

Ueber die Entstehung der Bienenzellen.

Von

Dr. K. Müllenhoff in Berlin.

Bekanntlich haben die Wachszellen der Honigbiene die Eigenschaft, mit dem geringsten Aufwande von Substanz, der möglich ist, gleichmässige Grösse, grosse Festigkeit und die grösste Benutzung des Raumes zu vereinigen.

Diese Eigenschaft der Bienenzellen hat schon vielfach das Erstaunen der Beobachter hervorgerufen; man beruhigte sich aber in den meisten Fällen, anstatt nach einer naturwissenschaftlichen Erklärung zu suchen, mit der Annahme eines höchst complicirten Instinctes.

Schon vor 1500 Jahren bewunderte Pappus die Bienen, dass sie für ihre Zellen die Form von regulären sechsseitigen Säulen wählten; er bewies die Zweckmässigkeit dieser Form gegenüber den sämtlichen anderen Säulen. Maraldi und nach ihm Réaumur untersuchten die Form der Mittellamelle der ganzen Wabe (die aus je drei Rhomben gebildeten vertieften Böden der Zelle). Eine im Auftrage Réaumurs im Jahre 1739 durch den Mathematiker König ausgeführte Berechnung der zweckmässigsten, d. h. in Bezug auf Wachskonsum sparsamsten von allen möglichen Formen der Mittellamelle ergab, dass die Mittellamelle bestehen müsse aus Pyramiden von drei Rhomben gebildet, welche als Winkel an der Spitze $109^{\circ} 28'$ haben. Dieselbe Winkelgrösse hatte im Jahre 1712 Maraldi durch seine Messungen gefunden.

Diese Untersuchungen ergaben, dass die einzelne Bienenzelle eine sechsseitige Säule darstellt, welche an der Mittellamelle der Wabe von einer dreiseitigen Pyramide begrenzt wird; die am tiefsten Punkte der ganzen Zelle zusammenstossenden Kanten bilden Winkel von $109^{\circ} 28'$; Winkel von derselben Grösse werden von der kurzen Seite der sechsseitigen Säule und den beiden anstossenden Rhombenseiten eingeschlossen. In den Endpunkten der langen Prismenseiten treffen sich demgemäss vier Kanten unter Winkeln von $70^{\circ} 32'$.

In der Wabe liegen nun die kurzen Prismenseiten der Zellen der einen Wabenhälfte in der Verlängerung der Hauptachse der Zellen der anderen Wabenhälfte.

Die Anordnung der Wachsplatten, welche die ganze Wabe zusammensetzen, lässt sich hiernach in der Art formuliren:

1) In einer Kante schneiden sich jedesmal drei Häutchen und diese bilden unter sich gleiche Winkel (von 120°).

2) In den Endpunkten der kurzen Prismenseiten vereinigen sich jedesmal vier Kanten unter $109^{\circ} 28'$.

3) In den Endpunkten der langen Prismenseiten durchschneiden sich jedesmal vier Kanten unter $70^{\circ} 32'$.

Diese Eigenschaften entsprechen fast genau den Gesetzen, die Plateau für seine Gleichgewichtsfiguren gefunden hat:

1) An einer flüssigen Kante schneiden sich nie mehr als drei Häutchen und diese bilden unter sich gleiche Winkel.

2) Wenn sich im Inneren der Figur flüssige Kanten schneiden, so sind es immer vier und diese bilden gleiche Winkel miteinander.

Zellen von genau derselben Anordnung und genau derselben Winkelgrösse, wie sie die Bienenzellen zeigen, würde man erhalten, wenn man sich zahlreiche Seifenblasen von gleicher Grösse in zwei parallelen Rahmen aufhängt und die beiden Systeme von Seifenblasen einander nähert, bis sie sich berühren. Die Seifenblasen platten sich dann ab und bilden sechsseitige Prismen, welche an der Berührungsfläche der beiden Systeme von Seifenblasen die Maraldi'schen Pyramiden zeigen. Die oberste Reihe der Seifenblasen würde dabei die Form fünfseitiger Pyramiden, d. h. also genau die Form der Heftzellen annehmen müssen.

Es liegt demnach die Vermuthung nahe, dass diese absolute Uebereinstimmung der Formen der Seifenblasen und der Bienenzellen in gleichen physikalischen Bedingungen bei der Bildung der beiden Körper ihre Erklärung finden möchte.

Beobachtet man nun die Bienen beim Wabenbau, so sieht man, dass sich unter dem Brette, an dem die neue Wabe hängen soll, auf jeder Seite wenigstens ein Dutzend Individuen in der Art anhängen, dass die Köpfe der Thiere der einen Wabenseite denen der andern Seite entgegengestellt sind. Indem nun jede einzelne Biene sich mit ihrem zwischen den Kiefern gehaltenen Wachsklumpchen möglichst weit nach oben und vorn drängt, entsteht durch den Druck von beiden Seiten aus dem Wachsklumpchen eine Wachsplatte. Von Anfang an ist diese Platte nicht eben, sondern dem Drucke der zahlreichen Bienenköpfe entsprechend hin- und hergebogen.

Da die Bienen bei ihrem Vorwärtsdrängen sich in der Weise ausweichen, dass jede einzelne mit ihrem Kopfe in die Lücke zwischen zwei entgegenkommende hineindrängt, so würde, wenn die Thiere auf beiden Seiten ihre Köpfe in gleicher Höhe behielten, die Mittelamelle der Wabe aus so viel Paaren von Paralleltrapezen bestehen, als auf jeder Seite Bienen sind. Jede einzelne Zelle würde von einem Dache von 2 gegen einander unter 120° zusammenstossenden Paralleltrapezen

begrenzt werden; ein Fall, der übrigens fast an jeder Bienenwabe hier und da bemerkt werden kann.

Bei dem Vorwärtsdrängen der Thiere werden nun aber die sich begegnenden Köpfe stets nach der Seite des kleineren Widerstandes ausweichen müssen; das heisst also bei einer neu begonnenen Wabe wird ein Thier der einen Seite von seinen beiden Gegnerinnen nach unten abgedrängt; es wird dann mit seinem Kopfe genau in die Mitte von drei gegenüberstehenden gedrängt.

Indem nun jede Biene einer Seite mit ihrem Kopfe in die Lücke zwischen drei ihr entgegenkommende hineindrängt, entsteht durch den Druck, dem das weiche Wachs ausgesetzt wird, die wegen ihrer „höchsten Zweckmässigkeit“ so viel bewunderte Mittellamelle; die Maraldi'schen Pyramiden sind nichts als zwischen den Endpunkten der eben begonnenen Prismenseiten ausgespannte Plateau'sche Gleichgewichtsfiguren!

Der Instinct, den die Thiere hierbei zeigen, ist ein sehr einfacher; sie drängen sich, in zwei senkrechten Platten vereinigt, mit ihren Wachs-kügelchen nach vorn und oben. Von einem künstlichen Bearbeiten des Wachses ist hierbei nicht die Rede: die Maraldi'schen Pyramiden bilden sich ausschliesslich nach physikalischen Gesetzen, nicht durch „bewusste Thätigkeit der Architekten“. Die Form des Bienenkopfes ist für die Gestalt des Zellbodens von keiner Bedeutung, da das Wachs bei der durch die rasche Athmung der Thiere und den fortwährenden Druck erzeugten hohen Wärme im höchsten Grade plastisch ist.

In ganz analoger Weise, wie die Zellböden, entstehen auch die Prismenseiten durch den Druck, den der im Ganzen cylindrische Körper einer jeden Biene durch die sechs auf derselben Wabenseite um sie herum gelagerten Bienen erfährt. Der Vorgang verläuft hier genau ebenso, wie wenn gleichdicke cylindrische Körper durch gleichmässigen Druck zu sechsseitigen Prismen gepresst werden.

Bei der Pressung der Mittellamelle sowohl, wie bei der Pressung der Prismenseiten drängen sich die Bienen möglichst stark nach oben. Weil nun der Hinterleib der Thiere etwas dünner ist, als die dicke Brust, so wird eine jede Zelle von Anfang an gegen die Mittelebene der ganzen Wabe etwas geneigt sein. Diese Neigung der Zellen gegen die Mittelebene ist zwar ziemlich gering, ist aber doch für die Thiere von grosser Wichtigkeit; in solche Waben, welche vom Bienenzüchter in umgekehrter Stellung in die Rahmen eingeklebt sind, tragen die Arbeiterinnen keinen Honig ein; auch benutzt die Königin sie nicht zur Ablage der Eier; derartige Waben bleiben vielmehr im Bienenstocke unbeachtet stehen oder werden abgebrochen.

Es giebt sich hieraus, dass das Verfahren der einzelnen Biene

genau dasselbe ist, als wollte sie einen cylindrischen Hohlkörper construiren. In der That sieht man ja auch, dass Bienen, denen man eine dicke Wachstafel giebt, in dieselbe runde Löcher beissen resp. pressen. Arbeiten die Thiere, was namentlich bei den Drohnenzellen häufig der Fall ist, mit einem Uebermass von Wachsmaterial, so ist jede einzelne Zelle ein Cylinder mit halbkugligem Boden; werden bei solchen, Reagenzgläsern ähnlichen, Zellen die Zellwände durch Entfernung der überschüssigen Wandsubstanz auf die übliche Stärke reducirt, so gestalten sich, wie man leicht beobachten kann, die Wände und zwar sowohl die Wände der Prismen wie die der Pyramiden, allmählig zur normalen Form.

Auch bei der Betrachtung der Königinzelle zeigt sich, dass die einzelne Biene nur am Grunde halbkuglich vertiefte Hohlcylinder zu bauen versteht: sie baut ebenso einfach, wie die Mauerlehmwespe (*Odynerus murarius*), wenn dieselbe ihre am Eingang in ihren Röhrenbau angeklebte Regentraufe construirt.

Dass die Bienen häufig und ohne alle erkennbare Ordnung in die Aussenwand der dicken Wachsmasse der Königinzelle Löcher beissen, die natürlich, weil der Gegendruck von der anderen Seite fehlt, halbkuglig ausfallen, lässt die Kunstfertigkeit der einzelnen Biene keineswegs sehr bedeutend erscheinen. Réaumur thut daher sehr wohl, dass er die Königinzelle nur darin, dass sie viel Baumaterial beansprucht, mit einem grossen Palaste vergleicht. —

Wenn die Bienenzellen mit Honig oder mit vollkommen ausgewachsenen Larven angefüllt sind, so werden sie mit einem Wachsdeckel hermetisch verschlossen. Die gedeckelte Zelle hat nun, wie zahlreiche Messungen ergaben, genau die Form der erst erwähnten Seifenblasen. In ganz ähnlicher Weise sind aber auch die Zellen der Meliponen und die einschichtigen Waben der Gestalt von Seifenblasen ähnlich.

Die einzeln stehenden Honigtöpfe der Meliponen sind kuglich, wie frei schwebende Seifenblasen. Berühren sich zwei Meliponenzellen, so platten sie sich ab. Drei gleich grosse Meliponenzellen ordnen sich, wenn sie einander nahe rücken, so, dass ihre Begrenzungsebenen sich unter 120° Grad schneiden. Berühren sich zahlreiche, gleich grosse Seifenblasen, die in einer Ebene angeordnet sind, so nähern sie sich der Form von Wespenzellen. (Die von denen des Wassers und Wachses vollkommen verschiedenen Cohäsionserscheinungen bei dem Papier der Wespenzellen bewirken eine Emporwölbung von Zellboden und Deckel.) Wird eine Schicht Seifenblasen senkrecht aufgehängt, und durch eine zweite Schicht gleicher Art berührt, so entsteht die Form der Bienenwabe. Die bewegende Kraft bei der Bildung aller dieser Zellarten ist nicht in einer kunstvollen Kieferbewegung der Insekten, sondern aus-

schliesslich in physikalischen Ursachen, beim Wachse speciell darin zu suchen, dass sich das plastische und auch nach dem Erkalten noch viscöse Material, genau wie bei den Seifenblasen, so lange verschiebt, bis ein gegebener Inhalt durch ein Minimum von Oberfläche umschlossen wird. Es entstehen demgemäss Flächen ähnlich denen der Plateauschen Gleichgewichtsfiguren, welche ein Minimum von Oberfläche bei gegebener Umgrenzung haben.

Ebenso wenig wie die Kunstfertigkeit der Thiere, lässt sich die Körperform derselben als Ursache für die besondere Gestalt der Zellen anführen. Die Bienenzellen zumal müssten bei der Plasticität ihres Materiales und den vielfachen Anstössen zu Formveränderung, wie sie das Leben im Bienenstocke mit sich bringt, bei gleicher Anordnung der Zellen sehr bald die Form sechsseitiger Säulen mit den Maraldi'schen Pyramiden annehmen, auch wenn die Biene einen genau kugligen oder einen spitzen kegelförmigen, ja selbst, wenn sie einen an der Vorderfläche ganz ebenen Körper besässe.

Ich bin viel eher geneigt anzunehmen, dass bei den Meliponen, Bienen und auch bei den Wespen die Gesamtform des Körpers durch die einmal angenommene Art der Anordnung der Zellen hätte beeinflusst sein können.

Bei der bisherigen Betrachtung wurde die Länge der Zellen der einschichtigen, so wie auch der zweischichtigen Wabe ausser Betracht gelassen. Wir unterziehen nun die für den Fall der kleinsten Oberfläche bei gegebenem Inhalte erforderliche Länge der Zellen einer Berechnung. Es bezeichnet r eine Seite des regulären Sechsecks; l die lange, k die kurze Seite des Prismas; m die Rhombenseite; $d = l - k$; $x = \frac{1}{r}$.

Es ist dann für die Bienenzelle $\frac{d}{m} = \frac{1}{3}$; setzen wir nun $r = 1$,

so ist $r^2 + d^2 = m^2$, folglich $d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2}}$; $m = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{1}{2}}$. Folglich erhalten wir als Ausdruck für den Inhalt und die von einer Zelle zu liefernde Wandoberfläche

$$O = \frac{3}{2} \sqrt{3} r^2 \left(\sqrt{3} + \sqrt{\frac{1}{2}} \right) + 3 r^2 x; J = \frac{3}{2} \sqrt{3} r^3 x.$$

Da nun O ein Minimum sein soll und J constant ist, so sind die Differenzialen beider Grössen = 0 zu setzen; daraus folgt:

$$x = \sqrt{3} + \sqrt{\frac{1}{2}} = 2,44.$$

Für die einschichtige Wabe ergibt sich:

$$O = 3 r^2 \sqrt{3} + 3 r^2 x; J = \frac{3}{2} \sqrt{3} r^3 x; \text{ folglich:}$$

$$x = 2 \sqrt{3} = 3,5.$$

Dasselbe Resultat ergibt sich für die Wespenzelle:

$$O = 4 r^2 \pi + 3 r^2 x; J = \frac{4}{3} r^2 \pi + \frac{3}{2} \sqrt{3} r^3 x;$$

$$x = \frac{8 \pi}{3 \sqrt{3}} (\sqrt{3} - 1) = 3,5.$$

Bei gleichem Halbmesser würde also die Länge der einzelnen Zelle = 2, die der einschichtigen Wachswabe mit glatten Böden = 3,5; die der einschichtigen Papierwabe mit gewölbten Böden = 5,5; die der zweischichtigen Wachswabe = 2,4 sein müssen.

Die Länge der Zellen muss also, wenn sie der Minimumbedingung entsprechen soll, bei einschichtigen Waben eine bedeutendere sein, als bei zweischichtigen. Die Messung der Zellen der Biene sowie zahlreicher Wespenzellen ergab, dass sie diesem mathematischen Postulate entsprechend gebaut sind.

Dass der Körper der Hummeln annähernd kuglich, der der Bienen länger, der der Wespen sehr lang gestreckt ist, könnte man sich demgemäss aus der Variabilität der Lebensgewohnheiten zu erklären geneigt sein.

Berlin, den 9. Mai 1883.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berliner Entomologische Zeitschrift](#)

Jahr/Year: 1883

Band/Volume: [27](#)

Autor(en)/Author(s): Müllenhoff K.

Artikel/Article: [Ueber die Entstehung der Bienzellen. 165-170](#)