Ratte 8* zeigt *o. s.* (bestrahtes Auge) in der diesem Streifen entsprechenden Schichte oben einen Sektor mit Fasertrübungen.

An diesen Versuchen ist außer dem konstanten, mit einer Latenz von etwa 6 Wochen auftretenden Diskontinuitätsstreifen, welchem dann leicht veränderte Linsenschichten folgen, charakteristisch, daß bereits 8—10 Tage nach der Bestrahlung (sub)kapsulär Punkte auftreten, welche wochenlang daselbst liegen bleiben und erst, nachdem sich der Diskontinuitätsstreifen von der Kapsel gelöst hat, oder *mit* ihm in die Tiefe rücken. Es war also die Frage aufzuwerfen, ob diese Punkte den Kapselepithelien angehören und erst später zufällig mit in die Tiefe verschleppt wurden, oder ob 8 Tage nach der Bestrahlung etwa ein wochenlang andauernder Wachstumsstillstand eingetreten sei und die Punkte mit dem neu einsetzenden Wachstum in die Tiefe rückten.

Zur Entscheidung dieser Frage wurde *Ratte 6* herangezogen.

Sie war am 26. I. 1928, 45 g schwer, mit normalen Linsen wie *Ratte 1* und 2, am linken Auge mit 2000 franz. R bestrahlt worden.

Am 5. II. wurden ihr beide E. k. kauterisiert.

Am 6. II. hatte sie positives Tr. Ph.

Am 7. II. auf der Oberfläche beider Linsen massenhaft Punkttrübungen. Sie wurde mit Milchdiät weiterhin anfallsfrei gehalten und man sah, daß die tetanischen Punkttrübungen ohne Unterschied an beiden Augen in die Tiefe rückten.

Am 27. III. waren sie etwa 5 Teilstriche tief gerückt und befanden sich bereits in Auflösung. An diesem Tage sah man *o. s.* etwa einen Teilstrich tief einen deutlichen zarten Diskontinuitätsstreifen, der bis zum

2. V. etwa 2 Teilstriche tief gerückt war und undeutlich wurde.

Aus dieser Beobachtung läßt sich schließen, daß *wenigstens in den 8—10 Tagen nach der Bestrahlung* kein Sistieren des Wachstums eintritt, welche das Liegenbleiben der Punkte an der Kapsel erklärt. Es ist also anzunehmen, daß es sich bei diesen spärlichen Punkten um Veränderungen der Kapselepithelien handelt, welche zum Teil später verschleppt werden; die Mehrzahl der nachher in der Zone zwischen Diskontinuitätsstreifen und Kapsel auftretenden Punkte gehört hingegen dem Fasersystem an.

Wohl aber muß es *etwa 4 Wochen nach der Bestrahlung* zur Wachstums-minderung, wenn nicht sogar zu einem Wachstumsstillstand kommen. Denn es ist sehr auffällig, daß die nach Auftreten des Diskontinuitätsstreifens (etwa 6 Wochen nach der Bestrahlung) nachfolgenden, leicht veränderten Schichten sehr langsam an Dicke zunehmen. Während nämlich z. B. bei einer Tetanieratte von 95 g (Ratte 31 der Tetanieversuche) 2 Monate nach dem einzigen Anfall die Schichte der Trübungen etwa 5 Teilstriche tief in die Linsenrinde hineingerückt war (eine kritische Tiefe, von der aus wir bei den Tetanieratten nur noch äußerst langsames Tieferrücken beobachteten), haben unsere Röntgenratten, bei denen ungefähr beim gleichen Gewicht die ersten Diskontinuitätsstreifen als Schädigungsfolge auftraten, in 6 bzw. 8 Monaten mit den seither gebildeten Schichten erst eine Tiefe von 2—4 Teilstrichen erreicht. (Bei der zuletzt besprochenen Ratte 6 konnte vor Auftreten des Diskontinuitätsstreifen seine Dickenzunahme von 5 Teilstrichen in 3 Wochen, nachher von kaum 1 Teilstrich in 5 Wochen, festgestellt werden.)

Allgemeines Interesse verdient die lange Latenz der ersten sicheren Faser-Veränderungen von etwa 5—7 Wochen, wobei der Versuch mit Ratte 6 beweist, daß die Schädigung offenbar an den Linsenelementen erfolgte, solange sie noch Kapselepithelien waren, welche erst nachher zu Fasern auswachsen. Diese Fasern mit mäßiger sichtbarer Schädigung (zartgraue Faserzeichnung, Diskontinuitätsstreifen) werden erst, wenn sie in die tiefere Linsenrinde hineingerückt sind, immer mehr verändert, können sich völlig trüben und den totalen Zerfall der nachfolgenden Faserschichten nach sich ziehen, trotzdem die eigentliche Noxe *lange vorher ihre Wirkungen entfaltete und von ihr nichts mehr weiterwirkte*. Mir scheint dies für das Kataraktproblem wichtig zu sein.

III. Kritische Bemerkungen zu den gesamten Versuchen.

Zunächst ist zu ersehen, daß die Befunde nicht sehr zahlreich sind. Doch ist beim Hund der Zusammenhang zwischen Auftreten der Trübungen und des Diskontinuitätsstreifens so überraschend und gleichmäßig, daß hier kein zufälliges Zusammentreffen vorliegen kann. Das gleiche gilt für die Tetanie der Ratten; denn bei Tieren von 40—200 g Gewicht gibt es außer dem Kapselstreifen normalerweise nur eine einzige Diskontinuitätsfläche. Beim Kaninchen scheint es häufiger zur spontanen Bildung von Reflexstreifen zu kommen (z. B. spontane Verdoppelung des gelben Reflexes), doch müßte das regelmäßige Auftreten des Diskontinuitätsstreifens mit der Trübungsfläche mehr als eine Tücke des Objekts sein. Beim Röntgenversuch ist kein Zweifel möglich.

Es ist noch die Frage zu erörtern, ob es sich in unseren Versuchen überhaupt um echte Diskontinuitätsstreifen handelt. Wir haben a. a. O. beschrieben, daß es bei der Tetanie der Hunde und Ratten zum Auftreten gequollener Fasern kommt. Wir haben oben gezeigt, daß bei den Röntgenratten im Ablaufe der Linsenerscheinungen ebenfalls (wenn es zur Bildung eines zweiten Diskontinuitätsstreifens kommt) Faserzeichnung im durchfallenden Licht hervortritt. Ebenso ist das Auftreten von glasklaren Speichen, welche wenigstens zum Teil aus gequollenen Fasern bestehen, bei der Naphthalinkatarakt der Kaninchen bekannt. Man könnte deshalb meinen, es handle sich bei den beschriebenen Versuchen vielleicht einfach um Fasersysteme, welche gequollen sind und darum glänzen: es wäre dann vor und hinter dieser Faserlage der gleiche Brechungsindex; nur die gequollenen Fasern selbst wären anders lichtbrechend. In diesen Fällen müßte es aber zu einer Doppelschicht des Reflexes kommen, was bei der Zartheit und scharfen Begrenzung der meisten auftretenden Reflexe unwahrscheinlich ist. Auch konnten wir, besonders wenn der Diskontinuitätsstreifen einige Zeit bestand, meistens in keiner Weise mehr solche Faseränderungen nachweisen.

Wie schon oben auseinandergesetzt, liegen bei Hund, Ratte und Kaninchen die Diskontinuitätsflächen, wenn sie bei toxischen Katarakten auftreten, nie tiefer als die Trübungen, sondern wie es scheint, etwas oberflächlicher (also kapselnäher) als sie; doch sind, wenn es sich um Reflexe handelt, so feine Tiefenunterschiede nicht mit Sicherheit feststellbar.

Die Tatsache, daß wir bei der Rosettenform der Tetaniekatarakt der Ratten je einen Reflexstreifen an den beiden Platten der umgewandelten Rosette auftreten sahen, soll bei der folgenden theoretischen Überlegung nicht in Betracht gezogen werden, weil der ganze Komplex der Teilung in 2 Blättern und das Auftreten der Zonentrübung erst noch genauerer Untersuchung zu ihrer Klärung bedarf. Ich hoffe, daß dann

auch die Entstehung der zugehörigen Diskontinuitätsstreifen erhellt werden wird.

IV. Überblick und Folgerungen.

Wenn wir alles zusammenfassen, was aus den obigen Experimenten folgt, so ergibt sich der Satz:

Bei den Linsenschädigungen durch Tetanie, Naphthalin, Röntgenstrahlen entstehen mit den Schädigungen an der Linsenoberfläche Diskontinuitätsflächen. Der Satz gewinnt in der folgenden Form an Bedeutung: *Diskontinuitätsflächen können Auswirkungen von Schädigungen an der Linsenoberfläche sein.*

Dieser Satz ergibt sich als notwendige Folgerung aus unseren Versuchen und ist ohne hypothetische Elemente.

Es scheint mir wichtig, auf einen Befund hinzuweisen, welchen *A. Vogt*⁷ an menschlichen Augen erhob, die viele Jahre früher Kontusionen erlitten hatten; als deren Folge waren dünne Rosettenflächen in den Linsen aufgetreten und im Laufe der Jahre durch klares Gewebe von der Linsenkapsel abgedrängt worden. Aus den angeführten Protokollen und Zeichnungen geht hervor, daß sie meist in einer Diskontinuitätsfläche lagen (Fall 5, 6, 7, 8). Ich will hier diese Tatsachen als Parallele zu meinen Befunden erwähnen, doch kann erst die Analyse des Begriffes der „Abspaltungsfläche“ und der normalen Diskontinuitätszonen des Menschen Aufklärung darüber bringen, ob hier ein Zusammenhang wie bei unseren Versuchen besteht, d. h. ob die Schädigung eine Diskontinuitätsfläche macht oder ob nur ein zufälliges Zusammentreffen vorliegt.

Wir wollen nun weitergehen und untersuchen, ob wir unter Heranziehung bekannter Tatsachen und möglichst weniger einleuchtender Annahmen uns ein Bild von dem Mechanismus der Entstehung der Diskontinuitätsflächen machen können.

Wir wollen die bekannten Tatsachen, welche in Betracht kommen, in 2 Gruppen teilen: 1. biologische und 2. optische Tatsachen.

1. Biologische Tatsachen.

a) Von 2 Hunden gleichen Alters, die am gleichen Tage die ersten Tetaniesymptome zeigten und von denen der eine lange Zeit ununterbrochen unter Einwirkung des Tetaniegiftes stand, während der andere nur selten Tetaniesymptome aufwies, zeigte der erste ein viel geringeres Linsenwachstum als der zweite, vom Tage des ersten Anfalls an gerechnet (siehe oben).

b) Bei jungen Ratten wächst die Linse schneller als bei alten (siehe a. a. O.). Bei jungen Ratten treten nur bei starker Schädigung (Rosettenbildung) Diskontinuitätsflächen auf, während, wenn es nur zur

Ausbildung von Fleck- und Punkttrübungen kommt, bei jungen Tieren keine, bei alten hingegen eine deutliche Diskontinuitätsfläche nachweisbar wird.

e) Röntgenstrahlen wirken, wie man heute weiß, fast spezifisch wachstumshemmend, sie entfalten ihre Wirkung mit Latenz und schubweise.

d) *Vogt*⁸ und *Kast*⁹ führen als charakteristisch für entwickelte, also im Laufe vieler Jahre zur Ausbildung gekommener menschlicher Tetaniestare den abnorm geringen Durchmesser der Linse in sagittaler Richtung an.

2. Die optischen Tatsachen.

Die gründlichste und wichtigste Arbeit über die Brechungsverhältnisse der Linse bei verschiedenen Tieren in verschiedenen Altern und an verschiedenen Stellen ist von *G. Freytag*¹⁰: „Die Brechungsindices der Linse und der flüssigen Augenmedien des Menschen und höherer Tiere in verschiedenen Lebensaltern in vergleichenden Untersuchungen“, 1908. Die Untersuchungen sind mit großer Sorgfalt durchgeführt worden. Die Methode ist allerdings etwas grob, aber wir besitzen bis heute keine bessere. Darum seien auch nur die wichtigsten und gesichertesten Schlüsse von *Freytag* herangezogen.

1. Die oberflächlichste Linsenschicht hat in allen Lebensaltern am Äquator den niedrigsten Brechungsindex, von dort nimmt er nach den beiden Polen in ziemlich gleichem Maße zu, so daß diese die Stellen des höchsten Index an der Oberfläche sind.

2. Die absoluten Indexwerte der Oberfläche ändern sich während des Lebens nicht wesentlich.

3. (Bei *Freytag* 5.) Der Kernindex steigt von der Geburt bis ins höchste Alter bei Huhn, Schwein, Schaf, Ziege, Rind, Pferd und Hund nicht unbedeutend an, so daß die Differenz zwischen ihm und der Oberfläche sich ständig vergrößert.

Wir wollen noch hinzufügen, daß die Helligkeit der Reflexion unserer Diskontinuitätsstreifen, wenn sie in die Tiefe rücken, abnimmt, was *Vogt* und *G. Meyer* vom Abspaltungstreifen und den Diskontinuitätsstreifen 2. Ordnung des Menschen ebenfalls angeben.

Da das Wachstum der Linse vom Äquator der Oberfläche aus erfolgt und Linsenfaserschichten, welche im späteren Alter dem Kern angehören, einstmals in der Jugend an der Oberfläche lagen, der Kernindex der Linse bei den untersuchten Tieren aber ständig steigt, während der Oberflächenindex das ganze Leben hindurch ungefähr konstant bleibt, so muß gefolgert werden, daß die Linsenfasern, je weiter sie von der Oberfläche abrücken, um so mehr an Brechungsindex zunehmen. Diese Zunahme des Brechungsindex kann zweierlei Ursachen haben.

Einmal kann sie durch mechanische Verhältnisse in der Linse so bedingt sein, daß die Zunahme des Brechungsindex eine Funktion des Abstandes einer Faser von der Linsenoberfläche ist. Zweitens aber könnte die Zunahme des Brechungsindex eine biologische Funktion sein, d. h. vom Alter der Faser abhängen. Unter Alter wäre dann der zeitliche Abstand einer Faser von der letzten Zellteilung zu verstehen. Dafür, daß diese zweite Annahme plausibel ist, können wir folgendes anführen: Wenn wir uns den Vorgang des Linsenwachstums nach *Rabl*¹¹ ins Gedächtnis rufen, der zeigte, daß am Äquator eine Umwandlung der Kapselepithelien in Fasern erfolgt, welche von dort gegen die Nähte auswachsen, so ist klar, daß die oberflächlichste Schichte der Linse am Äquator aus jüngeren Fasern besteht als an den Polen. Fernerhin nimmt bei verhältnismäßig geringer Dickenzunahme der Linse des Menschen mit dem Alter (*Pristley*, *Smith*¹², *Dub*¹³, *Raeder*¹⁴) im allgemeinen die Sklerosierung (H_2O -Verlust) mittlerer Linsenschichten viel stärker zu.

Ruzicka (Pflügers Archiv Bd. 194, S. 153) konnte zeigen, daß mit dem Alter der Tiere ihr Eiweiß kolloidale Alterserscheinungen zeigt, d. h. leichter ausfällbar wird. Zu den Alterserscheinungen hydratisierter Kolloide gehört die Verminderung ihrer Hydratisierung und Quellbarkeit. Wir wissen seit langem, daß der Wassergehalt des Kernes der Linse geringer ist als der der Rinde. Es verlieren also die Fasern an Wasser. Mit dem Wasserverlust geht notwendigerweise eine Konzentrationszunahme der Trockensubstanz einher, mit dieser eine Erhöhung des Brechungsindex. Dementsprechend findet *Freytag* eine Zunahme des Brechungsindex in der Reihe: Linsenoberflächenäquator-Linsenoberflächenpol-Linsenkern. Die angeführten Argumente sind aber nur — darüber wollen wir uns klar sein — Wahrscheinlichkeitsargumente, denn es ließen sich wohl auch mechanische Gründe* für ein Ansteigen des Brechungsindex vom Äquator zum Pol geltend machen, wenn sie auch nicht die weitere Zunahme der Brechzahlen in der Linsentiefe gleichzeitig erklären könnten. Wir formulieren deshalb den folgenden Satz als eine sehr wahrscheinliche Annahme: *Der Brechungsindex einer Faserschichte der Linse ist eine Funktion ihres Alters (nicht eine Funktion ihres Abstandes von der Oberfläche).*

Betrachten wir nun nach dem Gesagten die Vorgänge, welche sich an der Oberfläche der Linse abspielen. Wenn die Linse wächst, so werden sich während einer bestimmten Zeit Lage auf Lage von Linsenfäsern vom Äquator zur Naht vorschieben und jede folgende Faserschichte wird sich der vorhergehenden auflagern. Jede folgende Faserschichte ist ein wenig jünger als die vorhergehende. Es wird also zwischen 2 Faserschichten, welche aufeinander liegen, ein ganz geringer Brechungsunterschied herrschen. Wenn der zeitliche Abstand der Bildung zweier solcher

* Siehe *A. Vogt*, Graefes Arch. 109, 187 (1922).

Schichten sehr gering ist, wird auch dieser Unterschied sehr klein sein, so klein, daß er nicht oder nur als Lichtzerstreuung merklich wird. Setzen wir nun, wie wir es in unseren Experimenten taten, Schädigungen, von denen für die Tetanie gezeigt werden konnte, daß sie beim Hunde das Linsenwachstum hemmt, während für die übrigen Noxen die gleiche Wirkung wahrscheinlich ist, so wird eine Pause in der normalen Aufeinanderfolge der Schichten eintreten. Während dieser Zeit wird die zuletzt gebildete Faserlage eine deutliche Zunahme ihres Brechungsindex zeigen. Folgen nun nach der Pause neue Linsenschichten in ungefähr normalen Abständen, so wird jetzt an einer Stelle der Brechungsunterschied zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schichten deutlich sprunghaft sein. Gibt es längs einer Fläche eine sprunghafte, einen Minimalwert überschreitende Änderung des Brechungsindex, so wird diese Fläche Ort eines deutlichen Reflexes, mithin eine *Diskontinuitätsfläche*.

Die Helligkeit des Reflexes ist unter sonst gleichen Bedingungen (Einfallswinkel, Lichtstärke und Polarisationszustand des benutzten Lichtes, Absorption der durchstrahlten Medien, unwesentliche Krümmungsänderungen der reflektierenden Fläche) nur noch abhängig vom Brechungsquotienten der beiden Schichten (Schichte 1: Brechungsindex

n_1 ; Schichte 2: Brechungsindex n_2) $\frac{n_2}{n_1}$.

Wir wollen uns nun die Frage vorlegen, wie denn die Zunahme des Brechungsindex der Fasern mit ihrem Alter beschaffen sein müßte, daß der Brechungsquotient zweier einander folgender Schichten konstant bliebe, mithin der Reflex einer Diskontinuitätsfläche, während ihres Weges von der Linsenoberfläche in die Linsentiefe, weder an Stärke zunehme noch abnehme. Wir wollen zur Vereinfachung der Darstellung eine Annahme machen: Linsenfaserschichten, welche in nicht großen zeitlichen Abständen nacheinander gebildet wurden, sollen dem gleichen Gesetz der Zunahme des Brechungsexponenten mit der Zeit gehorchen*. In diesem Falle kann man zwei einander im Zeitabstande a folgende Faserschichten auch als zwei Zustände *einer* Faserschichte zu verschie-

* Diese Annahme ist, wie ich glaube, nur annähernd erfüllt. Es ist sehr wohl möglich, daß die Fasern, welche im Alter gebildet werden, nach anderen Gesetzen ihr Wasser verlieren als die der jungen Linsen, und man kann sogar, von der Annahme ausgehend, daß Faserschichten mit solchem veränderten physikochemischen Verhalten sprunghaft auftreten, eine Theorie der Diskontinuitätsstreifen aufstellen. Da die Konsistenz der Linse und ihr Brechungsindex von der Kapsel zum Kern nie abnimmt, sondern im allgemeinen steigt, so müßten wir dann annehmen, daß jede Schichte, welche einer solchen sprunghaften Änderung des Lebensablaufes der Fasern folgt, langsamer Wasser verlöre als die ältere: dies müßte notwendig zu immer steigender Deutlichkeit der reflektierenden Fläche führen. Für die von uns betrachteten Diskontinuitätsflächen ist dies nicht der Fall; wohl aber wird dies öfters für den Alterskernreflex der menschlichen Linse von Vogt und seiner Schule angegeben.

denen Zeiten (t und $t + a$) betrachten. Unter dieser Voraussetzung erläutert die folgende Zeichnung, was ich meine (Abb. 6).

Auf der Abszissenachse sei die Zeit aufgetragen, welche seit der letzten Zellteilung verfloßen ist, auf der Ordinate der Brechungsindex.

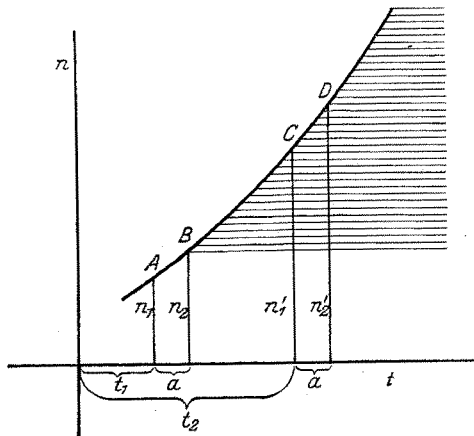


Abb. 6. Vgl. Text.

2 aufeinanderfolgende Faserschichten, S_1 und S_2 , seien mit dem Zeitunterschied a einander gefolgt. Zu einer bestimmten Zeit sei für die jüngere Schichte S_1 seit ihrer Geburt die Zeit t_1 verstrichen, für die ältere Schichte S_2 die Zeit $t_1 + a$. Ihre entsprechenden Brechungsindexe seien n_1 und n_2 . Der Brechungsquotient also $\frac{n_2}{n_1}$, der die Helligkeit des Reflexes bestimme. Zu einer späteren Zeit sei für S_1 die Zeit t_2 verstrichen, für

S_2 aber die Zeit $t_2 + a$. Nun sei der Brechungsindex von S_1 auf n'_1 , der von S_2 auf n'_2 gestiegen. Soll nun der Reflex unter sonst gleichen Bedingungen wiederum die gleiche Helligkeit wie zur Zeit t_1 haben, dann muß der Quotient $\frac{n'_2}{n'_1}$ gleich $\frac{n_2}{n_1} = m$ sein. Eine einfache mathematische Überlegung zeigt, daß das nur erfüllt ist, wenn die Zunahme des Brechungsindex mit der Zeit eine Exponentialfunktion der Zeit ist*. In unserer Zeichnung ist diese Exponentialkurve dar-

* Der Beweis ist einfach: Unsere Annahme ist, es gehöre in jedem Falle zu einem Wertepaare der x : $x_1 = x_1, x_2 = x_2 + a$ ein Wertepaar der y von der Art, daß $\frac{y_2}{y_1} = \text{konst.} = m$ ist; also $y_1 = y_1, y_2 = y_1 \cdot m$. Läßt man also die x -Werte um a wachsen, d. h. arithmetisch, dann wachsen die y -Werte geometrisch; setzen wir:

$$\begin{aligned} x_1 &= p, & y_1 &= q \\ x_2 &= p + a, & y_2 &= q \cdot m \\ x_3 &= p + 2a, & y_3 &= q \cdot m^2 \end{aligned}$$

$$x_n = p + (n - 1)a, \quad y_n = q \cdot m^{n-1}$$

allgemein $n - 1 = \frac{x - p}{a}$; also $y = q \cdot m^{\frac{x-p}{a}} = \frac{q}{m^{\frac{p}{a}}} \cdot m^{\frac{1}{a} \cdot x}$,

gestellt. Ein Blick auf die Zeichnung zeigt, daß dann, je älter die Fasern wären, um so rapider der Brechungsindex mit der Zeit zunehmen müßte. Erfolgt aber die Zunahme des Brechungsindex nach einem anderen Zeitgesetz, nämlich langsamer, dann muß die Helligkeit des Reflexes abnehmen, wenn er von der Linsenoberfläche nach der Tiefe abrückt. Dies wäre für alle Kurven der Fall, welche durch die zwei Punkte *A* und *B* und das schraffierte Gebiet unserer Abbildung gingen. In unseren oben beschriebenen Beobachtungen sahen wir, daß die Reflexfläche mit der Zeit im allgemeinen undeutlicher wurde, bei den Ratten sogar manchmal völlig schwand. Wir müssen also in diesen Fällen, für die Veränderung des Brechungsindex einer Faserschichte mit der Zeit, eine flachere Kurve als die einer Exponentialfunktion annehmen. Daß ein solcher Verlauf auch wahrscheinlicher ist, geht daraus hervor, daß für Eiweißkörper, wie für Kristalloide mit größter Annäherung das Gesetz von der linearen Beziehung zwischen Zunahme des Brechungsexponenten und Zunahme der Konzentration gilt (*Walpole*¹⁵). Das besagt, daß die gleiche Kurve, welche den Verlauf der Änderung des Brechungsindex mit der Zeit darstellt, auch die Zunahme der Konzentration einer Faser mit der Zeit versinnbildlichen würde. Einer exponentiellen Zunahme des Brechungsindex müßte also auch eine exponentielle Konzentrationszunahme entsprechen, was so gut wie ausgeschlossen ist. Darum hat, wenn der Mechanismus der Entstehung der Diskontinuitätsflächen so ist, wie ich es hier geschildert habe, die Zunahme der Reflexion in einem Diskontinuitätsstreifen mit dem Alter oder ihr Gleichbleiben eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit. Doch genug theoretische Erörterung.

Ich glaube damit vorläufig das gehalten zu haben, was die Überschrift besagte. *Bei Schädigungen der Oberfläche der Linse, also ihrer Wachstumszone, treten Diskontinuitätsflächen auf, die ihre einfachste Erklärung als Stillstände des Linsenwachstums finden.* Ich hoffe, später untersuchen zu können, ob dies die allgemeine Form der Entstehung von Reflexflächen der Linse ist oder nicht. —

Ich möchte nicht unterlassen, an dieser Stelle Herrn Prof. *Siegrist* für die freundliche Überlassung des Tier- und Bildmaterials zu danken.

V. Zusammenfassung.

1. Bei den Linsenschädigungen durch Tetanie bei Hund und Ratte, durch Naphthalin beim Kaninchen und durch Röntgenstrahlen an der

darin ist $\frac{q}{m^a} = \text{konstant} = K$; ebenso $\frac{1}{a} = r$.

Bei Einsetzen dieser Symbole erhält die Formel für *y* die Gestalt:

$$y = K \cdot m^{r \cdot x};$$

das ist eine Exponentialfunktion, was zu beweisen war.

Ratte entstehen mit den Schädigungen zugleich an der Oberfläche der Linse Diskontinuitätsflächen.

2. Es können also Diskontinuitätsflächen durch Schädigung an der Linsenoberfläche hervorgerufen werden.

3. Es wird die lange Latenz der Röntgenkatarakt der Ratte demonstriert und gezeigt, daß die Schädigung die Linsenfasern noch im Stadium der Epithelzelle trifft, während *sichtbare* Veränderungen erst erfolgen, wenn die Noxe längst zu wirken aufgehört hat; evtl. kann totale Fasertrübung erst auftreten, wenn die geschädigten Linsenelemente bereits tief in die Cortex hineingerückt sind.

4. Das Auftreten der beschriebenen Diskontinuitätsflächen läßt sich am einfachsten erklären, wenn man sie als Wachstumsstillstände der Linse deutet. Dabei muß nur die Annahme gemacht werden, daß der Brechungsindex einer Linsenfaser eine Funktion ihres Alters ist.

Literaturverzeichnis.

- ¹ Hess, C. v., Arch. Augenheilk. **51**, 375 (1905). — ² Gullstrand, A., Ber. über d. 37. Vers. d. ophthalm. Ges., Heidelberg **1911**, 374. — ³ Vogt, A., Klin. Mbl. Augenheilk. **59**, 453 (1917); **61**, 90 (1918). — ⁴ Meyer, G., Pflügers Arch. **178**, 9 (1920). — ⁵ Siegrist, A., Der graue Altersstar usw. Wien u. Berlin: Urban und Schwarzenberg 1928. — ⁶ Goldmann, H., Graefes Arch. **122**, 146 (1929). — ⁷ Vogt, A., Graefes Arch. **109**, 154 (1922). — ⁸ Vogt, A., Atlas usw. **1921**, 116. — ⁹ Kast, H., Z. Augenheilk. **59**, 357 (1926). — ¹⁰ Freytag, G., Die Brechungsindices der Linse und der flüssigen Augenmedien der Menschen und höherer Tiere in verschiedenen Lebensaltern in vergleichenden Untersuchungen. Wiesbaden: Bergmann 1908. — ¹¹ Rabl, C., Über den Bau und die Entwicklung der Linse. Leipzig: Engelmann 1900. — ¹² Priestley Smith, Trans. ophthalm. Soc. **1883**. — ¹³ Dub, B., Graefes Arch. **37**, H. 4, 26 (1891). — ¹⁴ Raeder, I. G., Graefes Arch. **110**, 73 (1922). — ¹⁵ Walpole, G. S., Kolloid-Z. **13**, 241 (1913).