

## Zur Anatomie des Glaskörpers

Georg Eisner

Universitäts-Augenklinik, Bern (Direktor: Prof. P. Niesel)

Eingegangen am 28. Juni 1974

### Gross Anatomy of the Vitreous Body

*Summary.* The anatomical arrangement of vitreous structures in human and animal eyes is described on the basis of coinciding findings of histological examinations, biomicroscopy and the "optical dissection" of unfixed vitreous specimens.

The "funnel" of the primary vascular vitreous disappears completely during development. The vitreous cavity is filled with secondary vitreous. Its structure is nearly homogeneous, containing "holes" of low density at all sites where the structure of a normal inner retinal surface is altered.

During postnatal development the secondary vitreous forms a new funnel system, consisting of zones of different density and of membranelles (vitreous tracts).

Before completion of this funnel system, destruction of the vitreous gel begins and confuses the typical arrangement.

Postnatal vitreous structures include:

zones of different density: preretinal zone, intermediary zone, retrolental zone;

holes (of low density): prepapillary hole, prefoveal hole, prevascular fissures, preanomaly holes at the ora serrata, cicatricial holes, degenerative holes;

vitreous tracts (of high density): preretinal tract, median tract, coronary tract, retrolental tract ("hyaloid" tract).

The pattern of the "holes" strongly suggests that the framework is formed by retinal elements.

*Zusammenfassung.* Aufgrund der übereinstimmenden Befunde der histologischen Untersuchungen, der Biomikroskopie und der optischen Glaskörpersektion werden die Strukturformationen des Glaskörpers beschrieben.

Das Trichtersystem des primären Glaskörpers bildet sich im Verlauf der Entwicklung vollständig zurück. Der Glaskörperraum wird von sekundärem Glaskörper ausgefüllt. Dieser ist anfänglich homogen strukturiert.

Im Verlaufe des Lebens entwickelt sich ein neues trichterförmiges System, bestehend aus Zonen unterschiedlicher Dichte und Membranellen (Tractus vitreales). Noch während sich dieses Strukturmuster ausbildet, setzt schon die Glaskörperdestruktion ein und verwischt das Bild.

Der Glaskörperraum wird durchzogen von Zonen mit niedriger Struktur-dichte; deren räumliche Anordnung deutet auf ein appositionelles Glaskörperwachstum, bei dem die dichten Strukturen durch retinale Elemente gebildet werden.

### 1. Methodische Probleme

Ob im Glaskörper anatomisch vorgebildete Strukturen vorhanden sind, ist seit langem umstritten. Zwar sind noch im ersten Viertel dieses Jahrhunderts Beobach-



tungen mitgeteilt worden, die für eine differenzierte anatomische Gliederung der Glaskörperstrukturen sprechen (Szent-Györgyi, Jokl u.a.). Doch traten Zweifel auf, als sich die Kenntnisse über die Eigenschaften von Gelen entwickelten. Der von jeher bestehende Verdacht, es könne sich bei den „Glaskörperstrukturen“ um Fixationsartefakte handeln, wurde verstärkt, als gleichartige Strukturen in unbelebten, künstlich erzeugten Seifengelen beobachtet werden konnten. Vielerorts wurde deshalb die Auffassung vertreten, der Glaskörper sei ein amorphes Gel (s. Duke Elder, Lauber).

Wenn von einer Glaskörperanatomie die Rede sein soll, muß als erstes der Einwand entkräftet werden, daß die erkennbaren „Strukturen“ Zufallsprodukte oder Artefakte sind. Einen Weg dazu bietet die spaltlampenmikroskopische Untersuchung lebender Augen. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß es biomikroskopische Untersucher waren, die stets eine anatomische Gliederung des Glaskörpers postuliert hatten. Auch wenn sie sich der Schwierigkeiten, aus optischen Phänomenen Schlüsse auf die zugrunde liegenden Strukturen zu ziehen, durchaus bewußt waren, so fiel ihnen doch auf, daß bestimmte Formationen so regelmäßig und in gleicher Anordnung vorkamen, daß es sich unmöglich um Zufallsprodukte handeln konnte.

Allerdings ist es unter biomikroskopischen Beobachtungsbedingungen unmöglich, ein Gesamtbild der Glaskörperstruktur zu erhalten. Der Untersucher sieht lediglich Einzelausschnitte im Spiegel des Kontaktglases, die er zu einem Ganzen zusammenfügen muß (Abb. 1). Ein Versuch, aus den teils direkt, teils spiegelbildverkehrt gesehene Ausschnitten ein Gesamtbild zu synthetisieren, ist nicht leicht. Zudem sind die Beleuchtungsbedingungen keineswegs ideal, denn der Winkel zwischen Beobachtungs- und Beleuchtungsstrahl ist klein, und die hinteren Glaskörperabschnitte sind wegen des reflektierten Retinallichtes ohnehin kaum zu beurteilen.

Diese Schwierigkeiten umgeht man bei der Spaltlampenuntersuchung des Glaskörpers in unfixierten Autopsieaugen (optische Glaskörpersektion). Um hier Fehlinterpretationen zu vermeiden, muß allerdings als erstes bewiesen werden, daß die Befunde keine postmortalen Artefakte darstellen. Daß dies nicht der Fall ist, ergibt sich aus dem Vergleich von Befunden im lebenden Auge (Biomikroskopie) mit Befunden der Glaskörperautopsien: sie stimmen miteinander völlig überein.

Die Einzelbilder im Kontaktglas lassen sich zwanglos zusammenfügen zu dem Gesamtbild, das man in Autopsieaugen erkennt. Zwar differiert dieses vom Schema, das Busacca seinerzeit aufgrund von biomikroskopischen Einzelausschnitten zusammengestellt hat. Wenn man sich aber vergegenwärtigt, welche Teile der wirklichen Glaskörperstruktur Busacca überblicken konnte, versteht man leicht, wie er zu seiner Interpretation kam, die — wenn auch nicht völlig richtig — so doch aufgrund der zur Verfügung stehenden Beobachtungsmöglichkeiten durchaus plausibel war (Abb. 1).

So bleibt noch zu überprüfen, ob die Befunde des fixierten und des unfixierten Glaskörpers übereinstimmen. Vergleicht man die histologi-



schen Bilder, die mit sorgfältiger Fixationstechnik gewonnen wurden (z.B. Szent-Györgyi) mit den optischen Schnitten durch den unfixierten Glaskörper, so findet man praktisch identische Strukturmuster. Die färbaren Strukturen zeigen die gleiche Anordnung wie die Strukturen, die in Spaltbeleuchtung Streulicht erzeugen (Abb. 2). Die Übereinstimmung ist in Anbetracht der Verschiedenheit der angewandten Methodik erstaunlich gut.

Die optische Glaskörpersektion schließt damit die Lücke zwischen der biomikroskopischen und der histologischen Untersuchung des Auges. Überdies verschafft sie Vorstellungen über die räumliche Strukturordnung, wie sie sich mit andern Methoden nicht gewinnen lassen. Sie hat den großen Vorteil der stereoskopischen Betrachtungsmöglichkeit. Zudem kann man den Lichtspalt in beliebiger Richtung einfallen lassen, oder gar mehrere Lichtspalte gleichzeitig verwenden. Dasselbe Präparat kann deshalb in verschiedenen Richtungen (optisch) geschnitten werden.

Die Ergebnisse der optischen Glaskörpersektion stützen die Auffassung, daß eine Glaskörperanatomie existiert. Die sichtbaren Glaskörperstrukturen sind artspezifisch und haben eine charakteristische Altersentwicklung. Im folgenden sollen unsere heutigen Kenntnisse über die Glaskörperanatomie zusammengefaßt werden. Sie basieren auf den histologischen Untersuchungen von Szent-Györgyi und Jokl, auf biomikroskopischen Beobachtungen (Vogt, Goldmann, Busacca) und auf den Ergebnissen der optischen Glaskörpersektion (Eisner).

## 2. Die Strukturen des Glaskörpers

Die gelartige Extracellulärschubstanz des Glaskörpers besteht aus einer hochgradig verdünnten Lösung aus Salzen, löslichen Plasmaproteinen und Hyaluronsäure, die einen lockeren Faserschwamm aus unlöslichen Proteinen durchsetzt. Elektronenmikroskopisch lassen sich feinste Kollagenfibrillen nachweisen. Sie sind unregelmäßig angeordnet, haben eine Periodizität von 120—300 Å und einen Durchmesser von 100—200 Å (Balasz). Ihre Dimensionen liegen also weit unter der Sichtbarkeitsgrenze. Was wir mit schwacher Vergrößerung, sei es mit der Spaltlampe, sei es im histologischen Präparat, als „Struktur“ sehen, ist wahrscheinlich das Resultat einer unterschiedlich dichten und unterschiedlich regelmäßigen Anordnung der submikroskopischen Fibrillengruppen.

Zu beachten ist, daß die optischen Phänomene abhängig sind vom Winkel zwischen Beobachtungs- und Beleuchtungsstrahl, denn sie beruhen teils auf Reflexion, teils auf Lichtstreuung.

Im folgenden verwenden wir zur makroskopischen Beschreibung der Glaskörperbefunde folgende Begriffe:

Als *strukturdicht* bezeichnen wir, was bei Spaltlampenbeleuchtung homogen milchig trüb aussieht. Im histologischen Präparat erscheinen solche Zonen als dreidimensionales, fein gewobenes Maschennetz aus feinsten Fasern. Strukturdichte





Abb. 1. Gegenüberstellung von biomikroskopischen Interpretationen und Ergebnissen der optischen Glaskörpersektion (Mensch). Links: Anordnung der Tractus vitreales bei optischer Glaskörpersektion. Rechts: Schema von Busacca (Interpretationen basierend auf Einzelausschnitten biomikroskopischer Untersuchungen). Aufgrund der Ausschnitte, die man im Glaskörper mit dem Kontaktglas übersieht (links), wirkt die Interpretation von Busacca (rechts) durchaus plausibel. Tatsächlich aber besteht weder eine „zone des sacs“ noch ein „système de la lame principale“.



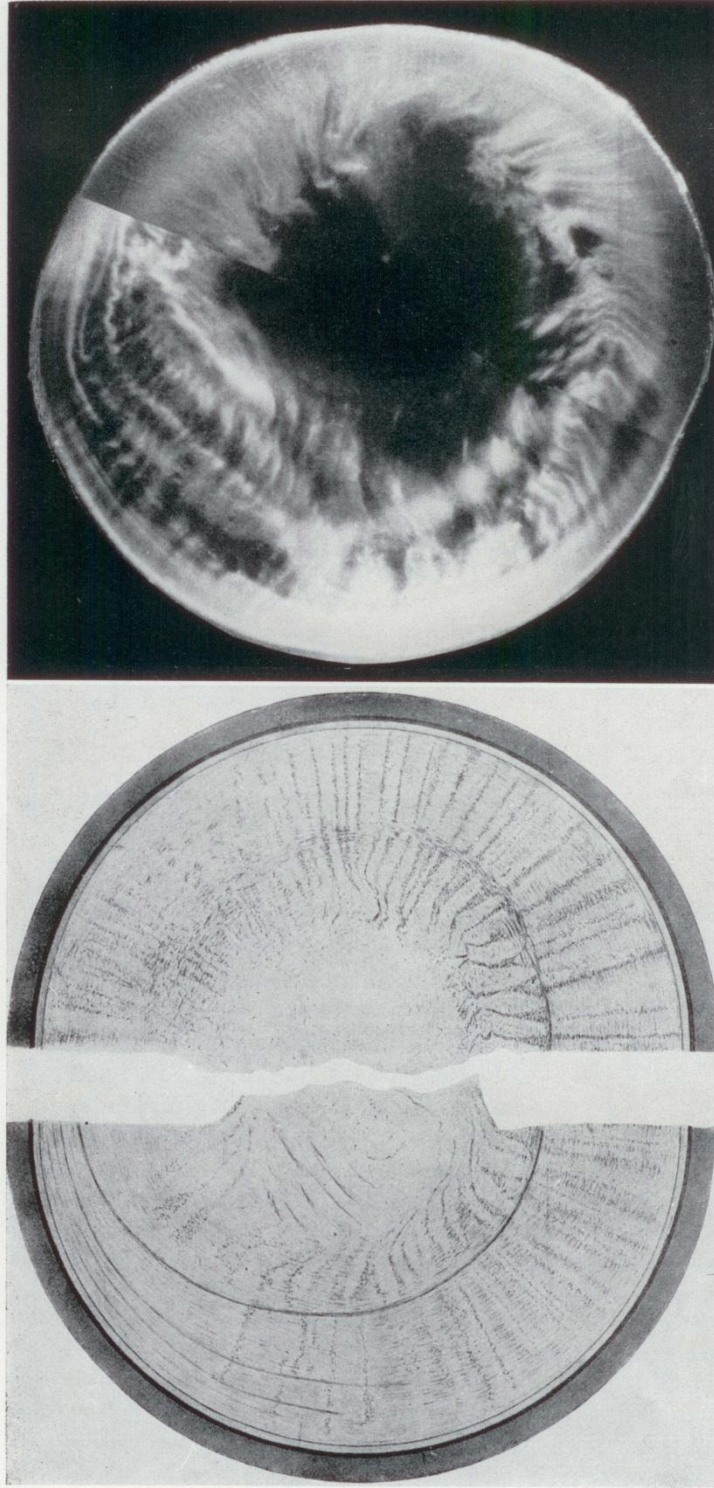


Abb. 2. Gegenüberstellung von histologischem Schnitt und Ergebnissen der optischen Glaskörpersektion (Mensch). Links: Zusammengesetzter histologischer Schnitt (Szent-Györgyi) in der Frontalebene, der rechts die hinteren, links die vorderen Glaskörperabschnitte umfaßt, d.h. quasi spiralg durch den Glaskörper zieht. In den hinteren Teilen ist noch die infantile Radiärstruktur vorhanden, in den vorderen haben sich bereits Tractus vitreales ausgebildet, deren Trichter im Schnitt als konzentrische Kreise imponieren. Rechts: Optischer Schnitt durch ein unfixiertes Glaskörperpräparat in gleicher Schnittrichtung. Die optisch dichteren Strukturen welche Streulicht erzeugen, erscheinen im Bild hell, die transparenten Räume hingegen — da gegen einen schwarzen Hintergrund photographiert — dunkel. Die Anordnung der optisch dichteren Strukturen folgt dem Muster der färbaren Strukturen im histologischen Präparat



Glaskörperpartien sind etwas derb, haben eine prallelastische Konsistenz und lassen sich schneiden (Abb. 5).

Als *strukturarm* bezeichnen wir Glaskörperpartien, die mit Spaltlampenbeleuchtung völlig transparent (optisch leer) erscheinen (Abb. 6). Histologisch findet man entweder gar keine Fasern, oder lediglich ein lockeres Fasergerüst. In ihrer Konsistenz erweisen sich solche Partien als halbflüssig, fadenziehend. In „strukturarmen“ Gebieten mögen auch reine Flüssigkeitshöhlen vorhanden sein; sie lassen sich aber optisch von den halbflüssigen Arealen nicht differenzieren.

Als *Membranellen* bezeichnen wir dünne, dicht strukturierte Schichten. Sie reflektieren stark und sind meist fein gefältelt (Abb. 7). Histologisch erscheinen sie als dünne, faserige Lamellen. Mechanisch zeigt sich ihre erhöhte Dichte an ihrer Fähigkeit, Traktionen zu übertragen. Zudem zeigt die klinische Untersuchung, daß sie als Barrieren die Ausbreitung corpusculärer Substanzen im Glaskörper behindern.

Als *Fasern* werden Strukturverdichtungen bezeichnet, die — im makroskopischen Bereich — fadenförmig erscheinen. Sie bilden gestreckte oder gequirelte Stränge, sind manchmal verzweigt oder fiedrig und können gelegentlich sogar wattebauschartige größere Konglomerate bilden.

### 3. Der Grundbauplan des Glaskörpers

#### 3.1. Die Zonengliederung

Der Glaskörper läßt sich unterteilen in 3 Zonen (Abb. 3), die trichterförmig von der Papille ausgehend sich nach vorne öffnen:

- eine präretinale Zone
- eine intermediäre Zone
- eine retrolentale Zone.

1. Die *präretinale Zone* bedeckt schalenförmig den Glaskörper in den Gebieten, wo er an die Netzhaut grenzt, und endet an der Ora serrata. Sie ist homogen strukturiert und enthält normalerweise keinerlei Membranellen.

2. Die *intermediäre Zone* öffnet sich nach vorn gegen den Ciliarkörper und gegen diejenigen Teile der vorderen Glaskörpergrenzmembran, die den kammerwasserhaltigen prävitrealen Raum begrenzen. Sie enthält charakteristische Membranellensysteme, sog. Tractus vitreales.

3. Die *retrolentale Zone* öffnet sich nach vorn gegen diejenigen Abschnitte der vorderen Glaskörpergrenzmembran, die in der Fossa patellaris der Linsenrückfläche anliegen. Sie ist homogen strukturiert und enthält keine Tractus, sondern lediglich den schmalen, schlauchartigen präpapillären Kanal.

Die 3 Zonen können verschiedene Strukturdichten aufweisen, wobei die Verteilung artspezifisch ist. Bei den bisher untersuchten Species wurden 4 Typen beobachtet (Abb. 4).

I. *Der strukturdicke Typus*. Der ganze Glaskörper ist homogen strukturiert (Rind, Schaf, Schwein) (Abb. 5, Abb. 13).

II. *Der strukturarme Typus*. Der ganze Glaskörper ist strukturarm (Pferd, Kaninchen) (Abb. 6).



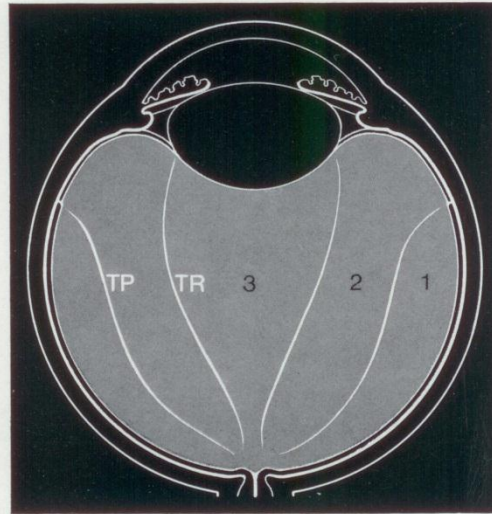


Abb. 3. Schema des Glaskörperaufbaus. Zonengliederung: 1 präretinale Zone, 2 intermediäre Zone, 3 retrolentale Zone. Die Zonen sind begrenzt durch den Tractus präretinalis (TP), resp. den Tractus retrolentalis (TR)

III. *Der Rinden-Typus (gemischter Typus)*. Die präretinale Zone ist dicht strukturiert, die Zonen des Glaskörperzentrums sind strukturarm (Mensch, einige Primaten) (Abb. 7).

IV. *Der Kerntypus (gemischter Typus)*. Die retrolentale Zone ist strukturdicht, die beiden peripheren Zonen sind strukturarm (Katze, Hund) (Abb. 8).

Ein gemischter Typus, bei dem einzig die Intermediärzone strukturdicht wäre, wurde bisher nicht beobachtet. Vielmehr ist die Intermediärzone in Augen, die strukturarme Zonen enthalten, stets ebenfalls strukturarm.

### 3.2. Die strukturarmen Formationen („Lücken“)

Der Glaskörperraum wird durchzogen von strukturarmen Formationen, die eine charakteristische Anordnung aufweisen. Sie bilden gewissermaßen einen dreidimensionalen Abklatsch all derjenigen Gebilde, die die normale Retinainnenfläche unterbrechen (Abb. 9):

a) Primär angelegte Lücken:

Vor der Papille (präpapilläre Lücke resp. Kanal).

Vor der Fovea (resp. Area) centralis (präfoveale Lücke).

Vor den Gefäßen (prävasculäre Spalträume).

Vor Anomalien der Ora serrata-Gegend (Präanomalie-Lücken).

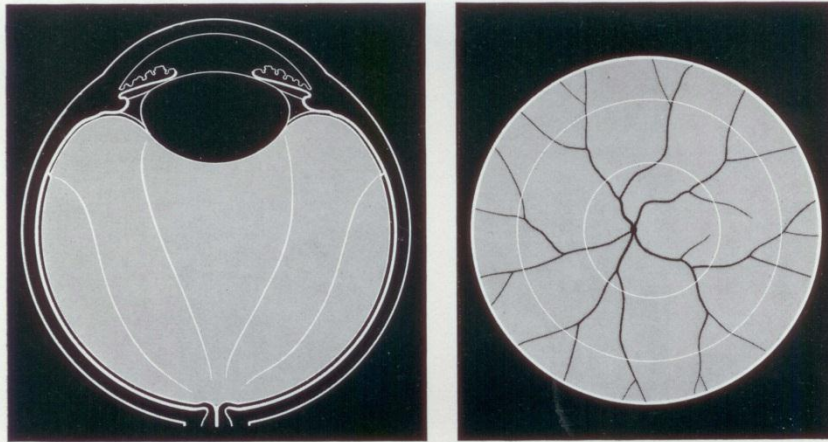


Abb. 4a

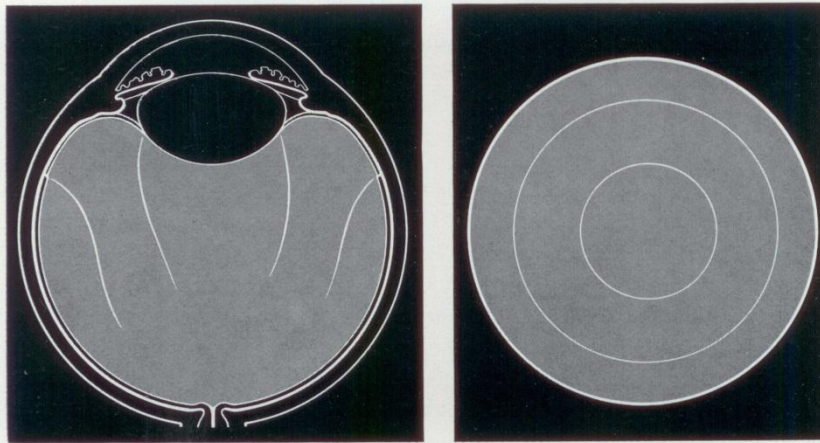


Abb. 4b

Abb. 4a—d. Unterschiedliche Verteilung der Dichtigkeitszonen bei verschiedenen Species (Schema). Links: Sagittalschnitt, rechts: Frontalschnitt. (a) strukturdichter Typus, (b) strukturarmer Typus, (c) Rindentypus: die präretinale Zone ist strukturdicht, (d) Kerntypus: die retrolentale Zone ist strukturdicht. Die sog. Lücken sind nur in den strukturdichten Zonen sichtbar.

b) Sekundär entstandene Lücken:

Vor entzündlichen Narben (cicatrizielle Lücken).

Vor degenerativen Läsionen (degenerative Lücken).

Die Lücken fehlen in den Augen, in denen die entsprechenden Veränderungen der Retininnenfläche nicht vorkommen. So findet man



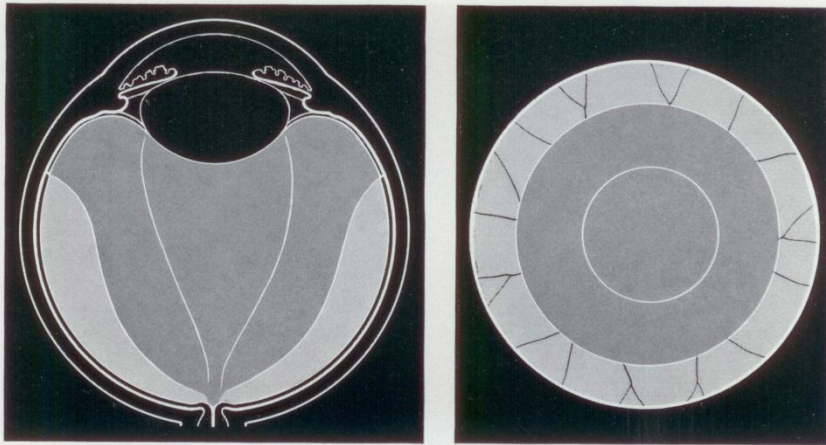


Abb. 4c

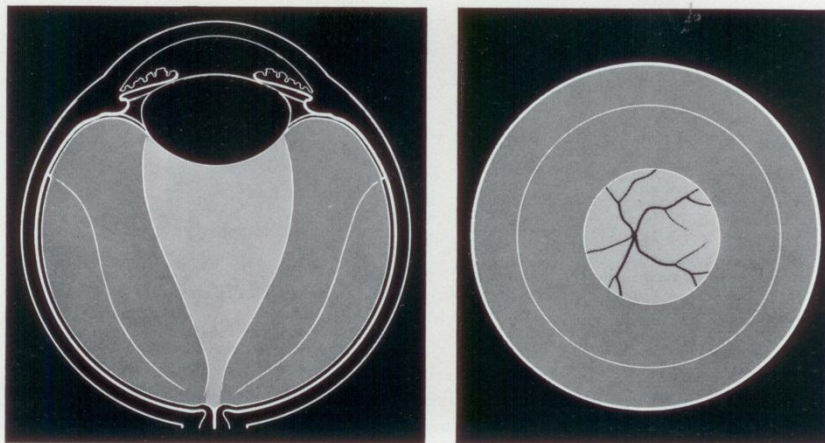


Abb. 4d

keine Präanomalie-Lücken der Ora serrata-Gegend, wenn der Netzhautrand glattrandig verläuft. Die präfoveale Lücke fehlt, wo keine Fovea ausgebildet ist.

Die Lücken sind nur dort sichtbar, wo die Umgebung einen Kontrast bildet. In strukturarmen Zonen sind sie nicht erkennbar. Ein genaueres Studium ihres Verlaufes ist nur möglich im strukturdichten Glaskörper (Typus I). Hier läßt sich zeigen, daß die prävasculären Lücken eindeutige Spalten darstellen und keineswegs etwa Gefäßreste sind (Abb. 11). Die präpapilläre Lücke bildet einen Schlauch.



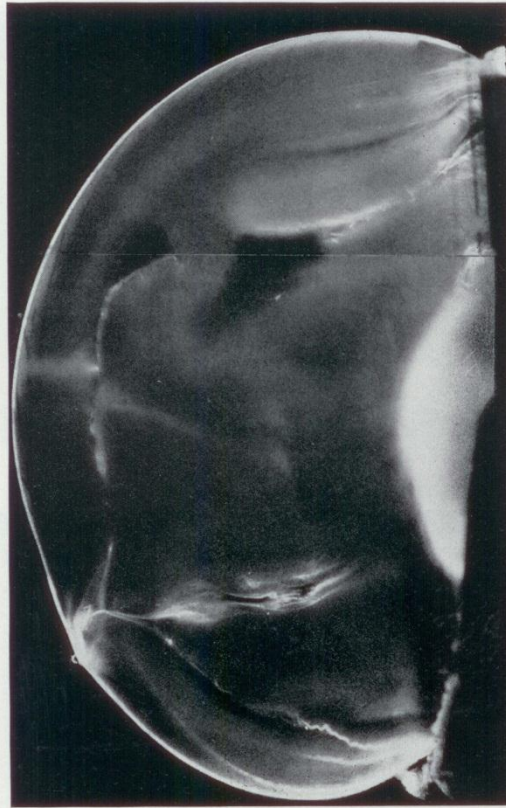


Abb. 5a

Abb. 5. Strukturdichter Typus (Rind, 7jährig) a optischer Sagittalschnitt, b Frontalschnitt. Der ganze Glaskörper erscheint trübe. Der präpapilläre Kanal und die Tractus vitreales durchziehen den Glaskörperraum. In der oberen Bulbushälfte sind bereits Destruktionshöhlen entstanden. Im Frontalschnitt erkennt man die verzweigten prävasculären Spalträume. Abb. 6. Strukturarmer Typus (Pferd, 4jährig). a optischer Sagittalschnitt, b Frontalschnitt. Der Glaskörper ist transparent und erzeugt auch bei breitem Lichtspalt kaum Streulicht. Ein horizontaler Tractus, der sich hinter der Linse stark auffaltet, ist die einzig sichtbare Struktur im Glaskörper. Die Papille wurde auf dem Präparat belassen und erscheint im Frontalschnitt als Scheibe im Zentrum des Präparates. *OF* Breiter Lichtspalt auf der Oberfläche des Glaskörpers. Abb. 7. Rindentypus (Mensch, a 53jährig, b 35jährig) a optischer Sagittalschnitt, b Frontalschnitt. In den vorderen Abschnitten sind die Tractus vitreales deutlich ausgebildet (*TR* Tractus retrolentalis, *TP* Tractus präretinalis, *TM* Tractus medianus). In den hinteren Abschnitten bereits ausgeprägte Glaskörperdestruktion. Abb. 8. Kerntypus (Katze, 5jährig) a optischer Sagittalschnitt, b Frontalschnitt. Die Oberfläche der transparenten Rinde ist stellenweise kaum sichtbar und wurde zur Verdeutlichung mit einer gestrichelten Linie markiert. Die retrolentale Zone wird vom Tractus retrolentalis (*TR*) begrenzt. In der optisch homogenen Retrolentalzone sieht man den präpapillären Kanal (*PC*), von dem aus noch angedeutete prävasculäre Spalträume ausgehen. In der unteren Hälfte wurde Netzhaut (*NH*) auf dem Präparat belassen



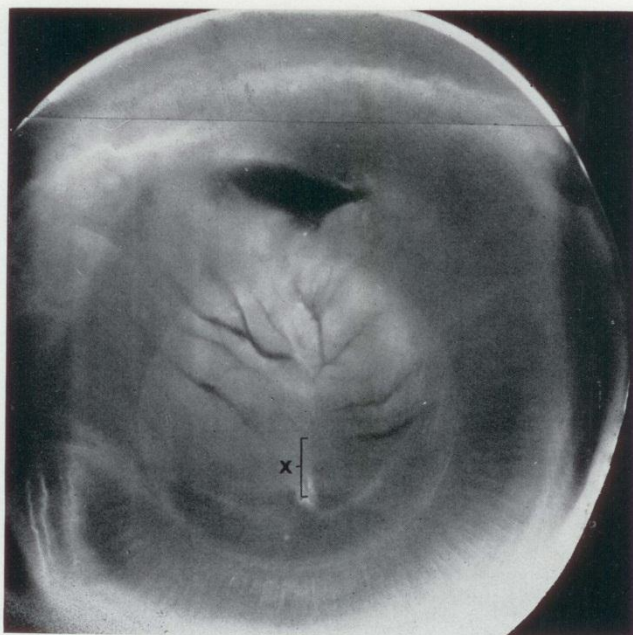


Abb. 5 b

### 3.3. Die Membranellensysteme

Diejenigen Membranellensysteme, die einem genetisch angelegten Bauprinzip folgen, werden als Tractus vitreales bezeichnet.

Aufgrund der Befunde beim Menschen haben wir früher (Eisner, 1971) die Tractus vitreales als Tractus intermedii, d.h. Tractus der Intermediärzone, bezeichnet, in der Annahme, daß sich bei andern Species ähnliche Formationen vielleicht auch in andern Zonen nachweisen ließen. Indessen hat sich gezeigt, daß bei allen untersuchten Tieren die genetisch angelegten Tractus in der Intermediärzone verlaufen, so daß man sie generell als Tractus vitreales bezeichnen darf.

Die Tractus vitreales haben eine typische Verlaufsform. Sie bilden ineinandergeschachtelte Trichter, die von der Papillengegend, resp. von den hinteren Abschnitten des präpapillären Kanals ausgehend, den Glaskörperraum durchziehen und vorne an charakteristischen Stellen inserieren. Beim Menschen sind es diejenigen Stellen, an denen der Glaskörper stärker an seiner Umgebung fixiert ist.

Aufgrund dieser bestimmten Zuordnung kann man die ausgeprägteren Tractus, die definierte anatomische Gebilde darstellen, nach ihren Insertionsstrukturen bezeichnen.

An der *Ora serrata* endet der *Tractus präretinalis*.

Als *Tractus medianus* bezeichnen wir den Membranellen-Trichter, der zum *Ligamentum medianum* (hinteres orbiculäres Zirkulärband nach





Abb. 6a (Legende s. S. 42)

Daicker) zieht, einem zirkulären Zonulafaserband, das etwa in der Mitte der Pars plana des Ciliarkörpers verläuft.

Als *Tractus coronarius* bezeichnen wir den Membranellen-Trichter, der zum *Ligamentum coronarium* (Salzmann'sches Band, vorderes orbiculäres Zirkulärband nach Daicker) zieht, einem Band zirkulärer Zonulafasern über dem hinteren Drittel der Corona ciliaris.

Als *Tractus retrolentalis* bezeichnen wir die Membranellen, die zum *Linsenrand* ziehen, wo der Glaskörper angeheftet ist. Hier sind ebenfalls zirkuläre Zonulafasern („Ligamentum retrolentale“) beobachtet worden (Spee). Der *Tractus retrolentalis* wird auch als *Plicata* (Vogt) oder als *Tractus hyaloideus* bezeichnet (s. unten).

Die Zuordnung der *Tractus* zu zirkulären Zonulafaserbändern, die beim Menschen auffällt, ist bei andern Species weniger eindeutig. Ein *Tractus medianus* findet sich noch beim Rind, wo auch ein *Ligamentum medianum* zu existieren scheint. Bei andern Tierarten sind die Verhält-



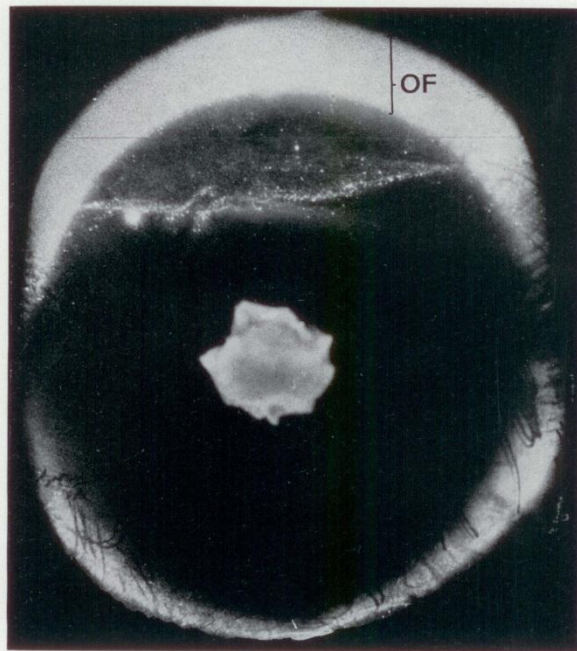


Abb. 6 b (Legende s. S. 42)

nisse weniger übersichtlich. Zur genauen Klärung sind weitere Untersuchungen notwendig.

Ein *Tractus präretinalis* und ein *Tractus retrolentalis* wurden indessen bei allen untersuchten Species gefunden. Sie begrenzen die Intermediärzone nach außen, resp. nach innen. Beim gemischten Typus, wo die Intermediärzone stets zum strukturarmen Teil gehört, wird daher die Grenze zwischen strukturarmer und strukturreicher Zone gebildet (Abb. 4)

beim Kerntypus: vom Tractus retrolentalis

beim Rinden-Typus: vom Tractus präretinalis.

#### 4. Postnatale Entwicklung des Glaskörpers

Der primäre vasculäre Glaskörper bildet sich beinahe völlig zurück und hinterläßt nur angedeutete Residuen vor der Papille und an der Linsenrückfläche (Rudimente der Arteria hyaloidea, Linea arcuata Vogt). Dieser Prozeß wird bei einigen Species noch vor der Geburt, bei andern erst danach abgeschlossen. Der Glaskörperraum wird dann erfüllt von sekundärem Glaskörper. Dieser ist homogen und dicht strukturiert und enthält lediglich die charakteristischen Lücken (Abb. 10).



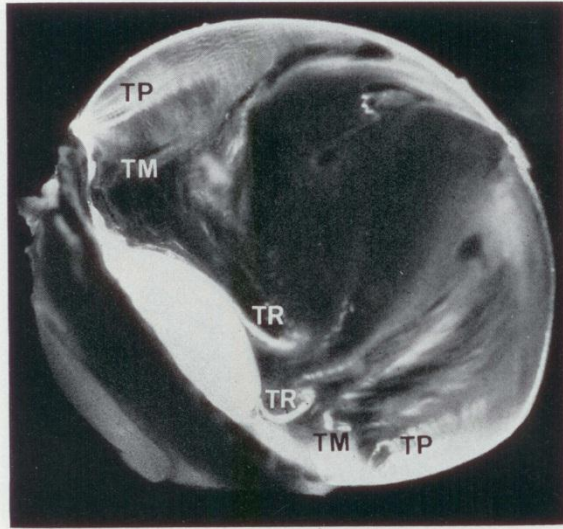


Abb. 7 a (Legende s. S. 42)

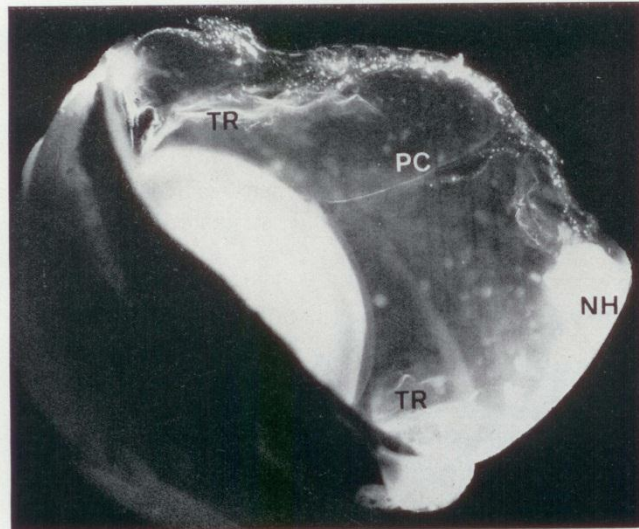


Abb. 8 a (Legende s. S. 42)





Abb. 7b (Legende s. S. 42)

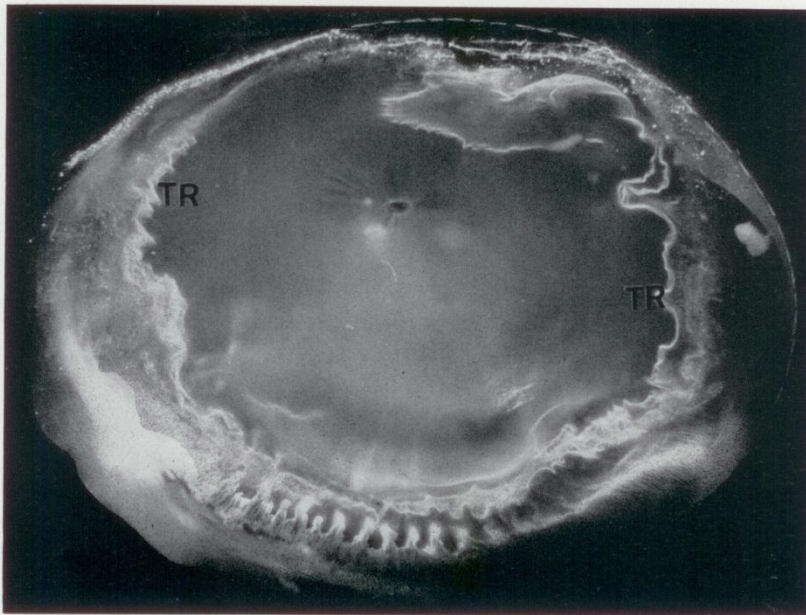


Abb. 8b (Legende s. S. 42)



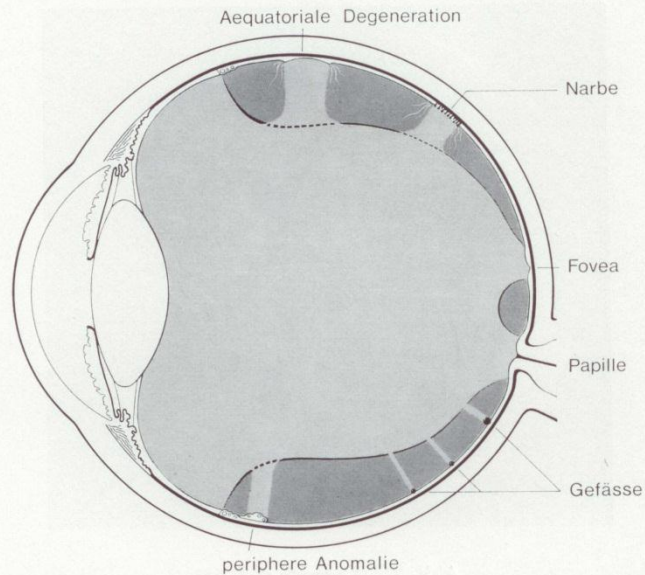


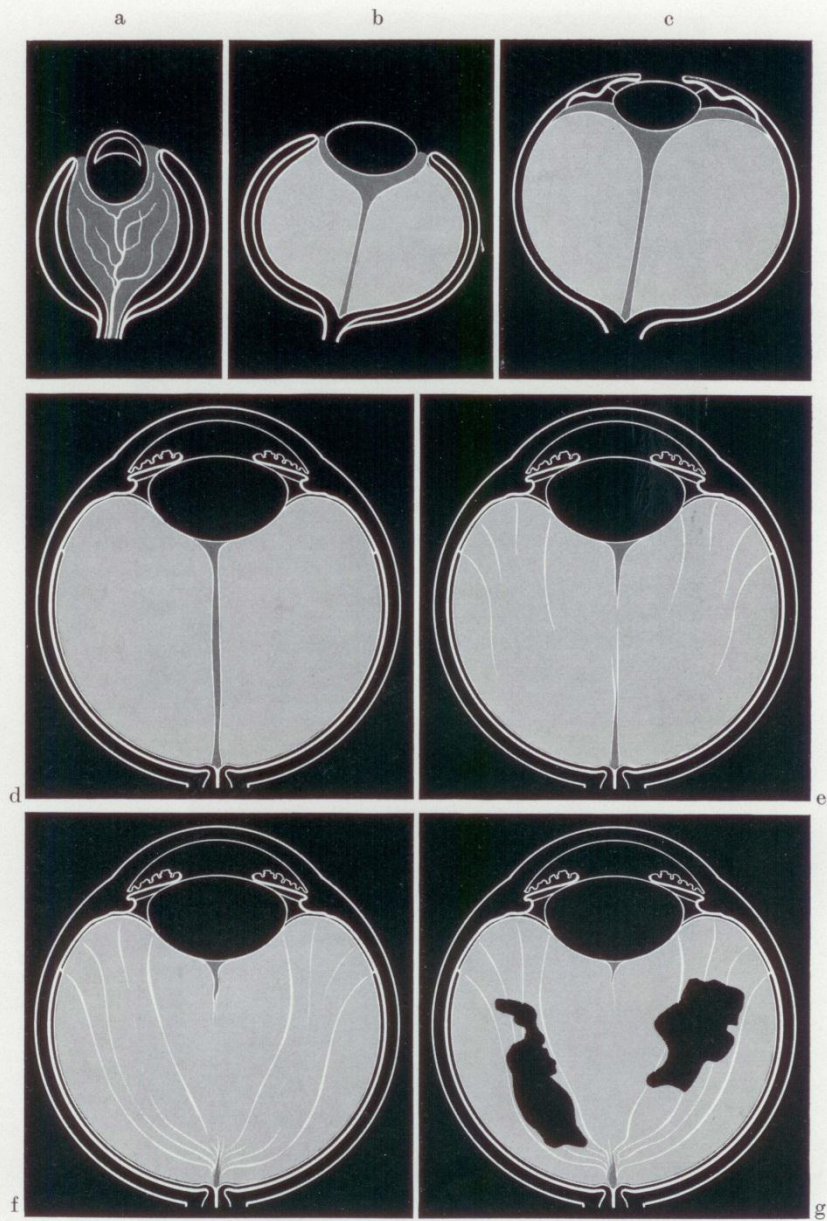
Abb. 9. Strukturarme Lücken im Glaskörper des Rindentypus (Schema)

In der unmittelbar postnatalen Phase sieht also der Glaskörper bei verschiedenen Species praktisch gleich aus. Erst in späteren Altersstufen manifestieren sich die artspezifischen Unterschiede.

Im Verlauf des postnatalen Wachstums entstehen die *Zonen* von geringerer Strukturichte. In ihrem Bereich verschwinden nun die Glaskörperlücken. Beim Rinden-Typus (z.B. Mensch) werden demnach im Zentrum die Gefäßspalten und der präpapilläre Kanal unsichtbar; in der präretinalen Zone („Rinde“) hingegen bleiben die Lücken bestehen (Abb. 4c). Im Gegensatz dazu verschwinden beim Kerntyp die Lücken in der präretinalen und Intermediärzone, persistieren aber in der retrolentalen Zone, im „Kern“ (Abb. 4d).

Abb. 10a—g. Entwicklung des Glaskörpers. (a—c) pränatale Entwicklung (nach Ida Mann), (d—g) postnatale Entwicklung. Dunkelgrau primärer Glaskörper, hellgrau sekundärer Glaskörper. (a) Primärer gefäßhaltiger Glaskörper erfüllt den Glaskörperraum. (b) Entstehung des sekundären Glaskörpers. Der primäre Glaskörper ist nur noch in einer trichterförmigen Zone im Zentrum vorhanden. (c) Der sekundäre Glaskörper nähert sich der Linse. (d) Kleinkind. Der primäre Glaskörper bildet nur noch einen schmalen Schlauch, der die Linse mit der Papille verbindet. Der sekundäre Glaskörper ist homogen dicht strukturiert. (e) Jugendlicher. Der primäre Glaskörper hat sich weitgehend aufgelöst, mit Ausnahme einiger kleiner prä-





papillärer und retrolentaler Residuen. Im sekundären Glaskörper beginnt in den vorderen Abschnitten die Ausbildung der Tractus vitreales. (f) Erwachsener. Die Tractus vitreales erstrecken sich bis zur Papillengegend. (g) Im höheren Alter entwickeln sich Destruktionshöhlen



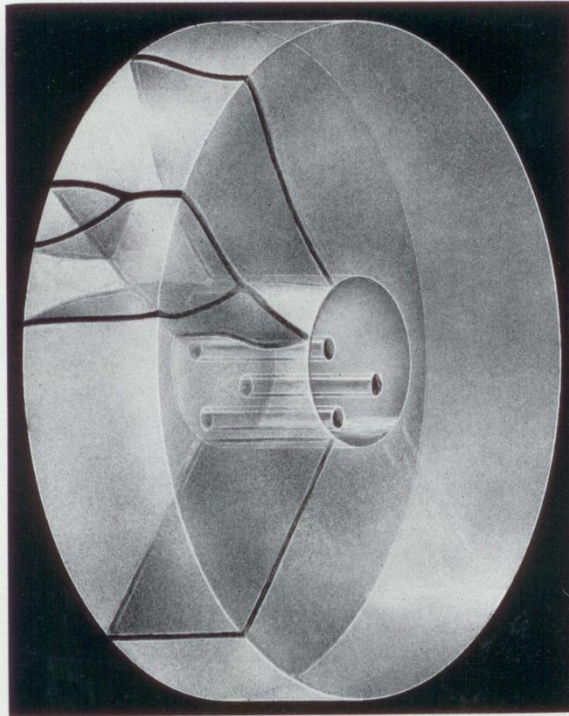


Abb. 11 a

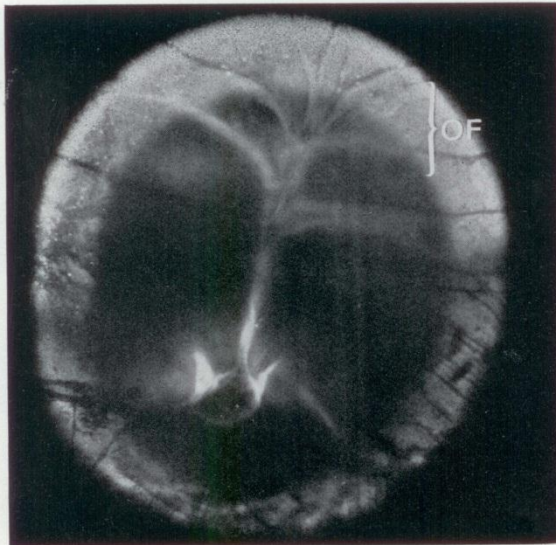


Abb. 11 b



Auch die *Tractus vitreales* entwickeln sich erst im Laufe der Jahre. Anfänglich findet man sie nur in den vorderen Abschnitten. Im höheren Alter erreichen sie den hinteren Pol in der Gegend der Papille resp. des präpapillären Kanals.

Die vorderen Glaskörperabschnitte erreichen demnach die Erwachsenenstruktur früher als die hinteren Abschnitte, die noch für lange Zeit die jugendliche Struktur beibehalten. Noch während sich die endgültige Glaskörperstruktur mit ihren Zonen und Tractus entwickelt, beginnt schon die sog. *Destruktion des Glaskörpergerüsts*, und es entstehen strukturarme Höhlen. In einer strukturdichten Umgebung bilden sie scharf begrenzte Räume, in einer ohnehin strukturarmen Umgebung hingegen sind sie kaum identifizierbar. Strukturen höherer Dichte (wie z.B. Membranellen der Tractus vitreales oder Wandungen von prävasculären Spalträumen) widerstehen anfänglich dem Destruktionsprozeß; ja, sie bilden gegenüber der nunmehr strukturärmeren Umgebung einen umso größeren Kontrast. Später werden auch sie von der Destruktion erfaßt und zerfallen in Fasern und Klumpen. Die Destruktionshöhlen unterscheiden sich von den strukturarmen Zonen, die genetisch bedingt sind, dadurch, daß sie nicht in einer typischen „präformierten“ Anordnung entstehen, sondern irgendwo — „zufällig“ — in einer sonst intakten Glaskörperstruktur. Auch respektieren sie die Grenzen der Tractus vitreales nicht, sondern durchbrechen sie allmählich im Laufe der Zeit. Da die Destruktion bereits einsetzt, bevor sich die spezifischen Glaskörperstrukturen voll entwickelt haben, wird man nur selten das Idealbild des Bauschemas beobachten, sondern meist Mischformen (Abb. 5 u. 7). Die Tractus sind, ehe sie noch den hinteren Pol erreicht haben, teilweise schon wieder faserig zerfallen. Ihre Fasern behalten aber generell ihre Lage bei in einer — nunmehr bloß imaginären — Schicht und lassen dadurch das Bauschema gleichwohl errahnen.

Das anatomische Bild des Glaskörpers wird noch weiter kompliziert durch die *S-förmige Durchbiegung* der trichterförmigen Strukturen, d.h. der Tractus und der Zonen (Abb. 7). Die S-Form entsteht, indem die Tractus hinter der Linse zunächst nach unten ziehen, in der Mitte des Glaskörperraums aufsteigen und die Papillengegend schließlich durch die obere Bulbushälfte erreichen. Die S-förmige Durchbiegung ist abhängig von der Schwerkraft, denn sie bleibt — wie ein Schiffskompaß — in ihrer Position unverändert und dreht sich nicht mit, wenn man ein

Abb. 11 a u. b. Prävasculäre Spalträume. (a) Schema: Prävasculäre Spalträume erscheinen bei jeder Schnittrichtung als Spalten. Im Gegensatz dazu sind Residuen von Gefäßen (Zentrum) im Querschnitt kreisförmig. (b) Prävasculäre Spalträume am hinteren Pol beim Rind (gleiches Präparat wie Abb. 5). Im breiten Lichtspalt erscheinen auf der Glaskörperoberfläche (*OF*) dunkle Zonen, die dem Abklatsch der retinalen Gefäße entsprechen. Davon ausgehend durchziehen die prävasculären Lücken den Glaskörper



Glaskörperpräparat umlagert oder — im lebenden Auge — wenn man einen Patienten in Seitenlage untersucht (Nordmann und Roth).

## 5. Entstehung des Glaskörpers

### 5.1. Trichterform der Glaskörperstrukturen

In der embryonalen Entwicklung wird der Glaskörperraum von einer Formation durchzogen, die von der Papille divergent nach vorne zum Linsenrand zieht — dem primären vasculären Glaskörper. Diese Formation verschwindet vollständig. Der Glaskörper wird dann von sekundärem Glaskörper ausgefüllt, der in einer Zwischenphase homogen strukturiert ist. In einer späteren Phase entwickeln sich dann neue Strukturformationen, die wiederum von der Papille divergent nach vorne ziehen: die Tractus vitreales und die Zonengliederung.

Die zweimalige Entstehung von papillenzentrierten Trichtern (Abb. 10) hat zu einiger Verwirrung geführt, da aufgrund des ähnlichen Aspektes die beiden Systeme als identisch betrachtet worden sind. Diese Verwechslung widerspiegelt sich in der heute üblichen Nomenklatur: die retrolentale Zone wurde als Cloquetscher Kanal aufgefaßt, der begrenzende Tractus retrolentalis deshalb als Tractus hyaloideus bezeichnet. Die retrolentale Zone jedoch gehört — und das sei hier nochmals betont — dem sekundären Glaskörper an. Die Reste des primären Glaskörpers verbleiben hier einzig in dem kleinen Areal, das von der Linea arcuata umschrieben wird.

### 5.2. Wie entsteht der sekundäre Glaskörper ?

Es ist hier nicht der Ort, die seit dem letzten Jahrhundert andauernde Diskussion in extenso zu schildern; sie ist in der Arbeit von Jokl sowie in den einschlägigen Handbüchern (Lauper, Rohen, Duke-Elder) eingehend dargestellt. Als Ort der Glaskörperbildung wurden u.a. die Müllerschen Stützfasern, die Basalmembran der Netzhaut, die Ciliarepithelzellen der Glaskörperbasis (Matrix vitrei), die hyaloidalen Gefäße, die Glaskörperrindenzellen angesehen.

Aufgrund von rein anatomischen Untersuchungen wird man hier keinen Entscheid wagen. Auf *ein* Argument aber müssen wir hinweisen: Die Formation der Lücken deutet darauf hin, daß der Glaskörper von Elementen der normalen Retinainnenfläche gebildet wird. Der Verlauf der prävasculären Lücken läßt sich bei einer Rekonstruktion im Modell zurückführen auf einen Abklatsch der Gefäße, wie er bei schichtweisem, appositionellem Wachstum des Glaskörpers — während der gleichzeitigen Ausbreitung und Verzweigung der Netzhautgefäße — entstehen würde (Abb. 12 und 13). In gleicher Weise kann man die Bildung des präpapillären Kanals interpretieren als präpapilläre Lücke, die durch appositionelles Wachstum des Glaskörpers schlauchförmig geworden ist.



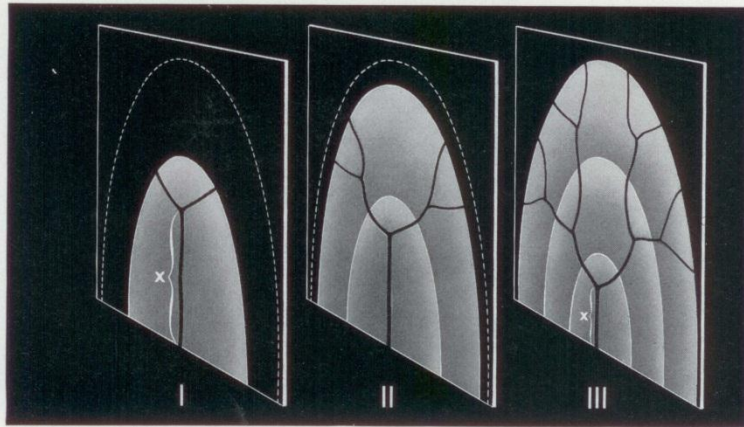
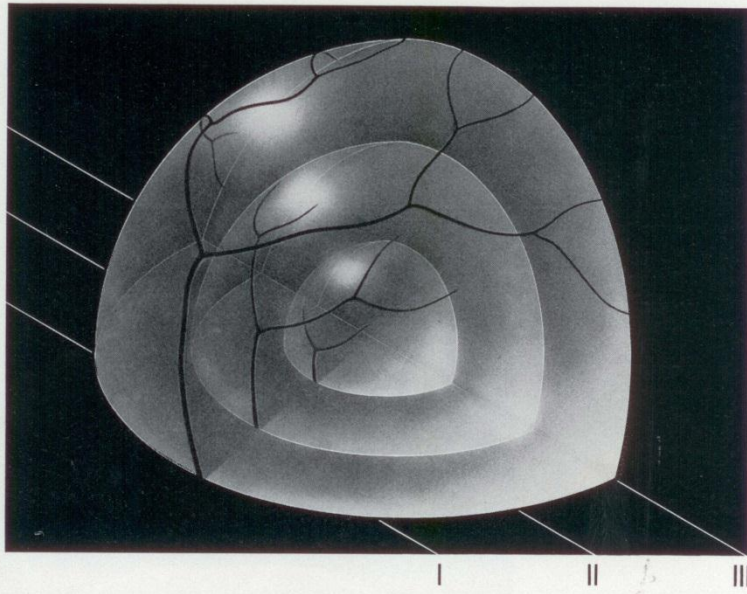


Abb. 12. Prävasculäre Spalträume im Modell. Anhand eines dichostomisch sich verzweigenden Gefäßnetzes wird dargestellt, wie Gefäßspalten aussehen müßten, die dadurch entstehen, daß bei appositionellem Glaskörperwachstum vor den Netzhautgefäßen keine strukturdichte Substanz gebildet wird. Im oberen Bild sind die schalenförmigen Oberflächen von 3 Wachstumsstadien dargestellt. Die innerste Schale ist das jugendlichste Stadium, bei dem sich die Netzhautgefäße eben erst aufzweigen. Die äußerste Schale stellt die Oberfläche des voll ausgebildeten Glaskörpers dar, mit ausgewachsenem Gefäßnetz. Im unteren Bild sind die optischen Schnitte (in den Ebenen I, II und III) gezeichnet. Die prävasculären Spalträume sind ein getreues Abbild der Gefäßverzweigungen, bei dem sich allerdings als Folgen des Gefäßwachstums die Größenverhältnisse ändern. Beachte, wie die Größe des Gefäßabschnittes x von vorn nach hinten zunimmt. Diese Zunahme finden wir bei den prävasculären Lücken aller strukturdichter Glaskörper (s. Abb. 5 und 11 b Rind, Abb. 13 Schaf)



Abb. 13a—d. Optische Schnitte durch den strukturverdichteten Glaskörper eines 4jährigen Schafes.

(a) Aufsicht auf den hinteren Pol: Abklatsch des retinalen Gefäßmusters auf der Glaskörperoberfläche.

(c) Retroäquatorialer Frontalschnitt.

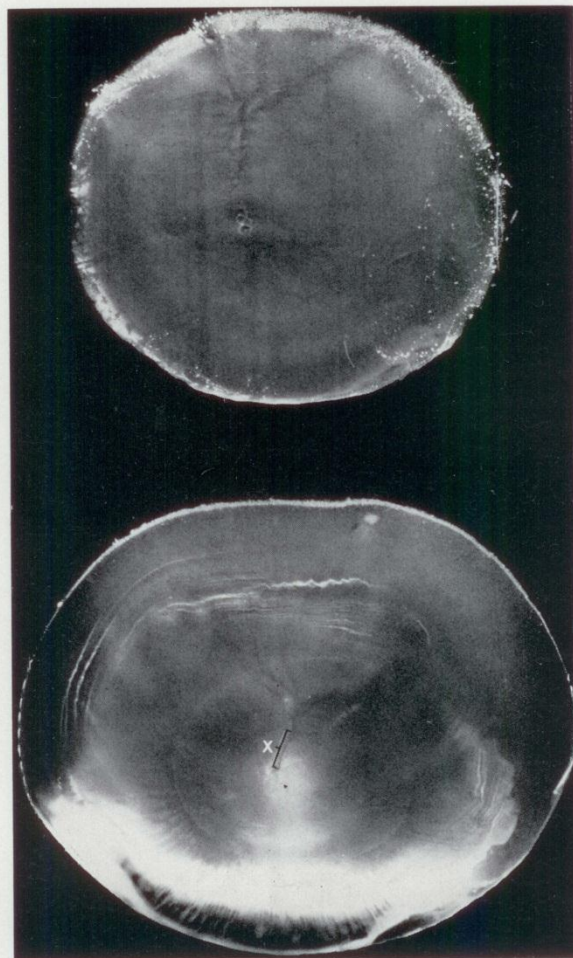


Daß hier die Verhältnisse in Zusammenhang mit der Rückbildung des primären Glaskörpers komplizierter sein können, liegt auf der Hand. Immerhin vermag die Auffassung vom appositionellen Glaskörperwachstum zu erklären, wie der präpapilläre Kanal in unveränderter Form länger werden kann zu einem Zeitpunkt, in dem der primäre Glaskörper kaum mehr eine Rolle spielen dürfte.

Interessant ist hier auch die Beobachtung Jokls, daß der Verlauf des „Canalis hyaloideus“ und des hyaloidalen Gefäßsystems bei Schildkröten nicht kongruieren. Es ist also keineswegs so, daß der präpapilläre Kanal mit dem Cloquetschen Kanal identisch sein muß, auch wenn der Verlauf beider Strukturen in den meisten Fällen übereinstimmt.

Wenn der Glaskörper durch Apposition von der Netzhaut her entstehen sollte, müßte man annehmen, daß Unterbrüche in der Netzhaut-





(b) Frontalschnitt im hinteren Glaskörperviertel.

(d) Äquatorialschnitt. Als kleiner weißer Punkt erscheint die kleine Arteria hyaloidea im präpapillären Kanal. Von diesem gehen verzweigte prävasculäre Lücken aus. Beachte die Größenzunahme des Abschnittes  $\times$  von vorne nach hinten. Daneben sieht man in den vorderen Abschnitten als konzentrische Kreise quer getroffene Tractus vitreales

oberfläche, die spät entstehen, Lücken erzeugen, die nur in den oberflächlichsten Schichten des Glaskörpers vorhanden sind.

Beobachtungen an der Area centralis der Katze sprechen in diesem Sinne. Die Bildung der präfovealen Lücke beim Menschen hingegen erfüllt diese Forderung nicht. Eine präfoveale Lücke entsteht zwar erst dann, wenn sich die Fovea centralis auszubilden beginnt, d.h. relativ spät. Die Lücke aber liegt keineswegs nur in den oberflächlichsten Schichten, sondern reicht in den meisten Fällen als präfovealer Kanal bis ins Glaskörperzentrum hinein (Eisner 1973). Die Entstehung dieses Kanals muß noch weiter geklärt werden.

Die Formation der Lücken ist weder vereinbar mit der Vorstellung eines Glaskörperwachstums von hyaloidalen Gefäßen aus, noch mit einer Einsprossung aus der Glaskörperbasis, noch mit einer ungeordneten Glaskörperbildung aus unregelmäßig verteilten „Hyalocyten“.



## Literatur

- Balasz, E. A.: Die Mikrostruktur und Chemie des Glaskörpers. Ber. dtsch. ophthal. Ges. **68**, 536—572 (1967)
- Busacca, A.: Biomicroscopie et histopathologie de l'oeil, vol. III. Zürich: Schweiz. Druck- & Verlagshaus AG 1957
- Daicker, B.: Anatomie und Pathologie der menschlichen retinociliaren Fundusperipherie. Basel-New York: S. Karger 1972
- Duke-Elder, W. S.: System of ophthalmology, vol II. St. Louis: C.V. Mosby 1961
- Eisner, G.: Autoptische Spaltlampenuntersuchung des Glaskörpers I—III. Albrecht v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. **182**, 1—40 (1971)
- Eisner, G.: Autoptische Spaltlampenuntersuchung des Glaskörpers, IV—V. Albrecht v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. **187**, 1—20 (1973)
- Eisner, G., Bachmann, E.: Vergleichend morphologische Spaltlampenuntersuchung des Glaskörpers. 1. Untersuchungen beim Rind. Albrecht v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. **191**, 329—342 (1974)
- Eisner, G., Bachmann, E.: Vergleichend morphologische Spaltlampenuntersuchung des Glaskörpers. 2. Untersuchungen bei der Katze. Albrecht v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. **191**, 343—350 (1974)
- Eisner, G., Bachmann, E.: Vergleichend morphologische Spaltlampenuntersuchung des Glaskörpers. 3. Untersuchungen beim Pferd. Albrecht v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. **192**, 1—8 (1974)
- Eisner, G., Bachmann, E.: Vergleichend morphologische Spaltlampenuntersuchungen des Glaskörpers. 4. Untersuchungen beim Schaf, Schwein, Hund, Affen und Kaninchen. Albrecht v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal. **192**, 9—17 (1974)
- Goldmann, H.: Biomicroscopie du corps vitré et du fond de l'oeil. In: Busacca, Goldmann et Schiff-Wertheimer. Paris: Masson 1957
- Jokl, A.: Vergleichende Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung des Glaskörpers und seiner Inhaltsgebilde bei Wirbeltieren und beim Menschen. Uppsala-Stockholm: Almqvist und Wiksells 1927
- Lauber, H.: Anatomie des Ciliarkörpers der Aderhaut und des Glaskörpers. Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Bd. 1, Teil 2, S. 6 und S. 57. Berlin: Springer 1931
- Nordmann, J., Roth, A.: Aspect biomicroscopique du corps vitré selon la position. Bull. Soc. Ophtal. France **67** (1967)
- Rohen, J. W.: Das Auge und seine Hilfsorgane. Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen, Bd. 3, Teil 4. Berlin-Göttingen-Heidelberg-New York: Springer 1964
- Spee, F. Graf: Ueber den Bau der Zonulafasern und ihre Anordnung im menschlichen Auge. Anat. Anz. Zbl. ges. wiss. Anat. **21**, Erg.-H. 236—241 (1902)
- Szent-Györgyi, A.: Untersuchungen über den Bau des Glaskörpers des Menschen. Arch. mikr. Anat. **89**, 324—386 (1971)
- Vogt, A.: Spaltlampenmikroskopie des lebenden Auges, Bd. 1—2, Berlin: Springer 1931. Bd. 3, Zürich: Schweiz. Druck- & Verlagshaus 1941

Zeichnungen:  
Willi Hess

Priv.-Doz. Dr. med. G. Eisner  
Universitäts-Augenklinik  
Inselspital Bern  
CH-3000 Bern  
Schweiz