

Zur Analyse der Calciumwirkung.

Von
Rudolf Höber.

(Aus dem Physiologischen Institut der Universität Kiel.)

Mit 6 Textabbildungen.

(Eingegangen am 9. März 1920.)

Wenn heute die Frage aufgeworfen wird, wie man sich die Störungen im physiologischen Verhalten erklären soll, welche durch Änderungen im Elektrolytgehalt der Zellumgebungen hervorgerufen werden, so geben mancherlei Analogien in den Erscheinungen bei der Quellung und Fällung der Kolloide ein Recht, die physiologischen Elektrolytwirkungen als Wirkungen auf die Zellkolloide auszulegen. Es sind bisher hauptsächlich drei Gruppen von Beobachtungen, welche die Grundlage für diese Auffassung bilden, nämlich erstens die Feststellung, daß der Einfluß der Anionen und Kationen der neutralen Alkalisalze auf Zellen und Gewebe sich nach den sog. Hofmeisterschen Reihen abstuft [Höber¹⁾, C. Schwarz²⁾, Lillie³⁾, Bethe⁴⁾ und viele andere], zweitens, daß man, wie in der Kolloidchemie, so auch in der Physiologie von einer Wertigkeitsregel in den Ionenwirkungen sprechen kann [Loeb⁵⁾, Lillie⁶⁾, Höber⁷⁾], und drittens, daß der isoelektrische Punkt der Zellkolloide für die Existenz und Funktion der Zellen eine besondere Bedeutung hat [Michaelis und Takahashi⁸⁾, Höber und Spaeth⁹⁾, Jodlbauer und Haffner¹⁰⁾]. Die an zweiter Stelle angeführten Beobachtungen enthalten im speziellen eine Theorie für die Wirkung der zweiwertigen Kationen in den tierischen Körperflüssigkeiten, Calcium und Magnesium; die Zellkolloide, welche in einer reinen isotonischen Kochsalzlösung eine abnorme Auflockerung erfahren, erhalten durch

1) Höber, Dieses Arch. **106**, 599. 1905. — Biochem. Zeitschr. **14**, 209. 1908.

2) C. Schwarz, Dieses Arch. **117**, 161. 1907.

3) Lillie, Amer. Journ. of physiol. **17**, 89. 1906; **24**, 14 1909; **26**, 106 1910.

4) Bethe, Dieses Arch. **127**, 219. 1909.

5) Loeb, Amer. Journ. of physiol. **6**, 411. 1902.

6) Lillie, Ebenda **10**, 419. 1904; **17**, 89. 1906.

7) Höber, Dieses Arch. **166**, 531. 1917.

8) Michaelis und Takahashi, Biochem. Zeitschr. **29**, 439. 1910.

9) Höber und Spaeth, Dieses Arch. **159**, 433. 1914.

10) Jodlbauer und Haffner, Dieses Archiv **179**, 121. 1920.

die Fällungskraft dieser Ionen die nötige Festigkeit. Dafür lassen sich etwa folgende Beobachtungen anführen: Nach Lillie (l. c.) werden die Cilien gewisser Meerestiere von einer isotonischen Kochsalzlösung sichtlich verflüssigt und aufgelöst, und dieser Prozeß kann durch einen geringfügigen Zusatz von einem Salz mit zweiwertigem Kation aufgehalten werden; entsprechendes gilt nach Loeb¹⁾ für die Cytolyse befruchteter Seeigelleier in schwach alkalischer Kochsalzlösung und nach meinen Untersuchungen²⁾ für die Hämolyse durch Zusatz von Narkotica oder durch ein gewisses Maß von Hypotonie; ferner wird die Entstehung des Biedermanschen Kalistroms des Muskels sowie die Lähmung des Muskels durch Kalisalze, welche beide nach meiner Auffassung als Ausdruck einer Auflockerung der Plasmahautkolloide zu deuten sind, durch zweiwertige Kationen gehemmt. In allen diesen Fällen wird die schützende Wirkung nicht bloß von den Erdalkalien Ca, Sr, Ba und dem ihnen nahestehenden Mg ausgeübt, sondern auch von Mn, Co, Ni und von den komplexen Co- und Cr-Salzen, soweit sie mehrwertig sind. Die Wertigkeitsregel erleidet in den physiologischen Beispielen nur insofern eine Beschränkung, als sie sich im allgemeinen nicht auf Ionen mit relativ kleiner Zersetzungsspannung, wie etwa Cu oder Pb, bezieht.

Nun lassen sich aber die angeführten Beobachtungen über die entscheidende Bedeutung der Mehrwertigkeit der Kationen bekanntlich nicht verallgemeinern. Zum Beispiel haben Hamburger und de Haan³⁾ darauf aufmerksam gemacht, daß unter den zweiwertigen Kationen das Vermögen, die Phagocytose der Leukocyten zu steigern, einzig und allein dem Ca zukommt, daß das Ca hierin nicht einmal von dem nächstverwandten Sr vertreten werden kann. Wenn ferner einerseits Ca und Mg bei der Hemmung der Cilienverflüssigung, der Eicytolyse, der Hämolyse, der Kalilähmung des Muskels gleichsinnig wirken können, so ist andererseits bekannt, daß sie sich bei anderer Gelegenheit wie Antagonisten verhalten; z. B. wird der Schlag des Herzens und der einer Meduse durch Zusatz von Mg-Salz gehemmt und kann durch einen weiteren Zusatz von Ca-Salz wieder hervorgerufen werden, oder ein Tier, das sich in „Magnesiumnarkose“ befindet, läßt sich durch eine intravenöse Injektion von CaCl_2 augenblicklich wieder erwecken. Danach muß man also sagen, daß es bei den physiologischen Wirkungen der zweiwertigen Kationen neben dem physiko-chemischen Charakter der Wertigkeit offenbar noch auf individuellere, d. h. wohl chemische Eigenschaften der einzelnen Ionen ankommt. Es fragt sich nur, bei welchen Objekten und unter welchen Bedingungen sich mehr die eine

¹⁾ Loeb, Biochem. Zeitschr. 5, 351. 1907.

²⁾ Höber, Dieses Arch. 166, 531. 1917.

³⁾ Hamburger und de Haan, Biochem. Zeitschr. 24, 470. 1910.

oder mehr die andere Eigenschaft hervorgekehrt. Der Beantwortung dieser Frage sollen einige im folgenden mitgeteilte Beobachtungen dienen.

Versuche.

1. Versuche am Froschherzen: Die Versuche wurden teils am spontan schlagenden, nach Amsler¹⁾ aufgeschlitzten Herzen ausgeführt, teils am stillstehenden Herzen, das in Abständen von einer Minute elektrisch gereizt wurde. Die Wirkung der Salze ist in beiden Fällen die gleiche.

Bekanntlich erlahmt ein Herz bald, wenn es aus Ringerlösung in physiologische NaCl-Lösung übertragen wird, um seine Tätigkeit von neuem aufzunehmen, wenn zu der NaCl-Lösung etwas CaCl_2 hinzugefügt wird. Wie weit kann nun das Ca durch andere mehrwertige Kationen vertreten werden? Schon Ringer sowie Mines²⁾ haben gezeigt, daß Sr und auch Ba einen Ersatz bieten können, ähnlich, wie dies Loeb³⁾ auch für den Schlag einer Meduse festgestellt hat. Macht man nun aber den Versuch, im Sinn der Wertigkeitsregel mit anderen mehrwertigen Kationen das Herz neu zu beleben, so zeigt sich, daß außer den zwei genannten Erdalkalien kein anderes Ion dazwischen imstande ist; ich habe vergebliche Versuche mit den Chloriden von Mg, Co, Mn, Ni, Ce gemacht, ferner mit $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3^*$, demjenigen komplexen Co-Salz, das nach meinen Erfahrungen gerade so gut dazu befähigt ist, die lähmende Wirkung der Kalisalze auf den Muskel zu kompensieren, wie das Ca, und das auch vorzüglich geeignet ist, an Stelle von Ca die Hämolyse durch Narkotica oder durch Hypotonie, die fibrillären Muskelzuckungen in reiner NaCl-Lösung oder die Entwicklung des Kalistroms zu hemmen. Auch Li ist ungeeignet, das in NaCl erlahmte Herz wieder zum Schlagen zu bringen, obwohl es, trotz seiner Einwertigkeit, mit den Erdalkalien verwandt ist. Heute, nachdem Wiechmann⁴⁾ in meinem Institut festgestellt hat, daß Co, Mn, Ni, Hex ähnlich „narkotisch“ auf das Herz wirken wie Mg, und wie dieses nicht Synergisten, sondern Antagonisten der Erdalkalien Ca, Sr, Ba sind, läßt sich das eben mitgeteilte Ergebnis meiner schon vor mehr als 2 Jahren angestellten Versuche leichter in die vielfältigen Beobachtungen über Salzwirkungen eingliedern, als zur Zeit der Feststellung, daß die Wertigkeitsregel nicht bloß für Loeb's Fundulus-embryonen, für Seeigeleier und für die Cilien wirbelloser Meerestiere gilt, sondern auch für die Blutkörperchen von Warmblütern und für die sich betätigenden Muskeln vom Frosch.

*) Das Ion des Hexamminkobaltchlorids wird der Kürze halber weiterhin mit Hex bezeichnet.

1) Amsler, Zentralbl. f. Physiol. **31**, 467. 1917.

2) Mines, Journ. of physiol. **43**, 467. 1912.

3) Loeb, Journ. of Biolog. Chem. **1**, 427. 1906.

4) Siehe die vorhergehende Abhandlung.

Nun hat sich aber weiter ergeben, daß die Vertretbarkeit des Ca in der Spülflüssigkeit des Froschherzens viel umfangreicher ist, wenn man, so wie in meinen früheren Muskelversuchen, die lähmende Wirkung eines K-Überschusses in der Ringerlösung aufzuheben versucht. Dann zeigt sich nämlich, daß das durch K stillgestellte Herz durch Ca, Sr, Ba, Hex, Co, Mn und Ni für längere oder kürzere Zeit wieder zum Schlagen gebracht werden kann, während Mg und Ce auch jetzt als Gegengifte versagten. Die Abb. 1—3 geben einen Begriff vom Verlauf dieser Versuche.

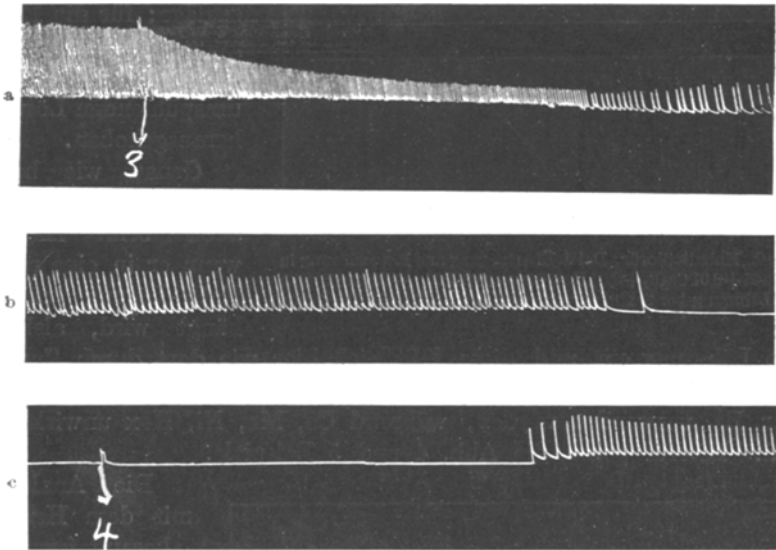


Abb. 1. Hexamminkobaltchlorid. In a zunächst Herzschlag in Ringerlösung (0,7 NaCl + 0,02 KCl + 0,02 CaCl₂ + 0,01 NaHCO₃). Bei 3 an Stelle von 0,02 KCl 0,075 KCl. — In b Eintritt der Kalilähmung. — In c bei 4 Zusatz von m/300 Hex. Darauf Erholung.

Es ist noch hervorzuheben, daß dieser Antagonismus der mehrwertigen Kationen gegen K nur aufgezeigt werden kann, wenn gleichzeitig in der das Herz umgebenden Lösung eine gewisse Mindestmenge Ca gegenwärtig ist. So wird beispielsweise 0,07% KCl durch m/300 Hex bei Anwesenheit von 0,01% CaCl₂ noch kompensiert, bei Anwesenheit von nur 0,005% nicht mehr.

Versuchen wir für diese Befunde eine Deutung zu geben, so liegt es am nächsten, anzunehmen, daß der Ca-Mangel das Herz in anderer Art oder an einer anderen Stelle schädigt, als der K-Überschuß, und da sich die K-Vergiftung in ziemlich ausgedehntem Maß durch mehrwertige Kationen beheben läßt, so darf man wohl weiter schließen, daß die K-Wirkung eine Kolloidzustandsänderung darstellt, während die Wirkung des Ca-Mangels eher als ein chemischer Vorgang aufzufassen wäre.

2. Versuche am Froschmagen: Es wurden nach dem Vorgehen von P. Schultz¹⁾ Ringe aus dem Magen herausgetrennt, die Ringe aufgeschnitten, die Schleimhaut abgezogen und die so entstandenen

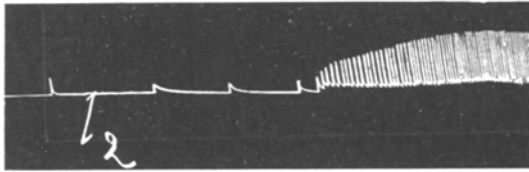
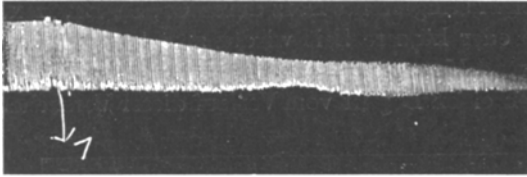


Abb. 2. Kobaltchlorür. Bei 1 Übertragung aus Ringerlösung in $0,7 \text{ NaCl} + 0,01 \text{ CaCl}_2 + 0,01 \text{ NaHCO}_3 + 0,06 \text{ KCl}$. — Nach Eintritt der Lähmung bei 2 Zusatz von $m/330 \text{ CoCl}_2$. Darauf Erholung.

eine Lähmung ein, und diese läßt sich hier wie dort durch Zusatz von etwas CaCl_2 beseitigen. Aber an Stelle von Ca kann auch Sr oder Ba verwendet werden, während Co, Mn, Ni, Hex unwirksam sind. Hierfür geben die Abb. 4 und 5 Beispiele.

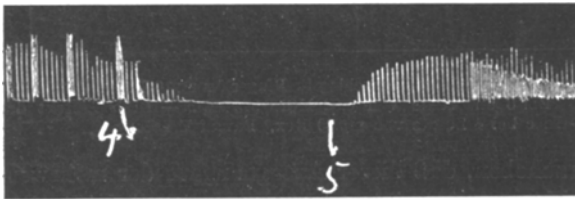


Abb. 3. Nickelchlorür. Zunächst in Ringerlösung Herzschläge durch elektrische Reizung, dazu zu Zeit zu Zeit Perioden von raschen Spontanschlägen. Bei 4 in $0,7 \text{ NaCl} + 0,03 \text{ CaCl}_2 + 0,085 \text{ KCl}$. Darauf in kurzer Zeit Lähmung. — Bei 5 Zusatz von $m/330 \text{ NiCl}_2$. Die elektrische Erregbarkeit kehrt alsbald zurück, etwas später auch der Spontanschlag.

ndern auch durch Hex oder Mn aufgehoben werden kann (siehe Abb. 6). (Die Aufhebung durch Co ist mir nicht gelungen.)

3. Versuche am Nerv-Muskelpräparat vom Frosch: Drittens wurde am Gastrocnemius-Ischiadicus-Präparat der Einfluß der Salze auf die indirekte Erregbarkeit untersucht. Nach der bekannten

Muskelstreifen ähnlich wie ein Sartorius zur

Aufzeichnung von Kontraktionen befestigt. Als Reize dienten

Öffnungsinduktionsschläge; für die Erregung wurden die Muskelstreifen aus der sie umspühlenden Lösung herausgehoben.

Genau wie beim Froschherzen stellt sich auch beim Magen, wenn er in eine reine NaCl-Lösung eingehängt wird, alsbald

Die Analogie mit dem Herzen kommt ferner auch darin zum Ausdruck, daß die Lähmung, welche durch einen bestimmten Zusatz von KCl zu Ringerlösung herbeigeführt wird, nicht bloß durch die Erdalkalien, son-

¹⁾ P. Schultz, Arch. f. Physiol. 1897, S. 1.

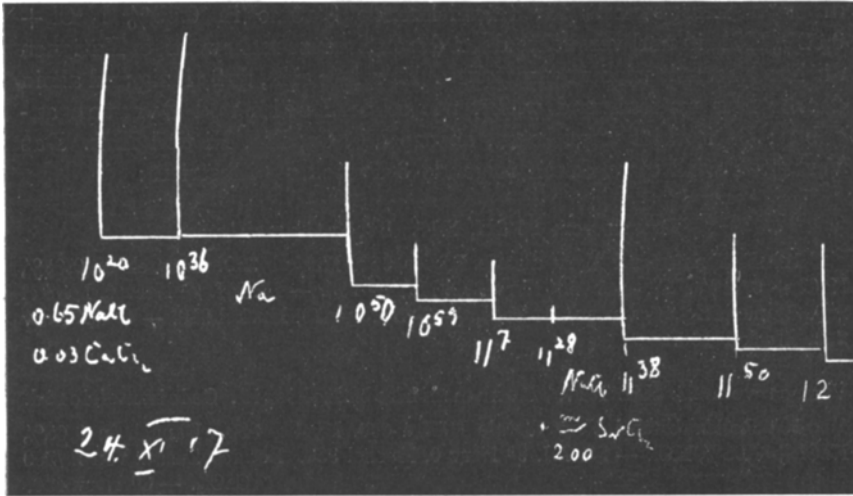


Abb. 4. Strontiumchlorid. 10²⁰ Magenstreifen in 0,65 NaCl + 0,03 CaCl₂. — Nach 10³⁶ in 0,65 NaCl. Darauf unter Tonussenkung bis 11²⁹ fast völlige Aufhebung der Contractilität. — Dann Zusatz von m/200 SrCl₂. Rückkehr ausgiebiger Kontraktionen.

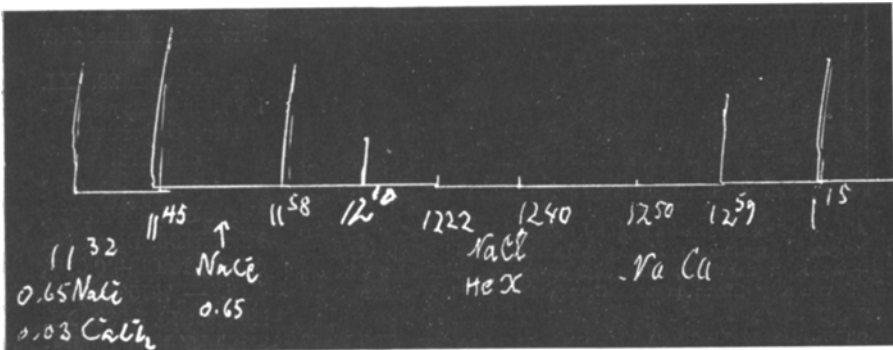


Abb. 5. Hexamminkobaltchlorid. 11³² Magenstreifen in 0,65 NaCl + 0,03 CaCl₂. — Nach 11⁴⁵ in 0,65 NaCl. Bis 12²² ist Lähmung eingetreten. Darauf Zusatz von m/200 Hex.; der Magen bleibt gelähmt. — Nach 12⁵⁹ in 0,65 NaCl + 0,03 CaCl₂; danach Erholung.

Angabe von Locke¹⁾ büßen die Muskeln in physiologischer NaCl-Lösung ihre indirekte Erregbarkeit ein und gewinnen sie durch Zusatz von Ca-Salz zurück. Das Zustandekommen der Lähmung läßt sich nach Overton²⁾ beschleunigen, wenn man zu der NaCl-Lösung eine kleine Menge KCl hinzufügt. Dementsprechend legte ich die von möglichst kleinen Fröschen stammenden Präparate bis zur Aufhebung der in-

¹⁾ Locke, Zentralbl. f. Physiol. 8, 166. 1894.

²⁾ Overton, Dieses Arch. 105, 176. 1904.

direkten Erregbarkeit für tetanisierende Ströme in 0,65% NaCl + 0,02% KCl ein und versuchte dann durch Zusätze mehrwertiger Kationen die Erregbarkeit wiederherzustellen. Es zeigte sich, daß einzig und allein das Sr hier restituierend wirkt, wie schon Locke und Overton angaben; Ba ist hier unwirksam, ebenso Mg, Co, Mn, Ni und Hex. Das Verhalten wird etwa durch folgende 3 Protokolle illustriert:

Versuch vom 26. XI. 1917. Strontiumchlorid.

12^h Rollenabstand Nerv distale Hälfte **780**, Muskel 330. Danach in 0,65% NaCl + 0,02% KCl. — 5^h 30' Nerv **370**, Muskel 280. — 27. XI. 9^h Nerv **0**, Muskel 290. Danach Zusatz von m/200 SrCl₂. — 3^h 5' Nerv **50**, Muskel 210. — 6^h 45' Nerv **250**, Muskel 160.

Versuch vom 27. XII. 1917. Hexamminkobaltchlorid, Calciumchlorid.

10^h Rollenabstand Nerv distale Hälfte **650**, Muskel 320. Danach in 0,65% NaCl + 0,02% KCl. — 28. XI. 9^h Nerv **0**, Muskel 330. Danach Zusatz von m/200 CaCl₂. — 3^h Nerv **430**, Muskel 260. Danach an Stelle von CaCl₂ m/200 Hex. — 9^h Nerv **0**, Muskel 240. Danach wieder m/200 CaCl₂. — 29. XI. 8^h Nerv **320**, Muskel 210.

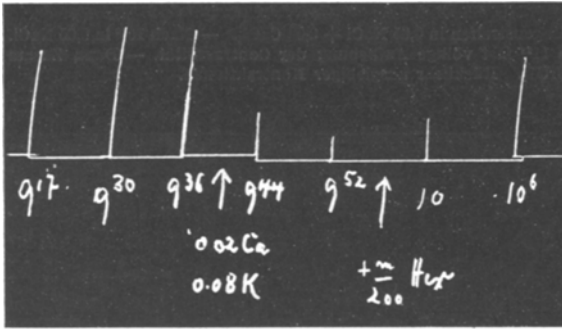


Abb. 6. Hexamminkobaltchlorid. Zunächst Kontraktionen des Magenstreifens in Ringerlösung. — Nach 9³⁶ in 0,65 NaCl + 0,02 CaCl₂ + 0,08 KCl; darauf Absinken der Hubhöhen. — Nach 9⁵² Zusatz von m/200 Hex.; dadurch Kompensierung der K-Wirkung.

Versuch vom 29. XI. 1917. Manganchlorür, Calciumchlorid.

11^h Rollenabstand Nerv distale Hälfte **650**, Muskel 300. Danach in 0,65% NaCl + 0,02% KCl. — 7^h 15' Nerv **0**, Muskel 270. — 30. XI.

8^h Nerv **0**, Muskel 270. Danach Zusatz von m/500 MnCl₂. + 10^h 15' Nerv **0**, Muskel 270. — 1^h 30' Nerv **0**, Muskel 250. Danach an Stelle von MnCl₂ m/200 CaCl₂. — 5^h Nerv **250**, Muskel 230. — 7^h 10' **450**, Muskel 210.

Ähnlich verliefen Versuche mit m/200 MnCl₂.

Locke verlegte bekanntlich den Ort der Lähmung in die motorischen Nervenendigungen, weil beim bloßen Einhängen des Nerven in die reine NaCl-Lösung es weit länger dauert, bis die Aufhebung der indirekten Erregbarkeit eintritt, als beim Einlegen des ganzen Präparates. Es sind also die motorischen Nervenendigungen, welche auf die Gegenwart von Ca bzw. Sr für ihre Funktion angewiesen sind.

Es könnte nun noch gegeben erscheinen, nach Analogie zu den Versuchen am Herzen und Magen auch die Nerv-Muskelpreparate einem K-Überschuß zu exponieren und zuzusehen, ob dessen lähmende Wir-

kung durch die verschiedenen mehrwertigen Kationen kompensiert werden kann. Die Versuche haben aber keinen Zweck, weil es ja bekannt ist, daß durch den K-Überschuß die Muskeln gelähmt werden, und daß dabei in der Tat Ca, Sr, Ba, Mg, Co, Mn, Ni, Zn, Hex und andere mehrwertige komplexe Co- und Cr-Ionen antagonistisch wirken können. Es wäre höchstens noch zu prüfen, ob auch die K-Lähmung des Nervenstammes durch Zusatz der mehrwertigen Kationen gehemmt oder aufgehoben werden kann. Dies ist in der Tat der Fall, wie sich durch Versuche zeigen läßt, in denen bloß der Nerv in die betreffenden Lösungen eintauchte, während der Muskel darüber aufgehängt war. Ich führe für die den Eintritt der K-Lähmung hemmende Wirkung der mehrwertigen Kationen 2 Beispiele an:

Versuch vom 19. XII. 1917. Manganchlorür.

Nerv I		Nerv II	
0,65% NaCl + 0,03% CaCl ₂ + 0,1% KCl		0,65% NaCl + 0,03% CaCl ₂ + 0,1% KCl + m/200 MnCl ₂	
8 ^h 45'	700	680	
11 ^h 10'	510 Muskel 360	530 Muskel 380	
3 ^h 40'	390	470	
8 ^h 40'	0	240	
7 ^h 50'	0 Muskel 340	40 Muskel 350	
(20. XII.)			

Versuch vom 13. XII. 1917. Hexamminkobaltchlorid.

Nerv I		Nerv II	
0,65% NaCl + 0,03% CaCl ₂ + 0,1% KCl		0,65% NaCl + 0,03% CaCl ₂ + 0,1% KCl + m/200 Hex	
8 ^h 45'	610	600	
11 ^h 35'	500	550	
3 ^h 30'	460	520	
8 ^h 35'	0	460	
8 ^h 10'	0	450	
(14. XII.)			
5 ^h	0	410	

In dieser Weise ließ sich zeigen, daß die K-Wirkung auf den Nerven durch Ca, Sr, Ba, Co, Mn und Hex mehr oder weniger kompensiert werden kann.

Schlußfolgerungen.

Stellen wir jetzt diejenigen physiologischen Objekte einander gegenüber, bei deren Bestand oder Funktion das Ca einerseits bloß durch die Erdalkalien Sr und Ba, andererseits aber durch eine größere Zahl von mehrwertigen Kationen, wie Sr, Ba, Mg, Co, Mn, Ni, Hex u. a. vertreten werden kann, so bekommen wir in der einen Gruppe das Herz, den Magen

und den Muskel mit seinem Nerven, in der anderen die Blutkörperchen, Wimperzellen, Seegeleier, die Fundulusembryonen und den Muskel für sich, nämlich abgesehen von seinem Nerven. D. h.: Die Lähmung von Herz und Magen und das Verschwinden der indirekten Erregbarkeit des Muskels, welche infolge von Ca-Mangel zustande kommen, können nur durch Zusatz von Sr oder Ba verhindert werden; dagegen die Neigung zur Cytolyse bei Blutkörperchen, Seegeleiern und Wimperzellen, das Einsetzen fibrillärer Zuckungen beim Muskel (auch nach Curaresierung) bei Übertragung in reine NaCl-Lösung, ferner die Lähmung des (curaresierten) Muskels durch einen K-Überschuß und die Ausbildung des Kalistromes können auch durch eine große Zahl anderer Kationen bekämpft werden, wofern sie nur auch, wie Sr und Ba, mehrwertig sind. Nun ist, wie wir sahen, die Schädigung durch Ca-Mangel beim Nervmuskelpreparat offenbar in die Synapse, den Übergang vom Nerven zum Muskel, zu verlegen; dort könnte sich also vielleicht eine Substanz befinden, welche nur in Verbindung mit Ca oder den ihm chemisch nahe verwandten Sr oder Ba eine feste Verkittung zwischen den zwei Geweben herstellt, während, wenn Co, Mn, Hex oder dergleichen an Stelle von Ca geboten wird, die Kittsubstanz nicht den nötigen Grad von Konsistenz erhält. (Die vorher schon zitierte Untersuchung von Wiechmann enthält Modellversuche, welche diese Vorstellung stützen können.) In analoger Weise wären die Verhältnisse auch beim Herzen und Magen zu deuten; denn auch sie sind Organe, welche sich aus mehreren Bestandteilen zusammensetzen, Muskeln, Nerven, Reizleitungssystem. Der Ca-Mangel muß außerdem aber auch noch andere Schädigungen setzen, welche weniger von chemischer als von kolloidchemischer Natur sind, welche — mehr oder weniger — alle Protoplasten betreffen und welche den Schädigungen durch K-Überschuß ganz ähnlich sind. Diese Schädigungen können nicht bloß durch die Erdalkalien, sondern durch zahlreiche mehrwertige Kationen bekämpft werden; hier ist also weniger die chemische Natur als der physikochemische Charakter des kompensierenden Ions entscheidend. Diese Schädigungen sind wohl wegen der Analogie mit den kolloidalen Zustandsänderungen, welche der Wertigkeitsregel zugrunde liegen, als Quellungen der negativ geladenen Zellkolloide aufzufassen, welche durch die stark entquellende Wirkung der mehrwertigen positiv geladenen Kationen rückgängig gemacht werden können. Ich glaube, daß man sich etwa in dieser Art die komplizierten Verhältnisse in den beschriebenen Salzwirkungen zurechtlegen kann; man wird also in ähnlicher Weise zu einer Unterscheidung zwischen mehr chemischer und mehr physiko-chemischer Reaktion der Ionen geführt, wie bei den durch Wiechmann beschriebenen Versuchen zur Analyse der „Magnesiumnarkose“.

Zusammenfassung.

1. Während bei der Entwicklung von Fundulusembryonen, bei der Hemmung der Cytolyse von Seeigeleiern oder Flimmerzellen in reiner Kochsalzlösung, bei der Hemmung der Hämolyse durch Narkotica oder Hypotonie, bei der Unterdrückung der fibrillären Zuckungen von Muskeln in reiner Kochsalzlösung, bei der Kompensierung der Muskellähmung durch Kalisalz oder bei der Hemmung der Ausbildung der Kaliströme das Ca in der umspülenden Lösung durch zahlreiche andere mehrwertige Kationen, wie Sr, Ba, Mg, Co, Mn, Ni, komplexe Co- und Cr-Ionen mehr oder weniger vertreten werden kann, sind bei der Erhaltung der Contractilität von Herz und Magen des Frosches und bei der Erhaltung der indirekten Muskeleerregbarkeit allein Sr und Ba geeignet, das Ca zu ersetzen.

2. Hebt man die Contractilität von Herz und Magen aber nicht durch Ca-Mangel auf, sondern durch K-Überschuß, so kann der K-Überschuß auch hier, wie im entsprechenden Fall beim Muskel, durch eine größere Zahl mehrwertiger Kationen kompensiert werden.

3. Dies wird so gedeutet, daß der Ca-Mangel — ebenso wie der K-Überschuß — erstens eine allgemeine Auflockerung der Zellkolloide erzeugt, welche durch sehr verschiedene mehrwertige Kationen im Sinn der Wertigkeitsregel der Kolloidchemie rückgängig gemacht werden kann, und zweitens eine Lockerung an bestimmter Stelle, nämlich da, wo zwei Gewebsbestandteile, wie Nerv und Muskel oder etwa Reizleitungssystem und Muskel, zusammenstoßen; an dieser Stelle wird der Zusammenhalt allein durch eine Erdalkaliverbindung gewährleistet.