

Die Energieumwandlungen im Muskel¹⁾.

Von Otto Meyerhof, Kiel.

Die hohe wissenschaftliche Auszeichnung, die mir durch die Verleihung des Nobelpreises zuteil geworden ist für meine Untersuchungen über die Energieumwandlungen im Muskel, legt mir die angenehme Verpflichtung auf, Ihnen über das vorliegende Problem und die Resultate, die ich bei seiner Bearbeitung erhielt, Bericht zu erstatten. Eine ganz besondere Freude ist mir, daß mir diese Anerkennung zuteil geworden ist gemeinsam mit meinem verehrten Freund und Vorredner Herrn Prof. A. V. Hill aus London, mit dem meine Arbeit so viele innigste Berührungspunkte hat und mit dem zusammen ich, den politischen Nöten der Gegenwart zum Trotz, dem Ziele entgegen gearbeitet habe, den Prozeß der Muskelkontraktion aufzuhellen.

Daß der Arbeitsleistung des Muskels chemische Vorgänge als Quelle der Energie zugrundeliegen müssen, haben bereits die Entdecker des Gesetzes der Erhaltung der Energie als notwendige Folgerung des von ihnen aufgestellten Satzes betrachtet. Ja, der junge *Helmholtz* hat schon gewisse Beobachtungen über die Stoffänderungen des Muskels bei der Tätigkeit gemacht, die an sich richtig waren, aber wegen ihrer Unvollständigkeit und der Unkunde, die über die chemische Natur der in Betracht kommenden Substanzen herrschte, keine Klarheit schaffen konnten. Mein Herr Vorredner hat Ihnen schon gesagt, wie besonders von den englischen Autoren *Fletcher* und *Hopkins* ein wesentlicher Fortschritt erzielt worden ist durch die Erkenntnis, daß die Milchsäurebildung im Muskel im innigsten Zusammenhang mit dem Kontraktionsvorgang steht. Durch diese Untersuchungen fiel ein erstes Licht auf die von dem Physiologen *Hermann* bereits sichergestellte, höchst paradoxe Tatsache, daß der Muskel in völliger Abwesenheit von Sauerstoff ein beträchtliches Maß äußerer Arbeit leisten kann. Da es andererseits unzweifelhaft war, daß letzten Endes die Energie für die Muskelarbeit aus der Oxydation der Nahrungsstoffe stammt, so mußte der Zusammenhang zwischen Arbeit und Verbrennung ein indirekter sein. In der Tat beobachteten nun *Fletcher* und *Hopkins*, daß in Abwesenheit von Sauerstoff im Muskel Milchsäure auftritt, langsam in der Ruhe, rasch bei der Tätigkeit, und daß diese Milchsäure in Gegenwart von Sauerstoff wieder verschwin-

det. Der Sauerstoff greift also offenbar nicht bei der Arbeit, sondern erst bei der Erholung des Muskels ein, eine Annahme, die durch weitere Arbeiten von *Parnas* und *Verzar* gestützt wurde. Wie aber die Milchsäure mit der Arbeitsleistung im Zusammenhang steht, woher die Milchsäure stammt und was aus ihr wird, wenn sie in Gegenwart von Sauerstoff schwindet, darüber herrschte völliges Dunkel. Ja, es waren gleichzeitig hierüber verschiedene, miteinander unvereinbare und doch scheinbar experimentell gestützte Auffassungen in Geltung. Als ein Lichtpunkt in dieser Dunkelheit erschien die wichtige Entdeckung von Herrn *Hill*, über die er soeben gesprochen hat, daß die Kontraktionswärme des Muskels in zwei getrennte Phasen von annähernd gleicher Größe zerfällt, eine Phase, die mit der Arbeit unmittelbar verknüpft und in An- und Abwesenheit von Sauerstoff gleich ist; er nannte sie die „initiale Wärme“; und die zweite Phase, die zum wesentlichen Teil nur in Sauerstoff auftritt, die er die verzögerte Wärme nannte und mit Recht mit dem Schwund der Milchsäure in Zusammenhang brachte. Neben dem Pionierwerk von *Fletcher* und *Hopkins* war es vor allem diese Entdeckung, die wie ein Leuchtturm über das nebelige Meer schien und es mir gestattete, den richtigen Kurs zwischen den Untiefen hindurchzusteuern.

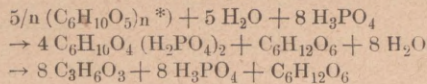
Betrachten wir zunächst einen ausgeschnittenen Froschmuskel, der bei maximaler Sauerstoffversorgung arbeitet, so ergibt die chemische Analyse nur, daß eine bestimmte Menge Glykogen im Muskel schwindet, während eine für dessen Oxydation gerade hinreichendes Quantum Sauerstoff aufgenommen und Kohlensäure ausgeschieden wird. Die Verknüpfung der Vorgänge können wir aber genauer analysieren, wenn wir den Muskel zunächst unter anaeroben Bedingungen arbeiten lassen und ihn anschließend in Sauerstoff bringen. Während der anaeroben Arbeitsphase nämlich häuft sich annähernd proportional mit der geleisteten Arbeit Milchsäure im Muskel an. Gleichzeitig schwindet eine entsprechende Menge Glykogen, während die Menge niedriger Kohlehydrate, vor allem freier Glucose und der von *Emden* im Muskel entdeckten Hexosephosphorsäure, sich nicht deutlich ändert. In der zweiten oxydativen Phase dagegen schwindet die gebildete Milchsäure, während eine ganz bestimmte Menge Extrasauerstoff aufgenommen

¹⁾ Vortrag, gehalten anlässlich der Verleihung des Nobelpreises in Stockholm am 12. Dezember 1923.

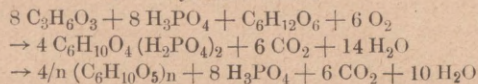
wird, und zwar geht der Schwund der Milchsäure während dieser Periode genau proportional dem Mehrverbrauch an Sauerstoff. Indes reicht der Sauerstoff nur aus, um einen Bruchteil der verschwindenden Milchsäure zu oxydieren, der Rest, bei totaler Ermüdung etwa $\frac{1}{4}$ der ganzen Milchsäure, ist quantitativ wieder in Glykogen zurückverwandelt. Ich darf schon hier sagen, daß dies Verhältnis der im ganzen verschwindenden Milchsäure zur verbrannten nicht unter allen Umständen konstant ist, ein für die Energetik wichtiger Umstand, den ich nachher näher erläutern möchte. Wir wollen aber zunächst mit dieser Zahl rechnen, die man unter geeigneten Umständen bei weitgehender anaerober Ermüdung und anschließender Erholung in Sauerstoff erhält. Es wandeln sich dann von 4 verschwindenden Molekülen Milchsäure 3 zurück in Glykogen und 1 wird oxydiert. Ja, in vorsichtiger Formulierung dürfen wir nicht einmal mit Sicherheit behaupten, daß die Milchsäure selbst verbrannt. Wir finden nur eine Oxydation eines Kohlehydratäquivalents mit dem respiratorischen Quotienten 1. Ob dies Zucker oder Milchsäure ist, können wir nicht feststellen. Ich habe daher die Formulierung der beiden Phasen gewählt, die auf dieser Tabelle dargestellt ist.

Tabelle 1.

A. Anaerobe Phase



B. Oxydative Phase



In der anaeroben Arbeitsphase zerfällt das Glykogen glatt in Milchsäure über Glucose und zwar, wie ich im Anschluß an *Embden* annehmen möchte, auf dem Weg über Hexosediphosphorsäure. Auf der Tabelle ist der Zerfall von 5 Zuckeräquivalenten des Glykogens angenommen, von denen 4 sich mit Phosphorsäure verestern und 8 Moleküle Milchsäure bilden.

In der zweiten aeroben Phase verschwinden nun diese 8 Moleküle Milchsäure, während 2 von ihnen, oder wie wir ebensogut statt dessen annehmen können, ein Molekül Zucker verbrennt. Die Bedeutung dieser eigentümlichen gekoppelten Reaktion verstehen wir erst bei energetischer Betrachtung. Doch ehe ich mich dieser zuwende, ist es wichtig, hervorzuheben, daß dieser Tätigkeitsstoffwechsel des Muskels nichts für sich Bestehendes darstellt, sondern daß er nichts anderes ist, wie der gesteigerte Ruhestoffwechsel. Denn auch in der Ruhe schwindet im isolierten, in Sauerstoff befindlichen Muskel das Glykogen direkt durch Oxydation zu Kohlensäure und Wasser. Bringen wir aber einen ruhenden Muskel längere Zeit in Stickstoff, so häuft sich

während der Anaerobiose dauernd Milchsäure in ihm an. Vergleichen wir nun diese Milchsäureanhäufung mit der Menge Sauerstoff, die der Muskel unter aeroben Bedingungen in gleicher Zeit aufgenommen haben würde, so finden wir, daß sich etwa die dreifache Menge Milchsäure angehäuft hat (zwei- bis vierfache) als durch den Sauerstoff in gleicher Zeit hätte verbrannt werden können. Die Milchsäure ist also auch hier kein einfaches Zwischenprodukt des Zuckerzerfalls. In der Tat, bringen wir den Muskel nach längerer Anaerobiose in Luft zurück, so nimmt er ebenfalls eine bestimmte Menge Extrasauerstoff auf, die annähernd dem vorher in Wegfall gekommenen Sauerstoff gleich ist¹⁾. Gleichzeitig schwindet die Milchsäure wiederum in der Weise, daß der Hauptteil von ihr sich zu Glykogen zurückverwandelt, während nur ein Bruchteil oder die entsprechende Menge Kohlehydrat verbrennt. Der Vorgang ist also genau derselbe wie bei der Tätigkeit, nur verläuft die Milchsäureanhäufung viel langsamer. Wir können geradezu die Bedeutung der Ruheatmung des Muskels darin sehen, daß damit ein labiler Zustand der Milchsäureproduktion und Entfernung aufrecht erhalten wird, welcher auf einen Reiz hin momentan beschleunigt werden kann. Wahrscheinlich geschieht diese explosive Freisetzung der Milchsäure bei der Kontraktion dadurch, daß durch den Reiz die Durchlässigkeit von Membranen plötzlich erhöht wird, welche die Reaktionsteilnehmer vorher bis zu einem gewissen Grade getrennt haben. Die Ruheatmung des Muskels würde dann also im Dienste der Arbeitsbereitschaft stehen.

Daß nun in der Tat die Milchsäure unmittelbar mit der Kontraktion des Muskels verknüpft ist, können wir durch genauen Vergleich der anaerob geleisteten Arbeit mit der gebildeten Milchsäure feststellen. Als besten Ausdruck der Arbeitsfähigkeit des Muskels wählen wir hier entsprechend den Überlegungen von *Fick* und *Herrn Hill* die Spannung, die der Muskel, der an der Verkürzung gehindert ist, auf den Reiz hin entwickelt, d. h. die sogenannte isometrische Kontraktion. Lassen wir den Muskel anaerob bis zur Ermüdung arbeiten, so produziert er eine bestimmte Menge Milchsäure und entwickelt ein dieser Menge entsprechendes Maß an Spannung. Diese anaerobe Gesamtleistung kann sehr beträchtlich sein, z. B. kann ein Froschmuskel von 1 g Gewicht hierbei in 1000 Zuckungen insgesamt 160 kg Spannung produzieren.

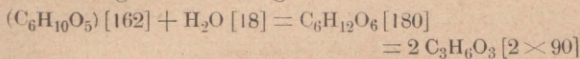
Daß es überhaupt zu einer Grenze kommt und daß die Arbeit nicht bis zur Erschöpfung des vorhandenen Glykogenvorrats fortgesetzt wird, hat, wie ich fand, eine sehr einfache Ursache. Man glaubte früher, und das dachten vor allem *Fletcher* und *Hopkins* selbst, die zuerst auf das

¹⁾ In neueren Versuchen ergab sich, daß dieser „nachgeatmete“ Sauerstoff immer etwas geringer ist als der in der Anaerobiose in Wegfall gekommene.

*) Glykogen.

sogenannte Ermüdungsmaximum aufmerksam wurden, daß dies bedingt wäre durch die Erschöpfung einer unmittelbaren Vorstufe der Milchsäure. Dies ist jedoch nicht der Fall, sondern es rührt von der Anhäufung der Säure im Muskel selbst her. Entziehen wir dem Muskel einen großen Teil der Säure durch Einlegung in eine Ringerlösung, die besonders reich an Bicarbonat ist, so produziert er bis zur totalen Ermüdung nicht nur sehr viel mehr Milchsäure, sondern auch ein entsprechendes Mehr an Arbeit. Bei Zusatz verschiedener Puffergemische zum Muskel ergab sich, daß die Erhöhung der Arbeitsleistung durch solche Zusätze fast genau parallel geht dem Prozentsatz von Milchsäure, der aus dem Muskel in die umgebende Lösung entweicht.

Die Bedeutung dieser chemischen Reaktionen wird aber erst klar durch die Betrachtung der energetischen Verhältnisse. In der anaeroben Arbeitsphase entsteht die Milchsäure aus Glykogen, und zwar 1 g Milchsäure aus 0,9 g Glykogen, da für die Bildung von je 180 g Milchsäure 18 g Wasser aufgenommen werden.



Die Verbrennungswärme des Glykogens beträgt nach den Messungen *Stohmanns* pro 1 g 4191 cal, das sind pro 0,9 g 3772. Da diese Messung mit noch etwas primitiven Hilfsmitteln vor etwa 30 Jahren ausgeführt war, erschien eine Neubestimmung erwünscht, zumal amerikanische Forscher einen etwas höheren, allerdings nicht sehr zuverlässigen Wert von 4227 cal pro 1 g gefunden hatten. Diese Neubestimmung wurde in Deutschland auf meinen Vorschlag von *Ginsberg*, einem Schüler von Prof. *Roth*, vorgenommen und gleichzeitig in Manchester von *Slater*. Im ersten Fall wurde die Messung von *Stohmann* vollkommen bestätigt, es ergab sich 4188 cal pro 1 g, d. h. 3769 cal pro 0,9 g. *Slater* dagegen, der ein abweichend hergestelltes Glykogen aus anderer Quelle benutzte, erhielt einen sehr viel höheren Wert, nämlich bezogen auf die obige Glykogenformel 3883 cal für 0,9 g. Ich werde nachher die Gründe anführen, die mich vorläufig veranlassen, den Wert von *Stohmann* und *Roth* als den richtigeren anzusehen. Die Verbrennungswärme der Milchsäure bestimmte ich aufs neue, da die Werte in der Literatur unzuverlässig erschienen, und erhielt 3601 cal für verdünnte Milchsäure, einen Wert, der im Institut von *Roth* gut bestätigt werden konnte und der auch mit dem der amerikanischen Autoren *Emery* und *Benedict* übereinstimmt. Wenn nun der chemische Vorgang bei der Kontraktion einfach so verlaufen würde, wie man noch kürzlich geneigt war, ihn sich vorzustellen, daß nämlich während der Arbeit Milchsäure aus Glykogen entsteht und in der Erholungsperiode glatt verbrennt, so würde nur die Differenz der Verbrennungswärme von 0,9 g Glykogen und 1 g Milchsäure, d. h. 170 cal bei

der Arbeitsleistung des Muskels frei; dagegen die Verbrennung der Milchsäure mit 3601 cal fiel in die oxydative Erholung. Ein solcher Prozeß, in dem lediglich 5 % der freigesetzten Wärme in die Kontraktionsphase fallen würde, erschien aber schon theoretisch höchst bedenklich und widersprach obendrein der Feststellung von Herrn *Hill*, daß die Wärmebeträge in der Arbeits- und Erholungsphase ungefähr von gleicher Größe seien. In der Tat war diese Überlegung der eigentliche Ausgangspunkt meiner Beschäftigung mit dem Muskelproblem. Der Vorgang ist ja nun auch ein ganz anderer. Es ergab sich mir zunächst in einer großen Zahl von Bestimmungen, daß im Muskel bei der Bildung von 1 g Milchsäure nicht 170 cal, sondern im Mittel etwa 375 cal frei werden, eine Zahl, die der von *Peters* (unter *Hill*) aus verschiedenen Versuchen früher errechneten — 450 cal — ziemlich nahe liegt. Ehe wir erörtern, woher die Abweichung gegenüber der Differenz der Verbrennungswärmen stammt, wollen wir zunächst die Energiebilanz der Erholungsperiode ausrechnen. Wenn, wie in der oberen Gleichung dargestellt ist und sich im Durchschnitt in meinen Experimenten ergab, von vier insgesamt verschwindenden Molekülen Milchsäure eins verbrannt (oder, was auf dasselbe herausläuft, ein Kohlehydratäquivalent von ihm), so müssen im ganzen für 1 g in Reaktion tretenden Zuckers oder 0,9 g Glykogen $\frac{3772}{4} = 943$ cal auftreten. Da wir nun 375 cal in der Arbeits- oder Ermüdungsperiode gemessen haben, müssen die übrigen, d. h. etwa 570 cal, in der Erholungsperiode erwartet werden. 40 % der Wärme müssen danach in der Arbeitsphase, 60 % in der Erholung auftreten. In der Tat ließ sich dies, jedenfalls der Größenordnung nach, recht gut bestätigen durch Messung der gesamten Wärmebildung in der Erholungsperiode und Vergleich mit dem Sauerstoffverbrauch. Es war danach 1. die über den Ruhewert hin gebildete Wärme der oxydativen Erholung etwa ebenso groß oder nur wenig größer als die anaerobe Wärme der Ermüdung des Muskels. 2. War diese Wärme, berechnet auf die Sauerstoffaufnahme, geringer, als der gleichzeitig nachweisbaren Verbrennung von Kohlehydrat entspricht. Es hätten nämlich pro 1 cem Sauerstoff bei Kohlehydratverbrennung 5 cal auftreten müssen; es traten jedoch nur 3,5 cal auf und im ganzen war gerade so viel Wärme in der Erholung in Wegfall gekommen als in der anaeroben Phase aufgetreten war.

Wir sehen zunächst, daß dieses Resultat gut übereinstimmt mit dem Befund von Herrn *Hill*, über den er soeben gesprochen hat: Die Wärme der Arbeits- und Erholungsphase sind von gleicher Größe. Aber dies Resultat läßt sich noch genauer präzisieren, sowohl durch die exaktere Analyse der Wärmebildung nach dem myothermischen Verfahren der Herren *Hill* und *Hartree*,

wie auch durch das Studium des Verhältnisses von Sauerstoffverbrauch zu Milchsäureschwund in der Erholung unter verschiedenen Bedingungen. Das Ergebnis dieser Versuche ist, daß der Quotient $\frac{\text{insgesamt verschwindende Milchsäure}}{\text{verbrannte Milchsäure}}$

nicht konstant ist, daß er bei ganz frischen Muskeln größer ist, nämlich 5 : 1 bis 6 : 1 betragen kann, und daß er etwa dieselbe Größe hat im lebenden Menschen, während ich gemeinschaftlich mit Dr. Meier im lebenden Frosch Werte zwischen 3 : 1 und 6 : 1 fand. Am Menschen ließ sich dies auf indirekte Weise im Laboratorium von Herrn Hill zeigen. Wir selbst erhielten unser Resultat am ganzen Frosch unter Benutzung der gleichen direkten Methoden wie im isolierten Muskel.

Eine solche Vergrößerung des Quotienten bedeutet aber, daß ein kleinerer Teil der Wärme in die Erholungsperiode fällt. Denn wenn z. B. erst von 6 Molekülen 1 verbrannt, so entstehen beim

Umsatz von 1 g Zucker $\frac{3772}{6} = 629$ cal, von denen 375 in die Ermüdungsphase, also 255 in die Erholungsperiode fallen. In diesem Fall würden also 60 % bereits in der Arbeitsphase frei und nur 40 % in der Erholung. Je nach dem Grade der Ermüdung und dem Zustand des Muskels scheint der Quotient zwischen diesen angegebenen Größen zu liegen, zwischen 6:1—3:1, ja unter ungünstigen Umständen ist er noch kleiner. Die Muskelmaschine arbeitet um so ökonomischer, je mehr Milchsäuremoleküle durch die Oxydation eines einzigen in Glykogen zurückverwandelt werden können. Daher stellt diese Zahl geradezu ein Maß für den Nutzeffekten des Erholungsvorgangs dar, sie bringt zum Ausdruck, wie viel von der Oxydationsenergie zu endothermen Prozessen, zur Verwandlung der Arbeitssubstanz in die Vorstufe verwandt wird. Dieser Nutzeffekt würde im Fall der oben (S. 182) verzeichneten Gleichung 40 % betragen, unter den günstigeren Bedingungen des ganz frischen Froschmuskels würde er 50—60 % sein. Auffälligerweise ist bei der Ruheatmung dieses Verhältnis kleiner, nämlich es wird schon von 2—3 verschwindenden Molekülen Milchsäure 1 verbrannt. Ja, wie meine neueren Versuche ergeben haben, wird durch zahlreiche Gifte und auch durch andere Schädigungen, die dem Tier vor der Tötung beigebracht werden, das Verhältnis weiter verschlechtert. Alle diese Umstände rufen also eine Vergeldung von Energie hervor.

Ein sehr wichtiges Problem knüpft sich nun an die Größe der anaeroben Kontraktionswärme selbst, die, wie wir sahen, durchschnittlich 375 cal beträgt, während die theoretischen Daten nur eine Differenz von 170 cal für den Übergang von Glykogen in verdünnte Milchsäure ergaben. Wie kommt dieser Unterschied zustande? Darüber ließ sich das folgende ermitteln. Wenn wir die Wärme- und Milchsäurebildung nicht im arbeitenden Muskel, sondern im zerkleinerten Muskelgewebe miteinander vergleichen, das in Phosphatlösung suspen-

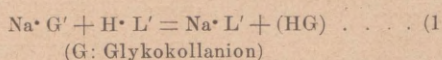
diert wird, so erhalten wir statt 375 cal etwa 200 cal pro 1 g und gleichzeitig tritt die Milchsäure in die Phosphatlösung über. Die Neutralisationswärme von Milchsäure mit Biphosphat beträgt aber pro 1 g 19 cal. Dazu kommt die Spaltungswärme des Glykogens in Milchsäure, 170 cal, zusammen 190 cal, was innerhalb der Fehlergenauigkeit mit dem von uns gemessenen Wert, 200 cal, übereinstimmt.

In ähnlicher Weise kann die Wärme auch im intakten Muskel verkleinert sein, wenn die Milchsäure zum erheblichen Teil in die umgebende Lösung übertritt. Man kann dies erreichen, wenn man die Ruhemilchsäurebildung in Muskeln von statten gehen läßt, die in einer carbonatreichen Ringerlösung suspendiert sind. Es kann die Hälfte der Milchsäure in die umgebende Lösung entweichen, und dann entstehen pro 1 g Milchsäure statt 375 cal nur etwa 280 cal, wobei die Wärme dauernd absinkt, entsprechend dem allmählichen Übertritt der Milchsäure in die Lösung. Noch deutlicher ist dieses Resultat, wenn man zunächst die unabgehäuteten Froschschenkel etwa 18 h lang bei 20—22° in Stickstoff läßt und dann nach Abhäutung in blausäurehaltige carbonatreiche Ringerlösung überträgt, die sich im Kalorimeter befindet. Bestimmt man jetzt für weitere 8 bis 10 Stunden die Wärme und Milchsäurebildung in der zweiten Hälfte der Anaerobiose, so erhält man im Durchschnitt nur noch 220 cal pro 1 g Milchsäure. Gleichzeitig tritt die ganze neu gebildete Säure in die Lösung über. Der Überschuß über die thermochemisch berechnete Wärme ist also an das Verbleiben der Milchsäure im Muskelinnern geknüpft und verschwindet nahezu vollständig, wenn die Milchsäure aus ihm entweicht.

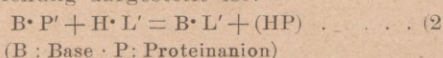
Diese besondere Wärmebildung, die die Milchsäure im lebenden Muskel hervorruft, ist aber an das Wasserion geknüpft. In der Tat rufen auch andere Säuren, die wir von außen in den Froschmuskel eindringen lassen, ganz erhebliche Wärmetönungen hervor, die von einer Milchsäurebildung im Muskelinnern unabhängig sind. So fand ich, daß beim Eindringen von Valeriansäure in den Muskel pro Mol Säure, das vom Muskel aufgenommen wird, bis 11 000 cal frei werden. Es entspricht dies auf Milchsäure umgerechnet, einer Wärmebildung von 120 cal pro 1 g. Diese Wärme ist nun, wie die nähere Analyse ergab, bedingt durch den Umsatz der Säure mit dem Gewebseiweiß. Dies Gewebseiweiß wirkt als Puffersubstanz und hält die Reaktion des Muskelinnern selbst bei starker Säureproduktion stets annähernd konstant. Ja, bei maximaler Ermüdung, wobei etwa 0,4 % Milchsäure im Muskel entstehen, verschiebt sich der Exponent der Wasserstoffionenkonzentration (p_{H}) nur von 7,5 bis 6,8. Bei dieser Pufferreaktion kommt es nun zu einer eigentümlichen Wärmebildung, die mit der Entjonisierung des Proteins verknüpft ist, zu einer umgekehrten Dissoziationswärme des Eiweiß.

Diese Verhältnisse lassen sich deutlich machen

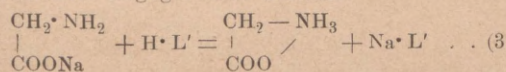
mit den Aminosäuren, die sich prinzipiell ebenso verhalten wie das Eiweiß, das ja aus Aminosäuren aufgebaut ist. Gehen wir z. B. aus von einer Lösung von Glykokoll mit Zusatz von Natronlauge, so befindet sich in der Lösung neben anderen Stoffen das Salz Glykokollnatrium, das wir als vollständig dissoziiert ansehen können und das in der folgenden Formel zur Abkürzung und das in der folgenden Formel zur Abkürzung und NaG geschrieben ist. Wenn wir nun Salzsäure oder Milchsäure oder eine andere nicht zu schwache Säure hinzufügen, so läuft die Reaktion ab:



Aus dem vollständig dissoziierten glykokollsauren Natrium entsteht die schwache, undissoziierte Säure Glykokoll, und bei dieser Reaktion messen wir eine positive Wärme von etwa 11 000 cal. Dies ist nichts anderes wie die umgekehrte Wärme der elektrolitischen Dissoziation des Glykokolls. Puffern wir nun ebenso eine konzentrierte Eiweißlösung, die frei ist von basischen Salzen, durch Zugabe von Natronlauge etwa auf $p_{\text{H}}8$ und geben auch jetzt wieder Milchsäure zu in einer Menge, daß die H -Ionenkonzentration sich kaum ändert, so läuft offenbar eine ganz entsprechende Reaktion ab, die in dieser zweiten Gleichung dargestellt ist:



Hierbei finden wir eine noch größere Wärmetönung, und zwar bei Muskeleiweiß in Gegenwart von Ammonsalz 12 650 cal. Diese Dissoziationswärme des Eiweiß ist die größte bekannte Dissoziationswärme einer Säure überhaupt. Ihre Ursache dürfte darin zu suchen sein, daß bei der Entjonisierung von Aminosäuren und Eiweiß eine Bildung von innerem Ammoniumsalz stattfindet nach dem hier angegebenen Schema.



Daß diese Annahme zutrifft, können wir vermittelst Formaldehyd feststellen. Durch Formaldehyd entsteht nämlich aus der Aminosäure eine Methylenverbindung von stärker sauren Eigenschaften. Gleichzeitig verschwindet die große Dissoziationswärme bei Zusatz von Säure nahezu restlos.

Die Dissoziationswärme von 12 600 cal pro Äquivalent gibt umgerechnet eine Wärmetönung von 140 cal pro 1 g Milchsäure. Da sich die Milchsäure im Muskel aber zu einem gewissen Teil auch mit Phosphat und Carbonat umsetzt, muß dieser Betrag noch etwas verkleinert werden. Vorhin zeigte ich, daß von den pro 1 g Milchsäure gebildeten 375 cal der anaeroben Kontraktion höchstens 170 auf die Spaltung des Glykogens in verdünnte Milchsäure entfallen. Es bleiben 200 cal. Von diesen sind maximal bis zu 140 durch die Dissoziationswärme des Eiweiß erklärbar. Es ergibt sich daher noch ein die Fehlergenauigkeit

der Versuche überschreitender Rest von über 60 cal, über dessen Deutung wir bisher nur Hypothesen aufstellen können. Von diesen erscheinen auf den ersten Blick drei möglich: 1. daß die Verbrennungswärme des Glykogens höher ist als angenommen, 2. daß noch unbekannte Nebenreaktionen stattfinden, 3. daß die Dissoziationswärme des Eiweiß im lebenden Muskel größer ist als in einer Lösung. Die erste Möglichkeit schien eine starke Stütze zu finden durch die Versuche von Herrn Slater, wonach das Glykogen eine um 100 cal größere Verbrennungswärme haben sollte, als der von mir angenommene Wert. Indessen konnte ich diese erste Möglichkeit recht unwahrscheinlich machen dadurch, daß ich die Spaltung des Glykogens vermittelst diastatischen Ferments zu Maltose und Traubenzucker bewirkte, deren Verbrennungswärmen gut bekannt sind, und die 3752 und 3742 cal betragen²). Zu meiner Überraschung ergab sich hierbei die Spaltungswärme gelösten Glykogens zu gelöster Maltose bzw. Maltose + Traubenzucker nur zu 5—10 cal pro 1 g Glukose (bzw. Maltose). In der Tat aber führten diese Messungen zu einer annähernden Übereinstimmung mit der von Stohmann bestimmten Verbrennungswärme des Glykogens, da nämlich die Lösungswärme des wasserfreien Glykogens pro 0,9 g etwa + 35 cal, die des Traubenzuckers pro 1 g minus 12,5 cal beträgt³). Für den Übergang von 0,9 g festen Glykogens in 1 g festen Traubenzucker ergibt sich daher experimentell etwa die Summe 6 + 35 + 12 = 53 cal. Das ist aber ungefähr die Differenz der beiden Verbrennungswärmen nach Stohmann, die, wie schon angegeben, für 0,9 g Glykogen 3772 cal und für festen Traubenzucker 3742 cal betragen⁴). Gleichzeitig ist mit diesem Resultat noch eine interessante Folgerung verknüpft. Wir haben manche Anhaltspunkte dafür, daß der eigentliche Arbeitsprozeß des Muskels nicht mit dem Zerfall des Glykogens selbst, sondern mit dem des Traubenzuckers oder der Verbindung Hexosephosphorsäure beginnt. Die Energie, die bei dem Übergang des Glykogens in die Hexose frei wird, ist dann für den Arbeitsprozeß verloren. Bisher konnte man annehmen, daß auf solche Weise etwa 30 cal vergeudet werden, also immerhin 8 % der ganzen Energie. Wir sehen jetzt aber, das als Folgen der positiven Hydratationswärme des Glykogens und der negativen Lösungswärme der Glucose der Übergang in gelösten Traubenzucker mit ganz geringer Wärmetönung verläuft. Dies Resultat steht in gutem Einklang mit der hervorragenden Ökonomie, die die Reaktionen der Lebewesen zeigen.

Von den vorhin erwähnten Möglichkeiten zur Erklärung des Restbetrages von über 60 cal

²) Für wasserfreie Substanz, aber stets bezogen auf die Formel $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

³) Die Lösungswärme völlig wasserfreier Maltose fand ich zu + 13 cal.

⁴) Bei Berücksichtigung der gebildeten Maltose wird die Übereinstimmung noch etwas besser.

bleiben somit nur die beiden letztgenannten übrig. Es haben sich bisher keinerlei Anhaltspunkte dafür gefunden, daß neben dem Kohlehydratstoffwechsel ein solcher von Eiweiß oder Fett am Kontraktionsmechanismus beteiligt ist, noch auch daß anorganische Verbindungen, wie etwa die Phosphorsäure, bleibende Änderungen durch die anaerobe Ermüdung erleiden. Danach neige ich zu der dritten der oben genannten Hypothesen, daß nämlich das Eiweiß im lebenden Muskel eine höhere Dissoziationswärme hat als in Lösung: diese Annahme wird durch die Überlegung gestützt, daß das Baumaterial der Muskelmaschine aus Protein besteht, während die Kohlehydrate das Brennmaterial darstellen. Irgendwie muß die Oxydationsenergie des Brennmaterials in den Maschinenmechanismus selbst eingreifen. Dies ist nun in der Tat bei der Entionisierung des Muskelproteins der Fall. Die Oxydationsenergie wird erst in der Erholungsperiode wirksam, und hierbei wird infolge der Koppelung der Oxydation mit der Resynthese der Milchsäure nicht allein der endotherme Prozeß des Wiederaufbaus des Glykogens geleistet, sondern es wird das Alkali aus dem verschwindenden Alkalilaktat frei und dies führt die endotherme unfreiwillige Dissoziation der Muskelproteine herbei. Hiermit wird also die Maschinensubstanz selbst wieder in den Zustand der Arbeitsfähigkeit gesetzt. Wir können gerade diesen Vorgang recht eigentlich als die Aufladung des Akkumulators ansehen, die Herr Hill als Bild zur Deutung der Erholungsreaktion

herangezogen hat oder, wenn wir wollen, als das Aufziehen des Schlagwerks einer Uhr, wie ich es öfters bezeichnet habe. Es würde daher theoretisch gut stimmen, wenn ein relativ großer Teil der ganzen Energie auf diesen Vorgang entfallen würde. Doch müssen wir die endgültige Aufklärung dieses Punktes der Zukunft überlassen.

Wir dürfen aber schon jetzt sagen, daß die Entionisierung des Proteins durch die bei der Tätigkeit des Muskels gebildete Milchsäure zweifellos eine hervorragende Rolle im Mechanismus der Kontraktion spielt. Sie erklärt vor allem die Erschlaffung des Muskels nach der Verkürzung, die unter anaeroben Bedingungen trotz der Anwesenheit der Milchsäure eintritt. Diese Erschlaffung würde durch nichts weiter bedingt sein, als durch die Abstumpfung der Azidität der Milchsäure, wie wir umgekehrt die H-Ionen für die Auslösung der Verkürzung verantwortlich machen würden. Ja der von Hill und Hartree gefundenen „Erschlaffungswärme“, wenn sie auch durch Überlagerung verschiedener chemischer und physikalischer Vorgänge entstanden zu denken ist, liegt offenbar zur Hauptsache diese Entionisierungswärme des Eiweißes zugrunde.

Ich glaube daher, daß wir auf diese Weise ein verhältnismäßig einfaches und befriedigendes Bild von den Energieumwandlungen im Muskel erhalten haben, dessen weitere Ausgestaltung sowohl von theoretischem Nutzen als von praktischem Interesse sein wird.

Über die Bedeutung der aufrechten Körperhaltung für die Eigenart des menschlichen Umweltbildes.

Von Hans Petersen, Gießen.

Daß die aufrechte Körperhaltung des Menschen eine der Grundbedingungen ist, vielleicht die ursprünglichste, für die besondere Stellung, die er in dem lebendigen Kleid unseres Planeten einnimmt, ist seit langem der Wissenschaft vom Menschen, als eines tierischen Organismus nach Art der Säugetiere, geläufig. Es ist immer wieder reizvoll, sowohl den Mitteln für diese Haltung, die im Bewegungsapparat verwirklicht sind, nachzugehen, als auch den Folgen, die sie für die besondere biologische Eigenart des Menschen nach sich zieht. Es sei gestattet, hier einen Gedankengang zu entwickeln, der die Bedeutung dieser Haltung innerhalb der Probleme verfolgt, die die körperlichen Grundlagen unserer Sinnesleistungen betreffen.

J. v. Üxküll hat den Begriff der *Umwelt* eines tierischen Lebewesens eingeführt (1). Jedes Tier lebt in einer eigenen Welt, die aus ihm selbst und seiner Umwelt besteht. Nur die Bestandteile unserer menschlichen Welt sind gleichzeitig Bestandteile *seiner* Umwelt, die mit den Organen seines Körpers in Wechselwirkung

treten. Diese Umwelt enthält Bestandteile, auf die das Geschöpf einwirkt, sie sind seine *Wirkungswelt*, andere, von denen es selbst eine Einwirkung erleidet, sie bilden seine *Merkwelt*. *Wirkungswelt* und *Merkwelt* setzen die *Umwelt* des Tieres zusammen.

Die Umwelt ist also eine Funktion (im mathematischen Sinne des Wortes) der Organisation des betreffenden Tieres. Wenn wir studieren, wie diese Funktion des näheren beschaffen ist, wie das Tier in seine Umwelt eingepaßt ist, wie die Verzahnung sozusagen zwischen ihm und seiner Umwelt hergestellt ist, so analysieren wir dabei seine Organisation und deren Leistungen unter einem Gesichtspunkt, den wir den *spezifisch biologischen Gesichtspunkt* nennen können. Wenn wir dem Schlagwort einer besonderen „biologischen“ Einstellung unserer wissenschaftlichen Gedankengänge einen klaren Inhalt zu geben versuchen, so können wir jene oben angedeuteten v. Üxküllschen Begriffe als Angelpunkt dieser Einstellung bezeichnen. Auch die Wissenschaft von der körperlichen nicht nur, sondern auch von

der psycho-physischen Organismen des Menschen können wir in dieser Weise „biologisch“ betreiben.

Auch die menschliche Umwelt, die Welt schlechthin, wie wir sie, von unserem Standpunkt aus mit Recht, zu nennen belieben, ist eine Funktion seiner Organisation. Eine übergeordnete Welt, aus der sie einen Ausschnitt darstellt, können wir uns allerdings nicht ausmalen. Um so mehr sind wir imstande, aufzuzeigen, wie unsere Welt durch unsere Organe bedingt ist, und es soll im folgenden versucht werden, zu zeigen, daß die Reichhaltigkeit der menschlichen Welt und die durchgängige Verknüpfung ihrer Bestandteile, sowohl innerhalb der Merk- und Wirkungswelten, wie auch zwischen beiden, zu einem guten Teil durch unsere aufrechte Körperhaltung bedingt ist. Wir können diese Umwelt kurz kennzeichnen, als eine Welt räumlich geordneter Gegenstände oder Dinge, die für sich eine selbständige Existenz besitzen. Zu einem einheitlichen Bild zusammengefaßt, bezeichnen wir sie als *einen von Dingen oder Gegenständen erfüllten Raum*.

Der wichtigste Erfolg der aufrechten Körperhaltung ist die Befreiung der vorderen Extremität von der Fortbewegung und allen Trag- und Stützleistungen für den Körper. Sie ist damit das allverwendbare Werkzeug geworden, das, freibeweglich, oben an der Bein-Rumpfkonstruktion angehängt ist. Dieses Instrument — und das gilt zuweilen für ein und dieselbe Person — ist zu den stärksten Krafterleistungen befähigt, die sich sehr wohl mit den gewaltigen Muskelleistungen anderer Säugetiere messen können, wie auch der feinst abgestimmten und sicher geführten Bewegung, des zartesten Pinselstriches und des leisesten Tastenanschlags. Das ist jedem geläufig.

Nicht so geläufig ist es, daß die, am gegliederten Stiel des Armes sitzende Hand, man darf wohl sagen, unser *weitwichtigstes Sinnesorgan* ist. Unser wichtigstes ist das Paar unserer Augen. Nur die tastende Hand kann dem Blinden einigermaßen für seinen Verlust einen Ersatz bieten. Ein Blinder ohne Hände erst ist völlig und hoffnungslos hilflos.

Man kann die beiden Arme des Menschen geradezu als *ein Paar Fühler* bezeichnen, die er durch die Beschränkung der Fortbewegung auf die Beine gewonnen hat. Diese Tastfühler haben in der Tierwelt nicht ihresgleichen. Die Fühler der Gliedertiere, der Krebse und Insekten sind allein oder in erster Linie Organe eines chemischen Sinnes, sind beweglich gestielte Nasen, durch die die auf chemische Reize ansprechenden Erregungen in einer Weise, die wir uns nicht genauer vorstellen können, mit Bewegungsempfindungen kombiniert und in eine räumliche Ordnung gebracht werden (2).

Zu diesen Leistungen als Sinnesorgan wird die Hand durch eine Reihe von Organen zur

Reizaufnahme befähigt, die zwar dem übrigen Körper nicht fehlen, aber z. T. wie die Drucksinnesorgane in besonderer Menge an ihr vorhanden sind. Es sind dies die Organe des Hautsinnes, vor allem die für Berührung und Druck.

Auf eine eingehende Darstellung der Sinnesleistungen der Haut kann hier verzichtet werden. Es sei auf die Lehrbücher der Physiologie verwiesen (3) und vor allem auf das jüngst erschienene Buch von *v. Kries* (4).

Die uns zum Bewußtsein kommenden Berührungen unserer Haut bilden ein räumlich geordnetes System. Sie sind gleichsam eingetragen in ein *Feld* und dieses Feld ist unsere, auf diese Weise in den Bereich unserer Wahrnehmung kommende Körperoberfläche. Es ist nach *v. Kries* ein strittiges Problem, ob diese Ordnung eine primär räumliche ist oder erst durch irgendwelchen Zusammenhang mit der optisch gewonnenen Raumvorstellung in eine solche gebracht wird. Dabei ist an ein unmittelbares Kennenlernen der berührten Körperstellen durch gleichzeitige Augenkontrolle natürlich nicht zu denken, denn nur der kleinere Teil der Körperoberfläche ist dem Auge des nicht mit einem Spiegel bewaffneten Menschen zugänglich. Vor allem kann das ganze Gesicht nicht selbst beobachtet werden und gerade hier ist die Lokalisation sehr fein.

Es ist in der deutschen Sprache nicht üblich, diese Fähigkeit, Berührungsempfindungen der Haut auf bestimmte Stellen zu lokalisieren, als „Tasten“ zu bezeichnen. Wir sprechen von „Tasten“ als einer Tätigkeit, und nur dann, wenn wir willkürliche Bewegungen in Kombination mit Berührungsempfindungen erleben, insbesondere solche Bewegungen ausführen, um jene Empfindungen zu gewinnen. Über die Bewegungen unserer Körperteile und ihre Lage zueinander sind wir jederzeit unterrichtet. Diese Kenntnis wird vermittelt teilweise durch die Haut, ferner durch Reize, die innerhalb der bewegten Glieder, in den Gelenken, den sich bewegenden Muskeln selbst, aufgenommen werden. Man bezeichnet diese Empfindungen als *kinästhetische Empfindungen*. Wenn wir „tasten“, haben wir also gleichzeitig kinästhetische und Berührungsempfindungen, und zwar die ersteren in der besonderen Form der Ausführung willkürlicher Bewegungen.

Wenn nun auch durch zahlreiche physiologische Experimente bekannt ist (5), daß beim Tasten die Fähigkeit, verschiedene berührte Stellen der Haut voneinander zu unterscheiden, eine bedeutende Rolle spielt, so kommt doch in dem beim Tasten erlebten Bewußtseinsinhalt die berührte Hautstelle entweder gar nicht oder doch nicht als wesentlicher Bestandteil zur Geltung. Dies fällt schon dadurch auf, daß es erst einer Besinnung bedarf, um zu beurteilen, ob der Finger, mit dem wir tasten, z. B. der Zeige- oder der Mittelfinger ist, während, wenn sich z. B. eine

Fliege irgendwo auf meinem Körper niederläßt, die genaue Wahrnehmung der Stelle, wo dieses stattfindet, sozusagen im Mittelpunkt meiner Wahrnehmung steht. Am deutlichsten aber wird diese verschiedene Verwendung desselben Hautsinnes, wenn wir beim Tasten ganz offenbar falsch lokalisieren. Das betrifft zwei wichtige Arten des Tastens, nämlich die mit dem Fingernagel und die mit einem in die Hand genommenen Gegenstand. Im ersteren Falle gelingt eine andere Lokalisierung der Berührung an eine andere Stelle als die Nagelspitze überhaupt nicht, und doch ist die hörnerne Nagelplatte ein toter Körper, an dem ich schneiden und feilen kann. Die Empfindung wird mit dem Nagelbett und dem Nagelfalz aufgenommen. Ich erlebe aber mit dem besten Willen nichts anderes, als daß ich mit der Nagelspitze taste. Beim Benutzen des Stockes oder der Sonde ist es ähnlich, auch hier lokalisiere ich höchst merkwürdigerweise meine Tastempfindung in die Stockspitze und nicht an die Stelle der Hand, mit der ich den Stock festhalte. Einem in solchen Beobachtungen nicht Geschulten muß man erst sagen, daß er nicht mit dem Stock, sondern mit der Hand taste.

Es gibt also zwei Einstellungen, unter denen wir die Berührungsempfindungen der Haut für unser Dasein verwerten und deren Unterscheidung für die „biologische“ Betrachtung des Menschen bedeutsam wird. Man kann sie bezeichnen als eine *Einstellung auf den Körper* und als eine *Einstellung auf die Umwelt*. Die letztere tritt auf beim „Tasten“, d. h. bei der Kombination willkürlicher Bewegungen mit den dadurch hervorgerufenen Berührungsempfindungen. Dabei ist einmal das Wissen um die willkürliche Bewegung nach Richtung und Größe, vor allem aber auch der Widerstand bedeutsam, den diese Bewegung findet und der sie z. T. verhindert (Undurchdringbarkeit des festen Körpers). Nur diese letztere Einstellung oder Verwendungsart wird zum Aufbau der *Umwelt* verwandt. Die erstere hat ihre Bedeutung vor allem in einer Schutzleistung, indem Angriffe gegen die Haut, z. B. durch stechende Insekten¹⁾, wahrgenommen und abgewehrt werden können.

Wir haben also jetzt den Begriff des Tastens gewonnen, als eines Erlebnisses, das aus einer Kombination von willkürlichen Bewegungen und von Sinnesindrücken besteht. Diese Abgrenzung ist von unserem biologischen Standpunkt, wie wir ihn oben gekennzeichnet hatten, notwendig. In rein physiologischen Erörterungen ist sie nicht üblich, da hier der Sinn als solcher, nämlich das

Wahrnehmungsvermögen von Berührungsreizen überhaupt, in Frage steht, nicht deren Verwendung in der menschlichen Naturgeschichte. Für unsere weitere Erörterung ist nun wichtig, daß diese Tastfunktion zum *Aufbau einer Umwelt aus tastbaren Gebilden* führt. Wir bezeichnen sie als die *getastete Umwelt*.

Wenn wir auch die meisten Körperteile mit einigem Erfolg zum Tasten verwenden können, so kommen doch als eigentliche Tastorgane beim Menschen nur die Extremitäten und die Zunge in Betracht. Die tastende Tätigkeit der letzteren beschränkt sich auf das Innere der Mundhöhle, wo diese selbst und die in sie eingeführte Nahrung mit der Zunge untersucht werden. Die Tastfunktion der Beine beschränkt sich auf die Untersuchung des Bodens in seiner Eigenschaft als Unterlage für die Fortbewegung. Jedes Gebirgstier ist dem Menschen hierin bedeutend überlegen. Die durch Zunge und Beine gelieferten Bestandteile der getasteten Umwelt sind wenig mannigfaltig und heben uns in keiner Weise über das Niveau der übrigen Säugetiere hinaus.

Unser eigentliches Tastorgan sind die Hände. Sie liefern uns, wenn wir sie zum Tasten verwenden, eine Umwelt von außerordentlicher Reichhaltigkeit. Die getastete Umwelt bildet ohne Zweifel eine Mannigfaltigkeit von mehreren Dimensionen. Es ist jedoch fraglich, ob sie an und für sich als eine räumliche Mannigfaltigkeit bezeichnet werden kann und ob nicht erst durch eine Beziehung auf das durch das Sehorgan gelieferte räumliche Mannigfaltigkeitssystem eine räumliche Ordnung der getasteten Umwelt zustande kommt (vgl. v. Kries).

Ein Beispiel mag erläutern, was damit gemeint ist. Wir kennen unsere eigenen Zähne durch die Untersuchung mit der Zunge sehr genau mit allen Einzelheiten, Lücken, Ecken, kariösen Stellen, Plomben usw. Es ist uns jedoch nicht möglich, diese Kenntnisse zu einer Gesamtanschauung unseres Gebisses zusammenzusetzen. Wollen wir uns die Form z. B. einer Plombe vergegenwärtigen, so müssen wir die Sprache der Tastwelt gleichsam in die der optischen übersetzen. Vielleicht spielen hier gewisse Gestaltungsprobleme eine Rolle (6). Die Tasteindrücke bleiben summenhaft, aufgereiht gleichsam auf der Zeitkoordinate und jede immer nur mit der zeitlich benachbarten durch Richtungszeichen verbunden. Formen, Ganzheiten, Gestalten kommen in der getasteten Welt nicht vor. Höchstens kann das Einzeltasterlebnis Gestaltcharakter haben. Die in der Tastwelt vorkommenden Richtungszeichen sind stets an etwas Zeitliches gebunden und können keineswegs als Koordinaten *eines einheitlichen* Raumes angesprochen werden.

Wenn optische Erlebnisse in dieser Weise mit Zeitunterschieden gekoppelt sind, so kommt eine Erlebnisreihe zustande, die mit dem, was die nur getastete Umwelt charakterisiert, große Ähnlichkeit hat. Man hat z. B. ein Gelände durch-

1) Wir müssen stets im Auge behalten, daß die psycho-physische Organisation des Menschen nicht für oder durch das Leben des Europäers in der Großstadt erworben wurde, sondern für ein Leben in der freien Natur, ohne die Hilfsmittel der Kultur. Die Leistungen der ererbten psycho-physischen Organisation ermöglichen die Kultur, aber sie setzen sie nicht voraus.

wandert, zeichnet den Weg mit dem Bleistift auf und kommt erst in dieser Weise auf einem Umwege, durch Ausschaltung der zeitlichen Verknüpfung der einzelnen erinnerten Geländeteile zu einem Gesamtbild, einer Landkarte. In ganz ähnlicher Weise könnte man das zu Papier bringen, was einem die tastende Zunge über den Zustand der Innenseite des eigenen Gebisses lehrt. Man bezeichnet optische Erlebnisse ähnlicher Art direkt mit dem Ausdruck „Tasten“. Ein solches Tasten ist auch die Durchmusterung eines mikroskopischen Präparats mit einer stärkeren Vergrößerung, wie das geschieht, wenn man etwa Tuberkelbazillen in einem Sputumausstrich sucht. Man weiß schließlich ganz gut in dem Präparat Bescheid, aber eine Gesamtvorstellung der Anordnung seiner Teile erhält man nicht. Die einzelnen Teile, die man gleichzeitig in das Gesichtsfeld bekommt, bilden eine zeitlich geordnete, durch Richtungszeichen miteinander verbundene Reihe. In allen den genannten Fällen bleiben die Erinnerungsbilder an einem Zeitfaden aufgereiht und können nur dadurch zu einem Gesamtbilde verschmolzen werden, wenn man diesen Faden, mit dem Bleistift in der Hand, wieder abhaspelt. Um noch andere nur getastete und nicht oder nur selten gesehene Bestandteile der menschlichen Umwelt zu nennen, so sei an das Innere der Kleidertaschen oder den Raum unter der Bettdecke, wenn man im Bette liegt, erinnert.

Die getastete Umwelt ist also von der gesehenen Umwelt verschieden, und zwar ist sie in gewisser Weise unvollkommen. Sie ist nicht in einen einheitlichen homogenen Raum von drei Dimensionen eingeordnet. So fehlen ihr die Formen und die Überblicke und sie gewinnt diese nur durch eine Übersetzung in das Mannigfaltigkeitssystem des Sehorgans. Was aber der getasteten Umwelt *in hohem Grade* eignet, ist „Realität“. *Wirklichkeit* ist uns in erster Linie die „greifbare Wirklichkeit“. Den nur optischen Umweltbestandteilen haftet etwas gleichsam Theoretisches an, etwas, das zur phantastischen Ausdeutung verleitet. Man denke an Sonne, Mond und Sterne und ihr Verhältnis zur greifbaren Wirklichkeit.

Getastete und gesehene Umwelt sind also zwei sehr verschiedene Welten, und was nun in dieser Auseinandersetzung besonders hervorgehoben werden soll, ist die Tatsache, daß wir Menschen und *nur* wir Menschen durch unsere aufrechte Körperhaltung mit den bauchwärts, d. h. bei uns nach vorn gerichteten Augen und den ebenso nach bauchwärts-vorn frei beweglichen Vorderextremitäten in der Lage sind, die beiden Welten, die getastete und die gesehene Umwelt unmittelbar und Punkt für Punkt zur Deckung zu bringen.

Unser Gesichtsfeld ist binocular und sowohl hierdurch, wie auch durch die aus der Benutzung des Akkomodationsapparates fließenden Empfindungen eine dreidimensionale, *räumliche* Mannigfaltigkeit. Wie weit der Bogengangapparat an

dem Zustandekommen des Sehraumes mitbeteiligt ist, mag hier unerörtert bleiben (vgl. *v. Kries*). Der Koordinatenanfangspunkt des optischen Raumsystems ist der Mittelpunkt der Verbindungslinien der beiden Augendrehpunkte. Auf diesen Punkt beziehen wir unsere Blickrichtung, in ihm schneiden sich die drei Ebenen, die unsere drei persönlichen Koordinatenpaare bestimmen, oben und unten, rechts und links, vorn und hinten. Es ist der Punkt, in den ich gleichsam mein Ich in den Raum lokalisiere.

Unsere beiden Tastfühler, die beweglich gestalteten Hände, erlauben uns nun, die mit ihnen ertastete Umwelt in dieses Koordinatensystem einzutragen. Wir stellen eine *Punktinkoinzidenz* her zwischen der getasteten und der gesehenen Umwelt, zwischen zwei an und für sich getrennten und heterogenen Mannigfaltigkeitssystemen. Unser Raum ist *gleichzeitig* ein *Seh- und Tast-raum*, und daß das der Fall ist, verdanken wir unserer aufrechten Körperhaltung, die uns die tastenden Hände für diese Art der Benutzung zur Verfügung stellt.

Wir haben bisher von dem Teil der Umwelt gehandelt, den wir als Merkwelt bezeichneten, und dem Zusammenfallen der gesehenen und getasteten Merkwelt. Die Hand ist aber gleichzeitig unser wichtigstes Werkzeug und der Kopf ist, bis auf einzelne Fälle bei der Nahrungsaufnahme, von jeder Werkzeugleistung befreit*). Der Kopf, mit den Augen darin, kann also zuschauen, was die Hände machen, und bleibt selbst unbeteiligt. Die Bearbeitung der Gegenstände unserer Wirkungs-welt vollzieht sich innerhalb des Sehfeldes. Die Gleichzeitigkeit von Betrachten, Betasten und durch Bearbeitung für das Betrachten und Betasten verändern, kann als die Grundlage unserer besonderen menschlichen Umwelt bezeichnet werden. In dieser Welt sind die Bestandteile der Merkwelt und der Wirkungs-welt aufs allerengste verknüpft. Die Punkte der Seh-, Tast- und Wirkungs-welt fallen *unmittelbar, nicht erst durch Kombination zeitlich getrennter Erfahrungen* zusammen. Die Bestandteile dieser Welten sind zu Einheiten, den Dingen oder Gegenständen verschmolzen, an denen die Zugehörigkeit zu diesen verschiedenen Welten als *Eigenschaften desselben Dinges* in die Erscheinung tritt. Ein gesehenes, getastetes und bearbeitetes Stück des Rauminhaltes wird so zu *demselben* Ding, das ich sehen,

*) Bei der Beurteilung dieser Werkzeugfunktion des Kopfes muß man auf die beteiligten Muskelgruppen und Gelenke achten. Auch wir benutzen unsere Zähne und Kiefer zum Kauen. Dabei werden aber nur Kiefergelenk und die dieses bewegenden Muskeln zu wirklicher Arbeit benutzt. Der Kopf als ganzes bleibt frei und auf dem Halsstiel beweglich. Vielleicht kann man so das Essen des Menschen im Gegensatz zum Fressen des Tieres unterscheiden. Die Zufuhr der Nahrung zum Munde geschieht nicht durch Kopfbewegungen, sondern durch solche der Hände, und der Kopf bleibt als Sinnes-träger frei. Bei der eigentlichen Werkzeugfunktion des Kopfes wird der Kiefer als Zange und der Hals als Stiel dieser Zange benutzt, die Leistung liegt wesentlich auch in den Halsmuskeln und Halsgelenken.

tasten und bearbeiten kann. Man geht nicht fehl, wenn man diesen Gegenstandsbegriff als die Grundlage unseres menschlichen Daseins, also auch unserer Kultur bezeichnet.

Wir hatten oben angedeutet, daß der getasteten Umwelt in besonderem Grade der Begriff des „Wirklichen“ anhaftet. Das „Hier“ und das „Jetzt“ ist der Angelpunkt für jeden Begriff der Wirklichkeit (*Lipps*). Dabei bedeutet das Hier, daß ich im Bereich meines deutlichsten Sehens meinen Finger auf einen Punkt lege. Ich nenne ein Etwas zu allererst dann wirklich, wenn ich innerhalb meines Gesichtsfeldes meine Hand darauf legen kann.

Es ist bekannt, daß die kritische Physik den Nachweis einer Tatsache, die *Verifikation* einer Theorie oder Voraussage in der Herstellung oder Beobachtung von raum-zeitlichen Punktkoinzidenzen (7) sieht. Wir sehen jetzt, daß dieser Tatbestand durchaus in der biologischen Grundlage unseres Weltbildes wurzelt, der Umwelt, in der uns unsere Organisation leben läßt. Das Urbild des verifizierenden Experimentes ist, daß die Theorie, die das Auge liefert, durch die tastende und versuchende Hand verifiziert wird. Das Spiegelbild ist uns, obgleich optisch vom Gegenstande nicht verschieden, kein wirkliches Ding, da die Hand es nicht greifen kann. Es ist verschiedentlich berichtet worden, daß der Primitive, der zuerst mit dem Spiegel bekannt wird, hinter diesen zu greifen sucht, um die Realität des Gesehenen zu erhärten. Das Zusammenwirken von Augen und Händen ist die wichtigste Eigentümlichkeit unserer menschlichen Organisation.

Wenn wir die menschliche Umwelt kennzeichnen wollen, so können wir unsere bisherigen Erörterungen dahin zusammenfassen, daß wir sagen: Mit unseren Augen und unseren Händen bauen wir Menschen unsere Umwelt auf.

Die vorhergehenden Betrachtungen werden erst völlig deutlich und das Zusammenwirken der Augen mit den Händen tritt als eine durch die aufrechte Körperhaltung bedingte besondere *menschliche* Eigenart hervor, wenn wir versuchen, uns klar zu machen, wie *andere*, uns im allgemeinen ähnliche Geschöpfe in dieser Hinsicht daran sind. Denken wir an einen Vierfüßler, dessen Tastapparat an der Schnauze sitzt, wie das beim Rüssel des Schweines der Fall ist. Ein solches Tier ist nicht imstande, unmittelbar, d. h. in der Gleichzeitigkeit, im Jetzt, Tast- und Gesichtsempfindungen zur Deckung zu bringen. Die Gesehene und die getastete Umwelt fallen immer zeitlich auseinander. Will das Tier durch Betasten mit der Schnauze verifizieren und das Gesehene weiter kennen lernen, so muß es sein ganzes, im Kopf befestigtes Koordinatensystem verschieben und mitgehen lassen und in den meisten Fällen verschwindet das Gesehene dem Auge, wenn der Tastapparat in Tätigkeit tritt, oder er rückt doch an eine Stelle des Gesichtsfeldes, die für die genaue Betrachtung ungünstig

ist. Das vierfüßige Tier befindet sich immer in der Lage wie ein Mensch, der etwas in einer Röhre, in die er nicht gleichzeitig hineinlangen und hineinschauen kann, zu bearbeiten gezwungen ist. Wir sagen dann, er muß „blind“ vorgehen und jeder kennt diese Sachlage von einem Nagel, der im Innern des Schuhs zum Vorschein kommt und der untersucht und beseitigt werden soll. Jeder Mikroskopiker weiß, wie störend es ist, wenn man das Gesehene nicht gleichzeitig „tastend“ untersuchen und bearbeiten kann, wie belehrend die Untersuchung eines Embryos z. B. mit einer feinen Sonde unter dem binokularen Mikroskop ist. Ist doch ein besonderer Apparat erfunden worden, der „Mikromanipulator“, um etwas Ähnliches auch für starke Vergrößerungen zu ermöglichen.

Auch ein Huhn ist in ähnlicher Lage, wie ein vierfüßiges Tier. Sein Hauptsinn ist wohl das Auge, aber wenn es zupickt, so verschwindet der Gegenstand zum mindesten im letzten Teil der Bewegung aus dem Gesichtsfeld. Die Bearbeitung eines großen Brotstückes vollzieht sich in dem charakteristischen abgehackten Rhythmus von Sehen, Picken, Sehen, Picken usw. Auch die Umwelt des Huhnes ist also ein Sack, in den man nicht gleichzeitig hineinsehen und hineingreifen kann.

Etwas untersuchen in unserem menschlichen Sinne kann ein vierfüßiges Tier, ein Hund z. B. die Dinge seiner Umwelt nicht, und es ist sicher, daß diese Umwelt, ganz abgesehen von der besonderen Bedeutung, die der Geruchssinn für ihn hat, ganz anders aufgebaut ist. Die gerochene, gesehene und bearbeitete Umwelt (mit Maul und Zähnen) müssen bei ihm in einem anderen Zusammenhang erscheinen, da sie stets zeitlich auseinanderfallen. Ob also seine Umwelt aus individualisierten Gegenständen besteht, die man sehen, fassen usw. kann und nicht aus Gesicht-, Tast- usw. Komplexen, deren Zusammenhang ein mehr theoretischer ist, ist zunächst durchaus fraglich.

Wir haben vorhin erwähnt, daß für die Bedeutung unserer Hände in der Wirkungswelt die Befreiung unseres Kopfes von der Werkzeugfunktion von größter Bedeutung ist. Die Fälle, in denen der bearbeitete Gegenstand mit den Zähnen gehalten oder umgekehrt, der mit den Händen gehaltene mit den Zähnen bearbeitet wird, zeichnen sich nicht durch Feinheit der Arbeit aus. Der Gegenstand liegt und bewegt sich ungünstig im Gesichtsfelde. Jede Tätigkeit, bei der der Kiefer in der erwähnten Weise zu Hilfe genommen wird, erscheint uns „tierisch“, und das mit Recht, denn wir geben die Vorteile unserer spezifisch menschlichen Organisation dabei auf. Menschlich ist es, mit den Händen zu arbeiten und den Kopf nur als Augenträger zum Zuschauen zu benutzen.

Sowie nun die Punktkoinzidenz für den Tastapparat, das Werkzeug und das Auge wenigstens

zeitweilig hergestellt wird, verliert das betreffende Tier für uns etwas von seiner Fremdartigkeit und erhält in seinem Gebaren etwas Menschenähnliches. Das gilt schon für einen Elefanten, der mit dem an seiner Rüsselspitze befindlichen Finger die Dinge in ähnlicher Weise zu untersuchen pflegt, wie der Mensch mit seiner Hand. Bei baumbewohnenden Tieren werden die Vorderextremitäten vielfach als „Hände“ benutzt und im Verein mit den nach vorn gerichteten Augen und dem frei getragenen Kopf bekommen viele solche Tiere eine menschenähnliche Erscheinung (Halbaffen, z. B. Tarsius).

Auch bei einem Eichhörnchen, das seine Pfoten als Hände benutzt, ist das der Fall. Dieses Tier ist aber gleichzeitig ein gutes Beispiel, um den Unterschied der Funktion der Körperteile bei der Bearbeitung eines Gegenstandes gegenüber dem Menschen zu veranschaulichen.

Die Handwerker von Völkern, die über die durchgearbeiteten Hilfsmittel unserer technischen Zivilisation nicht verfügen, benutzen vielfach die Füße mit zum Halten des Werkstückes. Der Arbeitende hockt dabei in der bekannten Art mit gebeugten Knien auf dem Boden und seine Haltung ist ganz ähnlich, wie bei dem eben erwähnten Eichhörnchen. Aber dessen Werkzeug bleibt doch der Kopf mit den Kiefern. Es müßte seine Arbeitsweise um ein Extremitätenpaar nach hinten schieben, um wirklich menschenähnlich vorzugehen. Wir sehen, das Menschsein beruht auf der besonderen Organisation des ganzen Menschenkörpers und das menschliche Gehirn allein, ohne die menschlichen Hände und ohne den bei den Leistungen des übrigen Körpers völlig freigehaltenen Kopf, würde uns nicht viel nützen.

Die Benutzung der Hände zu tastenden Werkzeugen ist am meisten vorgeschritten bei den Affen, die gerade darum menschenähnlich sind. Die Ähnlichkeit des Kopfes und des Gesichtes macht es nicht allein. Am menschenähnlichsten sind auch hierin die Anthropoiden. Es wäre jedoch sehr zu überlegen, ob die mancherlei Seltsamkeiten, die am Gebaren des Schimpansen (9) zu beobachten sind, nicht nur einfach darauf beruhen, daß sein Intelligenzapparat nicht ausreicht, um die Nachrichten aus seiner Merk- und Wirkungswelt in unserem Sinne zu verarbeiten, sondern auch darauf, daß diese Nachrichten, seiner anderen Organisation halber, in einem anderen Zusammenhang stehen. Auch für den Schimpansen ist der Kopf noch ein sehr wichtiges Werkzeug. Vor allem seine Unterlippe ist außerordentlich dehnbar und beweglich und wird zu den mannigfachsten Verrichtungen her-

angezogen. Die vordere Extremität ist auch beim Gang auf dem Boden, nicht nur beim Klettern, nicht vollständig von der Unterstützung des Körpers befreit. Vielleicht hängt es mit einer mangelhaften oder nicht vollendeten Koinzidenz der Tast- und Sehwelt zusammen, wenn eine Unterscheidung zwischen tatsächlichem und nur optischem Zusammenhang (10) in vielen Fällen nicht gemacht werden kann.

Wir hatten angenommen, daß unser Dingbegriff, die Welt der für sich und individualisiert bestehenden, in sich zusammenhängenden Dinge durch die Zusammenarbeit von Händen und Augen zustande kommt. Die gesehene Umwelt ist ein Kontinuum, und die Abgrenzung der festen Gegenstände geschieht aus den Erfahrungen des Tastens und Bearbeitens heraus. Es ließe sich sehr wohl vorstellen, daß bei einem anderen Geschöpf in dieses räumliche optische Kontinuum zwar die Tast- und Bearbeitungserfahrungen eingetragen würden, die dadurch ihren auch optisch bestimmten Ort erhielten, daß aber die völlige Aufspaltung *auch der optischen Welt* zu individualisierten Gegenständen nicht erfolgt und so Täuschungen über die Zusammenhänge ihrer Teile Tür und Tor geöffnet ist.

Die Umwelt ist in ihrer Eigenart, in ihrer Armut wie in ihrem Reichtum immer ein unmittlerbares Spiegelbild der Organisation des betreffenden Tieres und das gilt auch für den Menschen.

Literaturnachweise.

1. J. v. Uexküll, Umwelt und Innenwelt der Tiere. Berlin, Springer, versch. Aufl.
— Theoretische Biologie, Berlin, Paetel, 1920.
2. A. Forel, s. b. Escherich, Die Ameise, Braunschweig, Vieweg, versch. Aufl.
3. z. B. v. Frey, Vorlesungen über Physiologie, Berlin, Springer, versch. Aufl.
4. v. Kries, Allgemeine Sinnesphysiologie, Leipzig, Vogel, 1923.
5. z. B. Skramlik, Varianten zur Aristotelischen Täuschung, Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie 201, 1., 2. Heft, Festschrift f. v. Kries.
6. Köhler, W., Die physischen Gestalten in Ruhe und in stationärem Zustand, Braunschweig, Vieweg, 1920.
7. Vgl. u. a. A. Einstein, Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie, Sammlung Vieweg, Heft 38, Braunschweig, 1917, S. 2 ff. u. S. 65: „Jede physikalische Beschreibung löst sich auf in eine Anzahl von Aussagen, deren jede sich auf die raum-zeitliche Koinzidenz zweier Ereignisse A und B bezieht.“ Die Koinzidenz eines Tast- und eines Seherlebnisses in dem beiden gemeinsamen Raum ist das einfachste physikalische Experiment und zugleich etwas spezifisch menschliches.
8. W. Köhler, Intelligenzprüfungen an Menschenaffen, Berlin, Springer, 1922.
9. Köhler, l. c. S. 116.

Besprechungen.

Walden, Paul, Elektrochemie nichtwässriger Lösungen. (Handbuch der angewandten physikalischen Chemie, herausgegeben von G. Bredig, Band 13.) Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1923. XI, 515 S.

und 3 Figuren im Text. 17 × 24 cm. Preis geh. 24.—, geb. 28.— Goldmark.

Es ist für uns heute ein selbstverständlicher Grenzplatz, daß chemische und physikalische Forschung

untrennbar miteinander verbunden sind und daß die chemische Erkenntnis der Struktur der Materie lückenhaft bleiben muß, ohne die Anwendung physikalischer Methoden. Trotzdem war diese Erkenntnis längere Zeit für weite Kreise der Experimentalchemiker in Vergessenheit geraten: während des Hochstandes der vorwiegend organischen Epoche der Chemie, in den sechziger und siebziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts verdunkelten die Erfolge der Kekulé'schen Theorie, die Freude an den zahllosen wissenschaftlichen und technischen Ergebnissen der Strukturhypothese, den meisten Forschern den Ausblick auf die Wichtigkeit physikalischer Methoden und der richtige Experimentalchemiker sah mit einer gewissen mitleidigen Geringschätzung auf die „Theoretiker“ herab, die rein physikalische Methoden für chemische Forschungen in Anwendung brachten.

Daß die Physik mit der Auffindung der Gesetzmäßigkeiten für den gasförmigen Aggregatzustand die Grundlagen für die Molekulartheorie gebracht hatte wurde zwar anerkannt, aber nicht allzuhoch eingeschätzt; aber hiermit schien vielen der Einfluß dieser Wissenschaft auf die „reine Chemie“ erschöpft. Der Name *Gay-Lussacs* war zwar hoch geehrt, der *Avogadro* mußte aber erst der Vergessenheit entrissen werden.

Für weitere Kreise der Chemiker trat hierin erst ein Wandel ein mit der Aufstellung der Theorie von der elektrolytischen Dissoziation und auch jetzt setzte sich die Erkenntnis von der ungemainen auch praktischen Wichtigkeit der theoretischen und physikalischen Chemie erst allmählich durch. Was *Avogadro* und *Gay-Lussac* für die gasförmige Formart bedeuteten, das leisteten *van't Hoff* und *Arrhenius* für die Theorie der Lösungen. Erst die Erfolge dieser Epoche, die mit den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts einsetzte und deren praktische Ergebnisse sich auch heute noch immer weiter auswirken, machten die Erkenntnis der Unentbehrlichkeit physikalischer Methoden für die Chemiker zum Allgemeingut.

Jetzt stehen wir in einer dritten Epoche, die durch die Befruchtung der Chemie seitens der Physik charakterisiert wird. In die Gesetzmäßigkeiten des festen Aggregatzustandes dringen wir mit Hilfe der Strahlenlehre ein und wahrhaft erstaunlich ist die Reichhaltigkeit der Ernte, die in dem kurzen Zeitraume von wenig mehr als 10 Jahren seit der grundlegenden Entdeckung *v. Laue's* eingebracht werden konnte. An *Avogadro*, an *van't Hoff* schließt sich der geniale *Niels Bohr*.

Naturgemäß sind trotz dieses stufenweisen Vordringens in das Wesen der Materie die Aufgaben der früheren Forschungsabschnitte nicht als abgeschlossen zu betrachten und so bleibt trotz der großen Ergebnisse, welche die Theorie der Osmose und der elektrolytischen Dissoziation gezeitigt haben, unser Wissen über die flüssige Formart noch lückenhaft. Nicht nur das Wesen homogener Flüssigkeiten, die Natur des Lösungsvorganges selbst sind teilweise kontrovers und bedürfen noch der Aufklärung; auch die Elektrochemie nichtwässriger Lösungen entbehrt noch der Einheitlichkeit in den leitenden Gedanken, welche die wässrigeren Lösungen und wenn auch in geringerem Maße, die feuerflüssiger Schmelzen schon seit Jahren auszeichnet.

Macht man für nichtwässrige Lösungen, auch die im allgemeinen angenommene Voraussetzung, daß sie ebenso wie die wässrigen in ihren Erscheinungen der

elektrolytischen Dissoziationstheorie und den Gesetzen der Osmose folgen, so werden hier doch die Verhältnisse durch die Mannigfaltigkeit der Lösungsmittel, deren individuelle Eigenart zu berücksichtigen ist, unendlich viel komplizierter. Man hat zwar in der Dielektrizitätskonstante des Lösungsmittels einen Anhaltspunkt gefunden, der geeignet ist, Beziehungen zwischen den elektrochemischen Gesetzmäßigkeiten in nichtwässrigen und wässrigen Lösungen herzustellen; doch, trotzdem diese Beziehungen in vielen Fällen erfreuliche und befriedigende Einblicke gewähren, haben sie doch nicht dazu geführt, Einheitlichkeit in den Gesamtkomplex der hier vorliegenden Erscheinungen zu bringen. Dabei liegt bereits ein ungeheures Beobachtungsmaterial vor, das nicht nur aus Abhandlungen stammt, die speziell der Elektrochemie nichtwässriger Lösungen gewidmet sind, sondern sich auch verstreut in vielen Arbeiten der anorganischen und organischen Chemie und z. B. in Untersuchungen über die Bildung von Molekularverbindungen findet.

Dieses gesamte Material beherrscht in erstaunlicher Weise *P. Walden*, dessen zahlreiche und umfangreiche Experimentaluntersuchungen über nichtwässrige Lösungen mit die wichtigste Pionierarbeit auf diesem Gebiete geleistet haben. Er ordnet den gesamten vorliegenden Stoff in übersichtlicher Weise im wesentlichen nach den Grundlagen der elektrolytischen Dissoziationslehre und gibt in der Darstellung stets unter Berücksichtigung der historischen Entwicklung eine Gruppierung der Tatsachen, die möglichst den Zusammenhang zwischen den einzelnen Kapiteln hervortreten läßt. Auf Abschnitte, die der Definition des nichtwässrigen Lösungsmittels und seinen physikalischen Eigenschaften gewidmet sind, folgen Kapitel über die Leitfähigkeit, die Wanderungsgeschwindigkeit usw. unter Berücksichtigung aller Gesetzmäßigkeiten, die man bei wässrigen Lösungen aufgefunden hat. Hieran schließen sich Betrachtungen über die Abweichungen und ihre Ursachen über die Vergleiche der osmotischen mit den elektrometrischen Messungsergebnissen und anderes mehr. Das ganze gipfelt dann in Ausführungen über den Verlauf von Reaktionen der Elektrolyten in nichtwässrigen Lösungen und über den Lösungsvorgang in diesen Lösungsmitteln an sich.

Es wird hiermit ein vollständiger Überblick über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse auf diesem Gebiete geboten, eine unschätzbare und fürderhin unentbehrliche Grundlage für weitere Untersuchungen. Denn wenn auch der Natur der Sache nach dieser Überblick heute noch nicht die Befriedigung erwecken kann, wie eine Darstellung der vollständig ausgebauten und logisch entwickelten Elektrochemie wässriger Lösungen, so ersieht man doch aus diesem Werke, welche wichtigen, für die gesamte Chemie bedeutungsvollen Fragen durch Untersuchungen auf diesem Gebiete noch zu fördern sind: der Verlauf chemischer Umsetzungen über die intermediäre Bildung von Molekularverbindungen, die Solvatation beim Lösungsvorgang, die Assoziation und Polymerisation in Lösungen: alles dieses sind neben vielen anderen Vorgänge, die sich viel besser in nichtwässrigen als in wässrigen Lösungen studieren lassen, da hier die elektrolytische Dissoziation der Moleküle ausbleibt oder sehr zurücktritt.

Angesichts dessen steht man aber andererseits vor der Frage, ob auch die Zukunft die Systematisierung der Vorgänge in nichtwässrigen Lösungen nach den Gesetzmäßigkeiten der elektrolytischen Dissoziation,

als die übersichtlichste ansehen wird und ob nicht vielleicht die wässrige Lösung einen Sonderfall von allerdings nicht hoch genug einzuschätzender Wichtigkeit bildet, dessen Gesetzmäßigkeiten nicht ohne weiteres als Leitgedanke für alle Lösungsvorgänge anzusehen ist. Möglich erscheint es wohl, daß eine Betrachtung etwa vom Standpunkte der Gleichgewichtslehre aus *mutatis mutandis* den Legierungen ähnlich späterhin zu einer klareren und befriedigenderen Übersicht über die Gesamterscheinungen in nichtwässrigen Lösungen führen wird.

A. Rosenheim, Berlin.

Förster, Fritz, Elektrochemie wässriger Lösungen.

Vierte, unveränderte Auflage. Leipzig, J. A. Barth, 1923. XX, 900 S. und 185 Abbildungen. 17×24 cm. Preis geb. 29,—, geb. 33,— Goldmark.

Schon nach einem Jahre folgt der dritten Auflage dieses umfangreichen Werkes die nur in Bezug auf die Verbesserung weniger Fehler veränderte vierte. So bleibt alles, was früher an dieser Stelle (N.-W. 10, 469, 1922) von einem anderen Referenten dazu gesagt worden ist, auch für diese bestehen.

Außer der chemischen Thermodynamik hat wohl keine Disziplin der physikalischen Chemie eine solche Abgeschlossenheit erreicht, wie die Elektrochemie. Daß dieser Eindruck sich aus der hohen Geschlossenheit der vorliegenden Darstellung dieses Gebietes zwingend ergibt, dürfte ihren Wert kennzeichnen. Obgleich die Theorie der elektrolytischen Dissoziation ihre endgültige Gestalt sicher noch nicht gefunden hat, wie neuerdings vor allem der Versuch einer veränderten Deutung der Elektrolytlösungen von *Ghosh* und *Debye* erweist, und obgleich die Ursache der spontanen Ionisation gewisser Atome, die Grundursache aller Elektrochemie überhaupt erst durch *Kossel* einer rein qualitativen Betrachtung im Anschluß an die Stabilitätsbedingungen der Atommodelle zugänglich gemacht worden ist, umfaßt und durchdringt doch die klassische Ionentheorie streng folgerichtig und sehr oft völlig befriedigend ein außerordentlich großes Gebiet von Tatsachen. Um das Skelett dieser Theorie gruppiert *Förster* die Fülle der elektrochemischen Erfahrungen. Auf die Behandlung der galvanischen Elemente folgt die Wasserelektrolyse und die Elektrochemie der einzelnen Metalle. Hierbei tritt der technologische Charakter des Buches in der breiten Darstellung der Galvanostegie, Galvanoplastik und elektrolytischen Metallurgie stark hervor. Dann folgt ein Kapitel über Elektroreduktion und deren Anwendung im Gebiet der organischen Technologie und ein Kapitel über die technische Elektrolyse der Halogensalze. Den Abschluß bildet die Behandlung der elektrolytischen Oxydation.

Für den reinen Chemiker dürfte ein von *Brion* verfaßtes Einleitungskapitel von besonderem Wert sein, das die Lehre vom Gleichstrom nebst dem dazugehörigen Instrumentarium des Laboratoriums und der Technik ausführlicher als die meisten Lehrbücher der Physik, aber knapper als die dem Chemiker meist nicht bekannte elektrotechnische Fachliteratur behandelt.

Paul Günther, Berlin.

Benrath, Alfred, Physikalische Chemie. I. Chemisch reine Stoffe. II. Lösungen. (Wissenschaftliche Forschungsberichte, Naturwissenschaftliche Reihe, herausgegeben von *Ralph. Ed. Liesegang*, Frankfurt a. M., Bd. VIII). Dresden und Leipzig, Th. Steinkopff, 1923. VIII, 107 S. 15×22 cm. Preis 25,— Goldmark.

Als ich vor einiger Zeit an dieser Stelle (9 [1921], 764) den ersten Band dieser Sammlung anzeigte,

äußerte ich die Ansicht, daß für eine Folge zusammenfassender Berichte von 1914 bis zur Gegenwart auf dem Gebiete der Chemie kaum ein Bedarf vorhanden sei. Inzwischen ist bereits der neunte Band der wissenschaftlichen Forschungsberichte erschienen und eine Anzahl von Besprechungen, die mir zu Gesicht gekommen sind, haben den Grundgedanken dieser Sammelreferate als durchaus lebensfähig bezeichnet. Für den Naturforscher muß die Erfahrung die höchste Instanz bleiben, und da die Reihe der Bände zu beweisen scheint, daß diese Bücher wirklich gekauft werden, so darf ich nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, daß die Erfahrung meine ursprüngliche Vermutung widerlegt hat.

Einen Bericht über die physikalische Chemie in den letzten acht bis neun Jahren nimmt man mit großen Erwartungen zur Hand; denn gerade auf diesem Gebiet ist die Entwicklung mit so großen Schritten und nach so vielen Richtungen vor sich gegangen, daß wohl nur die Wenigen, die sich ganz der reinen Wissenschaft widmen können, den Überblick nicht verloren haben. Leider bereitet *A. Benrath* dem Leser sehr bald eine Enttäuschung; denn wie der Untertitel seiner Schrift erkennen läßt, hat er aus der physikalischen Chemie nur einen sehr bescheidenen Ausschnitt zur Berichterstattung herausgenommen, nämlich die chemisch reinen Stoffe und die Lösungen. Alles andere — Gleichgewichte, Reaktionsgeschwindigkeiten, Atomforschung, Kristallstrukturen, Photochemie, Elektrochemie, Thermochemie, Radioaktivität (um nur einiges zu nennen) — ist nicht berücksichtigt. Man wundert sich zuerst über diese Selbstbeschränkung, muß sie aber bei näherem Zusehen doch billigen, da es wohl über Menschenkräfte geht, auf dem gegebenen Raum das ganze Gebiet der physikalischen Chemie in verständlicher Weise referierend zu behandeln.

Im ersten Hauptabschnitt „Chemisch reine Stoffe“ bespricht *Benrath* die Beziehungen zwischen den Eigenschaften von Elementen und Verbindungen, sodann die Theorie der Allotropie. Der zweite, größere Hauptteil, „Lösungen“, zerfällt in zwei Abschnitte: „Lösungen der Nichtelektrolyte“ und „Lösungen der Elektrolyte“. Dieser letzte, der naturgemäß den größten Raum einnimmt, ist gegliedert in „Theorie der elektrolytischen Dissociation“ und „Solvattheorie“. Es muß lobend hervorgehoben werden, daß der Verfasser nicht einfach — wie vielfach üblich — Referate aneinander gereiht hat, sondern bemüht gewesen ist, eine einheitliche, bisweilen sogar kritische Darstellung der Entwicklung auf den behandelten Gebieten zu geben. Der Nachteil dieser Form liegt, wie *Benrath* selbst hervorhebt, darin, daß mancherlei Arbeiten nicht berücksichtigt werden können, ihr Vorzug ist eine gut lesbare, aufschlußreiche und einprägsame Darstellung, die wirklich ihren Zweck erfüllt.

Nur wer selbst einmal einen solchen zusammenfassenden Bericht geschrieben hat, wird die ungeheure Arbeit richtig würdigen, die dazu notwendig ist, um Hunderte von Abhandlungen zu lesen, zu ordnen und in inneren Zusammenhang zu bringen. Den Nutznießern solcher Berichte muß dies immer wieder zu Gemüte geführt werden, damit die heute so gering bewertete literarische Arbeit wieder zu Ansehen und Erfolg komme.

I. Koppel, Berlin-Pankov.

Zintl, Eduard, Einführung in das Studium der anorganischen Chemie. (Enkes Bibliothek für Chemie und Technik unter Berücksichtigung der Volkswirtschaft, herausgegeben von *L. Vanino*, IX, Band)

Stuttgart, Ferdinand Enke, 1923. VIII, 365 S. und 2 Abbildungen. 15 × 23 cm. Preis geh. 9,60, geb. 12,15 Goldmark.

Kennzeichnend für dies Buch sind die Worte aus der Vorrede: „Die moderne anorganische Chemie ist angewandte physikalische Chemie“. Dieser Zustand ist nun freilich heute noch nicht erreicht, aber er ist das Ziel, dem wir zustreben. Das Eindringen der physikalischen Chemie in den chemischen Anfängerunterricht ist nur ziemlich langsam vorstatten gegangen; auch heute begnügen sich die Lehrbuchverfasser noch vielfach damit, die wichtigsten Gesetze der physikalischen Chemie gesondert neben der anorganischen Chemie zu behandeln und durch einige Beispiele zu erläutern, überlassen es dann aber dem Schüler, die Theorie auf das Tatsachenmaterial anzuwenden. Im Gegensatz hierzu hat E. Zintl sich offensichtlich und mit Erfolg bemüht, die anorganische Chemie mit den Lehren der physikalischen Chemie zu durchdringen und beide miteinander zu einer Einheit zu verschmelzen. Überall wird nach Möglichkeit der Verlauf der Reaktionen als Sonderfall allgemeiner Gesetzmäßigkeiten gefaßt, so daß in der Tat, wo unser Wissen ausreicht, die anorganische Chemie zur angewandten physikalischen Chemie wird.

Der Aufbau des Werkes ist aus dem Inhaltsverzeichnis nicht ohne weiteres zu erkennen; erst wenn man sich in das Studium vertieft hat, versteht man das System. In den ersten zwei Dritteln des Buches werden die typischen Elemente nebst ihren wichtigsten Verbindungen und Umsetzungen beschrieben und an diesen Beispielen die Lehren der allgemeinen Chemie und die für den Anfänger wichtigen Teile der physikalischen Chemie entwickelt. Dann folgt das periodische System der Elemente und nun werden die einzelnen Gruppen der Elemente nebst ihren Verbindungen in vergleichender Darstellung geschildert. Ich weiß nicht, ob dieser letzte Teil unter dem Einfluß des Lehrbuches von Ephraim (Naturwissenschaften 11 (1923) 76) steht, der zum ersten Male die vergleichende Behandlung erfolgreich durchgeführt hat; wenn das nicht der Fall ist, so wäre das Zintlsche Werk ein Beispiel dafür, wie gewisse Gedanken „in der Luft liegen“ und unabhängig von der Einzelpersonlichkeit in die Erscheinung treten, wenn ihre Zeit gekommen ist.

In der Mitteilung des experimentellen Tatsachenmaterials der anorganischen Chemie hat Zintl sich einige Beschränkung auferlegt, so daß nur die wichtigen Verbindungen der bekannteren Elemente behandelt sind, während die seltenen Elemente z. T. fehlen, z. T. nur mit wenigen Worten gestreift werden. Das ist zu billigen, da dies Werk nur als Einführung dienen soll und nach der Absicht des Verfassers durch ein ausführlicheres Lehrbuch zu ergänzen ist. Auch in den Abschnitten aus der physikalischen Chemie werden die Gesetzmäßigkeiten nur in großen Umrissen ohne mathematische Ableitungen und Berechnungen behandelt; ob es ratsam ist, bereits auf dieser Stufe die Lehren von der Radioaktivität und vom Bau der Atome einzuführen, so wichtig und aufklärend gerade diese neuesten Ergebnisse für das periodische System sind, möchte ich dahingestellt sein lassen.

Wenn man dies Buch vom Standpunkt des Lehrers betrachtet, so gewinnt man bald die Überzeugung, daß der Verfasser ein hervorragendes Lehrtalent ist; das zeigt sich nicht allein in der oben angedeuteten Systematik und Stoffwahl, sondern auch im Vortrag und insbesondere in der Art, wie dort, wo der „mittlere“ Schüler erfahrungsgemäß stutzt, die nötigen Hilfen gegeben werden. Als Beispiel für die Darstellung möchte ich das „Periodische System“ hervorheben. Zintl führt nicht, wie üblich, zuerst die Tabelle vor und knüpft an diese die notwendigen Erläuterungen an, sondern er läßt sie vor den Augen des Schülers entstehen, verfährt also — wahrscheinlich völlig unbekannt — so, wie es Lessing im Laokoon als besondere Kunst des Homer rühmt; hierdurch erzielt er eine große Anschaulichkeit und fesselt die Aufmerksamkeit des Lesers. Dieser didaktischen Vorzüge wegen ist das Zintlsche Buch auch den Lehrenden angelegentlich zu empfehlen. Der Verfasser würde den Wert seiner Arbeit noch erhöhen, wenn er bei der Durchsicht für eine neue Auflage die überflüssigen Fremdwörter entfernte. Ich weiß, daß die wissenschaftliche Sprache ohne Anleihen aus fremdem Besitz nicht wohl auskommt, und daß sie dadurch an Genauigkeit, Wohlklang und Abtönung gewinnt; aber was an Fremdwörtern vermeidbar ist, sollte man rücksichtslos ausmerzen, auch wenn es einiges Besinnen erfordert.

I. Koppel, Berlin-Pankow.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Das Nordlicht vom 29. Januar 1924. Am Abend dieses Tages wurde um 6 Uhr 45 Min. mitteleuropäischer Zeit von mehreren Mitgliedern des Meteorologisch-Magnetischen Observatoriums zu Potsdam ein Nordlichtbogen beobachtet, der von Nordwest aus, dem Lichte eines riesigen Scheinwerfers vergleichbar, sich gegen Nordost erstreckte, jedoch nur zu Anfang bis zum Horizont hinabreichte. Das Licht war zunächst weiß, schwach bläulich, an elektrische Bogenlampen erinnernd, und weit stärker als das des gleichzeitig sichtbaren Zodiakal-Lichtes und der Milchstraße. Sämtliche Konturen waren scharf, der untere Rand deutlich gegen ein dunkles Segment abgesetzt. Während die Farbe ins Gelblich-Grüne der Nordlichtlinie überging, verblaßte die Erscheinung nach 7 Uhr 15 Min. stark und löste sich in einzelne Lichtwolken auf, von denen mitunter drei gleichzeitig im Azimut Nordwest-Ostnordost sichtbar waren. Der Schwerpunkt der Erscheinung verlagerte sich vom westlichen nach dem östlichen Teile des Nordhorizontes. Stets blieb der untere Rand schärfer als der obere, aber er behielt

nicht immer die regelmäßige Begrenzung des unteren Segmentes bei. Die Lichtstärke schwankte, in den einzelnen Teilen unabhängig, in Abständen von etwa einer Minute von der größten Helligkeit bis zum völligen Verschwinden. Am deutlichsten erschien eine Wolke in Nordnordwest (etwa von der Größe der Cassiopeja), die mit ihrem asymmetrisch gelegenen, zeitweise hell aufleuchtenden Kern und den stark gebogenen Rändern unverkennbar den Eindruck einer weit entfernten Draperie machte. Strahlen konnten nicht sicher festgestellt werden; bei einer Lichtwolke wurde die Höhe der Unterkante zu $9^{\circ}.5$ bestimmt. Gegen 9 Uhr wurde auch der bis dahin dunkle Nordhorizont heller; einige weit entfernte Wasserdampf Wolken hoben sich deutlich von dem hellen Hintergrund ab. Nach 9 Uhr 30 Min. wurden die Lichtflecke diffuser, waren jedoch noch immer so lichtstark, daß sie, zum Teil schwach rötliche Färbung annehmend, durch einen dünnen Wolken Schleier hindurchschienen, der nach 9 Uhr 45 Min. aufzog. Noch nach 12 Uhr war der Nordhorizont bis etwa 15° Höhe von ruhigem Polarschein erhellt. —

Die Beobachtung war bis gegen 10 Uhr von ungewöhnlicher Klarheit begünstigt.

Wie zu erwarten, war das Nordlicht von einer *erdmagnetischen Störung* begleitet. Nachdem schon seit morgens 6 Uhr 20 Min. lebhaft Unruhe geherrscht hatte, setzten nach 6 Uhr abends große Bewegungen der Magnete ein. Charakteristisch waren zwei starke Ablenkungen der Deklinationsnadel: von 7 Uhr 02 Min. bis 7 Uhr 17 Min. bewegte sie sich in einem Zuge um etwa 48 Bogenminuten nach Osten (entsprechend einer störenden Kraft von 260 γ , d. h. etwa 1,4 % der normalen Horizontalintensität: $1\gamma = 10^{-5} \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$); eine zweite ähnliche Zacke erreichte ihr Maximum um 9 Uhr 46 Min.¹⁾ Die Horizontalintensität H war von 6 Uhr ab geschwächt (Minimum 6 Uhr 56 Min.), abgesehen von einer kurzen Erholung zwischen 7 Uhr und 8 Uhr; um 12 Uhr wechselte das Vorzeichen der Abweichung sehr rasch und blieb positiv bis zum Ende der Hauptstörung gegen 4 Uhr nachts, abweichend vom gewöhnlichen Sturmverlauf. Die Vertikalintensität Z verlief genähert spiegelbildlich zu H . Maximale Amplituden: $\Delta D = 50.6 \sim 274 \gamma$, $\Delta H = 159 \gamma$, $\Delta Z = 163 \gamma$.

Besonderes Interesse verdient das unzweifelhafte Auftreten von zwei „*Vorläufern*“ der geschilderten ersten starken Deklinationsstörung im Abstände von fast genau 24 und 48 Stunden: bei sonst ruhigem Verlauf erschien am 27. und 28. Januar von 7 Uhr 30 Min. bis 8 Uhr abends (immer M. E. Z.) je eine der Hauptstörung ähnliche Zacke in der Ostkomponente Y vom Betrage $\Delta Y = 10 \gamma$ bzw. 24γ . Diese Tatsache des allmählichen „Aufkeimens“ der Störung hat zwar nichts Auffälliges, wenn man sich der von *Adolf Schmidt*²⁾ vertretenen Auffassung anschließt, wonach „das Medium, in dem sich die unmittelbare Ursache der Störungsvorgänge abspielt, eine gewisse räumliche Konstitution besitzt, die sich längere Zeit nahezu un geändert erhält, und die für den Ablauf einer etwa durch solare Einflüsse ausgelösten Erscheinung bestimmend ist“; als Stütze dieser Anschauung hat diese jüngste Beobachtung aber um so größeren Wert, als den schon länger bekannten Wiederholungen von Einzelheiten großer Störungen zur selben Tagesstunde zum ersten Mal derartig scharf markierte Vorläufer an die Seite gestellt werden. — An den drei dem Nordlicht folgenden Tagen erscheinen ebenfalls positive Y -Störungen zwischen 7 Uhr und 8 Uhr 30 Min., deren Form aber die Deutung als „Wiederholungen“ erschwert.

Sonstige Meldungen über das Nordlicht liegen bisher nur aus Königsberg vor (*Przybyllok*), wo zwischen 7 Uhr 45 Min. und 8 Uhr 15 Min. M. E. Z. vor einsetzender Bewölkung ein Teil eines grünlich-weißen Bogens gesehen wurde, in dessen westlicher Hälfte helle Wolken aufleuchteten. (Perspektivische Projektion der in Potsdam getrennt gesehenen Lichtwolken aufeinander?) — Bei der Annahme, daß der untere Rand in 100 km Höhe lag, führt die Höhenwinkelbestimmung von $9,5^\circ$ auf eine Entfernung von etwa 600 km, d. h. auf die Gegend der Nordspitze von Jütland. Das Ausbleiben von Nachrichten von nördlichen Stationen ist wohl auf die dichte Bewölkung zurückzuführen, die nach der Wetterkarte der deutschen Seewarte um 7 Uhr abends fast ganz Norddeutschland, Skandinavien und England bedeckte.

Der verhältnismäßig seltene Vorstoß des Nordlichtes in unsere niederen Breiten hat insofern eine weitergehende Bedeutung, als sich dadurch nach jahrelanger minimaler Sonnentätigkeit der Beginn einer

neuen Sonnenfleckperiode anzukündigen scheint. Auch in anderer Hinsicht besteht eine Beziehung zur Sonnenphysik: *Adolf Schmidt*³⁾ hat eine 30-, genauer 29,97tägige Sonnenperiode aus der Aufeinanderfolge der erdmagnetischen Großstörungen wahrscheinlich gemacht. Wenn auch die Amplitudensumme bei der letzten Störung mit 596 γ nicht die dort gesetzte Grenze von 1000 γ erreicht, so ist die Aufnahme des Sturmes in die Reihe wegen seines plötzlichen Auftretens nach jahrelanger verhältnismäßiger Ruhe nicht bedenklich. Es ist deshalb beachtenswert, daß die Nordlichtstörung mit dem Rest 18.^d 0 sehr gut in die letzte Gruppe C der dort aufgeführten Liste mit den Resten 16.^d 3, 18.^d 3 und 15.^d 8 hineinpaßt; mit der Annahme einer 28,03tägigen Periode (a. a. O. S. 414), die nach dem bisherigen Material als nicht unmöglich hingestellt werden mußte, ist sie dagegen schlecht vereinbar: Rest 16.^d 8 gegen 7.^d 5, 10.^d 1, 9.^d 9, 6.^d 6 der vier letzten Störungen.

J. Bartels.

Aus *Nature* vom 12. und vom 19. Januar 1924. In einem Aufsatz: **Die Spinnenaugen** gibt *A. Mallock* die Ergebnisse seiner Messungen an den vier Augenpaaren der Jagdspinne *Salticus scenicus* wieder, die er durch zahlreiche Abbildungen erläutert und in einer Tabelle zusammenfaßt.

Für jedes der Paare, von vorn nach hinten mit A, B, C und D bezeichnet, gibt er eine geometrische Lagebezeichnung. Die Krümmung der Hornhaut berechnet er aus der Größe des Spiegelbildes, den ein Gegenstand bekannter Größe und Entfernung auf ihr erzeugt. Dagegen gelang es nur annähernd, wegen der Kleinheit des Objekts, mittels der Refraktometermethode die Brechungsindices der Linsen und Glaskörper zu bestimmen. Er schätzt sie auf weniger als 1,5. Der Abstand der Hornhaut von der Linse wird berechnet und in Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Abstand von Hornhaut und Retina zu 12 bis 25 μ gefunden. Der Gesichtswinkel jedes Auges wird aus Breite der Retina und Brennweite der Linse berechnet und beim großen A -Auge mit einer tief becherförmigen Retina zu nur $2,5^\circ$, bei B, C und D zu 20° , 60° und 120° gefunden. Die Abstände der Stäbchen in der Retina findet er in allen Augen gleichmäßig zu etwa 1 μ , und während die Berechnung aus Wellenlänge und Linsendurchmesser auf eine viel größere auflösende Kraft schließen läßt, berechnet er sie aus dem Abstand benachbarter Stäbchen und der Brennweite der Linse zu $1-4^\circ$.

Die **Maul- und Klauenseuche** erlischt in Großbritannien zeitweise vollständig. Die Einfuhr von Heu und Stroh und anderen als Überträger des Virus angesehenen Waren aus infizierten Ländern ist verboten. Trotzdem flammt hin und wieder die Seuche neu auf. *S. T. Stockman* und *M. Garrett* haben in einer im *Journal of Ministry of Agriculture* (Bd. 30, S. 681, 1923) erschienenen Arbeit zu erweisen versucht, daß Zugvögel die Überträger sind. *A. L. Thomson* erörtert diese Beweisführung, stimmt ihr jedoch in vielen Punkten nicht zu.

A. G. Tansley wünscht die **Vereinheitlichung der wissenschaftlichen Botanik**, besonders in der Form, wie sie dem Studenten nahe gebracht wird. Es müsse dem Hochschüler oft wie ein bloßer Zufall erscheinen, daß die verschiedenen Disziplinen der botanischen Systematik, Morphologie, Physiologie und Vererbungslehre es mit den gleichen Objekten zu tun haben. Er gibt eine ausführliche Darstellung der Entwicklung der botanischen Wissenschaften seit *Darwin* und sieht die

¹⁾ Die mittlere Deklination betrug in Potsdam im Dezember 1923: $D = 6^\circ 51.3$ westlich.

²⁾ Meteorologische Zeitschrift 1904, S. 36.

³⁾ Astronomische Nachrichten Nr. 5134, S. 412.

Möglichkeit der Verbindung der verschiedenen Zweige in der kausalen, physikalisch-chemischen Betrachtung der Ontogenie.

Die chemische Zusammensetzung prähistorischer Bronzen. In einem Aufsatz, der den wesentlichen Inhalt eines vor der British Association gehaltenen Vortrages wiedergibt, berichtet *John Sebelien* über chemische Untersuchungen an prähistorischen Bronzen. Aus chemischen Gründen müßte man erwarten, daß das Bronzealter jünger ist als das Eisenzeitalter; auf Grund neuerer Untersuchungen erscheint aber die umgekehrte Annahme nicht mehr so paradox wie bisher. Man nimmt nämlich jetzt an, daß z. B. die alten Ägypter das Eisen zwar lange vor der Bronze gekannt haben, es aber nur zu Schmucksachen und Verzierungen verarbeiteten. Auch geht in den meisten Ländern der richtigen Bronzezeit eine Zeit voran, in der mehr oder weniger reines Kupfer zur Verarbeitung gelangte; unter den Ausnahmen befinden sich Norwegen und England, wo

die Metallzusammensetzung verwandt wurde, wie sie im Erz vorhanden war. Dem entspricht die Tatsache, daß die alten Römer Messinggegenstände benutzten, lange ehe man Zink rein darstellen konnte.

Verf. hat nun mit besonderem Interesse alte Metallgegenstände aus Ägypten und Mesopotamien untersucht, weil er hier die Wiege der Kultur sieht. Diese ältesten Gegenstände bestehen aus praktisch reinem Kupfer, erst spätere zeigen normale Bronzezusammensetzung. Aus den beigemengten Verunreinigungen sucht Verf. auf den Fundort dieser Metalle zu schließen. Er hält es für sicher, daß der größte Teil des in Ägypten verarbeiteten Kupfers aus dem Sinai stammte, da ein Vergleich mit dort anstehendem Erz beste Übereinstimmung zeigte. Die mesopotamischen Proben dagegen zeigen eine Zusammensetzung, wie sie Erzproben weder aus dem Sinai noch aus einem alten kurdistanischen Bergwerk entspricht.

v. Ranke. v. Simson.

Astronomische Mitteilungen.

Sonnenflecken als Magnete und der periodische Wechsel ihrer Polarität. (*G. E. Hale*, *Nature* 113, S. 105—112, 1924.) In der jetzt beginnenden Periode erhöhter Sonnentätigkeit sind *Hale* und seine Mitarbeiter auf der Mount Wilson-Sonnenwarte bereits zu wichtigen Ergebnissen gelangt über die merkwürdigen magnetischen Eigenschaften der Sonnenflecken, die vor 12 Jahren bei Beginn der letzten Periode entdeckt wurden. Allerdings scheint das physikalische Verständnis des Vorgangs, den wir als Sonnenflecken wahrnehmen, durch die neu gewonnene Einsicht in die verwickelten Erscheinungen erst recht in die Ferne gerückt. *Hale* gibt eine Übersicht über die Beobachtungen, die mit *Galileis* Entdeckung der Flecken im Jahre 1612 beginnen und die vor allem gefördert sind durch die grundlegenden Arbeiten *Hales* selbst.

Die Größe des einzelnen Fleckens kann ansteigen bis zu einem Vielfachen der Erdoberfläche. Die Flecken treten überwiegend in Zonen der Sonne auf, die vom Äquator und den Polen einigen Abstand haben. Ihre Lebensdauer kann Tage, Wochen oder Monate betragen. Die Umdrehung der Sonne machen sie zwar im großen und ganzen mit, zeigen jedoch nahe dem Äquator eine größere Winkelgeschwindigkeit als in höheren Breiten. Ihre Häufigkeit hat eine Periode von 11,2 Jahren. Der Beginn der Periode kündigt sich zunächst in höheren Breiten der Sonne durch neue Flecken an; im Fortschreiten der Periode verschiebt sich die bevorzugte Lage bis zur Nähe des Äquators. Daher sind in der Zeit des Minimums die Reste der alten Periode — nahe dem Äquator — wohl zu unterscheiden von den Vorläufern der kommenden in höheren Breiten.

Manche Beobachter berichten von dem Eindruck eines Wirbels, dessen Kern von der Sonne eingesogen wird. Bestätigt wird die Hypothese eines Wirbelsturmes durch die monochromatischen Aufnahmen der Sonne, die *Hale* mit seinem Spektroheliographen erzielte und die vor allem im Licht der roten Wasserstofflinie noch einheitlicher als jede subjektive Beobachtung den Eindruck eines Wirbels erwecken. Berühmt ist die hieran anschließende Entdeckung *Hales*: er vermutete eine elektrische Ladung der im Wirbel geschleuderten Gasmassen und schloß auf das Auftreten eines Magnetfeldes in der Achse des gewaltigen Kreisstromes. Der sichere Nachweis und sogar die genaue Messung des Magnetfeldes gelang ihm durch

den Zeemaneffekt der vom Flecken ausgesandten Spektrallinien.

War durch diese Entdeckung die Wirbelnatur der Sonnenflecken sicher bewiesen, so führte die tägliche Überwachung der Flecken, vor allem der Polarität ihrer Magnetfelder, auf neue Schwierigkeiten. Unter der naheliegenden Annahme, daß die elektrische Ladung der Gasmassen in allen Flecken vom gleichen Vorzeichen ist — unbekannt ob positiv oder negativ —, kann der Drehsinn der Wirbel durch die Beobachtung des Zeemaneffektes verglichen werden. Diese Methode führt auf den naheliegenden Vergleich mit dem Drehsinn der irdischen Wirbelstürme; ihre einfache Gesetzmäßigkeit — entgegengesetzter Sinn auf der nördlichen und der südlichen Erdhalbkugel — ist bekannt. Ein sehr viel verwickelteres Bild ergibt die Beobachtung der Sonnenflecken. Sie treten meist in Paaren auf. Die Angehörigen desselben Paares haben entgegengesetzten Drehsinn des Wirbels. Für die seltener beobachteten Einzelflecken vermutete *Hale* dementsprechend, daß sie wenigstens schwächere und deshalb nicht als Flecken kenntliche Wirbel zu Begleitern hätten. Er untersuchte also mit einer besonders kunstreichen Methode spektroskopisch die ganze Nachbarschaft solcher Einzelflecken auf Zeemaneffekte und wies so in der Tat unsichtbare Wirbelbewegungen nach mitunter an Stellen, an denen Tage lang später Flecken sichtbar wurden. Diese Beobachtung bestätigt die paarweise Zusammengehörigkeit der Wirbel entgegengesetzten Drehsinnes.

Die eben abgelaufene Fleckenperiode hatte als Gesetz ergeben: die vorangehenden Wirbel aller Paare haben auf der nördlichen Sonnenhalbkugel gleichen Drehsinn, haben jedoch den entgegengesetzten Drehsinn auf der südlichen Halbkugel; das gleiche gilt also auch für die anschließenden, entgegengerichteten Wirbel aller Paare. Überraschend ist nun das neue Gesetz, das auf Grund älterer Beobachtungen bereits vermutet werden konnte und das *Hale* nunmehr durch die neuen Beobachtungen sicher bewiesen hat: nach jeder Periode vertauschen nördliche und südliche Halbkugel den Drehsinn ihrer Wirbel. Als wahre Periode der Sonnentätigkeit ist nunmehr das Doppelte des bisher angenommenen Zeitraumes, etwa 22 Jahre, anzusehen. Von der künftigen Deutung dieser Erscheinungen erwartet *Hale* einen tiefen Einblick in den Aufbau der Sonne und der verwandten Zwergsterne.

O. Oldenberg.