

Beiträge zur kolloidchemischen Analyse der Absorptions- und Sekretionsvorgänge.

(Die Absorption aus der Bauchhöhle.)

Von Martin H. Fischer¹⁾. (Eingegangen 21. März 1911)

(Aus dem Josef Eichberg-Laboratorium für Physiologie an der Universität
Cincinnati, Ohio.)

I.

Im Verlaufe der letzten Jahre wurde durch experimentelle Untersuchungen und daraus abgeleitete theoretische Erwägungen die Annahme immer mehr zur Gewißheit, daß die Zellkolloide und deren Zustandsänderungen als Hauptfaktor für die Menge des in der Zelle vorhandenen Wassers und für deren Variationen verantwortlich zu machen seien. Diese Schlußfolgerung bildete einen scharfen Gegensatz zu der allgemein geltenden Anschauung, nach der den Kolloiden hierbei nur eine sehr geringe oder gar keine Bedeutung zukommt. Die letztere Ueberzeugung gewann ihre Hauptstütze, als seit den ersten Untersuchungen über Osmose durch H. de Vries und W. Pfeffer sowohl Tier- als Pflanzenphysiologen sich allgemein der Ansicht anschlossen, die lebende Zelle stelle ein osmotisches System dar, das seiner allgemeinen Zusammensetzung nach den osmotischen Zellen, wie man sie in unseren physikalisch-chemischen Laboratorien verwendet, gleiche. Da nun reine Kolloide praktisch kaum einen osmotischen Druck ausüben, wurde geschlossen, daß sie auch in den lebenden, der Voraussetzung nach osmotischen Systemen des Biologen keinen osmotischen Druck zeigen könnten. Die ernsthaften Einwände jedoch sind wohl jedermann bekannt, die sich gegen die Theorie der osmo-

¹⁾ Uebersetzt von Hans Handovsky.

tischen Wasseraufnahme der Zelle vorbringen lassen, selbst nach den Modifikationen, die sie durch die vorzüglichen Untersuchungen der letzten 15 Jahre erfuhren. Bei einem Versuch, die wichtigsten dieser Einwände zu begründen, wurde auch die Rolle, die den Kolloiden bei der Wasseraufnahme zukommt, neuerdings in Erwägung gezogen. Diese Untersuchungen hatten ergeben, daß sich die Aenderungen im Wassergehalt der verschiedenen Zellen nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ aus ihrer kolloiden Zusammensetzung erklären lassen; denn die Veränderungen, die in den Zellen beobachtet werden können, wenn man sie verschiedenen äußeren Bedingungen unterwirft, sind mit denen identisch, die man in verschiedenen Emulsionskolloiden unter denselben äußeren Bedingungen hervorrufen kann. Auf diese Art wurde es möglich, nicht nur alle Erscheinungen zu erklären, die man sich früher als durch die Osmose zustandegekommen dachte, sondern auch jene bemerkenswerten Ausnahmen, die nach der übereinstimmenden Meinung aller Biologen auf dieser Basis nicht erklärt werden können. So kam man schließlich zu der Ueberzeugung, daß die Gewebeskolloide und ihre Zustandsänderungen den Hauptanteil an dem Wechseln des Wassergehaltes haben, das für die lebende Zelle charakteristisch ist¹⁾.

Vor allem muß nun die Frage erörtert werden, ob die Gesetzmäßigkeiten, die aus dem Studium isolierter Zelltypen abgeleitet wurden, auch zur Erklärung spezieller Probleme von Absorption und Sekretion bei höheren Tieren herangezogen werden können. Die Absorption und Sekretion des Wassers durch einen vielzelligen Organismus scheint auf den ersten Blick sehr verschieden von der bei einer einzelnen Zelle zu sein, etwa bei einer Amöbe oder einer Muskelzelle. Es ist leicht, sich eine Amöbe als eine sphärisch angeordnete Masse kolloider Substanzen vorzustellen, die mit Wasser gesättigt ist und durch Variationen der physikalisch-chemischen Bedingungen oder durch direkte chemische Veränderungen der sie bildenden Substanzen ihre kolloide Materie so verändern kann, daß sie Wasser aufnimmt oder abgibt. Im meine nun, daß wir mit dieser einfachen Vorstellung tatsächlich das wesentliche des ganzen Problems der Wasserabsorption und -sekretion bei diesen einzelligen Organismen getroffen haben.

¹⁾ Martin H. Fischer, *American Journ. of Physiol.* 20, 330 (1907); *Pflüger's Arch.* 124, 69 (1908); *Journ. of Amer. Med. Assoc.* 51, 830 (1908); *Pflüger's Arch.* 125, 99 (1908); *ibid.* 125, 396 (1908); *ibid.* 127, 1 (1909); *Kolloidchem. Beih.* 1, 93 (1910); eine diesbezügliche Zusammenfassung findet man in „Das Oedem“, deutsch von K. Schorr und W. Ostwald (Dresden 1910).

Bei vielzelligen Organismen jedoch tritt uns sogleich eine Tatsache entgegen, die sich zunächst wohl nicht auf so einfacher Basis auslegen läßt, wie wir sie für die Amöbe skizziert haben. Bei den Säugetieren z. B. finden wir ganze Organe, die scheinbar nur die Fähigkeit der Absorption haben, während andere wieder nur als Sekretionsorgane fungieren. So ist es schwer, zu erkennen, welche Beziehungen zwischen einer Schleimhautzelle des Dünndarms, die nahezu ausschließlich der Wasserabsorption aus dem Lumen des Darmes dient, oder einer Nierenzelle, die ebenso ausschließlich die Sekretion des Urins besorgt, und einer einfachen Amöbe oder Muskelzelle bestehen, die bald Wasser absorbieren, bald sezernieren, entsprechend ihrem eigenen physiologischen Bedürfnis oder entsprechend den Bedingungen, die wir nach Belieben hierfür schaffen können. Und doch ist bei genauer Analyse der Unterschied zwischen den beiden Arten nicht so groß: erstens gilt die Tatsache, daß die Schleimhautzelle nur absorbiert, nur so lange, als wir sie vom Darmlumen aus betrachten; sehen wir sie jedoch vom Blutgefäß aus an, dann ist ihre Tätigkeit eine sezernierende, denn was sie aus dem Darm aufgenommen hat, gibt sie an das Blut wieder ab. Ebenso gilt uns auch die Nierenzelle nur deshalb als sezernierend, weil wir immer nur daran denken, daß sie den Harn produziert; es ist aber doch selbstverständlich, daß alle Bestandteile des Harnes aus dem Blut absorbiert worden sind. Aber auch von einem andern Gesichtspunkt aus können wir die Eingeweidezellen unter Umständen als Sekretionszellen funktionieren sehen, indem sie Substanzen in das Lumen der Eingeweide sezernieren, und auch manche Nierenzellen können, zumindest nach der Ansicht einiger Forscher, Stoffe, die durch andere Nierenzellen sezerniert worden sind, rückabsorbieren. *Im wesentlichen sind also die Phänomene der Absorption und Sekretion in den Organzellen höherer Tiere von der Absorption und Sekretion nicht verschieden, wie wir sie bei einer Amöbe oder einer isolierten Gewebszelle beobachtet haben.* Charakteristisch für Absorption und Sekretion bei höheren Tieren bleibt daher nur, daß unter normalen Umständen und vom Standpunkte der Arbeitsteilung der einzelnen Organe aus betrachtet die Absorptions- oder Sekretionsprozesse prädominieren. *Daher ist es bei den höheren Tieren nicht die Adsorption und Sekretion an sich, die eine spezifische Analyse erfordern, sondern es sind die Bedingungen, die es im vielzelligen Organismus ermöglichen, daß gewisse Zellen und Gewebe vorherrschend als absorbierende, andere wieder als sezernierende Systeme wirken.* Daraus entstehen jene Probleme, die gewöhnlich als spezielle Physiologie

der Absorption und Sekretion bei den höheren Tieren zusammengefaßt werden.

Wir wollen zunächst versuchen, ob wir die Bedingungen, die dem vorwiegenden Funktionieren in einer Richtung, wie dies bei manchen Zellen und Geweben vorkommt, zugrunde liegen, nicht ganz allgemein definieren können, und zwar auf der Grundlage unserer Ueberzeugung, daß es vor allem die kolloide Zusammensetzung der lebenden Zelle ist, die ihre Wasserabsorption und -sekretion entscheidet. Eine Amöbe oder eine isolierte Zelle oder ein Gewebe aus einem höheren Tier, das in irgendeiner Lösung gehalten wird, ist auf allen Seiten von dieser Lösung umgeben. Könnten wir uns nun denken, daß die chemischen Prozesse innerhalb dieser Zelle labil bleiben, dann würden wir sehen, daß sie nach einiger Zeit in einen Gleichgewichtszustand mit ihrer Umgebung kommt; ist dieser erreicht, dann wird die Zelle weder Wasser absorbieren noch sezernieren. Nur wenn dieses Gleichgewicht wieder gestört wird, sei es durch Aenderungen in der Umgebung der Zellen oder durch spezifische chemische Aenderungen in den Zellen selbst, dann können wir erwarten, daß von neuem eine Absorption oder Sekretion stattfinden wird. Unter ganz anderen Bedingungen befindet sich die individuelle Zelle eines vielzelligen Organismus im intakt lebenden Körper. In einem gewissen Sinne läßt sich ja die Tätigkeit der Amöbe mit der einer individualisierten Zelle z. B. mit einer Darmschleimhautzelle vergleichen und eine gewisse Analogie ergibt sich auch aus der Tatsache, daß beide von einem flüssigen Medium umgeben sind; aber hier ist die Analogie auch schon zu Ende. Denn während die Amöbe auf allen Seiten von derselben Flüssigkeit umgeben ist, *sind die Zellen aller Absorptions- oder Sekretionsorgane, z. B. bei einem Säugetier, mit den verschiedenen Teilen ihres Zellprotoplasmas mit vollkommen verschiedenen Medien in Kontakt.* So sind die Zellen der Eingeweideschleimhaut auf der einen Seite mit dem Inhalt der Eingeweide in Berührung, auf der anderen Seite werden sie vom Blut, von der Lymphe oder von beiden zusammen bespült. *Solche Zellen und ebenso alle anderen Absorptions- oder Sekretionszellen, die ähnlich gelegen sind, müssen daher ununterbrochen versuchen, mit allen Medien, die sie umgeben, ins Gleichgewicht zu kommen. Auf diese Weise kommen dann bei höheren Tieren jene Phänomene zustande, die wir als Absorption oder Sekretion bezeichnen.*

Wie ich schon anderwärts ausgeführt habe¹⁾, kommen die Schleimhautzellen der Darmwand (eigentlich die kolloide Membran, die den Darminhalt vom Blute trennt) auf die Weise einerseits mit dem Blute, andererseits mit dem Darminhalt in ein Gleichgewicht, daß sie den letzteren absorbieren und in das Blut überführen.

Meiner Meinung nach *ist der Körper eines vielzelligen Organismus, z. B. eines Säugetieres, aus einem System von Emulsionskolloiden aufgebaut, die in ihrem Ruhezustand mit Wasser gesättigt sind.* Zu den Einrichtungen, die dieses wassergesättigte kolloide System aufbauen, gehören Blut und Lymphe, die sogar einen Hauptbestandteil bilden. *Das ganze System wird nur dann noch Wasser aufnehmen oder abgeben, wenn chemische Veränderungen vorangegangen sind, die die Affinität der Gewebskolloide für Wasser entweder erhöht oder herabgesetzt haben.* Wir können sehen, daß solche chemische Aenderungen, die in einem vielzelligen Organismus vor sich gehen, die Zusammensetzung des kolloiden Materials, aus dem der Körper aufgebaut ist, entweder im ganzen verändern, oder daß sie nur einen kleineren Teil angreifen. In dem ersten Falle würde sich eine Wasserabsorption oder -sekretion des gesamten Organismus ergeben, im zweiten nur eine lokalisierte, auf die beteiligten Partien beschränkte. Unter den zuletztgenannten Bedingungen gibt es noch eine andere Möglichkeit: in einem Teile können nämlich chemische Veränderungen vor sich gehen, die zu einer Wasserabsorption führen, während chemische Veränderungen in einem anderen Teile eine Wassersekretion mit sich bringen. Ich habe versucht zu zeigen, wie im Körper die Bedingungen so arrangiert sind, daß im Gastrointestinaltrakt nahezu konstant die Absorption, zugleich aber in den Nieren die Sekretion des Wassers begünstigt wird.

Die folgende Arbeit bildet eine Fortsetzung der Untersuchungen über die Absorption und Sekretion bei höheren Tieren und behandelt hauptsächlich das Problem der Absorption aus der Peritonealhöhle. Sie stellen einen Versuch dar, das Problem auch in dem Lichte unserer Vorstellungen der Wasserabsorption durch die Kolloide zu deuten. Die Schlußfolgerungen sind zum Teil auf meine eigenen Experimente gegründet, zum Teil aber auf die der zahlreichen Forscher, die auf diesem Gebiete gearbeitet, ihre Befunde jedoch noch anders ausgelegt haben.

¹⁾ M. H. Fischer, Das Oedem. Deutsch von K. Schorr u. Wo. Ostwald (Dresden 1910), 192.

Angesichts der vortrefflichen Darstellungen der Absorptionsvorgänge aus den letzten Jahren [R. Heidenhain¹⁾, E. Waymouth Reid²⁾, E. H. Starling³⁾, H. J. Hamburger⁴⁾, E. Overton⁵⁾, O. Cohnheim⁶⁾, R. Höber⁷⁾] ist es wohl unnötig, den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse über die Absorption detailliert auseinander zu setzen. Worin diese Absorption besteht, wird durch diese Autoren meisterhaft dargestellt; als wirksame Kräfte jedoch sind, je nachdem, an welchen Autor wir uns halten, verschiedene angeführt: so Aenderungen des hydrostatischen Druckes und der Filtration; oder Diffusion und osmotischer Druck; Imbibition und schließlich, wenn diese physikalischen Kräfte unzulänglich erscheinen, wird zu den „spezifischen“ Kräften der lebenden Materie Zuflucht genommen.

Wie wenig befriedigend diese Erklärungen sind, geht deutlich genug aus der Divergenz der wissenschaftlichen Anschauungen und aus der gegenseitigen Kritik in den einzelnen Schriften dieser Autoren hervor, und dies, obwohl die experimentellen Grundlagen, auf denen sie ihre Meinungen aufbauen, sehr wohl übereinstimmen.

Meine eigenen Experimente, auf die ich mich unten beziehe, waren sehr einfach angelegt und hatten den Zweck, die vielen großen Fehler auszuschließen, die sich in diese Absorptionsexperimente einschleichen, sobald Anästhetika verwendet und große Operationen gemacht werden. Würde nicht die Anwendung solcher Versuchsbedingungen die Resultate beeinflussen, so hätte man sich mit der Auslegung der schon von anderen Autoren gefundenen Tatsachen begnügen können. Auf welche Weise diese Prozeduren auf die Absorption einwirkten, darauf wird an den betreffenden Stellen selbst hingewiesen werden.

¹⁾ R. Heidenhain, Herrmann's Handbuch der Physiologie 5 (Leipzig 1883); Pflüger's Arch. 56, 579 (1894).

²⁾ E. Waymouth Reid, Schäfer's Text book of Physiology 1, 261 (London und Edinburgh 1898); Phil. Trans. Royal Soc. 192, 231 (1900); Journ. of Physiol. 26, 436 (1901).

³⁾ E. H. Starling, Schäfer's Text book of Physiol. 1, 285; Oppenheimer's Handbuch der Biochemie 3, 206 (Jena 1909).

⁴⁾ H. J. Hamburger, Osmotischer Druck und Ionenlehre 2, 93 (Wiesbaden 1904).

⁵⁾ E. Overton, Nagel's Handbuch der Physiol. 2, 774 (Braunschweig 1907).

⁶⁾ O. Cohnheim, Nagel's Handbuch der Physiol. 2, 607.

⁷⁾ R. Höber, Koranyi-Richter, Physikalische Chemie und Medizin 1, 295 (Leipzig 1907).

Ich verwendete gesunde Meerschweinchen, die die gewöhnliche Nahrung, Heu und Hafer, erhielten und zum Trinken Wasser ad libitum. Um einen Vergleich der Tiere untereinander zu ermöglichen, wurden die zu einer Versuchsreihe verwendeten immer aus dem gleichen Käfig genommen und genau gleich behandelt. Anästhetika wurden nicht gegeben, da sich herausstellte, daß sie nicht nötig waren. Die verschiedenen Lösungen und das Wasser wurden mittels einer Nadel in das Peritoneum injiziert, nachdem sie auf 38 Grad erhitzt worden waren. Die Tiere wurden nur während der wenigen Augenblicke festgehalten, während die Injektion ausgeführt wurde; nachher konnten sie in ihren Käfigen herumlaufen. Nach Ablauf einer bestimmten Zeit wurden die Tiere durch einen Schlag auf den Kopf getötet, sofort geöffnet und die nicht absorbierte Flüssigkeit, die noch in der Peritonealhöhle war, mittels einer Pumpe in kleine Fläschchen gebracht; dann wurde die Menge der so gewonnenen Flüssigkeit gemessen.

Es soll noch bemerkt werden, daß im folgenden zuerst die Wasserabsorption aus der Bauchhöhle behandelt wird. A priori wird ja wohl niemand daran denken, *die Absorption irgendeiner Lösung als einen einheitlichen Prozeß anzusehen, doch geschieht das in der Praxis immer wieder. Die Absorption einer Lösung stellt einen zusammengesetzten Vorgang dar, der aus der Absorption des Lösungsmittels und aus der der verschiedenen darin gelösten Substanzen besteht.* Die Absorption des Lösungsmittels und die der gelösten Substanz mögen einander beeinflussen (s. unten), aber dadurch werden beide weder identisch, noch die Absorption einer Lösung ein einheitlicher Prozeß. Ausgezeichnete Experimentatoren sind sogar so weit gegangen, die Verteilung einer gelösten Substanz (z. B. eines Farbstoffes) in einem Gewebe als Beweis dafür anzusehen, daß das Lösungsmittel, in dem die Substanz ursprünglich gelöst war, in dem Gewebe gleichfalls vorhanden war oder zumindest den gleichen Weg gegangen ist. Das ist aber ein arger Mißgriff.

II.

1. Ist irgendeine Flüssigkeit in die Peritonealhöhle injiziert worden und es zeigt sich nach einiger Zeit, daß sie absorbiert worden ist, so wissen wir aus rein anatomischen Betrachtungen, daß sie in die Lymph- und Blutgefäße eingetreten sein muß, nachdem sie die Zellen und die interzellulären Substanzen passiert hat, die Blut und Lymphe ursprünglich von der injizierten Flüssigkeit getrennt hatten. Vom physikalisch-chemischen Gesichtspunkte aus wäre das sich daraus er-

gebende Problem so zu stellen: Auf welche Weise geht die Absorption einer Lösung (der wir eine beliebige Zusammensetzung geben können) durch zwei zirkulierende kolloide Flüssigkeiten (die wir der Kürze halber als Sole bezeichnen wollen) vor sich, wenn diese Flüssigkeiten von der Lösung durch eine feste kolloide Membran (ein Gel) getrennt sind? Für die ferneren Auseinandersetzungen ist es von Wichtigkeit, daß wir uns zuerst klar machen, welche von diesen beiden kolloiden Flüssigkeiten bei dieser Absorption die Hauptrolle spielt. Insofern die Peritonealhöhle gewöhnlich als ein ungeheurer Lymphraum betrachtet wird, könnte man von vornherein geneigt sein, anzunehmen, daß durch die Absorption aus der Bauchhöhle vor allem die lymphatische Zirkulation betroffen wird; und doch spielt diese nur eine untergeordnete Rolle und die Blutzirkulation ist die wichtigere, wie nicht allein aus den Untersuchungen von E. H. Starling und A. H. Tubby¹⁾ hervorgeht, daß nämlich Farbstoffe, die in die Peritonealhöhle injiziert wurden, im Harn früher erscheinen, als die Lymphe im ductus thoracicus irgendeine Färbung zeigt; es läßt sich dies vielmehr auch aus den Befunden von W. N. Orlow²⁾ schließen, der nach intraperitonealer Injektion von Salzlösungen keine vermehrte Lymphbildung wahrnehmen konnte, und auch aus den Untersuchungen von H. J. Hamburger³⁾, der fand, daß die Absorption durch das Peritoneum durch eine Ligatur des ductus thoracicus nicht geschwächt wurde.

Nachdem wir nun festgestellt haben, daß die peritoneale Absorption hauptsächlich durch das Blut zustande kommt, bleibt uns noch zu erklären übrig, warum dies der Fall ist. Es ist einleuchtend, daß das Phänomen von der Quantität und der Qualität der wirksamen Faktoren abhängig ist; bei den höheren Tieren steht die Lymphzirkulation quantitativ weit hinter der Blutzirkulation zurück; unter sonst gleichen Umständen würde also das Blut um so viel mehr absorbieren als die Lymphe, als durch ein und denselben Körperteil in

¹⁾ E. H. Starling und A. H. Tubby, *Journ. of Physiol.* 14, 140 (1894); 18, 106 (1896); E. H. Starling, *Schäfer's Text book of Physiol.* 1, 304 (Edinburgh und London 1898).

²⁾ W. N. Orlow, *Pflüger's Arch.* 59, 170 (1895).

³⁾ H. J. Hamburger, *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 281 (1895).

⁴⁾ Nahezu ein Fünftel des Blutes besteht aus Proteinstoffen, das Blutplasma allein entspricht einer 9prozentigen Eiweißlösung. [C. Schmidt, *Vierordt's Daten und Tabellen* 97 (Jena 1888).] Die Lymphe enthält zu 3,4 bis 4,1 Proz. Eiweiß. [J. Munk und Rosenstein, *Arch. f. Physiol.* 376 (1890).]

der gleichen Zeit mehr Blut als Lymphe hindurchfließt. Jedoch spielen meiner Meinung nach auch die chemischen Unterschiede zwischen diesen beiden eine große Rolle. Der Gesamtgehalt an Kolloiden ist im Blute höher, als in der Lymphe⁴⁾; außerdem erleidet das Blut schnelle, zeitweilige Aenderungen in seiner chemischen Zusammensetzung, denen die Lymphe nicht unterliegt. Die wichtigsten von diesen sind die quantitativen Variationen im Gehalt an Sauerstoff und besonders an Kohlensäure, wie sie durch die Atmung hervorgerufen werden; ferner die Aenderungen, die durch Diffusion von Umwandlungsprodukten in das Blut oder aus dem Blut bewirkt werden; jene ändern ferner, die beim Passieren des Blutes durch die Nieren, durch die aktiven Muskeln oder durch die Leber usw. entstehen. In der Lymphe vollziehen sich zwar beim Durchströmen der verschiedenen Organe ähnliche Veränderungen; die rapiden Variationen jedoch, die wir beim Blute fanden, fehlen hier aus leicht erklärlichen Gründen. Die starken und schnellen Aenderungen, die im Blute vor sich gehen, sowie auch die schnellere Zirkulation lösen gleichzeitig stärkere und schnellere Veränderungen in der Umgebung der verschiedenen Gewebszellen aus, um die das Blut zirkuliert. Infolge dieser Veränderungen in ihrer Umgebung können diese Zellen dann das Endgleichgewicht, nach dem sie tendieren, nie erreichen und so lange dies der Fall ist, müssen sie absorbieren und sezernieren. So erklärt es sich, daß bei der Absorption bei höheren Tieren der Blutzirkulation eine größere Wichtigkeit zukommt, als der Lymphzirkulation.

2. Wir wollen uns nun dem Problem der Wasserabsorption aus der Peritonealhöhle zuwenden. Destilliertes Wasser, das man, auf Körpertemperatur erwärmt, in die Bauchhöhle von Meerschweinchen injiziert, wird, wie die folgende Tabelle zeigt, sehr schnell absorbiert.

Tabelle 1

Meerschweinchen	Gewicht in g	Menge des injizierten Wassers in ccm	Menge der nach einer Stunde noch nicht ab- sorbiert. Flüssigkeit in ccm
a	413	20,8	5,4
b	535	20,8	5,4
c	544	20,8	4,8
d	460	20,8	4,9

Diese Beobachtung ist ja nicht neu. Eine Schwierigkeit ergibt sich erst beim Versuch einer Begründung, warum das Wasser ab-

sorbiert wurde. Entgegen der allgemein angenommenen Ansicht, daß das Wasser unter den gegebenen Bedingungen deshalb absorbiert wird, weil der osmotische Druck in den das Peritoneum begrenzenden Zellen höher ist, als der des destillierten Wassers, lassen sich ernsthafte Einwände erheben; wir wissen nämlich, daß das Peritoneum dieses Wasser nicht behält, sondern es (größtenteils) an das Blut weiter gibt. Nach den Gesetzen der Osmose könnte diese Sekretion in das Blut nur dann stattfinden, wenn das Blut eine höhere osmotische Konzentration hätte, als der Zellinhalt; tatsächlich aber wissen wir, daß Körperzellen, Lymphe und Blut stets die gleiche osmotische Konzentration haben. Ein viel gewichtigerer Einwand, daß man bei dieser osmotischen Erklärung der Wasserabsorption die wichtige Rolle, die den interzellularen Substanzen hierbei zukommt, vollkommen vernachlässigt, soll hier nicht diskutiert werden. Auch die Annahme dürfte sich kaum aufrecht erhalten lassen, daß bei einer Wasserinjektion in die Bauchhöhle die Zellen des Bauchfelles deshalb Wasser aufnehmen, weil der hydrostatische Druck direkt durch die Injektion oder auch begünstigt durch die Kontraktion der Abdominalmuskeln erhöht wird. Vor allem wird nämlich durch die Injektion selbst der intraabdominale Druck nicht merklich erhöht, ferner tritt die Absorption auch dann ein, wenn das Abdomen offen und auch wenn das Tier tot ist (s. unten).

Als Kolloidphänomen läßt sich die Wasserabsorption aus der Bauchhöhle ohne Schwierigkeit interpretieren: Damit eine Absorption von Wasser zustande komme, muß bloß vorausgesetzt werden, daß die Emulsionskolloide des Peritoneums mit Wasser ungesättigt sind. Wenn wir aber bedenken, daß, kaum daß einige Kubikzentimeter Wasser aus der Bauchhöhle absorbiert worden sind, immer wieder neue aufgenommen werden, und zwar, wie wir wohl annehmen können, immerfort weiter, dann ergibt sich der Schluß, daß unter normalen Umständen diese das Bauchfell zusammensetzenden Gewebe niemals mit Wasser gesättigt sind.

Wir haben jetzt nur noch zu untersuchen, welche Bedingungen es sind, die gemeinsam dahin wirken, daß die Kolloide dieser Gewebe bei dem lebenden Tier niemals mit Wasser gesättigt sind. Vor allem beruht dies wohl auf der ununterbrochenen Säureproduktion (Kohlensäure) in den das Bauchfell zusammensetzenden Geweben; infolge der Säureproduktion wird die Affinität dieser Gewebe für das Wasser erhöht, und sie nehmen dieses aus jeder erreichbaren Quelle auf. Ist daher in der Bauchhöhle Wasser vorhanden, so werden sie dieses

aufnehmen. Das würde aber nur zu einer Quellung der peritonealen Gewebe (damit sind die Zellen plus der intrazellulären Substanz gemeint) führen, und dabei wäre bald eine obere Grenze erreicht, so daß die kontinuierliche Absorption, wie wir sie tatsächlich finden, nicht möglich wäre.. Um diese zu erklären, müssen wir eine zweite Variable einführen, und diese ist in der Zirkulation des Blutes und der Lymphe gegeben. Beide führen die in den Zellen gebildete Kohlensäure immer wieder fort; dadurch wird aber auch die Affinität der Kolloide des Peritoneums für Wasser vermindert, und infolgedessen geben sie dieses wieder ab. *Solange also die Zirkulation normal bleibt, solange muß die Absorption aus der Bauchhöhle kontinuierlich bleiben, denn während die Gewebe der Bauchhöhle auf der einen Seite lebhaft Wasser absorbieren, geben sie es auf der andern Seite ebenso lebhaft mit der Kohlensäure an das Blut wieder ab.* Was im Blut mit diesem Wasser geschieht, zu erklären, liegt außerhalb des Bereichs dieser Arbeit; aber es ließe sich vielleicht annehmen, daß das Wasser im Blut gleichfalls an die Kolloide gebunden wird. Beim Eintritt des kohlensäurearmen arteriellen Blutes (das, wie wir sagten, eine wasser-ungesättigte Kolloidlösung darstellt) in die Kapillaren diffundiert die Kohlensäure, die in den Zellen gebildet wurde, in das Blut; dadurch wird die Affinität der Blutkolloide für Wasser erhöht, sie befinden sich in ungesättigtem Zustand und absorbieren Wasser aus jeder ihnen zugänglichen Quelle. Dies könnte ja Wasser direkt sein, im lebenden Körper jedoch bedeutet es, daß das Blut jedem Gewebe, das es gerade passiert, Wasser entzieht, sobald dieses Gewebe das Wasser mit geringerer Avidität festhält, als die Blutkolloide. In unserem Falle hier absorbiert das Blut das Wasser aus den Geweben, die das Peritoneum zusammensetzen; das Peritoneum kommt dadurch in einen wasser-ungesättigten Zustand, ist nun fähig, wiederum Wasser aus der Bauchhöhle aufzunehmen, wenn dort welches vorhanden ist. — Das jetzt venös gewordene Blut mit seinem höheren Wassergehalt gelangt in die Lungen, wo die Kohlensäure entweicht; dann werden aber die Blutkolloide nicht mehr imstande sein, das früher absorbierte Wasser festzuhalten, und dieses wird im Blute frei. Dieses „freie“ Wasser ist es, das die Nieren unter normalen Umständen aus dem Blute aufnehmen, und durch einen Prozeß, der dem als peritoneale Absorption beschriebenen invers ist, als Harn sezernieren¹⁾.

¹⁾ Vgl. das Kapitel über Harnsekretion in M. H. Fischer, Das Oedem. Deutsch von K. Schorr und Wo. Ostwald (Dresden 1910), 186.

3. Die Annahme, daß nur das „freie“ Wasser durch die Nieren sezerniert werden kann, läßt sich auf mancherlei Weise stützen: Jede Methode, durch die es gelingt, freies Wasser im Blut zu erhalten, ruft eine entsprechende Vermehrung der Harnabsonderung hervor; wird das Wasser in „gebundenem“ Zustande eingeführt, d. h. zum Beispiel in Verbindung mit einem Kolloid, dann findet keine Sekretion statt. Da nun die Absorption ein Spiegelbild der Sekretion darstellt, müßte es möglich sein, ähnliche Befunde auch bei der Absorption zu erreichen und so gleichzeitig einen experimentellen Beweis für die oben erwähnte Auffassung der peritonealen Absorption zu bringen. Wenn nur „freies“ Wasser sezerniert werden kann, dann muß ja das freie Wasser auch am leichtesten absorbierbar sein, und da kolloide Lösungen durch die Nieren nicht sezerniert werden können, so dürften kolloide Lösungen aus der Bauchhöhle nur dann absorbiert werden, wenn sie vorher Zustandsänderungen durchgemacht haben, durch die das in ihnen enthaltene Wasser frei wurde. Daß dem so ist, geht aus dem folgenden Versuch hervor.

Tabelle 2

Meerschweinchen	Gewicht in g	Menge und Art der injizierten Lösung	Menge der nach einer Stunde noch nicht absorbiert. Flüssigkeit in ccm
a	535	20,8 ccm Wasser	5,4
b	537	20,8 „ Eiereiweiß (nativ) .	18,4
c	555	31,2 „ Wasser	7,6
d	563	31,2 „ Eiereiweiß (nativ) .	27,7

4. Ein weiterer Beweis für die Erklärung der Wasserabsorption auf kolloidchemischer Grundlage läßt sich erbringen, wenn man feststellen kann, welche Veränderungen in der Absorption vor sich gehen, wenn man dem zu absorbierenden Wasser verschiedene Elektrolyte zusetzt. Es ist festgestellt worden, daß die durch eine Säure gesteigerte Absorption von Wasser durch solche Emulsionskolloide wie Fibrin¹⁾, Gelatine²⁾ oder Serumproteine³⁾ merklich herabgesetzt wird, wenn

¹⁾ M. H. Fischer und Gertrude Moore, Amer. Journ. of Physiol. 20, 333 (1907); Koll.-Zeitschr. 5, 197 (1909); Fischer, Pflüger's Arch. 125, 105 (1908).

²⁾ M. H. Fischer, Das Oedem. Deutsch von K. Schorr u. Wo. Ostwald (Dresden 1910), 36.

³⁾ Wo. Pauli und H. Handovsky, Biochem. Zeitschr. 18, 353 (1909); 24, 239 (1910).

man einen Elektrolyten hinzufügt, und das um so mehr, je höher die Konzentration dieses Elektrolyten ist. Dieselbe Erscheinung läßt sich auch bei der Absorption von Wasser aus der Bauchhöhle feststellen, wie aus Tabelle 3 deutlich hervorgeht.

Tabelle 3

Meer-schwein-chen	Gewicht in g	Menge und Art der injizierten Lösung	Menge der nach einer Stunde noch nicht absorbiert. Flüssigkeit in ccm
a	417	20,8 ccm Wasser (Kontrollvers.)	5,4
b	397	20,8 „ $\frac{1}{12}$ n NaCl	11,8
c	419	20,8 „ $\frac{1}{6}$ n NaCl	13,0
d	488	20,8 „ $\frac{1}{6}$ n NaCl	14,6
e	445	20,8 „ $\frac{1}{4}$ n NaCl	19,9

Die theoretische Deutung dieser Befunde ist ungefähr folgende:

Wird an Stelle des reinen Wassers eine Kochsalzlösung intraperitoneal eingeführt, so können wir annehmen, daß das Wasser dieser Lösung in die Zellen zu diffundieren trachtet, gerade so, als ob kein Salz vorhanden wäre. Gleichzeitig mit dem Wasser diffundiert auch das Salz in das Peritoneum; warum das geschieht, wird unten erörtert. Durch die Gegenwart dieses Salzes in den Kolloiden der peritonealen Gewebe werden diese die Tendenz haben, Wasser abzugeben; die Salze werden daher der Wirkung der Kohlensäure in den Zellen entgegenarbeiten. Der normale Verlauf des Vorgangs, nämlich die Tendenz einer Wasserbewegung von der peritonealen Seite der absorbierenden Peritonealmembran zur vaskulären Seite wird jetzt durch einen entgegengesetzten Vorgang gehemmt werden. Die normale Wasserströmung, nach der eine Absorption aus der Bauchhöhle stattfinden müßte, begegnet also einem Gegenstrom, der eine Sekretion aus diesen Geweben hervorzubringen trachtet. Das Endresultat wird, soweit es die Absorption betrifft, dann wohl durch die algebraische Summe dieser beiden Faktoren dargestellt werden. Ist dieser zweite Strom kein starker, dann wird nur eine geringe Reduktion in der Schnelligkeit der Wasserabsorption stattfinden; dies trifft bei verdünnten Salzlösungen zu. Bei zunehmender Konzentration des Salzes muß jedoch die Wirkung des Gegenstromes immer deutlicher werden, so daß z. B. bei dem letzten in Tabelle 3 angeführten Versuch (e) innerhalb der Dauer des Experiments praktisch keine Wasserabsorption stattfand.

Tabelle 4

Meer-schwein-chen	Gewicht in g	Menge und Art der injizierten Lösung	Menge der nach einer Stunde noch nicht absorbiert. Flüssigkeit in ccm
a	643	20,8 ccm $\frac{1}{8}$ n Natriumchlorid	7,0
b	594	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Natriumazetat	10,0
c	551	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Natriumnitrat	12,6
d	405	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Natriumsulfat	20,0
e	596	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Natriumzitat	23,4
f	492	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Natriumbi-phosphat	25,6

Tabelle 5

Meer-schwein-chen	Gewicht in g	Menge und Art der injizierten Lösung	Menge der nach einer Stunde noch nicht absorbiert. Flüssigkeit in ccm
a	343	20,8 ccm $\frac{1}{8}$ n Kaliumjodid	3,4
b	335	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Kaliumbromid	8,8
c	322	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Kaliumchlorid	11,0
d	290	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Kalium-sulfozyanat	13,4
e	355	20,8 ccm $\frac{1}{8}$ n Kaliumnitrat	13,4
f	354	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Kaliumazetat	16,8
g	363	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Kaliumtartrat. (starb 40 Min. nach d. Injektion)	18,9
h	386	20,8 ccm $\frac{1}{8}$ n Kaliumzitat. (starb 40 Min. nach d. Injektion)	20,5

Tabelle 6

Meer-schwein-chen	Gewicht in g	Menge und Art der injizierten Lösung	Menge der nach einer Stunde noch nicht absorbiert. Flüssigkeit in ccm
a	452	20,8 ccm $\frac{1}{8}$ n Kaliumchlorid	12,8
b	396	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Ammonium-chlorid	13,8
c	484	20,8 ccm $\frac{1}{8}$ n Magnesium-chlorid	19,4
d	476	20,8 ccm $\frac{1}{8}$ n Kalziumchlorid	24,2
e	502	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n Strontium-chlorid	24,4

5. In äquimolekularen Lösungen beeinträchtigen die verschiedenen Salze die durch Säuerung der Kolloide hervorgerufene vermehrte Wasserabsorption in sehr ungleichem Grade. Ebenso und in gleicher Reihenfolge beeinflussen sie auch die Absorption von Wasser durch das Peritoneum.

Wie aus den Tabellen 4, 5 und 6 sehr klar hervorgeht, retardiert jedes der verwendeten Salze die Wasseraufnahme aus der Bauchhöhle sehr merklich. Das steht vollkommen im Einklang mit der Tatsache, daß die Gegenwart eines jeden Salzes die durch eine Säuerung gesteigerte Wasserabsorption eines Emulsionskolloides, wie z. B. Fibrin, Serumalbumin oder Gelatine, verhindert. Es besteht aber noch ein viel genauerer Parallelismus zwischen diesen beiden Phänomenen. Aus Tabelle 4 z. B., wo die Wirkungen äquimolekularer Lösungen verschiedener Na-Salze verglichen werden, können wir ersehen, daß die die Absorption verhindernde Wirkung des Sulfats, Zitrats und Phosphats bei weitem die des Chlorids, Azetats oder Nitrats übersteigt. In Tabelle 5, wo die Effekte einiger K-Salze zusammengestellt sind, ist die Reihenfolge der Anionen gleichfalls dieselbe, wie man sie bei den reinen Kolloiden beobachtet. Aus Tabelle 6 ergibt sich dieselbe Tatsache für eine Reihe verschiedener Kationen. Es ist wirklich überraschend, daß die Resultate unserer Tierversuche mit den Wirkungen auf reine Kolloide nahezu identisch sind, besonders wenn man bedenkt, daß sich in Experimenten wie den vorliegenden sehr bedeutende Versuchsfehler nicht vermeiden lassen, die sich daraus ergeben, daß in jeder dieser Versuchsreihen verschiedene Tiere verwendet werden mußten; daß wir nicht kontrollieren können, wieviel Wasser die Tiere konsumiert haben, gerade bevor sie in Verwendung genommen wurden, daß wir den spezifischen chemischen Wirkungen, die durch die verschiedenen Salze ausgeübt werden, nicht ausweichen können usw. Trotzdem sind die experimentellen Resultate mit den Befunden an reinen Kolloiden nahezu identisch. Es ist meiner Meinung nach bezeichnend dafür, wie überwiegend die Rolle der Kolloide bei diesen Absorptionsvorgängen ist.

6. Im Vergleich zu der Wirkungsweise von Elektrolyten ist die verschiedener Nichtelektrolyte auf die Absorption von Wasser durch in Säuren gequollene Kolloide nur eine recht geringfügige. Die folgende Tabelle gibt die Resultate, die erhalten wurden, wenn Lösungen verschiedener Nichtelektrolyte in Konzentrationen, die denen der verschiedenen Salze osmotisch äquivalent waren, intraperitoneal injiziert wurden.

Tabelle 7

Meer- schwein- chen	Gewicht in g	Menge und Art der injizierten Lösung	Menge der nach einer Stunde noch nicht ab- sorbiert. Flüssigkeit in ccm
a	425	20,8 ccm $\frac{1}{4}$ n Aethylalkohol	5,8
b	434	20,8 „ $\frac{1}{4}$ n Methylalkohol	2,1
c	464	20,8 „ Wasser (Kon- trollversuch)	5,6
d	583	20,8 ccm $\frac{1}{4}$ n Harnstoff . . .	11,7
e	569	20,8 „ $\frac{1}{4}$ n Glyzerin . . .	18,2
f	687	20,8 „ $\frac{1}{4}$ n Glyzerin . . .	17,4
g	521	20,8 „ $\frac{1}{4}$ n Rohrzucker . .	25,7
h	725	20,8 „ $\frac{1}{4}$ n Rohrzucker . .	27,0
i	522	20,8 „ $\frac{1}{4}$ n Dextrose . . .	26,3
j	710	20,8 „ $\frac{1}{4}$ n Dextrose . . .	29,3

Aus dieser Tabelle geht deutlich hervor, daß Aethyl- und Methylalkohol die Absorption von Wasser aus der Peritonealhöhle nicht verzögern. Andererseits wird durch Harnstoff, Glyzerin und die beiden verwendeten Zucker eine sehr entschiedene Verminderung des aufgenommenen Wassers hervorgerufen; die Zucker veranlassen sogar eine Flüssigkeitssekretion in die Bauchhöhle, ebenso wie wir es für einige einwertige und zweiwertige Anionen und Kationen fanden (Tabelle 4 und 6). Die Wirkung von Aethyl- und Methylalkohol stimmt mit den Befunden an reinen Kolloiden überein. Bei Glyzerin und den Zuckern ist die Wirkung auf das Peritoneum viel stärker, als man es nach der Beeinflussung von Fibrin oder Gelatine durch diese Körper erwarten würde. Eine vollkommen befriedigende Erklärung hierfür läßt sich vorderhand nicht geben; außer der geringen direkten Wirkung, die diese Substanzen auf die Absorption von Wasser durch Emulsionskolloide haben, scheinen sie auch eine chemische Wirkung im Körper auszuüben: die Zucker und Glyzerin rufen eine leichte Reizung des Bauchfells hervor, die an der Rötung und dem leicht gerunzelten Aussehen zu erkennen ist, was man bei Anwendung anderer Lösungen niemals bemerkt.

7. Alkalien und Säuren, die intraperitoneal injiziert werden, wirken auf die Wasserabsorption aus der Bauchhöhle verzögernd, wie in Tabelle 8 gezeigt wird.

Tabelle 8

Meer- schwein- chen	Gewicht in g	Menge und Art der injizierten Lösung	Menge der nach einer Stunde noch nicht ab- sorbiert. Flüssigkeit in ccm
a	544	20,8 ccm Wasser (Kontrollversuch)	4,7
b	545	20,8 ccm 0,01 n NaOH . . .	6,2
c	543	20,8 „ 0,02 n NaOH . . .	11,0
d	568	20,8 „ 0,04 n NaOH . . .	10,6
e	460	20,8 „ Wasser (Kontrollversuch)	4,8
f	460	20,8 ccm 0,01 n HCl	7,4
g	447	20,8 „ 0,02 n HCl	12,4
h	450	20,8 „ 0,03 n HCl	12,0

Wie gerade diese Resultate aus den Gesetzmäßigkeiten der Kolloidchemie zu erklären sind, bleibt vorderhand etwas zweifelhaft. Nach den verwendeten wirksamen Konzentrationen und dem Aussehen der Tiere nach dem Tode schien es mir, daß Laugen und Säuren eine außerordentliche Quellung der peritonealen Gewebe hervorrufen; diese müßte die Absorption verhindern und zwar nicht nur dadurch, daß die Lumina der kapillaren Gefäße, die das Peritoneum versorgen, geschlossen werden, sodaß die absolute Menge Blutes herabgesetzt wird, die das Gewebe durchströmt, sondern auch dadurch, daß die Avidität der peritonealen Gewebe für Wasser so sehr wächst, daß das Blut, das sie passiert, nicht imstande ist, ihnen so leicht wie sonst das Wasser zu entziehen.

8. Die nun folgende Tabelle 9 zeigt, wie Wasser und verschiedene Salzlösungen aus der Peritonealhöhle toter Tiere absorbiert werden. Die Meerschweinchen wurden durch einen Schlag auf den Kopf getötet und dann die Injektion in der schon oben für die lebenden Tiere beschriebenen Weise vorgenommen. Nachdem die Flüssigkeiten injiziert waren, wurden die Tiere einigemal gewendet, damit die Flüssigkeiten sich in der Bauchhöhle besser verteilen konnten, dann wurden sie eine halbe Stunde lang auf den Bauch und eine weitere halbe Stunde lang auf den Rücken gelegt.

Aus der Tabelle geht hervor, daß Wasser aus der Bauchhöhle toter Tiere rasch absorbiert wird. Wie können wir das erklären? Die Deutung, die wir da geben können, ist nicht wesentlich verschieden von der für die lebenden Tiere. Es ist wiederum eine

Tabelle 9
Absorptionsversuche an toten Meerschweinchen.

Meerschweinchen	Zeit nach dem Tode in Stunden	Gewicht in g	Menge und Art der injizierten Lösung	Menge der nach 1 Std. noch nicht absorbierten Flüssigkeit ccm	Menge d. 1 Std. nach einer zweiten Einführung v. 20,8 ccm Wasser noch nicht absorb. Flüssigkeit ccm
a	gerade gestorben	331	20,8 ccm Wasser	7,6	
b	gerade gestorben	396	20,8 „ Wasser	9,0	
c	1,00	333	20,8 „ Wasser	9,4	15,3
d	2,30	351	20,8 „ Wasser	9,3	15,0
e	7,30	395	20,8 „ Wasser	8,0	
f	24,00	375	20,8 „ Wasser	12,5	
g	48,00	353	20,8 „ Wasser	17,0	
h	0,15	267	20,8 „ $\frac{1}{8}$ n NaCl	13,2	
i	0,15	295	20,8 ccm $\frac{1}{8}$ n Na_2SO_4	10,6	
j	0,15	299	20,8 ccm $\frac{1}{8}$ n Natriumzitat	11,4 ¹⁾	

Säureproduktion in den Geweben die Ursache dafür, daß die Affinität der Gewebeskolloide für Wasser wächst; während wir diese Säuerung jedoch beim lebenden Tier der Kohlensäure zugeschrieben haben, wird sie beim toten Tier nicht allein durch diese, sondern auch durch Milchsäure und andere postmortal entstehende Säuren hervorgerufen. Je länger ein Tier tot ist, um so höher, können wir annehmen, wird die Konzentration der Säuren in den verschiedenen Geweben sein; wir werden daher erwarten, daß fortschreitend um so mehr Wasser absorbiert wird, je länger ein Tier tot ist. Ein derartiger Parallelismus kann allerdings nur innerhalb gewisser Grenzen gelten, denn wir wissen ja, daß bei reinen Kolloiden bei zunehmender Säuerung die Wasserabsorption nur bis zu einem gewissen Punkte steigt und dann wieder vermindert wird. Dasselbe ist auch aus unserer Tabelle zu ersehen, wo die Tiere (f) und (g) eine entschieden geringere Wasserabsorption zeigen, als andere Tiere, die weniger lange tot waren.

Aus den Resultaten mit den Tieren h, i und j geht deutlich genug hervor, daß verschiedene Salze die Wasserabsorption aus der Bauchhöhle ebenso hemmen, wie bei lebenden und zwar wie wir wohl annehmen können, aus demselben Grunde.

¹⁾ Ein Teil der Peritonealflüssigkeit war verloren gegangen.

III.

1. In den vorhergehenden Paragraphen wurde gezeigt, daß dieselben Bedingungen, die die Absorption von Wasser durch ein Emulsionskolloid verzögern, in nahezu gleicher Weise bei der Verzögerung der Absorption aus der Bauchhöhle wirksam sind. Dies beweist mir, daß diese beiden Prozesse im wesentlichen gleichartig sind. Das nächste nun, was wir jetzt tun müssen, ist das Phänomen der peritonealen Absorptionen mit den übrigen Absorptionen, wie man sie in anderen Regionen des Körpers von Säugern beobachtet, zu vergleichen, um zu sehen, ob sich nicht die hier gegebenen Erklärungen auch wenigstens auf einige andere Absorptionsphänomene anwenden lassen. Von hauptsächlichem Interesse dürfte wegen der physiologischen Bedeutung in diesem Zusammenhange die Absorption aus dem Intestinaltrakt sein.

Jedem, der mit dem reichen Versuchsmaterial vertraut ist, das C. Voit und Bauer¹⁾, R. Heidenhein²⁾, F. Hofmeister³⁾, H. J. Hamburger⁴⁾, R. Höber⁵⁾, G. B. Wallace und A. R. Cushny⁶⁾, O. Cohnheim⁷⁾, E. W. Reid⁸⁾, und G. Kövesi⁹⁾ über die Absorption der Nahrungsmittel geliefert haben, werden die folgenden Tatsachen wohlbekannt sein. Wasser, das man in ein Darmsegment einführt, wird rasch absorbiert. Alle Salzlösungen werden, was ihr Wasser anlangt, weniger rasch absorbiert, als reines Wasser; dabei spielt die Konzentration des Salzes eine wichtige Rolle: vergleicht man Kochsalzlösungen, verschiedener Konzentration, so findet man, daß sie um so langsamer absorbiert werden, je konzentrierter sie sind; bei Anwendung genügend starker Lösungen kann es vorkommen, daß zuerst Flüssigkeit in den Darm ausgestoßen wird, sodaß die

¹⁾ C. Voit und Bauer, *Zeitschr. f. Biol.* 5, 536 (1896).

²⁾ R. Heidenhein, *Pflüger's Arch.* 56, 579 (1894); 62, 331 (1896).

³⁾ F. Hofmeister, *Arch. f. exp. Path. u. Pharm.* 28, 210 (1891).

⁴⁾ H. J. Hamburger, *Osmotischer Druck und Ionenlehre* 2, 167 (Wiesbaden 1904), wo auch seine früheren Arbeiten besprochen sind.

⁵⁾ R. Höber, *Pflüger's Arch.* von 70 an; einige Arbeiten aus den Jahren 1898 bis jetzt.

⁶⁾ G. B. Wallace und A. R. Cushny, *Amer. Journ. Physiol.* 1, 411 (1898); *Pflüger's Arch.* 77, 202 (1899).

⁷⁾ O. Cohnheim, *Zeitschr. f. Biol.* 36, 129 (1897); 37, 443 (1899).

⁸⁾ E. W. Reid, *Journ. of Physiol.* 21, 85 (1897); 22, 56 (1898); 26, 427 (1901).

⁹⁾ G. Kövesi, *Zentralbl. f. Physiol.* 11, 553 (1897).

Lösung verdünnt wird, später wird sie dann schwach absorbiert. Bei dem Vergleiche äquimolekularer (oder, besser gesagt, osmotisch äquivalenter) Lösungen verschiedener Salze beobachtet man, daß sie in sehr verschiedener Menge absorbiert werden. Die Wirkung, die die Gegenwart eines Salzes in einer Lösung auf die Absorption von Wasser aus dieser Lösung ausübt, läßt sich dahin präzisieren, daß sich bei einer gegebenen Base die Anionen zu folgender Reihenfolge anordnen (wobei diejenigen, die die Wasserabsorption am meisten hemmen, zuerst angeführt werden): Chlorid, Bromid, Iodid, Nitrat, Sulfat, Phosphat. Bei gleicher Säure ist die Reihenfolge der Kationen folgende (R. Höber): Kalium (am meisten hemmend), Natrium, Kalzium, Magnesium, Barium. *Es ist leicht erkennbar, daß die Reihenfolge der verschiedenen Salze der oben für die Absorption aus der Peritonealhöhle angeführten praktisch vollkommen entspricht.* Die Stellung des Azetats, Tartrats und Zitrats, die in den obigen Reihen nicht angegeben sind, läßt sich aus den Versuchen von G. B. Wallace und A. R. Cushny entnehmen, aus denen hervorgeht, daß diese Anionen bei der Wasserabsorption aus dem Darm einen ähnlichen Platz in der Reihe einnehmen, wie bei der Absorption aus der Bauchhöhle.

Bei jedem dieser Salze wird ebenso wie bei gewöhnlichem Kochsalz die verzögernde Wirkung auf die Wasserabsorption mit jeder Steigerung der Konzentration immer größer; schließlich wird ein Punkt erreicht, wo das Wasser aus den Eingeweiden nicht nur nicht absorbiert, sondern wo sogar Wasser in den Darm sezerniert wird. Diese Konzentration ist bei Natriumchlorid, Natriumbromid usw. hoch, dagegen bei Natriumsulfat, -phosphat, -tartrat, -zitat sehr niedrig. Das ist die Hauptursache, warum die letztgenannten Salze als Abführmittel, sogenannte „salinische Abführmittel“ wirken.

Punkt für Punkt stimmt also die Wasserabsorption und Wassersekretion aus der Peritonealhöhle mit der aus dem Darm überein und es soll noch einmal hervorgehoben werden, daß die gleichen Gesetzmäßigkeiten auch für die Wasserabsorption und Wassersekretion durch reine Kolloide, die in die entsprechende Umgebung gebracht werden, gelten.

Die Identität der Absorptionsvorgänge aus dem Peritoneum und aus dem Darm geht sogar noch weiter: Die schnelle Absorption wässriger Lösungen verschiedener Alkohole zeigt, daß diese Nicht-elektrolyte die Absorption des Wassers aus dem Darm nicht beeinflussen, selbst wenn sie in Konzentrationen vorhanden sind, die denen

der so überaus wirksamen Salze osmotisch äquivalent sind; ebenso wenig haben Alkohole eine Wirkung auf die Wasseraufnahme durch das Bauchfell. Zuckerlösungen und Glycerin andererseits verhalten sich im Intestinaltrakt, soweit die Absorption von Wasser aus ihren Lösungen in Betracht kommt, ebenso, wie wenn sie intraperitoneal eingeführt werden: die geringe Aufnahme von Wasser aus solchen Lösungen oder — bei Anwendung von Zuckern oder Glycerin in genügend hohen Konzentrationen — sogar die Sekretion des Wassers in den Darm, geht nicht nur aus den direkten Versuchen, sondern auch aus alltäglichen klinischen Erfahrungen hervor. Ist nicht Zucker, wenn er in genügender Menge aufgenommen wird, imstande, wässrige Stühle zu verursachen (unabhängig von irgend einer vorhergegangenen Fermentation mit Produkten organischer Säuren) und bewirken nicht Glycerinklistiere dieselbe Wassersekretion in den Darm, die bei Anwendung von Klistieren mit salinischen Abführmitteln auftritt? Wir haben weiterhin interessante Parallelen, die zeigen, daß Wasser, das mit einem Emulsionskolloid in Verbindung ist, nicht absorbiert werden kann, wenn es nicht zuerst frei wird: Proteinlösungen, z. B. Eiweiß, werden praktisch vom Intestinaltrakt nicht absorbiert, außer wenn proteolytische Fermente anwesend sind, die durch Einwirkung auf die Proteine deren ausgesprochenen Emulsionscharakter chemisch zerstören und so das Wasser aus ihnen frei machen. Auf diese Weise können wir auch verstehen, warum Zellulose und besonders Agar-Agar Verstopfungen verhindern. Die allgemeinste Ursache der Verstopfung besteht in der zu vollkommenen Absorption des Wassers aus dem Darminhalt; es ist seit jeher Brauch, der Kost solcher Personen Gemüse beizufügen. Außer den Salzen (Zitrate, Tartrate usw.), die auf die oben beschriebene Weise wirken, und den (durch Fermentation) im Darme entstandenen organischen Säuren, die schon allein eine zu starke Wasserabsorption zu verhindern trachten, macht es auch der hohe Zellulosegehalt einer solchen Nahrung, das heißt ihr großer Gehalt an Emulsionskolloiden, der Mukosa unmöglich, das Wasser dem Darminhalte zu entziehen. Die Zellulose wird beim Passieren des Darmtraktes natürlich nicht verändert (wenn man von der ganz geringen Wirkung gewisser Bakterien absieht) und behält so alles Wasser, mit dem sie gesättigt war, ehe sie in Verwendung kam oder mit dem sie sich während des Durchgangs durch den Ernährungstrakt gesättigt hat. Dieselbe Erklärung gilt für die Wirkung von Agar-Agar oder für die Nahrung mit irgend welchem japanischen Seetang, aus dem dieses bereitet wird. Agar-Agar ist ein typisches Emulsions-

kolloid, das also während des Durchgangs durch den Intestinaltrakt chemisch nicht angegriffen wird (L. B. Mendel¹⁾ und T. Saiki²⁾) und so alles Wasser zurückbehält, das es absorbiert hat, ehe es aufgenommen wurde und ebenso während seines Durchgangs durch den Darmtrakt. Auf diese Weise wird die Aufspaltung des Darminhalts und dadurch die Verstopfung verhindert.

Anderwärts³⁾ habe ich darauf hingewiesen, wie die Sekretion aus einem Organ wie den Nieren als Spiegelbild der Absorption z. B. aus dem Darmtrakt gelten kann. Ebenso wie ein hoher Kohlensäuregehalt des Blutes, im venösen Blut, die Wasseraufnahme begünstigt, so wird das arterielle Blut infolge seines niedrigen Kohlensäuregehaltes die Sekretion aus den Nieren befördern; so wenig ferner Wasser, das an Emulsionskolloide gebunden ist, absorbiert werden kann, ebenso wenig kann es sezerniert werden; alle Substanzen, die einer Wasserabsorption aus dem Darm entgegen wirken, begünstigen die Harnsekretion: die salinischen Abführmittel sind gleichzeitig salinische Diuretika usw. Die „selektive“ Absorption gelöster Substanzen aus dem Darm korrespondiert mit einer „selektiven“ Sekretion aus den Nieren. In beiden Fällen handelt es sich darum, ein Gleichgewicht in der Verteilung einer jeden gelösten Substanz, ob sie nun „absorbiert“ oder „sezerniert“ wurde, in den drei Phasen herzustellen, aus denen jedes Absorptions- oder Sekretionssystem aufgebaut ist.

Ich möchte nun zunächst noch darauf hinweisen, daß der Vorgang bei der Bildung von Lymphe dem bei der Harnsekretion vollkommen analog ist, daß beide durch die gleichen Gesetze beherrscht werden. Die „sezernierende Membran“ ist in diesem Falle die Zelle selbst und die Interzellulärsubstanzen, die die Blutgefäße von den Lymphkapillaren trennen⁴⁾. Es ist natürlich klar, daß diese Zellen und ihre Interzellulärsubstanzen die Masse der Körpergewebe ausmachen. Alles, was eine Wasserabgabe dieser Zellen und der zwischen ihnen befindlichen Interzellulärsubstanz veranlaßt, vermehrt auch die Lymphbildung. Wir wollen nun zunächst die Aufmerksamkeit auf die Tatsache lenken, daß eine erhöhte arterielle Zirkulation auch den

¹⁾ L. B. Mendel, Zentralbl. f. d. ges. Physiol. u. Path. des Stoffwechsels 9, 641 (1908).

²⁾ T. Saiki, Journ. of Biol. Chem. 2, 251 (1906).

³⁾ M. H. Fischer, Das Oedem (Dresden 1910), 194.

⁴⁾ Aus neueren histologischen und physiologischen Studien geht hervor, daß die Lymphe ebenso wie das Blut durch ein System geschlossener Röhren zirkuliert; die alte Annahme, daß zwischen den beiden eine direkte Kommunikation (durch Löcher) existiert, ist sicher nicht korrekt.

Lymphstrom verstärkt. Ein klassisches Beispiel dafür ist die Beobachtung, daß der Hals von einem stärkeren Lymphstrom durchflossen wird, wenn die Speicheldrüsen in Tätigkeit, also mit viel arteriellem Blut versorgt sind. Unter diesen Umständen werden nämlich die verschiedenen Gewebe im Hals schneller von Kohlensäure und anderen Säuren befreit, dadurch wird die Affinität ihrer Kolloide für Wasser vermindert und sie geben dieses teils an das Blut, teils an die Lymphe ab. Alle Salzlösungen, die in genügender Konzentration in das Blut injiziert werden, vermehren den Lymphstrom; Natriumchlorid, Natriumbromid usw. müssen, um den Lymphstrom zu vermehren, in osmotisch stärkeren Lösungen injiziert werden, als z. B. Natriumsulfat, Natriumphosphat usw.; es ist klar, daß es sich hier um dieselben Vorgänge handelt, wie bei der experimentellen Diurese. Diese Experimente über die Lymphproduktion lassen sich leicht erklären, wenn wir annehmen, daß die Salze in die Gewebe diffundieren, so daß diese ihr Wasser abgeben, das dann teils in das Blut, teils aber wieder in die Lymphe übergeht. Auf die gleiche Art kann auch die lymphtreibende Wirkung verschiedener Zucker erklärt werden. Physostigmin und Pilocarpin vermehren gleichfalls die Lymphbildung, Atropin und Morphin setzen sie herab. In den gewöhnlichen Dosen bewirken die ersten eine erhöhte Sauerstoffzufuhr zu den Zellen und damit eine schnellere Entfernung der Kohlensäure aus ihnen; die letzteren wirken entgegengesetzt; jenes bedeutet eine Abnahme der Affinität der Gewebeskolloide für Wasser, dieses eine Zunahme, und daraus folgt wieder im ersten Falle eine Wasserabgabe an die Lymphe, während im zweiten Falle kein Wasser vorhanden ist, das für diesen Zweck verwendet werden könnte.

3. In diesem Zusammenhange dürfte es nicht überflüssig sein darauf hinzuweisen, *welche wichtige Rolle der vasomotorische Mechanismus bei dem ganzen Problem der Wasserabsorption und Wassersekretion spielt*; denn aus den Veränderungen in der Weite der einen Körperteil versorgenden Blutgefäße müssen sich natürlich auch quantitative und qualitative Veränderungen im lokalen Stoffwechsel ergeben. Bei einer gegebenen Zusammensetzung des Blutes wird offenbar, wenn die Gefäße weiter sind, mehr Blut durch diesen Körperteil fließen und dadurch werden auch die Möglichkeiten für eine Absorption oder Sekretion von Wasser oder darin gelösten Substanzen erhöht werden. Aber solche quantitative Veränderungen in der Blutmenge beeinflussen gleichzeitig den chemischen und physikalischen Charakter der bespülten Zellen und so kommen zu den schon er-

wählten quantitativen Verschiedenheiten eine Reihe qualitativer Veränderungen im Charakter der Absorption und Sekretion dazu. Diese Tatsache dürfen wir nicht außer acht lassen, wenn wir die mannigfaltigen Erscheinungen analysieren wollen, die die Absorption und Sekretion z. B. bei einem Säugetier charakterisieren. Die Organe, die vorherrschend sekretorische Funktionen haben (Nieren, Speicheldrüsen, Magen, Pankreas) sind alle reichlich mit Arterien versorgt, und wenn diese Drüsen in Aktion treten, dann werden die Arterien erweitert. Die Versorgung mit hoch arterialisiertem Blut, die die Sekretion des Darmsaftes ermöglicht, ebenso wie die Sekretion des Harns, verhindert es auch, daß diese Organe gleichzeitig absorbierend wirken. Vom Magen ist experimentell nachgewiesen, daß er, soweit Wasser in Betracht kommt, in diesem Sinne funktioniert. Andere Substanzen können natürlich vom Magen wieder absorbiert werden, wie z. B. Alkohol, oder in den Magen sezerniert, wie manche Salze, unabhängig von irgendeiner gleichzeitigen Wasserabsorption; wird kein Wasser absorbiert, so bedeutet das natürlich nur, daß die Magenwand und das durch sie fließende arterielle Blut mit Wasser gesättigt sind; die drei Phasen des Systems sind hier, was den Wassergehalt anlangt, im Gleichgewicht. Insofern eine gelöste Substanz nicht derart in den drei Systemen verteilt ist, daß sie sich im Gleichgewicht befindet, muß sie in die Magenwand und in das Blut gelangen (absorbiert werden) oder aus diesen in den Magen kommen (sezerniert werden), bis auch hier ein Gleichgewicht hergestellt ist. Fehlt die reichliche Zufuhr an arteriellem Blute zu einem sezernierenden Organ, dann findet keine Sekretion statt, wie man besonders gut an den Nieren, den Speicheldrüsen usw. sehen kann, wenn die Blutzufuhr zu diesen Organen abgeschnitten wurde, sei es experimentell durch Unterbindung der Arterien, die diese Organe versorgen, oder aber durch Reizung der Vasokonstriktoren. Es kann allerdings auch, wenn sezernierende Zellen reichlich mit arteriellem Blute versorgt sind, die Sekretion ausbleiben, dies aber nur dann, wenn der normale Chemismus der Zellen, die die sezernierende Membran zusammensetzen, vorerst gestört wurde, wie z. B. nach einer Vergiftung mit Atropin, das die Oxydationsprozesse in den Zellen derart beeinflußt, daß diese in einen Zustand von Sauerstoffmangel versetzt werden, obwohl sie von sauerstoffhaltigem Blute durchströmt sind. Unsere Ueberlegungen erleichtern uns auch das Verständnis für die Bedeutung einiger morphologischer Veränderungen, die in den Zellen sezernierender Organe vorkommen, die so gelegen sind, daß sie ab-

wechselnd Perioden der Ruhe und der Tätigkeit durchmachen. Der Prozeß verläuft wohl in den verschiedenen Zellen nicht gleich, im allgemeinen aber läßt sich behaupten, daß die Zellen während der Ruhe größer, während der Tätigkeit kleiner werden. Ich möchte die erste Tatsache einfacher erklären, als dies gewöhnlich geschieht: die Zellen absorbieren einfach Wasser, sie werden ödematös, wenn das arterielle Blut nur spärlich vorhanden ist und sie ihre Kohlensäure nicht leicht los werden können. Sie geben aber Wasser ab, d. h. sie schrumpfen, wenn die Kohlensäure und die anderen Säuren, die in den Zellen bei Sauerstoffmangel produziert werden, durch eine bessere arterielle Blutversorgung weggebracht werden. Mit der Quellung einer Zelle während der Ruheperiode geht eine Anhäufung von Granula in den Zellen Hand in Hand. Ihre physiologische Bedeutung hat man auf sehr abenteuerliche Weise zu erklären versucht. Müssen sie denn etwas anderes sein, als Protein- (einschließlich Mucin-) Niederschläge, die in den Zellkörpern der Drüsenzellen während einer Ruheperiode der Drüsen deshalb auftreten, weil ihr Protoplasma in diesem Zustande eher die Tendenz zu einer sauren Reaktion hat? Wenn die Granula dann während der Drüsentätigkeit wieder verschwinden, so bedeutet das einfach eine Umkehr dieses Prozesses: sie gehen wieder in Lösung, da die Reaktion jetzt neutral oder etwa alkalisch wird. Die Veränderungen die also in den Speicheldrüsen, im Pankreas usw. während der Ruhe und der Tätigkeit der Drüsen vor sich gehen, sind den Veränderungen bei der „trüben Schwellung“¹⁾ sehr ähnlich, wie sie an der Leber oder den Nieren in verschiedenen pathologischen Zuständen (einschließlich der Aenderungen in der arteriellen Blutversorgung der Zellen dieser Organe) beobachtet werden können.

4. Nach diesen Auseinandersetzungen ist es naheliegend, daß zwischen der Absorption und der Sekretion im wesentlichen kein bedeutender Unterschied existiert. Die Sekretion ist nur das Spiegelbild der Absorption. Diese Tatsache erscheint recht einfach und doch kann man nicht sagen, daß sie bei den experimentellen Medizinern und Physiologen besondere Aufmerksamkeit gefunden hätte. Dies wäre aber nötig gewesen, denn bei einem höheren Tier stehen Absorption und Sekretion in einem reziproken Verhältnis zueinander. Die Nichtbeachtung dieser Tatsache trägt zum größten Teile Schuld an der heute herrschenden Unklarheit unserer Begriffe über diese

¹⁾ Eine Diskussion über das Wesen und die Ursache der trüben Schwellung findet man in M. H. Fischer, Koll.-Zeitschr. 8, 159 (1911).

Phänomene. Ein erwachsener Organismus muß, um am Leben zu bleiben, eine gewisse Konstanz des physikochemischen Zustandes seiner Zellen behaupten. Daraus folgt, daß ein Stoff, der einmal absorbiert wurde, nach einer entsprechenden Zeit wieder sezerniert werden muß. Diese entsprechende Zeit, die zwischen der Absorption und Sekretion einer Substanz liegt und die Tatsache, daß wir noch nicht alle Bedingungen kennen, die den Aufenthalt und die Verwertung dieser Substanz in den Zellen aufklären, ist schuld daran, daß uns der Zusammenhang selbst dort nicht klar ist, wo es sich nur um Absorption und Sekretion von Substanzen (Wasser, Salze) handelt, die im Körper gar nicht chemisch verändert werden. Wenn wir diese Tatsache festhalten, dann können wir das Erstaunen einiger Autoren, darüber, daß Atropin oder Morphin, die einige Sekretionsprozesse verzögern, nicht auch die Absorption aus dem Darm oder aus der Bauchhöhle herabsetzen, nicht teilen. Natürlich nicht! Diese Substanzen begünstigen die Bildung und Anhäufung von Säuren in den Geweben, daher niemals eine Sekretion; wir müßten eher erwarten, nach Anwendung dieser Mittel eine vermehrte Wasserabsorption zu finden, und dies ist auch der Fall. Andere Anästhetika wirken wie Morphin, wieder andere Pharmaka wie Atropin. Verwenden wir solche Mittel bei unseren Versuchen, so müssen wir uns ihre Wirkung vor Augen halten, nicht aber sie bei der Deutung unserer Befunde vernachlässigen. Eingriffe, Art der Ernährung und physiologische Vorgänge bringen oft ähnliche Effekte hervor, wie Arzneimittel, und so müssen auch sie beachtet werden. Aus diesem Grunde müssen, wie ich oben erwähnt habe, Prozeduren auf ein Minimum reduziert werden, wenn wir die Gesetzmäßigkeiten der Physiologie und der Pathologie von Absorption und Sekretion genau analysieren wollen.

IV.

Nach diesen Bemerkungen über die allgemeine Natur der Absorption und Sekretion wollen wir für einen Augenblick auf Erklärungen zurückgreifen, die andere Autoren für diese Erscheinungen gegeben haben; aus ihnen wollen wir dann jenes auswählen, was wir selbst für korrekt halten, zugleich aber auch an einigen Beispielen zeigen, wie gewisse Experimente, die bisher die Hauptstütze der „physiologischen“ oder „vitalistischen“ Auslegung mancher Lebensvorgänge waren, sich leicht auf der Basis kolloidchemischer Erkenntnisse erklären lassen und wie Experimente, die gemacht wurden, um andere

Theorien zu stützen, als Argumente für die kolloidchemische Theorie ausgelegt werden können.

1. Ein halbes Jahrhundert lang haben viele Autoren geglaubt, daß die Filtration eine wichtige Rolle bei der Absorption von Flüssigkeiten spiele. Nach der Definition bedeutet die Filtration das Passieren einer Flüssigkeit durch eine bestimmte Membran infolge von Verschiedenheiten im hydrostatischen Druck. Von diesem Gesichtspunkte aus nahm man an, daß eine Flüssigkeit aus dem Darm oder aus der Bauchhöhle deshalb in das Blut gelangen müsse, weil im Darm und Bauchhöhle ein (durch Gase oder die Wirkung verschiedener Muskeln hervorgerufener) Druck vorhanden sei, der größer ist, als der in den Blut- oder Lymphgefäßen. Die beste Stütze erhält diese Annahme durch die Experimente von Leubuscher und H. J. Hamburger¹⁾, die fanden, daß mit einer Erhöhung des intrainestinalen oder intraabdominalen Druckes auch eine vermehrte Absorption Hand in Hand gehe, zumindest bis zu einem gewissen Grade. Ohne für den Augenblick die Korrektheit dieser Versuche selbst in Betracht zu ziehen (es liegt ein sehr schwerer experimenteller Irrtum vor), wissen wir, daß für die Absorption ein solcher intrainestinaler oder intraabdominaler Druck nicht erforderlich ist. E. Waymouth Reid²⁾ hat nämlich beobachtet, daß auch dann eine Wasserabsorption aus den Gedärmen des Hundes stattfindet, wenn der Druck im Darm entschieden niedriger war, als der in den Mesenterialvenen, und Hamburger selbst hat Versuche beschrieben, bei denen er eine starke Wasserabsorption aus der Bauchhöhle beobachtete, wenn das Abdomen des Tieres geöffnet oder wenn das Tier tot war. Nach allem, was wir oben über die Wasserabsorption als Kolloidphänomen gesagt haben, waren diese Befunde alle zu erwarten. Es ist jetzt nur noch eine Auslegung für die Versuche von Leubuscher und Hamburger über die Wirkung von Druckveränderungen erforderlich. Leubuscher's Befunde wurden erklärt, indem man annahm, daß durch den erhöhten intrainestinalen Druck die Falten der Darmmukosa geglättet werden, so daß dann für die Absorption eine größere Darmfläche geschaffen wird. Diese Erklärung wurde von Hamburger als nicht ausreichend bezeichnet, denn er hatte beobachtet, daß die Absorption aus dem Darm mit jeder Druckerhöhung bis zu einem gewissen Maximum zu-

¹⁾ H. J. Hamburger, Osmotischer Druck und Ionenlehre 2, 176 (Wiesbaden 1904).

²⁾ E. W. Reid, Philosoph. Trans. Royal Soc. 192, 231 (1900).

nimmt, selbst wenn die Eingeweide mit einem Drahtgitter umgeben wurden, das sie daran hinderte, sich zu entfalten. Bei einem Erklärungsversuche von Hamburger's Resultaten möchte ich mich zu der Ansicht bekennen, daß mit der ersten Zunahme des Druckes die Strömung des Blutes aus den Venen begünstigt wird; daher müßte eine stärkere Blutdurchströmung des Darmes stattfinden, und so wären die Bedingungen für die vermehrte Absorption gegeben. Bei weiterer Erhöhung des Druckes werden die Blutgefäße zusammengedrückt und dadurch der Blutstrom vermindert; es muß sich dann eine Abnahme der Absorption ergeben, wie sie von Hamburger auch beobachtet wurde.

Ich selbst neige nicht einmal der Ansicht derjenigen Autoren zu, die zwar die Filtration nicht als den wichtigsten Faktor beim Passieren von Flüssigkeiten aus einem Organ in ein anderes ansehen, aber dennoch annehmen, daß sie physiologisch von irgendwelcher Bedeutung sei. Meiner Ansicht nach kann die Filtration nur theoretisch als bei der Absorption mitwirkend angesehen werden, so etwa, wie man von einer „Löslichkeit“ des Quarzes in Wasser spricht; denn die gesunden tierischen Membranen, durch die das Wasser angeblich gepreßt werden soll, sind aus Emulsionskolloiden aufgebaut, und die Druckunterschiede, die im Körper für die Filtration durch diese Membranen verfügbar sind, haben einen Wert von nahezu Null im Vergleich zu den enormen Drucken, die in den Laboratorien nötig sind, um Wasser durch die dünnsten Membranen von Emulsionskolloiden, wie Gelatine, durchzupressen.

2. Die Frage des osmotischen Druckes als wirksamen Faktors bei der Wasserabsorption aus dem Darne bedarf keiner speziellen Diskussion, selbst nicht in der Beschränkung, die sie durch die Annahme erfahren, daß die Oberflächenschichten der Zellen aus Lipoiden bestehen; ihre Unzulänglichkeit zur Erklärung der hier beobachteten Absorptionsphänomene wird auf allen Seiten zugegeben; der Grund dafür, daß man ihm weiterhin eine fundamentale biologische Bedeutung zuschreibt, liegt wohl nur darin, daß man noch keine bessere Erklärung gefunden hat. Eine ganze Anzahl von Biologen ist nicht willens gewesen, zu glauben, daß die gegenwärtige Unmöglichkeit, alle Phänomene bei den Absorptions- und Sekretionsprozessen auf rein physikochemischer Basis zu erklären, schon besagt, daß eine solche Erklärung überhaupt nicht möglich wäre und daß daher die „physiologische“ oder „vitalistische“ Erklärung der Absorption und Sekretion vorgezogen werden müsse. Es scheint mir, daß wir auf

Grund dessen, was in diesen Blättern und in einigen meiner früheren Arbeiten gesagt wurde, die osmotische Erklärung des Zellverhaltens bei der Wasserabsorption nicht nur beiseite lassen können, sondern müssen. Wir müssen sie auch als ungültig erklären, insofern überhaupt die Absorption gelöster Substanzen in Betracht kommt. Wären die Zellen von semipermeablen Membranen umgeben, wie dies von der osmotischen Theorie der Wasserabsorption verlangt wird, dann könnten gelöste Substanzen weder hinein noch hinaus gelangen, diese beiden Prozesse müssen aber doch möglich sein, so gut wie eine Wanderung von Wasser in die Zelle und aus ihr heraus, da sie sonst aufhören würde zu leben. Gelöste Substanzen gelangen in die Zellen und aus ihnen heraus durch Diffusion. Die Rolle, die diese bei den Absorptions- und Sekretionsprozessen spielt, ist seit den Arbeiten von C. Ludwig erkannt und diskutiert worden. R. Heidenhein gelang es, zu zeigen, wie gering die Bedeutung der Diffusionsvorgänge für die Analyse des ganzen Problems ist, indem er nachwies, daß sich eine absorbierte oder eine sezernierte Flüssigkeit gewöhnlich der quantitativen Zusammensetzung nach von der Ausgangsflüssigkeit, aus der sie entstanden ist, unterscheidet. Darauf gründet sich sein Glaube an einen „selektiven“ oder „physiologischen“ Charakter der Absorption oder Sekretion. Für uns liegt in diesem „selektiven“ Charakter nichts Erstaunliches, wir erwarten ihn sogar; denn, wie wir oben auseinandergesetzt haben, wird eine Lösung nie als solche absorbiert oder sezerniert. Wo immer wir die Absorption oder Sekretion einer Flüssigkeit beobachten können, sehen wir, daß sie aus der Absorption oder Sekretion des Lösungsmittels plus der einer jeden darin gelösten Substanz zusammengesetzt ist. Wird z. B. irgendeine Lösung in den Darm gebracht, so diffundiert jede einzelne gelöste Substanz so lange in die Darmwand, bis ein Gleichgewicht erreicht ist in der Verteilung jeder dieser Substanzen in der (liquiden) Phase, die durch die Lösung dargestellt wird, und der mehr festen, die die (kolloide) Darmwand repräsentiert; ebenso hat jede in der Darmwand vorhandene Substanz die Tendenz, so lange in die Lösung zu diffundieren, bis ein Gleichgewicht hergestellt ist. Bei unserem biologischen Material wurde ziemlich allgemein angenommen, daß die Verteilung von gelösten Substanzen zwischen zwei solchen Phasen dann ein Gleichgewicht erreicht, wenn die Konzentration einer jeden gelösten Substanz in beiden gleich ist. Ein derartiger aprioristischer Schluß ist vollkommen unberechtigt; es handelt sich bei diesem Problem um die Verteilung einer gelösten Substanz zwischen Wasser und einem Kolloid,

und wie wir aus anderen Versuchen, die aber auch für unsere Experimente gültig sind, wissen, kann das Gleichgewicht erreicht werden, wenn die gelöste Substanz in einer geringeren, der gleichen oder einer höheren Konzentration in dem Kolloid enthalten ist, als in der Lösung, die es umgibt. Einerseits versucht nun die absorbierende Membran mit der zu absorbierenden Flüssigkeit ins Gleichgewicht zu kommen, andererseits mit dem Blute. Das ganze Absorptionssystem besteht daher eigentlich aus drei Phasen, von denen das liquide, kolloide Blut die dritte darstellt. *Das Problem der selektiven Absorption der gelösten Substanzen ist also das Problem der Kräfte, die zu der Herstellung eines Gleichgewichts zwischen all den verschiedenen gelösten Substanzen in diesen drei Phasen wirksam sind.* Wie jedermann bekannt ist, sind die wichtigsten Faktoren bei einem solchen Phänomen: der Charakter der verschiedenen in Betracht kommenden Kolloide und ihre physikalisch-chemischen Zustände, wie sie durch die Gegenwart von Säuren, Alkalien, Salzen und verschiedenen Nichtelektrolyten bestimmt werden; die Beschaffenheit der gelösten Substanzen, die absorbiert werden sollen; die Gegenwart oder Abwesenheit von Lipoiden in der kolloiden absorbierenden Membran und im Blut usw. Mit andern Worten: die Gesetze der Absorption, der Verteilung und der chemischen Affinitäten kommen zur Geltung. Der Grad der Diffusion einer gelösten Substanz muß natürlich auch eine bedeutende Rolle bei der Einstellung solcher Gleichgewichte spielen, und dementsprechend auf das Ausmaß der Absorption und Sekretion dieser Substanzen. R. Höber hat besonders gut gezeigt, wie weitgehend der Parallelismus zwischen dem Grade der Diffusion verschiedener Substanzen und der Menge ist, in der sie absorbiert werden. In unserem Fall kommen zu diesem einfachen Diffusionsprozeß bei den Absorptions- oder Sekretionsvorgängen noch eine Reihe sekundärer Phänomene hinzu, die das klare Bild stören. Dadurch wird jedoch die fundamentale Bedeutung der Diffusion selbst bei der Absorption und Sekretion nicht in Frage gestellt. Zur Erläuterung des Gesagten wollen wir versuchen, den relativ einfachen Prozeß der Absorption einer starken (sog. hypertonen) Kochsalzlösung zu verfolgen, die in die Bauchhöhle oder in den Darm eines Tieres gebracht wurde: sowohl das Wasser als das Salz beginnt sofort in die absorbierenden Membranen zu diffundieren; mit dem Fortschreiten dieses Prozesses steigt die Konzentration des Kochsalzes in der absorbierenden Membran und bewirkt daher, daß die Kolloide derselben nicht weiter Wasser aufnehmen, sondern sogar, wenn die Salzkonzentration ge-

nügend stark ist, Wasser abzugeben beginnen, so daß eine wirkliche Sekretion in das Peritoneum stattfinden kann. Gleichzeitig ist auch die Tendenz vorhanden, zwischen dem Kochsalz in der zu absorbierenden Lösung und dem der absorbierenden Membran ein Gleichgewicht herzustellen. Dieses wird aber unter normalen Umständen niemals erreicht; denn das Kochsalz in der absorbierenden Membran sucht gleichzeitig in ein Gleichgewicht mit dem Kochsalz des Blutes zu kommen; da dieses aber zirkuliert, so ist es klar, daß dieses Gleichgewicht vom Blute her immer gestört werden muß; es wird so immer mehr Salz in das Blut übergehen (also absorbiert werden). Jetzt aber kommen die Kolloide der absorbierenden Membran wieder in einen mehr „normalen“ Zustand und die Wasserabsorption, die früher behindert war, kann wieder stattfinden. Bei Verwendung einer verdünnteren (hypotonischen) Kochsalzlösung stellt sich der Absorption des Wassers durch die Gewebszellen kein so großer Widerstand entgegen, und es ist möglich, daß die verdünnten Salzlösungen immer stärker konzentriert werden, wenn das Wasser (schneller als das Salz) daraus absorbiert wird. Sogar Salzlösungen, die mit dem Blute isotonisch sind, müssen absorbiert werden. Obwohl die Absorption einer solchen Lösung sich auf osmotischer Basis nicht erklären läßt, da in diesem Falle keine osmotische Differenz besteht, die die Bewegung des Wassers veranlassen könnte, ist es doch nicht schwer, auf Grundlage kolloidchemischer Gesetze hier eine Erklärung zu geben. Es müssen die Kolloide der absorbierenden Membran bloß ein wenig Wasser aus der isotonischen Lösung aufnehmen, und es muß sogleich das Salz folgen, da seine Konzentration sich jetzt nicht mehr im Gleichgewicht mit dem Kochsalz in der absorbierenden kolloiden Membran befindet; dann geht wieder Wasser über, dann wieder Salz, bis alles absorbiert ist. Die Absorption könnte natürlich auch damit beginnen, daß zuerst ein wenig Salz diffundiert, dann das Wasser usw., denn um die Wahrheit zu sagen, wissen wir noch gar nicht genau, was eigentlich die „isotonische“ Lösung charakterisiert, und wir werden es auch nicht wissen, solange die kolloide Konstitution der lebenden Substanz nicht hinlänglich bekannt ist.

Wie schön aus dem bis jetzt Gesagten hervorgeht, ist es auf Basis einer kolloidchemischen Erklärung der Absorption nicht schwierig zu verstehen, wieso in einer Lösung, die sich längere Zeit in der Bauchhöhle oder im Darm befunden hat, während der Absorption verschiedene Substanzen aus dem Blut oder den Geweben auftreten können (in die Lösung sezerniert werden), die sie ursprünglich nicht

enthält. Ebenso wie die gelösten Substanzen aus einer Lösung, die absorbiert werden soll, so lange in die absorbierende Membran diffundieren, geradeso müssen natürlich auch die in der absorbierenden Membran enthaltenen Stoffe das Bestreben haben, in die Lösung zu diffundieren. Es ist sehr allgemein angenommen worden, daß diese Diffusion von Salzen und anderen Stoffen aus einer absorbierenden Membran in die zu absorbierende Lösung einen Versuch der Herstellung eines osmotischen Gleichgewichts zwischen den beiden bedeutet. Tatsächlich ist ein solcher Schluß zumindest verfrüht. Wir kennen noch nicht alle Faktoren, die bei der Herstellung des Gleichgewichts in der Verteilung der verschiedenen gelösten Substanzen zwischen den einzelnen Phasen wirksam sind. Das eine aber ist sicher, daß das endlich erlangte Gleichgewicht nicht nur ein einfaches osmotisches Gleichgewicht ist. Das geht deutlich genug nicht nur aus der Tatsache hervor, daß das physiologische Verhalten verschiedener Salze bei diesen Absorptionsprozessen z. B. nicht von der osmotischen Konzentration der gelösten Substanzen abhängig ist, sondern auch aus der anderen Tatsache, daß bei der Verteilung der meisten Substanzen zwischen einem Kolloid und einer Lösung in beiden niemals die gleiche Konzentration ist. *Der „selektive“ Charakter der Absorption und Sekretion hängt zunächst damit zusammen, daß die Absorption und Sekretion von Wasser im lebenden Organismus von der im Wasser gelösten Substanzen vollkommen getrennt verläuft, daß ferner jede derselben mit ihrer eigenen Geschwindigkeit absorbiert oder sezerniert wird und der Verlauf bei den verschiedenen Substanzen von in bezug auf Art und Intensität nicht gleichen Faktoren beeinflusst wird.* Halten wir uns diese Tatsache vor Augen, dann hat der „selektive“ Charakter von Absorption und Sekretion für uns nichts mehr Erstaunliches — es wäre vielmehr merkwürdig, wenn sie nicht selektiv wären.

3. Die Physiologen und experimentellen Mediziner, die unsere Aufmerksamkeit auf die „selektive“ und „physiologische“ Wirksamkeit der absorbierenden und sezernierenden Membranen und auf die „physiologische Triebkraft“ gelenkt haben, die in ihnen liegt, verdienen teils Tadel, teils Lob, je nachdem sie diese Worte in der verzweifelten Pose der Biologen angewendet haben, die glauben, daß Lebensphänomene niemals innerhalb der Grenzen physikalischer Wissenschaften erklärbar sein werden, oder aber, ob ihnen diese Ausdrücke nur als Titel geeignet erschienen, unter die sie gewisse Absorptions- und Sekretionserscheinungen gruppieren konnten, die man zur Zeit ihrer

wissenschaftlichen Untersuchungen noch nicht sehr gut zu analysieren wußte. Aber die Notwendigkeit, diese Ausdrücke selbst im letztgenannten Sinne, beizubehalten, tritt immer mehr zurück. Die selektive Tätigkeit absorbierender und sezernierender Membranen, wie sie sich aus der „selektiven“ Absorption und Sekretion von Wasser und gelösten Substanzen ergeben, sind schon in den vorhergehenden Paragraphen diskutiert worden. *Von einer „physiologischen“ Tätigkeit solcher Membranen kann nur in dem Sinne gesprochen werden, daß die absorbierenden und sezernierenden Membranen des vielzelligen Organismus lebende Zellen enthalten und daß in jeder von diesen wohlgeordnete Reihen chemischer und physikochemischer Reaktionen vor sich gehen, die die kolloide Konstitution dieser Membranen beeinflussen können, und damit auch die Natur der Phasen und die Gleichgewichtsbedingungen in unsern absorptiven und sekretorischen Systemen, mit andern Worten also die Prozesse der Absorption und Sekretion selbst.*

Auch die Notwendigkeit, eine „physiologische Triebkraft“ anzunehmen, besteht nicht mehr zu Recht. Diese mußte man vor allem bei der Betrachtung von Erscheinungen zu Hilfe nehmen, wie etwa, daß die Absorption einer Lösung aus dem Darm auch dann erfolgen kann, wenn der Druck, unter dem sie im Darm steht, geringer ist, als der des Blutes in den Mesenterialvenen, durch die sie absorbiert werden soll. (E. Waymouth Reid.) Diese Anschauung betrachtet die Absorption als einen Vorgang, bei dem das Wasser in die Gewebe gepreßt wird; dies geschieht aber nicht. Es wird vielmehr aufgesaugt, und zwar auch dann, wenn der hydrostatische Druck in den Venen den im Darm um einige Millimeter übersteigt. Die Drucke, die bei der Quellung von Emulsionskolloiden erreicht werden, sind enorm im Vergleich mit den höchsten hydrostatischen Drucken im arteriellen Kreislauf. Die Anwendung „physiologischer Gifte“ zur Eliminierung „physiologischer“ Elemente bei der Absorption und Sekretion beweist gar nichts. Solche Gifte stellen einfach ein direktes oder indirektes Mittel dar, den physikochemischen Zustand der absorbierenden oder sezernierenden Strukturen zu verändern. Geht aber nicht bei der Analyse der normalen Absorption und Sekretion die Absicht gerade dahin, die Eigenschaften dieser genau festzustellen? In diesem Falle haben wir einfach die Wirkung zu erklären, die die Gifte auf die Faktoren ausüben, die die „normalen“ Absorptions- und Sekretionserscheinungen hervorrufen. Nichts hat vielleicht die Annahme des Glaubens, daß Absorption und Sekretion sich schließlich als physikochemisch erklärlich erweisen würden, so sehr gehemmt

und die Aufrechterhaltung der Begriffe „physiologisch“, „selektiv“ usw. so sehr begünstigt, als eine Reihe von Versuchen, die zuerst von R. Heidenhein beschrieben und später in modifizierter Form von E. Waymouth Reid und O. Cohnheim wiederholt wurden; die überzeugendsten davon sind die so oft zitierten Befunde, daß ein Hund sein eigenes Blutserum oder Blutplasma absorbieren könne. Ein paar Worte über solche Experimente mögen zeigen, wie sie sich alle auf Grundlage der Theorie der kolloiden Wasserbindung erklären lassen. *In keinem einzigen dieser Versuche, außer dort, wo die Gegenwart proteolytischer Fermente nicht ausgeschlossen war, war die Absorption des Serums oder Plasmas vollständig.* Der Grund einer solchen Erscheinung ist klar. Blutserum und Plasma sind kein Blut, sondern dieses, vermindert um einen großen Teil seines Gehaltes an Emulsionskolloiden; sie sind nicht wassergesättigte kolloide Lösungen, wie das normale Blut, sie enthalten immer mehr „freies“ Wasser, das nötig ist, um die im Serum oder Plasma übrigbleibenden Kolloide zu sättigen. Werden sie also in die Eingeweide gebracht, *so sind sie wohl absorbierbar, aber nur insoweit, als sie freies Wasser (und einen bestimmten Prozentsatz an Salzen, Harnstoff usw.) enthalten.* Die Absorption erreicht ein Ende, sobald das Wasser bis zu dem Punkt absorbiert ist, wo es vollständig mit den Kolloiden in Verbindung ist. Bei diesen Experimenten sind also die Bedingungen auf beiden Seiten der absorbierenden Membran nicht die gleichen; das Tier absorbiert nicht das „Serum“ oder „Plasma“ als solches, noch viel weniger, wie uns scheinbar manche Autoren glauben machen möchten, etwas, das mit dem Blute selbst identisch ist, *es absorbiert vielmehr Wasser und einige gelöste Substanzen* und dies aus denselben Gründen, warum es unter den gleichen Umständen etwa eine gewöhnliche „physiologische“ Salzlösung absorbieren würde.

4. Von den verschiedenen Faktoren, die in unseren Physiologiebüchern genannt sind und die zu verschiedenen Zeiten und auf verschiedene Art als mitwirkend bei der Absorption und Sekretion betrachtet wurden, bleibt nur noch einer zu diskutieren, die Imbibition. Was A. Fick¹⁾ als molekulare Imbibition bezeichnet, ist nur ein anderer Ausdruck für die Erscheinung, die wir heute die Wasserabsorption der Emulsionskolloide nennen würden. Es ist ganz interessant, daß schon im Jahre 1881 die Imbibition als wichtiger Faktor bei dem allgemeinen Problem der Absorption erwähnt wurde²⁾. Die

¹⁾ A. Fick, Medizinische Physik 3, 31 (Braunschweig 1885).

²⁾ W. v. Wittich, Hermann's Handbuch d. Physiol. V, 2, 268 (Leipzig 1881).

tatsächliche Bedeutung aber, die die Imbibition für die Absorptionsvorgänge hat, wurde erst später durch H. J. Hamburger¹⁾ hervor-gehoben. Dieser Autor betont mit Recht die theoretische Bedeutung seiner Beobachtung, daß Tiere auch nach dem Tode verschiedene Salzlösungen aus der Bauchhöhle (und anderen serösen Höhlen) aufnehmen. Mit den Einzelheiten seiner Vorstellungen über die gewöhnliche Wirkungsweise bei der Imbibition stimmen wir zwar nicht überein, aber das muß auch hier gar nicht diskutiert werden; seine Annahme jedoch, daß die Imbibition eine Rolle spielen müsse, muß hervor-gehoben werden. Hamburger betrachtete aber die Imbibition nicht als den wesentlichsten Faktor bei der Absorption, sondern behält auch weiterhin die Idee bei, daß Filtration, osmotischer Druck und die „mitschleppende Wirkung“ der Zirkulation gleichfalls in Betracht kommen. Hamburger sagt auch nichts darüber, auf welche Weise eine durch Imbibition absorbierte Flüssigkeit wieder abgegeben wird. In dieser Hinsicht sind wir meiner Ansicht nach F. Hofmeister²⁾ besonders verpflichtet, der schon im Jahre 1891 darauf hinwies, daß die Salze in dem nämlichen Sinne wirken, wenn sie, wie er beobachtete, die teilweise Wasserabgabe einer mit Wasser vollgesogenen Gelatine hervorrufen und wenn sie als sogenannte salinische Abführmittel fungieren. Trotz der zahlreichen Arbeiten, die seit Hofmeister über die Nahrungsabsorption und -sekretion und über die Wirkungsweise der salinischen Abführmittel erschienen sind, scheint es wohl sicher, daß wir zu seinen klaren und einfachen Deduktionen zurück-kehren müssen, denn in seinen Experimenten finden wir nicht nur eine Erklärung für die Wirkungsweise der salinischen Abführmittel, sondern überhaupt ein Abbild dessen, was im wesentlichen die Absorption und Sekretion ausmacht.

5. Die Analyse der Probleme der Absorption und Sekretion könnte schon mit vollkommener Sicherheit über die Grenze hinausgeführt werden, die in diesen und meinen vorhergehenden Arbeiten gezogen sind, in denen als ein Hauptziel die Aufstellung des Lehrsatzes verfolgt wurde, daß die Kolloide und ihre physikalischen Zustände sowohl für den quantitativen als auch für den qualitativen Charakter der Absorption und Sekretion von Wasser und gelösten

¹⁾ H. J. Hamburger, Osmotischer Druck und Ionenlehre 2, 108 u. 164.

²⁾ F. Hofmeister, Arch. f. exp. Path. u. Pharm. 28, 210 (1891).

Substanzen durch das Protoplasma bestimmend sind¹⁾. Dies alles soll den Inhalt einer künftigen Mitteilung bilden. Immerhin muß hier aber darauf hingewiesen werden, welche ausgezeichneten Dienste für die künftige Analyse des Problems die Theorien über den kolloiden Zustand leisten, die immer klarer und klarer herausgearbeitet werden. Besonders sei als Leitfaden für die Biologen auf die Ideen von Wo. Pauli²⁾ und seinen Mitarbeitern, besonders H. Handovsky³⁾ und K. Schorr⁴⁾, hingewiesen. Nach ihnen können wir z. B. jede vermehrte Wasseraufnahme eines Gewebes als einen Anstieg im Hydrationsgrad der Gewebeskolloide ansehen, während die Sekretion und die verschiedenen Prozesse, die sie begünstigen, als Dehydratation aufgefaßt werden können. Bloß in einem Punkte stimmen meine experimentellen Befunde über die Wasseraufnahme und Wasserabgabe des Protoplasmas mit den experimentellen und theoretischen Beobachtungen, die Wo. Pauli und seine Schüler über die reinen Kolloide und ihre Beziehungen zu dem Lösungsmittel machten, nicht überein. Wo. Pauli gibt an, daß die Prozesse von Hydratation und Lösung, von Dehydratation und Präzipitation eines Kolloids durchweg miteinander parallel sind; ich jedoch habe gezeigt, daß die Absorption und Sekretion von Wasser durch verschiedene Gewebe (Augen, Leber, Niere) und die Entstehung einer Trübung in ihnen (Hornhauttrübungen, Trübungen trüb geschwelter Organe) keineswegs immer in derselben Richtung verlaufen und auch einander nicht quantitativ entsprechen. Daraus habe ich geschlossen, daß die beiden Prozesse nicht identisch sind. Dieser Unterschied in der Auffassung mag aber schließlich darauf beruhen, daß das Protoplasma eine Mischung verschiedener Kolloide darstellt und daß während unter gegebenen Bedingungen das eine den Punkt der maximalen Quellung (Hydratation und Lösung im Sinne Wo. Pauli's) noch nicht erreicht, ein anderes ihn bereits überschritten hat und so eine Trübung erzeugt (verminderte Hydratation mit Präzipitation). Das Ganze kann aber auch ein bloßer Unterschied in der Terminologie sein. Wo die Prozesse der kolloiden Lösung (Hydratation) und der Präzipitation (Dehydratation) nicht

¹⁾ Ueber den Anteil der Lipide an der Absorption, die meiner Meinung nach die Zellen nicht als lipide Häutchen umgeben, orientiere man sich in: Das Oedem (Dresden 1910), 91 und 179.

²⁾ Wo. Pauli, Koll.-Zeitschr. 7, 241 (1910); Wo. Pauli und H. Handovsky, Biochem. Zeitschr. 18, 340 (1909).

³⁾ H. Handovsky, Koll.-Zeitschr. 7, 183 u. 267 (1910), woselbst auch frühere Arbeiten zusammenfassend dargestellt sind.

⁴⁾ K. Schorr, zitiert von Wo. Pauli und H. Handovsky.

reversibel sind und nicht miteinander parallel verlaufen, dort spielt bei der Präzipitation des Kolloids, wie Wo. Pauli gezeigt hat, noch ein Faktor eine Rolle — es wird nämlich der ganze Charakter des Kolloids verändert, es wird denaturiert. In meinen eigenen Untersuchungen habe ich diesen Unterschied zwischen den beiden Präzipitationstypen (der Präzipitation mit und ohne Denaturierung des Kolloids) nicht beobachten können. Darauf dürfte auch der wesentliche Unterschied zwischen Wo. Pauli's theoretischen Ableitungen und meinen eigenen experimentellen Befunden beruhen.

Bei der theoretischen Erläuterung der Absorption und Sekretion gelöster Substanzen wird es wohl notwendig sein, auf eine Arbeit Wo. Ostwald's¹⁾ zurückzukommen.

Wo. Ostwald hat gezeigt, daß sich der mathematische Ausdruck der Absorption auch auf den Absorptions- (Intoxikations-) Prozeß anwenden läßt, wie er bei manchen Wassertieren (Gammarus) auftritt, wenn sie in Lösungen verschiedener Substanzen gebracht werden: Solche Tiere, die in einer Lösung herumschwimmen, befinden sich offenbar unter ähnlichen Umständen, wie die Zelle einer Darmschleimhaut, die von einer solchen Lösung umspült wird. Wo. Ostwald hat damals auf die biologische Bedeutung der Auswaschungsformel hingewiesen, die in gewissem Sinne das Spiegelbild der Absorptionsformel bildet. Mittels dieser kann man die toxische Wirkung von destilliertem Wasser auf diese Tiere für die verschiedenen Konzentrationen — eine Wirkung, die auf der Diffusion der Salze aus dem Tier in das destillierte Wasser beruht — vorher berechnen. Das Auswaschen der gelösten Substanzen durch die Niere mittels des reinen Wassers, das sie ursprünglich sezerniert, bildet eine Parallele der toxischen Wirkung des destillierten Wassers auf den Gammarus. Wo. Ostwald hat fernerhin gezeigt, daß der Effekt der Lösung eines Salzes sich aus dem Absorptionseffekt dieses Salzes und dem Auswaschungseffekt aller anderen Salze zusammensetzt, die in dem Tier, nicht aber in der zugesetzten Lösung vorhanden sind. Ein Analogon zu diesem Phänomen liegt in der experimentellen Absorption einer reinen Lösung durch den Darmtrakt eines Säugetieres, indem, wie oben erwähnt, eine Sekretion gelöster Substanzen aus der Darmschleimhaut in den Darm stattfindet, während die ursprünglich eingeführte gelöste Substanz „absorbiert“ worden ist.

¹⁾ Wo. Ostwald, Pflüger's Arch. 120, 19 (1907); Koll.-Zeitschr. 2, 108 u. 138 (1907); Wo. Ostwald und A. Dernoschek, Koll.-Zeitschr. 6, 297 (1910).

Zusammenfassung.

In dieser Arbeit wird die Diskussion über die Absorptions- und Sekretionsvorgänge bei höheren Tieren vom kolloidchemischen Standpunkte aus fortgesetzt. Absorption und Sekretion sind Spiegelbilder voneinander, nicht allein, weil sie im biologischen Sinne invers sind, sondern auch, weil jene Umstände, die den einen Vorgang begünstigen, den andern verzögern und umgekehrt. Vorerst wird darauf hingewiesen, daß zwischen einer Absorption in einem einzelligen und in einem vielzelligen Organismus kein wesentlicher Unterschied besteht; zur Charakteristik dieser Phänomene bei vielzelligen Organismen ist nur noch hinzuzufügen, daß jedes von beiden (Absorption sowohl, als auch Sekretion) an verschiedene Organe gebunden ist. So ist der Darmtrakt z. B. (vorwiegend) ein Absorptionsorgan, die Nieren sind (vorwiegend) Sekretionsorgane. Dieses verschiedene Verhalten bei ein- und mehrzelligen Organismen wird damit in Zusammenhang gebracht, daß die ersteren auf allen Seiten von dem gleichen Medium umgeben werden, die letzteren aber auf verschiedenen Seiten mit verschiedenen Medien in Berührung sind; für einzellige Individuen bedeutet daher die Absorption und Sekretion nur die Tendenz, mit diesem einen umgebenden Medium ins Gleichgewicht zu kommen, bei den vielzelligen muß ein Gleichgewicht mit zwei (oder mehr) Medien eingestellt werden. So kommt es, daß bei höheren Individuen gewisse Zellen vorwiegend absorbieren, andere Zellen vorwiegend sezernieren.

Absorption und Sekretion einer Lösung sind nicht ein Prozeß; sie bestehen vielmehr aus der Absorption oder Sekretion des Lösungsmittels und der Absorption oder Sekretion jeder einzelnen gelösten Substanz. Hier werden nun eine Reihe von Experimenten über die Absorption aus der Peritonealhöhle besprochen: die Absorption des Lösungsmittels (des Wassers) aus den injizierten Lösungen ist identisch mit der Wasserabsorption durch Emulsionskolloide unter den gleichen Versuchsbedingungen. Die Absorption aus der Bauchhöhle entspricht nun, wie Punkt für Punkt auseinandergesetzt wurde, der aus dem Darmtrakt. Und beide wieder sind ein Spiegelbild z. B. der Nierensekretion. Die Bildung der Lymphe verläuft wieder, was die Gesetzmäßigkeiten ihres Zustandekommens anlangt, der Harnsekretion parallel. Der selektive Charakter der Absorption und Sekretion gelöster Substanzen sowie ihr Wesen überhaupt hängen mit der ungleichen Verteilung der gelösten Substanzen zwischen (roh gesprochen)

den drei Phasen (Wasser, sezernierendes oder absorbierendes Gewebe, Blut) zusammen, aus denen jedes Absorptions- oder Sekretionssystem bei irgendeinem höheren Tier besteht. Diese Phänomene sind vollkommen analog und daher auch auf gleicher Basis zu erklären, wie die Ungleichheiten, die man bei der Verteilung gelöster Substanzen wie Wasser, einem festen und einem flüssigen Kolloid beobachten kann.

Es folgt dann eine kurze Besprechung und kritische Betrachtung der hauptsächlichsten Theorien über Absorption und Sekretion; die Filtration ist wohl unter den physiologischen Bedingungen für das allgemeine Problem nicht von besonderer Bedeutung. Wohl aber ist die Diffusion, sowohl für die Bestimmung des Grades von Absorption und Sekretion als auch für ihren Verlauf, überaus wichtig, obwohl ja in dem biologischen Material infolge der kolloiden Konstitution der lebenden Materie die Diffusionsvorgänge nicht in so reiner Form zutage treten, wie in einem homogenen System. Die Auffassung, daß osmotische Kräfte bei der Wasserabsorption bestimmend sind, ist vollständig zu verwerfen. Die zahlreichen Versuche, die dafür angeführt worden sind, daß die Absorption oder Sekretion als „physiologische“, „selektive“ oder „vitalistische“ Phänomene aufgefaßt werden müssen, lassen sich sehr wohl auch von der Lehre der kolloiden Wasserbindung aus erklären. Ebenso auch die Ungleichheiten in der Verteilung gelöster Substanzen zwischen den verschiedenen Phasen, die ein solches Absorptions- oder Sekretionssystem zusammensetzen. Von größter Bedeutung für die Theorie der Absorptionsvorgänge sind wohl die Angaben über die Rolle, die die Imbibition dabei spielt; sie finden sich in zerstreuten Anmerkungen Wittich's und in klarer Form und experimentell gestützt bei H. J. Hamburger. Für die Erkenntnis des Sekretionsproblems sind Hofmeister's ausgezeichnete Auseinandersetzungen maßgebend, wonach die Flüssigkeitssekretion in den Darm unter dem Einflusse der salinischen Abführmittel mit dem Wasserverluste einer gequollenen Gelatine identisch ist, der immer eintritt, wenn man diese in die Lösungen der erwähnten Salze bringt.
