

Ueber  
die Reaction der quergestreiften Muskeln.

Von

**F. Röhmann.**

---

Bonn 1891.

Separat-Abdruck aus dem Archiv f. d. ges. Phys. Bd. L.

Verlag von Emil Strauss.

Über die Reaction der Quecksilber-Verbindungen  
(Aus dem physiologischen Institut zu Breslau)

WE R 738 u 1891

Wenn man den frisch angelegten Querschnitt eines Frosch-  
muskels gegen einen kleinen Katheterkopf anbringt, so findet sich  
nach den bekannten Beobachtungen von Du Bois-Reymond (1) ein  
blauer Streifen vor und der vorher blaue. Eine ähnliche Verände-  
rung des Farbens zeigt Laktmus, wenn man den Muskel, wie dies  
Hofmeister (2) hat, in einem mit Kochsalz gesättigten Laktmus-  
lösung vertheilt.  
Vergleicht man die Entfärbung, welche der Muskel  
in der vorher und diesem Flüssigkeit erzeugt, in Bezug auf den  
Grad ihrer Stärke, so ist nach den oben erwähnten Angaben  
von Du Bois-Reymond und Hofmeister die Entfärbung der  
rothen Lösung stärker ausgeprägt als die Entfärbung der  
blauen. Die Entfärbung ist also geringer als die Alkalisation; die  
Reaction des rothen Fleischmuskels mit dem Katheterkopf ist  
Die Reaction des Fleisches von Hühner, Schwein, Hund, Kanarienvogel  
und Meeresschwamm bezeichnen. Im Hühnerfleisch und  
als mehr oder weniger deutlich alkalisch.  
Es ist nun weiter eine der am leichtesten feststellbaren  
Thatsachen, dass ein Muskel durch Laktmuslösung von einem  
rothbraunen oder braunen Muskel viel stärker vor gefärbt  
wird als von einem trocknen Muskel; ein gleicher Beweis dafür,  
dass die Lösung des Hühnerfleischs im Laktmus und bei der Todten-  
prüfung im Muskel vorhanden.

142766780

Z-140651

Akc. zI. 2024. nr. 340

(Aus dem physiologischen Institut zu Breslau.)

## Ueber die Reaction der quergestreiften Muskeln.

Von

**F. Röhmann.**

---

Wenn man den frisch angelegten Querschnitt eines Froschmuskels gegen einen Streifen Lakmuspapier andrückt, so färbt sich nach den bekannten Beobachtungen von Du Bois-Reymond<sup>1)</sup> ein blauer Streifen roth und ein rother blau. Eine ähnliche Veränderung der Farbe zeigt Lakmus, wenn man den Muskel, wie dies Heidenhain<sup>2)</sup> that, in einer mit Kochsalz gesättigten Lakmuslösung zerquetscht.

Vergleicht man die Farbenveränderung, welche der Muskel in der rothen und blauen Flüssigkeit erzeugt, in Bezug auf den Grad ihrer Stärke, so ist nach den übereinstimmenden Angaben von Du Bois-Reymond und Heidenhain die Blaufärbung der rothen Lösung immer stärker ausgeprägt als die Rothfärbung der blauen, die Acidität ist also geringer als die Alkalescenz; die Reaction des ruhenden Froschmuskels neigt zum Alkalischen hin. Die Reaction des Fleisches von Rind, Schwein, Hund, Kaninchen und Meerschweinchen bezeichnet Du Bois-Reymond geradezu als mehr oder weniger deutlich alkalisch.

Es ist nun weiter eine der am leichtesten festzustellenden Thatsachen, dass ein Streifen blauen Lakmuspapiers von einem todtstarrten oder tetanisirten Muskel viel stärker roth gefärbt wird als von einem frischen Muskel, ein sicherer Beweis dafür, dass die Menge der Säure beim Tetanisiren und bei der Todtenstarre im Muskel zunimmt.

---

1) E. Du Bois-Reymond, Gesammelte Abhdlg. II. S. 10.

2) R. Heidenhain, Mechanische Leistung etc. Leipzig 1864. S. 145.

Ein Versuch, die Aenderungen, welche die Reaction des Muskels bei der Todtenstarre und dem Tetanus erfährt, quantitativ zu bestimmen, ist bisher nur von Moleschott und Battistini<sup>1)</sup> gemacht worden. Da jedoch die Methode, nach welcher diese beiden Forscher arbeiteten, eine nur sehr unvollkommene war und die mit derselben erhaltenen Resultate nur wenig befriedigen können, so schien es wünschenswerth, neue Versuche nach dieser Richtung hin anzustellen.

Zur Prüfung der Reaction des Muskels bediente man sich lange Zeit ausschliesslich des Lakmus; nur Ranke<sup>2)</sup> verwendete gelegentlich auch Curcuma und Moleschott und Battistini Phenolphthalein. Die Anwendung des Lakmusfarbstoffes ist jedoch überall da unzweckmässig, wo die zu untersuchende Flüssigkeit Phosphate enthält. Eine solche Flüssigkeit kann blaues Lakmuspapier roth färben, ohne dass man im Stande wäre anzugeben, ob die Rothfärbung durch eine Säure oder durch Monophosphat hervorgebracht wird. Eine Lösung ferner, welche Phosphate enthält, lässt sich niemals neutralisiren. Denn nie erhält man eine Flüssigkeit, welche wie die Lösung eines Neutralsalzes ohne Einwirkung auf das Lakmus ist; entweder wird die Lakmuslösung blau oder roth, oder gleichzeitig blau und roth gefärbt.

Der Muskel färbt, wie erwähnt, blaue Lakmuslösung roth und rothe Lakmuslösung blau. Dass diese „amphichromatische“ Reaction wenigstens theilweise durch Phosphate bedingt ist, ist wohl kaum je bezweifelt worden.

Es ist deswegen zweckmässiger, zur Prüfung der Reaction des Muskels nicht Lakmus, sondern solche Farbstoffe zu verwenden, welche es gestatten, die Reaction auch einer phosphathaltigen Flüssigkeit in eindeutiger Weise anzugeben und mit Sicherheit zu bestimmen. Hierzu dienen Farbstoffe<sup>3)</sup>, von denen die einen durch Phosphorsäure und durch Diphosphat, aber nicht durch Monophosphat, die anderen nicht durch Diphosphat, aber durch Monophosphat verändert werden.

1) Jac. Moleschott und Attilio Battistini, Ueber die chemische Reaction der quergestreiften Muskeln und verschiedener Theile des Nervensystems während der Ruhe und nach der Arbeit. Untersuch. zur Naturlehre. XIII. 4 u. 5. Giessen 1885.

2) J. Ranke, Tetanus. Leipzig 1865. S. 145.

3) Fresenius, Z. f. analyt. Chem. 27. 1888. S. 36.

Als Vertreter dieser beiden Gruppen von Farbstoffen lassen sich zur Prüfung der Reaction des Muskels am besten Lakmoid und Curcuma verwenden.

Ein mit Lakmoid getränkter Papierstreifen ist äusserlich von einem Streifen Lakmuspapier nicht zu unterscheiden. Das Lakmoid ist ähnlich wie das Lakmus als eine Säure zu betrachten, die als Säure roth, in ihrer Alkaliverbindung dagegen blau ist. Es unterscheidet sich aber von dem Lakmus dadurch, dass die blaue Alkaliverbindung von „sauren“ Phosphaten, z. B.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , nicht wie jenes geröthet wird. Ebenso wenig wird ein rother Lakmoidstreifen durch dasselbe gebläut. Monophosphat ist wie ein Neutralsalz ohne jede Einwirkung auf Lakmoid. Dagegen wird ein blauer Lakmoidstreifen durch starke Säuren, aber nicht durch schwache Säuren roth gefärbt und ein rother wird gebläut durch Diphosphat, ferner durch Alkalien und gewisse Salze der schwachen Säuren, z. B.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Curcumapapier ist bekanntlich in saurer Lösung gelb und in alkalischer braun. Ein durch eine Spur Alkali braun gefärbtes Curcumapapier wird durch alle Säuren, auch Kohlensäure und, was von besonderer Wichtigkeit ist, auch durch Monophosphat gelb gefärbt. Die Braunfärbung des gelben Curcumapapiers erfolgt durch alle Alkalien und kohlen-saures Natrium, aber nicht durch Diphosphate und Monocarbonat.

Ebenso wie Curcuma verhält sich Phenolphthalein; in den Fällen, wo Curcuma gelb ist, ist es farblos und in denjenigen, in denen jenes braun ist, ist dieses roth.

Das zu den folgenden Versuchen gebrauchte Lakmoidpapier war im Wesentlichen nach der Methode von M. C. Traub und C. Hoek<sup>1)</sup> dargestellt worden.

Das braune Curcumapapier bereitet man sich in folgender Weise: Curcumatinetur wird auf dem Wasserbade abgedampft und mit Schwefelkohlenstoff extrahirt. Die ungelösten braunen Massen löst man in Alkohol und zieht durch dieselben Streifen von ungeleimtem, z. B. schwedischem Filtrirpapier, die vorher mit sehr verdünnter, z. B.  $\frac{1}{20}$  Normalsodalösung, schwach alkalisirt worden waren. Speichel muss auf denselben sofort einen citronengelben Fleck erzeugen.

1) Ber. d. deutschen chem. Ges. 17. 2615.

Prüft man nun den Querschnitt der Muskeln mit rothem und blauem Lakmoidpapier und gelbem und braunem Curcumapapier, so beobachtet man Folgendes:

Blaues Lakmoidpapier wird von dem Querschnitt eines frischen Muskels nicht verändert. Hieraus folgt, dass im frischen Muskel keine starke Säure, auch nicht Milchsäure, frei, d. h. nicht an Alkalien gebunden ist.

Rothes Lakmoidpapier wird stark blau gefärbt, der Muskel könnte also von anorganischen Salzen Natriumcarbonat und Dinatriumphosphat enthalten. Es wird später darauf hingewiesen werden, dass auch noch andere Verbindungen in Betracht kommen.

Gelbes Curcumapapier bleibt unverändert. Dies beweist, dass die Alkalien im Muskel nicht über die Säuren überwiegen, dass ferner nicht kohlen-saures, sondern nur saures kohlen-saures Natrium im Muskel vorhanden sein kann.

Braunes Curcumapapier wird gar nicht oder nur schwach gelb gefärbt. Säuren und Basen halten einander annähernd das Gleichgewicht.

Der Querschnitt eines starren oder tetanisirten Muskels färbt blaues Lakmoidpapier nie roth, rothes stets blau, aber meist deutlich schwächer als der frische, nicht tetanisirte Muskel. Gelbes Curcumapapier bleibt gelb. Drückt man dagegen den Querschnitt eines starren oder tetanisirten Muskels auf braunes Curcumapapier, so erhält man gelbe, mosaikartige Felder, welche den Primitivbündeln entsprechen, während die dem Bindegewebe entsprechenden Zwischenräume unverändert bleiben.

Das Verhalten zu blauem Lakmoidpapier beweist, dass auch der starre und tetanisirte Muskel keine freie starke Säure, auch nicht freie Milchsäure enthält.

Die Bildung von Säure im Muskel macht sich aber kenntlich durch die starke Gelbfärbung des braunen Curcumapapiers und die Abnahme der Blaufärbung des rothen Lakmoidpapiers.

Man wird hiernach die Reaction des Muskels am besten so ausdrücken, dass man sagt: Der Muskel reagirt für Lakmoid alkalisch und für Curcuma neutral oder schwach sauer, d. h. er färbt rothes Lakmoidpapier blau; er lässt braunes Curcumapapier unverändert oder färbt es nur schwach gelb. Bei der Todtenstarre und dem Tetanus nimmt die Alkalescenz für Lakmoid ab und die Acidität für Curcuma zu.

Wie man sieht, giebt es für den Muskel nicht eine Reaction, sondern gewissermaassen zwei; eine, wenn man so sagen darf, Lakmoid- und eine Curcuma-Reaction. Der Sinn, den man mit dieser Bezeichnung verbinden muss, ist der, dass im Muskel neben einander Verbindungen sind, welche in verschiedener, genau zu unterscheidender Weise auf die beiden Farbstoffe einwirken.

Dementsprechend kann man auch für jeden dieser Farbstoffe die Reaction quantitativ zu bestimmen suchen. Bevor die hierzu angewendete Methode geschildert wird, seien kurz die bisherigen Versuche, welche sich auf diesen Gegenstand beziehen, erwähnt.

Heidenhain suchte die Aenderungen, welche die Reaction des Muskels bei der Arbeitsleistung und unter dem Einfluss der Spannung erleidet, auf colorimetrischem Wege durch einen Vergleich der Farbenveränderung, welche der Muskel in der blauen bez. rothen Chlornatrium-Lakmuslösung hervorbringt, festzustellen. In einer Anzahl von Versuchen verglich er die Farbenveränderung der blauen Lakmuslösung mit der Färbung, welche eine bestimmte Menge Oxalsäure in derselben erzeugt.

Ranke titrirte den Muskelbrei von blutfreien, todtstarrten Muskeln mit Natronlauge, indem er sich als Indicator der Lakmuspinctur und in sehr zweckmässiger Weise des Curcumapapiers bediente. Er fand die bedeutsame Thatsache, dass jeder Muskel nach seiner Entfernung aus dem Blutkreislauf ein unveränderliches Säuremaximum besitzt und dass dasselbe bei einem ruhenden Muskel grösser ist, als bei einem Muskel, welcher bei erhaltener Circulation durch Strychnin ermüdet wurde. Die letztere Beobachtung ist, wie beiläufig bemerkt sei, wiederholt fälschlich so verstanden worden, als ob der Muskel beim Tetanus im Ganzen weniger Säure bilde als bei der Todtenstarre.

Astaschewsky<sup>1)</sup> überzeugte sich davon, dass die Extracte von frischen Muskeln stets sauer reagiren, während das ausgekochte Fleisch alkalisch wurde. Er extrahirte ferner die mit absolutem Alkohol erschöpften Muskeln mit Wasser und bestimmte durch Titriren mit Natronlauge die Säuremenge im ruhenden und dem bei erhaltener Circulation tetanisirten Kaninchenmuskel. Er bestätigte die Angabe von Ranke, dass der Säuregrad der ruhen-

1) Astaschewsky, Ueber die Säurebildung und den Milchsäuregehalt der Muskeln. Z. f. physiol. Chemie. 4. 397.

den und sogar der gelähmten Muskeln viel höher ist als derjenige der Muskeln, welche bei erhaltener Circulation tetanisirt wurden.

Moleschott und Battistini warfen zerschnittene Muskeln in eine mit Phenolphthalein rothgefärbte Kalihydratlösung und bestimmten die Zeit, innerhalb welcher die Rothfärbung verschwand; in anderen Versuchen setzten sie nach dem Verschwinden der Rothfärbung allmählich in kleinen Mengen wieder von der rothen Kalilösung hinzu, bis keine Entfärbung mehr eintrat. Aus der Menge der verbrauchten Kalilösung, deren Gehalt an Kalihydrat bekannt war, berechneten sie die Acidität des ruhenden und ermüdeten Muskels. Sie fanden, „dass die Säure häufiger in Muskeln überwiegt, die sich kräftig zusammengezogen, als in solchen, die geruht hatten. Wir müssen jedoch sogleich hinzufügen, dass nicht eben selten ausgeruhte Muskeln mehr Säure enthalten als ermüdete, obwohl in diesem Fall der Ueberschuss geringer zu sein pflegt als im vorigen“.

Bei der Beurtheilung dieser Methoden hat man folgende Punkte zu berücksichtigen: 1) das Festhalten desjenigen Zustandes, in dem man die Muskeln untersuchen will; 2) die Extraction derjenigen Substanzen, welche die Reaction des Muskels bedingen; 3) die Eigenschaften der Farbstoffe, welche als Indicatoren für die Reaction benutzt werden.

Der letzte Punkt ist bereits erörtert worden. Aus dem, was früher gesagt wurde, ergiebt sich, dass alle Resultate, welche unter Verwendung von Lakmus erhalten wurden, sofern es sich um quantitative Bestimmungen handelt, mehr oder weniger ungenau sind.

Punkt 1 und 2 fällt in den Versuchen von Heidenhain zusammen. Er fixirte den Zustand des Muskels und extrahirte mit gesättigter Kochsalzlösung.

Astaschéwsky warf die Muskeln in absoluten Alkohol und extrahirte sie dann mit Wasser. Die Substanzen, welche in den Alkohol übergehen, berücksichtigt er nicht. Dass dies ein Fehler ist, wird sich später ergeben.

Ranke zerquetschte die Muskeln ohne weiteres in Wasser, schloss also die Veränderungen, welche in dem Zustande des Muskels durch das Extractionsverfahren bedingt wurden, überhaupt nicht aus. Aehnliches gilt von den Versuchen von Moleschott

und Battistini, in welchen ausserdem der gründlichen Extraction wenig Beachtung geschenkt wurde.

Bei den im Folgenden mitzutheilenden Versuchen wurde zur Fixirung und zur Extration siedendes Wasser benutzt. Die Fixirung wurde auf diese Art sicher erreicht. Man muss sich aber bewusst bleiben, dass man bei diesem Verfahren nur diejenigen Substanzen erhält, welche in Wasser löslich sind, des Weiteren, dass es nach dem Stande unserer augenblicklichen Kenntnisse nicht ausgeschlossen ist, dass bei der Coagulation des Muskels in siedendem Wasser Veränderungen der Eiweisskörper eintreten, welche die Gruppierung der Basen und Säuren beeinflussen.

Die Untersuchung der Reaction des Wasserextractes wird sich also nicht vollkommen mit der Prüfung der Reaction des Muskelgewebes decken, sie giebt keine Vorstellung von dem Mengenverhältniss aller sauren und basischen in ihm enthaltenen Affinitäten, sie kann aber trotzdem geeignet sein, Aenderungen, welche in diesem Verhältniss durch eine Aenderung des Zustandes des Muskels eintreten, zu verfolgen.

Die Untersuchung gestaltete sich folgendermassen: Die auf einer tarirten Schale schnell abgewogenen Muskeln wurden in eine Schale mit siedendem Wasser geworfen und in diesem mit Scheere und Pincette in möglichst kleine Stücke zerschnitten. Nachdem sie einige Zeit in Wasser gekocht worden waren, wurde die Flüssigkeit in ein Becherglas abgossen und die Muskelstückchen in einer Porcellanschale zerklopft, hiernach in die Schale zurückgebracht und zunächst mit dem vorläufig abgossenen, dann wiederholt mit neuen Mengen destillirten Wassers ausgekocht. Die Wasserextracte wurden vereinigt, auf dem Wasserbade eingengt, auf ein bestimmtes Volumen aufgefüllt und durch Glaswolle filtrirt.

Von dieser Flüssigkeit wurde eine Probe mit der Pipette abgemessen und zur Bestimmung der Acidität mit  $\frac{1}{10}$  Normalnatronlauge titrirt. Als Indicator diente Phenolphthalein und Curcuma. Die Endreaction war auf letzterem besser zu erkennen als mit ersterem, ausserdem trat sie stets etwas früher ein. Eine zweite Probe wurde zur Bestimmung der Alkalescenz mit  $\frac{1}{10}$  Normalschwefelsäure versetzt und hierbei in einer Reihe von Fällen nur der Punkt bestimmt, wo die Blaufärbung des rothen Lakmoidpapiers völlig verschwunden war, in anderen Versuchen aber auch

die Menge Schwefelsäure bestimmt, welche zu dem Wasserextract hinzuzusetzen war, damit auf blauem Lakmoidpapier im durchfallenden Lichte eine nur eben bemerkbare Röthung auftrat.

### I. Versuche an Fröschen.

#### a) Aenderungen der Reaction bei der Starre.

Die Frösche wurden decapitirt, das Rückenmark zerstört. Die Muskeln der einen Unterextremität wurden abpräparirt, sofort in siedendes Wasser geworfen und verarbeitet; die der anderen abpräparirt und in einer bedeckten Schale 5—6 Stunden bei circa 37° im Brutofen stehen gelassen.

Tabelle I.

Zustand des Muskels	Gewicht der verar- beiteten Muskeln gr	Die Acidität für Curcuma entspricht $\frac{1}{10}$ N.-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ccm			Die Alkaleszenz für rothes Lakmoid entspricht $\frac{1}{10}$ N.-NaOH ccm		
		in der Menge d. verarb. Muskeln	in 100 gr Muskeln	Unter- schied d. Procente	in der Menge d. verarb. Muskeln	in 100 gr Muskeln	Unter- schied d. Procente
frisch . .	32	7,8	24,4	22,6	30,2	94,4	54,4
starr . .	30	14,1	47,0		12,0	40,0	
frisch . .	27,5	5,4	19,7	29,4	17,1	62,2	30,4
starr . .	30,5	15,0	49,1		9,7	31,8	
frisch . .	19	2,7	14,2	23,4	12,6	66,3	40,6
starr . .	21	8,1	38,6		5,4	25,7	

#### b) Aenderungen der Reaction beim Tetanisiren.

Die Tetanisirung erfolgte in derselben Weise wie in den Versuchen von W. Marcuse<sup>1)</sup>.

1) W. Marcuse, Ueber die Bildung der Milchsäure bei der Thätigkeit des Muskels. Pflüger's Archiv. Bd. 39.

Tabelle II.

Zustand des Muskels	Gewicht der verar- beiteten Muskeln gr	Die Acidität für Curcuma entspricht $\frac{1}{10}$ N.-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ccm			Die Alkaleszenz für rothes Lakmoid entspricht $\frac{1}{10}$ N.-NaOH ccm		
		in der Menge d. verarb. Muskeln	in 100 gr Muskeln	Unter- schied d. Procente	in der Menge d. verarb. Muskeln	in 100 gr Muskeln	Unter- schied d. Procente
frisch .	40,5	7,8	19,2	8,8	28,8	71,1	22,0
tetanisirt	38,5	10,9	28,0		18,9	49,1	
frisch .	39,5	6,9	17,5	15,4	26,4	66,8	14,9
tetanisirt	41,0	13,9	33,9		21,3	51,9	

Diesen beiden Tabellen ist folgendes zu entnehmen:

Das Wasserextract des Frostmuskels reagirt für Curcuma sauer und für Lakmoid alkalisch.

Die Alkaleszenz für rothes Lakmoid ist bei weitem grösser als die Acidität für Curcuma.

Bei der Starre und beim Tetanus nimmt die Acidität zu und die Alkaleszenz ab. Die Abnahme der Alkaleszenz ist gleich der Zunahme der Acidität oder grösser.

## II. Versuche an Kaninchen und Hunden.

Die Thiere wurden durch den Halschnitt getödtet. Die Erstarrung erfolgte auch hier bei ca. 37° im Brutschrank; die starren Muskeln wurden ebenfalls zwischen der fünften und sechsten Stunde nach dem Tode des Thieres untersucht. Die Controllmuskeln wurden selbstverständlich möglichst schnell in siedendes Wasser geworfen.

(Siehe Tabelle III.)

Das Resultat dieser Versuche ist im Wesentlichen das gleiche wie bei den Fröschen.

Das Wasserextract der Muskeln von Warmblütern reagirt auf Curcuma sauer, auf Lakmoid alkalisch. Prüft man mit blauem und rothem Lakmoidpapier, so tritt bei dem Zusatz der Schwefel-

Tabelle III.

Zustand des Muskels	Gewicht der verarbeiteten Muskeln gr	Die Acidität für Curcuma entspricht $\frac{1}{10}$ N.-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> com				Die Alkalescenz für blaues Lakmoid entspricht $\frac{1}{10}$ N.-NaOH com				Die Alkalescenz für rothes Lakmoid entspricht $\frac{1}{10}$ N.-NaOH com				
		in der Menge d. verarb. Muskeln		Unter- schied d. Procente	in 100 gr Muskeln		in der Menge d. verarb. Muskeln		Unter- schied d. Procente	in 100 gr Muskeln		in der Menge d. verarb. Muskeln		Unter- schied d. Procente
		in der Menge d. verarb. Muskeln	in 100 gr Muskeln		in der Menge d. verarb. Muskeln	in 100 gr Muskeln	in der Menge d. verarb. Muskeln	in 100 gr Muskeln						
frisch starr <sup>1)</sup>	30	10,3	34,5	27,5	10,8	35,9	15,9	25,1	83,6	15,6	25,1	83,6		
	30	18,6	62,0		6,0	20,0		20,4	68,0		20,4	68,0		
frisch starr <sup>1)</sup>	30	13,6	45,3	28,7	11,1	36,8	12,8	25,2	81,4	13,6	25,2	81,4		
	30	22,8	72,0		7,2	27,0		28,5	95,0		28,5	95,0		
frisch starr <sup>1)</sup>	41,0	15,6	38,0	7,0	15,9	39,0	9,0	31,5	76,8	14,9	31,5	76,8		
	42,0	18,9	45,0		12,6	30,0		26,0	61,9		26,0	61,9		
frisch starr <sup>2)</sup>	32	15,6	48,7	20,3	13,2	41,2	24,1	26,4	82,5	21,6	26,4	82,5		
	32	22,1	69,0		5,5	17,1		19,5	60,9		19,5	60,9		
frisch starr <sup>2)</sup>	31	11,3	36,4	14,9	12,7	41,0	13,9	27,4	88,2	11,8	27,4	88,2		
	31	15,9	51,3		8,4	27,1		23,7	76,4		23,7	76,4		
frisch starr <sup>2)</sup>	38,5	15,6	40,5	2,3	12,0	31,1	18,3	31,5	81,7	13,7	31,5	81,7		
	40,0	17,1	42,8		5,1	12,8		26,4	68,0		26,4	68,0		
frisch starr <sup>1)</sup>	31	8,8	28,2	3,6	—	—	—	16,1	51,9	26,3	16,1	51,9		
	31	9,9	32,8		—	—		7,7	25,6		7,7	25,6		
frisch starr <sup>1)</sup>	40	11,8	29,6	12,9	—	—	—	30,0	75,0	17,5	30,0	75,0		
	40	17,0	42,5		—	—		23,0	57,5		23,0	57,5		

1) Muskeln vor dem Erstarren abgeschnitten.

2) Die betreffende Extremität bleibt unverletzt im Fell und im Zusammenhang mit dem ausgeweideten Rumpf.

säure die Rothfärbung auf dem blauen Papier eher ein, als die Blaufärbung auf dem rothen verschwindet.

Die Alkalescenz für rothes Lakmoid ist im frischen Muskel stets erheblich grösser als die Acidität für Curcuma.

Bei der Todtenstarre nimmt die Acidität für Curcuma zu, die Alkalescenz für blaues und rothes Lakmoid ab.

Die Zunahme der Acidität ist in manchen Fällen kleiner, in anderen gleich, zuweilen aber auch grösser als die Abnahme der Alkalescenz. —

Es fragt sich nun, welches sind die Substanzen, welche die Reaction des frischen ruhenden und des todtenstarren bezw. tetanisirten Muskels bedingen und in welcher Beziehung stehen die Aenderungen der Reaction zu den Vorgängen im Muskel?

Die Gelbfärbung, welche der frische Querschnitt des frischen, nicht tetanisirten und nicht todtenstarren Muskels auf dem braunen Curcupapier erzeugt, kann durch Kohlensäure, Monophosphat und Eiweisskörper bedingt sein.

Bei der Herstellung des Wasserextractes entweicht die Kohlensäure, ihre Acidität bleibt also in den obigen Versuchen unberücksichtigt. Ueber das Verhalten der Eiweisskörper zu Curcuma weiss man bisher noch nichts. Die Hauptmenge derselben wird durch das Kochen coagulirt; ob solche, die für Curcuma sauer reagiren in das Wasserextract übergehen, ist bisher nicht untersucht; es ist jedoch kaum anzunehmen, dass es der Fall ist. Diejenige Substanz also, welche im Wesentlichen die Reaction des Wasserextractes für Curcuma bedingt, ist Monophosphat.

Die Alkalescenz für Lakmoid wird im frischen Muskel durch saures kohlen-saures Natrium, das in der Lymphe aller Gewebe enthalten ist, und durch Diphosphat bedingt, ausserdem aber, wie es scheint, auch durch die Alkaliverbindungen von Eiweisskörpern. Die letztere Annahme stützt sich unter Anderem darauf, dass ausnahmslos in das Extract der frischen Muskeln Eiweisskörper übergehen, welche beim Zusatz von Säure ausfallen. Sobald dieser Ausfall, kenntlich an der eintretenden Trübung der Flüssigkeit, beginnt, fängt blaues Lakmoidpapier an sich roth zu färben.

Kreatin ist ohne Einwirkung auf Lakmoid.

Von den chemischen Veränderungen, welche sich im Muskel während des Tetanus und der Todtenstarre abspielen, kommt für

die aufgeworfene Frage eine Thatsache in erster Linie in Betracht: die Bildung der Milchsäure.

Das Verhalten des Muskels zum blauem Lakmoidpapier zeigt uns, wie bereits erwähnt wurde, dass die Milchsäure, wenn sie sich bildet, sofort neutralisirt wird; denn zu keiner Zeit färbt der Muskel blaues Lakmoidpapier roth.

Die Neutralisation der Milchsäure erfolgt durch kohlen-saures Natrium und Dinatriumphosphat. Sie macht sich in allen Fällen durch die Abnahme der alkalischen Reaction für rothes Lakmoidpapier geltend.

Würde nur kohlen-saures Natrium zerlegt, so würde sich in den obigen Versuchen nur eine Abnahme der Alkalescenz für rothes Lakmoid finden, eine Zunahme der Acidität würde sich der Kenntniss entziehen, da die Kohlensäure bei der angewendeten Methode entweicht.

Dem Dinatriumphosphat vermag die Milchsäure nur ein Aequivalent Alkali zu entziehen, es entsteht Monophosphat, d. h. aus einer für Lakmoid alkalischen wird eine für Lakmoid neutrale, aber für Curcuma saure Verbindung. Sie zeigt die Bildung von Säure im Muskel an, ist aber nicht selbst die direct entstandene saure Substanz.

Wären kohlen-saures Natrium und Dinatriumphosphat die einzigen Verbindungen, die ihr Alkali an die Milchsäure abgeben, und wäre milchsäures Natrium, wie z. B. Chlornatrium für Lakmoid und Curcuma völlig neutral, so müsste die Zunahme der Acidität für Curcuma stets geringer als die Abnahme der Alkalescenz für rothes Lakmoidpapier sein. In einer Anzahl der Versuche ist dies auch der Fall, in anderen ist die Zunahme der Acidität der Abnahme der Alkalescenz gleich, in noch anderen aber sogar grösser. Zum Theil beruht die letztere Erscheinung darauf, dass das milchsäure Natrium für rothes Lakmoid schwach alkalisch reagirt; wirkt ein Molekül Milchsäure auf ein Molekül Dinatriumphosphat ein, so ist die Abnahme der Alkalescenz für rothes Lakmoid geringer als die Zunahme der Acidität für Curcuma. Ob dieses Verhalten die Differenz vollkommen erklärt, wurde nicht untersucht.

Welchen Antheil an den Aenderungen der Reaction die Myosingerinnung hat, lässt sich bisher noch nicht übersehen.

Durch die mitgetheilten Versuche ist, durch die Beziehungen

zum Lakmoid- und Curcumafarbstoff, der Begriff der Reaction des Muskels genauer festgestellt und durch Zahlen der Beweis geliefert worden, dass die Acidität des Muskels bei der Todtenstarre und beim Tetanus zu- und die Alkalescenz abnimmt.

Zugleich wurde gezeigt, dass genau zu unterscheiden ist zwischen der Frage, welche Substanzen bei der Prüfung der Reaction des Muskels die Färbung des zur Prüfung dienenden Farbstoffes bedingen und welche Substanzen durch ihre Bildung bei der Todtenstarre und dem Tetanus eine Aenderung der Reaction bewirken. Milchsäure entsteht, sie zerlegt für Lakmoid alkalische Verbindungen (Natriumcarbonat und Dinatriumphosphat) und erzeugt Verbindungen, welche für Curcuma sauer reagiren (Monophosphat und Kohlensäure) und gleichzeitig für Lakmoid neutral (Monophosphat); hierbei bildet sich milchsaures Natrium, das für Curcuma neutral und für Lakmoid schwach alkalisch ist.

Die Versuche gestatten endlich die Kritik einer Arbeit von R. Blome: Beiträge zur Chemie des quergestreiften Muskels<sup>1)</sup>, soweit sie die Angabe betrifft, „dass bei der Starre keine Bildung von Säure stattfindet und dass der frische Muskel genau die gleiche Menge freier Säure aufweist als der starre.“

Die Erklärung für dieses so auffallende, allen bisherigen Beobachtungen widersprechende Ergebniss liegt in der Untersuchungsmethode von Blome. Sein Verfahren ist folgendes: Die Muskeln werden durch dreimaliges Durchwalzen in einer kleinen Fleischhackmaschine in einen weichen homogenen Brei verwandelt. Von letzterem werden Portionen mit dem fünf- bis sechsfachen Volumen 96procentigen Alcohols übergossen, gut durchgerührt und hierauf einige Stunden bis Tage unter häufigem Umrühren stehen gelassen. Die entwässerte Muskelmasse wird durch Filtration von Alcohol getrennt, nach völliger Entfernung des Alcohols auf dem Wasserbade getrocknet, zerrieben und in einen Soxhlet'schen Extractionsapparat gebracht. An diesem wird ein Kölbchen, welches das ursprüngliche Alcoholextract enthält, befestigt und dadurch, dass dasselbe während 16 Stunden im Sieden erhalten wurde, eine vollkommene Extraction zu erhalten gesucht. In dem so gewonnenen Alcoholextract bestimmte Blome nach Zusatz von Phenolphthalein die Acidität durch Titriren mit Natronlauge. „Geht man

1) Archiv f. exp. Path. 28. 1 u. 2. S. 113.

von der bisher allgemein adoptirten Annahme aus, dass der lebensfrische Muskel keine oder nur geringe Mengen freier Säure aufweist, und dass bei der Starre eine Milchsäurebildung stattfindet, so müssten sich bei der Leichtlöslichkeit der Milchsäure in Alcohol die Alcoholauszüge des starren Muskels durch einen Ueberschuss an freier Säure von denen der frischen Muskeln unterscheiden, gleichviel, ob nur Milchsäure allein vorhanden oder gebildet worden war, oder ob ausserdem noch andere Säuren zugegen sind. Ein Ueberschuss von Säure<sup>e</sup> musste unter allen Umständen hervortreten, wenn bei der Starre freie Säure entstanden wäre.“

Die Titrirung des in der oben geschilderten Weise gewonnenen Alcoholextractes ergab keine Unterschiede zwischen dem frischen und starren Muskel — also, so schliesst Blome, wird bei der Starre keine Säure gebildet. „Damit wird aber natürlich das weitere Suchen nach der Quelle, aus welcher die Säure des starren Muskels stammt, gegenstandslos.“ (!)

Der Methode Blome's liegt die Voraussetzung zu Grunde, dass die Säure, welche bei der Todtenstarre entsteht, dieselbe Substanz ist, welche blaues Lakmuspapier roth färbt, und dass die Substanz, welche blaues Lakmuspapier roth färbt, in den Alcohol übergeht.

Beide Theile dieser Voraussetzung sind nicht zutreffend.

Wie bereits oben erwähnt wurde, entsteht bei der Todtenstarre Milchsäure. Dieselbe wird theils durch kohlenaures Natrium, theils durch Dinatriumphosphat neutralisirt, es entsteht milchsaures Natrium und Monophosphat. Milchsaures Natrium ist in Alcohol löslich. Hätte Blome das Alcoholextract auf Milchsäure untersucht, so hätte er die Angaben von R. Böhm und Hofmann und M. Werther bestätigen müssen.

Das Monophosphat reagirt für Phenolphthalein sauer. Es war unzweifelhaft diejenige Substanz, welche er in seinem Alcoholextracte titrirte. Dass er hierbei immer annähernd die gleichen Zahlen fand, erklärt sich in sehr einfacher Weise.

Monokaliumphosphat ist im Alcohol nur nach Maassgabe seines Wassergehaltes löslich. Blome verwendete für die Extraction einer bestimmten Menge von Muskeln immer die gleiche entsprechende Menge Alcohol. Durch Aufnahme von Wasser aus den Muskeln wird er nach seiner Angabe 82—85procentig.

Wenn nun die Menge Kaliummonophosphat, welche sich in

dem mit der Fleischmaschine zerhackten, vor dem Zerhacken nicht starren Muskel findet, in ihrer Gesammtmenge grösser ist, als dem Lösungsvermögen des Alcohols entspricht, so wird zwar der Alcohol eine gewisse Menge von Monophosphat enthalten, die sich durch Titriren mit Phenolphthalein leicht bestimmen lässt, dieselbe bleibt aber natürlich im frischen und starren Muskel dieselbe. Der in seiner Menge wechselnde Ueberschuss des Monophosphats bleibt in den Muskeln. Es erklärt dies zugleich, warum Astaschewsky, der das Wasserextract der mit absolutem Alcohol erschöpften Muskeln titrirte, zu brauchbaren Resultaten gelangen konnte.