

E 233/17

**Über die Form und die Formveränderungen der  
bikonkaven roten Blutkörperchen.**

(Mit drei Textfiguren.)

Von Dr. **Franz Orsós**,  
Prosektor am Städtischen Krankenhaus zu Pécs.

Sonderabdruck aus  
**Folia haematologica**

Internationales Zentralorgan für  
Blut- und Serumforschung.

□□ Herausgegeben und geleitet von □□

ARTUR PAPPENHEIM, BERLIN.

Verlag von Dr. Werner Klinkhardt, Leipzig.

**Band VII, 1909.**



# Über die Form und die Formveränderungen der bikonkaven roten Blutkörperchen.

(Mit drei Textfiguren.)

Von

**Dr. Franz Orsós,**

Prosektor am Städtischen Krankenhause zu Pécs.

Die normale Form der roten Blutkörperchen, sowie die auf gewisse Schädigungen eintretenden Veränderungen derselben haben noch keine befriedigende, einheitliche Deutung gefunden. Ja, es bestehen noch sogar bezüglich der normalen Form der Erythrozyten abweichende Meinungen. Beschreiben doch Weidenreich (1) und Fuchs (2) dieselben als glockenförmig. — Im nachstehenden sei es mir gestattet, einen Versuch vorzulegen, der sich teils auf bekannte, teils auf eigene, am frischen menschlichen Blute gemachte Beobachtungen, auf einige einfache Experimente und auf an dieselben geknüpfte Betrachtungen gründet und die Erklärung der bikonkaven Form der roten Blutkörperchen sowie der hauptsächlichsten Veränderungen derselben zum Ziele hat.

## 1. Bikonkave Form.

An erster Stelle will ich die zweifellos formbestimmende Eigenschaft der Erythrozyten hervorheben. Das ist ihre bei spontanen oder durch schwache Befüpfungen des Deckglases hervorgebrachten Plasmaströmungen, trotz ihrer ausserordentlichen Geschmeidigkeit beobachtbare vollkommene Gestaltselastizität, d. h. die Fähigkeit, ihre Ruhe- oder Gleichgewichtslage, die bikonkave Scheibenform nach den verschiedensten Deformierungen sofort wieder annehmen zu können. — Darauf, dass im isotonischen Plasma die Gleichgewichtsform der normalen roten Blutkörper-

perchen die bikonkave Scheibenform ist, glaube ich nicht näher eingehen zu müssen. Dies ist ja, von verschiedenen Fixierungsversuchen abgesehen, durch die übereinstimmende alltägliche Beobachtung der meisten Forscher genügend bewiesen. Hier will ich nur noch erwähnen, dass diese Form, wie wir sehen werden, gerade als das theoretisch und experimentell begründbare Resultat des Entkernungsprozesses der roten Blutkörperchen aufgefasst werden kann. — Ferner will ich hier auch betonen, dass bei der bikonkaven Form und bei der, infolge der enormen Kleinheit relativ sehr grossen Oberflächenspannung die hochgradige Gestaltelastizität der lebenden roten Blutkörperchen nur zwei Möglichkeiten ihres Aggregates zulässt, dies sind: die zähflüssige und die gelatinöse Beschaffenheit. Wäre die Masse der Erythrozyten zähflüssig, so müsste sie, um der Oberflächenspannung das Gleichgewicht halten zu können, eine relativ dicke, fest-elastische Membran besitzen. Nun aber wissen wir, dass eine den gestellten Forderungen entsprechende Membran den Erythrozyten nicht zukommt. So fällt nun alle Wahrscheinlichkeit auf die zweite Möglichkeit, dass nämlich der die Gestaltelastizität bergende Bestandteil der roten Blutkörperchen die als weich-gelatinös zu bezeichnende ganze hämoglobinhaltige Masse ist. Die Überzeugung von der Richtigkeit dieser Erkenntnis wird uns auch bei den weiteren Betrachtungen leiten.

Sehen wir nun, wie sich die Ursache der bikonkaven Gestalt der roten Blutkörperchen experimentell veranschaulichen lässt. — Wird der gasförmige oder flüssige Inhalt einer dickwandigen elastischen Blase, z. B. eines Gummiballes oder einer Capsula gelatinosa elastica durch Aussaugen oder vorsichtiges Exprimieren mit den Fingern entfernt und auf irgend welche Weise (Zuhalten oder Zulöten der Öffnung) das Zurücktreten des Inhaltes verhindert, so behält die Blase, falls die Volumsabnahme gross genug war, eine bleibende äquatorial mehr oder weniger vollkommen symmetrische bikonkave Scheibenform. Tritt nach Lüftung der verschlossenen Öffnung oder nach Durchstechung der Blasenwand nun eine langsame Aspiration des ursprünglichen Inhaltes ein, so wölben sich dabei die Dellen von ihrem Rande her zur Kugelform. Sind aber die Konkavitäten infolge der eventuell ungleichmässigen Beschaffenheit der Blasenwand oder wegen ungleicher Kompression äquatorial asymmetrisch (was zumeist der Fall ist), so wölbt sich bei genug langsamer Volumszunahme erst die flache Delle aus, und die Blase ist dann für einen Moment glockenförmig. Die Konkavität der tieferen Delle kann während der Auswölbung der anderen sogar noch zunehmen. Wird die Inspiration zur entsprechenden Zeit unterbrochen, so verbleibt die Blase natürlich in der Glockenform. Lässt man die scheinbar äquatorial symmetrischen bikonkaven Gummiblasen gut verschlossen in Wasser liegen, so nehmen dieselben früher oder später allmählich die Glockenform an. Die konvexkonkave Blase befindet sich nämlich in stabilem Gleichgewicht, während die bikonkave einen labilen Gleichgewichtszustand darstellt und nach Eintreten der geringsten äquatorialen Asymmetrie in die stabilere Glockenform übergeht. Die bikonkaven Gelatineblasen quellen bei längerem Liegen in Wasser durch Wasseraufnahme zur ursprünglichen Kugelform auf.

In der an den Gummi- und Gelatineblasen demonstrierten Weise lässt sich nun auch die Entstehung der bikonkaven Abflachung der roten Blutkörperchen vorstellen. — Die Beobachtung des Blutes frischer tierischer Embryonen zeigt, dass die hämoglobinöse Masse der Erythroblasten schon eine hochgradige Gestaltselastizität besitzt. Es lässt sich dieselbe folglich mit den vollen Gelatineblasen unseres Experimentes vergleichen, nur dass hier der flüssige Inhalt durch den Kern vertreten wird. — Verschwindet nun der Kern entweder durch Ausstossung oder durch Resorption (nach eventueller Zerbröckelung oder Verflüssigung), so kann sich, abgesehen von einer die Form nicht beeinträchtigenden gleichmässigen Verdichtung und Verkleinerung, dem inneren negativen Drucke entsprechend das Volum des Blutkörperchens infolge seiner Gestaltselastizität — ausser durch Aspiration von Blutplasma, was aber bekanntlich nicht geschieht — nur in der experimentell gezeigten Weise, d. h. nur durch die bikonkave Abflachung vermindern. Die bikonkave Gestalt des Erythrozyten kann somit als das Resultat einer durch die Entkernung bedingten Volumsabnahme des mit Gestaltselastizität ausgerüsteten hämoglobinhaltigen Zellenleibes aufgefasst werden.

## 2. Geldrollenform.

Das frappierende Phänomen der Rollenbildung lässt sich aus der Scheibenform und hauptsächlich aus der Bikonkavität der roten Blutkörperchen erklären. Ohne letztere wäre dieselbe nur zufällig und geringgradig, und die Rollen würden schon bei schwachen Strömungen des Plasmas zerfallen. Von grosser Bedeutung ist aber bei der Rollenbildung auch die relativ grosse Oberflächenspannung der roten Blutkörperchen. — Die Annahme einer Klebrigkeit der Oberfläche ist völlig entbehrlich. Abgesehen von der Unwahrscheinlichkeit derselben lässt sich die Erscheinung, die dafür zu sprechen scheint, wie es sich ergeben wird, durch die Oberflächenspannung leicht erklären.

Um mich von der vorausgesetzten Saugwirkung der Konkavität zu überzeugen, stellte ich aus 25- bis 30prozentiger Gelatine plankonkave und bikonkave Erythrozytenmodelle von 10 cm Durchmesser her.<sup>1)</sup> Diese Gelatinescheiben haben die für unsere Frage wichtigsten Eigenschaften der roten Blutkörperchen: die Gestaltselastizität und die Konkavität. Wenn nun zwei dieser Scheiben mit der konkaven und planen oder zwei konkaven Flächen unter Wasser aneinander gelegt

<sup>1)</sup> Die Modelle wurden folgenderweise hergestellt. Ich goss die flüssige Gelatine in eine hohe Petrische Schale und senkte den Boden eines mit kaltem Wasser gefüllten und in einem Gestelle fixierten Kolbens in die Mitte der flüssigen Masse. Nach dem Erstarren löste ich die Gelatinescheibe in der Weise los, dass ich, den Hals des Kolbens haltend, die Schale auf ganz kurze Zeit bis an den Rand in heisses Wasser tauchte. Hierauf brachte ich die noch am Kolben haftende Scheibe auf eine feuchte Glasplatte und hob den Kolben nach Ausaugen und Füllen mit heissem Wasser sofort herab. Die Kanten der Scheibe wurden mit dem heissen Kolben abgeglättet. Die zweite Delle habe ich auch mit dem heissen Kolben gemacht, und zwar unmittelbar nach dem Herausnehmen aus der Schale. Die Scheiben wurden teils in ihrem natürlichen Zustand, teils, um die Klebrigkeit der Oberfläche zu beseitigen, nach Härtung in vierprozentiger Formollösung zum Experiment benutzt. —

und ganz gelinde gegeneinander gedrückt werden, so saugen sich dieselben fest aneinander, so dass sie nur mit grösserer Gewalt voneinander gerissen werden können. Werden die Scheiben aber seitlich verschoben, was verhältnismässig sehr leicht gelingt, so fallen sie gleich auseinander, sobald der Rand der Delle bei der Verschiebung irgend an einer Stelle frei wird, d. h. sobald die Saugwirkung aufhört. — Durch Zusammenpressen mehrerer solcher Scheiben lassen sich auch längere Rollen herstellen.

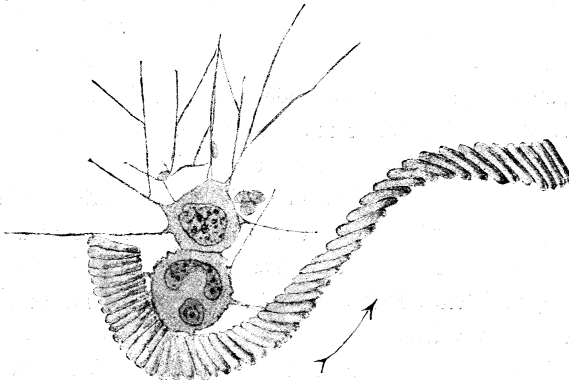
Angeführtes Experiment demonstriert nun die saugnapfartige Wirkung aneinander gedrückter weicher, elastischer, bikonkaver Scheiben. Die bei der Rollenbildung der roten Blutkörperchen mehr weniger ins Auge fallenden Erscheinungen lassen sich nun ungezwungen mit unserem Experiment analogisieren. Gleich hier muss ich aber bemerken, dass der im Experiment nötige Stoss bei der Rollenbildung der Blutkörperchen in erster Reihe durch die Oberflächenspannung und in wahrscheinlich nur geringerem Masse durch Strömungen des Plasmas vertreten wird.

Betrachten wir einen Blutropfen unmittelbar nach der Entnahme ohne oder unter dem Deckgläschen, so finden wir die Rollenbildung meist schon abgelaufen. Befinden sich aber die Blutkörperchen noch in Bewegung oder wird das Plasma durch Betupfen in Strömung gebracht, so sehen wir erstens, dass auch zwei mit der Kante in Berührung tretende Erythrozyten schwach zusammenzukleben scheinen; wie bei einer Wendung Kante an Fläche, oder Fläche an Fläche zu liegen kommt, so gleiten die Scheiben momentan deckend übereinander. An das erste Paar schliesst sich bei der Fortbewegung ein zweites, drittes Körperchen an, und so entsteht schliesslich die Rolle. Stösst ein Erythrozyt an die Seitenfläche einer fertigen Rolle, so haftet er auch da an. Dieser Zusammenhang ist aber kein fester und wird schon durch intensivere Plasmaströmungen oder durch anstossende andere Blutkörperchen getrennt. Ganze Rollen scheinen bei querer Ansetzung schon etwas fester zu haften. Oft sieht man auch drei (eventuell mehr) Rollen an einem einzigen Erythrozyten zusammenstossen, welchen sie dann prismatisch zusammenpressen, Hier teilt sich die Saugwirkung offenbar auf drei oder mehr Dellen, von welchen die überzähligen vorübergehend sind. Die Erythrozyten der Rollen sind meist etwas breiter und dünner als die alleinstehenden. Die eingesperreten Dellen sind natürlich nicht sichtbar, da sie von den Rändern der Scheiben verdeckt und ohnehin stark abgeflacht sind. — Wird das Plasma durch Diffusion oder durch die erwähnte Betupfung in Strömung gebracht, so sehen wir, dass die bewegten Rollen auffallend fest zusammenhalten und ohne zu reissen die verschiedensten Biegungen und Schlängelungen machen. Die Form der einzelnen Erythrozyten aber ändert sich dabei den jeweiligen Biegungen der Rolle entsprechend. Ist aber die Plasmaströmung zu stark und das eine Ende oder die Mitte der Rolle durch andere fixiert oder sonst irgendwie in der Bewegung gehindert, so sieht man (Fig. I), wie sich die Rolle durch seitliche Verschiebung und schiefe Stellung ihrer Scheiben verlängert und verdünnt, und im Moment, wo an der dünnsten

Stelle zwei Scheiben eine gewisse Grenze der gegenseitigen Verschiebung überschritten haben, zerreißt. Die verzogenen Scheiben der Rollenstumpfe gleiten aber sogleich übereinander, und die Rollen ziehen sich wieder zur ursprünglichen Länge und Breite zusammen. Es ist wirklich auffallend, mit welcher Schnelligkeit das letzte Glied nach dem Risse die ganze Fläche des Nachbarn bedeckt. Wird aber eine Rolle von einem plötzlichen Seitenstoss getroffen, so reißt sie an der betreffenden Stelle ganz leicht durch. Ebenso leicht lassen sich die Endglieder durch andere Rollen abstreifen.

Ich halte die Rollenbildung für kein Absterbungs- oder Gerinnungsphänomen, auch für keine besondere Agglutination, sondern für einen notwendigen, natürlichen Zustand des ruhenden lebenden bzw. überlebenden Blutes. Dass dieser Vorgang keine Gerinnung oder festere Verklebung sein kann, ist ja schon durch die Tatsache widerlegt, dass die Rollen sich nach vorsichtiger Zerstörung wieder

Fig. I.



An Leukozyten und Fibrinfäden hängende Erythrozytenrolle.  
Der Pfeil zeigt die Richtung der Plasmaströmung.

zusammensetzen, oder dass z. B. beim Durchströmen des Blutes zwischen zwei nahe nebeneinander liegenden grösseren Luftbläschen des Präparates, auch wenn der Spalt so eng ist, dass die Erythrozyten nur einzeln und gepresst durchkönnen, die Rollen auf der anderen Seite des Spaltes bald aufs neue entstehen.

Bezüglich der Bedeutung der Oberflächenspannung will ich nur folgendes anführen. Infolge der aussergewöhnlichen Weichheit und Geschmeidigkeit der roten Blutkörperchen, verhalten dieselben sich trotz ihrer Gestaltelastizität, der Oberflächenspannung gegenüber in gewissem Masse als Flüssigkeitstropfen, so dass bei ihrem Zusammenstoss die vereinigende bzw. flächenvermindernde Bestrebung der Oberflächenspannung in beschränktem Grade und in der geschilderten Weise zur Geltung kommen kann. — Andererseits leistet die Oberflächenspannung bzw. die Adhäsion beim Auseinanderweichen zweier Erythrozyten einen gewissen Widerstand was bei der Beobachtung eine, den Schein einer Zusammenklebung vortäuschende,

geringe Auszerrung der zuletzt voneinander weichenden Punkte verursacht. Da die Oberflächenspannung der Blutkörperchen infolge der bereits betonten ausserordentlichen Kleinheit ihrer Dimensionen und ihres Krümmungsradius relativ sehr gross ist, erklärt sich das Aneinanderhaften auch mit ihren Kanten sich berührender Erythrozyten, ferner die Schnelligkeit, mit der sie bei der Rollenbildung einander bedecken, sobald Fläche an Fläche zu liegen kommt. Die Rollenform ist nämlich der relativ stabilste Gleichgewichtszustand der Oberflächenspannung einer Erythrozytenreihe. In dieser Lagerung hat letztere als einheitliche Masse die kleinste Oberfläche.

Wenn wir nun die bei den Gelatinemodellen gemachten Erfahrungen vor Augen haben, so verstehen wir es, dass bei der erwähnten Grösse der Oberflächenspannung und der Weichheit der roten Blutkörperchen die Dellen in den Rollen abgeflacht werden und somit die Saugwirkung eintritt. Dass die Oberflächenspannung einen beständigen Druck auf die Rollen ausübt, zeigt auch die Tatsache, dass die Erythrozyten in denselben etwas platter und breiter erscheinen. —

Das wichtigste Moment der Rollenbildung ist aber doch entschieden die Saugwirkung der Dellen. Der vereinigenden resp. flächenvermindernden Tendenz der Oberflächenspannung allein würde die dichte, ballenförmige Anhäufung der Erythrozyten oder der Rollen selbst mehr entsprechen. — Planparallele rote Blutkörperchen könnten ohne die Saugwirkung der Dellen allerdings auch kurze Rollen bilden. Diese Vereinigung wäre aber nur eine ganz labile, mehr zufällige und würde den Rollen, wie bereits erwähnt wurde, bei weitem nicht die auffallende, und zwar gerade in der Längsrichtung beobachtete Festigkeit verleihen, der die bekannte bleibende, resistente Rollenform eben ihre Existenz verdankt. Ohne die Saugwirkung der Dellen würden die Rollen in der Richtung der Längsachse fast so leicht zerreissbar sein, wie sie es trotz der vorhandenen Wirkung der Konkavitäten in der Längsrichtung sind.

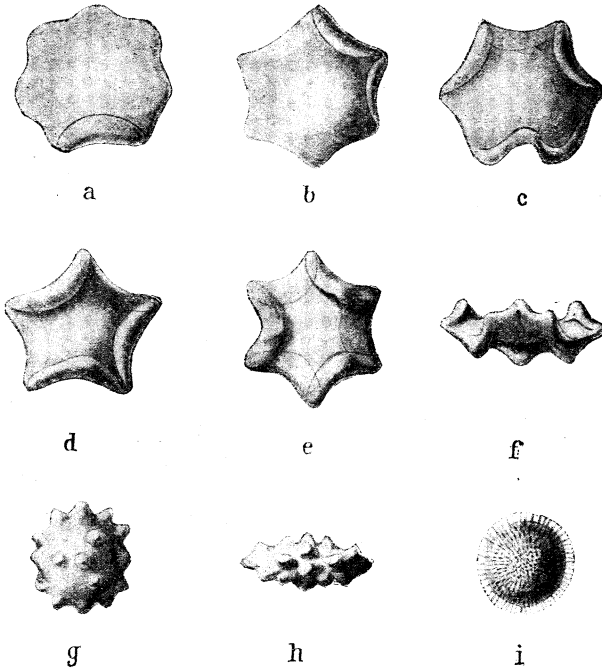
### 3. Stechapfelform.

Es ist von Interesse, die Formveränderungen der roten Blutkörperchen auch bei der Schrumpfung zu verfolgen; um so mehr als die dabei beobachtbaren Erscheinungen das Vorhandensein einer äusserst dünnen, elastisch-zähen, einer nennenswerten Zusammenziehung unfähigen Membran beweisen.

Betrachten wir die Erythrozyten in schwach hypertonischen Lösungen, z. B. im eintrocknenden eigenen Plasma, oder in verdünnter (ein- bis zweiprozentiger) Kochsalzlösung, so erblicken wir als erstes Zeichen der Schrumpfung das Verschwinden der zentralen Depression, zugleich beginnt aber ein interessantes Phänomen an der sich verdünnenden Peripherie der Scheibe. Es entstehen nämlich seichte Einkerbungen, und wo dieselben stärker ausgeprägt sind, schlägt sich der Rand auf kleineren oder grösseren Abschnitten, an einer (Fig. 2 a) oder gleichzeitig an mehreren (b, c) Stellen um. Die benachbarten Segmente sind nach entgegengesetzter Richtung umgeschlagen, und da sie fast von gleicher Grösse sind,

bekommen die Blutkörperchen eine regelmässige vier-, fünf- (d) oder sechsckige (e, f) Form. Erstere und letztere ist weniger häufig; nicht selten trifft man auch dichter, entsprechend feiner gezackte Scheiben. In der Seitenansicht zeigen die zackigen Scheiben die Form einer doppelten griechischen Krone (f). — Bei weiterem Fortschreiten der Schrumpfung wölben sich die umgeschlagenen Segmente in ihrer Querrichtung, und ihre Berührungsecken als auch die neuen Krümmungen ihrer Umschlagskanten nehmen dadurch eine zugespitzte Form an. Die hämoglobinhaltige Substanz zieht sich nun aus diesen peripherischen Zacken mehr und mehr gegen die Mitte der Scheibe zurück, und es erscheinen auch an den Flächen

Fig. II.



f und h Seitenansicht von e resp. g.

letzterer einige konische Vorsprünge. An den Zacken der Peripherie lassen sich eine Zeitlang noch Spuren der Zusammenfaltung erkennen, mit dem Auftreten neuer sekundärer Vorsprünge verlieren sie aber ihren ursprünglichen Charakter und bilden sich durch die allmähliche Retraktion der hämoglobinösen Masse zu einfachen, glatten, den sekundären ganz ähnlichen Stacheln um. In diesem Stadium hat das rote Blutkörperchen die Form eines mit plumpen Stacheln besetzten flachen Ellipsoides (g, h). Bei der weiteren Retraktion treten neue, kleinere Stacheln auf, die sich aber auch noch weiter verkleinern, so dass schliesslich die bekannte Stechapfelform entsteht. Diese bildet aber noch immer keinen bleibenden Zustand. Die Abrundung und die Verdünnung der immer reichlicher auftretenden Stacheln

schreitet weiter, bis die ganze Masse des Körperchens zu einer von äusserst feinen und kurzen Härchen dicht besetzten Kugel wird (i). Später werden die sphärischen Erythrozyten scheinbar ganz stachellos; absolut glatte sah ich aber nicht. Bei besonders darauf gerichteter Aufmerksamkeit und genügend starker Vergrösserung (Zeiss Apochr. 1,5 mm, Comp. Oc. VI.) sieht man an der genau auf einen Punkt eingestellten Oberfläche dieser Kugeln eine ausserordentlich feine, dichte Punktierung, und an der optischen Peripherie eine kaum auflösbare feine Strichelung, die nur mit den feinsten Diatomeen-Zeichnungen vergleichbar wäre. Infolge der schwachen Vibration der Blutkörperchen und der Unmöglichkeit einer scharfen Einstellung grösserer Flächen, erscheint die feine Punktierung der Oberfläche als ein Spiel zahlreicher irisierender Ringe, die (besonders bei künstlicher Beleuchtung) den Anschein einer raschen Rotation geben. — Auffallend ist es aber, dass sich die zur sphärischen Form führende Schrumpfung bei den einzelnen Erythrozyten nicht gleichzeitig einstellt und mit ungleicher Schnelligkeit abläuft, so dass sich viele schon ganz abgerundet haben, während andere erst am Beginn der ersten Fältelung stehen. Die einzelnen Individuen haben also eine ungleiche Resistenz hypertonischen Lösungen gegenüber.

Wie lassen sich nun die geschilderten Formveränderungen erklären, und was beweisen sie? Meines Erachtens liegt folgende Deutung am nächsten: Setzen wir voraus, dass die Oberfläche der roten Blutkörperchen aus einer zähelastischen, einer Zusammenziehung unfähigen Schichte besteht, so ist es leicht einzusehen, dass sich die Masse der Körperchen, wenn sie infolge einer chemischen oder physikalischen Einwirkung ihre Gestaltelastizität verliert, nicht imstande sein wird, sich der Oberflächenspannung entsprechend am kürzesten Wege zu einer Kugel abzurunden, denn dieses Bestreben wird durch den Widerstand der Membran vereitelt. Der Grund des Verlustes der Gestaltelastizität in hypertonischen Lösungen kann in der durch die Exosmose bedingten Erschütterung des normalen Turgors der Erythrozyten gesucht werden. Das seiner Gestaltelastizität verlustige Blutkörperchen trachtet nämlich infolge der Flüssigkeitsabgabe zusammenzuschrumpfen und wird andererseits auch durch die Oberflächenspannung in die Kugelform getrieben. Dieser doppelten Kraft kann nun die Membran oder Kruste nicht lange widerstehen. Nachdem sich die hämoglobinhaltige Masse des Blutkörperchens gegen die Mitte zieht, nimmt das Volum der Peripherie mehr und mehr ab. Die Oberfläche letzterer trachtet aber seine Ausdehnung zu bewahren, was nur durch Faltenbildung geschehen kann. Und da die Erythrozyten äquatorial und meridional symmetrisch und von gleichmässiger innerer Beschaffenheit sind, wird sich die Fältelung natürlich mit mehr weniger ausgeprägter geometrischer Regelmässigkeit gestalten. Es entstehen die früher gesehenen Figuren, die z. B. auch an eintrocknenden weichen Zelloidinscheiben zuweilen zu sehen sind und da die nämliche Erklärung haben. — Mit der fortschreitenden Retraktion werden die Falten der Oberfläche immer dünner und kleiner, es müssen sich daher neue Fältchen bilden, und je kleiner die Membranvorsprünge werden, um so grösser wird ihre Zahl, bis

die Stechapfelform, Sonnentierform und schliesslich die fein behaarte oder bloss punktierte Kugelform entsteht. (In den letzten Stadien scheint die Membran doch etwas einzugehen.) — Ich will hier noch kurz erwähnen, dass das Missverhältnis zwischen Oberflächenspannung und dem Widerstand der zähelastischen Membran auch ohne Schrumpfung, allein durch den Verlust der Gestaltelastizität eintreten würde, da die bikonkave Scheibe keine Gleichgewichtsform der Oberflächenspannung ist.

Die im Vorangehenden geschilderten Formveränderungen beweisen, wie wir es schon am Eingange dieses Abschnittes erwähnt haben, das tatsächliche Vorhandensein der vorausgesetzten äusserst feinen, elastisch-zähen, einer Zusammenziehung widerstehenden, mit der hämoglobinhaltigen Masse verwachsenen Schichte (Kruste) oder Membran an der Oberfläche der Erythrozyten. — Denn wären die letzteren vollkommen homogen, oder wäre die Membran eine dem hämoglobinösen Bestandteil gleichbeschaffene, so würde sich das Körperchen bei der Einwirkung hypertonscher Lösungen nur auf zweierlei Weise verhalten können. Blicke die Gestaltelastizität bei der Exosmose erhalten, so würde sich die Volumsverminderung nur in einer Verdünnung und Verkleinerung der Scheiben äussern, wie dies bei sehr schwach hypertonschen Lösungen, welche die Gestaltelastizität nicht angreifen, tatsächlich beobachtet werden kann. Ginge aber die Gestaltelastizität zugrunde, so würde die Masse der völlig homogenen Erythrozyten der Oberflächenspannung folgend, auf Art eines zähen Flüssigkeitstropfens sich am kürzesten Wege einfach zu einer Kugel zusammenballen, oder es könnten höchstens, wenn die Masse doch eine gewisse Festigkeit besässe, seichte undeutliche Unebenheiten an der Oberfläche entstehen. — Die Tatsache aber, dass in hypertonschen Lösungen die beschriebene sukzessive, komplizierte Fältelung und Retraktion, und auch an den schliesslichen kugelförmigen Erythrozyten noch immer an die Kutikularbildungen den Pilzsporen erinnernde Stacheln, Härchen und Punktierungen zu sehen sind, weist ganz entschieden auf das Vorhandensein einer mit den genannten Eigenschaften ausgerüsteten Kruste oder Membran hin, und zeigt auch andererseits, dass die roten Blutkörperchen in hypertonschen Lösungen ihre Gestaltelastizität früher oder später einbüßen. — Die geschilderte Fältelung lässt mit aller Klarheit das Ringen der in die Kugelform strebenden hämoglobinösen Masse mit der widerstrebenden elastischen, membranartigen Oberfläche erkennen. Auch bei den erwähnten Zelloidinscheiben entsteht die Kräuselung erst nach dem Eintrocknen der Oberfläche.

Bringt man den frischen Bluttropfen in hochkonzentrierte oder gesättigte Kochsalzlösung, so finden wir den geschilderten Schrumpfungsvorgang durch das Erstarren der Körperchen gestört und hintangehalten. Man sieht mandelförmige, ovale und polygonale Scheiben, die sehr oft dünner als die normalen Erythrozyten sind und grösstenteils keine Dellen haben. Ein anderer Teil zeigt teils unregelmässige starke, teils die oben beschriebene, aber unregelmässiger Fältelung. — Viele planparallele Scheiben sind an der Peripherie zahnradartig gezackt. Letztere

Formen können nach längerer Einwirkung der Lösung durch Schrumpfung und durch das direkte Auftreten von Stacheln zu Stechapfelformen werden. Die sich lappig kräuselnden Körperchen schrumpfen langsam zu bizarren vielfach gefalteten Formen, welche dann in plumpe, wenig gegliederte Stechapfelformen übergehen können. Ein Teil der Stechapfelformen verwandelt sich schliesslich in die bekannten, scheinbar glatten Kugeln. Dieser Übergang geschieht aber in der gesättigten Lösung unvergleichlich langsamer und ungleichmässiger als in der verdünnten, offenbar infolge der Erstarrung der Erythrozyten. Fast sämtliche aufgezählten Formen erscheinen schon im Laufe der ersten Stunde oder noch schneller. In den folgenden 24 Stunden zeigt sich dann nur ein kaum bemerkbares Vorschreiten. Die meisten Erythrozyten behalten überhaupt dauernd ihre erstarrte, unregelmässige Scheibenform.

#### 4. Glockenform.

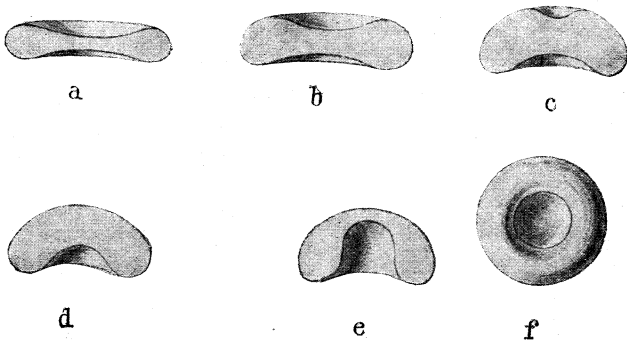
Bringt man rote Blutkörperchen in destilliertes Wasser, so quellen dieselben bekanntlich rasch zu Kugeln auf und verlieren ihren Hämoglobingehalt. Dieser Prozess läuft aber so schnell ab, dass ausser den genannten Erscheinungen nur noch das mit der Abrundung einhergehende Zerfallen der eventuell vorhandenen Geldrollen beobachtet werden kann.

Um diese Erscheinung in verzögertem Verlauf beobachten zu können, versuchte ich andere Medien. Hier will ich bloss auf die Wirkung der vierprozentigen Formollösung eingehen, von welcher das Hämoglobin nur teilweise oder gar nicht ausgelaugt wird. — Kurz nach dem Einwirken der Formollösung kann man an den Erythrozyten eine charakteristische Formveränderung beobachten, welche teilweise allerdings durch Quellung entsteht, aber, wie wir sehen werden, auch allein durch Aufhebung der Gestaltelastizität bedingt werden kann. — Verfolgen wir den Vorgang der Quellung mit Aufmerksamkeit, so sehen wir die Blutkörperchen, besonders in der Profilansicht, plumper und dicker werden. Die Auswölbung der Konkavitäten schreitet wie bei den elastischen Blasen vom Rande der Delle ausgehend erst an einer Seite vor, so dass das Blutkörperchen seine äquatoriale Symmetrie verliert. Bald wölbt sich die Konkavität an jener ganz aus, und wir haben die sogenannte Glockenform, eigentlich eine Schwammkopfform vor uns (Fig. III, a—d). — In diesem Zustand verbleiben dann fast sämtliche Erythrozyten. Nach 24 Stunden sieht man einzelne symmetrisch gequollene und, besonders in der Nähe des Deckglasrandes, auch kugelförmige rote Blutkörperchen; der überwiegende Teil ist aber noch immer glockenförmig. Die Rollenbildung fehlt hier fast vollkommen. Man sieht zwar aus wenigen, mit ihrer Höhlung nach einer Richtung zu gestellten Körperchen bestehende Reihen, diese lösen sich aber schon bei schwachen Strömungen auf. — Das Formol scheint die Erythrozyten erstarrt zu haben, denn sie behalten auch, wo sie dicht beisammenliegen, ihre Glockenform und platten sich nicht zu polygonalen Figuren ab. An weniger

dichten Stellen setzen sich die glockenförmigen Körperchen sämtlich mit ihrer Konvexität an den Objektträger.

Die Erklärung der Glockenform gibt uns das im 1. Abschnitt angeführte Experiment. Wie die zusammengepressten Gummi- oder Gelatineblasen, befindet sich auch die ganze Masse der roten Blutkörperchen nach der Entkernung infolge der bikonkaven Abflachung im Zustand beständiger elastischer Spannung. Diese Spannung hält aber normalerweise dem hydrostatischen Druck des Blutplasmas das Gleichgewicht. Nimmt das Körperchen Flüssigkeit auf, so wölben sich die Dellen, die Spannung nimmt ab. Die Auswölbung schreitet aber, wie wir es im 1. Abschnitt gesehen haben, auch hier nur dann beiderseits gleichmässig vor, wenn das Blutkörperchen äquatorial vollkommen symmetrisch war. Da aber dies, wie es scheint, meist nicht der Fall ist und andererseits die symmetrisch bikonkave Form elastischer Blasen überhaupt und so auch die der Erythrozyten ein labiles

Fig. III.



a—d versinnbildlicht die Entstehung der Glockenform.  
a—e Durchschnittsbilder, f Flächenbild.

Gleichgewicht hat und durch verschiedene innere oder äussere Ursachen aus dem Gleichgewicht gebracht werden kann, so ist es erklärlich, dass in der Auswölbung fast ausnahmslos die eine oder die andere Seite der Scheibe das Übergewicht gewinnt und folglich, wie in unserem Experimente, die Glockenform entsteht.

Das Entstehen der Glockenform kann man sich, wie gesagt, auch ohne Quellung, einfach durch die Verminderung der Gestaltelastizität erklären. Nach vollkommener Verflüssigung des Inhaltes könnte die Glockenform nur bei Vorhandensein einer dicken, mit Gestaltelastizität versehenen Membran bestehen. (Da wären eben die Verhältnisse einer Gelatineblase mit flüssigem Inhalte vorhanden.) Denn bei ganz dünner, schwacher Membran würde nämlich die Oberflächenspannung gegen die Glockenform in Aktion treten, und wir hätten den Zustand, den wir im 3. Abschnitt bei denselben Vorbedingungen gesehen haben. — Ist aber die Gestaltelastizität nur herabgesetzt, so lässt sich eine durch einen einseitigen Stoss oder Strom verursachte, nach einer Richtung erfolgte Umstülpung des ursprünglich äquatorial symmetrischen Erythrozyten leicht vorstellen. Bei dieser Umstülpung

würde die Krümmung beider Dellen zunehmen, aber selbstverständlich in entgegengesetztem Sinne. Da aber die konkave Delle einen kleineren Radius hat, müsste sie sich fester an die konvexe legen, wodurch die hämoglobinhaltige Masse an die Peripherie gedrängt würde. Das radiale Durchschnittsbild solcher Erythrozyten hätte daher keine Nierenform, wie das der mässig gequollenen; sondern eine Geldbeutelform; das Flächenbild wäre ringförmig, mit relativ enger Öffnung (Fig III, e, f). — Bei mit frischem Blut gemachten Versuchen habe ich die letztbeschriebene Form nicht gesehen. In mit Formol fixierten histologischen Präparaten aber oftmals.

### 5. Innenkörper.

Bisher hatten wir im Laufe vorliegender Betrachtungen den inneren Vorgang der Erythrozytenquellung ausser Acht gelassen. Im Experiment haben wir es mit einer Blase zu tun gehabt. Bei der Quellung der roten Blutkörperchen habe ich das Zurückkehren der ursprünglichen Blasenform des hämoglobinhaltigen Zellkörpers nicht direkt beobachten können. Die Quellung geschieht innerhalb gewisser Grenzen offenbar in der hämoglobinhaltigen Masse selbst. Die verwachsenen Wände der ursprünglichen Kernhöhle weichen, wenn es überhaupt möglich ist, höchstwahrscheinlich nur bei starker Quellung und dann auseinander, wenn die Quellung von Lösungen verursacht wird, welche den chemischen und physikalischen Aufbau der Erythrozyten schwer schädigen, z. B. destilliertes Wasser, verdünnter Alkohol usw. In Lösungen, welche die chemische oder physikalische Beschaffenheit der roten Blutkörperchen nicht rasch oder wesentlich verändern, z. B. in vierprozentiger Formollösung, setzt wahrscheinlich gerade der Umstand, dass die Wände der verschlossenen Kernhöhle nicht leicht auseinanderweichen können, der Quellung eine gewisse Grenze. Wahrscheinlich ist dies die Ursache, dass die Glockenform so allgemein und bleibend ist.

Bei gewissen pathologischen Zuständen scheint die Verschmelzung der Kernhöhlenwände unvollständig oder nur locker zu sein. Meines Erachtens wären die verschiedenen Gebilde, welche man unter dem Namen Nukleoid, Kernrest und Innenkörper beschrieben hat, nicht immer auf wirkliche Kernreste, sondern oft bloss auf Reste der Kernhöhle zurückzuführen, die entweder infolge krankhafter Blutbildung vorhanden sind, oder durch künstliche Lockerung junger, noch nicht ganz resistenter, vielleicht auch alter, schon hinfalliger Blutkörperchen des normalen Blutes zur Darstellung gelangen.

Mit dem Innenkörper habe ich mich nicht eingehender befasst, ich kann mich daher über dessen Kernabstammung nicht äussern. In zwei Fällen hochgradiger sekundärer Anämie, die ich in letzter Zeit zu untersuchen Gelegenheit hatte, fand ich in sehr vielen Erythrozyten zentral gelegene, oft die ganze Depression einnehmende rundliche oder ovale, nach Eosin-Methylenblaufärbung blassblau erscheinende, teils fein gekörnte, grösstenteils aber ganz homogene Gebilde, bei deren Anblick ich mich des Eindrucks durchaus nicht erwehren konnte, dass

es sich um Reste der Kernhöhle handle, welche vielleicht von locker geronnener, sich blau färbender protoplasmatischer Substanz ausgefüllt, oder nur flüssigen Inhaltes sind, und das Methylenblau bloss als Lösung zurückgehalten haben. — Dass es sich beim sogenannten Innenkörper oft wirklich nur um solche persistierende oder vielmehr um künstlich aufgefrischte Kernhöhlenreste handeln kann, dafür spricht unter anderem auch die Beobachtung Loewits (3), dass die Innenkörper oft im selben Präparate stellenweise häufiger oder stärker ausgeprägt anzutreffen sind.

Mit der Erklärung der bikonkaven Form der Erythrozyten hat sich Myers (4) eingehender befasst. „Mit Hilfe einer mathematischen Betrachtung sucht Myers die bikonkave Form der roten Blutkörperchen durch die Annahme zu erklären, dass der endosmotische Druck innerhalb der Körperchen grösser ist, als im umgebenden Plasma. Den ersteren wird eine Art Membran oder Kruste zuzuschreiben sein, die zwar ausdehnbar ist, sich aber nicht zusammenziehen kann. Wenn ein solches Gebilde seine Innenflüssigkeit teilweise durch Exosmose einbüsst, wird es die bikonkave Form annehmen, weil bei dieser das Verhältnis von Inhalt zur Oberfläche ungünstiger wird, einen kleineren Bruch darstellt, als es bei einer Linse mit planparallelen Oberflächen der Fall sein würde.“

Ich will mich auf die Kritik der Myerssschen Theorie nicht näher einlassen, bemerke nur, dass Myers, wie aus dem Referate ersichtlich ist, die Bikonkavität nicht aus der Kugelform, sondern aus der planparallelen Scheibe ableitet. Auch finden wir die prinzipielle Bedeutung der formativen Gestaltelastizität der roten Blutkörperchen nicht erwähnt. Ohne dieses könnte aber ein mit den Myerssschen Attributen ausgerüstetes Blutkörperchen seine Bikonkavität nur dann bewahren, wenn die Oberflächenspannung überhaupt nicht vorhanden wäre. Die Exosmose führt ja in Wirklichkeit, wie wir es im 3. Abschnitt gesehen haben, sogar bei Vorhandensein der Gestaltelastizität und einer den Forderungen Myers entsprechenden Membran zur Stechapelform. Auch bei einem der Myerssschen Scheibe ähnlich beschaffenen kugelförmigen Gebilde würde der exosmotische Prozess sogar bei Ausschaltung der Oberflächenspannung direkt zur Stechapelform führen. Nur eine mit Gestaltelastizität ausgerüstete dickwandige Blase könnte sich durch Exosmose bikonkav abflachen; vorausgesetzt, dass die Flüssigkeitsabgabe die Gestaltelastizität nicht angreift (was bei den Erythrozyten aber der Fall ist). Denn nach Verlust genannter Eigenschaft würde sich die Blase mit mehr weniger vollkommener Erhaltung ihrer ursprünglichen Gestalt einfach verkleinern. Myers' Auffassung könnte nach alledem noch zutreffen, wenn die roten Blutkörperchen eine relativ dicke, zähe, mit vollkommener Gestaltelastizität ausgerüstete, der Exosmose widerstehende Membran hätten. Einer solchen widerspricht aber sowohl die ausserordentliche Geschmeidigkeit und Beweglichkeit der Erythrozyten, als auch unsere Kenntnis der Morphologie derselben. Die Exosmose kann die Bikon-

kavität im Sinne Myers' nur innerhalb enger Grenzen, bei den schon differenzierten, bereits bikonkav geformten Erythrozyten beeinflussen (Hamburger).

Mit der Rollenbildung hat sich letzterer Zeit M. Heidenhain (5) eingehend befasst. Heidenhain führt die Ursache der Rollenbildung auf die Oberflächenspannung zurück und stellt die Wirkung letzterer so eingehend und plausibel dar, dass ich, wenn seine Arbeit mir nicht erst nach Vollendung vorliegender Mitteilung bekannt geworden wäre, wahrscheinlich nicht weiter über die in Rede stehende Frage nachgedacht hätte. — Die Wirkungsweise der Oberflächenspannung selbst und die dadurch bedingten Erscheinungen betreffend, kann ich mich im allgemeinen Heidenhain nur anschliessen. Um die mehr skizzenhafte Darstellung des betreffenden Abschnittes vorliegender Arbeit nicht mehr ändern zu müssen, werde ich bloss bezüglich jener Punkte, in welchen ich Heidenhain nicht beistimmen kann, hier einige Bemerkungen tun und verweise des Weiteren auf die treffliche Arbeit Heidenhains, in welcher auch der bezügliche allgemeine Teil der Kohäsionskräfte eingehend erörtert ist.

Heidenhain betrachtet die Oberflächenspannung und die Scheibenform der roten Blutkörperchen als zureichenden Grund der Rollenbildung. Meine Experimente und Beobachtungen führten mich aber, wie schon erwähnt, zur Überzeugung, dass die Oberflächenspannung allein dazu nicht ausreicht, und dass die ausschlaggebende Rolle der Bikonkavität der Erythrozyten zukommt. — Ein weiterer Punkt, in welchem ich Heidenhain nicht beistimmen kann, ist, dass er das Wiederentstehen einmal aufgelöster Rollen nicht anerkennt, während ich das wiederholte Entstehen willkürlich und auch durch Diffusion zerstörter Rollen gesehen habe. — Weiterhin hält Heidenhain die planparallele Scheibenform für die Rollenbildung viel günstiger, als die bikonkave und erblickt in der Bikonkavität geradezu ein Hindernis der Rollenbildung. Nach unseren Auseinandersetzungen und Experimenten steht die Sache gerade umgekehrt. Aus scheibenförmigen Erythrozyten würden sich laut derselben bloss zufällige, unbeständige Rollen ergeben. Aber eine der bekannten gleiche, bleibendere, gewissermassen widerstandsfähige Rollenform könnte infolge der zu geringen Haftung und leichten Verschiebbarkeit nicht stattfinden, denn es wäre eben die als das ausschlaggebende Moment erkannte Saugwirkung nicht vorhanden. — Allein durch die Oberflächenspannung bedingte Gruppierung der Erythrozyten zeigen Aufstrichpräparate, in welchen die Körperchen in einfacher Lage und etwas zerstreut liegen. —

Dass die Bikonkavität kein Hindernis der Oberflächenspannung bei der Entfaltung ihrer Wirkung ist, lässt sich leicht einsehen. Denn einesteils ist es schwer denkbar, dass die Aneinanderreihung — „Sympexis“ — planparalleler Scheiben bei punktueller Berührung anders und leichter vor sich ginge, als es Heidenhain selbst bei den bikonkaven ausführlich beschrieb und wie auch ich es beobachten konnte. Auch können die fördernden Momente und die Gelegenheit der punktuellen Berührung bei bikonkaven Scheiben nicht nennenswert weniger, als bei planparallelen vorgestellt werden. — Andererseits ist bei direktem Zusammenstoss der

Flächen zweier bikonkaver Erythrozyten die Berührung ja eigentlich auch nicht punktuell, wie sich Heidenhain ausdrückt, sondern schon im ersten Moment linear bzw. kreisförmig und infolge der Weichheit der Körperchen, sofort darauf flächenhaft. Die dabei zur Wirkung gelangte Oberflächenspannung ist aber auch bei Einschluss eines kleinen Plasmamenskulus genau dieselbe, als sie es bei planparallelen Scheiben wäre. Bei ganz starren Blutkörperchen könnte höchstens die Adhäsion der bikonkaven Form eine geringere sein. Infolge der Weichheit und Gestaltelastizität der Erythrozyten wirkt aber die Bikonkavität gerade als Saugapparat.

Es sei noch folgender Ausspruch Heidenhains angeführt: „Fehlt aber die Strömungsbewegung, so würden bei rein scheibenförmiger Gestalt des Körperchen die Kapillarkräfte ungemein günstige Bedingungen ihrer Wirksamkeit finden. Ja, man kann sagen, dass die reine Scheibenform der Körperchen unter dem Gesichtspunkte der Kapillaritätstheorie betrachtet, den in biologischer Beziehung denkbar ungünstigsten Fall vorstellt.“ Heidenhains Auffassung nach wäre also die planparallele Scheibenform eine „Gefahr“ für das Leben, die bikonkave aber eine zweckmässige Einrichtung. — Diese Behauptung gibt mir zur Äusserung meiner diesbezüglichen teleologischen Betrachtung Anlass, die vor mehreren Jahren zum Keime vorliegender Arbeit wurde.

Ich glaube nämlich dass die Rollenform auch im lebenden Körper vorkommen kann und bei langsamem, gleichmässigen, oder gar für einen Moment stockendem Strom in grösseren Gefässen auch wirklich vorkommt. In verschiedenen histologischen Präparaten habe ich nicht selten, besonders in körperchenarmen Blutergüssen, aber auch in Gefässen selbst, deutliche Rollenformen gesehen, deren Entstehung das die räumliche Ausbreitung oder Zusammenballung eventuell hindernde Deckglas natürlich nicht beeinträchtigen konnte.

Der Zweck der roten Blutkörperchen ist in erster Reihe die Vermittelung des Gasaustausches. Diese Aufgabe erfüllen sie in den Kapillaren der Lunge, wo sie das O aufnehmen und mittelbar die CO<sub>2</sub>-Abgabe befördern, dann in den übrigen Kapillaren des ganzen Körpers, wo der umgekehrte Prozess stattfindet. Der Gasaustausch wird nun am ausgiebigsten vor sich gehen, wenn die Blutkörperchen durch die Gefässe einzeln passieren. In den engen Kapillaren ist es bekanntlich auch so. In den grossen Gefässen aber wäre meiner Überzeugung nach die rollenförmige Gruppierung der Erythrozyten von biologischem Standpunkte aus viel günstiger, weil die dadurch zustandekommende Verminderung der Oberfläche erstens den Gaswechsel des Blutes selbst und die vorzeitige Diffusion der schon dissoziierten Gase überhaupt, andererseits auch die mechanischen Schädigungen der Körperchen (Zusammenstösse, Reibung usw.) stark herabsetzen würde. Dies wären aber wichtige Vorteile. Dass die Rollenform das Passieren der Kapillaren nicht hindert, ist leicht einzusehen. Die Beobachtung frischer Blutpräparate zeigt ja, dass bei stärkeren Erschütterungen die Rollen zerfallen; und daran fehlt es bei

der Zirkulation nicht, so dass die eventuell existierenden Rollen gewiss schon in den kleineren Arterien zerfallen würden.

Schliesslich sei auch noch erwähnt, dass es Heidenhain entgangen zu sein scheint, dass Welcker (6) bereits vor ihm die Geldrollenform auf die „Kapillarattraktion“ zurückgeführt hat.

Dass sich die bikonkaven Blutkörperchen tatsächlich im Zustand der geschilderten elastischen Spannung befinden, zeigt in überzeugender Weise der Umstand, dass sie sich beim Quellen nicht mit der Beibehaltung ihrer ursprünglichen bikonkaven Scheibenform vergrössern (wie es beispielsweise mit einer ähnlich geformten homogenen Leimmasse oder einem Laminariastückchen geschehen würde), sondern ohne wesentlicher Flächenvergrösserung einfach durch die Auswölbung der Dellen in die Glocken- bzw. Kugelform übergehen.

Zur Ergänzung und Bekräftigung des eben gesagten will ich noch ganz kurz auf die Unmöglichkeit einer Auffassung der Erythrozyten als mit unter höherem osmotischen Druck befindlichen flüssigen Inhalt gefüllte und bikonkav präformierte Blasen hinweisen. Ein solches Körperchen müsste, um die bikonkave Form, trotz des für die Erhaltung der Gestaltelastizität notwendigen Turgors, überhaupt bewahren zu können, eine so feste, starre Membran besitzen, dass eine Beweglichkeit oder Quellung fast unmöglich wäre. Oder müsste die Membran so dick sein, dass sie überhaupt keine Blasenwand mehr, sondern die mit Gestaltelastizität ausgerüstete Masse des Körperchens selbst wäre. — Dass eine dünnwandige bikonkave Blase mit hypotonischem flüssigen Inhalte ihre Form nicht behalten kann, ist aus den im 3. Abschnitt angeführten Gründen selbstverständlich. — Eine bikonkav präformierte dünnwandige Blase mit, dem Medium isotonischen, flüssigen Inhalte aber hätte keine nennenswerte Gestaltelastizität und ist aus den ausführlich dargelegten Gründen überhaupt eine physikalische Unmöglichkeit. — Aus dem Vorangehenden folgt, dass ein vollkommen membran- oder krustenloses dünn- oder zähflüssiges, bikonkaves Blutkörperchen nicht möglich ist. Ein völlig homogenes Blutkörperchen ist übrigens an und für sich unbegreiflich, haben doch bekanntlich auch die homogenen Flüssigkeitstropfen eine physikalische Membran.

Ebenso hat bei den bikonkaven Erythrozyten auch der sogenannte Randreifen gewissermassen eine physikalische Begründung. Den bei Vögeln und Amphibien von Heidenhain, Dehler (7) und Meves (8) nachgewiesenen Randreifen nimmt letzterer bekanntlich auch bei den Säugetiererythrozyten an. Ich konnte mich bisher vom Vorhandensein eines sichtbaren Randreifens bei den bikonkaven Blutkörperchen nicht überzeugen. Es ist aber leicht einzusehen, besonders wenn die Erythrozyten uns als abgeflachte Blasen vorschweben, dass eine Verstärkung am Rande derselben infolge der starken Krümmung vorhanden sein kann. Die Krümmung führt aus leicht einzusehenden physikalischen Gründen jedenfalls zu

einer räumlichen und vielleicht auch stofflichen Konzentrierung der Masse. Dies ist aber noch kein morphologisch differenzierter Randeifen. —

Die auffallenden Resistenzunterschiede der Einwirkung hypo- und hypertoni-  
schen Lösungen gegenüber, die die Erythrozyten derselben Blutprobe aufweisen,  
lässt wichtige Eigenschaften vermuten. Es können die einzelnen Erythrozyten  
eine individuell verschiedene Konzentration und Labilität ihrer physikalischen oder  
chemischen Zusammensetzung, schliesslich auch eine individuell verschiedene Auto-  
äquilibrierungsfähigkeit haben. —

Mit der Form der Amphibien- und Vögeler erythrozyten habe ich mich nicht  
eingehender befasst. Die vorstehend angeführten Betrachtungen können vielleicht  
teilweise bei denselben auch zutreffen, doch werden die dort gefundenen Gesetzmässigkeiten den Resultaten vorliegender Arbeit wahrscheinlich nicht widersprechen.

Als Zusammenfassung der vorhergehenden Auseinandersetzungen ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

1. Die Ruhe- oder Gleichgewichtsform der normalen Säugererythrozyten ist die bikonkave Scheibenform.

2. Die Bikonkavität kann als die mit dem Kernschwund einhergehende Abflachung des mit Gestaltelastizität versehenen hämoglobinhaltigen Plasmaleibes der roten Blutkörperchen aufgefasst werden.

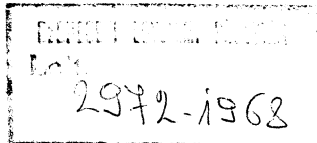
3. Das ursächliche Moment der Rollenbildung liegt in der Saugwirkung der Konkavitäten. Die Direktion und den Druck, welche zum Zustandekommen derselben notwendig sind, gibt in erster Reihe die Oberflächenspannung.

4. Die Stechapfelform der Erythrozyten ist ein späteres Stadium der Schrumpfung, welchem in der Regel ein eigenartiger Fältelungsprozess vorangeht. Die während des Schrumpfungsvorganges auftretenden Erscheinungen lassen mit Sicherheit auf das Vorhandensein einer äusserst dünnen, widerstandsfähigen, einer rascheren Zusammenziehung unfähigen Membran schliessen.

5. Die Glockenform ist zumeist das Resultat einer asymmetrischen, mässigen Quellung; kann aber wahrscheinlich auch infolge Verminderung der Gestaltelastizität der Erythrozyten entstehen. Das verhältnismässig dauernde Bestehen dieser Form weist auf die festere Verschmelzung der Kernhöhlenwände.

### Literatur.

1. F. Weidenreich, Die roten Blutkörperchen. Ergebnisse der Anatomie u. Entwicklungsgeschichte, 1903.
2. H. Fuchs, Über die sogenannte intrazelluläre Entstehung der roten Blutkörperchen. Anat. Hefte Bd. XXII.
3. M. Loewit, Über die Membran und die Innenkörper der Säugetiererythrozyten. Ziegl. Beitr. Bd. XLIII.
4. W. Myers, On the causes of the shape of nonnucleated red blood corpuscles. Journ. of anat. Vol. XXXIV., zitiert aus den Jahresbericht. d. Ges. Med. 1900, Bd. I.
5. M. Heidenhain, Über die Oberflächenkräfte als Ursache der sogen. „Geldrollenform“ der roten Blutkörperchen usw. Fol. haemat. Bd. I.
6. Welcker, Zeitschr. r. rat. Mediz. 3. R., Bd. XX. Zitiert nach Mihalkovics: Allg. Anat. (ungarisch).
7. Dehler, zitiert nach Heidenhain.
8. F. Meves, Zur Struktur der roten Blutkörperchen bei Amphibien und Säugetieren. Anat. Anz. Bd. XXIII u. XXIV.



Verlag von Dr. WERNER KLINKHARDT, Leipzig.

# FOLIA HAEMATOLOGICA

Internationales Zentralorgan für Blut- und Serumforschung.

In Verbindung mit zahlreichen hervorragenden Fachgelehrten des In- und Auslandes herausgegeben von

**Artur Pappenheim**, Charlottenburg.

Die Folia haematologica haben sich ihren Ruf vor allem durch ihre nach Möglichkeit lückenlose Referierung verschafft, doch suchen sie ihrem Spezialzweig der Wissenschaft nicht nur hierdurch zu dienen, sondern auch durch Veröffentlichung zahlreicher bedeutsamer Fachartikel, deren Wert durch Beigabe farbiger Tafeln noch erhöht wird. Das Organ dürfte konkurrenzlos auf der ganzen Welt sein.

# FOLIA NEURO-BIOLOGICA

Internationales Zentralorgan für die gesamte Biologie des Nervensystems.

In Verbindung mit den hervorragendsten Fach-  
:: gelehrten aller Länder herausgegeben von ::

**E. Hekma**, Groningen.

Das Organ will einen möglichst vollständigen Überblick über die außerordentlich verstreuten Veröffentlichungen des neuro-biologischen Gebiets geben und zwar sowohl in der Form von zusammenfassenden Literaturübersichten (Ergebnisse, Sammelreferate) als von laufenden Referaten, namentlich auch Autoreferaten. Daneben finden jedoch auch Originalarbeiten, besonders kurze Mitteilungen neuer Befunde, Platz.

# FOLIA UROLOGICA

Internationales Archiv für die Krankheiten der Harnorgane.

Redigiert unter Mitwirkung der Urologen der ganzen Welt von

Prof. **James Israëli**, Berlin, Prof. **Artur Kollmann**, Leipzig,  
Dr. **G. Kulisch**, Halle, Dr. **P. Wagner**, Leipzig.

Die Folia urologica bieten vorwiegend Originalarbeiten urologischen Inhaltes und zwar chirurgischen und intern-medizinischen Charakters, doch wird daneben auch referierenden Sammelberichten und Mitteilungen aus Kliniken Raum gewährt.

Sämtliche Organe sind internationalen Charakters in dem Sinne, daß die Kongreß-Sprachen für die Mitarbeiter gleichberechtigt zugelassen sind. Es wird besonders Wert auf erstklassige Ausstattung unter Beigabe von farbigen Tafeln, guten Textabbildungen usw. gelegt.

Bei allen drei Blättern beträgt der Abonnementspreis für einen Band von 50-60 Bogen **M. 25.—** Probehefte und Prospekte durch jede Buchhandlung.