

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Elfter Jahrgang.

31. August 1923.

Heft 35.

Ostwalds Arbeit in der chemischen Verwandtschaftslehre

Von Svante A. Arrhenius, Stockholm.

Ostwald hat selbst mit großer Schärfe hervor gehoben, wie außerordentlich wichtig die Jugend- und ersten Männerjahre eines Forschers sind, indem eigentlich vor dem dreißigsten Jahre alle die originellen Ideen *in nuce* schon dann bei ihm hervortreten, die später von ihm ausführlicher bearbeitet werden. Die ersten Schritte auf der wissenschaftlichen Bahn eines Forschers bieten demnach ein ganz besonderes Interesse. Deshalb will ich mit einigen Worten die Wirksamkeit *Ostwalds* in dem ersten Abschnitte seiner wissenschaftlichen Bahn etwas näher beleuchten, was um so natürlicher erscheint, als ich während der kräftigsten Entwicklung derselben viel mit ihm zusammen arbeitete. Außerdem liegt dieser Abschnitt so weit in der Zeit zurück, daß er wohl relativ wenig bekannt ist.

Schon auf dem Gymnasium in Riga zeigte *Ostwald* eine große Liebe für naturwissenschaftliche Experimente und verwendete auf dieselben so viel Zeit, daß seine Gymnasialstudien dadurch um zwei Jahre verlängert wurden. In dieser Zeit hat er die starke Abneigung gegen die damaligen Methoden und Gegenstände des Gymnasialunterrichts bekommen, welche in seinen späteren Schriften stark hervortreten.

Auf der Universität Dorpat widmete *Ostwald* sich den Studien der Physik und Chemie unter der Leitung der hervorragenden Lehrer *Lemberg*, *von Oettingen* und *Carl Schmidt*, denen er nachher die größte und aufrichtigste Dankbarkeit erwies. Im Jahre 1875 wurde er nach dreijährigen Universitätsstudien exmatrikuliert und erhielt im selben Jahre eine Assistentenstelle im physikalischen Institut. In die naturphilosophischen Ansichten, welche später *Ostwald* so stark charakterisieren, wurde er von dem damaligen Privatdozenten *Johann Lemberg* eingeführt, der ein begeisterter Anhänger der Comteschen „philosophie positive“ war. *Lemberg* war auch Chemiker und Assistent im chemischen Institut von Professor *Schmidt*, wo *Ostwald* seine ersten wissenschaftlichen Arbeiten ausführte. *Lemberg* regte auch *Ostwald* zu seiner Erstlingsarbeit an, der Kandidatenschrift, welche in Auszug im Journal für praktische Chemie unter dem Titel „Über die Massenwirkung des Wassers“ (1875) veröffentlicht wurde. Diese Schrift behandelte die Zersetzung von Wismutchlorid durch Wasser, also ein Gleichgewichtsproblem der Chemie.

Von Anfang an war demnach *Ostwald* in das Gebiet der physikalischen Chemie eingeführt. Er

setzte da mit größtem Eifer ein. Bekanntlich hatte *Jul. Thomsen* mit Hilfe von kalorimetrischen Messungen die sogenannte Avidität der Säuren, d. h. das Verteilungsverhältnis einer Base zwischen zwei Säuren, die in äquivalenten Verhältnissen anwesend waren, bestimmt. Diese wichtigen Bestimmungen wurden von *Ostwald* mit anderen physikalisch-chemischen Hilfsmitteln, nämlich Messungen der Dichte und der Lichtbrechung der Lösungen, an einem großen Versuchsmaterial vorgenommen. *Ostwald* hob hervor, daß die Schwefelsäure, welche *Thomsen* als Vergleichskörper benutzt hatte, sich dafür nicht gut eignet wegen der dabei auftretenden Nebenreaktion der Bildung von sauren Sulfaten. Er fand ferner, daß das Teilungsverhältnis unabhängig von der angewandten Base (Ammoniak, Kali, Natron sowie Oxyde von Magnesium, Zink und Kupfer) und von der Temperatur ist, wenn man Salpetersäure mit Chlorwasserstoff vergleicht. Dieser Satz trifft dagegen nicht zu, wenn man Schwefelsäure mit den beiden genannten einbasischen Säuren vergleicht. Im Jahre 1878 untersuchte er auch die chlorierten Essigsäuren, Ameisen-, Essig-, Propion-, Butter-, Isobutter-, Milch-, Glykol-, Bernstein-, Äpfel- und Weinsäure nach dieser Richtung. Diese Untersuchungen dienten auch als Grundlage für *Ostwalds* Magister- und Doktordissertationen (1877 und 1878). Die Arbeiten im chemischen Institut veranlaßten *Ostwald* im Jahre 1879, seine Assistentenstelle im physikalischen Institut gegen diejenige im chemischen zu vertauschen. Im selben Jahre wurde er Privatdozent und las über chemische Verwandtschaftslehre.

In einem Nachtrag zu seinen volumchemischen Studien bestimmt *Ostwald* 1877 die relative Stärke der Salpetersäure und der Chlorwasserstoffsäure durch partielle Fällung zweier äquivalenten Lösungen von ihren Calciumsalzen mit einer äquivalenten Menge Oxalsäure bei verschiedenen Temperaturen und findet seine früher gefundenen Resultate bestätigt. Diese Versuche über Gleichgewichtsverhältnisse setzte er mit Schwefelzink in Salzsäure und Schwefelsäure 1879 sowie bei Messungen, beschrieben in zwei kleinen Abhandlungen „Löslichkeit des Weinsteines in verdünnten Säuren“ und „Löslichkeit der Sulfate von Barium, Strontium und Calcium in Säuren“ fort (1884), teilweise, seitdem er nach Riga als Professor der Chemie am Polytechnikum (1881) übersiedelt war.

Er wendete sich jetzt dem Studium der chemischen Dynamik zu und begann die bekannten Versuche über Katalyse, die von so großer Bedeutung geworden sind. Er untersuchte zuerst (1884) den katalytischen Einfluß verschiedener Säuren auf den Zerfall von Acetamid bei Anwesenheit von Wasser in Essigsäure und Ammoniak, wobei das Ammoniak fast vollkommen mit der katalysierenden Säure Salz bildet. Trotz vieler störenden Umstände, zufolge der Wirkung des entstandenen Neutralsalzes, gelang es *Ostwald* nachzuweisen, daß die Forderungen der Guldberg-Waageschen Theorie einigermaßen erfüllt sind. Es ist jedoch auffallend, daß die Acetamidversuche besonders für die schwachen Säuren zu geringe Werte ergeben. *Ostwald* ging deshalb zu anderen Methoden über, die von ähnlichen störenden Wirkungen frei sind, nämlich die Hydrolyse von Methylacetat (1883) und Rohrzucker (1884). Mit seinem großen Material (23 Säuren) fand er eine viel bessere Übereinstimmung zwischen den von diesen Säuren bewirkten Reaktionsgeschwindigkeiten in den beiden Fällen. Mit Recht war er mit diesem Erfolg sehr zufrieden, wie seine Schlußworte zeigen. „Der Charakter der Affinitätszahlen als die Affinitätswirkungen in weitestem Umfange bedingender Naturkonstanten wird dadurch in helles Licht gestellt und die Bestimmung derselben erlangt für die Verwandtschaftslehre eine Bedeutung, welche der der Atomgewichte für die Stöchiometrie an die Seite zu stellen ist.“

Trotz dessen waren einige Besonderheiten, wie z. B. der Einfluß von Neutralsalzen, besonders auf die Wirkung schwacher Säuren unerklärt (diese wurden später durch die Dissoziationstheorie aufgeklärt).

Da kam von anderer Seite ein ganz neuer Anstoß. Im Jahre 1884 wurde der Parallelismus zwischen der Stärke der Säuren und ihrer Leitfähigkeit gefunden. Die Säuren sowohl wie andere Elektrolyte bestehen teils aus aktiven teils aus inaktiven Molekeln. Nur die aktiven sind chemisch wirksam und auch elektrisch leitend. Später (1887) wurde nachgewiesen, daß die aktiven Teile in ihre Ionen zerlegt sind. Die Leitfähigkeit einer Säure gibt auch ein Maß ihrer katalytischen Wirkung.

Unmittelbar nachdem *Ostwald* von dieser Theorie Kenntnis erhalten hatte, prüfte er den letztgenannten Satz an 34 Säuren und fand denselben in auffallendem Maße bestätigt. Man hatte, wie er selbst sagt, in der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit „eine Meßmethode gefunden, durch welche Affinitätsgrößen frei von allen Nebenumständen mit einer nur durch die Fehler der experimentellen Ausführung begrenzten Genauigkeit bestimmt werden können“. *Ostwald* ging jetzt zu Messungen des elektrischen Leitungsvermögens über, die in einer Reihe von Abhandlungen unter dem gemeinsamen Titel „Elektrochemische Studien“ veröffentlicht sind.

In den letzten „Studien zur chemischen Dynamik“ bewies er, daß die katalytische Wirkung einer Säure bei verschiedenen Verdünnungen sich genau im selben Verhältnis verändert wie ihre elektrische Leitfähigkeit. Danach bestimmt *Ostwald* das elektrische Leitungsvermögen von zwanzig Säuren bei verschiedenen Verdünnungen, wonach weitere etwa hundert Säuren von der verschiedensten Zusammensetzung untersucht wurden (1885). Danach kommt im Jahre 1886 die Untersuchung des Leitungsvermögens von 24 Basen und zuletzt prüft und bestätigt *Ostwald* „das Gesetz von *Kohlrausch*“ an Lösungen von zahlreichen Salzen (1887). Danach kommt seine letzte Arbeit in Riga „Studien zur Kontaktelektrizität“ (1887). *Ostwalds* „Arbeiten über Katalyse sowie seine dafür grundlegenden Untersuchungen über chemische Gleichgewichte und Reaktionsgeschwindigkeiten“, wurden 12 Jahre später mit dem Nobelpreis für Chemie gekrönt.

Mit diesen zahlreichen Untersuchungen verfolgte auch *Ostwald* ein anderes großes Ziel, die Verwandtschaftslehre so zu vervollständigen, daß er sie zu einem gewissen Abschluß bringen konnte. Er war nämlich in seinen letzten Rigaer Jahren mit der Abfassung seines großen Werkes „Lehrbuch der allgemeinen Chemie“ beschäftigt, dessen zweiter Teil im Jahre 1887 erschien. In demselben kann man den Werdegang seiner damaligen Ansichten und Untersuchungen in allen Details verfolgen. Das Lehrbuch zeigte der erstaunten Welt, wie viele erhebliche Schätze durch die physikalische Chemie erschlossen worden waren und bildete dadurch Epoche auf diesem Gebiet.

1887 wurde *Ostwald* nach Leipzig berufen. In diesem Jahr erschien meine Abhandlung, in welcher gezeigt wurde, daß die elektrischen Messungen zu demselben Resultat führten wie diejenigen über die Gefrierpunkte der Lösungen, wonach die aktiven Teile eines Elektrolyten seine Ionen sind, in welche er teilweise zerfallen ist. Im Januar 1888 erwies *Ostwald*, daß die schwachen Säuren dem Guldberg-Waageschen Gesetze folgen und stellte sein entsprechendes Verdünnungsgesetz auf. Er unternahm dann eine neue Untersuchung des Leitungsvermögens von 242 Säuren, um zu finden, daß dieses Gesetz allgemein zutrifft. Nachdem diese Großtat, die ja allgemein bekannt und gewürdigt ist, vollendet war, schloß er seine Untersuchungen auf diesem Gebiet mit einigen Abhandlungen ab, wovon die bedeutendsten sind: „Zusammensetzung der Ionen und ihre Wanderungsgeschwindigkeit“, „Oxydations- und Reduktionsvorgänge“ und „Bestimmungen der Basizität der Säuren, ihre Zusammensetzung und Konstitution“ (alle 1888), „Elektrische Eigenschaften halbdurchlässiger Scheidewände“ (1890), „Farbe der Ionen“ (1892) und „Dissoziation des Wassers“ (1893).

Ostwald entwickelte eine geradezu explosive Wirksamkeit auf diesem Gebiete. In seinem Institut in Leipzig versammelten sich Schüler aus

der ganzen Welt und die von ihm 1887 gegründete und redigierte Zeitschrift sammelte alle Kräfte, die sich der physikalischen Chemie widmeten. In dieser veröffentlichte er seine zahlreichen wissenschaftlichen Abhandlungen und die lebhaft geschriebenen prächtigen Kritiken über anderswo erscheinende Arbeiten in seiner mächtig aufblühenden Wissenschaft, wodurch er die Entwicklung auf diesem Gebiete in höchstem Maße beförderte und ihr Form und Richtung gab. Es ist kein Wunder, daß *Ostwald* sich bei diesen gigantischen Arbeiten überanstrengte. Das geschah damals regelmäßig im Frühling jedes Jahres. Aber ebenso bewunderungswürdig wie seine Arbeitsfähigkeit war die Geschwindigkeit, mit

welcher er sich in einigen Wochen erholte. Und wenn man seine jetzige Rüstigkeit sieht, muß man sagen, daß nur äußerst selten ein Gelehrter so von der Natur zur Ausführung einer Riesenarbeit veranlagt gewesen ist. Bevor er noch seine große Arbeit über die Chemie der Lösungen abgeschlossen hatte, wendete er sich einer weitumfassenden erkenntnistheoretischen Arbeit zu, indem er seine ersten „Studien zur Energetik“ (1892) ausführte. Und in den seitdem verflossenen dreißig Jahren hat er mehrmals neue Arbeitsfelder angegriffen und aufgearbeitet. Wir hoffen, daß der Jubilar uns noch manchen köstlichen Fund mit Hilfe seiner unermüdlichen Energie zutage fördern wird.

Wilhelm Ostwald zum siebzigsten Geburtstag.

(Am 2. September 1923.)

Von H. Freundlich, Berlin-Dahlem.

Der Name *Wilhelm Ostwald* schlug mir zum erstenmal entgegen, als ich im Winter 1898/99 bei *Rothmund*, der damals Privatdozent in *München* war, eine Vorlesung über Elektrochemie hörte. Als wäre es gestern, so ist mir noch das freudige Erstaunen lebendig, das mich erfüllte, als sich das schön verknüpfte Gewebe der Theorie der verdünnten Lösungen und der Dissoziation vor meinen Augen entfaltete. Alles wurde dadurch frischer und gegenwärtiger, daß *Rothmund* selbst als Schüler *Ostwalds* jene glänzendste Zeit des *Leipziger* physikalisch-chemischen Instituts zu Anfang der neunziger Jahre miterlebt hatte. Diese Eindrücke lösten zuguterletzt bei mir den Entschluß aus: ich gehe nach *Leipzig* und suche im *Ostwaldschen* Laboratorium vom Standpunkt der neueren Lösungstheorie aus die Kolloide verstehen zu lernen. Nun sah es im *Leipziger* Institut um die Jahrhundertwende in mancher Hinsicht anders aus als zehn Jahre vorher. Nachdem *Ostwald* der Ionentheorie zum Siege verholfen hatte, war er in einen neuen Kreis von Aufgaben getreten: ihn bewegte der Kampf der Energetik mit der Atomistik, und technische Fragen begannen ihn bald darauf zu fesseln, so daß er selbst nicht mehr sein Herz rein physikalisch-chemischen Dingen zuwandte. Aber der Geist, den er erweckt hatte, lebte in dem von *Luther*, *Bredig* und *Bodenstein* geleiteten Institut weiter, jener „Geist brüderlicher Offenheit und begeisterter Arbeitsfreude“, den so mancher *Ostwaldschüler* später in seinem eigenen Laboratorium wiederzuerwecken gesucht hat und dabei entdecken mußte, welch ein außerordentliches Maß von Überlegenheit und Sachlichkeit, von Frische und untüglarer, stets bereiter Arbeitskraft dazu gehört. Wer jenen goldenen Spätsommer des *Ostwaldschen* Instituts miterlebt hat, dem ist er in unauslöschlicher Erinnerung. Daß durch *Ostwalds* Beispiel die kinetische Theorie der Gase mit einer gewissen Gleichgültigkeit und Abneigung behandelt wurde,

und daß man sich deshalb ihr Handwerkszeug nicht in der Zeit jugendlicher Aufnahmefähigkeit angeeignet hat, empfindet mancher jetzt vielleicht als einzigen leichten Schatten.

Man trifft nicht den Kern von *Ostwalds* Wesen, wenn man ihn bloß als Naturwissenschaftler ansieht. Der leidenschaftliche Wunsch, irgendeine Naturerscheinung so gründlich wie möglich zu begreifen, ist wohl zu keiner Zeit seines Lebens die einzige Triebkraft gewesen, die in ihm wirkte. Es ist vielmehr ein Übermaß von Tatenlust und Energie, die ihn zum Schaffen zwingt, und der Drang, immer weitere Kreise von Menschen an dem Gewinn seiner Erkenntnisse teilhaben zu lassen und sie in den Bann seiner Anschauungen zu ziehen. Mit diesen außerordentlichen Eigenschaften des Willens ist eine auch sonst glänzende Begabung gepaart: ein großes Handgeschick, ein guter Sinn für das Praktische, ein erstaunliches Gedächtnis, ein rascher Blick und ein nicht minder rasches, klares Urteil, eine treffsichere Feder, die reibungslos das rechte Wort an die rechte Stelle setzt. Den kühnen Bergsteiger reizen die Felsen, die noch kein Fuß betreten hat. So locken *Ostwald* nur Gebiete, die unbeachtet oder verkannt brach da liegen. In den siebziger Jahren, in denen sich fast jeder junge Chemiker der Bearbeitung der aromatischen Verbindungen zuwandte, weil die Benzoltheorie die schönsten wissenschaftlichen wie technischen Gewinne versprach und gewährte, beginnt *Ostwald* seine wissenschaftliche Tätigkeit an der *Dorpater* Hochschule, indem er, von seinem Lehrer *Lemberg* angeregt, das chemische Gleichgewicht in wässrigen Lösungen untersucht. Und das chemische Gleichgewicht war damals für die meisten trotz *Guldberg* und *Waage* nichts mehr als eine wissenschaftliche Sonderbarkeit, und es gelangte mit durch *Ostwalds* Arbeiten erst zu der Bedeutung, die ihm gebührte.

So mannigfaltig seine Betätigung dem oberflächlichen Beobachter zunächst erscheint, man

erkennt bald, wie unverändert seine Wesensart zur Geltung kommt. Ohne Zögern, ohne Schwanken wandelt er neue Bahnen, und mit der ihm eigenen Furchtlosigkeit und Freude am geistigen Kampfe scheut er sich nicht, unermüdetlich in Wort und Schrift die Meinungen zu vertreten, zu denen er durchgedrungen ist, mögen sie der näheren und ferneren Öffentlichkeit noch so fremd und überraschend erscheinen. Sein Lehrbuch der allgemeinen Chemie, das er 1884 in erster Auflage veröffentlichte, gab der physikalischen Chemie den Platz, der ihr zukam. Im folgenden Jahr begann das Jahrzehnt der neueren Lösungstheorie. Was es bedeutet hat, daß *Ostwald* für sie sein ganzes Wollen und Können in die Wagschale warf, ist jedem bekannt; man braucht sich bloß der Tätigkeit des *Leipziger* physikalisch-chemischen Institutes, seiner Lehrbücher, der Gründung der Zeitschrift für physikalische Chemie und der Bunsengesellschaft zu erinnern. Und in dem nach ihm benannten Verdünnungsgesetz gelang ihm in besonders glücklicher Weise die Erklärung der Ergebnisse seiner älteren Gleichgewichtsversuche auf Grund der Dissoziationstheorie.

Es war wohl die Beschäftigung mit den thermodynamischen Studien des großen Theoretikers *Gibbs*, die *Ostwalds* Denken und Planen eine neue Richtung gaben. Der Begriff der Energie rückte in den Mittelpunkt seiner Weltansicht. Er bekämpft deshalb zunächst die molekularkinetischen Anschauungen, wie sie weitgehend die Physik und Chemie beherrschten, wie wir jetzt wissen, mit Recht beherrschen. Dann geht er weiter und macht die Energie zum Kern eines Weltbildes, indem er die Dinge danach zu bewerten sucht, ob man die Energie wirksam aus-

nutze oder sie vergeude. Es ist verständlich, daß in dieser Zeit technologische Aufgaben für ihn an Bedeutung gewinnen. Von den mancherlei Fragen, die ihn beschäftigten, brachte eine, die von ihm zuerst durchgeführte Verbrennung des Ammoniaks zur Salpetersäure, einen bemerkenswerten Erfolg; sein Verfahren wurde ja für uns im Kriege entscheidend wichtig. Dann erschien ihm alles, was Reibungen verminderte und aufhob, besonders wertvoll, und so trat er für eine Weltsprache ein, für den Weltfrieden, für ein Weltgeld, kurz für alle Bestrebungen, die scheinbar oder wirklich unfruchtbare Unterschiede und Gegensätze beseitigen wollten.

Als müßte die Natur zeigen, daß ein solch verstandesmäßiges Weltbild ihrem Wesen noch lange nicht gerecht würde, so ließ sie die entsetzliche Energievergeudung des Weltkrieges losbrechen und zerriß damit fast alle völkerverbindenden Fäden. *Ostwalds* Tatkraft wurde durch diese Enttäuschung nicht gelähmt. Von jeher war ihm das Malen eine liebe Erholung gewesen, nicht minder die Beschäftigung mit Fragen der malerischen Technik. Hier knüpfte er an, vertiefte sich in die Farblehre, gestaltete sie so aus, daß sie kunstgewerblichen Arbeiten dienen konnte, und gewann so eine neue Möglichkeit, in die Weite zu wirken. Denn es ist eine Forderung unserer Zeit und vielleicht eine Quelle, aus der künftig eine neue, glücklichere Kunstbetätigung entspringen wird, daß auch größere Volkskreise der Freude am Schönen teilhaftig gemacht werden.

Möge *Ostwald* in seiner unüberwindbaren Tatkraft und dem Mut, mit dem er für die als gut und richtig erkannten Gedanken eintritt, uns noch lange Jahre Lehrer und Vorbild bleiben!

Über die spezifische Natur und den Wirkungsmechanismus kohlehydrat- und glykosidspaltender Enzyme¹⁾.

Von Richard Kuhn, München.

Der Anreiz, den zahllosen Beobachtungen, die über den Verlauf enzymatischer Katalysen vorliegen, neue Messungen hinzuzufügen, geht aus von den Ergebnissen der präparativ gerichteten Untersuchungen *R. Willstätters*, der gelehrt hat, die Enzyme durch Adsorptionsmethoden von dem außerordentlichen Ballast an Begleitstoffen weitgehend zu befreien, von dem sie in den natürlichen Organen und Sekreten begleitet werden (1). Schon heute scheint es in einzelnen Fällen möglich durch Vergleich der Wirkungen, den diese Katalysatoren bei wechselndem Reinheitsgrade ausüben, das Wesentliche der Erscheinungen von dem durch zufällige Beimischungen Bedingten zu unterscheiden. Zu diesem Zwecke ist eine *Vervollkommnung der quantitativen Analyse der Enzymwirkungen nötig*. Sie hat zur Erkenntnis

einiger experimenteller Fehlerquellen geführt und verspricht nunmehr die Vorstellungen über das Wesen der Fermente selbst zu vertiefen und uns zugleich dem Endziel kinetischer Forschung näher zu führen: aus dem Verlauf einer Reaktion den Mechanismus derselben zu ergründen. Denn der Probleme, vor die uns die Enzyme stellen, gibt es zwei. Das eine ist die Frage nach ihrer chemischen Eigenart, nach dem Ursprung jener wundervoll abgestimmten Affinitäten, mit deren Hilfe die Natur den Stoffwechsel im Tier- und Pflanzenreiche regelt; das andere ist ein Problem der Katalyse so wie viele andere, bei denen wir über die Zusammensetzung der Katalysatoren bereits wohl unterrichtet sind oder doch unterrichtet zu sein glauben, und über dieses letztere will ich heute sprechen.

Die Arbeitskontrolle bei der Isolierung von Enzymen besteht in der fortwährenden Bestim-

¹⁾ Vortrag, gehalten vor der Münchener Chemischen Gesellschaft am 1. März 1923.

mung von Reaktionsgeschwindigkeiten, aus denen wir nach dem Vorbilde der von *R. Willstätter* und *A. Stoll* (2) im Jahre 1917/18 veröffentlichten Untersuchung „Über Peroxydase“ Ausbeute und Konzentration der Enzyme in den gewonnenen Lösungen und Präparaten berechnen. Aber diese Methodik beruht auf der unbewiesenen Voraussetzung, daß die Reaktionsgeschwindigkeiten zu den Mengen der Enzyme immer in demselben Verhältnis stehen, mit anderen Worten, daß unter gleichen äußeren Bedingungen gleiche Enzymmengen unabhängig von der differierenden Art und Konzentration der natürlichen Begleitstoffe immer gleiche Reaktionsgeschwindigkeiten bewirken.

Der quantitative Vergleich von Reaktionsgeschwindigkeiten hat noch in anderer Hinsicht für die Beurteilung der nach den Sorptionsmethoden gewonnenen Enzympräparate Bedeutung erlangt. Die Rohprodukte, aus denen wir die Enzyme zu isolieren versuchen, sind durch eine außerordentliche Mannigfaltigkeit von katalytischen Wirkungen ausgezeichnet. So vermag die Pankreasdrüse Fette, Kohlehydrate und Proteine abzubauen, der Hefepilz die verschiedensten Zuckerarten und Glykoside zu zerlegen und das Emulsin, das wir in den Samen der Prunaceen und Pomaceen antreffen, ist imstande eine große Zahl natürlicher und künstlicher Derivate des Traubenzuckers zu hydrolysieren. Da erhebt sich die Frage, ob die Natur diese Fülle von Erscheinungen in jedem Falle durch einen einzigen oder durch ganz wenige Katalysatoren hervorgerufen vermag oder ob sie über einen großen Schatz von solchen verfügt, von dem je nach Bedarf nur dieser oder jener seine Wirksamkeit entfaltet. *E. Fischer*, der die schönsten Beispiele für die Spezifität zucker- und eiweißspaltender Fermente beschrieben hat, sagt (3), daß diese Frage erst entschieden werden könne, wenn es gelingt, die Träger der Wirkungen in reinem Zustande darzustellen. Aber schon die *Trennung* der einzelnen Wirkungen, die z. B. *R. Willstätter* in Gemeinschaft mit *E. Waldschmidt-Leitz*, *F. C. Memmen* und *A. R. F. Hesse* (4) für die Lipase, die Amylase und das Trypsin des Pankreas durch Anwendung von Sorptionsmitteln gelungen ist, tut die *stoffliche Verschiedenheit* dieser Fermente kund. Die Aufgabe, näher verwandte Enzyme, wie es z. B. die Carbohydrasen der Hefe zu sein scheinen, mit ähnlichen Methoden voneinander zu sondern, ist dagegen noch ungelöst. In einer Mitteilung, die *R. Willstätter* mit mir (5) vor zwei Jahren veröffentlicht hat, wurde unter anderem versucht, Saccharase und Maltase auf Grund der folgenden Beobachtung zu trennen. Wenn man das Rohrzucker spaltende Enzym an Aluminiumoxydhydrat bindet, so gelingt es durch nachträgliches Behandeln der Tonerde mit Rohrzucker, das Enzym wieder in Lösung zu bringen, während Malzzucker keine Ablösung (Elution) des Enzyms bewirkt. Es hat sich aber

gezeigt, daß die Wirkung des Rohrzuckers keineswegs spezifisch ist. Er vermag auch das malzzuckerspaltende Enzym zu eluieren und umgekehrt wird das maltasehaltige Sorbat von seinem Substrat nicht zerlegt. Es findet zwar reichliche Hydrolyse der Maltose statt, doch bleiben die Maltaseteilchen an der Tonerde verankert.

In solchen Fällen sucht die „*Methode der Zeitwertquotienten*“ über die Zusammensetzung der Enzympräparate zu entscheiden. Unter der bereits erwähnten Annahme von der Proportionalität von Katalysatormenge und Reaktionsgeschwindigkeit muß nämlich das Verhältnis der Geschwindigkeiten, mit denen ein Enzym den Umsatz von zwei verschiedenen Stoffen bewirkt, unabhängig sein von der Herkunft und dem Reinheitsgrade des Enzymmaterials. Wenn z. B. eine bittere Mandel für die Hydrolyse einer bestimmten Menge β -Phenylglykosid 10mal weniger Zeit benötigt als zur Spaltung der äquivalenten Menge von β -Methylglykosid, dann sollte auch ein Aprikosenkern oder ein aus süßen Mandeln gewonnenes Enzympräparat das aliphatische Glykosid 10mal langsamer angreifen als das aromatische, etwa so wie alle Mineralsäuren den Rohrzucker 1240mal schneller spalten als den Milchsucker. Findet man indes in verschiedenem Ausgangsmaterial ein differierendes Verhältnis der Reaktionsgeschwindigkeiten oder verschiebt sich dieses im Laufe der Reinigungsoperationen, so deutet dies auf die Unabhängigkeit der für jede Reaktion nötigen Katalysatoren, die von der Natur in wechselndem Mengenverhältnis gebildet werden und deren Beständigkeit eine ungleiche ist.

Die Schwankungen der Zeitwertquotienten, die für verschiedene Wirkungen der Hefen und deren Auszüge (6) beobachtet wurden, sind in den letzten zwei Jahren durch eingehende Messungen von Emulsinzeitwerten (7) ergänzt und durch Annahme einer größeren Zahl auffallend spezifisch eingestellter Enzyme gedeutet worden. Der einzige Einwand, der meines Wissens gegen die Berechtigung dieser Schlußfolgerungen erhoben wurde, stammt von *H. v. Euler*, der im II. Teil seiner kürzlich erschienenen 2. Auflage der „*Chemie der Enzyme*“ in einer Fußnote auf S. 146 zur Verschiedenheit von Maltase und α -Methylglykosidase bemerkt: „Allerdings ist nicht ganz ausgeschlossen, daß Aktivatoren existieren, welche auf das eine oder andere Substrat spezifisch wirken.“

Dieser Erklärungsversuch vermag nur die spezifische Natur der Enzyme selbst zu ersetzen durch die Spezifität der Systeme (Enzym + Aktivator A), (Enzym + Aktivator B); für Substrate von geringerem Strukturunterschiede ist er weniger wahrscheinlich. Die Schwankungen der Zeitwertquotienten sind aber auch erklärbar durch den Einfluß von Begleitstoffen auf das Enzym. Von diesem Gesichtspunkt aus habe ich die spezifische Natur von Saccharase und Raffi-

nase, über die *R. Willstätter* mit mir berichtet hat (6), zum Gegenstand einer erneuten Untersuchung gemacht. Die Verhältnisse schienen nämlich hier am einfachsten zu liegen. Das Verhältnis der Geschwindigkeiten, mit denen verschiedene Heferasen den *Rohrzucker* und sein β -Galaktosid, die *Raffinose*, angreifen, variiert nicht stark und es erweist sich als konstant, wenn man eine bestimmte Hefe mit den daraus gewonnenen Enzymlösungen und -präparaten vergleicht.

Geht man von der Annahme aus, daß z. B. für die Hydrolyse des Rohrzuckers seine Vereinigung mit dem Invertin maßgebend ist, dann wird die Geschwindigkeit der Reaktion zunächst von den folgenden Faktoren abhängen: von der Bildungsgeschwindigkeit des Enzym-Zucker-Komplexes, von der Zusammensetzung und von der Konzentration dieser Verbindung und endlich von ihrer Zerfallsgeschwindigkeit. Ich habe mir die Frage vorgelegt, auf welchen dieser Faktoren die

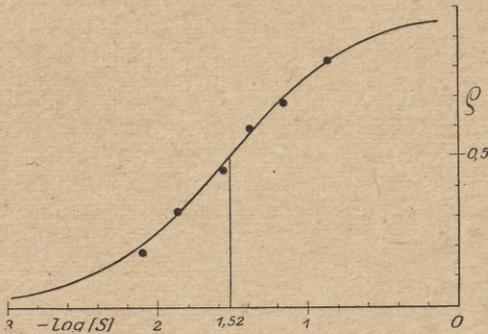


Fig. 1. Saccharasewirkung bei wechselnder Zuckerkonzentration; Abszissen: negativ genommene Logarithmen der Rohrzuckerkonzentration; Ordinaten: gebildeter Invertzucker (willkürlicher Maßstab).

natürlichen Beimengungen des Hefeinvertins den entscheidendsten Einfluß ausüben könnten. Für die Reaktionsbeeinflussung enzymatischer Hydrolysen gibt es nämlich einige typische Möglichkeiten, zwischen denen sich durch reaktionskinetische Messungen prinzipiell entscheiden läßt (8).

Betrachtet man den molaren Umsatz, den eine gewisse Enzymmenge in Lösungen von wechselnder Rohrzuckerkonzentration in gleichen, kurz gewählten Zeiten bewirkt, als Funktion der Konzentration des Rohrzuckers, so findet man, daß von 5proz. Lösungen an der pro Zeiteinheit umgesetzte Betrag durch Erhöhung der Zuckerkonzentration nicht mehr gesteigert wird. Für rechnerische Zwecke ist es geeigneter, mit *L. Michaelis* und *M. L. Menten* (9) den molaren Umsatz als Funktion des Logarithmus der reziproken Zuckerkonzentration darzustellen, wie es in Fig. 1 geschehen ist.

Die Abszissen sind also die negativ genommenen Logarithmen der Substratkonzentration. Diese Kurven, die ich Aktivitäts- p_s -Kurven nenne, entsprechen vollkommen denjenigen, in welchen man nach dem Vorgange von *S. P. L.*

Sørensen und *L. Michaelis* die Abhängigkeit der Enzymwirkungen vom Wasserstoffexponenten, dem p_H , darzustellen gewohnt ist — den Aktivitäts- p_H -Kurven. *L. Michaelis* und *M. L. Menten* (9) haben in einer grundlegenden Untersuchung vor zehn Jahren den Nachweis erbracht, daß die Aktivitäts- p_s -Kurve des Invertins mit der Dissoziationsrestkurve einer Säure bzw. Base übereinstimmt. Wir wollen dies zunächst mit *Michaelis* und *Menten* dahin deuten, daß zwischen Enzym und Zucker ein Gleichgewicht besteht, das durch das Massenwirkungsgesetz geregelt wird, und daß die Reaktionsgeschwindigkeiten der Konzentration der undissoziierten Invertin-Rohrzucker-Verbindung proportional sind.

$$\frac{[\text{Saccharose}][\text{Rohrzucker}]}{[\text{Saccharase-Rohrzucker}]} = K_s$$

Die Anwendbarkeit des Massenwirkungsgesetzes auf die an manchen hydrophilen Kolloiden sich abspielenden Reaktionen wird durch wichtige Arbeiten von *Wo. Pauli* (10) in Wien und von *J. Loeb* (11) in New York, welche namentlich die Salzbindung von Proteinen untersucht haben, gestützt. Doch scheint die Heranziehung dieses Gesetzes zur Beschreibung enzymatischer Systeme nur mit dem größten Vorbehalte möglich, solange wir das Substratäquivalent des Enzyms nicht kennen und für die molare Dispersität desselben keine Anhaltspunkte haben. Ich werde jedoch noch zeigen, daß in gewissen Fällen die Größe von K_s praktisch unabhängig ist vom nephelometrischen bzw. ultramikroskopischen Bilde der Invertinlösungen, und ich werde zeigen, wieso dies möglich ist. Für die jetzige Betrachtung ergibt sich daraus, daß wir es beim Invertin *scheinbar* überall mit gleicher Teilchengröße (bzw. molarer Verteilung) zu tun haben, und aus diesem Grunde möge vorerst die Heranziehung des Massenwirkungsgesetzes wenigstens *formell* berechtigt erscheinen.

Ist nun die Geschwindigkeit, mit der sich das Gleichgewicht zwischen Saccharase und Saccharose einstellt, von derselben Größenordnung wie die Zerfallsgeschwindigkeit dieser Verbindung, so müßte man durch Konzentrationserhöhung, sei es des Katalysators, sei es des Rohrzuckers, auch in den Sättigungsgebieten eine Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeiten beobachten können, welche eine Abweichung von der theoretischen p_s -Kurve bedingt. Das Experiment zeigt, daß diese Abweichungen nur innerhalb der Versuchsfehler liegen können und daß die *Bildung der Invertin-Rohrzucker-Verbindung* unter den üblichen Versuchsbedingungen entweder außerordentlich schneller verläuft als ihr Zerfall, oder daß umgekehrt die eigentliche Hydrolyse sehr rasch verläuft und daß der vom Invertin wegdiffundierende Invertzucker die Bildungsgeschwindigkeit bestimmt. Im letzteren Falle wird uns die wahre Dissoziationskonstante der Enzym-Zucker-Verbindung verborgen bleiben.

Über etwaige Änderungen der Struktur und der Konzentration dieser Verbindung muß man zu entscheiden suchen, indem man die wichtigsten Faktoren, von denen die Reaktionsgeschwindigkeit abhängt, variiert und die mit den verschiedensten Enzymlösungen gewonnenen Ergebnisse miteinander vergleicht. Es hat sich dabei gezeigt, daß keine wesentlich verschiedene Abhängigkeit von der Temperatur und der $[H^+]$ durch die heute abtrennbaren Fremdstoffe bewirkt wird. Unabhängig vom Reinheitsgrade (12), beträgt der Parameter der Saccharase- p_H -Kurven in Übereinstimmung mit den Angaben der Literatur $6,6 \pm 0,1$ bei 30° . Denselben Befund haben *H. v. Euler* und *K. Myrbäck* (13) mit ihren nach den Willstätterschen Sorptionsmethoden gereinigten Präparaten aus schwedischer Brauereihefe erhoben. Auch die Schwankungen des Temperaturkoeffizienten, den *R. Willstätter*, *J. Graser* und ich (12) für Invertinlösungen von verschiedener Herkunft und weit differierendem Reinheitsgrade zwischen $15,5$ und 30° bestimmt haben, bewegen sich nur innerhalb der Versuchsfehler.

Ausschlaggebend für die Beziehung der Invertinmengen zu den Inversionsgeschwindigkeiten und damit für die Entscheidung über die Spezifität dieses Enzyms ist die *Berücksichtigung der wechselnden Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeiten von der Zuckerkonzentration, die wechselnde Affinität des Enzyms zu seinem Substrat.*

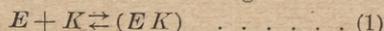
Die Unterschiede der scheinbaren Dissoziationskonstanten der Saccharase-Saccharose-Verbindungen, die sich für Invertinlösungen und -präparate der verschiedensten Herkunft ergaben (14), betragen bis zu 250% des kleinsten numerischen Wertes. Der mögliche Fehler der einzelnen K_s -Bestimmungen beträgt demgegenüber nicht mehr als $\pm 5\%$. In Tabelle I findet man eine kleine Zusammenstellung solcher Messungen, die mit Saccharaselösungen aus bayerischen, preußischen, dänischen und amerikanischen Brauerei- und Brennereihefen angestellt wurden. In der dritten Kolonne steht das Reziproke von K_s , die Affinitätskonstante, in der vierten derjenige Bruchteil des vorhandenen Enzyms, der unter den Bedingungen der üblichen Zeitwertbestimmung (in 0,1387 n-Lösung) an Zucker gebunden ist. Er schwankt zwischen 89,5 und 77,5%.

Tabelle I.

Invertin	K_s	A_s	gebundene Saccharase ($0/n$)
Brennereihefe Rasse XII ..	0,016	63	89,5
Brennereihefe Kopenhagen	0,017	59	89
Amerikanische Brauereihefe	0,020	50	87,5
Münchener Löwenbräuhefe	0,029	35	82,5
Münchener Löwenbräuhefe	0,040	25	77,5

Die einfachste, wenn auch nicht streng richtige

Deutung dieser Verschiedenheiten wäre die folgende: Kommt zum System Saccharase-Rohrzucker noch ein dritter Körper hinzu, welcher einen Teil des freien Enzyms zu binden und dadurch der Vereinigung mit dem Rohrzucker zu entziehen vermag, so muß dadurch die scheinbare Dissoziationskonstante erhöht, ihr reziproker Wert, die Affinität des Enzyms zum Zucker, erniedrigt werden. Entspricht die Beziehung des Enzyms zu diesem Körper K einem Dissoziationsgleichgewicht im Sinne der Gleichung



wobei dem Komplex (EK) keinerlei katalytische Wirkung mehr zukommt, so folgt aus dem Massenwirkungsgesetz, daß die Dissoziationskon-

stante $K_s \frac{K + K_K}{K}$ mal größer erscheinen wird,

wenn K die Konzentration des Hemmkörpers und K_K die Dissoziationskonstante des Gleichgewichts (1) bedeutet. Die Extrapolation der Reaktionsgeschwindigkeiten für unendlich hohe Zuckerkonzentration wird in diesem Falle den Vergleich der jeweils vorhandenen Saccharasemengen ermöglichen, weil unter diesen Bedingungen der Hemmkörper mit dem Rohrzucker nicht mehr erfolgreich um die Saccharase konkurrieren kann.

Dank den bahnbrechenden Untersuchungen von *S. P. L. Sørensen*, *L. Michaelis*, *P. Rona* und ihrer Schüler hat man schon vor mehr als zehn Jahren die Bedeutung der *Wasserstoffionenkonzentration* für biologische Vorgänge erkannt und hat in bezug auf diese stets prozentisch gleiche Teile der maximal möglichen enzymatischen Reaktionsgeschwindigkeiten verglichen. Heute erst lernen wir den in dieser Hinsicht weit entscheidenderen Einfluß der *Substratkonzentration* kennen.

Es erscheint somit als eine der Vorbedingungen für die Proportionalität von Saccharasemenge und Inversionsgeschwindigkeit, daß man die Messungen auf solchen Punkten der Aktivitäts- p_H - und der Aktivitäts- p_s -Kurven vornimmt, welche gleiche Ordinaten haben. Dieselbe *Näherung* läßt sich erreichen, indem man (z. B. für den Vergleich von bayerischem und amerikanischem Invertin) nach einem Vorschlage von *R. Willstätter* und mir (15) die Reaktionskonstanten oder die Saccharasewerte, welche ein Maß der Enzymmengen darstellen, auf ein Invertin von der mittleren Affinitätskonstante 50 umrechnet, also durch Multiplikation derselben mit $\frac{n + K_s}{n + 0,02}$ wenn die Inversion in n -normaler Lösung verfolgt wurde.

Für die Zeitwertquotienten ergibt sich, daß sie bei einem Enzym von wechselnder Zuckeraffinität ebenso differieren können, wie wenn sie mit einer bestimmten Enzymlösung bei verschiedener Normalität der Substrate ermittelt und miteinander verglichen würden. Hierbei ist aber

nur in zwei besonderen Fällen Konstanz des Quotienten zu erwarten:

1. wenn die Dissoziationskonstanten der Enzym-Substrat-Verbindungen übereinstimmen,
2. wenn die scheinbaren Dissoziationskonstanten zwar verschieden, aber so gering sind, daß die gewählte Konzentration der Substrate genügt, um den Einfluß enzymbindender Verunreinigungen unmeßbar klein zu machen, wenn also in bezug auf die Substratkonzentration die maximal mögliche Geschwindigkeit der Hydrolysen praktisch erreicht wird.

Aus einer Untersuchung, die *R. Willstätter*, *H. Sobotka* und ich ausgeführt haben (16), wird hervorgehen, daß diese Bedingungen bei der Spaltung der β -Glykoside des Phenols, des Salicylalkohols und des Salicylaldehyds durch Emulsin nahezu erfüllt sind. Es wird dadurch verständlich, daß *R. Willstätter* und *G. Oppenheimer* (7) an diesem Beispiel noch mit der früheren Methodik zum ersten Male für ein zuckerspaltendes Enzym durch quantitative Messungen wahrscheinlich machen konnten, daß es verschiedene Substrate anzugreifen vermag.

Wie steht es nun mit der Affinität der Raffinase zur Raffinose? Diese Größe läßt sich experimentell nicht mit derselben Genauigkeit ermitteln, die bei der Saccharase möglich war. Die bisherigen Betrachtungen haben sich — wenn ich so sagen darf — auf eine „Enzymchemie verdünnter Lösungen“ bezogen, auf Hydrolysen in wässrigem Milieu, bei denen ein großer Überschuß des Lösungsmittels auch für anorganische Katalysatoren von Bedeutung ist. Die Geschwindigkeit der Trisaccharidspaltung nimmt aber noch in so stark konzentrierten Lösungen zu, wo die maximale Geschwindigkeit der Disaccharidspaltung längst erreicht ist, daß man genötigt ist, einen großen Teil der Aktivitäts- p_s -Kurven zu extrapolieren. Die in Tabelle II angeführten Werte für

$$\frac{[\text{Raffinase}][\text{Raffinose}]}{[\text{Raffinase-Raffinose}]} = K_R$$

sind daher erheblich ungenau. Aber die Differenz zwischen den Brauerei- und den Brennereihefen überschreitet ganz sicher die Versuchsfehler.

Tabelle II.

Invertin	K_R	A_R	Gebundene Raffinase (%)
Berliner Rasse II.....	0,24	4	36,5
„ „ XII.....	0,24	4	36,5
Dänische Brennereihefe ...	0,27	4	34
Münchener Brauereihefe...	0,66	1,5	17,5

In Fig. 2 sind zwei Paare von Aktivitätskurven zusammengestellt. S_D und R_D beziehen sich auf Saccharase- und Raffinasewirkung eines Auszugs aus Kopenhagener Brennereihefe, S_L

und R_L sind die entsprechenden Kurven für eine Invertinlösung aus Löwenbräuhefe. Der experimentell bestimmte Verlauf der Kurven ist ausgezogen, ihr weiterer Verlauf durch Striche angedeutet.

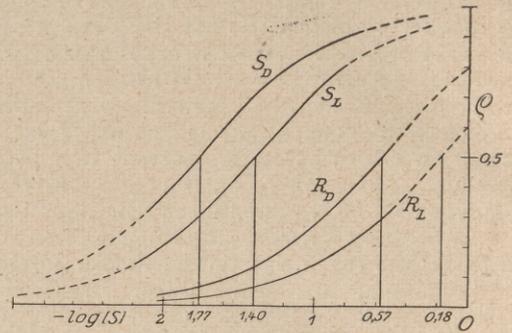


Fig. 2. Relative Affinitäten verschiedener Invertine zu Rohrzucker und Raffinose.

Diese Figur besagt nur, daß Saccharase und Raffinase von den in den Hefeauszügen enthaltenen Stoffen in annähernd gleicher Weise beeinflußt werden. Das ist bei der außerordentlichen Ähnlichkeit, die früher im Verhalten beider Enzyme festgestellt wurde (6) und die *H. v. Euler* (17) mit der von homologen Körpern in der organischen Chemie vergleicht, nicht erstaunlich.

Nimmt man aber noch die in jedem Falle ermittelten Zeitwertquotienten hinzu, setzt man also die Ordinaten der R -Kurven zu denjenigen der S -Kurven ins richtige Verhältnis, wie es z. B. in Fig. 3 geschehen ist, so sieht man das Ergebnis,

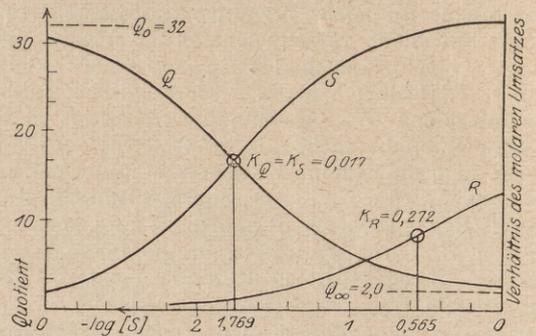


Fig. 3. Abhängigkeit der Zeitwertquotienten von der Zuckerkonzentration.

zu dem meine Untersuchung geführt hat und das aus Tabelle III noch deutlicher abgelesen werden kann:

Tabelle III.

Invertin	Q (0,138 n)	K_S	K_R	$K_R : K_S$	Q_∞
Berliner Rasse II	4,8	0,016	0,24	15	2,0
„ „ XII	5,0	0,016	0,24	15	2,0
Dänische Brennereihefe	5,0	0,017	0,27	16	1,9
Münchener Brauereihefe	8,3	0,040	0,66	17	1,9

Stimmen zwei Enzymlösungen in ihrer Affinität zum Rohrzucker überein, so ist nicht nur ihre Affinität zur Raffinose gleichfalls übereinstimmend, sondern es ist auch das Verhältnis der Hydrolysegeschwindigkeiten von Rohrzucker und Raffinose identisch. Nur bei Verschiedenheit von K_S ist auch K_R verschieden, und nur in diesem Falle differieren die Zeitwertquotienten. Weit innerhalb der Fehlergrenzen erweist sich auch das Verhältnis der scheinbaren Dissoziationskonstanten, der Affinitätsquotient $K_R:K_S$ als konstant. Er beträgt im Mittel aus allen Messungen 16. Und es zeigt sich, daß der für unendlich hohe Zuckerkonzentration extrapolierte Zeitwertquotient Q_∞ , den man als das Verhältnis der Zerfallsgeschwindigkeiten der Saccharase-Saccharose- und der Raffinase-Raffinose-Verbindungen deuten kann, konstant ist und als Mittelwert 1,9 ergibt.

Aus der eingangs erwähnten Annahme von der Anwendbarkeit des Massenwirkungsgesetzes läßt sich der mathematische Beweis erbringen, daß unter diesen Umständen das *molare Verhältnis von Saccharase und Raffinose* ungeachtet der schwankenden Zeitwertquotienten für jede untersuchte Enzymlösung *dasselbe* sein muß, und es scheint mir nicht zu kühn, daraus auf die *Identität* beider Enzyme zu schließen.

Die Ausbildung absolut spezifischer Enzyme in der Natur geht also nicht so weit, als gelegentlich angenommen wurde. Die Enzympräparate, die wir in Händen halten, erscheinen nicht mehr als unentwirrbares Gemisch. Sie sind bedeutend einheitlicher, als wir es lange Zeit gedacht.

Wir erhalten zum ersten Male ein Bild von der „relativen Spezifität“ eines Enzyms zu zwei Zuckern: Denken Sie sich die reine Rohrzucker-Invertin- und Raffinose-Invertin-Verbindung in Wasser von 30° zu solcher Konzentration gelöst, daß von den undissoziierten Enzym-Substrat-Verbindungen je 1 Mol im Liter enthalten ist. Dann haben Sie neben dem Trisaccharid $\sqrt{16} = 4$ mal mehr freies Enzym in Lösung, als neben dem Disaccharid und für jedes in Fructose und Melibiose gespaltene Raffinosemolekül werden in der gleichen Zeit etwa zwei Rohrzuckermoleküle in Fructose und Glykose zerfallen.

Der gesetzmäßige Zusammenhang von Saccharase- und Raffinasewirkung erlaubt zum ersten Male enzymatische Reaktionsgeschwindigkeiten im voraus aus anderen zu berechnen, die Bestimmung der Zeitwertquotienten durch Affinitätsmessungen zu ersetzen und umgekehrt aus der Kenntnis eines Quotienten auf die Dissoziationskonstanten der Enzym-Zucker-Verbindungen zu schließen. Solche Berechnungen, von denen ich eine größere Anzahl angestellt habe, haben mit den nachträglich direkt experimentell ermittelten Werten innerhalb der Versuchsfehler übereinstimmt.

Aus der mathematischen Betrachtung der Zeitwertquotienten ergibt sich u. a.: wenn einem

Enzym neben seiner *Hauptwirkung*, worunter ich die Hydrolyse desjenigen Substrates verstehe, zu dem es die größte Affinität besitzt, noch ein oder mehrere *Nebenwirkungen* zukommen, so hat der Wendepunkt der *Quotientenkurven*, durch die die Abhängigkeit der Zeitwertquotienten von der Substratkonzentration dargestellt wird (Q in Fig. 3), immer dieselbe Abszisse wie der Wendepunkt der Haupt- p_s -Kurve. Diese Beziehung wird die vervollständigende Beschreibung der Invertinwirkungen experimentell vereinfachen. Das Invertin der *Hefe* scheint nämlich außer dem Rohrzucker und der Raffinose noch eine Reihe seltenerer Zuckerarten anzugreifen, wie z. B. die Gentianose der Enzianwurzeln, die aus zwei Molekülen Glykose und einem Molekül Fructose aufgebaut ist, die Stachyose, in der an den Galaktoserest der Raffinose ein zweites Galaktosemolekül herangetreten ist, die Verbascose, den Zucker der Königskerze, und einige andere. Mit Unrecht zählt man aber hierher das Lävulin der Kompositen. Es stellt ein Gemenge von Kohlehydraten dar (18), aus dem ich Rohrzucker in kristallisiertem Zustand abgeschieden habe. Die Behauptung, daß diese Fructoside vom Hefeinvertin gespalten werden können, werde ich heute noch auf andere Weise zu stützen haben.

Man wird mit Recht bezweifeln, ob die Identität von Saccharase und Raffinase das Bild der enzymatischen Erscheinungen wesentlich vereinfacht. Scheint doch die Annahme dieser zwei Enzyme ersetzt worden zu sein durch eine außerordentliche Vielheit von Invertinen.

Ich habe nun den Vergleich des Invertins verschiedener Herkunft ergänzt durch den Vergleich der Affinitäten, den ein bestimmtes Invertin, z. B. das der Löwenbräuhefe, bei wechselndem Reinheitsgrade zum Rohrzucker aufweist und habe gefunden, daß in Übereinstimmung mit der Konstanz des Zeitwertverhältnisses für die Spaltung von Rohrzucker und Raffinose die *Dissoziationskonstante* der Invertin-Rohrzucker-Verbindung von den rohen Autolysaten der Hefe bis zu Präparaten von mehr als 1500facher Konzentration, in denen wir kein Kohlehydrat und keinen Phosphorgehalt mehr nachweisen können, *konstant* bleibt (14).

Die ihrer Zusammensetzung nach bekannten Begleiter des Invertins, die zu den Klassen der Proteine, der Nucleine und Zuckerarten gehören, vermögen also die Affinität des Enzyms zum Rohrzucker nicht zu beeinflussen. Und doch sind die Fermentteilchen mit all diesen Stoffen aufs innigste assoziiert. Diese sind es ja, welche das wechselnde Verhalten des Enzyms gegen Sorptionsmittel, das wechselnde Verhalten im elektrischen Stromfelde, die Fällbarkeit durch Schwermetallsalze, das ultramikroskopische Bild der Lösungen und so viel anderes bedingen (12). Man muß allerdings berücksichtigen, daß die Beobachtung von *R. Willstätter* und *H. Kraut* (19) über die Leichtigkeit, mit der diese Asso-

ziationen durch bloßes Verdünnen der Enzymlösungen gelockert werden können, es möglich erscheinen läßt, daß uns der Einfluß der Begleitstoffe nur deshalb entgeht, weil diese Komplexe unter den Bedingungen der Zeitwertbestimmung — bei durchschnittlich 100facher Verdünnung — zerfallen und weil sich die geringe Affinität der Begleitstoffe neben dem ungeheueren Rohrzuckerüberschuß nicht Geltung verschaffen kann. Vor zwei Jahren hat aber *R. Willstätter* mit mir (5) gezeigt, daß es Sorbate gibt, die bei der Einwirkung auf Rohrzucker nicht im geringsten zerlegt werden, z. B. Tonerde-Invertin bei Acetatpufferung. Denselben Befund haben gleichzeitig zwei amerikanische Forscher, *J. M. Nelson* und *D. J. Hitchcock* (20) für Invertin, das sie auf Kohle niedergeschlagen hatten, mitgeteilt, und sie haben unsere Beobachtung bestätigt, daß unter gewissen Bedingungen *das an die Oberfläche der Tonerde bzw. Kohle gebundene Enzym quantitativ genau so wirkt wie in wässriger Lösung.*

Die zusammenfassende Betrachtung der über das Invertin vorliegenden Beobachtungen hat *R. Willstätter*, *J. Graser* und mich (12) vor einem Jahre zu der Anschauung geführt, daß das Enzym aus einem kolloiden Komplex besteht, dessen aktive Gruppen rein chemisch wirken. Die Konstanz der Rohrzuckeraffinität zeigt nun, daß die natürlichen Verunreinigungen der Invertinlösungen nach Art der Tonerde und der Kohle nur mit dem kolloiden Komplex selbst verankert sein können und daß gewisse in der Wirkungssphäre des kolloiden Trägers sich abspielenden Vorgänge durch räumliche Trennung für die wirksamen Gruppen des Enzyms unbemerkt bleiben. Es ist ein polarer Bau der Fermentteilchen, den uns die Reaktionen des Invertins kundtun. Sie erinnern an andere Erscheinungen der räumlichen Orientierung solcher Gebilde an Phasengrenzflächen, wie sie als erster *J. Langmuir* (21) genauer beschrieben hat. *Langmuir* hat gezeigt, daß bei der Anreicherung einer Fettsäure an der Grenzfläche Wasser-Luft die Moleküle nicht beliebige Lagen einnehmen, sondern daß der „wasserunlösliche Teil des Moleküls“, der Kohlenwasserstoffrest, in die Oberfläche zu liegen kommt und daß die wasserlöslichen Carboxylgruppen ins Innere der Flüssigkeit gerichtet sind. Er konnte den von jedem Molekül eingenommenen Betrag der Oberfläche berechnen, der sich z. B. bei Glyceriden als dreimal so groß erwies als bei der entsprechenden Fettsäure.

Wenn beim Invertin-Tonerde-Sorbat die wirksamen Gruppen des Enzyms ins Innere der Flüssigkeit tendieren, so scheinen sie in gewissen Schwermetallsalzfällungen umgekehrt die Verankerung des Enzyms zu bewirken. Ich glaube, daß das Bild, das ich eben vom Bau der Invertinteilchen entworfen habe, von den Versuchen *Langmuirs* eine Brücke schlägt zu jenem Reich der Erscheinungen, wo die durch getrennte Ausbildung chemischer Gruppen bedingte verschieden-

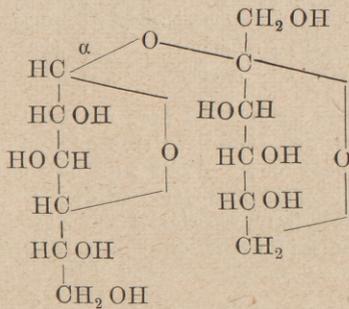
artige Orientierungsmöglichkeit der Moleküle für unser Leben die allergrößte Bedeutung erlangt. Ich meine damit die Immunochemie, die Vorstellungen über haptophore und toxophore Gruppen, über die Beziehung der Toxine zu ihren Antikörpern, wie sie *P. Ehrlich* (22) entwickelt hat.

Ich komme auf die Frage nach der Identität der Invertine, die wir in verschiedenen Heferasen antreffen, zurück, auf die wichtige Frage, ob einem Enzym überhaupt eine charakteristische und konstante Affinität zu seinem Substrat zukommt, ob sich die Verschiedenheiten der Aktivitäts- p^s -Kurven durch wechselnde Mengen von Fremdkörpern erklären lassen. Es hat sich gezeigt (14), daß diese Verschiedenheiten durch kochbeständige Begleiter des Enzyms hervorgerufen werden, die ihm in ihrer chemischen Eigenart verwandt sein mögen und für deren Abtrennung es bis heute noch keine Möglichkeit gibt. Es gelingt nämlich durch Zusatz gekochter Invertinlösungen zu einem wirksamen Invertin von hoher Affinität dieselbe herabzudrücken. Eine Erhöhung der Affinität (z. B. durch Vermischen einer Invertinlösung mit einem Kochsaft, in dem das Enzym vor dem Erhitzen eine doppelt so große Affinität zum Rohrzucker besaß) wurde nicht beobachtet. Beim Arbeiten mit großem Überschuß an Kochsäften gelingt es, alle hochaffinen Invertinlösungen auf gleich niedrige Affinität zu bringen, welche 30 ± 2 beträgt. Im übereinstimmenden Milieu der Begleitstoffe erweist sich somit die Affinität zum Rohrzucker als die gleiche, und es scheinen demnach *die rohrezuckerspaltenden Enzyme der verschiedenen Kulturhefen*, die ich untersucht habe, *identisch* zu sein. Zugleich geht daraus hervor, daß die frühere Annahme über die Beziehung des Enzyms zu den Hemmungskörpern nicht streng richtig sein kann und daß der Prozeß (1) wenigstens teilweise auch irreversibel verläuft. Die Assoziation mit dem Körper *K* führt nicht zu einem katalytisch unwirksamen Komplex (*EK*), wohl aber zu einem solchen von geänderter Reaktionsfähigkeit. Die scheinbare Affinität des Enzyms zu einem Trisaccharid wird nun durch diese Assoziationen stärker erniedrigt als die zu einem Disaccharid, die letztere wiederum stärker als die zu den Hexosen. Es ist daher zu erwarten, daß die Verschiedenheit der Affinität zum Rohrzucker, zu deren Ermittlung ausschließlich die *Anfangsgeschwindigkeiten* der Inversion verfolgt wurden, auch im zeitlichen Verlauf, in der *Kinetik*, eines einzelnen Versuches sich ausdrücken wird. Je geringer die Affinität zur Saccharose ist, um so stärker wird die hemmende Wirkung der Spaltprodukte zur Geltung kommen, um so flacher wird die Kinetik sein. Dies ist durch die Versuche vollauf bestätigt worden. Die Unzahl von Widersprüchen, die sich in der Literatur über den zeitlichen Verlauf der enzymatischen Rohrzuckerhydrolyse finden, und die *R. Willstätter*, *J. Graser* und ich bei Untersuchung der reinsten Invertinlösungen nicht auf

Verunreinigungen zurückführen konnten, findet damit ihre Erklärung.

Nicht alle rohrzuckerspaltenden Enzyme vermögen auch die Raffinose zu hydrolysieren. Dies gilt z. B. nach *E. Fischer* und *W. Niebel* (23) für die Saccharase des Dünndarms und *E. Fischer* zog daraus den Schluß, daß dieses Invertin mit demjenigen der Hefe nicht identisch sei. In der Tat scheint die Ursache hierfür in der Verschiedenheit der Mechanismen zu liegen, deren sich das tierische und pflanzliche Enzym beim Abbau des Rohrzuckers bedienen.

Betrachtet man das Formelbild, das *W. N. Haworth* und *W. H. Linell* (24) für den Rohr-



zucker entworfen haben, so kann die Hydrolyse auf eine der folgenden Arten eingeleitet werden.

1. Das Enzym vereinigt sich mit dem Glykoserest; die glykosidische Verknüpfung mit der Fructose geht dadurch oder aus einer anderen Ursache auseinander.
2. Es tritt analog Bindung des Fruchtzuckerrestes ein.
3. Eine Reaktion zwischen dem Enzym und der ätherartigen Sauerstoffbrücke zwischen den Hexosen stellt die notwendige und hinreichende Bedingung des Zerfalls dar.
4. Mehrere der genannten Reaktionen spielen sich gleichzeitig ab.

Die Versuche, auf die ich jetzt zu sprechen komme, zeigen, daß nur eine einzige von diesen Möglichkeiten für das Invertin der Hefe in Betracht kommt.

Zur experimentellen Entscheidung dieser Frage ist die Messung der Affinitäten des Enzyms zu denjenigen Formen von Glykose und Fructose nötig, die im Rohrzucker vorliegen. Weil aber die Monosaccharide vom Invertin in keinerlei Weise verändert werden, kann dies nur auf indirektem Wege geschehen. Nach dem Vorgange von *L. Michaelis* und *M. L. Menten* (9) wurde die verlangsamende Wirkung bestimmt, welche die Spaltprodukte auf die Inversionsgeschwindigkeit ausüben. Je größer ihre Affinität ist, um so mehr freies Enzym wird der Vereinigung mit dem Rohrzucker entzogen werden, um so geringer wird die Reaktionsgeschwindigkeit sein. Von der quantitativen Seite dieser Verhältnisse ist hervorzuheben, daß für den Fall, daß z. B. die Glykose mit dem Rohrzucker um das freie Enzym konkurriert, ein konstanter Gehalt

an Gleichgewichtsglykose eine Parallelverschiebung der Aktivitäts- p_s -Kurve nach rechts bewirken muß und daß dem tatsächlich so ist. Diese Feststellung ist wichtig, weil nach einer Untersuchung von *L. Michaelis* und *H. Pechstein* (25), deren Ergebnis ich gleichfalls bestätigen kann, die hemmende Wirkung des Glycerins auf andere Weise zustandekommt. Das Glycerin setzt nicht die Konzentration, wohl aber die Zerfallsgeschwindigkeit der Invertin-Zucker-Verbindung herab. Die Ordinaten der p_s -Kurven werden alle in demselben Maße verkleinert, die Kurven bleiben afflin.

Die Angaben der Literatur über den Einfluß des Traubenzuckers auf die Invertinwirkung sind widersprechend. *V. Henri*, *H. P. Barendrecht*, *L. Michaelis* und andere Forscher haben eine starke Verzögerung gefunden, *E. F. Armstrong* dagegen keine.

Die Ursache dieser Widersprüche habe ich in der Nichtbeachtung der Mutarotation der Hexosen erkannt: α -Glykose, also eine frisch bereitete Lösung des gewöhnlichen Traubenzuckers, hemmt die Invertinwirkung nicht im geringsten, während die niedrigdrehende β -Modifikation, die man am besten nach *R. Behrend* durch Kristallisation des gewöhnlichen Zuckers aus Pyridin bereitet, eine starke Verlangsamung bewirkt (26). Bei der Raffinosespaltung findet man genau dieselbe Erscheinung, nur daß sich wegen der geringeren Affinität des Invertins zum Trisaccharid derselbe β -Glykose-Zusatz ganz bedeutend stärker bemerkbar macht. Bei den durch *Emulsin* bewirkten Spaltungen von Salicin und Helicin hat sich gezeigt, daß die betreffenden Enzyme nur zu derjenigen Modifikation der Glykose eine meßbare Affinität zeigen, auf deren Derivate sich ihre hydrolytische Wirksamkeit beschränkt. Auch hier vermag nur die β -Glykose zu hemmen. Ich könnte noch manche Beobachtungen über die Hydrolyse des Milchzuckers, des Malzzuckers und anderer Glykoside anführen, aus denen hervorgeht, daß bei biochemischen Untersuchungen die Anwendung leicht isomerisierbarer Stoffe, wie mutarotierender Zuckerarten, nicht ohne genaue Angabe über die Darstellungsweise der Lösungen und den Zeitpunkt ihrer Verwendung erfolgen sollte.

Nicht wenige Angaben der Enzymliteratur erscheinen heute wegen Unkenntnis dieser Fehlerquelle wertlos. Zahlreich sind aber auch die Widersprüche, die sich klären lassen. Ja man sieht die Handgriffe, die vor Jahrzehnten in den verschiedensten Laboratorien ausgeführt wurden: Ich sehe, wie *E. F. Armstrong* in London die Zucker vielfach frisch abwägt, um kurz darauf das Enzym hinzuzufügen, ich sehe, zu welchen Versuchen *Barendrecht* in Delft frisch bereitete Glykoselösungen verwendet, ich weiß, daß *Michaelis* in Berlin immer mit lange zuvor oder in der Hitze bereiteten Lösungen gearbeitet hat.

Über den Rahmen der Versuche hinaus, die

wir heute mit Enzymen im Meßkolben anstellen können, verspricht die Erkenntnis des vollkommen verschiedenen Verhaltens der α - und β -Formen von Glykose, Galaktose usw., das hier zum ersten Male mit Sicherheit erwiesen wurde, für die Physiologie des Kohlehydratstoffwechsels von Nutzen zu werden. *H. J. Hamburger* (27) hat Versuche angestellt über die Permeabilität der Glomerulummembran der Froschniere, die er mit *Ringerlösung*, der verschiedene Kohlehydrate zugesetzt waren, durchspülte. Er hat gefunden, daß gewisse Zucker, wie d-Galaktose, *partiell* zurückgehalten werden, und er hat dies durch Annahme eines verschiedenen Verhaltens der α - und β -Modifikation zu erklären versucht. Einen direkten Beweis dafür konnte *Hamburger* noch nicht beibringen: Wir wissen nicht, ob es die α - oder β -Form ist, die durchgelassen wird, aber seine Schlußfolgerungen dürften durch meine Versuche an Wahrscheinlichkeit gewinnen. Man sieht zugleich, daß allein die optische Verschiedenheit des Blutzuckers, die *L. B. Winter* und *W. Smith* (28) beim normalen Menschen und beim Diabetiker vor kurzem festgestellt haben, für das Verständnis des differierenden Verhaltens im Organismus ausreicht.

Vom Rohrzucker wissen wir nun aus Untersuchungen von *E. F. Armstrong* (29) und von *C. S. Hudson* (30), daß die in ihm enthaltene Glykose die α -Glykose ist. Zu dieser Form des Traubenzuckers und auch zu deren Derivaten, den α -Glykosiden, besitzt aber das Invertin der Hefe keine Affinität. Die hohe Affinität zum Fruchtzucker, von dem leider nur die butylen-oxydischen Formen untersucht werden konnten, zeigt, daß *nur der Fructoserest für den Angriff des Hefeinvertins in Betracht kommt*. Es wird begreiflich, daß dieses Enzym auch die früher aufgezählten Fructoside zu spalten vermag, die sich vom Rohrzucker durch Veränderungen, die ausschließlich den Glykoserest betreffen, ableiten.

Wenn tierisches Invertin ohne Wirkung auf diese Fructoside ist, so halte ich es für wahrscheinlich, daß für dieses Enzym auch der Glykoserest, wenn nicht ausschließlich, so doch ausschlaggebend als Angriffspunkt in Betracht kommt, daß die Saccharase des Dünndarms eine „*Glyko-Saccharase*“ ist. Infolge der geringen Wirksamkeit der Darmsaccharasepräparate konnte ich aber diese Vermutung durch das Verhalten zu den sich schnell umlagernden Zuckern noch nicht prüfen.

Aber ich kann von einem anderen Ferment berichten, das den Rohrzucker von der Glykoseseite her angreift. Das ist die *Saccharase aus Aspergillus oryzae*, einem Pilz, der in Ostasien weit verbreitet ist und den Japanern zur Bereitung eines alkoholischen Getränkes, Saké genannt, dient. Die aus dem Pilz gewonnenen Enzympräparate nennt man nach ihrer Hauptwirkung Takadiastase. Ein solches Präparat haben mir Herr Geheimrat *C. J. Lintner* und

Herr Prof. *H. Lüers* in freundlichster Weise überlassen und ich erlaube mir, beiden Herren für ihr großes Entgegenkommen nochmals bestens zu danken. Die Saccharasewirkung des Takazeenzyms ist *mit und ohne Zusatz von Fructose genau gleich*. Und ebenfalls im Gegensatz zum Invertin der Hefe bewirkt β -Glykose *keine Verlangsamung*. Aber diejenige Form des Traubenzuckers, die im Rohrzucker enthalten ist, die α -Glykose, *setzt die Inversionsgeschwindigkeiten auf ganz geringe Bruchteile herab* (31).

	Hefe-Saccharase	Taka-Saccharase
α -Glykose . . .	hemmt nicht	hemmt stark
β -Glykose . . .	hemmt	hemmt nicht
Fructose . . .	hemmt	hemmt nicht

Wir haben noch die Frage zu beantworten, ob die Bindung des Hefeinvertins an den Fructoserest des Rohrzuckers nicht nur notwendig, sondern auch hinreichend ist für den Eintritt des Zerfalls. Wir kommen damit auf die Bedeutung der Wasserstoffionen für die enzymatischen Hydrolysen zu sprechen.

L. Michaelis hat die Abhängigkeit der enzymatischen Reaktionsgeschwindigkeiten von der Acidität zu erklären versucht durch seine *Theorie der elektrolytischen Dissoziation der Fermente*. Er nahm an, daß die Enzyme Elektrolyte seien, also Säuren, Basen oder auch Ampholyte, und daß die Wirksamkeit entweder nur den Kationen, den Anionen oder den undissoziierten Molekülen zukommt. Im Falle des Invertins hat er diese Auffassung vor drei Jahren aufgegeben, um die Säurenatur der Invertin-Rohrzucker-Verbindung zuzuschreiben. Er hat nämlich gemeinsam mit *M. Rothstein* (32) beobachtet, daß die Abhängigkeit der Inversionsgeschwindigkeiten von p_H ungeändert bleibt, wenn man die Zuckerkonzentration, bei der die Versuche ausgeführt werden, variiert. Dies war aber mit den Folgerungen seiner früheren Annahmen (33) nicht in Einklang zu bringen. Den Parameter der Aktivitäts- p_H -Kurve hat er daraufhin als Dissoziationskonstante der Saccharase-Saccharose-Säure gedeutet. Diese Deutung scheint jedoch bei näherer Prüfung ebenso unhaltbar wie die frühere. Wenn *H. v. Euler* sagt (34), daß die Vorstellung von *Michaelis* zwar nicht die einzig mögliche sei, daß aber keine Tatsache bekannt ist, die gegen sie spricht, so glaube ich, daß *zwei Tatsachen*, die zur Prüfung dieser Hypothese herangezogen werden können, *gegen sie sprechen*. Denn sie vermag wohl die Gestalt, nicht aber die Eigenschaften der p_H -Kurve zu erklären. Ich kann hier auf die mathematische Beweisführung nicht eingehen, sondern nur die Experimente den Folgerungen der Theorie entgegenhalten.

1. Die Parameter der in 0,2 und in 0,02 n Rohrzuckerlösung bestimmten p_H -Kurven müßten um etwa 0,3 p_H -Einheiten differieren. Das ist,

wie *Michaelis* und *Rothstein* selbst gezeigt haben, nicht der Fall. Die Kurven stimmen innerhalb der Versuchsfehler, die höchstens $\frac{1}{2}$ des zu erwartenden Effektes betragen, überein.

2. Die Aktivitäts- p_S -Kurve müßte sich beim Übergang von optimaler Acidität auf ein $p_H = 6,8$ um 0,3 Abszissenheiten verschieben. Ich fand jedoch, daß der Parameter der Kurven innerhalb der Versuchsfehler von $\pm 0,03$ Einheiten konstant bleibt.

Die Invarianz der p_H -Kurve bei Wechsel der Zuckerkonzentration und die Invarianz der p_S -Kurve bei wechselnder Acidität wird jeder Deutungsversuch der p_H -Kurven zu berücksichtigen haben. Nach Versuchen, zu denen ich Herrn Dr. *H. Sobotka* veranlaßt habe, stehen die am System Invertin-Rohrzucker gemachten Beobachtungen nicht mehr vereinzelt da. Die von der *Michaelis-Rothsteinschen* Theorie geforderte Verschiebung der p_S -Kurven konnte auch am System β -Glykosidase-Salicin nicht beobachtet werden.

Ich glaube daher, daß es prinzipiell nicht richtig ist, die p_H -Kurven als einfache Dissoziationskurven zu deuten, daß auch die p_S -Kurven über die wahren Dissoziationskonstanten der Enzym-Zucker-Verbindungen keinen Aufschluß geben und daß neben den elektrochemischen Eigenschaften von Enzym und Substrat auch der zeitliche Verlauf der Bildung der Reaktionszwischenprodukte, die *Wegdiffusion der Spaltprodukte* von den Enzymteilchen, vielleicht auch ein mit der Acidität wechselnder *Hydratationszustand* des Zuckers am Enzym, dessen Bedeutung für die *nichtenzymatische Hydrolyse* des Rohrzuckers aus den Untersuchungen englischer und amerikanischer Forscher (35) hervorgeht, für das Zustandekommen der p_H -Kurven von Bedeutung sein wird. Die Übereinstimmung der Wasserstoffionenkonzentrationen, bei denen einige Enzyme wie Saccharase (36) und Diastase (37) gegen Hitze am beständigsten sind, mit jenen, bei denen sie ihre maximale Wirksamkeit entfalten, legt die Vermutung eines inneren Zusammenhanges nahe. In jedem Falle wird es die Berücksichtigung der *heterogenen Natur der Systeme, in denen die enzymatischen Hydrolysen vor sich gehen*, die Betrachtung der am einzelnen Fermentteilchen sich abspielenden Vorgänge sein, die zu neuer Erkenntnis führt.

Aber schon heute deutet der nur äußerst geringe Einfluß der Acidität auf das scheinbare Enzym-Substrat-Gleichgewicht sowohl bei der Fructosaccharase der Hefe wie bei der β -Glykosidase des Emulsins darauf hin, daß nicht ihre Vereinigung mit den Zuckern für deren Zerfall ausreicht, daß vielmehr *das Wesentliche auch bei der enzymatischen Hydrolyse von den Wasserstoffionen geleistet wird. Enzym und H^+ -Ion müssen gleichzeitig und darum an verschiedenen Stellen des Substratmoleküls angreifen.* Wenn wir gesehen haben, daß die Vereinigung mit dem Enzym im Falle des Rohrzuckers bald am Glykose-, bald am Fructoserest eintritt, so dürfte für den An-

griffspunkt der H-Ionen die basische Natur ätherartig gebundener Sauerstoffatome bestimmend sein. Das Problem der enzymatischen Hydrolysen erscheint inniger als bisher verknüpft mit dem der reinen *H-Ionen-Katalyse*, für deren Verständnis mir die von *H. v. Euler* (38) entwickelten Vorstellungen vorläufig am wertvollsten erscheinen. Ich möchte deshalb zum Schluß darauf hinweisen, wie nahe das Verhältnis der Geschwindigkeiten, mit denen zwei Zucker von Enzymen und Säuren angegriffen werden, übereinstimmt. Es muß aber ausdrücklich betont werden, daß eine strenge Proportionalität der Werte theoretisch durchaus nicht zu erwarten ist. Aber man sieht, daß *die spezifische Natur des Invertins durch sein auswählendes Bindungsvermögen allein verstanden werden kann:*

Für die Zerfallsgeschwindigkeiten der Invertin-Raffinose- und der Invertin-Saccharose-Verbindungen läßt sich als Verhältnis $1 : 2 \pm 1$ angeben (14). Unter der Annahme, daß die basischen Dissoziationskonstanten des Di- und Trisaccharids in demselben Verhältnis stehen wie ihre von *L. Michaelis* (39) bestimmten Säuredissoziationskonstanten, findet man aus den Angaben von *H. E. Armstrong* und *W. H. Glover* (40) für die Mineralsäurespaltung das Verhältnis $1 : 1,6$. Aber die üblichen Zeitwertbestimmungen ergeben nicht das Verhältnis $1 : 2$, sondern $1 : 5$ bis $1 : 10$ (6). Es geht daraus hervor, wie entscheidend auch für solche Fragen die Berücksichtigung der weit differierenden Affinitäten ist, die ein Enzym zu zwei verschiedenen Substraten aufweisen kann.

Die kohlehydrat- und glykosidspaltenden Fermente erscheinen als Katalysatoren infolge der größeren Empfindlichkeit, die den Enzym-Zucker-Verbindungen im Vergleich mit den Zuckern selbst, den Wasserstoffionen gegenüber zukommt. Die Ursache hiervon mag die *Verstärkung der basischen Natur der ätherartig gebundenen Sauerstoffatome sein, die mit der Bindung des Enzyms im Zuckermolekül erfolgt.* Die Natur jener Gruppen kennen zu lernen, mit denen die Enzyme bald von hier, bald von dort den Zucker angreifen und dies bewirken: das ist das lockendste Ziel der Enzymchemie!

Literatur:

1. *R. Willstätter*, B. 55, 3601 [1922]; 2. A. 416, 21 [1917/18]; 3. B. 28, 1429 [1895], und zwar S. 1438; 4. *R. Willstätter*, *E. Waldschmidt-Leitz* und *F. Memmen*, H. 125, 93 [1922/23]; *R. Willstätter* und *E. Waldschmidt-Leitz*, H. 125, 132 [1922/23]; *R. Willstätter*, *E. Waldschmidt-Leitz* und *A. R. F. Hesse*, H. 126, 143 [1922/23], 5. H. 116, 53 [1921]; 6. *R. Willstätter* und *W. Steibelt*, H. 115, 199 [1921]; *R. Willstätter* und *R. Kuhn*, H. 115, 180 [1921]; 7. *R. Willstätter* und *W. Csányi*, H. 117, 172 [1921]; *R. Willstätter* und *G. Oppenheimer*, H. 121, 183 [1922]; 8. *R. Kuhn*, H. 125, 1 [1922/23]; 9. *Bio. Zs.* 49, 333 [1913]; 10. vgl. z. B. diese Zs. 8, 911 [1920].
11. *Proteins and the theory of colloidal behaviour*, New York 1922; 12. *R. Willstätter*, *J. Graser* und *R. Kuhn*, H. 123, 1 [1922]; 13. H. 120, 61

- [1922]; 14. *R. Kuhn*, H. 125, 28 [1922/23]; 15. B. 56, 509 [1922/23]; 16. H., im Druck; 17. *Chemie der Enzyme*, II. Aufl., II. Teil, 1. Abschn., S. 205 (München und Wiesbaden 1922); 18. *Ch. Tamret*, C. r. 117, 50 [1893]; 19. in *R. Willstätter* und *W. Wassermann*, H. 123, 181 [1922]; 20. *Journ. Am. Chem. Soc.* 43, 1956 [1921];
21. *Am. Soc.* 38, 2221 [1916] und 39, 1848 [1917]; 22. Beiträge zur experimentellen Pathologie und Chemotherapie, Leipzig 1909; 23. Sitzungsber. d. preuß. Akad. 1896, 73; 24. *Soc. 123*, 294 [1922/23]; 25. *Bio. Zs.* 60, 79 [1914]; 26. *R. Kuhn*, H. 127, 234 [1923]; 27. *Klin. Wochenschr.* 1, 418 [1922];
28. *Journ. of Physiol.* 57, 100 [1922]; 29. *Soc.* 83, 1305 [1903]; 30. *Am. Soc.* 31, 655 [1909]; 31. *R. Kuhn*, H., im Druck; 32. *Bio. Zs.* 110, 217 [1920]; 33. *L. Michaelis*, *Bio. Zs.* 60, 91 [1914]; 34. B. 55, 3583 [1922] und zwar S. 3590; 35. vgl. z. B. *W. C. Mc. Lewis*, *Soc.* 105 bis 123 [1914 bis 1923]; 36. *H. v. Euler* und *J. Laurin*, H. 108, 64 [1919]; 37. *H. Lüers* und *W. Wasmund*, *Fermf.* 5, 169 [1921/22] und zwar S. 211; 38. *Ph. C.* 36, 405, 641 [1901]; B. 33, 3202 [1900]; *H. v. Euler* und *E. Rudberg*, *Zs. anorg. Ch.* 127, 244 [1922/23]; 39. B. 46, 3683 [1913]; *L. Michaelis* und *P. Rona*, *Bio. Zs.* 49, 232 [1913]; 40. *Proc. Roy. Soc., Ser. B*, 80, 312 [1918].

Lichtsinn und Blumenbesuch des Taubenschwanzes (*Macroglossum stellatarum*)¹⁾.

Knoll läßt seinen schönen Mitteilungen über das blütenbiologische Verhalten des Wollschwebers (ebenda, I, II) ungewöhnlich ausführliche und bedeutsame Schilderungen des Taubenschwanzes folgen. Von dem genauen Studium des Tieres und seiner Gewohnheiten in der freien Natur ging der Verfasser zu höchst sinnreichen Versuchen über, die ihm die eingangs gestellten Fragen, wie der Falter zu den Blüten hingelenkt wird, wie sich seine einigermaßen deutliche Blütenstetigkeit erklärt und welchen Nutzen er als Blütenbestäuber stiftet, zu lösen gestatten. — Im Freien sieht man den Falter dreierlei Flüge ausführen, die *Hellflüge*, die *Dunkelflüge* und die *Eiablageflüge*. Man kann ohne weiteres am Verhalten des Tieres unterscheiden, um welche Flugart es sich gerade handelt. Nur beim Hellflug, der der Nahrungsaufnahme dient, wird der Rüssel bei Annäherung an geeignete Objekte (Blüten oder blütenähnliches) ausgestreckt; die Beine dagegen bleiben stets in Ruhe, da der Falter vor der Blüte frei schwebend saugt. Bei Sättigung, bei Herannahen der Dunkelheit oder des Winters führt der Schmetterling Dunkelflüge aus, d. h. er fliegt die dunkelsten Stellen seiner Umgebung an, um sich, falls sie dazu geeignet sind, darauf niederzusetzen und einzuschlafen. Bei Annäherung an das dunkle Objekt werden daher niemals die Rüssel ausgestreckt, oft aber die Vorderbeine abgespreizt. Die Eierlegeflüge endlich führen das legereife Weibchen zu den grünen Teilen der Raupenfutterpflanze *Galium*, an denen es sich mit den Füßen anklammert und die Eier befestigt. — So ist es bei einiger Aufmerksamkeit unmöglich, die Hell-, die Dunkel- und die Eiablagestimmung miteinander zu verwechseln. Die Falter fliegen nur im Hellen, im Dunkel verfallen sie stets sogleich in Schlaf. So tat Verf. ins Zimmer geflogene Taubenschwänze einzeln in streichholzschachtelartige Behälter, in denen sie solange ruhig schliefen, bis sie gebraucht wurden.

Die erste Versuchsgruppe beschäftigte sich ausschließlich mit Faltern im Stadium des *Dunkeltriebes*, am besten mit Herbstfaltern, die überhaupt keine Nahrung mehr zu sich nehmen. Man läßt sie im Zimmer fliegen, wo ihnen vielerlei dunkle Objekte dargeboten werden. Das Dunkeltier fliegt gegen das eine und das andere, bald bildet sich eine Art Reihenfolge aus, und man kann die Tiere z. B. durch eine Anzahl von schwarzen, auf einen Faden in Zwischenräumen angeordneten Kugeln, die nacheinander angefliegen werden,

quer durch das Zimmer locken. Kennt man die Bahn des gerade benützten Dunkeltieres, so wird ihm das Untersuchungsobjekt im engeren Sinne in den Weg gestellt, z. B. zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kugeln der Reihe; und man kann ziemlich sicher sein, daß es von dem einen Ruheplatz suchenden Tiere beachtet wird. So ergab sich, daß Flächen von möglichst geringer Helligkeit und bestimmter Ausdehnung, am besten schwarze Papierscheibchen von etwa 20 mm Durchmesser am häufigsten besucht werden. Wurden auf dem grauen Grunde ein schwarzes (oder dunkelgraues) Scheibchen und ein ebensolches, das mitten auf ein etwas größeres weißes Scheibchen aufgeklebt war; dargeboten, so daß zwei gleiche Scheibchen, das eine auf grauem, das andere auf weißem Grunde sich gegenüberstanden, so erhielt das Scheibchen auf Grau 9 (7), das auf Weiß 61 (105) Besuche. Größere schwarze Flächen auf hellem Grunde wurden vorzugsweise am Rande befliegen. So zeigt sich, daß an Helles angrenzendes Dunkel dem Dunkeltier dunkler erscheint, als dasselbe an Dunkles grenzendes Dunkel, m. a. W. es besteht, wie beim Menschen, simultaner Helligkeitskontrast. — Weiterhin bot Verf. den Dunkelfaltern Scheibchen aus den bekannten Heringschen Farbpapieren dar, deren Farbton, Helligkeit und Sättigung spektrophotometrisch bestimmt wurden. Bekanntlich stimmt nach *v. Heß* der Helligkeitssinn aller Wirbellosen und der Fische mit dem des von Geburt total farbenblinden bzw. mit dem des an sich farbentüchtigen, aber dunkeladaptierten Menschen, im Zustande des Dämmerungssehens, vollkommen überein, d. h. die relativen Helligkeitswerte der Spektralfarben sind für die genannten Tiere dieselben wie für den dämmerungssehenden Menschen. Nach *Hering* und eigenen Beobachtungen ist nun für den dämmerungssehenden Menschen die farblose Helligkeit des Blau 12 der Heringschen Papierserie etwas größer als die des Gelb 4; bei Tagessehen dagegen erscheint umgekehrt das jetzt gelblich gefahene Papier 4 wesentlich heller als das blaufarbige 12. Wurden nun ein gelbes und ein blaues Scheibchen aus den Papieren 4 und 12 ausgeschnitten und nebeneinander auf eine graue Unterlage geklebt, so erfolgten 128 Anflüge auf das Blau, kein einziger auf das Gelb. Gelbe Scheibchen auf blauem Grunde veranlaßten die Tiere im Bogen um das Gelbscheibchen herumzufliegen oder sich auf den blauen Grund zu setzen. Sahen sie sich aber blauen Scheibchen auf gelbem Grunde gegenüber, so flogen sie geradewegs auf die Blauscheibchen los und setzten sich auf ihnen nieder. Demnach erscheint den Dunkeltieren das Blau wesentlich dunkler als das Gelb, sie verhalten sich *nicht*, wie *v. Heß* es will, wie der

¹⁾ *F. Knoll*, Abhandl. d. zool.-botan. Ges., Wien. Bt. 12, Heft 2, S. 123—377. 1922.

dämmerungssehende totalfarbenblinde, sondern wie der tagesehende farbertüchtige Mensch. Eine etwaige Störung des Versuchsergebnisses durch die Fähigkeit des Blaupapieres, besonders viel ultraviolette Licht zurückzuwerfen, konnte ausgeschlossen werden: Der Versuch verläuft bei künstlichem Lichte, dem durch Vorschalten einer Chininsulfatlösung alle ultravioletten Strahlen weggenommen sind, ganz genau so. Weiterhin ließen sich mittels dieser Methode ganze Helligkeitsreihen für den Falter aufstellen, von denen hier ein Beispiel, verglichen mit den Helligkeitsreihen für den tages- und den dämmerungssehenden Menschen, wiedergegeben sei:

1. *Macroglossum* (Dunkeltrieb):

Weiß > Gelb 4 > Grau I > Grau II > Blau 13 > Schwarz

2. Mensch tagesehend, farbertüchtig:

Weiß > Gelb 4 > Grau I > Grau II > Blau 13 > Schwarz
(100) (79) (63) (33) (16) (0)

3. Mensch dämmerungssehend, total farbenblind:

Weiß > Grau I > Blau 13 > Grau II > Gelb 4 > Schwarz
(100) (63) (35) (33) (26) (0)

Auf den Taubenschwanz wirken also Gelb und Blau, ihrer Helligkeit nach, so wie auf den tagesehenden, farbertüchtigen Menschen, nicht wie *v. Heß* es will, so wie auf den totalfarbenblinden, dämmerungssehenden Menschen. Rot und Rotgelb dagegen erscheinen dem Falter sehr dunkel, so wie auch dem totalfarbenblinden Menschen, so daß in diesem und nur in diesem Punkte Übereinstimmung zwischen *v. Heß* einerseits, *v. Frisch* und *Knoll* andererseits besteht. Auch mit den farbigen Papieren ließ sich der simultane Helligkeitskontrast nachweisen. — In *Kühns* Ausdrucksweise der tierischen Orientierungsbewegungen ist der Dunkelflug als telotaktische Reaktion anzusprechen: Das Tier fixiert das dunkle Objekt und fliegt geradewegs auf es zu. Geruchswahrnehmungen spielen hierbei keine Rolle; so macht es keinen Unterschied, ob die Anflugsobjekte frei oder verglast waren. Vielmehr erfolgte die Orientierung rein optisch.

Die zweite Versuchsgruppe behandelt das Verhalten der hungrigen nahrungsuchenden Tiere (*Hellflüge* im Zimmer oder im „Flugkasten“). Zuerst wurden ihnen gelbe *Linariablüten* angeboten. Ortsgedächtnis besteht nicht, im Gegensatz zu den Hymenopteren; auch fehlt ein einigermaßen höher entwickelter Formensinn: es machte keinen Unterschied, ob die Blüten von normaler Gestalt, mehrspornig oder verstümmelt war. (Bei den künstlichen Futterblumen [siehe unten] war die Form ebenfalls gleichgültig.) Auch der Geruch spielt, genau wie bei den Dunkelflügeln, keine Rolle; freie und unter der Glasplatte breitgequetschte Blütenstände werden gleich gut befliegen, und steckt der Blütenstand in einem sauberen, oben offenen Glasröhrchen, so richtet sich der gutgezielte Anflug stets gegen die Stelle des Glases, die die Blüte überdeckt, nicht aber gegen die obere Öffnung der Röhre, der der Duft entströmt. Das Verhalten des Tieres beim Einführen des Rüssels zwischen den Blütenlippen hindurch (im binokularen Schraume!) und sein Vordringen zu dem im Sporn angesammelten Nektar wird genau beschrieben. Die Saftmale, die sich erst beim Öffnen der Blüte satt orangegelb färben, erleichtern das Auffinden des Nektars wesentlich, wie durch strenge Versuche bewiesen wird. — Längere Zeit an den gelben *Linariablüten* gefütterte Falter zeigten eine deutliche „Bindung“ an die gelbe Farbe; *Pelargoniumblütenstände* blieben z. B. seitens dieser Falter stets unbeachtet. Sahen sich die Falter der „*Grantafel*“ gegenüber, einer mit Graug Quadraten verschiedener Hel-

ligkeit und weiteren Quadraten von *Herings* Gelb 4, Orange 3 und den verschiedenen Blau-, Violett- und Purpurpapieren besteckten Holzplatte unter Glas, so wurden nur die Gelbquadrate besucht und mit dem Rüssel berührt. Die feuchten Rüsselspuren auf der Glasplatte konnten nachträglich durch Bestreuen mit Mehlpulver sichtbar gemacht werden, so daß der Falter selbst sein Verhalten gegenüber den verschiedenen Quadraten registriert (Rüsselspurenmethode). Es besteht also die Möglichkeit einer Bindung (Dressur) an (auf) Gelb, genau wie bei der Biene auch (*v. Frisch*), und alles spricht für das Vorhandensein eines Farbensinnes. Denn würde das Gelbpapier mit einem der Graupapiere gleich hell erscheinen und die Farbe nur an der Helligkeit erkannt werden, so müßte dasjenige Grau der Serie ebensooft befliegen werden wie das Gelb, welches dem Falter mit diesem gleich hell erscheint.

In Nachahmung der optischen Verhältnisse in den farbigen Blütenblättern wurden *Reagensgläser*, als Symbol der mit farbigem Zellsafte gefüllten Epidermiszellen des Blütenblattes, mit farbigen Flüssigkeiten gefüllt und an der Rückseite außen mit einem kleinen weißen Papierquadrate versehen, das die luftumspülten „*Tape-tum*“-Zellen der inneren Gewebsschichten des Blattes nachahmen soll und als Reflektor wirkt, so daß das auf die Vorderseite des Röhrchens auffallende Licht zweimal die Farbflüssigkeit passieren muß und gut gesättigte Farbempfindungen hervorruft. Brachte Verf. neben *Linariablüten* nun z. B. je drei weiße, gelbe und violette Röhrchen verschiedener Sättigung nebeneinander am Fenster des Versuchszimmers an, so befliegen die Tiere nur die gelben Röhrchen. Weiterhin führte K. auch Röhrchen ein, die gegenüber dem Reflektor auf der Vorderseite eine nischenartige Einstülpung besaßen, aus der die anliegenden Falter Zuckerwasser saugen konnten, während sie das schöngesättigte farbige Licht des Röhrchens vor sich hatten. An solchen mit violetter Farblösung wurden die *Linariafalter* gefüttert, und es gelang, die Gelbbindung allmählich zu lösen und die Violettbinding an ihre Stelle treten zu lassen, d. h. die Tiere „umzudressieren“. Jetzt wurden dem Falter die folgenden Röhrchen geboten, die hier in einer für den dämmerungssehenden Menschen geltenden absteigenden Helligkeitsreihe angeordnet sind (im Versuche hingen sie in bunter Reihenfolge nebeneinander): Weiß 1 > Violett 8 > Grau 4 > Violett 2 = Grau 7 = Gelb 6 = Gelb 9 = Purpur 15 = Violett 11 > Gelb 3 = Gelb 12 > Violett 5 > Grau 10 > Purpur 14 > Grau 13 (Schwarz). Hier enthielten Violett 2 und Violett 11 dieselbe Methylviolett-konzentration; die dazwischenstehenden Gelb-, Purpur- und Grauröhrchen (Lösungen von Orange, Fuchsin S, chinesischer Tusche in Wasser) sind, wie die Gleichheitszeichen andeuten, von gleichem farblosen Helligkeitswerte, müßten also, wenn *v. Heß* recht hätte, samt und sonders vom Falter miteinander verwechselt werden. Tatsächlich erhielten die Violett- und Purpurröhrchen häufige und ausgiebige, die Gelbröhrchen seltene und flüchtige Besuche, entsprechend dem Umstande, daß die Violettdressur unmittelbar, die Gelbdressur längere Zeit vorhergegangen war, und alle Grauröhrchen blieben gänzlich unbeachtet. Wie weitere Versuche lehrten, werden Blau, Violett und Purpur miteinander verwechselt, dagegen von langwelligem Lichte und Weiß, Grau oder Schwarz gut unterschieden. Andererseits werden Gelb, Gelbgrün und zum Orange hinneigendes Gelb miteinander verwechselt, dagegen ebenfalls scharf von allen Grau, Weiß und Schwarz sowie von den kurzwelligen Farben unterschieden. Diese Ergebnisse ließen sich durch weitere

Versuche mit *künstlichen*, zuckerwasserbeschickten Blumen aus wachsgetränktem Farbpapier, zwischen die Scheibchen der Heringschen Farbpapiere eingereiht, bestätigen und ergänzen. Der Zeitersparnis halber wurden sie in dem Flugkasten ausgeführt. Falter ohne bestimmte Bindung befliegen die Blumen der Gelb- und die der Blau-Violett-Purpurgruppe sowie auch weiße, ließen jedoch die grünen und blaugrünen Blumen (*Herings* Papiere 8, 9, 10, 11), die im Farbton für uns dem des Spektralbereiches um 500 $\mu\mu$ ähneln, vollkommen unbeachtet. Daß dieses Vermeiden der blaugrünen Papiere nicht etwa auf besonderer Helligkeitswirkung derselben beruhe, ist sicher; doch bleibt ungewiß, ob Grün etwa als dritte Farbgruppe unterschieden oder ob es „als ungesättigste Farbe der Gelb- oder der Blaugruppe“ nicht mehr beachtet wird. — Bindungen (*Dressuren*) ließen sich erzielen an (auf) die Gelbgruppe (Orange, Gelb, Gelbgrün bis Grün), die Blauviolett-purpurgruppe, Hell (Weiß) und Dunkel (Schwarz, Rot, sowie die viel Rot enthaltenden Purpurtöne; sehr gesättigte, für uns fast schwarz aussehende violette Objekte aber wurden als zur Blaugruppe gehörig behandelt). Bei gleichzeitiger Darbietung derselben Farbe in verschiedenen Sättigungsgraden wurden überall die gesättigsten Farben bevorzugt. Genau wie bei den Dunkelflügen ließen auch die Hellfalter die Verwechslungsgraupapiere, die dem Totalfarbenblinden mit Gelb 4 bzw. Blau 12 gleich hell erscheinen, in zahlreichen eigens auf diesen Punkt gerichteten Versuchen gänzlich unbeachtet, und zwar auch dann, wenn *Schwerstflintglas* alles ultraviolette Licht von den reflektierenden Papieren zurückhielt. — Mehrmals wurden blaueste Falter, welche blaue Futterblumen besuchten und die grünen mieden, durch Einschleiben eines gelben Filters vor die Lichtquelle veranlaßt, jetzt blaue und grüne Futterblumen durcheinander zu befliegen; der Mensch konnte dann die blauen und grünen Blumen ebenfalls nicht mehr unterscheiden. Das spricht dafür, daß auch für den Falter die Gelb- und die Blauviolett-purpurgruppe im Verhältnis von Komplementärfarben zueinander stehen. Der gleiche Schluß läßt sich bei der Biene, mit deren Verhalten den Farben gegenüber (*v. Frisch*) das des Taubenschwanzes ja bis in die Einzelheiten übereinstimmt, auch aus den Befunden *Kühns* ziehen, der am gleichen Objekte den simultanen Farbkontrast als bestehend nachwies.

Endlich ließen sich die mitgeteilten Ergebnisse auch durch *Spektralversuche* bestätigen, was ihre Beweiskraft naturgemäß noch weiterhin steigert. Eine 30 cm lange Wand des Flugkastens wurde durch einen undurchsichtigen Rahmen mit 19 eingeschnittenen kreisrunden Löchern von 18 mm Durchmesser ersetzt, die alternierend in zwei Reihen untereinander standen. Auf den Rahmen fiel das 26 cm breite Prismenspektrum einer Bogenlampe, so daß die nachträglich mit feinem, durchsichtig weißem Papier verklebten Löcher in annähernd homogenen Spektralfarben leuchteten, deren mittlere Wellenlängen in 19 Abstufungen von 647 $\mu\mu$ bis 433 $\mu\mu$ führten. Ein weißes schwaches Nebenlicht verbreitete genügend Helligkeit, um die Falter nicht in Dunkelstimmung übergehen zu lassen, ohne den Farben gar zu viel von ihrer Sättigung zu nehmen; nur die Violettscheibchen waren merklich ungesättigt und erhielten daher nur wenige Besuche. Ein beflieg die blauen und gelben Lichtkreise 11- bzw. 10mal, während die um 500 $\mu\mu$ liegenden Kreise von 514, 504, 495, 486 $\mu\mu$ mittlerer Wellenlänge unbeachtet blieben. Gelbdressierte Falter befliegen die Licht-

kreise von 598, 580, 564, 549, 522 $\mu\mu$ insgesamt 12mal, sonst keinen weiteren; blau-dressierte flogen die Kreise von 483, 467, 453, 446, 440 $\mu\mu$ insgesamt 42mal an, ohne irgendeinen anderen zu beachten. Zählt man alle Besuche ohne Rücksicht auf die vorhergegangene Farbbindung (Gelb oder Blau) zusammen, so wurden die Lichtkreise von 590—510 $\mu\mu$ 72mal, die von 490—410 $\mu\mu$ 241 mal besucht, während die Felder zwischen 510 und 490 $\mu\mu$, d. h. die um 500 $\mu\mu$ Wellenlänge nur zwei Besuche erhielten, so daß der Spektralversuch genau dasselbe lehrt, wie die Versuche an den Heringpapieren. Andererseits besuchten aber Falter, die vorher an weißen Objekten gesogen hatten, auch die grünen Felder, so daß auch diese Versuche die Frage nach einer etwa vorhandenen Grünblindheit nicht zu entscheiden gestatten. Ob eigens angesetzte Versuche für Dressur auf Blaugrün (Futterblumen aus *Hering* 8—11) vorliegen, geht aus der Darstellung nicht klar hervor. Versuche mit verschiedenen gelb oder blau gefärbten natürlichen Objekten (Pflanzenteile, Schmetterlingsflügel usw.) ergaben, daß auch sie dem Falter so erscheinen, wie es in Analogie mit unserem Sehvermögen zu erwarten ist, wenn man von den Ergebnissen der Spektralversuche am Falter ausgeht. — Fassen wir zusammen, so hat sich mittels sämtlicher Methoden, sowohl bei den Dunkel- wie den Hellflügen gezeigt, daß mindestens zwei spezifisch verschiedene Farbart der Wellenlänge, nicht der Helligkeit nach, von *Macroglossum stellatarum* unterschieden werden, nämlich die der Gelb- und die der Blauviolett-purpurgruppe. Ob außerdem auch Grünblau als dritte Farbart wahrgenommen wird, oder als sehr ungesättigt oder ganz farblos, blieb unentschieden. Frischgeschlüpfte Falter, die noch nie mit Blumen in Berührung kamen, flogen auf verglaste Blüten, blaue und gelbe Scheibchen schnurgerade an, ohne die grauen, schwarzen und weißen zu beachten. Das Farbumscheidungsvermögen und die „Vorliebe“, wie man hier wirklich sagen muß, für gelbe und besonders für blaue Objekte, ist nicht durch erfahrungsmäßig gewonnene Bindungen erworben, sondern vielmehr angeboren. Ganz ähnlich wie *Macroglossum* verhält sich *Deilephila livornica*.

Auch die oft gestellte Frage, wie die *legetreifen* Schmetterlingsweibchen die Futterpflanze der *Räupen* finden, an der sie die Eier zu befestigen pflegen, ließ sich befriedigend beantworten. Das Weibchen in Legestimmung flog schnurgerade auf grüne Teile der Futterpflanze (*Galium*) unter Glas an, ebenso auch auf die in Reagensröhrchen gefüllten aus *Galium* hergestellten Chlorophylllösungen a (grün) und b (gelb), endlich auch auf grüne und gelbgrüne bis gelbe Farbpapiere; das Blattgrün von *Galium* enthält nämlich auch für unsere Augen deutlich die Gelbkomponente. Stets aber unterblieb unter diesen Umständen die Eiablage. Wurde jedoch auf eine gelbe Futterblume, die eben noch befliegen wurde, ohne daß es zur Eiablage kam, ein Tropfen Preßsaft aus *Galium*blättern aufgetropft, so begann das Weibchen sofort, die Eier daran abzulegen, und kehrte, mehrfach aufgeschreckt, immer wieder zu der Papierblüte zurück und legte dort weiter ab. Optische Fernwirkung zieht also das legetreife Weibchen zu allerlei grünen bis gelben Objekten hin, die Nahkontrolle aber erfolgt mittels des *Geruchsinnes*. Daß dieser bei den Nahrungsfliügen nach den bisherigen Ergebnissen keine Rolle spielt, wurde schon betont. — Nicht alle Schmetterlinge verhalten sich ebenso. Der Tagfalter *Charaxes jasius*, der sich in Dalmatien, wo fast alle Freilandbeobachtungen gemacht

wurden, vorwiegend von Fruchtsäften nährt, ließ beispielsweise alle die Futterblumen, die die Taubenschwänze anlockten, ganz unbeachtet; wurde aber etwas Pflaumensaft hineingetan, so fand er sie bald. Die Annäherung an die Objekte (faule oder zumindest überreife Weinbeeren, Feigen u. dgl.) erfolgte nicht wie bei *Macroglossum* im wohlgezielten Anfluge, sondern in „suchendem“ Hin und Her. Das letzte Stück wurde immer vorsichtig laufend zurückgelegt. Nur solange Luftströmungen (Windfahnen!) über das Objekt hin zum Falter zogen, kam das Tier wirklich voran. Der Geruchssinn sitzt in den distalen Fühlerteilen; Tiere, denen die Fühlerspitzen abgeschnitten sind, finden die

Nahrung nicht mehr. Fühlerlose Taubenschwänze aber fliegen genau so gut gegen die blauen Objekte an wie unversehrte. *Macroglossum* orientiert sich beim Nahrungsfluge also rein optisch, *Charaxes* nur durch den Geruchssinn. Ebenso wie diese verhalten sich wohl viele Eulen, überhaupt die an „Köder“ gehenden Schmetterlinge; bei Pieriden sind gleichzeitig Geruchs- und Gesichtseize wirksam. — Auf eine Fülle weiterer blütenbiologisch wichtiger Einzelheiten konnte der Kürze halber hier nicht eingegangen werden.

Koehler, München.

Ber. üb. d. ges. Phys. u. exp.
Pharm. Bd. 18, 1923.

Sven Hedins Tibetwerk.

Unter den geographischen Forschungsreisenden der Gegenwart gibt es nur sehr wenige, die sich, an der Ausdehnung ihrer Reisewege, an der Bedeutung ihrer Entdeckungen, an der Gründlichkeit ihrer wissenschaftlichen Ausbildung und an Umfang wie innerem Wert ihrer Veröffentlichungen gemessen, mit dem Schweden *Sven von Hedin* vergleichen können. Wie die Erforschung des Arktischen Eismeres für alle Zeiten mit dem Namen des Norwegers *Fridtjof Nansen* verknüpft ist, so verdanken wir die Entschleierung des gewaltigsten Hochlandes der Erde in erster Linie den jahrelangen, kühnen und entbehrungsvollen Reisen, auf denen *Hedin* jenes eigenartige Gebiet durchzog und dessen Kenntnis durch genaue Aufnahmen und zahlreiche Messungen der geographischen Wissenschaft, wenigstens in großen Zügen, erschloß. Die Ergebnisse seiner älteren Forschungen hat er bereits früher in zahlreichen Reisebeschreibungen veröffentlicht und das gesamte Beobachtungsmaterial seines vierjährigen Aufenthaltes in Zentralasien in einem Werk von ganz gewaltigen Umfange¹⁾ kritisch verarbeitet.

Weit übertroffen aber werden alle diese Publikationen von dem neuen Monumentalwerk über Südtibet, das zu Beginn dieses Jahres vollendet wurde und in 9 Bänden und 3 Atlanten nicht nur die Ergebnisse der eigenen Forschungen in den Jahren 1906—1908 gibt, sondern zugleich eine Verarbeitung des gesamten bisher vorliegenden geographischen Materials unter Beifügung einer erstaunlichen Fülle von altem Kartenmaterial enthält²⁾. Es wird jahrelanger Arbeit vieler Gelehrten be-

dürfen, um die zahlreichen geodätischen, meteorologischen und hydrographischen Messungen, die morphologischen, geologischen, botanischen, zoologischen und anthropologischen Beobachtungen richtig zu würdigen und sie zum Allgemeingut der einzelnen Wissenschaftszweige zu machen, denn das Werk bildet eine schwer zu erschöpfende Fundgrube zuverlässigsten Beobachtungsmaterials. Es ist daher nicht möglich, auch nur die wichtigsten Resultate jetzt schon gebührend zu würdigen, sondern wir müssen uns damit begnügen, einige geographische Ergebnisse aus dem reichen Inhalt auszuwählen.

Am Nordabhang des Himalaya liegt in 81° östlicher Länge und 4602 m Höhe der heilige See der Buddhisten, Manasarovar, in dessen Nähe Quellströme der vier großen indischen Flüsse, Indus, Sutledsch, Ganges und Brahmaputra, ihren Ursprung nehmen. Der Manasarovar ist der heiligste und berühmteste aller Seen der Erde, ein Ziel der Wallfahrt unzähliger Hindu-pilger, der schon in uralten religiösen Hymnen besungen wird. In dem Weltbilde der buddhistischen wie auch der chinesischen Kosmographie spielt er eine ebenso große Rolle wie der an seinem Nordufer gelegene 6715 m hohe Kailas, der heilige Berg oder das „Eisjuwel“ der Tibeter. Nach Ansicht der Bevölkerung schützt die Umwanderung dieses Berges vor allem Bösen

ten von Tibet. — Vol. VI, Part 1: Die meteorologischen Beobachtungen, bearbeitet von *Nils Ekholm*. 133 Seiten. Part 2: Les observations astronomiques calculées et réduites par *K. G. Olsson*. 86 Seiten. Part 3: Botany by *C. H. Ostenfeld*. 195 Seiten. 11 Tafeln. — Vol. VII, History of Exploration in the Kara-korum Mountains. 605 Seiten. 19 Photographien. 2 Panoramen. 12 Tafeln mit Profilen. 74 Faksimilekarten. 92 Karten. — Vol. VIII, Chinese Knowledge of Central Asia. Part 1: The Ts'ung-ling Mountains by *Sven Hedin* and *Albert Herrmann*. Seite 1—88. Part 2: Die Westländer in der Chinesischen Kartographie. Von *Albert Herrmann*. Seite 89—330. 26 Kartentafeln. — Vol. IX, Part 1: Journeys in Eastern Pamir by *Sven Hedin*. 85 Seiten. Part 2: Osttürkische Namenliste mit Erklärungsversuch von *A. v. Le Coq*. 36 Seiten. Part 3: Zur Geologie von Ost-Pamir. Auf Grundlage der von *Sven Hedin* gesammelten Gesteinsproben von *Bror Asklund*. 55 Seiten. 10 Tafeln. Geologische Übersichtskarte. Part 4: Eine chinesische Beschreibung von Tibet vermutlich von *Julius Klaproth* nach *Amiots* Übersetzung bearbeitet, herausgegeben von *Erich Hämisch*. 66 Seiten. Das Goldstromland im chinesisch-tibetischen Grenzgebiete nach dem großen Kriegswerk vom Jahre 1781, dargestellt von *Erich Hämisch*. 65 Seiten. 5 Photographien. 4 Karten. 2 chinesische Kartenskizzen. Part 5: General Index (Personal names, Geographical names, Index of Subjects). 176 Seiten. — Dazu 3 Atlasbände in fol.

1) Scientific Results of a Journey in Central Asia 1899—1902. 6 Bände in 4°. 3495 Seiten, 1668 Textfiguren, 308 Tafeln. 129 Karten, Profile und Panoramen. — 2 Atlanten in fol. 84 Karten in 1:200 000 und 27 Originalkarten des Verfassers in Faksimile. Stockholm, 1904—1907.

2) Southern Tibet. Discoveries in former times compared with my own researches in 1906—1908. By *Sven Hedin*. Stockholm, 1917—1922. 4°. Vol. I. Lake Manasarovar and the Sources of the Great Indian Rivers. From the remotest antiquity to the end of the eighteenth century. XXXII, 293 Seiten. 1 Tafel. 53 alte Karten in Faksimile. — Vol. II. Lake Manasarovar and the Sources of the Great Indian Rivers. From the end of the eighteenth century to 1913. 330 Seiten. 81 Photographien und Skizzen. 2 Panoramen. 24 Faksimilekarten. — Vol. III. Transhimalaya. 369 Seiten. 55 Photographien. 31 Skizzen. 4 farbige Panoramen. 10 farbige Skizzen. 31 Karten. — Vol. IV. Kara-korum and Chang-tang. 428 Seiten. 200 Photographien. 9 photographische und 24 farbige Panoramen. — Vol. V. Petrographie und Geologie. Von *Anders Hennig*. 220 Seiten. 48 petrographische und 12 paläontologische Photographien. 18 geologische Profile. 5 Kartenskizzen. 2 farbige geologische Kar-

auf Erden und garantiert nach dem Tode einen Platz in der Nähe des Gottes des Gangri. Aus den Himalayaländern kommen deshalb alljährlich Tausende von Pilgern, die, in Andacht versunken, langsam den Weg um diesen „Nabel der Erde“ zurücklegen. Trotz des zahlreichen Besuches, den die Gegend erfährt, war sie jedoch wissenschaftlich noch nicht erforscht, und erst *Hedin* hat sie mit solcher Gründlichkeit untersucht, daß wir uns nunmehr ein zuverlässiges geographisches Bild machen können. Dies gilt vor allem von der recht komplizierten Hydrographie des Manasarovar, der durch eine, zeitweise ausgetrocknete Abflußrinne zu dem westlichen 4589 m hoch gelegenen Nachbarsee Rakas-tal entwässert. Beide Seen liegen im Entwässerungsgebiet des Indus, der ebenso wie sein größter linker Nebenfluß, der Sutledsch, sämtliche Hochgebirgsketten des Himalaya in tief eingeschnittenen Schluchten durchbricht, ein Beweis, daß diese Flüsse schon vor der Auffaltung des Himalaya-Gebirges vorhanden gewesen sein müssen. Früher hatte der Manasarovar durch die erwähnte Rinne, N-gangga genannt, einen ständigen Abfluß zum Rakas-tal, der seinerseits zum Sutledsch entwässerte. Mit Fug und Recht konnte man daher den bedeutendsten Zufluß des Manasarovar, den Tage-tsangpo, als den eigentlichen Quellfluß des Sutledsch ansprechen. Zunehmende Trockenheit des Klimas brachte es jedoch zuwege, daß sich die Abflüsse aus dem heiligen See nur noch auf feuchtere Perioden beschränkten. In trockenen Jahren würde also die Sutledschquelle im Rakas-tal, beziehungsweise wenn auch dessen Abfluß aufhört, noch weiter westlich zu suchen sein. *Hedin* weist hier unter Benutzung von Quellen, die bis in das 16. Jahrhundert zurückgehen, in exakter Weise an einem typischen Beispiel nach, wie die Hydrographie eines klimatisch und orographisch so eigenartigen Gebietes in hohem Maße abhängig von den jeweiligen Witterungsverhältnissen ist. Auch die Zweifel, welche über die Lage der Quellen des Indus und des Brahmputra bestanden, konnte *Hedin* nach Erreichung der beiden lange umstrittenen Punkte endgültig beseitigen. Den Problemen des Manasarovar und der Quellen von Indus, Sutledsch, Ganges und Brahmputra sind die beiden ersten Bände des Riesenwerkes gewidmet. *Hedin* beginnt mit einer sehr ausführlichen und kritischen Darstellung der Einordnung von Tibet in das Weltbild des Altertums, wie es indische, griechische und römische Kosmographen beschrieben und später mohammedanische, chinesische, tibetanische und schließlich europäische Geographen auch auf Karten dargestellt haben, die in reicher Fülle faksimiliert wiedergegeben werden. Dieser historischen Vorbereitung folgt dann die Schilderung seiner eigenen Reisen und schließlich die Ableitung der wissenschaftlichen Ergebnisse unter Berücksichtigung der übrigen Fachliteratur.

Hedin gehört zu den wenigen Forschungsreisenden, denen die Befähigung innewohnt, auf die verschiedensten, scheinbar unbedeutendsten Einzelheiten, die sich während des Marsches dem Auge darbieten, genau zu achten, ihre Bedeutung schnell zu erfassen, ihre Stimmigkeit oder Unstimmigkeit zu dem bis dahin Gesehenen im Moment zu erkennen und etwaige Widersprüche sofort an Ort und Stelle aufzuklären. Auf diese hervorragende Begabung sind wohl die großen Erfolge *Hedins* zurückzuführen gegenüber solchen Naturen, die, weniger beweglichen Geistes als er, erst am Abend des Reisetages in Muße ihre Beobachtungen und Notizen mit früheren vergleichen und sich nachträglich ein Bild der durchreisten Strecke zurecht machen.

Mancher Verfechter strengster Objektivität wird vielleicht den Einwand erheben, daß bei einer intuitiven Erfassung der Oberflächenformen vielleicht die wissenschaftliche Kritik nicht voll zu ihrem Rechte käme. Vor dieser Gefahr jedoch ist *Hedin* einmal durch seine erstaunliche Gedächtniskraft geschützt, dann aber auch durch seine gründliche und vielseitige wissenschaftliche Vorbildung, die er sich nach dem Muster seines Vorbildes und Lehrers *Ferdinand von Richthofen* angeeignet und auf immer umfassenderen Reisen zu einem seltenen Grad von Vollkommenheit ausgestaltet hat. Maß und Zahl spielen in seinen Aufzeichnungen eine größere Rolle als bei allen anderen mir bekannten Forschungsreisenden. Die Länge des zurückgelegten Weges wird mit der größtmöglichen Genauigkeit bestimmt, die Höhe jedes markanten Punktes wird gemessen, die Steigung bzw. das Gefälle berechnet, die Tiefe und Strömungsgeschwindigkeit der durchquerten Flüsse bestimmt und daraus die Wasserführung ermittelt. Von meteorologischen Elementen mißt *Hedin* regelmäßig Luftdruck, Sonnenstrahlung, Temperaturen der Luft und des Wassers, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung. Astronomische Ortsbestimmungen und Peilungen von Aussichtspunkten vervollständigen die Reihe der Messungen.

Das großartigste und augenfälligste Ergebnis der ganzen Reise war die Entdeckung eines bis dahin völlig unbekanntes, aus zahlreichen Einzelketten bestehenden Gebirgszuges, der an Ausdehnung und Höhe dem Himalaya vergleichbar ist. Der große Bogen des Himalaya fällt nach Norden zu einer langgestreckten, 5000 bis 4000 m hoch gelegenen Senke ab, die nach Westen durch die Seen Manasarovar und Rakas-tal zum Sudletsch bzw. zum Indus entwässert, während nach Osten hin der Oberlauf des Brahmputra, der dort den Namen Tsangpo führt, vom 82. bis zum 94. Breitengrad parallel zum Himalaya fließt, um dann dessen Ketten in einer Reihe von gewaltigen, bisher noch unerforschten Schluchten nach Süden zu durchbrechen, ein merkwürdiges Analogon zu den vorher erwähnten Abnormitäten in dem Verlauf des Indus und des Sutledsch. Nördlich dieser Senke liegt ein bis zu *Hedins* Reise völlig unerforschtes Gebiet, das sich von der Gegend des Manasarovar bis zu dem größten See in Tibet, dem Tengri-nor, erstreckt. Zwar waren Teile im äußersten Osten und Westen durch einige wenige Reisende erkundet worden, denen es jedoch nicht gelang, ein zuverlässiges Bild von der Orographie und Geologie des durchzogenen Gebietes zu geben, weil eben der zentrale Teil zu den unbekanntesten Teilen der Erde gehörte. Zwischen den Pässen Chalamba-la (5200 m in 90° Ost) und Surnge-la (5276 m in 82° Ost) war das Gebirge vor *Hedin* auch nicht auf einer einzigen Linie überschritten worden. Auf acht Durchquerungen, die jedesmal über schwierige Pässe bis zu fast 6000 m Höhe führten, erschloß *Hedin* den Bau dieses gewaltigen Gebirges und wies nach, daß es sich um eine orographische Einheit handelt, der er den Namen Transhimalaya gab, während die Topographische wie die Geologische Landesaufnahme von Indien den Namen Hedingebirge vorschlugen. Sein höchster Gipfel ist der in 30° Nord, 84¼° Ost gelegene Peak M der Lunpo-Gangri-Kette, dessen Höhe *Hedin* aus vier trigonometrischen Messungen zu 7204 m bestimmte. Er wird in Tibet nur von wenigen Gipfeln der Grenzgebirge übertroffen. Tektonisch und morphologisch bildet der Transhimalaya einen Teil des Himalaya. Die Auffaltung der Erdkrinde verteilt sich in eine große Zahl von sekundären Falten, die ein wahres Labyrinth

von Einzelketten bilden, zwischen denen sekundäre Depressionen eingeschaltet sind. Die mittlere Höhe der 11 bis jetzt bekannten Pässe der wasserscheidenden Hauptkette beträgt 5545 m, ist also höher als die der Himalayapässe, und auch sonst nimmt der Transhimalaya als Wasserscheide einen bedeutend höheren Rang ein als der Himalaya. Augenfällig ist der durch klimatische Verhältnisse bedingte Unterschied in den Oberflächenformen. Der Himalaya erhält den Hauptanteil der gewaltigen Regenmengen, die der, im Sommer aus Südwesten wehende Monsun-Wind beim Ansteigen an den Hängen niedersendet. Infolgedessen sind die Täler tief und energisch eingeschnitten, die Kämme scharf und die Gipfel spitz. Der im Regenschatten des Himalaya gelegene Transhimalaya dagegen erhält nur relativ unbedeutende Anteile der Monsunregen; seine Kämme sind daher flacher, die Täler breiter und die Formen im allgemeinen kompakter und massiger.

Die Abnahme der Höhe und der Zerrissenheit der Gebirgssysteme sowie die Zunahme der Trockenheit nach Norden findet sich auch weiterhin in Südtibet, das noch von zwei weiteren gigantischen Faltsystemen durchzogen wird, die stets durch dazwischen liegende, mit vielen, oft großen Seen erfüllte Depressionen voneinander getrennt sind. Am Nordfuße der großen Wasserscheide des Transhimalaya zieht sich die erste, durch die Seen Nganglaring-tso und Tengri-nor bezeichnete Depression hin, deren mittlere Höhe 4692 m beträgt. Weiter nördlich folgt ein Gebirgssystem mit mittlerer Paßhöhe von 5174 m. Die nächste Depression hat 4464 m Mittelhöhe; ihr gehören die Seen Panggong-tso und Selling-tso an. Dann folgt wieder ein Gebirgssystem mit 5275 m mittlerer Paßhöhe.

Im einzelnen weist *Hedin* nach, daß sich diese Depressionen in verschiedenen Stadien der hydrographischen Entwicklung befinden. Die südlichste Depression zwischen Himalaya und der großen Wasserscheide des Transhimalaya wird vom Tsangpo durchflossen, der genügend Wasser führt, um das ganze Jahr hindurch den Ozean zu erreichen. In der Nganglaring-tso—Tengrinor-Depression sind die Oberläufe der westwärts und ostwärts strömenden Flüsse, sowie die Nebenflüsse der beiden alten Hauptflüsse noch in Funktion, aber ihr Wasser reicht nicht mehr aus, um größere Flüsse zu schaffen, die zum Ozean entwässern. Die nördlichste der drei großen Depressionen mit der Seenreihe von Panggong-tso bis Selling-tso hat das größte Stadium der Reife erreicht. Der alte Fluß dieses gewaltigen Talsystems ist in seiner ganzen Ausdehnung vom Selling-tso bis in die Nähe des Panggong-tso, d. h. über eine Erstreckung von neun Längengraden unter jungen Ablagerungen begraben, und nur der oberste Teil seines Laufes vom Tanglagebirge bis zum Selling-tso ist noch am Leben. Ehemals hat also offenbar das ganze, 1260 Kilometer lange Tal westwärts zum Indus entwässert. Mit aller Deutlichkeit zeigt sich hier, in wie hohem Maße Feuchtigkeit, Wasservorrat und hydrographisches Leben nach Norden zu geringer werden.

Die Anordnung ost-westlich streichender Gebirge mit trennenden, seenerfüllten Senken dazwischen bestimmt auch den Oberflächencharakter des nördlicheren Teils von Tibet, des Tschang-tang. Aber diese ödeste und völlig unbewohnte Hälfte des inneren Tibet ist höher als die südliche, wie aus den mittleren Höhen der fünf nördlicheren, etwa zwischen 34° und 36° Nord belegenen Talzüge hervorgeht, die *Hedin* zu 4944, 4942, 5012, 4895 und 4927 m berechnet. Das Plateauland Tschang-tang ist in gleicher Weise wie die südlicheren Teile von der großen gebirgsbildenden Tätigkeit im

Tertiär mit erfaßt worden, und damals scheint ganz Tibet auch infolge des größeren Reichtums an Niederschlägen etwa den gleichen Landschaftscharakter dargeboten zu haben, den wir heute noch in den wildesten und unzugänglichsten Teilen des Himalaya finden, nämlich steile, zackige Bergformen und tief eingeschnittene, von brausenden Flüssen mit Stromschnellen und Wasserfällen durchströmte Täler, welche einen vollständigen Abtransport des Gebirgsschuttes und anderen Verwitterungsmaterials ermöglichten. Ein allmähliches Trockenwerden des Klimas, sowie Bewegungen der verschiedenen Teile der Erdkruste gegeneinander hatten zur Folge, daß der Zusammenhang des Flußlaufes zerrissen und das fortlaufende Tal in eine Reihe von abflußlosen Becken zerlegt wurde, in welchen nun die Verwitterungsprodukte zur Ablagerung gelangten. Das Plateauland des inneren Tibet besteht heute aus tausenden solcher abflußlosen (self-contained) Becken, meist mit einem Salzsee an der tiefsten Stelle. Hand in Hand damit ging eine Rundung der Bergformen, eine Abtragung der Höhen, dagegen eine Auffüllung der Becken, so daß eine Verminderung des Gefälles eintreten mußte, bis schließlich der heutige Zustand hergestellt war.

Diese verschiedenen Stadien der Entwicklung lassen sich an zahlreichen Stellen des Transhimalaya wie des Tschang-tang deutlich erkennen, und *Hedin* erläutert die Einzelheiten durch Hinweise im Text sowie durch Karten und Profile. Hunderte von prächtigen Photographien tragen dazu bei, ein anschauliches Bild von dem ausgedehntesten und massigsten Hochland unserer Erde zu geben. Ein Atlas von 552 Panoramen, bei deren Entwurf dem Verfasser sein Zeichentalent ebenso zu statten gekommen ist wie sein ausgeprägtes Verständnis für geographische Formen, erleichtert das Studium der Routenaufnahmen, die in einem zweiten Atlas von 52 Kartenblättern mit Höhenschichtlinien im Maßstab 1 : 200 000 von Oberst *H. Byström* bearbeitet worden sind. Mit großer Sorgfalt finden sich auf jedem Kartenblatt die Punkte angegeben, von denen Panoramen gezeichnet oder photographisch aufgenommen wurden. Überall sind durch Kreissektoren die auf den Panoramen dargestellten Teile des Horizonts kenntlich gemacht und die entsprechenden Band- und Seitenzahlen des Werkes hinzugefügt. Ein dritter Atlas enthält weitere Kartenwerke, die *H. Byström*, zum Teil in Gemeinschaft mit *Otto Kjellström*, bearbeitet hat, nämlich

1. eine Übersichtskarte von *Hedins* Reise in 1 : 5 000 000,
2. eine Generalkarte von Zentralasien und Tibet in 1 : 7 500 000,
3. eine Generalkarte von Ost-Turkestan und Tibet, 15 Blatt, in 1 : 1 000 000. Sie enthält sämtliche Routen aller Forscher, die dieses Gebiet bereist haben, und läßt erkennen, wie zusammenhängende Flächen von vielen Zehntausenden von Quadratkilometern noch heute gänzlich unbekannt sind,
4. eine Spezialkarte von *Hedins* Route, 26 Blatt, in 1 : 300 000,
5. eine Generalkarte der großen Kara-korum-Gletscher, 2 Blatt, in 1 : 500 000,
6. eine Routenkarte über *Hedins* Reisen im östlichen Pamir 1894—1895, 2 Blatt, in 1 : 500 000.

Die einzelnen Zweige der Naturwissenschaften, wie Astronomie, Meteorologie, Geologie, Botanik usw. haben meist schwedische Spezialforscher bearbeitet, wie aus der Titelangabe ersichtlich ist. Dagegen sind an dem historisch-philologischen Teil deutsche Gelehrte in weitgehendem Maße beteiligt, insbesondere Professor *Erich*

Hänisch und Dr. *Albert Herrmann*. Aber auch *Hedin* selbst hat mit großer Sorgfalt und bewundernswertem Fleiß die alten Quellschriften durchforscht, erläutert und kritisiert und eine Geschichte der Entwicklung unserer Kenntnis des Landes seit dem frühesten Altertum gegeben, die durch Beigabe von zahlreichen Faksimiles alter Karten einen besonderen Wert erhält.

Die Benutzbarkeit des Werkes wird wesentlich erleichtert durch drei verschiedene Register, von denen eines die Personennamen und das zweite die geographischen Namen umfaßt. Das dritte, systematische Register stellt einen unentbehrlichen Führer durch die gewaltige Fülle des Materials dar, der es ermöglicht, die in verschiedenen Bänden verstreuten Einzelbeobachtungen schnell aufzufinden und zusammenzufassen.

Vom politischen Standpunkt aus ist beachtenswert,

daß *Hedin* sein Werk der „Survey of India“ gewidmet hat, jener britischen, um die Landesaufnahme Südasiens sehr verdienten Behörde, die sich bereits vor dem Weltkriege auf eine Anfrage des Verfassers zur Annahme dieser Widmung dankend bereit erklärt hatte. Es ist ein Zeichen für die wissenschaftliche Objektivität des schwedischen Forschers und Gelehrten, daß er auch unter den heutigen Umständen diese Zusage einlöst, trotzdem die Engländer ihm wegen seiner deutschfreundlichen Gesinnung die früher erteilten wissenschaftlichen Ehren abgesprochen und ihn z. B. aus der Liste der Ehrenmitglieder der Royal Geographical Society gestrichen haben.

Für den vorzüglichen Druck und die glänzende Ausstattung des Werkes gebührt der Lithographischen Anstalt des Schwedischen Generalstabes besondere Anerkennung.
O. Baschin.

Besprechungen.

Kries, Johannes v., Allgemeine Sinnesphysiologie.

Leipzig, F. C. W. Vogel, 1923. X, 299 S. 17 × 25 cm.

Wir finden hier zum ersten Male in der Physiologie des Menschen eine zusammenfassende Darstellung alles dessen, was unseren Sinnen oder doch mehreren von ihnen gemeinsam ist. Eine derartige Abhandlung aus der Feder *v. Kries'* muß besonders reizvoll sein. *v. Kries* sagt zwar, daß sie vom physiologischen Standpunkt geschrieben ist, und daß der Psychologe den Eindruck der Unvollkommenheit erhalten könnte. Aber beim Lesen empfindet man keineswegs eine derartige Einseitigkeit, vielmehr sind gerade alle Probleme des psychophysischen Zusammenhangs und die mit ihnen so eng verknüpften Fragen erkenntnistheoretischer und logischer Natur gedankenreich erörtert, ohne daß man Gefahr läuft, sich in psychologischen Einzelheiten zu verlieren. Es ist natürlich kaum möglich, aus allen den verschiedenen Kapiteln Gedankengänge herauszugreifen. Der Lehre von den spezifischen Energien gibt *v. Kries* dahin Ausdruck, daß, wenn ein Sinnesorgan durch nicht adäquate Reize erregt wird, doch stets die gleiche Art von Empfindung hervorgerufen wird wie durch den äquaten Reiz. Die Art der Empfindung ist also nicht durch die Art der Reize bestimmt, sondern sie ist durch die Natur der Sinnesorgane selbst gegeben. Zwei Kapitel sind dem Raumsinn gewidmet. Schon früher hat *v. Kries* betont (3. Aufl. von *Helmholtz'* physiologischer Optik), daß sich aus einer rein reflektierenden Betrachtung mit zwingender Notwendigkeit die Grundtatsache ergibt, daß die Raumvorstellung einen einheitlichen und unveränderlichen Bestandteil unseres Bewußtseins ausmacht. Die wichtigsten funktionellen Eigentümlichkeiten des Raumsinns charakterisiert *v. Kries* folgendermaßen: 1. Es müssen physiologische Vorgänge vorhanden sein, deren psychisches Korrelat nicht nur Orte einzelner Sehdinge bedeutet, sondern auch die in unserem Bewußtsein gegebene dreidimensionale und unbegrenzte Raumvorstellung. 2. Da unser Raumsinn egozentrisch ist, müssen physiologische Vorgänge da sein, deren psychisches Korrelat die Vorstellung unseres eigenen Körpers ist. 3. Es müssen Funktionsmodalitäten vorhanden sein, die in den speziellen Verhältnissen der optischen Lokalisation zur Erscheinung kommen (Zusammenwirken der mannigfachen Umstände für die Tiefenwerte usw.). 4. Hierzu kommt die assoziative Verknüpfung von Eindrücken aus verschiedenen

Sinnesgebieten. Es ist beim Raumsinn entweder psychisches oder mindestens ein dem psychischen ähnliches physiologisches Geschehen in einer Weise verflochten, für die wir bei sonstigen Attributen der Empfindungen (auch beim Zeitsinn, dem ebenfalls ein Kapitel gewidmet ist) kein Analogon finden. Den Schraum definiert *v. Kries* als die Gesamtheit physiologischer Tatbestände, die in unseren Urteilen über Lage, Anordnung, Größenverhältnisse der Gegenstände sowie in den sich anschließenden anderen funktionellen Vorgängen, namentlich Bewegungen, zur Erscheinung kommen. — Einzelheiten der speziellen Sinnesphysiologie sind in dem Buch nur soweit mitbehandelt, als sie dem Autor für die Probleme selbst von unmittelbarer Bedeutung erschienen. Gerade die kritische und vorsichtige Darstellungsweise, die *v. Kries* stets eigen ist, läßt am besten erkennen, daß in der Sinnesphysiologie trotz der Fülle von Einzelheiten, welche die unermüdliche Forscherarbeit der Psychologen und Physiologen im Laufe der Zeit gebracht hat, die großen Probleme, wenn man die Tatbestände in der Gesamtheit übersieht, überall noch ungelöst sind. Gerade in der Hervorhebung und der tiefgründigen Erörterung, inwieweit alle diese Fragen noch ihrer Lösung harren, liegt meines Erachtens mit der Hauptwert des Buches *H. Köllner, Würzburg.*

Fuchs, R., und Hopf, L., Aerodynamik. Handbuch der Flugzeugkunde Bd. II. Unter Mitwirkung des Reichsamtes für Luft- und Kraftfahrwesen herausgegeben von *F. Wagenführ.* Berlin, Richard Carl Schmidt & Co., 1922. VI, 466 S. und 285 Fig. 19 × 26 cm.

An den Fortschritten auf dem Gebiete der Flugtechnik, die wir im Weltkriege miterlebt haben, war die wissenschaftliche Durchdringung dieses Gebietes in hervorragendem Maße beteiligt. Die in diesem Zeitraume gewonnenen theoretischen und experimentellen Ergebnisse waren, obwohl meist nur für den Fachmann vollständig bewertbar, nicht minder bedeutungsvoll als die augenfälligeren praktischen Erfolge, mit denen sie Schritt für Schritt organisch verkettet waren. Gerade in den letzten Kriegsjahren gelang die Lösung manches seit langem und von vielen Seiten behandelten Problems, so daß die Zeit des Kriegsendes auch als Abschluß eines bedeutungsvollen Zeitraumes auf flugtechnischem Gebiete gelten kann. Da war es ein glücklicher, schon in der Werdezeit dieser neuen Erkenntnisse gefaßter Ge-

danke, eine systematische Darstellung der erreichten Ergebnisse auf diesem Gebiete zu schaffen, und zwar, dem Werden dieses Wissenszweiges in den letzten Jahren entsprechend, sogleich unter fortgesetzter Verbindung zwischen Theorie, Experiment und technischer Wirklichkeit. Auf diese Weise entstand das vorliegende Werk, das als zweiter Band des großangelegten *Handbuches der Flugzeugkunde* seinen natürlichen Platz fand, und das, wie hier vorweg bemerkt werden mag, zu den bedeutungsvollsten Erscheinungen des deutschen flugwissenschaftlichen Schrifttums gehört; übrigens dürfte es auch in den einschlägigen Literaturen anderer Länder nicht viele Werke geben, die diesem als gleichwertig an die Seite gestellt werden können.

In diesem Werke handelt es sich im wesentlichen um eine systematische Darstellung der *Mechanik des Flugzeuges*. Dabei sind vor allem zwei große Teile zu unterscheiden, welche Unterscheidung auch bei der Anlage des vorliegenden Werkes zur Geltung kommt: ein *aerodynamischer* Teil, der die Strömungsvorgänge der Luft um die Bestandteile des Flugzeuges und um das Flugzeug als Ganzes betrifft, und ein im wesentlichen der *starrten Mechanik* angehöriger Teil, der die Bewegung des Flugzeuges im Raum als Körper von sechs von einander unabhängigen „Freiheitsgraden“ (3 Verschiebungen längs dreier Achsen des dreidimensionalen Raumes unserer technischen Wirklichkeit und 3 Drehungen um diese Achsen) betrifft. Der erste Teil beschäftigt sich vor allem mit der Bestimmung der Luftkräfte auf Körper von solcher Gestalt, wie sie im Flugzeugbau Verwendung finden, der zweite mit den bei den verschiedenen Flugzuständen auftretenden Kräften im Zusammenhange mit den durch diese erzeugten Bewegungen, insbesondere mit dem Verhalten des Flugzeuges beim Steuern, also dem Einfluß der Ruder. Diese beiden Teilgebiete sind in dem Werke in großer Ausführlichkeit und unter Heranziehung aller bisher verwendeten Hilfsmittel behandelt, die bei dem in Rede stehenden technischen Wissenszweige auch höheren Gebieten der modernen Mathematik entnommen sind. Im Anschluß an diese beiden Teilgebiete dürfte übrigens im Laufe der Zeit voraussichtlich noch ein dritter — sie verbindender — zur Ausgestaltung gelangen, der die Wechselbeziehung zwischen dem Flugzeug und der umgebenden Luftmasse eingehender behandeln wird, als dies bei der heutigen Auffassungsweise möglich ist; dabei wird es sich vor allem um eine eingehende Untersuchung der nicht-stationären Luftströmungen und damit auch der Luftkräfte bei nicht-gleichförmiger Bewegung des Flugzeuges handeln.

Die Einleitung enthält zunächst eine Kennzeichnung des in gleichem Maße der Physik und der Technik angehörenden Flugproblems, eine Übersicht über die dabei auftretenden Einzelprobleme sowie auch der experimentellen Hilfsmittel, die zur Behandlung des individuellen Einzelfalles sich bisher stets als notwendig erwiesen haben, und die auch fernerhin durch keine Theorie völlig entbehrlich werden dürften. Dabei werden die prinzipiellen Fragen der Ähnlichkeitsmechanik, die den Übergang vom Modell zur ausgeführten Maschine beherrschen, in anschaulicher und ausführlicher Weise entwickelt. Modellversuche wurden bisher mit Erfolg ausgeführt als *Schleppversuche* in Längsbewegung oder im *Rundlauf*, als *Fallversuche*, am genauesten jedoch in den *Luftstromanlagen*, von denen heute schon mehrere, teilweise auch in großen Abmessungen ausgeführt wurden; die bekannteste von ihnen und gleichzeitig auch diejenige, auf deren Ergebnisse das in Rede stehende Werk an vielen Stellen Bezug nimmt, ist die

„Aerodynamische Versuchsanstalt der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft“ in Göttingen, über deren Einrichtungen und Aufgaben ihr dz. verdienstvoller Direktor, Herr Prof. Dr. L. Prandtl vor einiger Zeit in dieser Zeitschrift berichtet hat¹⁾. Außer den Modellversuchen kommen an experimentellen Hilfsmitteln die Versuche im Fluge in Betracht, über deren Ausführung und instrumentelle Hilfsgeräte ebenfalls das Wichtigste dargelegt wird.

Der erste Teil, betitelt: *Die Luftkräfte* bringt zunächst eine Ableitung der Grundgleichungen der theoretischen Hydrodynamik reibungsfreier und unzusammendrückbarer Flüssigkeiten, und der Folgerungen, die sich aus ihnen für ebene Potentialströmungen ziehen lassen; sie führen auf die durch *Joukowski* und *Kutta* eingeführte konforme Abbildung, durch welche aus der bekannten Strömung um einen Kreiszyylinder die Strömung um ein Flügelprofil gewonnen wird; an sie schließen sich die Verfeinerungen an, die die Gewinnung wirklichkeitstreuer Profile bezwecken, und die insbesondere von *v. Kármán*, *Treffitz*, *v. Mises* u. a. erhalten wurden. Die Strömungsaufgabe läßt sich auch für zwei oder mehrere Tragflügel hinter- oder übereinander (Flügelgitter) lösen.

Alle diese Betrachtungen legen die Annahme einer *ebenen* Potentialströmung zugrunde, das dadurch gewonnene Strömungsbild läßt sich daher nur auf unendlich lange Tragflügel anwenden, längs welcher dieses Strömungsbild wie auch die damit im Zusammenhang stehende Auftriebsverteilung dieselben bleiben; über den *Widerstand* eines solchen Flügels wird durch diese Betrachtungen keine Aussage gewonnen. Hier setzen nun die großen Arbeiten *L. Prandtls* ein, der die Veränderlichkeit des Auftriebes längs des Flügels, wie sie sich infolge *endlicher* Flügellänge notwendigerweise einstellen muß, in Zusammenhang brachte mit dem *Widerstande* des Flügels, d. i. die in die Bewegungsrichtung fallende, der Bewegung entgegen gerichtete Kraft; dieser Widerstand wird (außer dem Reibungswiderstand) im wesentlichen veranlaßt durch die von der Hinterkante der Flügel in Form eines *Wirbelbandes* abgehenden Wirbel. Diese Theorie erfordert daher zunächst eine Einführung in die Gesetze der Wirbelbewegung, wobei als ein neuer, bisher in der Hydro- und Aerodynamik nicht benützter Begriff, der *Randwiderstand* oder *induzierte Widerstand* auftritt. Diese Theorie gestattet auch unmittelbar die Erweiterung auf *Mehrdecker* und unter gewissen Voraussetzungen über die geometrische Ähnlichkeit auch die *Umrechnung* (Reduktion) der Auftriebs- und Widerstandswerte für verschiedene Flügelanordnungen — ein für den Vergleich verschiedener solcher Anordnungen außerordentlich wichtiges Ergebnis der Theorie. Die Anwendung auf anders gestaltete Körper und die Frage der *Entstehung* des Widerstandes macht freilich über diese Ergebnisse hinaus noch eine allgemeine Widerstandstheorie nötig, über deren wichtigste Ergebnisse in dem Werke gleichfalls ausführlich berichtet wird, dabei wird insbesondere auf die *Prandtsche Grenzschichtentheorie*, auf die *Kármánsche Wirbelstraße* und ihre Stabilität, auf die Wirbelablösung und auf andere damit im Zusammenhang stehende Untersuchungen eingegangen. Dieser Teil ist der schwierigste des ganzen Gebietes, und ist, wie auch zugestanden werden muß, noch durchaus nicht als abgeschlossen anzusehen. Den Schluß des ersten Teiles bildet ein ausführlicher Bericht über die Ergebnisse der *Messungen* und ihrer Beziehung zu den

1) Die Naturwissenschaften, 1922, Heft 8.

theoretisch gewonnenen Ergebnissen und eine kurze Darlegung der analogen bei der Luftschraube auftretenden Probleme.

Schon für den *ersten* Teil des Werkes ist die Art der Darstellung, die überall mit wohlbegründeten physikalischen Vorstellungen arbeitet, kennzeichnend für den Wirklichkeitssinn seines Bearbeiters: Prof. Dr. R. Fuchs in Berlin. Der *zweite*, von Prof. Dr. L. Hopf in Aachen herrührende Teil fügt zu diesen teilweise schon klassisch und Gemeingut gewordenen Ergebnissen auch sachlich neue Entwicklungen, insofern, als darin eigentlich zum ersten Male eine Theorie der Bewegung des Flugzeuges in der Luft auf Grund der Bewegungsgleichungen gegeben wird. Durch geistreich ersonnene Schaubilder gelingt es, das Verhalten eines bestimmten Flugzeuges und den Vergleich verschiedener Flugzeuge in anschaulicher Weise zur Darstellung zu bringen; dadurch wird auch die Möglichkeit gewonnen, das Verhalten des Flugzeuges in den verschiedenen Flugstadien (Horizontalflug, Steigen, Sinken usw.) bei verschiedenen Belastungen, bei den verschiedenen Ruderbewegungen, unter verschiedenen atmosphärischen Verhältnissen, bei Änderung der Größe, Form und Lage einzelner Bestandteile u. dergl. in übersichtlichster Form zu veranschaulichen. Insbesondere die theoretisch und praktisch wichtige Frage der *Stabilität* erfährt auf diese Weise eine vollständige und in fast allen Punkten befriedigende Erledigung. Daß auf diese Weise auch *neue* und gerade für die praktische Fliegerei bedeutungsvolle Ergebnisse gewonnen werden, zeigt z. B. die Auffindung und Erklärung der als *Trudeln* bezeichneten Flugzeugbewegung, in der eine der Hauptursachen für die durch teilweise Instabilität des Flugzeuges gegen seitliche Störungen hervorgerufenen Unglücksfälle zu suchen ist.

Besonders beachtenswert und auch für den Flugzeugbau wertvoll ist das in diesem Zusammenhang gegebene Zahlenmaterial für die *Kennziffern*, die für die Beurteilung des Verhaltens der Flugzeuge dienen. — Ein ausführliches Literaturverzeichnis und Register beschließen das Werk.

Dieser in mehr als einer Hinsicht unvollkommene Bericht mag ein Bild über die Reichhaltigkeit seines Inhaltes geben, der nicht nur für den Theoretiker, sondern auch für den Planer, ja vielfach auch für den praktischen Flieger überaus bedeutungsvoll ist. In jeder Phase ist der Einfluß deutscher Arbeit zu erkennen, von der nur zu bedauern bleibt, daß sie in der jüngst vergangenen Epoche in weitem Umfange der Zerstörung gedient und zu einem — hoffentlich bald wieder überwundenen — Niedergange des eigenen Volkes geführt hat.

T. Pöschl, Prag.

Lundegardh, Henrik, Zelle und Cytoplasma, Band I aus dem Handbuch der Pflanzenanatomie, herausgegeben von R. Linsbauer. I. Abt. 1. Teil. Cytologie. Berlin, Gebr. Bornträger, 1921. 192 S. und 193 Fig. 18 × 26 cm.

Tischler, Georg, Allgemeine Karyologie. Band II aus dem Handbuch der Pflanzenanatomie, herausgegeben von K. Linsbauer. Berlin, Gebr. Bornträger, 1921. 384 S. 18 × 26 cm.

Die vorliegenden Hefte stellen die ersten Lieferungen des umfangreich gedachten Linsbauerschen Handbuches der Pflanzenanatomie dar. Während die pflanzliche Systematik und Morphologie bereits zusammenfassende Darstellungen aufzuweisen haben, entbehrte die Anatomie bislang einer solchen auf einem Gebiete, dessen Literatur in den letzten Jahrzehnten gewaltig gewachsen ist. Aus der kurzen Inhaltsangabe des Gesamtwerkes ist ersichtlich, in welcher Weise die Ver-

arbeitung des Stoffes gedacht ist, eine Einteilung, deren Erweiterung wohl zu erwarten steht.

Die erste Abteilung des Handbuches umfaßt die Cytologie, Histologie und experimentelle Anatomie und wird eingeleitet durch den Band „Zelle und Cytoplasma“ von Lundegardh. Diesem Teil geht eine kurze Darstellung der geschichtlichen Entwicklung der Anatomie und Zellenlehre vom gleichen Verfasser voraus. An eine prägnante Definition der Begriffe „Zelle“, „Protoplasma“ und „Kern“ schließt sich die morphologische Gliederung der Zelle und ihre Symmetrieverhältnisse. Über die Bedeutung des Kernes für die Cytoplasmfunktionen und seine Beeinflussung durch dasselbe hätten wir vom Verfasser eine eingehendere Darstellung gewünscht. Ausführlicher ist das Kapitel „Größe der Zelle“. Die Kernplasmarelation R. Hertwigs stellt keinen absoluten Zahlenwert dar, sondern entspricht jeweils einem bestimmten physiologischen Zustand. Ein weiteres behandelt die Form der Zelle, sowie die äußeren und funktionellen Einflüsse, welche eine Formumwandlung herbeiführen können.

Mit Beginn der allgemeinen physikalischen Organisation schließt das erste Heft ab. Ein Hinweis auf die zahlreichen Figuren ist im Text meist leider unterlassen.

Das zweite Heft bringt den ersten Teil der allgemeinen Pflanzenkaryologie von Tischler und behandelt den Ruhekern und die Kernteilung. Der Mannigfaltigkeit der Kernformen liegt im allgemeinen eine funktionelle Ursache zugrunde. Wir finden außer durch die Zellform aufgezwungenen Veränderungen auch aktive, d. h. solche, die durch die Funktion des Kernes und den damit verbundenen Stoffwechsel hervorgerufen werden. Die sich hierbei ergebende ungleiche Oberflächenspannung läßt seine Gestalt mehr oder weniger von der Kugelform in meristematischen Zellen abweichen. So in den Kernen der Pflanzengallen, der Mykorrhizazellen, vieler Endosperme und sekretorisch wirkender Zellen. Am bekanntesten ist der Formenwechsel der Spermkerne, in deren schraubiger Gestalt namhafte Forscher einen Beweis für die autonome Bewegung dieser Kerne im Embryosack sehen wollten.

Der hypothetische Charakter der Kernkomponenten beruht auf ihrer Bestimmung durch die Färbetechnik. Wir nehmen im allgemeinen an, daß das Wesentliche im Kern seine speziellen Eiweißkörper — die Nucleide — sind. Abweichend davon sind z. B. die Vorstellungen Hansteen-Craners, wonach der Kern hauptsächlich aus Lipiden besteht, während das Eiweiß mehr den Charakter eines Reservestoffes tragen soll. Da unsere Fixierungsmittel erst das kolloidal gelöste Eiweiß ausfällen und färbbar machen, so lassen unsere aus diesem Material gezogenen Schlüsse manchen Zweifel aufsteigen. Dieser Gedanke muß zu einer Kritik der bislang gültigen Deutungen der morphologischen Kernstruktur führen, die eben von fixierten Präparaten ausgehen und mit den Namen Flemming und Bütschli eng verknüpft sind. Wir bemühen uns heute auf Grund unserer kolloidchemischen Erkenntnisse diesen Dingen näher zu kommen.

Die Frage, ob den Kernen eine Membran zuzusprechen sei oder nicht, wird verschieden beantwortet. Einerseits kennt man viele Kerne, deren deutlich sichtbare Membran erst bei der Mitose aufgelöst wird, andererseits gibt es solche mit nicht nachweisbarer Kernmembran. Der Verfasser will diesen Widerspruch so lösen, daß beim Überwiegen der flüssigen Kernphase sich an der Grenzfläche gegen das andersartige Cyto-

plasma eine Niederschlagsmembran bildet, während beim Überwiegen der gelartigen Kernbestandteile die Neigung besteht, eine äußerst dünne Oberflächenmembran entstehen zu lassen. Wo eine Kernmembran vorhanden ist, ist sie als semipermeabel zu denken.

Spilien im Tierreich die Centrosomen eine bedeutende Rolle, so kommen solche bei den Pflanzen nur bei Algen und Pilzen vor. Ob die Blepharoplasten der Archegoniaten und Gymnospermen phylogenetisch von ihnen abzuleiten sind, läßt sich nicht entscheiden. Sicher ist dagegen, daß sie keinen Einfluß auf die Kernteilung haben und lediglich als Cilienbildner der männlichen Geschlechtskerne fungieren.

Mit der Frage des Stoffaustausches zwischen Kern und Cytoplasma steht die Beobachtung aktiver Kernwanderung in der Zelle in Verbindung. Nach den Beobachtungen *Haberlandts* befindet sich der Kern stets an der Stelle lebhaften Wachstums. Hierfür gibt es zahlreiche Beispiele, aber auch Ausnahmen von dieser Regel kommen vor. Solange man nicht die Stoffwechselvorgänge kennt, welche die Kernbeteiligung erfordern, solange lassen sich die verschiedenen Beobachtungen schwer einheitlich deuten. Bei der Zellwandbildung finden wir von den Characeen und Bryophyten ab einen engen Zusammenhang zwischen Kernteilung und Zellteilung. Bei den Algen geht meist die Kernteilung voran, worauf die junge Wand in einer Plasmplatte entsteht, die keine Beziehung mehr zur Kernspindel zeigt. Daß sich experimentell Zellteilung auch bei höheren Pflanzen ohne Kernteilung erzielen läßt, zeigen die Versuche *Haberlandts* mit plasmolysier-

ten Haarzellen von *Coleus* und Zellen der Blattzähne von *Elodea*.

Die typische Kernteilung leitet eine Diskussion der die Mitose auslösenden Ursachen ein. Seitdem *R. Hertwig* in qualitativen Veränderungen des Kernplasma-verhältnisses das teilungsauslösende Moment erblickte, hat man andererseits zahlreiche Fälle kennengelernt, in denen qualitative Faktoren den Teilungsreiz auslösen können. Die Versuche zur Erzielung künstlicher Parthenogenese, die Wirkung der Wund- und Leptohormone *Haberlandts* zeigen solche spezifischen Stoffe. Die Kolloidchemie sucht hingegen ein Verständnis für die dabei auftretenden Zustandsänderungen der Zelle anzubahnen. Beide Gedanken können aber, wie der Verfasser richtig hervorhebt, sehr wohl Teilerscheinungen eines Vorganges sein.

Über die Vorgänge beim Ablauf der Mitose wissen wir weit weniger, ihre Mechanik ist uns noch heute verschlossen, und obgleich wir die alten Vorstellungen von den Zug- und Stützwirkungen der Spindelfasern als zu materiell grob empfinden, gibt uns keine der neueren Hypothesen bisher eine befriedigende Erklärung.

An Beispielen und Abbildungen bringt der Verfasser eine außerordentliche Fülle, und darin besteht der Wert des Buches. Daß manche darin enthaltenen Anschauungen des Verfassers nicht allseitig geteilt werden dürften, liegt in der vielfach noch hypothetischen Materie und ist nicht das Wesentliche. Das Buch ist ein ausgezeichnetes Nachschlagewerk.

Fr. Herrig, Berlin.

Astronomische Mitteilungen.

Neue photographische Parallaxbestimmungen mit dem 100-Zoll-Spiegel am Mt. Wilson. Die letzten Jahre haben in der Erkenntnis der Entfernungen der Fixsterne große Fortschritte gebracht. Abgesehen von dem hier schon wiederholt besprochenen glänzenden Verfahren von *Kohlschütter* und *Adams*, das uns Parallaxen auf spektroskopischem Wege gebracht hat, sind auch seit etwa 12 Jahren trigonometrische, photographisch gewonnene Parallaxen in ansehnlicher Menge und nach verfeinerten Methoden bestimmt worden. Die Stellarstatistik verfügt heute schon, vor allem Dank der Arbeiten der *Allegheny*-, *McCormick*- und *Mt. Wilson*-Sternwarte, über ein schönes Material¹⁾. Die Aussichten für die Zukunft sind sehr günstig, wenn man bedenkt, daß es möglich war, in diesen 12 Jahren die Zahl von ca. 100 brauchbaren Parallaxen zu verachtfachen, ganz abgesehen von den nahezu 2000 auf spektroskopischem Wege bestimmten.

Nun ist auch das 100zöllige Hookerteleskop, derzeit das größte Instrument der Welt, von *van Maanen* auch u. a. in den Dienst der photographischen Parallaxmessungen gestellt worden, nachdem seit 1915 schon am 60-Zöller derselben Sternwarte derartige Untersuchungen angestellt worden waren²⁾. Es ist vielleicht am Platze, bevor die neuen Ergebnisse besprochen werden, hier noch auf das Prinzip der Untersuchungsmethode *van Maanens* in Kürze hinzuweisen.

Es werden am Spiegel durchschnittlich 16 Aufnahmen zu 15 Minuten gemacht, die dann in 8 Paare mit genügend großer Zwischenzeit, entsprechend dem positiven und negativen parallaktischen Maximum, gruppiert werden. Jedes Plattenpaar wird gleichzeitig am Stereokomparator mit Hilfe der Blinkvorrichtung vermessen. Der Stern mit der zu bestimmenden Parallaxe ist im Zentrum der Platte und dient als Koordinatenursprungspunkt. Die anzuschließenden Vergleichssterne sind höchstens 8' entfernt und in einer möglichst gleichmäßigen Verteilung um den Parallaxenstern ausgewählt. Sie sollen möglichst lichtschwach sein, schon aus dem Grunde, um ihre Eigenbewegung und Parallaxe um so sicherer vernachlässigen zu können. Um keine Helligkeitsfehler einzuführen, wird nach *Schlesinger* bzw. *Abbot* der Parallaxenstern durch einen rotierenden Sektor von 13 mm Durchmesser künstlich geschwächt. Verschiedene Typen von Sektoren ermöglichen eine Abblendung von 3—7 Größenklassen. Es wird nun sowohl für den Parallaxenstern, wie für die Vergleichssterne die Distanz in Rektaszension D zwischen den beiden Platten auf jedem Plattenpaar gemessen, und zwar, wie allgemein üblich, in zwei um 180° gewendeten Plattenstellungen. Die D sind durch die Eigenbewegung (μ_α) und Parallaxe (π) bedingt, zudem aber noch durch eine Reihe andere Ursachen, wie Präzession, Nutation, Refraktion, Orientierung der Platte usw. Diese zu berücksichtigenden Korrekturen sind Funktionen der Koordinaten in der Form $a + b\alpha + c\gamma + d\alpha^2 + e\alpha\gamma + f\gamma^2 +$ Glied-

¹⁾ Vgl. auch *H. Kienle*, Der gegenwärtige Stand der Parallaxenforschung, Vierteljahrsschrift d. Astron. Ges. 56, 217.

²⁾ Mt. Wilson Contrib. Nr. 111.

der höherer Ordnung. Bei entsprechenden Vorsichtsmaßregeln können, wie *van Maanen* zeigt, die Glieder zweiter und höherer Ordnung vernachlässigt werden. Die Korrektur ist dann $a + bx + cy$. Die gemessenen Distanzen D setzen sich also zusammen aus $a + bx + cy + \Delta p \pi + \Delta m \mu$; ($\Delta m =$ Zeit in Jahren zwischen den einzelnen Aufnahmen jedes Plattenpaares, $\Delta p =$ dem Unterschiede des parallaktischen Faktors). Für die Vergleichsterne, bei denen ja π und $\mu = 0$ angenommen sind, wird $D = a + bx + cy$. Die Werte dieser Konstanten sind unsicher nach der

mit schwachen Vergleichsternen müssen an einem größeren Instrumente gemacht werden, will man nicht die Expositionszeit von 15 Minuten überschreiten. Wegen der Schwierigkeit der Nachführung des Spiegels in der Cassegrainanordnung für südliche Deklinationen konnten nur wenige südliche Sterne beobachtet werden. Die ersten Ergebnisse am Hooker-teleskop (42' Brennweite) in der Newtonschen Einrichtung liegen nun vor¹⁾.

Die Parallaxen wurden für drei rasch bewegte Sterne aus der Liste von *Wolf* gemessen.

	m^{ph}	α_{1900}	δ_{1900}	jährl. E. B.	$\pi_{\text{Rel.}}$	m. F.
Wolf 1037.....	14,5	22 ^h 23 ^m 44 ^s	+ 5° 20'	1"57	0"054	± 0"0060
Wolf 1039.....	13,8	23 ^h 29 ^m 2 ^s	- 0° 21'	1"44	0"056	± 0"0060
Wolf 1040.....	14,5	23 ^h 31 ^m 37 ^s	+ 0° 37'	1"23	0"057	± 0"0105

Methode der kleinsten Quadrate aus den verschiedenen Vergleichsternen für jedes Plattenpaar zu errechnen. Für den Parallaxenstern im Koordinatenursprungspunkt ist x und y gleich 0; also $D = a + \Delta p \pi + \Delta m \mu$. Zur Vereinfachung der Rechnung werden alle D eines Plattenpaares um den für den Parallaxenstern gefundenen Wert vermindert, für diesen selbst wird dann schließlich $\Delta p \pi + \Delta m \mu = -a$. Soviele Plattenpaare, soviel derartige Bedingungsgleichungen. Die Ausgleichsrechnung ergibt dann die gewünschten Werte für π und $E. B. \mu$. Sind einmal die Konstanten b und c ermittelt, so ermöglicht die Methode ohne weiteres die E. B. und π für die Vergleichsterne zu rechnen und damit Untersuchungen über systematische Fehler durchzuführen. Dies ist ein großer Vorzug gegenüber der Methode von *Schlesinger*, bei der eine derartige Loslösung der Vergleichsterne nicht möglich ist.

Nach diesem hier angedeuteten Verfahren hat *van Maanen* in den letzten 7 Jahren 170 Objekte gemessen. Die innere Genauigkeit der Ergebnisse ist die größte bisher erreichte. Bei *Kapteyn* und *Weersma* beträgt der mittlere Fehler (m. F.) $\pm 0,00480$, bei *Mitchell* (nach 1914) $\pm 0,00135$, bei *Schlesinger* $\pm 0,00120$, während *van Maanen* nach Abschluß seiner Messungen am 60-Zöller $\pm 0,00084$ angibt¹⁾; *G. Schnauder* fand in seiner aufschlußreichen Untersuchung²⁾, in der er u. a. 172 photographische Parallaxen von 5 verschiedenen Sternwarten untereinander in Beziehung setzte, für *van Maanen* den weitaus kleinsten m. F. von $\pm 0,00095$, der noch unsicher war, da er sich nur auf 5 Sterne bezog. Dieser Wert *Schnauders* wird aber nun bestens gestützt durch die vorzügliche Übereinstimmung mit dem mittleren inneren Fehler einer Einzelparallaxe der 170 Objekte von *van Maanen*.

Der Übergang vom 60-Zöller auf den 100-Zöller als Arbeitsinstrument hatte mehrere Gründe; Parallaxenbestimmungen für sehr schwache Sterne bzw. Gebiete

Im Durchschnitt ein m. F. von $\pm 0,00075$. Es gelang also, am 100-Zöller die innere Genauigkeit der Messungen noch weiter zu steigern. Der m. F. beträgt nunmehr nur noch $\frac{2}{3}$ des m. F. der an sich schon glänzenden Resultate der Allegheny-Sternwarte.

Der gemessene π entsprechend muß man diese Sterne als Zwerge bezeichnen mit der äußerst kleinen absoluten (phot.) Helligkeit +13^m. Ihre Geschwindigkeit senkrecht auf die Gesichtslinie beträgt 110 km/sek.

Als viertes Objekt hat *van Maanen* den prächtigen planetarischen Nebel NGC 7293 im Aquarius (Fig. 76 in *Lick Publ. XIII*)²⁾ gemessen. Er ist der Riese unter den planetarischen Nebeln mit einem Durchmesser von 15 bzw. 12 Bogenminuten. Er besitzt ähnlich wie der seltsame NGC 6543, doch nicht so ausgeprägt, eine schneckenförmige Gestalt. Der Zentralstern, eine regelmäßige Erscheinung bei diesen Gebilden, hat eine photographische Helligkeit von 11^m. Die gemessene Parallaxe ist von derselben Größenordnung wie bei den Wolfischen Sternen und beträgt $0,0058 \pm 0,00075$. Es ist also ein relativ nahes Objekt, ungefähr 55 Lichtjahre von der Sonne entfernt. Der Zentralstern ist ein Zwerg mit einer absoluten Helligkeit von +11,2^m. Die scharfe Bestimmung der Parallaxe für einen planetarischen Nebel ist von großer Bedeutung und ermöglichte auch die Dimensionen für dieses Riesengebilde anzugeben. Es hat in der Längsachse einen Durchmesser von $3\frac{1}{2}$ Billionen Kilometer.

Haben uns die Messungen nach der Interferenzmethode für den Riesenstern Antares einen Durchmesser ergeben, der nach den besten Parallaxmessungen größer ist als jener der Marsbahn, so haben wir hier ein Gebilde vor uns mit einem Durchmesser, welcher den der Neptunbahn, also den unseres Sonnensystems, noch 375mal übersteigt. *W. E. Bernheimer.*

1) Proc. Nat. Ac. of Sc. 9, Heft 2.

2) Über planetarische Nebel und die Lickarbeit vgl. den ausführlichen Aufsatz *Hopmanns* in Naturwissenschaften 1922, Heft 1.

1) Proc. Nat. Ac. of Sciences 9, Heft 2.

2) Astron. Nachr. 217, 1.