

Ueber den Einfluss der Gase auf die Flimmerbewegung.

Von

W. Kühne.

Die Thatsachen, welche die Bewegung der Flimmerhaare auf Epithelialzellen einer Thätigkeit des Zellenleibes zuweisen, mehrten sich durch alle neueren Angaben. Es steht fest, dass von der Zelle getrennte Flimmerhaare sofort gestreckt und bewegungslos werden und andererseits ist es bereits mehreren Beobachtern gelungen, die Haare mit ihren Wurzeln durch die Basis der Epithelialkegel bis in das Protoplasma hinein zu verfolgen (Valentin u. Buhlmann, Friedreich, Eberth). Wenn nun die Bewegung der Cilien hervorgebracht wird durch Bewegung des Protoplasmas, und diese wiederum begründet ist in der Contractilität desselben, so muss die Flimmerbewegung unter denselben Einflüssen beschleunigt, verlangsamt und vernichtet werden, unter welchen die Contractionsbewegungen thierischer Zellen die gleiche Verminderung erfahren. Hinsichtlich des verlangsamenden oder hemmenden Einflusses ist dies bereits für eine grosse Anzahl von Reagentien durch die älteren Untersuchungen bei den Flimmerzellen festgestellt, so wie es auch durch Caliburces Versuche erwiesen ist, dass Steigerung der Temperatur die Bewegung beschleunigt, wie das bekanntlich für jede Art der Contraktionsbewegung jedes Protoplasmas gilt (v. Mohl, M. Schultze). Kistiakowsky hat endlich Beschleunigung der Flimmerbewegung durch constante electriche Ströme so wie durch Inductionsschläge beobachtet.

Es schien mir deshalb nicht unerheblich die Analogie zwischen Flimmer- und Protoplasmaabewegung durch noch weitere Versuche festzustellen. Wir wissen, dass das Protoplasma zur Bewegung des

Sauerstoffs bedarf, so dass nach Entziehung dieses Gases mittelst einer Wasserstoff- oder Kohlensäureatmosphäre Stillstand erfolgt. Dasselbe gilt für die Flimmerbewegung. Ich brachte abgeschabtes Epithel von den Kiemen der Anodonta in eine mikroskopische feuchte Gaskammer und leitete einen raschen Strom chemisch reinen Wasserstoffgases darüber. Nach Austreibung aller atmosphärischen Luft aus dem Apparate verlangsamte sich die Bewegung allmählig und stand endlich ganz still. Wurde dagegen nur eine Spur von Luft in den Apparat gebracht, so begann sie augenblicklich wieder. Zu diesem Versuche muss ich bemerken, dass er in einer Form sehr leicht gelingt, nämlich dann, wenn man einen Brei abgeschabten Flimmerepithels in einer aufrechtstehenden feuchten Kammer von der Recklinghausen'schen Construction durch einen raschen Wasserstoffstrom zerquetschen lässt. Man überzeugt sich vor dem Versuche, dass die Bewegung überall sichtbar ist, und beobachtet dann nach Verschluss des Apparates und während seitlicher Ableitung des Gasstromes überall Stillstand der Bewegung. Der Wiederbeginn des Flimmers sogleich nach dem Durchsaugen von Luft durch die Kammer liefert die Controlle, dass der Sauerstoffausschluss die einzige Ursache des Stillstandes war. — Will man hingegen an einer Zelle oder an einer Zellenreihe die Verlangsamung und den Moment des Aufhörens der Bewegung beobachten, so ist die Anwendung der von mir angegebenen feuchten Gaskammer nicht zu umgehen. Hier dauert der Versuch indessen länger, weil das Zerquetschen des Epithelialbreies, der ohne Zweifel absorbirten Sauerstoff enthält, nicht stattfindet, und weil in der grösseren Glastrommel die Luftverdrängung mittelst des Wasserstoffstromes nicht so schnell stattfinden kann. Für die Wiederholung des Versuches muss ich hinzufügen, dass man sich vor einer zu raschen Wasserstoffentwicklung zu hüten habe, da in der Kammer leicht Luftwirbel entstehen, welche die Austreibung des Sauerstoffs noch mehr erschweren. In allen Fällen muss der Wasserstoffentwicklungs- und Waschapparat sehr vollkommen schliessen. Die kleinste Undichtigkeit in den Kautschukverbindungen, und auch ein unvorsichtiges Eingiessen der Schwefelsäure in den Trichter der Entwicklungsflasche genügen, den Erfolg des Versuches zu vereiteln. Steht die Bewegung einmal still, so braucht man nur eine winzige Luftblase durch den Eingusstrichter hinabstürzen zu lassen, um das Flimmern sofort für einige Zeit wieder beginnen zu sehen.

Es ist möglich die Sauerstoffentziehung an den Flimmerhaaren während des Versuches noch durch ein Reagens zu erkennen. Ich habe mich dazu einer reinen Lösung von Oxyhämoglobin bedient, in welcher ich die Zellen beobachten konnte. Erst als ein Blick durch den Spektralapparat zeigte, dass das Oxyhaemoglobin in reducirtes (Ofreies) Hämoglobin umgewandelt war, stand die Bewegung still.

Die Flimmerhaare entnehmen nicht allein der Atmosphäre oder der in Wasser absorbirten Luft den Sauerstoff, dessen sie zur Entwicklung lebendiger Kraft bedürfen, sondern sie sind auch im Stande ihn anderen Körpern, in welchen der Sauerstoff chemisch gebunden ist, zu entziehen. Ein solcher Körper ist das Oxyhaemoglobin. Bringt man ein Tröpfchen der wässerigen Lösung dieses Körpers, der von abgeschabtem Flimmerepithel dicht erfüllt ist, in das capillare Centrum der Recklinghausen'schen feuchten Kammer, und leitet solange Wasserstoff darüber, bis die Bewegung noch nicht erloschen, bis aber der äussere etwas dickere Rand des rothen Tropfens, welcher mit dem Gase in direkter Berührung steht, anfängt, die dunkle Farbe des reducirten Hämoglobins anzunehmen, und schmilzt man zu dieser Zeit die beiden Röhrenenden des Apparates vor der Lampe zu, so sieht man die Bewegung nach einiger Zeit erlöschen. In diesem Momente ergiebt auch die spektralanalytische Prüfung, dass der ganze Hämoglobintropfen sauerstofffrei geworden. Wie es scheint lässt sich die Zeit des Aufhörens der Bewegung und der vollständigen Reduction des Hämoglobins erheblich abkürzen, durch Erwärmen der Kammer auf etwa 30° C. Beim Aufbrechen der zugeschmolzenen Spitzen des Apparates beginnt die Flimmerbewegung namentlich im Centrum der capillaren Scheibe nicht sofort wieder, sondern man sieht deutlich, dass der dunkelrothe sich schnell hellroth umsäumende Tropfen erst gleichmässig die letztere Farbe annehmen muss, wenn man sicher sein will die Bewegung im Centrum wieder vorzufinden. Da dieser Vorgang ziemlich lange dauert, so hat man Gelegenheit in dem hellrothen Saume schon bewegte Cilien zu finden, während im dunkelrothen Centrum noch Ruhe herrscht.

Weniger umständlich unterrichtet man sich über Form und Lage der Wimpern während vorübergehender Ruhe oder Lähmung ihres Protoplasmas, wenn man den Stillstand durch Kohlensäure erzeugt. In reiner Kohlensäure erlischt die Flimmerbewegung selbstverständlich,

allein sie thut es auch in einer nur mässig mit Kohlensäure vermischten Atmosphäre. Hier stehen alle Wimperhaare, gerade wie es auch im Wasserstoff der Fall ist, während der Ruhe gestreckt, und besonders beim allmählichen Verschwinden oder dem Wiederbeginn der Bewegung, erkennt man während des ersten langsamen Schwingens, wie die ganze Bewegung nur in der bekannten Hakenbiegung der Haare besteht. Dieselbe ist bei allen Haaren einer Zelle stets synchron, an den abgeschabten einschichtigen Reihen der einhaarigen Zellen genau von Zelle zu Zelle alterirend.

Der Stillstand der Flimmerbewegung, welcher in kohlensäurehaltiger Luft mit einer Promptheit erfolgt, die den Versuch zur Demonstration bei Vorlesungen sehr geeignet macht, scheint weniger auf einer Sauerstoffentziehung oder Austreibung zu beruhen, als auf der Wirkung der Kohlensäure als Säure. Wenn ich nämlich einen mässigen Luftstrom aus einem Gasometer durch die Gaskammer leitete, dem sich ein zur Erreichung der Wimperruhe grade hinreichender Co_2 Strom mittelst einer Zweigleitung aus einem constanten Entwicklungsapparate zugesellen konnte, so kehrte die Bewegung nach einiger Frist regelmässig wieder, falls ich denselben Doppelstrom der Gase vor dem Eintritte in die Kammer durch eine verdünnte Lösung von doppelt kohlensaurem Ammoniak leitete, ein Versuch, der mittelst verzweigter Röhren und einer Hahnclaviatur sehr elegant ausführbar ist. Nach wiederhergestellter Bewegung gelang es dann leicht beim Ausschütten der Ammoniakflasche durch eine Hahndrehung sehr bald die frühere Ruhe zu erzeugen. Versuche, in welchen ich zum flüssigen Medium für die Zellen eine Emulsion von fein vertheiltem coagulirtem und mit Lackmus gefärbtem Eiweiss benutzte, zeigten auch, dass der Stillstand allemal erfolgte, wenn die blauen Eiweissklümpchen durch die kohlensäurehaltige Luft sich zu röthen begann, und dass die Bewegung nicht eher wieder auftrat, bis das kohlensaure Ammoniak die anfängliche Färbung wiederhergestellt. Ich habe endlich ganz genau dasselbe Abwechseln des ruhenden und bewegten Zustandes ohne Anwendung wie Co_2 anzuzeigen können, indem ich nur einen Luftstrom benutzte, der durch mässig verdünnte Essigsäure geleitet war, und statt welcher ich zur Neutralisation des Zellpräparates dann das Ammoniakgefäss einschaltete. Der Wiederbeginn der Flimmerbewegung nach dem künstlich erzeugten Stillstande durch Kohlensäure oder durch Essigsäuredampf in einer schwach ammoniakalischen Atmosphäre, erinnert an die sog. Wieder-

belebung der Flimmerzellen durch Alkalien, welche Virchow vor längerer Zeit entdeckte. Wenn ich auch im Grunde überzeugt bin, dass der Virchow'sche Versuch auf ganz ähnlichen chemischen Veränderungen der Zellenleiber, des Cilienepithels beruht, wie der meinige, so muss doch erwähnt werden, dass Virchow grade das Ammoniak unwirksam fand. Die Wirksamkeit eines Wiederbelebungs-mittels wird offenbar abhängig sein von der Beschaffenheit des Reagens, durch welches die Bewegung aufgehoben wurde. Bei dem sog. natürlichen Tode der Flimmerzellen sind uns die zunächst auftretenden Zersetzungsproducte, welche vielleicht aus einem nicht zum contraktilen Zellenleibe gehörenden Theile der Zellen (z. B. aus dem Zellsafte im Sinne Brücke's) stammend, die Erregbarkeit des Protoplasmas herabsetzen können, unbekannt, während uns die Bewegungshemmer in den obigen Versuchen bekannt sind. Es liess sich demnach erwarten, dass für den künstlich erzeugten Scheintod der Flimmerzellen wenigstens sehr verschiedene Wiederbelebungs-mittel zu finden sein müssten. Dem ist in der That so: haben die Zellen in Co_2 ihre Bewegung eingebüsst, so genügt ein Luftstrom sie wieder schlagen zu lassen; nach Essigsäuredämpfen leistet der Luftstrom Nichts, wohl aber Ammoniak oder irgend welche Alkalien. Endlich kann man sogar durch eine Säure die Bewegung wieder erzeugen, nämlich in dem Falle, wo die Bewegung durch Alkalescentz vernichtet war. Man braucht nur mit kohlen-saurem Ammoniak schwach geschwängerte Luft einige Zeit über das Präparat zu leiten, um alsbald die Flimmerruhe entstehen zu sehen. Auf diese folgt nach einiger Zeit wieder Bewegung, wenn man den Luftstrom nun über Essigsäure leitet, und zwar erst dann, wenn das Präparat die intensiv alkalische Reaction verloren, wie der Lackmuspapier lehrt. Ein Ueberschuss der Essigsäuredämpfe wirkt natürlich im entgegengesetzten Sinne, allein die Bewegung lässt sich häufig zum zweiten Male, ja noch öfter wiederherstellen durch Alterniren des sauren oder des alkalischen Gasstromes. Es hat mir nicht gelingen wollen, durch Essigsäure oder Ammoniakcarbonat zum Stillstande gebrachte Flimmerzellen nur durch einen Luftstrom wieder zum Schlagen zu bringen, noch die ammoniakalischen Zellen durch umsichtiges Behandeln mit Co_2 dazu zu veranlassen.

Die Wiederkehr der Flimmerbewegung tritt auch dann noch ein, wenn die Zellen durch das eine oder das andere Reagens schon jene leicht wahrnehmbaren Veränderungen erlitten haben, die sich durch

Trübung und Schrumpfung kenntlich machen. Bereits hyalin gewordene gequollene Zellen gewinnen dagegen die Beweglichkeit nicht wieder. Der durch Ammoniak erzeugte Stillstand ist nach der Lage der Flimmerhaare nicht zu unterscheiden von dem in Wasserstoff, Kohlensäure oder Essigsäure erzeugten, vielmehr zeigt die gestreckte Haltung der elastischen Wimpern, dass keineswegs von einem tetanischen Zustande des Zellprotoplasmas die Rede sein kann, den man nach Analogie des Ammoniaktetanus der Muskelsubstanz hätte voraussetzen können.

Kohlenoxydgas selbst in sehr beträchtlicher Menge einem Luftstrome beigebracht, zeigt gar keinen Einfluss auf den Verlauf der Flimmerbewegung.