

II.

Experimentelle Untersuchungen über die Entstehung der Darmperistaltik.

Von Dr. Carl Lüderitz in Berlin.

Wenngleich durch zahlreiche Erfahrungen die Abhängigkeit der Darmbewegungen einerseits von der Beschaffenheit des im Darne befindlichen Inhalts, andererseits von der Erregbarkeit des Darmes sichergestellt ist, so sind doch die näheren Vorgänge dieser Bewegungen, die Art, wie überhaupt die Peristaltik zu Stande kommt, physiologisch noch nicht aufgeklärt, und speciell die Frage, woher es kommt, dass unter normalen Verhältnissen der Inhalt des Darmes von oben nach unten, vom Magen zum After, befördert wird, harret noch der Beantwortung.

Allerdings ist hervorzuheben, dass die Vorstellungen, die man sich gegenwärtig über die Ursache der eigenthümlichen Richtung der Fortbewegung macht, sachgemässer und bestimmter sind, als dies noch vor wenigen Jahren der Fall war. Die von Nothnagel¹⁾ in Thierversuchen festgestellte Thatsache, dass bei normalem Inhalt im normalen Darm die peristaltischen Bewegungen nur in der Richtung vom Magen nach dem After zu gehen, dass dagegen durch die Anwesenheit stärker reizender Substanzen im Darm ein Fortschreiten der Bewegung auch in antiperistaltischer Richtung veranlasst wird, diese Thatsache führt, wie der genannte Autor mit Recht bemerkt, zu der Annahme, „dass präformirte Einrichtungen bestehen müssen, welche im lebenden mit normalem Inhalt in normaler Weise sich füllenden Darm den Gang der Bewegung nur in der Richtung von oben nach unten zulassen“. Vielleicht ein Ausdruck derartiger Einrichtungen, jedenfalls ein Beweis, dass am normalen Darm bei bestimmter, an circumscripiter Stelle geschehender motorischer Erregung letztere sich nicht, wie man früher glaubte, gleichmässig in der

¹⁾ Zeitschrift für klinische Medicin. Bd. IV. Hft. 4. 1882.

Richtung nach oben und nach unten verbreitet, sind weiterhin die von Nothnagel entdeckten eigenthümlichen Bewegungserscheinungen, die man bei bestimmten Arten der chemischen¹⁾ und der elektrischen²⁾ Reizung des Darmes beobachtet: bei Berührung der äusseren Oberfläche des Darmes (am zweckmässigsten des Kaninchens, da hier die Erscheinung am meisten ausgeprägt ist) mit einem Natronsalze erhält man eine etwa an der Berührungsstelle beginnende und von hier aus pyloruswärts verschieden weit sich erstreckende Contraction der Ringmuskeln des Darmes; bei der faradischen Reizung des Dünndarms erfolgt eine ähnliche, von der Reizungsstelle aus pyloruswärts laufende Contraction, während abwärts dieselbe viel weniger weit reicht oder hierselbst das Bild durch Entstehung einer Invagination sich complicirter gestaltet.

Welche Bedeutung haben diese Erscheinungen, speciell die Natriumcontraction? Hängt dieselbe mit dem für die Entstehung der normalen Peristaltik zu supponirenden Mechanismus zusammen? Und dieser Mechanismus selbst, wie ist er beschaffen?

Ich glaube im Folgenden einige Beiträge zur Beantwortung dieser Fragen liefern zu können, und ich gelangte zu diesen Resultaten durch Benutzung einer ziemlich einfachen Methode, die mir durch die Betrachtung der Darmbewegungen lebender Kaninchen, die mit geöffnetem Abdomen sich in einem gleichmässig auf einer Temperatur von etwa 38° C. erhaltenen, 0,6procentigen Kochsalzbade befanden, an die Hand gegeben wurde. Diese Experimente wurden an 19 Kaninchen, mittelgrossen und grossen Thieren, ausgeführt; doch bemerke ich, dass mir das Verhalten der Darmbewegungen lebender gesunder Kaninchen, wie dasselbe im lauen Kochsalzbade sich darstellt, aus der Untersuchung von im Ganzen 75 Thieren bekannt ist. Ein Theil der Thiere war vor Beginn des Versuchs durch subcutane Aetherinjectionen betäubt worden, bei anderen wurde keine Narkose angewendet; die hier mitzutheilenden Bewegungserscheinungen waren in beiden Fällen die gleichen.

Betrachtet man aufmerksam das Bild, welches die Därme des lebenden gesunden Thieres im lauen Kochsalzbade darbieten

¹⁾ Dieses Archiv. Bd. 88. Hft. 1.

²⁾ Beiträge zur Physiol. u. Pathol. des Darmes. Berlin 1884. S. 43.

— eine genauere Beschreibung dieses Bildes darf ich unterlassen und erlaube mir, in dieser Beziehung auf die Ausführungen von van Braam-Houckgeest¹⁾ und von Nothnagel²⁾ zu verweisen —, so findet man neben den zahlreichen Bewegungen, deren Ursache ganz dunkel ist, doch manche, für welche sich letztere mit einiger Wahrscheinlichkeit angeben lässt. So beobachtet man nicht selten den folgenden Vorgang. Das ruhig daliegende und wenig gefüllte Duodenum füllt sich allmählich, wie die nähere Untersuchung ergibt vorwiegend mit Galle, und gleichzeitig treten an der sich füllenden Darmstrecke leichte Contractionen der Längsmuskeln auf, durch welche die Strecke pendelnd nach oben und unten bewegt wird. Füllung und Bewegungen werden stärker, zu den Längscontractionen gesellen sich da und dort leichte ringförmige Einschnürungen des Darmes, unter weiterer Zunahme der Füllung werden letztere zahlreicher, kräftiger und breiter, und endlich wird mehr oder weniger rasch, bisweilen ganz plötzlich, durch zunehmende Contractionen der Ringmuskeln der Inhalt dieser Strecke nach unten hin entleert. Das Darmstück ist collabirt und liegt wieder ruhig wie zuvor. Der beschriebene Vorgang, der nicht selten mehrmals hinter einander beobachtet werden kann, zeigt deutlich, dass hier die Bewegungen durch den flüssigen Inhalt des Duodenums angeregt werden; ob aber die chemische Beschaffenheit desselben oder, wie es den Anschein hat, allein oder ausserdem sein mechanisches Moment diese Anregung giebt, bleibt ungewiss. Etwas deutlicher bietet eine andere Bewegungsform, welche in ihrer stärksten Entwicklung von van Braam-Houckgeest als „Rollbewegung“ bezeichnet wurde und bei welcher durch eine circuläre, peristaltisch abwärts laufende Constriction eine grössere Menge flüssigen Inhalts in grosser Eile abwärts fortgetrieben wird, Veranlassung zu der Vermuthung, dass das rein mechanische Moment der Ausdehnung des Darmes durch seinen Inhalt bei der Entstehung dieser Bewegung ein wesentlicher Factor ist. Am meisten nehmlich, wie man speciell an den weniger heftig verlaufenden Formen dieser Bewegung wahrnehmen kann, ist hierbei gerade das unmittelbar abwärts an den treibenden Con-

¹⁾ Pflüger's Arch. f. Physiol. Bd. VI. 1872.

²⁾ Beiträge zur Physiol. u. Pathol. des Darmes. Berlin 1884.

strictionsring angrenzende Darmstück durch flüssigen Inhalt stark ausgedehnt, hier ist möglicherweise die Ausgangsstelle des die Peristaltik erzeugenden oder sie unterstützenden Reizes. Viel deutlicher jedoch, so dass kaum noch ein Zweifel übrig bleibt, ist der erregende Einfluss der Ausdehnung an einem anderen Phänomen, der Fortbewegung der einzelnen Kothballen, ersichtlich. Am intacten, noch nicht durch längeres Verweilen im Kochsalzbade oder durch Manipuliren gereizten Darms habe ich diesen Vorgang nur selten beobachtet, am hyperämischen, im Reizzustande befindlichen Darms viel häufiger, und besonders ausgeprägt häufig nach dem Tode des Thieres, wenn überall in den Därmen die Erregbarkeit gesteigert ist. Man sieht dann, nachdem vorher die durch den Kothballen local erweiterte Darmstrecke schlaff und ruhig dagelegen hatte, wie plötzlich dicht oberhalb des Ballens der Darm auf eine kurze Strecke sich verengert, der Constrictionsring durch Abwärtswandern den Ballen vor sich her treibt, und weiterhin die Bewegung ohne erkennbare Ursache, oft ganz plötzlich, wieder erlischt.

Nach diesen Beobachtungen lag es nahe, zum Studium der Anregung und des Verlaufs der Peristaltik experimentell an möglichst circumscripiter Stelle eine Ausdehnung des Darmes zu erzeugen. Bevor ich jedoch hierzu schritt, schien es mir gerathen, einige orientirende Versuche zu machen, in denen einfach durch Injection grösserer Mengen reizloser Flüssigkeit in den Darm an verschiedenen Stellen derselbe stärker gefüllt und dabei die Einwirkung dieses Eingriffs auf die Motilität untersucht wurde. Dass eine Zunahme der Füllung des Darmes, auch abgesehen von der sonstigen Beschaffenheit des füllenden Inhalts, für die Entstehung von Darmbewegungen nicht gleichgültig ist, braucht nicht discutirt zu werden, die alltäglich zu constatirende Wirkung entleerender Klystiere beweist dies. Doch liegen methodische Untersuchungen über diesen Gegenstand nicht vor, wenigstens nicht solche, bei denen der motorische Erfolg durch directe Inspection der bewegten Därme controlirt worden ist. Die Angabe Falck's¹⁾, der an Hunden experimentirte, dass grössere, als Klystiere applicirte Wassermassen rascher und

¹⁾ Zeitschrift für Biologie. Bd. IX. 1873.

sicherer Entleerung hervorrufen, wenn sie auf einmal als wenn sie portionsweise dem Darm überliefert werden, besagt nur, dass die rasch eintretende Belastung der Darmwand ein stärkerer Reiz für die Peristaltik ist als eine gleich starke aber langsam geschehende; die dabei am Darne auftretenden Bewegungen wurden nicht beobachtet.

Um zunächst also an längeren Darmstrecken den Einfluss rasch geschehender stärkerer Anfüllung auf die Motilität kennen zu lernen, wurde die 38° C. warme Badesflüssigkeit theils in Klysmaform eingebracht, theils durch Einstich mittelst feiner Canüle in die verschiedensten Stellen, bewegte und unbewegte, des Dün- und Dickdarmes, nachdem die zu untersuchende Darmstrecke pyloruswärts mit einem feinen Faden fest umschnürt und 6—10 cm davon entfernt abwärts durch leichten Druck einer Pincette zugeklemmt worden, injicirt. Wie bekannt erzeugt sowohl der Einstich wie der von der Pincette ausgeübte Druck nur eine ganz locale Contraction, auch beim Umschnüren des Darmes sind weder oberhalb noch unterhalb der umschnürten Stelle Veränderungen des Bewegungszustandes zu bemerken. Natürlich sind diese Manipulationen sehr sorgfältig vorzunehmen. Die Menge der ziemlich rasch, d. h. binnen $\frac{1}{2}$ —1 Minute, injicirten Flüssigkeit betrug für den Dünndarm 5—8, für den Dickdarm 10—20 ccm und war derartig, dass sie den Darm in der Längs- und Querrichtung zwar ziemlich stark, aber nicht auf das Maximum seiner Capacität ausdehnte. Geschieht letzteres, so tritt selbstverständlich völlige Ruhe ein, und aus der erfolglosen Reizung des Darmes mit Natron- oder Kalisalzen oder durch stärkere Quetschung erhellet das Unvermögen der Musculatur, sich zusammenzuziehen. Anders dagegen ist der Effect, wenn die Ausdehnung nicht bis zum Maximum getrieben, sondern den Muskeln zur Entfaltung ihrer Kräfte noch genügend Raum gelassen wird.

Hierbei ergab sich (in 34 Einzelversuchen) für die verschiedenen Abschnitte des Darmkanals Folgendes. Am Mastdarm bemerkte man, dass gleich nach Beendigung der Injection die Flüssigkeit, wohl durch die elastischen Kräfte des untersten stark ausgedehnten Abschnittes, noch einige Centimeter weiter aufwärts getrieben wurde; gleich darauf entstanden an verschiedenen

Stellen der gedehnten Strecke Bewegungen, kurze oder längere ringförmige Einschnürungen, durch welche die im Darm befindlichen, durch die Injection theilweise nach oben beförderten Kothballen wieder abwärts getrieben wurden; nach einigen Minuten wurden die Bewegungen schwächer, auch die Flüssigkeit verschwand allmählich. Im oberen Dickdarm erschienen, entweder in der ganzen gedehnten Strecke oder nur an einzelnen Stellen, zierliche aber schwache Bewegungen der Längsmuskeln der einzelnen Haustra. Was den Dünndarm anbelangt, so blieb einige Male die gedehnte Strecke unbewegt; berührte man sie jedoch mit einem Krystall von *Natr. nitricum*, so erfolgte eine recht kräftige aufsteigende Contraction. In den meisten Fällen traten in der gedehnten Strecke an- und abschwellende Contractionen der Längsmusculatur auf, oder die schon vorhandenen erschienen verstärkt, auch leichte Zusammenziehungen der Ringmuskeln gesellten sich einige Male hinzu. Als besonders empfindlich erwies sich das Duodenum. Hier entstand meistentheils kräftige, oben in der Gegend der Schnürstelle beginnende und abwärts laufende breite Contraction der ringförmigen Muskellage, durch welche der Inhalt nach unten hin gestaut und bei Lüftung der Pincette ganz ausgetrieben wurde.

Aus diesen Versuchen ergibt sich, dass, wie im Voraus erwartet werden konnte, an jeder Stelle des Dünn- und des Dickdarmes eine rasch geschehende stärkere Füllung desselben mit an sich reizlosem Inhalt als motorischer Reiz wirken kann: in den meisten Fällen treten Bewegungen auf, und dieselben können bis zu energischer Austreibung des Inhalts sich steigern. Eine nähere Einsicht jedoch in den Vorgang, durch welchen hierbei die Peristaltik zu Stande kommt, wurde bei dieser Versuchsanordnung nicht gewonnen. Hierzu war eine mehr circumscripte mechanische Reizung bei freier Beweglichkeit des reizenden Körpers erforderlich.

Es gelang mir dies mittelst eines kleinen Kautschukballons, der collabirt in das Lumen des Darmes eingeschoben und dann aufgeblasen wurde. Diese Methode ist auch für das Studium der Darmbewegungen nicht neu. So haben Legros und

Onimus¹⁾ einen mit Gummischlauch versehenen kleinen Kautschukballon bei Hunden von einer Magen- oder Darmfistel aus in's Darmlumen eingeführt und mittelst eines dem Gummischlauch angefügten Manometers den Verlauf der durch die Contraction der Darmmuskeln eintretenden Volumsveränderung des Ballons registriert. Hierbei kam jedoch nicht der Effect einer Dehnung, sondern wesentlich die „spontan“ auftretende Peristaltik zum Ausdruck. Ferner brachte Hess²⁾, ebenfalls von einer Magenfistel aus, den Ballon in das Duodenum eines Hundes, füllte ihn von dem angefügten Schlauche aus stark mit Wasser und erschloss dann aus der Länge des Schlauchstücks, welches durch Abwärtsbewegung des Ballons in den Körper des Thieres hineingezogen wurde, den zeitlich stark wechselnden Verlauf dieser Bewegung. Doch blieben die näheren Einzelheiten derselben, die Aufschluss geben konnten über den die Richtung der Bewegung beherrschenden Mechanismus, hierbei verborgen, da die Besichtigung der bewegten Theile fehlte.

Das von mir benutzte, dem zarten Kaninchendarm entsprechend klein und leicht construirte Instrument bestand aus einem Hartgummiröhrchen von $2\frac{1}{2}$ cm Länge und 2 mm Durchmesser, auf dessen eines, mit seitlichen Oeffnungen versehenen Ende ein dünnes elastisches Häutchen gedeckt und 1 cm vom Ende entfernt festgebunden war, während andererseits das Röhrchen sich in einen etwa $\frac{1}{2}$ m langen und $2\frac{1}{2}$ mm breiten Gummischlauch fortsetzte. Durch letzteren hindurch konnte mittelst einer Spritze die elastische Membran durch Luft stark aufgeblasen werden. Im collabirten Zustande hatte der kleine Ballon eine Maximalbreite von 5 mm, konnte also bequem in jedem Theile des Darmes Platz finden, durch Aufblasen konnte er einen Durchmesser von $2\frac{1}{2}$ —3 cm erreichen. Um ihn im Lumen des Darmes zu appliciren, wurde letzterer, und zwar je nach Bedarf die verschiedensten Stellen des Dünn- oder Dickdarms, gegenüber dem Mesenteriumansatz und demselben parallel unter sorgfältiger Vermeidung von stärkeren Blutungen entsprechend weit aufgeschnitten und durch die Oeffnung der schlaffe Ballon pylorus- oder analwärts einige Centimeter weit in den Darm ge-

¹⁾ Journal de l'Anat. et de la Physiol. normales et pathol. VI. Année. 1869.

²⁾ Deutsches Archiv für klin. Medicin. 1887. Bd. 40.

schoben. Durch den Schnitt wird dabei ausser localer, zur Auswärtsstülpung der Schleimhaut führender Contraction keine weitere Bewegung und bei sehr sorgsamer Ausführung überhaupt keine besondere Reizung des Darmes hervorgerufen, auch das Einführen des Instruments wirkt bei der gewöhnlichen mässigen Erregbarkeit des Darmes nicht bewegungserzeugend.

Der Effect der Dehnung des Darmes, die rasch, etwa binnen 1 Secunde oder noch rascher, vorgenommen wurde, war nun sehr verschieden. Der Darm konnte völlig unbewegt bleiben, oder es konnten mehr oder weniger lebhaft, bis zu schöner Peristaltik gesteigerte, nachstehend näher geschilderte Bewegungen erzeugt werden. Die Ursache dieser Verschiedenheit war einestheils in dem Grade der Dehnung, ganz wesentlich aber in der Erregbarkeit des benutzten Darmstückes zu suchen. In letzterer Beziehung zeigten nicht nur die einzelnen Abtheilungen des Darmtractus sondern auch eine und dieselbe Darmstelle zu verschiedenen Zeiten beträchtliche Unterschiede. Ziemlich empfindlich war das Duodenum, weniger der übrige Dünndarm; auch der obere Abschnitt des Dickdarms reagirte schwach, der Mastdarm dagegen wieder stärker.

Nach der Grösse des durch die Dehnung erzielten Bewegungseffectes sind drei Fälle, zwischen denen Uebergangsformen existiren, zu unterscheiden und am zweckmässigsten gesondert zu besprechen.

1. Der Darm bleibt in Ruhe, sowohl bei schwacher als selbst bei stärkster, bis zum Zerreißen des Darmes gesteigerter Ausdehnung des Ballons. Nur verräth das Thier bei den hohen Graden plötzlicher Darmdehnung Schmerzen, und reflectorisch folgt Erbleichen der Baueingeweide. — Die Ruhe des Darmes trotz starker mechanischer Reizung ist recht häufig zu beobachten, besonders im oberen Dickdarm und in der unteren Hälfte des Dünndarms, und zumal an Darmschlingen, die auch spontan unbewegt sind. Die Natriumreaction solcher Stellen ist schwach, kann aber auch recht deutlich vorhanden sein.

2. Dicht oberhalb des dehnenden Körpers verengt sich der Darm, und oft schreitet von hier aus die Contraction noch eine Strecke weit, bis mehrere Centimeter, in der Richtung nach oben, pyloruswärts, fort,

während der Ballon selbst unbewegt bleibt. Unterhalb der gedehnten Stelle ist keine Spur einer Bewegung zu bemerken. Die Länge der Strecke, auf welche sich der Darm contrahirt, ist sehr verschieden. Häufig bildet sich nur eine leichte circuläre Einschnürung dicht oberhalb des Ballons, in anderen, selteneren Fällen, am meisten ausgeprägt am Dünndarm, erstreckt sich die Contraction verschieden weit, 1—3—6 cm, aufwärts. Bei starker Contraction verlängert sich der Darm und wird zu einem soliden schmalen Strang. Am oberen Ende geht die Verengerung entweder allmählich in den benachbarten schlaffen Darmtheil über, oder es schiebt sich der letztere, eine kleine Invagination bildend, über die contrahirte Stelle hinweg. Mitunter überspringt die aufsteigende Zusammenziehung kurze, mehrere Millimeter betragende Strecken, welche dann erst später sich ebenfalls zusammenziehen.

Die beschriebene Erscheinung beginnt nicht sofort nach der Dehnung, sondern es vergehen meistens 2—3, bisweilen sogar 6—8 Secunden. Hat die Constriction ihre grösste Ausbildung erreicht, was in 1—2 Secunden zu geschehen pflegt, so lässt sie alsbald, doch nun vom oberen Ende beginnend, wieder nach, bleibt aber dicht am Ballon fortbestehen. Sie kann gleich darauf ein zweites Mal sich nach oben erstrecken, um wiederum nachzulassen. Der pyloruswärts hart am Ballon gelegene Constrictionsring kann, immer vorausgesetzt, dass die Dehnung des Darmes dieselbe bleibt, minutenlang sich erhalten, ja gelegentlich von Neuem sich ausbreiten.

Wie aus der vorstehenden Schilderung sich ergibt, ist dieses Bewegungsphänomen bereits bekannt: es ist, von geringen, durch die rein äusserlichen Umstände der Application des Reizes veranlassten Differenzen abgesehen, in allen Einzelheiten dasselbe, das nach Berührung der äusseren Darmoberfläche mit einem Natronsalze auftritt. Dass die Contraction in der Regel länger andauert als die durch den chemischen Reiz erzeugte, hat in dem Fortbestehen der Dehnung seinen Grund, und das Verhalten der direct gereizten Darmstelle, das bei Natronapplication scharf ausgeprägt ist, wird bei der Dehnung maskirt durch den im Darm befindlichen, ziemliche Widerstände bietenden dehnenden Körper. Lässt man den Ballon collabiren, so tritt dies Verhalten

zu Tage, indem nunmehr die ganze vorher erweitert gewesene Strecke durch Contraction ihrer Ringmuskeln sich verengt. Der einzige Unterschied, der zwischen den beiden, durch Dehnung und durch Natronsalze erzeugten Wirkungen besteht, scheint ein quantitativer zu sein: an Stellen des Dünndarms, wo auf *Natr. nitricum* die Contraction sehr deutlich, etwa 1 cm weit, auftritt, fehlt die Dehnungswirkung oft vollständig. Es fand sich letztere daher zwar etwas häufiger als ein gänzliches Ausbleiben der Wirkung und liess sich event. an jedem Abschnitt des Darmes (nur Coecum und Wurmfortsatz sind nicht untersucht worden) nachweisen, aber eine kräftige, etwa 2 cm lange Constriction war nur bei gesteigerter, übrigens nicht so selten vorkommender Erregbarkeit des Darmes anzutreffen.

Zur Vervollständigung sei noch bemerkt, dass innerhalb gewisser Grenzen die Stärke der Dehnung für ihre Wirkung von ziemlichem Belang ist. In der Regel wurde der Ballon nur mittelstark, bis auf etwa 15 mm Durchmesser, aufgetrieben, so dass der Darm dadurch nur mässig, bei Weitem nicht maximal, erweitert wurde. Fehlt jedoch hierbei die Wirkung oder ist nur schwach, so lässt sie häufig durch stärkere Dehnung sich hervorrufen bezw. sie wird durch letztere, und unter Umständen recht erheblich, gesteigert. Ferner kommt, was nicht auffällig ist, auch die Schnelligkeit, mit welcher der Ballon aufgeblasen wird, für die Wirkung in Betracht, indem an Darmstellen, wo eine mässige aber rasch erfolgende Dehnung typische aufsteigende Zusammenziehung hervorruft, letztere selbst bei starker, aber langsam, d. h. binnen 1—2 Minuten geschehender Auftreibung fehlen kann. Es sind jedoch, wie bereits oben bemerkt, diese mit der Grösse und Geschwindigkeit gegebenen Differenzen der Reizstärke für den Erfolg der Reizung von viel geringerem Belang als es der, von vielfach noch ganz unbekannten Einflüssen beherrschte und während der Dauer des Versuches wechselnde, Zustand der Erregbarkeit der gereizten Darmstrecke ist.

3. Der Ballon wird abwärts bewegt, indem die, hart oberhalb desselben auftretende, ringförmige Verengerung des Darmes peristaltisch abwärts wandert und dabei den Ballon vor sich herschiebt. Die Abwärtsbewegung kann entweder nur auf eine kurze, etwa 1 cm be-

tragende Strecke geschehen, und der Ballon bleibt weiterhin ruhig liegen; oder die treibenden Contractionen des Darmes treten in kurzen Zwischenräumen auf; oder endlich, und das ist die Regel, der Ballon durchwandert eine längere, 10 cm und mehr betragende Darmstrecke. Die Geschwindigkeit der Bewegung ist verschieden, in den ausgesprochenen Fällen recht beträchtlich, mehrmals betrug sie 8 cm in 30 Secunden.

Es ist nun augenscheinlich die unter 2) näher beschriebene aufsteigende Contraction, welche die Abwärtsbewegung hervorbringt. Kommt letztere überhaupt, was am normalen Darm ziemlich selten zu beobachten ist, zu Stande, so verengt sich nach der Anspannung der elastischen Membran zunächst der Darm hart oberhalb, magenwärts, der gedehnten Stelle, und während von hier aus die Einschnürung noch eine kurze Strecke nach oben hin weitergeht, wandert sie andererseits gleichzeitig, den Ballon vor sich herschiebend, abwärts. Leider wird die genauere Stelle, wo am Ballon die aufsteigende Contraction beginnt, durch letzteren selbst verdeckt, man weiss nicht, ob dies am Orte der stärksten Dehnung des Darmes oder etwas oberhalb desselben oder wo sonst geschieht. Insbesondere vermag ich nicht anzugeben, ob von dieser Anfangsstelle aus die Contraction nicht blos aufwärts, sondern auch ein wenig abwärts sich erstreckt. Ein thatsächlicher Grund für letztere Annahme existirt jedoch nicht, denn selbst bei weithin, 6—8 cm, nach oben laufender Constriction ist unterhalb des Ballons der Darm weit und schlaff. Der directe Beweis, dass letztere Art der Contraction Abwärtsbewegung zur Folge haben kann, wird dadurch erbracht, dass man durch Application eines Natronsalzes auf die Darmoberfläche an einer Stelle, wo ein Kothballen möglichst getrennt von seinen Genossen oder der mässig ausgedehnte Ballon ruhig gelegen ist, diese Körper beliebig weit abwärts bewegen kann. Berührt man den Darm mit dem Natronsalz dicht oberhalb des Körpers, so tritt von hier aus aufsteigende Zusammenziehung ein, aber der Körper bleibt ruhig liegen. Reizt man unterhalb des letzteren, am besten einige Millimeter abwärts von seiner unteren Grenze, so wird, wie leicht ersichtlich, der Körper durch die von unten her vorrückende Zusammenschnürung des Darmes nach oben geschoben. Applicirt man dagegen den Salzkry stall

ungefähr auf die Mitte des Körpers, da wo die Dehnung des Darmes am grössten ist und also bei genügender Erregbarkeit desselben auch die Reizung am stärksten sein würde, so verengt sich hart oberhalb des Körpers das Darmrohr, und ersterer wird durch den Druck der im Bereich seiner oberen Hälfte sich contrahirenden Muskeln, etwa bis zur Reizungsstelle oder etwas weiter, abwärtsgepresst.

Dass man, wie oben mitgetheilt wurde, durch Aufblasen der Membran bisweilen eine sehr ausgedehnte, 4 bis 6, ja 8 cm (am Duodenum) betragende, aufsteigende Zusammenziehung erhält, ohne dass Abwärtsbeförderung eintritt, erklärt sich sehr einfach aus der Grösse der Widerstände, die der stark aufgeblähte Ballon, zumal im Vergleich mit einer gleich stark dehnenden Flüssigkeits- oder Gasmenge, den treibenden Kräften entgegenstellt; durch den heftigen und andauernden Reiz der Dehnung wird die Erregung des Darmes zwar weithin fortgeleitet, aber die für die Abwärtsbewegung allein in Betracht kommenden, im Bereich der gedehnten Stelle und speciell am oberen Umfang derselben angreifenden Contractionen sind für die grossen Widerstände zu schwach.

Die weitere Beförderung des Ballons geschieht dadurch, dass immer neue, weiter abwärts gelegene Darmstellen durch Dehnung gereizt werden und dass hierdurch oberhalb dieser Stellen Contractionen sich einstellen. Denn wenn man, während der Ballon in Bewegung begriffen ist, denselben plötzlich collabiren lässt und damit die Reizung unterbricht, so contrahirt sich der Darm noch an der erweitert gewesenen Strecke, aber die Peristaltik hört auf. —

Was die näheren Umstände des Vorkommens der von mir beobachteten Dehnungsperistaltik anbetrifft, so ist, wie bereits erwähnt, am normalen Darm das Phänomen ein seltenes, wie auch spontan starke Bewegungen nicht so häufig auftreten; sondern Stillstand des Ballons, entweder ohne oder — letzteres fand ich häufiger — mit gleichzeitiger, meist nur geringer aufsteigender Contraction, ist hier die Regel. Doch habe ich die Abwärtsbewegung auch unter anscheinend ganz normalen Verhältnissen am Dünn- und am Dickdarm beobachten können; die betreffenden Darmstrecken documentirten dann auch durch den bei Natron-

reizung auftretenden starken Erfolg ihre erhöhte Erregbarkeit, vor der künstlichen Reizung konnten sie bewegt sein oder nicht. Bei einem Thiere, einem sehr grossen und kräftigen Kaninchen, entstanden kurze Zeit nach der Blosslegung der Gedärme sehr lebhaft, zum Theil bis zu radförmigem Sichaufrollen des Darmes gesteigerte und viel flüssigen Inhalt abwärts treibende Bewegungen in einem grossen Theile des Dünndarmes; weiterhin trat ziemliche Ruhe ein, der Dickdarm lag ganz ruhig, aber sämmtliche Därme erschienen ein wenig injicirter als gewöhnlich: bei diesem Thiere nun wurde, nicht blos am Dünndarm sondern auch an den verschiedensten Stellen des Dickdarmes, der Ballon, gleichmässig und rascher als bei allen übrigen untersuchten Thieren, auf die beschriebene Weise abwärts befördert. Dabei war es nicht einmal nöthig, die Kautschukmembran in beträchtliche Spannung zu versetzen, sondern eine mässige Dehnung des Darmes war genügend. Am Duodenum zeigte sich bei mehreren Thieren der folgende Vorgang. Nachdem durch eine, etwa 16 cm abwärts vom Pförtner angebrachte Oeffnung der Ballon mehrere Centimeter weit nach oben hin in den ruhig daliegenden, nicht deutlich gefüllten Darm eingeführt und daselbst nur schwach, so dass er die Darmwandung kaum dehnte, aufgeblasen war, füllte sich allmählich der obere Darmabschnitt mit flüssigem Inhalt und gerieth, während unterhalb des Ballons der benachbarte Darm ganz ruhig blieb, in immer lebhafter werdende Bewegung: Verkürzungen und Verlängerungen, besonders aber breite Schnürringe traten auf, welche letztere, nicht direct am Ballon, sondern etwas oberhalb an der durch seinen Inhalt jetzt erweiterten Strecke angreifend, abwärtsschreitend diesen Inhalt sammt dem Instrument verschieden rasch, oft ganz plötzlich, zur unteren Oeffnung hinaustrieben. Füllte sich die obere Darmstrecke nicht, so blieb der schwach ausgedehnte Ballon meist ruhig liegen; bisweilen aber traten auch dann, und zwar nun hart am Ballon und etwas nach oben hin, in unregelmässigen Zwischenräumen Verengerungen auf, die zur Abwärtsbewegung des Instruments führten. Ein solches Fluctuiren der Erregbarkeit des Darmes, wie aus der zuletzt mitgetheilten Beobachtung ersichtlich ist, konnte gar nicht selten constatirt werden. So kann bei vor-
sichtigstem Einführen des collabirten Ballons in das ruhig lie-

gende Duodenum letzteres bald ganz ruhig bleiben, bald, d. h. bei einem zweiten kurz darauf geschehenden Einführen, sofort sich krampfhaft um das Instrument zusammenschnüren oder letzteres abwärts aus dem Darne austreiben. Die Ursache für diesen rein localen Wechsel der Erregbarkeit vermag ich nicht anzugeben.

Wenn der Darm nicht mehr normal ist, sondern durch das Manipuliren sich Reizzustände entwickelt haben, so findet man häufiger, als dies sonst der Fall ist, einzelne Darmabschnitte derartig erregbar, dass durch den Dehnungsreiz Peristaltik zu Stande kommt. Hauptsächlich am Mastdarm, an welchem ausserdem beim Anlegen der Schnittöffnung und beim Hineinbringen des Röhrchens Insulte der ganzen Darmstrecke schwer vermieden werden konnten, war diese Bewegung als ein sehr zierliches Phänomen wahrzunehmen, indem der Ballon genau wie ein mitunter gleichzeitig zu beobachtender Kothballen nach dem After zu getrieben wurde. Dasselbe war der Fall bei jenem Zustande erhöhter Erregbarkeit, wie er gleich nach dem Tode des Thieres, welcher durch Untertauchen desselben herbeigeführt wurde, am ganzen Darmtractus vorhanden ist: hier liess sich, zwar nicht stets und überall, aber doch viel häufiger als am normalen Darm des lebenden Thieres und besonders ausgesprochen am Mastdarm, Dehnungsperistaltik oder wenigstens aufsteigende Constriction in schöner Weise zur Anschauung bringen. —

Es erübrigt, die vorstehend mitgetheilten Thatsachen, die nach mehrfacher Richtung hin zu vervollständigen und zumal auf ihr Vorkommen auch bei anderen Thierarten als beim Kaninchen noch zu untersuchen sein dürften, näher zu erörtern und, so weit dies möglich ist, eine Erklärung derselben zu versuchen. Ich stelle zu diesem Zwecke die wichtigsten thatsächlichen Ergebnisse zusammen.

Eine rasch geschehende Füllung des Darmes ist an jeglichem Abschnitt desselben geeignet, peristaltische Bewegungen der gefüllten Darmstrecke auszulösen. Zur näheren Einsicht in diesen Vorgang führt die an circumscripiter Stelle des Darmes vorgenommene Dehnung desselben mittelst eines Kautschukballons. Hierbei entsteht unter bestimmten, vom Grade der Dehnung und der Erreg-

barkeit des Darmes abhängigen Bedingungen, eine vom Ballon aus mehr oder weniger weit pyloruswärts sich erstreckende und den Darm verengernde Contraction, während abwärts keine Bewegung eintritt. Es gleicht diese Contraction in allen Einzelheiten derjenigen, die bei Berührung der äusseren Darmoberfläche mit einem Natronsalze eintritt. Bei starker Erregbarkeit wird der Ballon durch die Contraction abwärts getrieben und bringt durch erneute, von immer tiefer gelegenen Darmstrecken ausgehende Reizungen eine abwärts verlaufende peristaltische Welle zu Stande.

Diese Ergebnisse bestätigen zunächst die Annahme, dass präformirte Einrichtungen bestehen, durch welche am Darm die Abwärtsbewegung des Inhalts veranlasst wird. Die weitere — oben nicht mitgetheilte — Thatsache, dass auch nach Abtragung der durch das Mesenterium zum Darm tretenden Nerven die aufsteigende Dehnungscontraction noch zu Stande kommt, beweist, dass diese Einrichtungen in der Darmwand selbst ihren Sitz haben.

Interessant ist die Art, wie die peristaltische Welle, jene unmittelbar hinter dem dehnenden Körper herlaufende und ihn abwärts treibende Constriction des Darmes, sich ausbildet: nicht, wie man hätte vermuthen können, durch Reizung nur einer circumscribten Stelle der stark erregbaren Darmwand, sondern als Product zahlreicher, von immer neuen Darmstellen aus sich wiederholender Reizungen. Das einzelne Element dieser Welle d. h. die bei Reizung einer umschriebenen Stelle auftretende Bewegung hat gar nicht die Tendenz, sich abwärts zu verbreiten, sondern verläuft im Gegentheil nach oben hin. Hierdurch wird auch jene eigenthümliche Contraction, die bei Reizung des Darmes mit einem Natronsalze auftritt und in allen Einzelheiten ihrer Erscheinung und der Bedingungen ihres Auftretens der aufsteigenden Dehnungscontraction gleicht und die bisher vollkommen unverständlich war, in ihrer Bedeutung klar, und die Verwerthung derselben, wie dies von Seiten mehrerer Untersucher bereits geschehen ist, als eines Mittels, welches über den Zustand der motorischen Erregbarkeit des Darmes Aufschluss giebt, gewinnt erhöhte Berechtigung. Immerhin bleibt dieser aufwärts gerichtete

Verlauf sehr auffallend. Denn wenn auch mit Hülfe dieser Einrichtung die Abwärtsbewegung einer local den Darm dehnenden Masse (Kothballen, Kautschukballon) recht wohl verständlich ist, indem bei einer, am Orte der stärksten Dehnung beginnenden, aufsteigenden Verengung des Darmes alle diese, am oberen Umfang des dehnenden Körpers angreifenden Contractionen bei genügender Kraft den Effect haben werden, dass sie den Körper nach unten hin wegdrücken, so scheint doch für eine Peristaltik, welche durch andere Reize als durch Dehnung ausgelöst wird, diese Einrichtung bzw. allein diese Einrichtung nicht recht zu genügen. Allerdings ist in's Auge zu fassen, dass die aufsteigende Contraction, deren Anfang bei Dehnungsreizung durch den Ballon verdeckt ist, bei Natronreizung sehr häufig nicht unmittelbar an der gereizten Stelle, sondern etwas oberhalb derselben beginnt, und es ist mir wahrscheinlich, dass gerade dieser Umstand für die Erzielung einer Abwärtsbewegung von Wichtigkeit ist. Doch sind hier weitere experimentelle Untersuchungen erforderlich.

Was die Erklärung der aufsteigenden Dehnungscontraction anbelangt, so ist die erste hier sich darbietende Frage, ob dieselbe durch directe Muskelreizung oder durch Intervention nervöser Apparate zu Stande kommt, ohne Zweifel im letzteren Sinne zu beantworten. Für die Natroncontraction ist der nervöse Ursprung durch mehrfache Beweismittel so gut wie sicher gestellt, für die Dehnungscontraction dürfte wohl ohne besondere Erörterung jener Beweismittel ein gleicher Ursprung anzunehmen sein. In Betracht dürfte dabei in erster Linie der stark entwickelte, zwischen den beiden Muskelschichten des Darmes gelegene Plexus myentericus kommen. Ob die Erregung direct durch Dehnung des Gangliengeflechtes, ob sie indirect von der Schleimhaut aus geschieht, oder ob Beides der Fall ist, lässt sich mit Bestimmtheit nicht sagen; auch specielle, zu diesem Zwecke angestellte Versuche, in denen möglichst auf die Schleimhaut beschränkte mechanische Reizung angestrebt wurde, führten zu keiner Entscheidung. Neben der im nervösen Apparat erzeugten und von hier aus den Muskeln zufließenden Erregung dürfte ferner an der durch den Ballon gedehnten Stelle eine directe Muskelreizung anzunehmen sein, die nach dem Collabiren

des Ballons als eine Verengerung der gedehnt gewesenen Stelle zu Tage tritt.

Auf die weitere Frage, wie der aufsteigende Verlauf der Constriction zu erklären sei, ist aus den bekannten histologischen und physiologischen Thatsachen eine genügende Antwort nicht zu erhalten. Man könnte jedoch durch eine ad hoc gemachte, aber noch des ausreichenden Beweises bedürftige Annahme dieses Aufsteigen verständlicher machen, durch die Annahme nemlich, dass der in Betracht kommende nervöse Apparat bezw. gangliöse Plexus der Darmwand, wenn er an umschriebener Stelle (durch Dehnung oder durch adäquate chemische Reizung) in Erregung versetzt wird, der von der gereizten Stelle aus im Plexus geschehenden Ausbreitung dieser Erregung geringere Widerstände in der Richtung nach dem Pylorus hin als in der anderen, analen Richtung entgegensetzt. Um nur die bezüglichlichen Thatsachen der chemischen Reizung kurz zu erwähnen, so verläuft bei mässiger Erregbarkeit des Darmes die aufsteigende Contraction, am Orte der Reizung oder etwas oberhalb desselben beginnend, in der Regel nur aufwärts, bei hochgradiger Erregbarkeit jedoch, wie dies besonders am todtten Thiere, aber auch während des Lebens zu beobachten ist, ausserdem zugleich etwas abwärts. Ganz ungezwungen lässt sich dieses Verhalten durch die naheliegende Annahme einer von vornherein dem nervösen Apparat zukommenden, in verschiedener Richtung verschiedenen Leitungsfähigkeit deuten. Ich stelle jedoch diese Annahme mit Vorbehalt auf und halte sie noch nicht für genügend begründet. Insbesondere sei darauf hingewiesen, dass in den vorstehenden Erörterungen speciell von der Thätigkeit der Ringmuskeln gesprochen wurde, dass jedoch auch festzustellen ist, welche Rolle bei der peristaltischen Bewegung den longitudinalen Fasern zukommt. Das genauere Verhalten der beiden Muskelschichten bei den normalen Darmbewegungen ist noch nicht ausreichend studirt und ursächlich noch gar nicht aufgeklärt. Die jüngst von Biedermann¹⁾ mitgetheilte Beobachtung, dass dem Antagonismus, der in der Function der beiden Muskellagen besteht, auch eine verschiedene Reaction gegenüber der galvanischen Reizung

¹⁾ Pflüger's Archiv f. Physiol. 1889. Bd. 45.

entspricht, indem bei Schliessung des Stromes an der Anode die Ringmusculatur, an der Kathode die Längsmusculatur sich zusammenzieht, führt hier vielleicht zu einem genaueren Verständniss, ist aber vorläufig noch nicht recht verwerthbar. Am normalen Darm des im warmen Kochsalzbade untersuchten Kaninchens ist die Action der Längsmuskeln oft sehr ausgeprägt, ja im Ganzen häufiger als die der Ringmuskeln wahrzunehmen, und wenn allmählich eine Darmstrecke in zunehmende Bewegung geräth, so sieht man sehr häufig, dass anfangs nur Verkürzungen und Verlängerungen dieser Strecke, oft peristaltisch verlaufend, erscheinen, und dass erst, wenn diese Bewegungen zu einer gewissen Stärke gelangt sind, Verengerungen der Strecke hinzutreten. Wie bei der durch Dehnung der Darmwand erzielten aufsteigenden Contraction sich die Längsmuskelfasern verhalten, vermag ich nicht genauer anzugeben; einige Male schien es, als ob sie, bevor die Verengerung auftrat, sich etwas zusammenzögen. Ich unterlasse es daher, auf die Hypothesen, die über die Function der beiden Muskelschichten bei der Peristaltik bereits vorhanden sind, näher einzugehen.
