

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

9. Juni 1922.

Heft 23.

Neue Befunde zur Entstehung des Haarkleides der Säugetiere.

Von Felix Pinkus, Berlin.

Der Übergang der schuppenbekleideten Reptilien in die Haar- und Federtiere hat seit dem Beginn der Entwicklungstheorien vielfache Bearbeitung erfahren. Dieser Übergang ist ein Aufstieg in der Organisation. Soviel von den Rätseln dieses Fortschrittes auch schon gelöst ist, oder durch Hypothesen vorstellbar gemacht wurde, so bleibt doch noch immer ein großer Teil des zu wissen Nötigen unklar. Die Frage muß von zwei Gesichtspunkten aus betrachtet werden; der eine ist *der Grund des Vorgangs*, der andere *der Weg*, den die Umbildung genommen hat. Der Grund des Übergangs der Haut, die mit Schuppenbedeckung zum Leben ausreichende Bedingungen bot, in diejenige, welche der Haar- und Federbedeckung bedurfte, kann nur in physikalischen Verhältnissen der Erdatmosphäre gesucht werden. Biologie und Physik sind die Wissenschaften, welche ihn erforschen können. Die Umbildung selbst aber zu beschreiben, ist Sache der Morphologie. Was diese Wissenschaft für die Frage der Säugetierableitung leisten kann, zeigt die paläontologische Skelettforschung im allgemeinen, die vergleichende Zahnforschung im spezielleren. Eine so spezielle systematische Kenntnis wie von den Zähnen besitzen wir von Haar und Feder bei den lebenden Tierarten ebenfalls. Paläontologisch aber haben wir sie nicht, da Haar und Feder sehr vergängliche Gebilde sind und nicht, wie die Zähne, von ältesten Zeiten her sich erhalten haben. Für die Entstehung von Haar und Feder brauchen wir aber auch diese spezielle Kenntnis nicht. Wir wären zufrieden, wenn wir die Ableitung dieser Gebilde im allgemeinen kennen würden.

Zu einer Zeit, als diese Fragen noch keine große Bedeutung besaßen, hat der wichtige Fund der beiden Archaeopteryxemplare unzweifelhaft eine Zwischenstufe zwischen Reptil und Vogel ans Licht gebracht. So sicher auch die vergleichende Morphologie die Entstehung der Feder aus der Reptilienschuppe erwiesen hat, so hat der Fund dieses Zwischentypus Archaeopteryx doch eine unschätzbare Bedeutung. Für die Säugetiere ist ein ähnliches Zwischenglied aus paläontologischen Funden nicht vorhanden. Es dürfte aber wohl kaum von der Richtigkeit abweichen, wenn wir annehmen, daß entsprechende Zwischenstufen uns unter den lebenden Tieren noch zur Verfügung stehen. Als diese Zwischenstufen dürfen wir die Monotremen ansehen, welche in Bau und

Entwicklung noch eine größere Verwandtschaft mit den Reptilien als die höheren Säugetiere besitzen. Aus ihrem Fell aber Rückschlüsse auf die Entstehung der Haare ableiten zu wollen, ist unmöglich, genau so wie die Ableitung der Feder aus der Reptilienschuppe bei Archaeopteryx nicht möglich ist.

So sicher wir annehmen dürfen, daß die Vorläufer der haarbekleideten Säugetiere reptilartige Wesen sein müssen, vermutlich Stegocephalen, so wissen wir noch nicht im mindesten, an welcher Stelle des Stammbaums der Übergang stattgefunden haben mag.

Paläontologisch lassen sich weder Haare noch Federn ableiten. Diese Gebilde müssen an den lebenden Tierarten vergleichend anatomisch erforscht werden. Wir lassen die Federn in dieser Betrachtung beiseite, da es, wie gesagt, als sicher anzunehmen ist, daß die Reptilienschuppe in die Feder übergegangen ist, ja, daß die Schuppen der Vogelbeine vielleicht den Reptilienschuppen noch sehr nahe stehen. Dies muß an einer Stelle des Stammbaums geschehen sein, die viel jünger, d. h. systematisch höher organisiert ist als die Stelle, an der das Haar sich zu bilden begann. Die Feder ist ein Gebilde ziemlich hoch spezialisierter Reptilien; das Haar muß in primitiveren Verhältnissen sich angelegt haben.

Für die Abstammung des Haares sind einige neuere Befunde gemacht worden, die zusammenzufassen wichtig ist. Wir handeln deshalb hier nur die vermutliche Entstehung der Haare ab.

Maurers Arbeiten über die Integumentalorgane¹⁾ führen zu dem Ziel, daß die Hautsinnesorgane am Lateralnervensystem in Beziehung zu den Haaren, die Hautdrüsen der Amphibien in Beziehung zu den Schweißdrüsen der Säugetiere stehen. Maurer faßt den Übergang von den Amphibien- und Fischverhältnissen zu denen der Reptilien in folgender Weise auf. Beim Seitenorgan, das aus den zentralen Sinneszellen und den äußeren, diese rund herum umgebenden Stützzellen besteht, werden die Sinneszellen vom n. lateralis sensorisch innerviert, die Stützzellen von den cerebrospinalen Kopf- und Rumpfnerven sensibel. Das Lateralsinnesorgan wird, wie er bei Fischen beobachtet hat, gelegentlich ausgestoßen. An seiner Stelle bildet sich durch Wucherung der umgebenden Epithelzellen eine Epidermisverdickung, das sog. Perlorgan. Diese Perlorgame sind Homologa der Merkschen Tastflecke der Anuren und der Reptilien; indessen sind in diesen Tastflecken, für welche der beim Übergang

¹⁾ Fr. Maurer, Die Epidermis und ihre Abkömmlinge. Leipzig, Engelmann, 1895.

zum Landleben verschwindende nervus lateralis als Innervation nicht mehr in Betracht kommt, nach Maurers Annahme die zentralen Sinneszellen nicht zugrunde gegangen, sondern nur in die Tiefe versenkt worden. Die Tastflecke der Reptilien sind, wie wir sehen werden, außerordentlich wichtige Gebilde, oft beachtet bei theoretischen Ableitungen der Haare. Hier sei gleich bemerkt, daß die Tastflecke der Anuren und der Reptilien nach meinen eigenen Untersuchungen vermutlich mit den zuerst von Römer²⁾ bei Echidna, dann von mir bei einer großen Reihe von Säugetieren und vor allem beim Menschen beschriebenen Haarscheiben³⁾ zu vergleichen sind.

Die Haare leitet Maurer aber nicht von diesen zu Perlorganen und Tastflecken umgewandelten Lateralorganen ab, sondern direkt von den Seitenorganen selbst. Die Lateralinnervation geht zugrunde, das Endorgan wird unter Verlust der zentralen und Weiterbestehen der seitlichen Innervation zum Haarfollikel und Haar. Und zwar bilden die Sinneszellen dessen zentralen Teil, das Mark; die Stützzellen, welche bereits bei den geschwänzten Amphibien verhornen, wenn sie zeitweise das Wasser verlassen, bilden die Haarrinde; die umgebenden Epidermiszellen bilden die Hüllen des Haares.

Diese Erklärung für die Abstammung des Haares hat zwar viele Anhänger gefunden, aber sich doch keine allgemeine Anerkennung zu erwerben vermocht. Ich selbst habe ihr widersprochen, weil mir der Sprung von den Amphibien zum Säugetier ohne auffindbare Zwischenstufen zu weit erschien, und weil ich in meinen Untersuchungen über die Haarscheibe zu dem Ergebnis kam, daß die typische Lagerung von Haar und Haarscheibe (= Reptiliensinnesorgan) zueinander die Vereinigung auf dem Bezirk einer Reptilienschuppe zur Voraussetzung haben müsse. Zudem mußte auf diesem Schuppenbezirk, der in seinen Tastorganen zweifellos Homologa der Amphibientastflecke trägt, auch ein Rest der nach Maurers Hypothese umgewandelten Lateralorganen vorhanden sein, wenn diese die Vorläufer der Haare wären. Denn daß das eine Organ sich beim Reptil erhalte, das andere zugrunde gehe, wollte mir nicht einleuchten.

Die Idee, daß man auf den Reptilienschuppen nach Gebilden suchen müsse, die als Vorläufer des Haares anzusehen sind, ist alt und wahrscheinlicher als jede andere. Alles, was auf ihnen gefunden wurde, ist auch alsbald in dieser Weise gedeutet worden. Nur fand man früher keine ausreichende Ähnlichkeit. Das hat sich in den letzten Jahren sehr zugunsten der Ursprungshypothese des Haares auf der Reptilienschuppe

geändert. In den Arbeiten von Cohn⁴⁾, Schmidt⁵⁾ und Preiß⁶⁾ sind wichtige neue Befunde enthalten. Wir lernen aus ihnen den Bau der Sinnesorgane auf den Schuppen einiger Reptilienarten, und namentlich ihre Entwicklung vor der Häutung

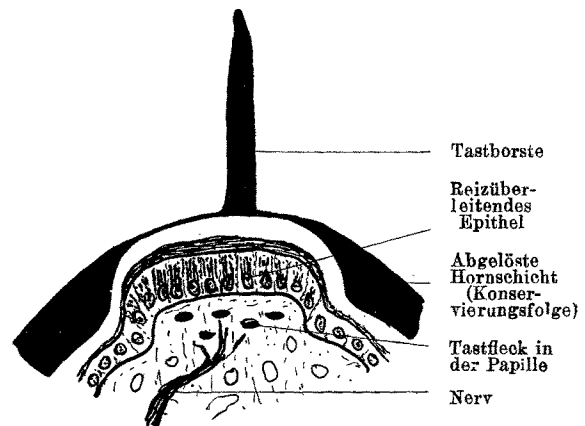


Fig. 1. Schema nach Schmidt, Fig. 12—16. Tastorgan mit Borste im Ruhezustand. Der Nerv ist schematisch von mir dazugezeichnet (Calotes).

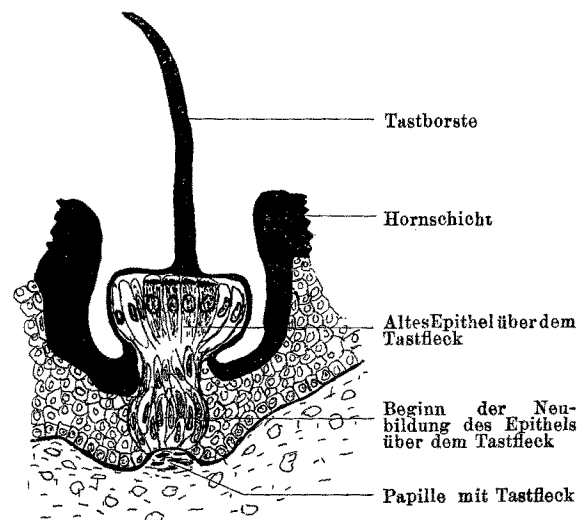


Fig. 2. Schema nach Cohn und Schmidt, Fig. 11. Beginn der Neubildung des Tastorgans von Agama (Deutung nach Preiß).

kennen. Diese Befunde lehren, daß gewisse Formen der Reptilienorgane anatomisch sehr den Säugetierhaaren vergleichbar sind.

⁴⁾ L. Cohn, Die Hautsinnesorgane von *Agama colorum*. Zool. Anz. Bd. 44, S. 145, 1914.

⁵⁾ W. J. Schmidt, Einiges über die Hautsinnesorgane der Agamiden, insbesondere von Calotes, nebst Bemerkungen über die Organe bei Geckoniden und Iguaniden. Anat. Anz. Bd. 53, S. 113, 1920.

⁶⁾ Frieda Preiß, a) Über Sinnesorgane in der Haut einiger Agamiden. Zugleich ein Beitrag zur Phylogenie der Säugetierhaare. Jenaische Zeitschr. f. Naturwissenschaft Bd. 58, S. 25, 1921. b) Einige Bemerkungen zu W. J. Schmidts Aufsatz: Einiges über die Hautsinnesorgane der Agamiden. Anat. Anz. Bd. 54, S. 22, 1921.

²⁾ Fr. Römer, Studien über das Integument der Säugetiere II. Das Integument der Monotremen. Semons Forschungsreisen, Jenaische Denkschriften VI, 1898.

³⁾ F. Pinkus, Über Hautsinnesorgane neben dem menschlichen Haar. (Haarscheiben) und ihre vergleichend anatomische Bedeutung. Arch. f. mikr. Anat. Bd. 65, S. 121.

Die Grundlage der Sinnesorgane der Agamengattungen besteht aus einer mit Tastmenisken, Nerven und Blutgefäßen versehenen Kutispapille. Über dieser Papille liegt eine je nach der Gattung recht verschieden gebaute Epithelzellenplatte, deren Zellen meist hoch, in zentrale Zellen und äußere Stützzellen unterschieden und von der umgebenden Epidermis abweichend gestaltet sind. Diese Epithelzellenplatte bildet aus ihren zentralen Zellen einen Hornstachel (Tastborste) aus. Im Ruhestadium sieht man also auf dem Durchschnitt den frei hervorragenden Hornstachel, auf einer dünnen Hornlamelle aufsitzend, und unter dieser das hohe Epithel des Tastorgans über der Tastzellen haltenden Kutispapille. So verschieden der genauere Bau der Tastorgane, namentlich ihrer epithelialen Partie, je nach der Gattung der Tiere ist, so bleiben diese Unterschiede für unsere Betrachtungen doch ohne Bedeutung. Dagegen ist es für uns von der größten Wichtigkeit, daß die mehr oder weniger lange und starke Tastborste in der Mitte des Organs kein einfaches Kutikulargebilde und auch nicht etwa ein einzelliges Härchen ist, sondern ein zusammengesetztes Organ, das aus einer Anzahl spindelförmiger Zellen besteht. Diese Zellen sind meist pigmentiert und ganz ähnlich einem Säugetierhaar fest miteinander zu einem einheitlichen Organ verkittet, von einer unpigmentierten Zellage überzogen.

Wenn die Häutung sich vorbereitet, beginnt von der untersten Epithelzellage aus sich auf der alten, unverändert bestehen bleibenden Kutispapille ein neues Organ zu bilden. Nun liegen von oben nach unten übereinander das alte Organ mit dem Hornstachel auf seiner Hornplatte und eine große Masse von Epithelzellen, deren oberste Partie den Rest des alten Organs, in der allmählich vor der Häutung vor sich gehenden Verhornung begriffen, darstellt, deren untere Partie je nach dem Fortschritt der Neubildung der Epidermis ein mehr oder weniger fertiggestelltes neues Sinnesorgan ist. Es hängt mit dem alten verhornenden Organ zusammen, und seine mittelsten Zellen wachsen zu einem neuen, von den seitlichen Epithelzellen umgebenen Stachel aus. Zum Schluß befindet sich in der alten, zur Abwerfung sich vorbereitenden Hautlage ein verhornetes Organ mit hartem Stachel über einem genau so gebauten Organ mit noch nicht verhornetem Stachel inmitten der Epidermis und auf der die Blutgefäße, Nerven und Nervenendzellen enthaltenden Papille.

Auf jedem dieser Organe befindet sich nur ein einziger Stachel, doch sitzen vielfach eine ganze Anzahl solcher Organe auf einer einzigen Schuppe. Mehrere dicht nebeneinander stehende Organe scheinen durch Teilung aus einem einzigen hervorgegangen zu sein, ein Verhalten, welches *Preiß* mit der Büschelbildung der Säugetierhaare aus einem Stammhaare vergleicht.

Diese Organe der Agamiden entsprechen den Tastflecken der übrigen Reptilien. Die epithelialen

Bestandteile der Organe sind nach *Schmidt* nicht das eigentliche Sinnesorgan, sondern nur eine die Gefühlsempfindung vermittelnde Epidermisdifferenzierung, die den Reizüberträger darstellt, während das eigentliche empfindende Nervenendorgan in der Kutispapille darunter besteht. Diese Anschauung scheint richtiger zu sein als diejenige, welche in den eigentümlichen Epithelbildungen selbst das Sinnesorgan sieht. Die einfachere Differenzierung der Epidermis über den Tastflecken der übrigen Reptilien (z. B. der Krokodile, der Hatteria) ist bei den Agamiden zu dem beschriebenen hochdifferenzierten Organe umgewandelt.

Es ist in diesen Organen dasjenige enthalten, was uns bei *Maurers* Ableitung der Säugetierhaare von Sinnesorganen der Amphibien fehlte.

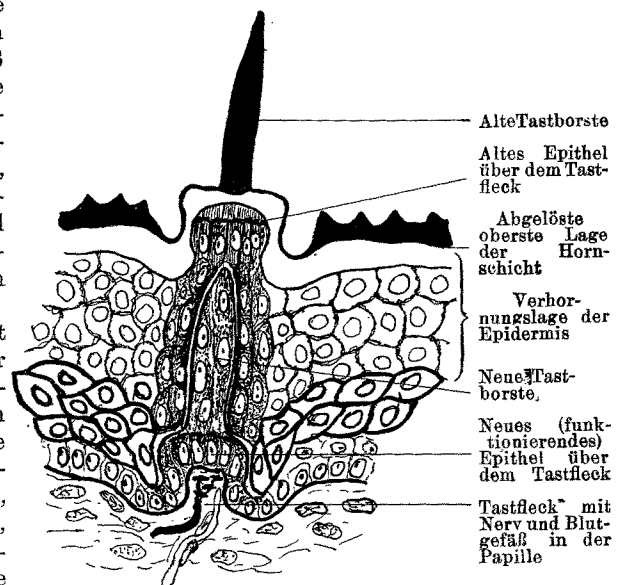


Fig. 3. Schema nach Bildern und Präparaten von *Preiß*.

Sie bilden sich auf den Schuppen der Reptilien neben den gewöhnlichen einfacher gebauten Tastflecken oder anstatt dieser aus. Sie besitzen eine außerordentliche Ähnlichkeit mit dem Haarfollikel der Säugetiere: Kutispapille von dauerndem Bestand, darüber eine zweimal im Jahre wechselnde, in besonderer Form organisierte Epithelanhäufung mit zentraler Ausbildung eines mehrzelligen langen, festen, haarartigen Gebildes. Diese Reptilienorgane sind zwar den Lateral-sinnesorganen der Amphibien und Fische ähnlich, da aber ein wirkliches Bestehenbleiben der Lateralorgane nach Wegfall der Seitennerven unwahrscheinlich ist, können wir die Reptilienorgane nicht mit diesen identifizieren. Das ist auch, trotz des ähnlichen Baues, aus dem Grunde unmöglich, weil es viel wahrscheinlicher ist, daß sie selbständig, als Neubildung, aus den einfacheren Tastflecken der übrigen Reptilien sich entwickelt haben. Morphologische Ähnlichkeit

zweier Bildungen darf niemals als Beweisgrund für ihre genetische Ableitung auseinander gelten, wenn andere Gründe die Ableitung voneinander hindern.

Bei der großen Ähnlichkeit der Agamidentastflecke mit dem Bau des Säugetierhaares besitzt die von *Preiß* ausgesprochene Anschauung große Wahrscheinlichkeit, daß wir von ihnen aus den Weg sehen, auf dem die Behaarung der Säugetiere zustande gekommen ist. Die Tastflecke der Reptilien wären nach *Preiß* als die Vorläufer des Säugetierhaares anzusehen. Die Menge der

tische Bedeutung, zumal die Reptilien, bei denen wir die haarfollikelähnlichen Bildungen kennen gelernt haben, sicher nicht auf einer Stufe des Weges sich befinden, den der Säugetierstamm bei seiner Herausbildung aus reptilienartigen Vorfahren genommen hat. Zudem fehlt bei den betrachteten Reptilienorganen vollkommen die systematische Anordnung, die Haar und Haarscheibe bei den Säugetieren zueinander besitzen, von denen die eine Bildung, nämlich die Haarscheibe, mit großer Wahrscheinlichkeit als identisch mit den Reptilientastflecken anzusehen ist.

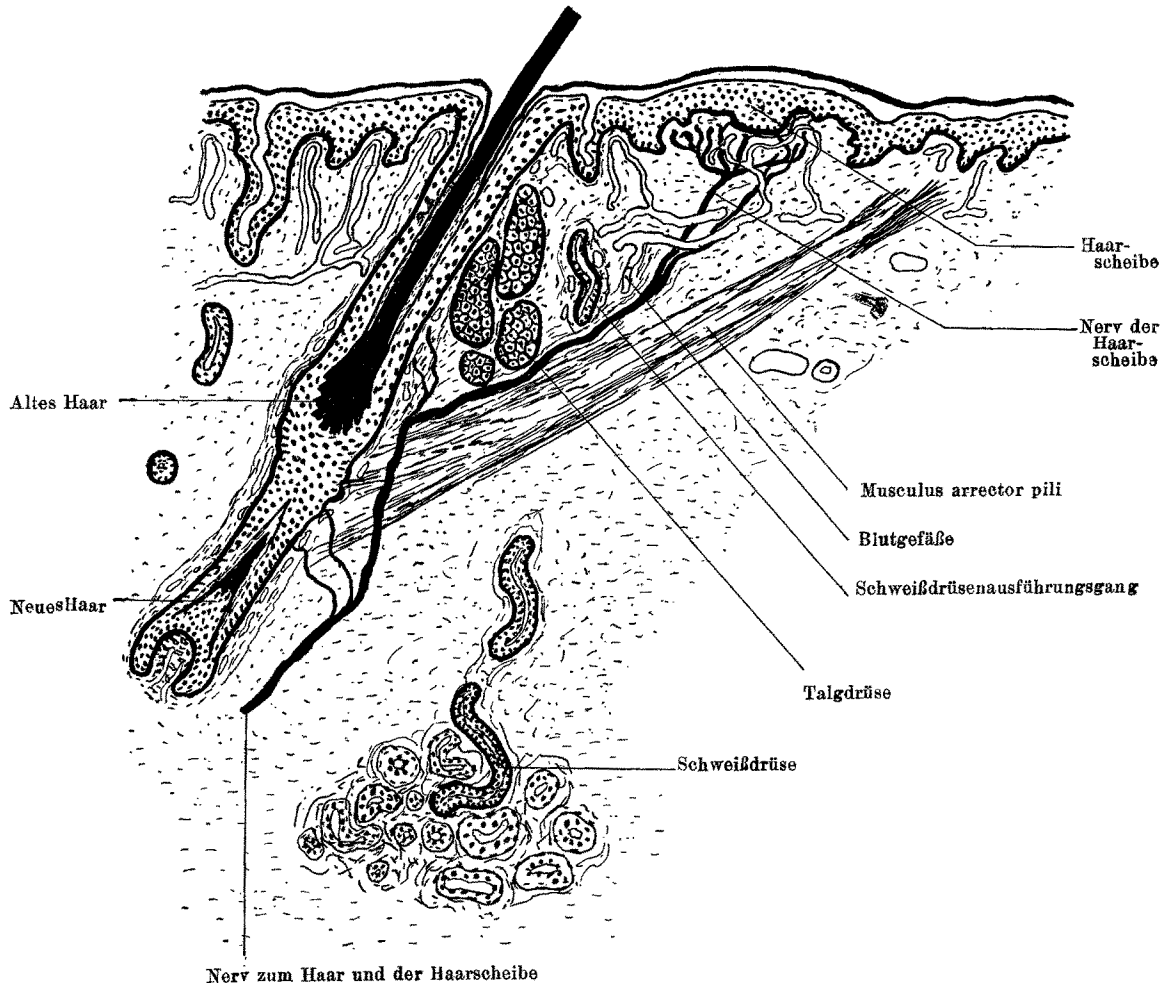


Fig. 4. Schema eines menschlichen Flaumhaarfollikels im Haarwechsel. Daneben die Haarscheibe.

Sinnesorgane beim Reptil würde vollkommen ausreichen, um auch nach dieser Richtung hin eine Parallele zu den Säugetierhaaren zu ziehen. Der menschliche Körper besitzt vom Nacken bis zum Steiß, gerade heruntergezählt, 300—400 Haarbezirke; die Agamen besitzen vom Nacken bis zum Anfang des Schwanzes 400—500 Schuppenringe. Das Vergleichsmoment der Reptilienorgane und der Haare besteht ebenfalls vornehmlich in der Ähnlichkeit des anatomischen Baues, und diese allein ist nicht ausreichend zum Führen eines ausreichenden Beweises für ihre gleiche gene-

Wenn wir eine strenge Vergleichung zwischen den haarfollikelartigen Tastflecken der Reptilien und den Säugetierhaaren zulassen wollen, dann müßte angenommen werden, daß in der Haut der Säugetiere sich zwei Differenzierungsarten der Reptilientastflecke vorfinden, und daß diese beiden sich in eigentümlicher Form aneinander angeschlossen haben; die eine Differenzierung wäre die Haarscheibe, die zweite das Haar selbst. Für die Haarscheibe dürfte der Zusammenhang mit dem Reptilientastfleck sehr wahrscheinlich sein. Für das Haar kann zunächst noch nicht

das gleiche gesagt werden. Das Haar des Säugetieres besitzt zwar sinnesorganartige Funktionen, wenigstens als Reizübermittler, ganz wie die Tastborste der Agamen, es entwickelt sich auch über einer nach seiner Abstoßung weiterbestehenden Papille, es wechselt zweimal jährlich wie das Agamentastorgan unter Neubildung auf derselben Papille. Aber seine Funktion als Reizübermittler wirkt nicht auf ein in der Papille angeordnetes Nervenendorgan, sondern auf Nervenendigungen, die in der Follikelwand selbst liegen. Alle diese Unterschiede sind keine zwingenden Gründe, um die von *Preiß* ausgesprochene Anschauung zurückzuweisen, aber sie genügen, um die Hypothese von *Preiß* noch nicht als bindend bewiesen anzusehen.

Soviel können wir aber sagen, daß wir gesehen haben, daß die Haut noch jetzt lebender Reptilien imstande ist, auf ihren Schuppen Gebilde zu schaffen, welche den Säugetierhaaren weitgehend morphologisch vergleichbar sind. Dies ist ein großer Schritt vorwärts in unserer Erkenntnis von der Entstehung des tierischen Haares.

Die Anwendung der Interferometrie auf biologische Probleme.

Von Paul Hirsch, Jena.

Physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden erfreuen sich auch in der Biologie in neuester Zeit einer immer größer werdenden Anwendung. Bei biologischen Untersuchungen, wo man vielfach wegen der geringen Flüssigkeitsmengen oder, allgemeiner ausgedrückt, Substanzmengen sowie wegen der Natur der in Frage kommenden Stoffe mit ganz anderen Methoden, als sie sonst dem Chemiker üblich sind, arbeiten muß, stellen sie äußerst brauchbare Untersuchungsmethoden dar, deren Anwendung sich immer mehr und mehr einbürgern wird. In den letzten Jahren hat sich die Refraktometrie unter diesen physikalisch-chemischen Verfahren ein größeres Anwendungsfeld erobert. Ich möchte an dieser Stelle einige Ausführungen über Untersuchungen machen, denen die Anwendung des Interferometers zugrunde liegt.

Die Messungen mit dem Flüssigkeitsinterferometer, das wir *F. Löwe* verdanken, und das von der Firma Carl Zeiss in Jena hergestellt wird, beruhen darauf, daß durch den Unterschied der Lichtbrechung bzw. Konzentration einer zu untersuchenden Lösung und einer Vergleichslösung Interferenzstreifen wandern. Die Haupteigenschaftlichkeit des Interferometers besteht darin, daß durch eine besondere Einrichtung eine unveränderliche, normale Interferenzerscheinung, die als Nullage dient, hervorgerufen wird. Die oben erwähnte Wanderung der Interferenzstreifen läßt sich gegenüber der Nullage leicht feststellen, sie kann durch eine Kompensatoreinrichtung ausgeglichen und in ihrer Größe bestimmt werden.

Wir führen also mit dem Interferometer Differenzmessungen aus. Besonders hervorzuheben ist bei den Messungen mit dem Interferometer die Tatsache, daß das Messen mit dem Kompensator dadurch ausgezeichnet ist, daß es eine sogenannte Nullmethode darstellt. Eine Nullmethode führt erfahrungsgemäß bei den verschiedensten Beobachtern durch Ausschaltung jeglichen subjektiven Beobachtungsfehlers zu genauen und gleichmäßigen Resultaten.

Wegen der Interferometereinrichtung, Genauigkeit der Messungen sowie näheren Angaben über das ganze Interferometrieproblem, soweit physikalische Einzelheiten in Frage kommen, sei auf die am Schlusse angeführte Literatur verwiesen.

Durch die bekannten Arbeiten von *Emil Abderhalden* wissen wir, daß der tierische Organismus auf eine parenterale Zufuhr körperl. bzw. blutfremder Substanzen mit der Mobilmachung von Abwehrfermenten antwortet. Durch die Beobachtungen von *Schmorl*, *Weichardt*, *Freund* und anderen Forschern wußte man bereits, daß bei der Schwangerschaft blutfremde aber arteigene Stoffe im Blut kreisen können, die man als in die Blutbahn verschleppte Zelltrümmer von Chorionzotten ansah, und die nach *Abderhaldens* Theorie die Bildung von spezifischen auf Plazentaeiweiß eingestellten Abwehrfermenten im Blute zur Folge haben mußten. Die Weiterverfolgung dieser Fragestellung ergab nun, daß nicht nur durch gelegentlich losgerissene und in die Blutbahn verschleppte Trümmer von Chorionzottenzellen die Bildung der Abwehrfermente bewirkt werden könne, sondern, daß auch Zerfallsprodukte oder Stoffwechselprodukte der Plazenta genügen, um Abwehrfermente hervorzurufen. Auf diese durch Versuche als richtig erwiesene Anschauung gründet sich die von *Abderhalden* angegebene Serodiagnostik der Schwangerschaft¹⁾. Die ihr zugrunde liegenden Überlegungen wurden auf andere Probleme übertragen, und heute ist die *Abderhalden-Reaktion* bereits eine diagnostisch viel benutzte klinische Untersuchungsmethode bei Störungen an endokrinen Drüsen sowie bei Carcinom usw. geworden.

Zum Nachweis der Abwehrfermente standen mehrere Methoden zur Verfügung, von denen das Dialysierverfahren sowie die optische Methode die ältesten sind. Eine genaue quantitative Methode zum Nachweis der Abwehrfermente konnte ich durch Benutzung des Interferometers ausarbeiten. Sie beruht auf folgender Überlegung:

Lasse ich ein Abwehrferment enthaltendes Serum auf ein besonders dargestelltes Organsubstrat, das von den spezifischen Abwehrfermenten abgebaut wird, einwirken, so bekomme ich durch die infolge des Abbaues gebildeten und in Lösung gehenden Abbauprodukte eine Konzentrationszunahme des Serums. Diese Konzentrations-

¹⁾ Siehe *F. Heimann*, diese Zeitschrift 1, 283 (1913).