

III.

Studien über den Bau der Trachealschleimhaut mit besonderer Berücksichtigung des Epithels

von

STUD. MED. C. WALLER und G. BJÖRKMAN

in Stockholm.

Mit Tafel VI.

Wenn man die anatomische Literatur bezüglich des feineren Baues der Trachealschleimhaut durchmustert, findet man, dass bis auf die letzten Jahre die Angaben und Arbeiten über denselben und vor Allem über das Epithel im Ganzen ziemlich spärlich und wenig befriedigend sind. Sie beschränken sich hauptsächlich auf die kurzen Darstellungen in den anatomischen und histologischen Lehrbüchern. Eine verhältnissmässig eingehende Schilderung gab indessen KÖLLIKER¹ vor schon dreissig Jahren. Nachdem dieser Forscher den Bau der Knorpel und Muskeln der Trachea beschrieben, besprach er ihre Schleimhaut in ungefähr folgender Weise. Sie hat zwei Schichten, eine äussere bindegewebige, von 0,12''' mit zahlreichen eingestreuten Drüsen und eine innere gelbe, von 0,09—0,1''' fast rein elastische. Die Elemente dieser letzteren sind dieselben wie in den Stimmbändern, nur meist etwas stärker, sie verlaufen jedoch der Länge nach und treten stellenweise, vor Allem an der hinteren Wand, in starken, oft unter spitzen Winkeln zusammenfliessenden platten Bündeln hervor; der innerste Theil der Mucosa ist häufig, namentlich an der hinteren Wand, wie im Larynx mehr bindegewebig und hat zu innerst immer eine mehr homogene Schicht von 0,05''' . Auf dieser sitzt das Flimmerepithelium, das geschichtet ist und in Nichts von dem des Larynx abweicht; letzteres schildert er ausführlicher als aus mehreren Schichten verschieden gestalteter Zellen bestehend, die alle zusammen 0,021—0,01'''

¹ KÖLLIKER, Mikroskopische Anatomie oder Gewebelehre des Menschen, II Bd. 2te Hälfte, I, 1852.

messen; zu unterst, unmittelbar auf die Schleimhaut, kommen etwa zwei Lagen rundlicher Zellen von $0,004—0,005'''$ mit runden Kernen, dann eine oder zwei Reihen verlängerter Zellen von $0,006—0,01'''$, endlich die eigentlichen Flimmereylinder von $0,015—0,02'''$ Länge im Mittel; die letzteren gleichen den Elementen der Cylinderepithelien sehr, nur sind sie gestreckter und am schmalen Ende stärker zugespitzt, häufig auch in einen dünnen Faden auslaufend, der so lang werden kann, dass die Zelle $0,024—0,027'''$ Länge erhält; der Inhalt der Zellen ist ganz hell, feinkörnig und in ihrem breiteren Theil liegt der länglichrunde Kern; Zellen mit zwei Kernen kommen vor; die Flimmerhärechen sitzen auf den meist polygonalen Endflächen dieser äussersten langen Zellen und stellen feine, helle, weiche Fortsätze der Zellmembran von $0,0016, 0,0022'''$ Länge dar, die mit etwas breiterer Basis aus derselben hervorgehen und zugespitzt enden; meist stehen dieselben eines dicht neben dem anderen über die ganze Endfläche der Zelle, nach VALENTIN im Mittel zu 10 bis 22, was KÖLLIKER eher zu wenig erschien. Eine Abbildung vom Epithel der Trachea des Menschen in senkrechtem Schnitte sowohl als von isolirten Zellen wurde von KÖLLIKER hier ebenfalls mitgetheilt. In der Schleimhaut finden sich viele Drüsen und zwar kleinere in und unmittelbar nach aussen von der elastischen Lage und grössere nach aussen von den Muskeln und der ganzen Schleimhaut zwischen den Knorpeln; die ersteren kleineren (von $\frac{1}{10}—\frac{1}{4}'''$) finden sich besonders an der vorderen und seitlichen Wand, die letzteren grösseren (von $\frac{1}{4}—1'''$) mehr an der hinteren Wand, seltener zwischen den Knorpelringen; der Bau aller dieser Drüsen ist in Bezug auf die äussere Form ganz der der traubenförmigen einfacheren Drüsen, dagegen haben nur die grösseren in den Drüsenbläschen das gewöhnliche Pflasterepithelium, die kleineren aber, von denen einige nur gabelig gespaltene Blindsäcke sind, besitzen ein schönes Cylinderepithelium und enges Lumen; die Ausführungsgänge aller Drüsen haben Cylinderepithel. Auch Nerven hat die Trachea viele und dieselben verhalten sich wie im Larynx; man sieht oberflächliche und tiefere Netze von feineren und mitteldicken Fasern in Menge; sie lassen sich bis in die oberflächliche Bindegewebsschicht verfolgen, entziehen sich aber gegen das Epithel hin dem Blicke.

Die danach folgenden Schilderungen der Trachealschleimhaut stimmten mit der hier angeführten Darstellung KÖLLIKER'S mehr oder weniger genau überein, obwohl sie nur die hauptsächlichsten Punkte derselben wiedergaben. So z. B. KÖLLIKER'S eigene Beschreibung in seinem Handbuch der Gewebelehre des Menschen, LEYDIG'S (1857) und FREY'S (1859) in ihren

Lehrbüchern der Histologie, LUSCHKA's in der «Anatomie des Menschen» (1862), die Darstellung in QUAIN'S Anatomy (1867), u. s. w. HENLE sagt in seinem Handbuch der system. Anatomie (1866) bei der Besprechung der Schleimhaut der Trachea, dass dieselbe aus einem 0,03 Mm. starken einschichtigen cylindrischen Flimmerepithelium mit hier und da unter den Cylinderzellen liegenden kugligen Zellen, einer Basalmembran von nicht ganz 0,01 Mm. und einer Propria von etwa 0,12 Mm. Mächtigkeit bestehe; letztere sei ausgezeichnet durch starke, vertikale, spitzwinklig anastomosirende Züge elastischer Fasern; übrigens sehe man an der Schleimhaut die Mündungen der traubigen, von einem Cylinderepithelium ausgekleideten Drüsen, welche an der hinteren Wand der Trachea eine continuirliche Schichte bilden, die Vertiefungen zwischen den einander zugewandten Abhängen der Knorpelringe ausfüllen und nur auf der höchsten Convexität der letzteren fehlen.

Die im Stricker'schen Handbuche der Lehre von den Geweben (1871) von VERRON gelieferte Darstellung der Trachea hat über den feineren Bau der Schleimhaut derselben nur Folgendes mitzutheilen: Das Innere der Trachea ist von einer 0,13—0,15 Millim. dicken Schleimhaut ausgekleidet, welche durch ihren besonderen Reichthum an längsverlaufenden elastischen Fasernetzen ausgezeichnet ist. Zu innerst erscheint sie zuweilen in einer dünnen Schichte hyalin, was zur Annahme einer besonderen Basalmembran geführt hat, und darauf endlich liegt eine Epitheldecke von Flimmerzellen, deren Höhe 0,06—0,075 Millim. beträgt. Die acinösen Drüsen bilden nach VERRON eine zusammenhängende Schichte, welche selbst auf der stärksten Convexität der Knorpelringe nicht unterbrochen erscheint. Zu demselben Ergebniss über die Ausbreitung der acinösen Drüsen kam BOLDYREW¹, welcher auch wichtige Mittheilungen über die Structur dieser Drüsen beim Menschen und Thieren (Hund, Katze, Schwein, Kaninchen, Ochs) gab; sie bestehen nach ihm aus zwei den der Speicheldrüsen entsprechenden Theilen, von denen die Ausführungsgänge dickwandige, mit Cylinderepithelium ausgekleidete, dichotomisch getheilte Röhren darstellen; die Alveolen dagegen sind breiter und dünnwandig, von hellen grossen Zellen ausgekleidet, die nur eine Schichte bilden und ein kleines Lumen zwischen sich lassen; an den Alveolen der Drüsen des Hundes sah er den Giannuzzi'schen Halbmonden entsprechende Gebilde, die jedoch nicht als aus kleineren Zellen zusammengesetzt gefunden werden konnten; die Alveolen erschienen lang-

¹ M. BOLDYREW, Ueber die Drüsen des Larynx und der Trachea. *Unters. a. d. Instit. f. Physiol. u. Histol. in Graz*, herausg. v. A. ROLLETT, 2 H. 1871.

gestreckt, in Form von bald mehr, bald weniger in die Länge entwickelten Schläuchen, an welchen auch dichotomische Theilungen beobachtet werden konnten.

In einer besonderen Abhandlung über den Bau der Trachealschleimhaut beschrieb DOLKOWSKI¹ das eigentliche Schleimhautgewebe als aus reichlichen, sehr zarten, mit einander durchflochtenen, theilweise der Längsaxe parallel, grösstentheils aber quer verlaufenden und sich kreuzenden elastischen Fasern bestehend; in dem Maschenwerk des Gewebes finden sich zahlreiche runde, einkernige Zellen; solche »Rundzellen« sind besonders unter der Basalmembran vorhanden, aber auch über derselben, um Ersatzzellen des Epithels zu bilden. Das Epithel besteht aus mehreren Schichten, deren äusserste die unten zugespitzten Flimmerzellen bildet, während die mittlere ein- oder mehrreihige Schichte cylindrisch-ovale kleinere Zellen darstellt und die innerste in der Trachea ziemlich selten aus ovalen, grösstentheils aus vollkommen runden, Lymphkörperchen ähnlichen Zellen gebildet ist.

Nachdem F. E. SCHULZE (in Stricker's Handb. d. Lehre v. d. Geweben 1871) das Vorkommen von Becherzellen in der Schleimhaut der Bronchien nachgewiesen, werden solche Gebilde nunmehr auch in der Trachealschleimhaut erwähnt; so z. B. von FREY (Handb. d. Histol. etc. 4 Aufl. 1874) und TOLBT (Lehrb. d. Gewebelehre, 1877); letzterer Forscher sagt »Die innere Oberfläche der Luftröhre ist mit geschichtetem, flimmerndem Cylinder-epithel bedeckt, an welchem mitunter auch Becherzellen beobachtet worden sind«; die Ausführungsgänge der traubigen Schleimdrüsen durchbohren nach ihm die Schleimhaut meist in schiefer Richtung und die sie bekleidenden Zellen sind noch eine Strecke weit mit Flimmerhaaren besetzt.

In seinem Handb. d. menschl. Anat. (Dritte Aufl. 1876) schildert W. KRAUSE das Trachealepithel als aus Flimmerzellen, die zur Basalmembran mit ihren Füßen reichen, Becherzellen und darunter gelegenen Ersatzzellen bestehend; die Ausführungsgänge und übrigen Hohlräume der Trachealdrüsen werden von Flimmerepithel ausgekleidet.

Uebrigens verdient erwähnt zu werden, dass KLEIN (1875), wie früher SIKORSKY, im Epithel der Bronchien zwischen den echten Epithelzellen verzweigte eigenthümliche Zellen beschrieben hat, welche mit Bindegewebszellen der Mucosa in Verbindung treten und nach diesem Forscher als interepitheliale Bindegewebskörperchen aufzufassen sind, die im Dienste des Lymphsystems stehen.

¹ E. V. DOLKOWSKI, Beitrag zur Histologie der Tracheobronchialschleimhaut. Lemberg 1875.

Erst durch die auf Veranlassung und unter der Leitung STEDV'S angestellten eingehenden und umfassenden Untersuchungen C. FRANKENHAUSER'S¹ machte die Lehre vom Bau der Trachealschleimhaut wichtige Schritte vorwärts. Nach ihm ist beim Menschen das Epithel derselben ein zweischichtiges Flimmerepithel von 0,05—0,07 Mm. Höhe. Die Flimmerzellen sind 0,05 Mm. hoch und haben pyramidale Form, mit den Flimmerhärchen und einer eine zarte Cuticula tragenden Basis gegen das Trachea-Lumen gerichtet; an ihren unteren Enden zeigen diese Zellen unregelmässige Fortsätze, die bisweilen recht lang sind und zwischen die Zellen der unteren Schicht hineinragen; an frischen Präparaten erscheint die Cuticula deutlich der Länge der Zelle nach gestreift und das Protoplasma körnig; an gehärteten Präparaten dagegen ist letzteres hell, ziemlich homogen; der Kern ist oval; bei starker Vergrösserung findet man die Zellen von einem Netzwerk äusserst zarter Linien durchsetzt, in dessen Maschen unregelmässig geformte, stark lichtbrechende Körnchen eingelagert sind, und die Cuticula erscheint dann aus neben einander stehenden hellen und dunklen Stäbchen zusammengesetzt. Zwischen den Flimmerzellen findet man »recht häufig becherförmige Bildungen«, aus welchen eine stark lichtbrechende körnige Masse, welche den grössten Theil der Becher erfüllt, hervorragt; nur der unterste Theil des Bechers enthält ein feinkörniges Protoplasma, in welchem ein kleiner ovaler oder abgeplatteter Kern liegt. Ausser den Becherzellen findet man zwischen den Flimmerzellen auch noch schmale, lange, cylindrische Zellen, deren Inhalt ziemlich homogen ist und die einen ziemlich kleinen, ovalen Kern enthalten; diese Zellen erscheinen gleichsam von ihren Nachbarzellen zusammengedrückt. Dann findet man auch spindelförmige Zellen, deren Protoplasma und Kern vollständig mit dem der Flimmerzellen übereinstimmt. Unter den Flimmerzellen bemerkt man als zweite Schicht des Epithels eine Reihe von kleinen, unregelmässig polyedrischen Zellen; diese haben eine ganz unregelmässige Gestalt, ihr Protoplasma ist feinkörnig, ihr Kern gross und rund; einzelne polyedrische Zellen sind aus der Reihe gerückt und liegen zwischen den Enden der Flimmerzellen, so dass hier und da das Epithel nicht in zwei, sondern in drei Schichten vorhanden ist. Zunächst unter dem Epithel liegt die Basalmembran von 0,005 Mm. Dicke; sie erscheint trübe und ziemlich homogen; die Dicke ist nicht überall gleich, indem sie sich hier und da über den anliegenden Capillaren verdünnt; ihre Begrenzung ist zackig und steht hierdurch mit dem unterlie-

¹ C. FRANKENHAUSER, Untersuchungen über den Bau der Tracheo-Bronchial-Schleimhaut. Inaugural-Dissertation zu Dorpat. 1879.

genden Gewebe in Verbindung; ihrer untern Seite liegen einzelne spindelförmige Zellen an; zahlreiche sehr feine Kanäle durchsetzen die Basalmembran in senkrechter Richtung und durch dieselben treten sehr feine Fäden aus der inneren Faserschicht in die epitheliale Schicht aus; häufig findet man in der Basalmembran kleine runde, farblosen Blutkörperchen ähnliche Zellen. In der inneren Faserschicht sind ausser der Basalmembran noch drei Schichten zu unterscheiden, von denen die äusserste aus ziemlich derben, queren, bindegewebigen, sehr wenig elastischen Fasern und einzelnen Muskelzellen besteht; in der mittleren, stärksten Schicht ist das Bindegewebsnetz ziemlich derb und enthält in seinen Maschen sehr zahlreiche längsgehende, zarte elastische Fasern; die innerste Lage hat ein grobmaschiges und zartfaseriges, spindelförmige Zellen besitzendes Bindegewebsgerüst, dessen Lücken mit zahlreichen lymphoiden Zellen gefüllt sind. Die Trachealschleimhaut ist sehr reich an Schleimdrüsen, die an einzelnen Stellen continuirliche Lagen bilden; über den Knorpeln findet man indessen nur selten Drüsen, dagegen findet man in jedem Knorpelinterstitium gewöhnlich drei bis fünf über einander liegende Reihen von Drüsen, fast alle in der Submucosa belegen; im membranösen Theil liegen die Drüsen meist hinter der Muskulatur, doch auch in und vor derselben. Im knorpeligen Theil haben die Drüsen je einen ziemlich kurzen Ausführungsgang, der schräg und häufig geschlängelt verläuft, eine etwas erweiterte obere Oeffnung besitzt und nach unten sich selten dichotomisch theilt. Im membranösen Theil sind diese Gänge lang und meist gerade verlaufend. Gleich unter der elastischen Längsschicht ist der Ausführungsgang bisweilen stark ampullenartig erweitert. Zu den Drüsenkörpern angelangt, theilt sich der Gang wiederholt dichotomisch und giebt sehr zahlreiche, röhrenförmige Drüsenschläuche ab, welche geschlängelt und gewunden durch einander verlaufen, sich stark verzweigen und schliesslich kurze Endschläuche bilden, deren Gesammtheit um jeden Ausführungsgang einen verschieden grossen Drüsenkörper bildet, welcher je nach der Localität verschiedene Formen hat (oval, rund, länglich-oval, flach). Die Wand der Schläuche und Ausführgänge besteht aus einer Membrana propria und dem Epithel; die Basalmembran der Schleimhaut geht verdünnt in die der Gänge über. Das Epithel der Gänge ist bei den grösseren Drüsen nur ganz im Anfange geschichtetes Flimmerepithel mit niedrigeren Flimmerzellen; die Zellen der tieferen Schicht sind flach, polyedrisch. Weiter nach unten hin wird das Epithel allmählig niedriger und in den Aesten des Ganges sogar prismatisch, einschichtig und mit einzelnen unter ihnen liegenden spindelförmigen Zellen. Die Gänge der kleinen Drü-

sen haben die Epithelauskleidung der Aeste der grösseren Gänge. Das Epithel der Gänge geht, höher werdend, ohne scharfe Grenze in das der Schläuche über. Die Schläuche sind verschieden lang, stark verästelt und schliessen mit kurzen, zuweilen leicht angeschwollenen Endschläuchen; die Membrana basilaris der Schläuche ist sehr dünn und enthält spindelförmige Kerne; von der Fläche betrachtet scheint sie nur aus sternförmigen, etwas Protoplasma um den Kern besitzenden Zellen zu bestehen, deren Fortsätze mit einander anastomosiren, und man bemerkt nichts von einer Membran in den Lücken, obschon eine solche vorhanden sein dürfte. In den Schläuchen findet man vorherrschend grosse helle, unregelmässig pyramidale Zellen mit unterem, der Wand zugekehrtem Fortsatz (und dem kleinen platten Kern in dessen Nähe); der Inhalt besteht aus hellen Körnchen, sieht fast homogen aus. Ausserdem findet man zwischen diesen Zellen und der Basalmembran Gruppen kleiner, polyedrischer, feinkörniger, ziemlich dunkler, mit runden Kernen versehener Zellen, welche den Gianuzzi'schen Halbmonden entsprechen; doch findet man auch Durchschnitte von sehr schmalen Schläuchen, die nur mit diesen Zellen erfüllt sind. Endlich wurde die Trachealschleimhaut von mehreren Thieren (Katze, Hund, Rind, Schwein, Schaf, Pferd, Dachs, Wiesel, Maulwurf, Igel, Meerschwein, Kaninchen, Hase, Maus, Ratte, Fledermaus u. s. w.) untersucht und bei Allen eine im Ganzen grosse Uebereinstimmung gefunden.

DRASCH¹ studirte die physiologische Regeneration des Flimmerepithels der Trachea und gab dabei besonders eine eingehende Darstellung der untersten kleinen Zellen, der Basalzellen. Diese Zellen sind verschiedener Grösse und Gestalt, entweder mehr kubisch, oben abgerundet mit runden Kernen, oder höher, ebenfalls abgerundet, oben breiter und mit schmaler Basis (keilförmig zwischen solchen mit breiter Basis und schmalen Oberende eingefügt); endlich fand er zwischen den langgestreckten und gedrun-genen Zellen »Rudimentzellen« mit ovalem Kern; eine Basalzelle mit zwei Kernen sah er beim Menschen nur einmal, bei Thieren (Hund, Meerschweinchen, Kaninchen) nie. Die untere Platte der Basalzellen ist mit glänzenden Zacken versehen, welche die Zellen verbinden. Von den übrigen Zellen des Trachealepithels theilte er die Flimmerzellen in solche, welche nur einen Fortsatz, und in solche, welche deren mehrere besitzen. Bei der ersten Form der Zellen endet in den meisten Fällen der verschieden lange Fortsatz mit einer kleineren oder grösseren, unten gezackten Pyramide oder, obwohl sehr

¹ O. DRASCH, Die physiologische Regeneration des Flimmerepithels der Trachea Sitzungsber. der Kais. Akad. d. Wiss. zu Wien Bd 80, 1880.

selten, in eine Platte an der Mucosa; der Zellenkern ist oval. Die Flimmerzellen mit mehreren Fortsätzen sind grob granulirt; die Fortsätze sind kurz, gabelförmig oder in mehrere Aeste getheilt. Neben den Flimmerzellen findet man verschieden lange keilförmige Zellen mit zwei oder mehreren Fortsätzen und ohne Flimmern; ferner auch Becherzellen, die ebenfalls immer mehrere Fortsätze besitzen; die letzteren Zellen sind die Uebergänge zu den Flimmerzellen mit mehreren Fortsätzen. Jede Rudimentzelle wird zu einer Keilzelle, während welcher Zeit an ihr durch den seitlichen Druck der um sie gelagerten jüngeren Rudimentzellen die Fortsätze gebildet werden. Einzelne pyramidenförmige Anschwellungen der Fortsätze werden schon frühzeitig abgeschnürt und bilden Rudimente, aus welchen neue Zellen entstehen. Die Keilzellen gehen durch die Formen der Becherzellen hindurch in polygonale, mit mehreren Fortsätzen versehenen Zellen über, an welchen zu einer bestimmten Zeit Flimmern auftreten; die Nebenfortsätze werden abgeschnürt und so entstehen Flimmerzellen mit einem Fortsatze. Die abgeschnürten pyramidenförmigen Anschwellungen der ausgestossenen Flimmerzellen bilden wieder Rudimente.

In seiner im vorigen Jahre erschienenen Arbeit über den Bau der Lunge des Menschen giebt KÖLLIKER¹ eine Darstellung der Epithelauskleidung der grösseren Luftwege, welche, um so mehr als die der Trachea und der grösseren Bronchien ganz ähnlich ist, hier angeführt werden mag. Sein Material war ganz frisch mit Silberlösung und dann mit Weingeist, theils auch nur mit Müllerscher Lösung behandelt worden. In allen grösseren Luftwegen, sagt er, ist das Epithel in sofern geschichtet, als dasselbe aus mehrfachen Zellenlagen besteht, von denen nicht alle die ganze Dicke des Epithels durchlaufen; dies gilt ausnahmslos von den unmittelbar auf der Mucosa aufsitzenden, beim Menschen meistens kegelförmigen Basalzellen, die auch walzen-, spindel-, keulen- oder kugelförmig sein können und deren Basalfläche wie gezähgelt erscheint. Die zweite Lage oder die Ersatzzellen erreichen meistens die Mucosa, sich mit ihr und den Nachbarzellen durch Zähnelungen verbindend, und können auch ausnahmsweise bis an die freie Fläche des Epithels herangehen, enden aber gewöhnlich tiefer hinab zugespitzt oder mit kleiner Endplatte; diese Zellen sind ebenso mannigfach gestaltet, sie erscheinen in der einen Ansicht schmal und meist spindelförmig, in der andern breit und rechteckig, kegel- oder birnförmig und zugleich mit mannigfachen, vom Drucke der benachbarten Elemente herrührenden

¹ KÖLLIKER. Zur Kenntniss des Baues der Lunge des Menschen. Würzburg 1881. Separat-Abdruck a. d. Verh. d. Phys.-med. Gesellsch. zu Würzburg, N. F. XVI Bd.

Einbuchtungen. Die dritte Art von Zellen nennt er Hauptzellen; diese reichen von der Oberfläche her sicherlich in der grossen Mehrzahl der Fälle auch bis zur Mucosa herab und bestehen aus den Flimmer- und den Becherzellen. In Betreff der Flimmerzellen sagt er, dass ihr unteres, schmales, einfaches oder getheiltes, nicht selten fein gezähneltes Ende wohl ausnahmslos die Mucosa erreicht und ihre freie Endfläche einen deutlichen Balsamm besitzt. Die Becherzellen sind nach KÖLLIKER als besondere Absonderungszellen anzusehen; sie erreichen ausnahmslos mit einem verschmälerten Fortsatze die Mucosa, sind meist schlauchförmig und am tiefen Ende dicht über dem Fortsatze verbreitert. Der Inhalt der mit Müllerscher Lösung behandelten Becherzellen ist feinkörnig, blass, der mit Silberlösung mässig behandelten dagegen ganz klar. Gegen die Oberfläche des Epithels verschmälern sich alle Becherzellen und münden mit rundlicher Oeffnung frei zwischen den Flimmerzellen aus. Von der Fläche betrachtet erscheinen sie als rundliche Flecke mit nicht selten eigenthümlich punktirtem Rande zwischen den polygonalen Endflächen der Flimmerzellen. Die Grösse und Menge der Becherzellen ist manchen Wechsell unterworfen; bald stehen 2, 3, 4 Zellen dicht beisammen, bald nur vereinzelt; die Trachea schien weniger solche Zellen als die Bronchien zu enthalten. Die erste Entstehung der Becherzellen wird am naturgemässesten auf die Ersatzzellen zurückgeführt in der Weise, dass man annimmt, dass ein Theil dieser zu Flimmerzellen, ein anderer, an Zahl geringerer Theil zu Becherzellen sich gestaltet. »Doch ist vorläufig auch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass auch Flimmerzellen, nachdem sie die Wimpern verloren, zu Becherzellen sich umwandeln, wie dies KNAPP schon vor Jahren angenommen hat«; KÖLLIKER hat auch bei wahrscheinlich sich entwickelnden Becherzellen am freien Ende Anhänge gesehen, die Reste von Wimpern zu sein schienen. Auf der anderen Seite spricht er sich gegen eine Umwandlung der Becherzellen in Flimmerzellen, wie sie DRASCU annimmt, aus. Die Entstehung der Flimmerzellen anlangend, so ist es nach KÖLLIKER wohl unzweifelhaft, dass dieselben aus den Ersatzzellen und diese aus den Basalzellen hervorgehen. Eine Entstehung verloren gegangener Flimmerzellen aus kernlosen Zellenrudimenten (sog. Rudimentzellen) durch Ablösung der Stiele der Ersatzzellen, wie DRASCU meint, ist kaum annehmbar; dagegen wurden, aber allerdings nicht häufig, Basalzellen mit zwei Kernen gefunden.

Nach dieser Darstellung der bisherigen Arbeiten über den Bau der Trachealschleimhaut gehen wir zu unseren eigenen Untersuchungen über.

Dieselben, welche ohne Kenntniss der kurz vorher erschienenen Arbeiten von DRASCH und KÖLLIKER vorgenommen wurden, hatten zum Zweck, vor Allem die verschiedenen Formen der Zellen des bis jetzt nicht hinreichend bekannten, eigenthümlichen Epithels sowohl einzeln als in ihrer Lage zu einander zu erforschen; im Zusammenhang damit beabsichtigten wir, die Frage von der physiologischen Entstehung und Regeneration der verschiedenen Zellenformen zu studiren. Ausserdem lag es im Plane unserer Arbeit, die Nervenfasern der Trachea bis ins Epithel zu verfolgen und ihre Endigungsweise zu eruiren. Von diesen Aufgaben ist bis jetzt eigentlich nur die erste in ziemlich befriedigender Weise gelöst. Zwar fallen unsere Ergebnisse in mehrfacher Hinsicht mit denen von FRANKENHÄUSER, DRASCH und KÖLLIKER zusammen. Da aber in anderen Beziehungen dies nicht der Fall ist und übrigens noch streitige Fragen hier vorliegen, glauben wir, dass eine eingehendere Beschreibung dieses wichtigen Epithels, vor Allem mit Beigabe einer hinreichenden Reihe guter Abbildungen, von denen bisher nur gar zu wenig erschien, wohl berechtigt ist.

Unsere Untersuchungen wurden hauptsächlich an der Trachea des Menschen (des erwachsenen sowohl als des neugeborenen), dann aber auch an der des Hundes, der Katze und des Kaninchens angestellt; vor Allem hielten wir uns aber zu den Verhältnissen des erwachsenen Menschen. Das Material wurde so frisch wie möglich verschafft: von Thieren unmittelbar, vom Menschen 1—3 Stunden nach dem Tode. Das Epithel wurde theils in frischem unerhärtetem Zustande, theils nach Behandlung mit allen üblichen Präparationsmethoden (Ueberosmiumsäure, Goldchlorid, Chromsäure, chromsaur. Kali, Pikrinsäure, Alkohol, Jodserum, Karmin, Holzessig u. s. w.) untersucht. Für eine gute Isolation der Zellen in unbeschädigtem Zustande erwies sich vor Allem 1—5-tägige Behandlung des frischen Materiales mit einer 4—10 mal durch Wasser verdünnten Müllerschen Lösung erfolgreich. Obwohl zwar auch die übrigen Theile der Trachealschleimhaut Gegenstand unserer Untersuchungen waren, werden wir hier hauptsächlich eine Darstellung vom Epithel derselben beim erwachsenen Menschen geben, um dann einige Beiträge über die bezügl. Verhältnisse bei den anderen Thieren und über den Bau der Trachealdrüsen hinzuzufügen.

Das Epithel der Trachealschleimhaut des Menschen.

Wenn man unter dem Mikroskope einen am ehesten mit Karmin oder Hämatoxylin gefärbten senkrechten Schnitt der Trachea betrachtet, er-

scheint das Epithel derselben als ein palissadenähnliches Gebräme auf der Mucosa, von der letzteren durch ein schmales, helles Band, die Basalmembran abgegrenzt, welche dem grösseren Theil der Epithelzellen zum Ansatze dient. Wenn der fragliche Schnitt einigermassen dünn und die Zellkerne gut gefärbt sind, sieht man letztere im Epithel zu zwei deutlich hervortretenden Schichten angeordnet; die eine ganz nahe an der Basalmembran erscheint auffallend regelmässig und besteht anscheinend nur aus einer einzigen Reihe neben einander belegener Kerne; die andere Kernschicht, höher oben, ungefähr in der Mitte des Epithels belegen, ist nicht so, obwohl mehr oder weniger, regelmässig angeordnet und hat eine grössere Mächtigkeit. Diese beiden Schichten sind durch eine hellere, nur in spärlicherer Menge Kerne enthaltende Zone getrennt; nach oben von der oberen Kernschicht befindet sich ausserdem eine ähnliche, helle, vollständig kernlose Zone. Schon bei oberflächlichem Ueberblick scheinen mithin die Epithelzellen, wenn man die Gruppierung der Kerne beachtet, gleichsam zu zwei Schichten angeordnet zu sein. Wie aus der obigen geschichtlichen Darstellung hervorgeht, sind die Ansichten über diese Verhältnisse sehr streitig, indem einige Forscher nur eine Schicht, andere zwei und noch andere drei Zellenschichten annehmen. Zwar kann diese Verschiedenheit der Ansichten zum Theil von verschiedener Auffassung des Begriffes der Mehrschichtigkeit abhängen, zum Theil hat sie aber auch ihren Grund in mangelnder Kenntniss der eigenthümlichen Strukturverhältnisse.

Um nun die Schichtenanordnung dieses Epithels bestimmen zu können, dürfte es am Platze sein, zuerst die Lage und Anordnung der besonderen Zellengattungen zu einander festzustellen. Die meisten Zellen gehen von der Basalmembran aus, scheidet sich aber betreffs der Höhe in zwei Gruppen. Die kürzeren von ihnen bilden an der Basalmembran eine ebene und dichte Reihe der eben beschriebenen untersten Kernreihe entsprechend, reichen aber nicht einmal ein Viertel der ganzen Epithelhöhe empor. Die längeren Zellen, welche der eben beschriebenen ersten Zellenreihe sehr unähnlich sind, erstrecken sich dagegen stets zur freien Oberfläche des Epithels hinauf. Wenn man sich nun bei der Bestimmung der Schichtenanordnung von der verschiedenen Höhe der Zellen leiten lässt, so wäre das Epithel als zweischichtig anzusehen; wenn aber alle von einer und derselben Basalebene ausgehenden Zellen, ohne Berücksichtigung ihrer verschiedenen Höhe, zu einer und derselben Schicht gehören, dann würde das fragliche Epithel eher als einschichtig zu betrachten sein.

Schemafisch betrachtet stellt das Epithel der Trachealschleimhaut ein

Epithel der so eben beschriebenen Art dar, in der Natur aber ist die Anordnung der Zellen nicht ganz so einfach. Theils ist es noch nicht sicher dargelegt worden, dass die längeren Zellen alle die Mucosagrenze erreichen; theils finden sich zwischen diese langen, bis zur freien Oberfläche reichenden Zellen andere Zellen unregelmässig eingekeilt, von denen einige die freie Oberfläche, nicht aber die Basalmembran, andere hingegen die Basalmembran aber nicht die freie Oberfläche erreichen, während endlich noch ein dritter Theil sich weder bis zu der Oberfläche noch zu der Basalmembran erstreckt, sondern vollständig von den angrenzenden Zellen umschlossen zu sein scheint. Da indessen diese letzt erwähnten, unregelmässig angeordneten Zellen keine besondere Schicht bilden — wie zuweilen angegeben wird — können sie bei der Frage von der Schichtenanordnung mit Recht übergangen werden. Wenn man sich nun nothwendig dazu bestimmen will, hier eine gewisse Anzahl von Zellschichten anzunehmen, sind wir also am meisten dazu geneigt, das Epithel als zweischichtig anzusehen.

Die Trachealschleimhaut ist bei weitem nicht eben, sondern im Gegentheil, besonders an der Membrana transversa, mit zahlreichen längsgehenden Falten und Einbuchtungen versehen. Die Falten und Einsenkungen sind an gut gefärbten Schnitten schon für das unbewaffnete Auge sichtbar; unter dem Mikroskope zeigt sich das Epithel hier weniger hoch wie an der ebenen Fläche; bald scheinen die gegenstehenden Wände der Falten weiter von einander ab, bald aber so dicht beisammen zu liegen, dass die Flimmerhaare der Zellen derselben mit einander in Berührung kommen können. In den Präparaten zeigen diese Einsenkungen oft eine auffallende Aehnlichkeit mit dem oberen Theil eines Drüsenausführganges, lassen sich aber bei genauerer Betrachtung stets von einem solchen unterscheiden, obwohl sie damit zuweilen verwechselt zu sein scheinen. Diese Einsenkungen zwischen den Falten können sich, wie man nicht selten an den Querschnitten wahrnimmt, zuweilen tief unter die freie Oberfläche der Schleimhaut erstrecken. Hier und da sieht man an senkrechten Schnitten der Schleimhaut auch, dass sich das Epithel in die Ausführgänge der Drüsen umbiegt und einsenkt. Selten gelingt es zwar, Schnitte in dieser Weise gelegt zu erhalten, an denen der Drüsengang in seinem ganzen Verlauf verfolgt werden kann; wenn aber dieses zuweilen geschieht, sieht man, dass das Epithel, wie unten näher besprochen werden soll, auf dem Wege von der Mündung des Ganges bis zu den Drüsenschläuchen Veränderungen erleidet.

Es fällt sich aber auch bei den besten Schnittpräparaten schwer, die Zellenformen genau zu studiren; selbst bei stärkerer Vergrößerung erscheinen

die Zellengrenzen theilweise undeutlich und verwischt. Ein besseres Verfahren bietet die Isolationsmethode. Mittelst derselben findet man, dass das Trachealepithel eine Menge verschiedener Zellenformen bietet, welche sich, trotz ihres Formenreichthums, auf verschiedene Typen zurückführen lassen; jedenfalls giebt eine Gruppierung derselben eine bessere Uebersicht des Ganzen.

Die grösste Zahl der Zellen, die man bei der Isolation bekommt, ist mit Flimmerhaaren versehen: die Flimmerzellen. Dann kommen, zuweilen in grosser Menge, Zellen vor, welche in mehrerer Hinsicht den vorigen ähneln, aber keine Flimmerhaare besitzen, und wegen ihres schlund- oder becherförmigen oberen Endes Becherzellen genannt werden. Weniger zahlreich trifft man in den Präparaten die von uns beschriebenen Zwischenzellen, welche weder Flimmerhaare noch Becher haben und verschiedenartig gestaltet sind. Endlich erkennt man die kleinen Basalzellen (polygonale oder polyedrische Zellen), welche sich schwerer isoliren lassen als die übrigen Arten, weil sie an der Basalmembran inniger adhären.

Die Flimmerzellen.

Fig. 1—23.

Bei diesen Zellen unterscheidet man die nach der Epitheloberfläche gewandte obere Endplatte oder Endfläche, den den Kern enthaltenden Zellkörper und den vom letzteren nach unten hin ausgehenden Fortsatz. Von oben betrachtet erscheint die Endplatte kaum jemals zirkelrund, gewöhnlich aber oval und an der einen oder anderen Seite abgeplattet oder auch polygonal; es geht schon aus diesem Verhalten der Endplatte hervor, dass die Zellen nicht regelmässig cylindrisch sind; ihre Form wird gewissermassen durch den Druck der Nachbarzellen bestimmt. Im Allgemeinen haben sie eine länglich ausgezogene Düten- oder Kegelform. Die gewöhnlichste Gestalt dieser Zellen ist in Fig. 13 und 20 sowie an der mittleren Zelle der Fig. 22 ersichtlich. Diese Zellen haben alle eine übereinstimmende Gestalt: sie sind oben breit, unten haarfein ausgezogen und mit dem Kern ungefähr in der erweiterten Mitte der Zelle belegen. In den Isolationspräparaten trifft man nicht selten Flimmerzellen von ungefähr derselben Breite am unteren wie am oberen Theil; bei diesen Zellen lässt sich jedoch eine Verstümmelung vermuthen, um so viel mehr, als dieselben gewöhnlich eine geringe Kürze haben; wenn solche Zellen, wie die in Fig. 13 abgebildeten, durch die Manipulationen ihren feinen Fortsatz verlieren, ist es auch

natürlich, dass man an ihnen keine Spuren davon bemerkt. Die Höhe der gut isolirten Flimmerzellen wechselt im Allgemeinen zwischen 0,054—0,08 Mm., obwohl einige derselben zuweilen etwas grösser oder auch etwas niedriger zu sein scheinen. Ihre Breite wechselt zwischen 0,003—0,009 Mm. Wenn man die Flimmerzellen von der Seite her betrachtet, sieht man an ihrem oberen freien Ende die sog. Cuticula als ein das Licht stärker brechendes, in der Richtung der Länge der Zelle gestreiftes, doppelt contourirtes Band, welches als aus neben einander gestellten kubischen oder stabförmigen Elementen zusammengesetzt erscheint. Die Vereinigung der Cuticula mit dem Zellenprotoplasma ist sehr innig, indem man sie nie von demselben abgelöst trifft. Auf dieser Cuticula sitzen die am freien Ende stumpf abgerundeten oder zugespitzten Flimmerhaare, von denen, wie es scheint, jedes einem stabförmigen Element der Cuticula entspricht; sie scheinen nicht, wie oft angegeben wird, an einer Platte in der Mitte der oberen Zellenfläche sondern viel mehr kranzartig um dieselbe herum befestigt zu sein; man trifft sie hin und wieder pinselartig in Kegelform zusammengefilzt. Die Flimmerhaare sind von der Zellenfläche nicht untrennbar, denn man findet ziemlich oft Zellen mit verminderter Anzahl der Flimmerhaare; zuweilen fehlen letztere ganz, so dass die Zellenart nur durch die zurückgebliebene Cuticula angegeben wird. Der nach unten von der Cuticula, zwischen ihr und dem unteren Fortsatz belegene Theil der Zelle, der Zellenkörper, welcher den Kern enthält, besteht aus feinkörnigem Protoplasma, welches bei stärkerer Vergrößerung von einem zarten, weitmaschigen Netzwerk durchzogen erscheint, worin die Körnchen eingelagert sind; stellenweise, besonders um den Kern herum, können die Körnchen reichlicher angesammelt sein. Im Protoplasma, ebenfalls besonders in der Nähe des Kerns, treten oft Vacuolen auf. Gewöhnlich enthalten diese Zellen nur einen Kern, dessen Gestalt oval, selten rund ist; derselbe enthält stets ein oder mehrere Kernkörperchen und erscheint feinkörnig; zuweilen hat er eine unregelmässige Gestalt. Hin und wieder trifft man aber auch Flimmerzellen mit zwei oder drei Kernen; dies kommt besonders in pathologischen Fällen bei inflammatorischen Zuständen des Kehlkopfs und der Lungen in grosser Menge vor.

Die meiste Wechselung bietet die Fortsetzung der Flimmerzellen nach unten hin dar, welche, wie oben erwähnt wurde, in der Regel in einen schmalen, oft haarfeinen, fadenähnlichen Fortsatz ausläuft (Fig. 13, 20). Zuweilen hat der Zellenkörper zwei oder sogar drei solche untere Fortsätze (Fig. 17, 19, 21); in einzelnen Fällen geht ausser dem unteren Fort-

satz noch ein zweiter höher oben von der Seite des Zellenkörpers ab (Fig. 11). Zuweilen ist ferner der untere Fortsatz nicht fadenähnlich, sondern häutchenartig abgeplattet, so dass er sich bei der Isolation leicht biegt und faltet (Fig. 15); zuweilen ist er stammähnlich gebildet und unten mit zwei kurzen wurzelähnlichen Fortsätzen versehen (Fig. 8). Hin und wieder erscheint das untere Zellenende so gleichmässig abgerundet, dass man eine Fortsetzung desselben nach unten hin nicht als wahrscheinlich annehmen kann (Fig. 16 rechts). Die unteren Fortsätze sind indessen mehr oder weniger leicht abreissbar und veränderlich, so dass man in Isolationspräparaten stets eine Menge durch die Manipulationen entstandener Fragmente der Zellen antrifft; dies ist besonders bei nicht ganz frischem Material der Fall; um so frischer das Material war, desto schöner fanden wir stets die Zellen und ihre Fortsätze beibehalten; bei solchem Material eben sind die haarfeinen Fortsätze überwiegend, weshalb man, wie oben geschehen, die letzteren als die normale Einrichtung betrachten muss. Wie enden nun diese Fortsätze nach unten hin? KÖLLIKER sagt, wie erwähnt, dass das untere schmale einfache oder getheilte, nicht selten fein gezähnelte Ende der Zellen wohl ausnahmslos die Mucosa erreiche. Dieser Ansicht lassen uns jedoch bis auf Weiteres unsere zahlreichen Beobachtungen nicht bestimmen. Wohl sahen wir die meisten unteren Fortsätze der Flimmerzellen ziemlich tief hinab und im Allgemeinen sogar zwischen die Bazalzellen reichen, aber nur in Ausnahmefällen konnten wir ein Hinabdringen dieser Fortsätze bis zur Basalmembran nachweisen. Indessen bemerkt man nicht selten am Ende der feinen Fortsätze eine kleine Anschwellung; wenn die Fortsätze, wie zuweilen der Fall ist, sehr kräftig gebaut sind, findet man diese Anschwellung fast fussähnlich verbreitert (Fig. 3, 5, 6) und sogar mit feinen haarähnlichen Anhängen versehen (Fig. 4); solche Formen deuten auf eine Endigung an der Mucosa hin. Manche andere Formenverschiedenheiten der unteren Enden der Flimmerzellen könnten hier angeführt werden; wir beschränken uns aber darauf hinzuweisen, dass die unteren Theile der Zellen weit mehr als die oberen durch lokale Verhältnisse (Druck der angrenzenden Zellen) verursachten Wechselungen unterworfen sind, wozu noch eine wahrscheinlich hier fortwährend vor sich gehende Entstehung neuer Zellen hinzukommt.

Ausser den eben erwähnten Fortsätzen kommt an den Flimmerzellen noch eine andere eigenthümliche Art von Fortsätzen vor. Es sind dies äusserst feine, mit knötchenähnlichen, zuweilen perlenschnurartigen Anschwellungen versehene Fäden, welche vom unteren Zellenende nach unten

hin laufen (Fig. 19, 21). Anfangs glaubten wir in diesen varikösen Fäden möglicherweise Nervenendigungen vor uns zu haben. Ihr seltenes Vorkommen ebenso wie unsere misslungene Versuche sie mit Goldchlorid zu färben haben uns gezwungen, die vermuthete nervöse Bedeutung derselben bei Seite zu lassen.

Die Becherzellen.

Fig. 22—36.

Sowohl in Betreff der Gestalt als auch der Anzahl stehen die Becherzellen den Flimmerzellen am nächsten. Der Unterschied zwischen den beiden Zellenarten ist jedoch nicht unbedeutend. Im Gegensatz zu den Flimmerzellen sind die Becherzellen mucinführend, erstrecken sich stets durch das ganze Epithel von der Basalmembran bis zur freien Oberfläche, sind am oberen Ende schlundförmig ausgehöhlt und tragen den Kern gewöhnlich etwas tiefer im Zellenkörper hinab. Uebrigens geht der ausgebildeten Becherzelle die Cuticula mit den Flimmerhaaren ganz und gar ab. Es ist schwer, ihr Zahlenverhältniss zu den Flimmerzellen anzugeben; an einigen Stellen können sie relativ zu letzteren ganz sparsam vorhanden sein, während sie an anderen fast ebenso zahlreich wie diese sind. Die Becherzellen haben auch viele Formverschiedenheiten aufzuweisen. Um eine allgemeine Uebersicht der wechselnden Gestalt dieser Zellen zu geben, weisen wir auf die Figuren hin. Von diesen können nach unserer Ansicht Fig. 22 und 23 (zusammen mit Flimmerzellen), Fig. 24 und 25, als typisch angesehen werden. Ausser den schon erwähnten Charakteren sind noch als ihnen gemeinschaftlich zukommend hervorzuheben: die fussähnliche Bildung des unteren Endes der Fortsätze sowie der ziemlich gleichmässig breite, cylindrische Zellenkörper mit schwach blasenartig erweiterten oberem Ende und mit dem Kern im unteren Theile desselben. Dass manche andere Formen des Zellenkörpers auch vorkommen können, geht indessen schon aus den mitgetheilten Figuren hervor, indem Fig. 35 eine glockenartige Ausbuchtung, Fig. 31 eine röhrenartige Ausziehung und Fig. 36 eine tiefe Zweitheilung des oberen Endes desselben darbieten. Die Becherzellen der Trachea haben, wie auch die angeführten Figuren zeigen, keineswegs dasselbe Aussehen wie die becherähnlichen Gebilde der Darmschleimhaut, was wir hier entgegen der Beschreibung und den Abbildungen FRANKENHÄUSER'S hervorheben. Ihre Höhe muss derjenigen des ganzen Epithels gleich sein; unsere

Messungen haben bei ihnen eine Wechselung von 0,06—0,084 Mm. nachgewiesen. Als Zellenkörper kann man den Theil der Zelle betrachten, welcher vom oberen freien Ende bis zum Abgang der Fortsätze liegt. Das obere Zellenende stellt die Mündung des Bechers dar; hier, an der oberen, freien Mündungsfläche der Zelle findet sich keine verdichtete Schicht, sondern die Mündung kann gewissermassen als offen angesehen werden. Am Rande dieser Mündung sieht man ringsum als Ausdruck der hier endigenden Seitenwand der Zelle nach oben hin einen schwach aber deutlich contournirten Ring, welcher bisweilen schärfer markirt sein kann und dann als ein Gebräme oder eine Krause hervortritt (Fig. 24, 28, 35). Indessen kann das obere Ende dieser Zellen noch merklichere Bildungen zeigen; es kommen nämlich Zellen von ausgesprochener Becherform vor, welche am oberen Rande mit einer Art Cuticula und Haarbesatz versehen sind (Fig. 26, 32, 33, 34). Diese Gebilde stellen offenbar ein Uebergangsstadium dar und sind wahrscheinlich junge Becherzellen, welche durch die eben angegebenen Reste ihre Entstehung aus Flimmerzellen deutlich bekunden. Die Zellenwand umschliesst am oberen Theil des Zellenkörpers eine schlundähnliche Bildung, deren Mündung von dem oberen Ende der Zellenwand gebildet wird, die, wie oben erwähnt, oft ringartig verdickt ist und zuweilen nahe unter sich eine Einschnürung des Zellenkörpers darbietet (Fig. 28); im letzteren Falle erscheint der Zellenkörper im Ganzen nach oben hin verschmälert; sonst aber erweitert er sich etwas (Fig. 29, 35 u. s. w.); eine Erweiterung der Becherzellen nach oben hin bietet keine charakteristische Eigenschaft dar, wie KÖLLIKER angiebt. Der Zellenkörper erscheint von einem weifmaschigen Netzwerk feiner Fasern durchzogen, was hier deutlicher wie bei den Flimmerzellen hervortritt; durch diese grossen Maschen scheint er in mehrere grosse Räume abgetheilt zu sein, von welchen der Schlund oder Becher selbst den obersten darstellt und am deutlichsten hervortritt. Bei den schmälern, gleichmässig breiten Becherzellen ist der Schlund in der Regel nicht so tief wie bei den breiteren, mehr aufgeblasenen Zellen, in welchen er sich bis zur Nähe des Kerns hinab erstrecken kann (Fig. 27, 28). Der Kern, welcher, wie erwähnt, stets im unteren Ende des Zellenkörpers liegt, ist oval und im Ganzen etwas regelmässiger als bei den Flimmerzellen; von Kernkörperchen enthält er eins oder zwei, selten mehr. Nie sahen wir in den Becherzellen mehr wie einen Kern in jeder Zelle. Der Zellenkörper zeigt übrigens oft Vacuolen, besonders in der Umgebung des Kerns.

Der Zellenkörper der Becherzellen setzt sich nach unten hin gewöhn-

lich in eine mehr oder weniger schmale Verlängerung fort, welche zahlreiche Wechsellagen darbietet, indem sie verschiedene Gestalt zeigt und mit zwei, drei oder mehr Fortsätzen versehen sein kann (Fig. 27, 34, 35). Diese Fortsätze, welche die Basalmembran stets erreichen, zeigen an ihrer unteren Spitze stets eine fussähnliche, unten oft zackige Gestalt (Fig. 22, 24, 25, 30 u. s. w.). Zwar werden diese unteren Enden bei der Isolation der Zellen nicht selten abgerissen, aber je frischer das Material ist, desto reichlicher kommen vollständige, mit unteren fussähnlichen Enden versehene Zellen vor.

Zuweilen sind nun auch die Becherzellen mit solchen merkwürdigen äusserst feinen varikösen Fortsätzen versehen (Fig. 29) wie sie oben bei den Flimmerzellen beschrieben worden sind.

Die Zwischenzellen.

Fig. 37—55.

In den Darstellungen des Trachealepithels findet man oft eine Art spindelförmiger Zellen erwähnt und abgebildet, welche zwischen den unteren Theilen der Flimmerzellen und über den Basalzellen eingekeilt sein sollen. Man hat sie mehrmals als »Ersatzzellen« aufgeführt aber nicht näher studirt oder beschrieben, weshalb sie sehr wenig bekannt und von einigen Forschern gar nicht erwähnt sind.

Wir haben nun auch zwischen den Flimmer- und Becherzellen andere Zellen gefunden, die zu diesen beiden Zellenarten ebenso wenig wie zu den Basalzellen gerechnet werden können. Ihre Gestalt ist aber nicht eigentlich »spindelförmig« und stimmt in fast keiner Beziehung mit der kurzen Darstellung überein, welche ihnen bisher in der Literatur gewidmet wurde.

Zwar ist die Gestalt dieser Zellen besonders wechselnd, indem vor Allem die Zahl ihrer Ausläufer sehr verschieden ist. Jedoch lassen sie sich unserer Ansicht nach in eine Gruppe zusammenführen. Wir werden dieselben hier unter der auf ihre physiologische Bedeutung nicht präsumirenden Benennung »Zwischenzellen« beschreiben. Je nach der kräftigeren Entwicklung des Zellenkörpers und der Anzahl der Fortsätze lassen sich aber diese Zellen in zwei Untergruppen theilen, die jedoch durch Uebergangsformen mit einander vereinigt sind.

a. Die erste Untergruppe der Zwischenzellen (Fig. 37—41) umfasst solche Zellen, welche dadurch ausgezeichnet sind, dass sie im Ganzen immer sehr schmal aber mehr oder weniger gleichmässig breit oder schmal-

cylindrisch und nur mit unbedeutenden Fortsätzen versehen sind. Zu ihr gehört die Mehrzahl der Zwischenzellen. Sie stehen senkrecht im Epithel zwischen den Flimmer- und Becherzellen und erreichen gewöhnlich die Oberfläche der Epithels, zeigen aber am oberen stumpf abgerundeten oder mehr zugespitzten Ende kaum eine Andeutung eines cuticula-ähnlichen Begrenzungssaumes. Der Kern liegt in der Mittelpartie oder tiefer nach dem unteren Zellenende hin. Nach unten hin verschmälern sie sich und endigen oft mit einer haarfeinen Spitze, welche zwischen die Basalzellen hinabdringt; in anderen Fällen tragen sie am unteren Ende eine kleine füssähnliche Verbreiterung gegen die Basalmembran hin, an welche sie sich dann auch ansetzen. Zuweilen findet man das untere Ende dieser Zwischenzellen in Zweige getheilt (Fig. 41). Dann kommen auch Zellen vor, bei welchen die Fortsätze des unteren Endes zahlreicher sind; diese Zellen stellen die Uebergangsformen zu der zweiten Untergruppe dar.

b. Die Zellen der zweiten Untergruppe der Zwischenzellen (Fig. 42—55) scheinen bisher vollständig übersehen worden zu sein, da wir keine Beschreibung oder Abbildung derselben antreffen konnten. In den Isolationspräparaten trifft man sie zwar nicht besonders zahlreich an; die bei der Bereitung dieser Präparate stattfindenden Manipulationen sind aber sehr geeignet, ihre feinen Fortsätze abzureissen, wonach sie schwerer zu erkennen sind. Bei frischem Material findet man indessen im Allgemeinen einige solche Zellen in jedem Präparate. Jedenfalls sind sie von so eigenthümlicher Form und Beschaffenheit, dass sie verdienen, als eigene Zellengattung aufgeführt und genauer beschrieben zu werden.

Sie erstrecken sich wahrscheinlich durch die ganze Höhe des Epithels und zeichnen sich vor Allem durch den Reichthum ihrer stark ausgebildeten unteren Theile an Fortsätzen, ferner durch die lange, stets mit cuticula-artiger Endplatte versehene, halsähnliche Fortsetzung nach oben hin sowie durch die kolbenförmige Anschwellung der unteren Enden der Fortsätze aus. Die cuticula-ähnliche obere Endfläche, welche stets die Oberfläche des Epithels erreicht, zeigt indessen nicht die starke Entwicklung der Cuticula der Flimmerzellen, ist nicht gestreift, erscheint sogar nicht doppelt contourirt und trägt keine Anhänge. Der obere Theil des Zellenkörpers oder Hals ist, wie erwähnt, lang und schmal und von nahezu gleichmässiger Breite bis zu dem Uebergang in den mehr oder weniger bedeutend erweiterten mittleren Theil des Zellenkörpers, welcher den Kern beherbergt. Gewöhnlich ist dieser obere Theil zugleich gerade und senkrecht gerichtet, zuweilen bietet er aber schwache Biegungen dar; am obersten freien Ende erweitert er

sich gewöhnlich ein wenig. Der mittlere Theil des Zellenkörpers, von dem die meisten Fortsätze entspringen, stellt in der Regel die bedeutendste Partie der ganzen Zelle dar; er enthält den Kern, welcher im Verhältniss zur Grösse und Ausdehnung der Zelle im Allgemeinen nicht besonders gross ist; der Kern erscheint sehr feinkörnig und enthält oft mehrere Nucleolen; seine Form ist gewöhnlich oval, kann aber etwas variiren. Das Protoplasma dieser Zellen erscheint etwas feinkörniger als bei den Flimmerzellen; hier und da finden sich in demselben oft Vacuolen verschiedener Grösse, in deren Umfange sich kleine Körnchen angesammelt haben; die in der Umgebung des Kerns auftretenden Vacuolen scheinen durch eine Zusammenziehung der Kernsubstanz entstanden zu sein.

Nach unten hin geht der Zellenkörper in eine Anzahl von gewöhnlich 2—4, zuweilen sogar 6 Fortsätzen über, welche sich wieder in Endzweige theilen können, die dann, wie erwähnt, oft an den äussersten Spitzen kolben- oder kugelförmig angeschwollen sind oder auch ein zipfelartiges Aussehen angenommen haben (Fig. 43, 44, 45). Ausser diesen verhältnissmässig dicken Fortsätzen, welche dieselbe körnige Beschaffenheit wie der Zellenkörper selbst darbieten, kommt noch eine andere Art von Fortsätzen vor, welche sehr eigenthümlich und von besonderem histologischem Interesse sind. Dieselben stellen nämlich lange, äusserst feine Fäden dar, welche hier und da knötchenförmig angeschwollen sind. Diese echt varikösen Fortsätze gehen in der Regel vom Protoplasma des Zellenkörpers direct aus, zuweilen entspringen sie aber auch von den dickeren Ausläufern und laufen gewöhnlich nach unten und nach der Seite hin in geradem oder etwas gebogenem Laufe, meistens ungetheilt oder zuweilen noch dichotomisch sich theilend; ihre Knötchen sind sogar an demselben Fortsatz verschieden gross, gewöhnlich eiförmig.

Wie endigen nun diese beiden Arten von Fortsätzen? Offenbar laufen sie nach der Seite zwischen die angrenzenden Zellen ein und ihre knötchenartigen Enden sind gewiss zwischen den Basalzellen eingefügt. Es ist uns aber nicht gelungen, eine besondere Endigungs- oder Befestigungsweise derselben darzulegen. Schon oben wurde angeführt, dass wir auch bei den Flimmer- und Becherzellen ähnliche variköse Fortsätze wahrgenommen haben, die uns Anfangs sehr an Nervenenden zu erinnern schienen. Bei allen diesen Zellen haben wir indessen keinen weiteren Beleg für die nervöse Natur der Fortsätze als dieses variköse Aussehen gefunden, weshalb wir bis auf Weiteres ganz von dieser Anschauung abstehen müssen. Die aus-

geprägt variköse Natur der Fortsätze ist aber bei nicht nervösen Epithelialzellen sehr eigenthümlich.

Die Basalzellen.

Fig. 56—73.

Diese Zellen, welche ausschliesslich der untersten Schicht des Epithels angehören, sind weit kleiner wie die drei oben beschriebenen Zellengattungen, von denen sie sich besonders dadurch unterscheiden, dass sie keine Fortsätze besitzen, sondern sich direct mittelst einer ziemlich breiten, unebenen und gezackten Fläche befestigen, deren kleine Zacken das Licht stark brechen und deswegen glänzend erscheinen; ebenso wenig bietet diese Zellenform solche Wechselungen wie die übrigen dar. Die Basalzellen haben im Allgemeinen entweder Pyramiden- (Fig. 56—60, 71) oder Keulenform (Fig. 66, 67, 68, 70), wobei die Basis der Pyramide und das schmalere Ende der Keule der Basalmembran zugewandt sind. Zwar kommen manche Zwischenformen vor; dieselben stehen aber den erwähnten beiden Haupttypen so nahe, dass sie zu ihnen hingeführt werden können (Fig. 62, 63, 65 u. s. w.). Für alle diese Zellen besonders bezeichnend ist die geringe Grösse des Zellenkörpers im Verhältniss zum Kern. Fortsätze sind, wie erwähnt, hier nicht vorhanden, wohl aber bemerkt man zuweilen kleine Vorsprünge an den Seitenflächen der Zelle oder am oberen Ende derselben (Fig. 62, 64, 65), oder auch kleine seitliche Zacken wie an der Basalfläche; dieselben sind aber nie so entwickelt, dass man sie Fortsätze nennen könnte; diese seitlichen Zacken sind wahrscheinlich dazu bestimmt, die Verbindung der Nachbarzellen inniger zu machen. Bei den keulenförmigen Zellen ist der Zellenkörper zuweilen um den Kern herum erweitert. Das obere Ende der Zellen kann entweder zugespitzt oder stumpf, abgerundet, ja sogar schwach eingeschnitten sein. Das Protoplasma dieser Zellen ist, wie bei der nächst vorher beschriebenen Zellenform, fein und gleichmässig vertheilt; zahlreiche kleine und nur selten grosse Vacuolen kommen sowohl in der Umgebung des Kerns als in der übrigen Zelle zum Vorschein. Der Kern ist oval oder rundlich-oval, sehr feinkörnig und mit einem oder mehreren Kernkörperchen versehen. Die Höhe der Basalzellen wechselt zwischen 0,015—0,033 Mm. In den Isolationspräparaten erscheinen die Basalzellen im Allgemeinen gut beibehalten, obwohl der Eingriff bei ihrer Ablösung von der Basalmembran ziemlich stark sein muss. Oft er-

scheinen an isolirten Basalzellen mehrere Seitenflächen (Fig. 68—71), ein Verhältniss, durch welches die alte Benennung »polygonale« oder »polyedrische Zellen« gewissermassen berechtigt wird. Wenn die Basalfläche an isolirten Zellen zuweilen beobachtet werden kann, erscheint sie der Angabe von DRASCH gemäss napfförmig vertieft (Fig. 69). Die Zellen werden an ihren relativ sehr kleinen Zellkörpern und an der zackigen und schärfer glänzenden Basalfläche erkannt. Zwei oder mehr Kerne sahen wir nie mit Sicherheit in einer Basalzelle.

Nach dieser Darstellung der verschiedenen, das Epithel der Trachealschleimhaut zusammensetzenden Zellengattungen wollen wir kurz die Frage von der Regeneration dieses Epithels berühren. Bekanntlich hat man sich in späterer Zeit viel mit dieser Frage beschäftigt, obwohl man unserer Ansicht nach noch nicht die nöthige Kenntniss des normalen Baues des Epithels besass. Streitige Ansichten darüber stehen einander gegenüber. Einige Forscher meinen, dass das Flimmerepithel der Trachea keinem stetigen Untergang und Erneuern unterliege; künstige Lücken des Epithels werden ja sogar durch mehrschichtiges Plattenepithel ersetzt. Andere sind der Ansicht, dass die lymphoiden Zellen, welche sie meinen, in grösserer Menge in der Mucosa angetroffen zu haben, allmähig die Basalmembran durchdringen und zu Basalzellen umgebildet werden, welche wieder in sog. »Ersatzzellen« übergehen, die sich endlich sowohl zu Flimmerzellen als auch zu Becherzellen entwickeln. Die Ansicht von DRASCH über die Regeneration der Flimmerzellen aus Rudimenten und Rudimentzellen ist oben schon erwähnt worden.

Wir haben uns mehrfach bemüht, diese Frage von der Regeneration, und besonders der normalen, physiologischen Regeneration des Trachealepithels zu beantworten, müssen aber gestehen, dass unsere Versuche in dieser Richtung fast resultatlos geblieben sind. Wir tödteten zu diesem Zweck die Thiere, Hunde, Katzen und Kaninchen (junge sowohl als erwachsene) und behandelten die ihnen sogleich entnommene Trachea mit 0,5 % Chromsäure- und Pikrinsäurelösung (mit nachfolgender Saffraninfärbung) sowohl als mit 2 % Salpetersäure und Ameisensäure, um im Epithel Theilungsformen der Zellen nachweisen zu können. Es gelang uns nie, trotz guter Bekanntschaft mit den Theilungsformen anderer Epithelzellen, etwaige solche in Theilung begriffene Zellen im Trachealepithel zu finden.

Wenn eine Zellentheilung hier vor sich geht, was wohl nicht bezweifelt werden kann, dürfte sie deshalb nach unseren Ergebnissen nicht besonders häufig sein. In Folge dessen können wir nichts Sicheres über die Entwicklung der Basalzellen zu »Ersatzzellen« und der Ersatzzellen zu Flimmer- und Becherzellen angeben. Durch Vermuthungen und Annahmen geht das sichere Wissen nicht vorwärts; wir meinen deshalb, dass diese Frage bis auf Weiteres offen gelassen werden muss.

Oben haben wir erwähnt, dass wir in den Flimmerzellen des menschlichen Trachealepithels ziemlich oft zwei oder mehr Kerne angetroffen haben, und dass die Becherzellen oft einen Randbesatz von feinen flimmerähnlichen Haaren tragen. Das sind die einzigen factischen Andeutungen einer Regeneration, die uns zur sicheren Ansicht gekommen sind. Was dagegen die lymphoiden Zellen betrifft, so sahen wir dieselben nie die Basalmembran durchdringen, und nie trafen wir sie im Epithel, obwohl in dieser Hinsicht vortreffliches Material und sehr schöne und erläuternde Schnitte zu unserer Disposition standen. Ebenfalls sahen wir gar keine Thatsachen, die die sonderbare Rudimententheorie von DRASCH stützen könnten.

Eine andere Frage, mit deren Lösung wir uns beschäftigten, war die von der Nervenendigung im Trachealepithel. Es lässt sich von vorne herein mit Recht annehmen, dass hier eine intraepitheliale Nervenendigung vorliegt. Reiche Nervenetze sind von anderen Forschern in der Mucosa angegeben. Ihre Endigung ist aber noch sehr dunkel. Wir versuchten mit allen gewöhnlichen Mitteln (vor Allem Goldchlorid nach den besten Methoden, Essigsäure, Salpetersäure, Ueberosmiumsäure u. s. w.) diese Nervenendigungen bei Menschen, Hunden, Katzen und Kaninchen hervorzurufen und darzulegen — aber stets vergebens. Zwar gelang es uns, zuweilen zwischen den Epithelzellen feine variköse Fasern nachzuweisen; diese können aber eben sowohl den oben beschriebenen feinen Fortsätzen der Epithelzellen entsprechen, als Nervenendigungen sein, indem es uns nie gelang, solche feine Fasern durch die Basalmembran hindurch zu wirklichen Nervenfasern in der Mucosa zu verfolgen.

In Betreff der Basalmembran selbst sieht man an Flächenansichten, wie FRANKENHÄUSER angiebt, hier und da kleine Löcher, die den Nervenfasern zum Durchgang dienen könnten.

Die Epithelbekleidung der Drüsen.

Von den übrigen Bestandtheilen der Schleimhaut werden wir hier nur das Epithel der Drüsen kurz berühren, da uns dasselbe nicht hinreichend bekannt erscheint.

An den Stellen, wo sich die Mündungen der Ausführungsgänge der Drüsen öffnen, stülpt sich das Epithel der Schleimhaut hinab, um die Wände der Gänge auszukleiden. Bei diesem Uebergang finden wir nicht nur, dass das Epithel an Höhe abnimmt, sondern auch dass der Flimmerbesatz der Zellen unmittelbar nach der Umbiegung, d. h. in der Mündung der Drüsengänge vollständig verschwindet, ohne jemals mehr in der Drüse wieder aufzutreten. Diese Thatsache betonen wir entgegen der Angabe FRANKENHÄUSER'S, dass in den ampullenartig erweiterten Gängen der grösseren Drüsen das Flimmerepithel sich eine Strecke weit hinab fortsetzt; aus seiner beigefügten Abbildung dieses Verhältnisses können wir ersehen, was ihn zu dieser Annahme geführt hat. Wir sahen nämlich in unseren Präparaten oft solche von Flimmerepithel ausgekleidete, ampullenartige Erweiterungen; es ging aber aus einer näheren Untersuchung der Verhältnisse hervor, dass dieselben nicht Drüsenmündungen sondern der Quere nach getroffenen Falten der Schleimhaut entsprechen.

Da das Flimmerepithel in der Mündung des Drüsenausführungsganges aufhört, tritt ein Cylinderepithel auf, welches allmählig an Höhe abnimmt, so dass es zuletzt in der Nähe der Acini selbst zu einem gewöhnlichen einfachen Plattenepithel übergeht. Die Acini der Drüsen sind zweierlei Art, nämlich: eine reichlicher vorhandene muköse und eine weniger zahlreiche seröse Form. Das Epithel der mukösen Drüsenacini besteht aus zwei Zellformen: den eigentlichen Schleimzellen, welche länglich oval, durchsichtig, hell und nur schwach feinkörnig oder von einem zarten weitmaschigen Netzwerk durchzogen sind und die kleinen Kerne unten, der dünnen homogenen Basalmembran zugewandt und in der Regel unter den Nachbarzellen eingeschoben tragen; diese Zellen umgeben das enge Lumen der Acini. Die andere Zellenart der mukösen Acini entspricht ganz den bekannten Gianuzzi'schen Lunulæ der Schleim-Speicheldrüsen der Mundhöhle, wie sie FRANKENHÄUSER schon beschrieben hat, wovon sich KÖLLIKER aber später nicht überzeugen konnte; die Lunulæ bestehen auch hier aus dichtgedrängten, stark körnigen, kleineren Zellen, welche zwischen den Schleimzellen und der Basalmembran gruppenweise liegen. Die zweite Art der Acini enthält

dagegen nur eine Art von Zellen, welche im Ganzen der feineren Beschaffenheit nach den Lamuliezellen am meisten ähneln, indem sie ebenfalls stark körnig erscheinen; eine genetische Verwandtschaft zwischen ihnen ist jedoch bis jetzt nicht bewiesen; die hellen grösseren Schleimzellen sind in diesen Acini nicht vorhanden.

Die Zellenformen des Trachealepithels beim Hunde.

Ausser den Studien über die Trachea des Menschen untersuchten wir vor Allem diejenige des Hundes. Wir fanden dabei, dass sowohl die Zellenformen als die Beschaffenheit und Anordnung des Epithels mit einigen Beschränkungen den Verhältnissen beim Menschen ziemlich genau entsprechen. Was nun diese Beschränkungen betrifft, so zeigen sich die Flimmerzellen des Hundes nach unten hin stets mit fussähnlichen Fortsätzen versehen, welche die Basalmembran erreichen. Uebrigens zeigt das Trachealepithel des Hundes im Ganzen eine grössere Menge von Becherzellen als dasjenige des Menschen. Die epitheliale Auskleidung der Drüsenacini besteht beim Hunde ausschliesslich aus Schleimzellen (muköse Acini).

Obige Untersuchungen sind in der Histologischen Anstalt des Carolinischen Institutes zu Stockholm im Winter und Frühling 1882 angestellt worden.

Erklärung der Abbildungen.

TAFEL VI.

Alle Figuren stellen Zellen aus dem Epithel der Trachealschleimhaut des erwachsenen Menschen dar. Die betreff. Präparate waren mittelst verdünnter Müllerscher Lösung behandelt; nur bei Fig. 15 und 51 war Jodserum angewandt.

Fig. 1—21. Flimmerzellen. Fig. 1, 2, 9, 10, 12—21 gezeichnet bei VÉRIK's Obj. 6 + Ocul. 3 (ausgez. Tubus). — Fig. 3—8, 11 gez. bei VÉR. Obj. 8 + Ocul. 3 (ausgez. Tubus).

Fig. 22. Zwei Becherzellen, eine Flimmerzelle umgebend. Gez. bei VÉR. Obj. 6 + Ocul. 3 (ausgez. Tubus).

Fig. 23. Zwei Flimmerzellen, eine Becherzelle umgebend. Gez. bei VÉR. Obj. 6 + Ocul. 3 (ausgez. Tubus).

Fig. 24—36. Becherzellen. Fig. 29, 30, 32, 33 gez. bei VÉR. Obj. 6 + Ocul. 3 (ausgez. Tubus). — Fig. 24—28, 31, 34—36 gez. bei VÉR. Obj. 8 + Ocul. 3 (ausgez. Tubus).

Fig. 37—55. Zwischenzellen. Fig. 37—40 Zwischenzellen der einfacheren Art. Fig. 41 und 49, 50, 53, 54 Zwischenzellen, welche Uebergangsformen zwischen den beiden Arten darstellen. — Fig. 42—48, 51, 52, 53 Zwischenzellen mit mehrfachen Fortsätzen. Bei Fig. 41 liegt zwischen beiden unteren Fortsätzen eine Basalzelle. — Fig. 49, 50, 53, 54 gez. bei VÉR. Obj. 6 + Ocul. 3 (ausgez. Tubus). — Fig. 37—48, 51, 52, 55 gez. bei VÉR. Obj. 8 + Ocul. 3 (ausgez. Tubus).

Fig. 56—73. Basalzellen. Gez. bei VÉR. Obj. 8 + Ocul. 3 (ausgez. Tubus).

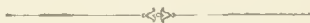


Fig 1

2

3

4

5

6

7

8

9



13

11

10

11

18

19

20

21



24

23

25

23

27

28

22

26

29





ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologische Untersuchungen](#)

Jahr/Year: 1882

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Waller C., Björkman C.

Artikel/Article: [Studien über den Bau der Tracheaischleimhaut mit besonderer Berücksichtigung- des Epithels 71-96](#)