

VERHANDLUNGEN
DER PHYSIKAL.-MEDIZIN.
GESELLSCHAFT
ZU WÜRZBURG

☆

HERAUSGEGEBEN
VON DEM SCHRIFTLITUNGS-AUSSCHUSS
DER GESELLSCHAFT

M. VON FREY, H. STRUGHOLD, R. WETZEL

☆

NEUE FOLGE · 56. BAND

WÜRZBURG

VERLAG DER PHYSIK.-MED. GESELLSCHAFT

Verlag der physik.-med. Gesellschaft zu Würzburg
1931

VERHANDLUNGEN
DER PHYSIKAL-MEDIZIN
GESELLSCHAFT
ZU WÜRZBURG

HERAUSGEBEN VON

MEINEM SCHRIFTLEITUNGSRAUSCHUSS

DER GESELLSCHAFT

M. F. 1897, II. SEMESTER, 1. HEFT

NEUE FOLGE - 26. BAND

WÜRZBURG

VERLAG DER PHYSIKAL-MEDIZIN-GESELLSCHAFT

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<i>D. Ackermann:</i> Über das Arcain, eine bisher unbekannte tierische Rasse . . .	48
<i>D. Ackermann:</i> Über den biologischen Abbau des Arginins zum Citrullin	118
<i>H. Bohnenkamp:</i> Das Grundgesetz des Energiewechsels in der Biologie . . .	1
<i>Eichler:</i> Tonunterschiedsempfindlichkeit und Musikalität	101
<i>A. Kahlstorf:</i> Das Volumen des Herzens unter dem Einfluß körperlicher Arbeit	103
<i>W. Linneweh:</i> Über das Verhalten des Arcains im Tierkörper	67
<i>H. Loeschcke:</i> Die Bedeutung des quantitativen Moments für die Reaktions- formen der Tuberkulose — eine Kritik der Stadienlehre <i>Rankes</i> . . .	10
<i>H. Magendantz:</i> Zur Kenntnis der Perspiratio insensibilis	76
<i>H. Ott:</i> Kausalprinzip und gegenwärtige Physik	27
<i>O. Popp:</i> Über die morphologische und funktionelle Bedeutung des Peritoneum und der Tela subperitonealis mit besonderer Berücksichtigung der konstruktiven Verhältnisse der Leberligamente.	100
<i>H. Rietschel:</i> Das Scharlachproblem	116
<i>H. Rietschel:</i> Über Encephalitis postvaccinalis mit Krankendemonstration .	99
<i>L. Schmidt:</i> Über den Einfluß des Berufs auf kräftige und schwächliche Jugendliche	52
<i>A. Schöberl:</i> Über die Teilnahme von Glutathion bei Oxydationsvorgängen	57
<i>M. Schorn:</i> Über die Wirkung des Recresals auf die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit	105
<i>Fr. Strieck:</i> Untersuchungen über die Perspiratio insensibilis	72
<i>Franz Termer:</i> Aufgaben und Ziele landeskundlicher Forschung im nördlichen Mittelamerika	79
<i>O. Volk:</i> Über das Unendliche	102
<i>A. Wurm:</i> Stoff, Struktur und Bewegung der Erdkruste	98
<i>Zeiss:</i> Ergebnisse zweier wissenschaftlicher Streifzüge in der Kirgisensteppe	47
Jahresverzeichnis für das Jahr 1931	120
Mitgliederstand für das Jahr 1930	121

VERHANDLUNGEN
DER
PHYSIKALISCH-MEDIZINISCHEN
GESELLSCHAFT ZU WÜRZBURG
N. F. BAND 56 ≈ Nr. 1

SITZUNGS-
BERICHTE

I.-V. SITZUNG



WÜRZBURG

VERLAG DER PHYSIK.-MED. GESELLSCHAFT

DRUCK UND KOMMISSIONSVERLAG DER
UNIVERSITÄTSDRUCKEREI H. STÜRTZ A. G.

1931

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<i>H. Bohnenkamp</i> : Das Grundgesetz des Energiewechsels in der Biologie . .	1
<i>H. Loeschke</i> : Die Bedeutung des quantitativen Moments für die Reaktionsformen der Tuberkulose — eine Kritik der Stadienlehre <i>Ranke's</i> . .	10
<i>H. Ott</i> : Kausalgesetz und gegenwärtige Physik	27
<i>Zeiss</i> : Ergebnisse zweier wissenschaftlicher Streifzüge in die Kirgisensteppe	47
<i>D. Ackermann</i> : Über das Arcain, eine bisher unbekannte tierische Base . .	48
<i>Ludwig Schmidt</i> : Über den Einfluss des Berufs auf kräftige und schwächliche Jugendliche	52
<i>Alfons Schöberl</i> : Über den Einfluss von Glutathion bei Oxydationsvorgängen	57

I. Sitzung vom 8. Januar 1931.

Das Grundgesetz des Energiewechsels in der Biologie.

Von

H. Bohnenkamp.

Da gesetzmässig das Leben verknüpft ist mit der Fähigkeit zu Energieumsetzungen, so ist also die Beurteilung der Energieumformung eine der ersten Fragen der Physiologie überhaupt. Die Erfassung beherrschender Gesetze des Energiewechsels, die Aufstellung einer Bilanz für den Energiehaushalt ist eine Hauptaufgabe.

Bisher ist es nicht gelungen weder für den Menschen noch für das Tier eine allgemeingültige Energiegleichung aufzustellen. Statt dessen werden sogar immer mehr irreführende Vorstellungen entwickelt, wonach der Energieumsatz direkt abhängig sein soll von Grössen wie Körpergewicht, Körperlänge, Alter und Geschlecht und von geometrisch recht ungenau erfassten und erfassbaren Oberflächen. Es sind unter Verkennung der physikalischen Bedingungen für eine jede Energiebetrachtung Zusammenhänge angenommen worden, die niemals den tierischen und menschlichen Wärmehaushalt bestimmen können. Eine Energiebetrachtung hat es aber mit messbaren Grössen zu tun nach den Gesichtspunkten der Hauptsätze der Wärmelehre.

Da unter den bestimmten Bedingungen des Grundumsatzes nur Tier und Mensch vergleichbar sind, so muss beachtet werden, dass hierbei in Ruhe, nüchtern und unbekleidet(!) in einer Umgebungstemperatur, die die Wärmeregulation nicht beansprucht, alle im Organismus irgendwie gebildete Energie verloren geht als Wärme. Die Formen der Wärmeverluste sind Verluste durch Leitung und Konvektion (Wärmemitführung), Verluste durch die Verdampfungswärme des von Lunge und Haut abgegebenen Wassers und die Abgaben durch Wärmestrahlung. Es ist zugleich zu erkennen, dass also die Wärmeverhältnisse der Umgebung, sei es Erde, Luft oder Wasser, für den

tierischen Organismus nicht gleichgültig sein können bei Betrachtung des energetischen Verhaltens. Von den beiden überhaupt nur gegebenen Möglichkeiten hat die Natur Gebrauch gemacht, sie schuf poikilotherme und homoiotherme Wesen.

Es leuchtet ohne weiteres ein, dass ein sich dem Wechsel der Umgebungstemperatur anpassender Organismus infolge der Beseitigung eines Wärmegefälles natürlich sehr sparsam bezüglich der Wärmeabgabe wirtschaftet.

Für die Wesen, bei denen aus bestimmten Gründen die Natur offenbar eine Sicherung einer festen Bluttemperatur erstrebt, liegen die Verhältnisse für die Betrachtung auch zunächst klar. Wieder kann nur alle Energie, die im Körperinnern gebildet wird, in der erwähnten Form von Wärmeabgaben verloren werden. Leider sind die bisherigen Messungen am Menschen für die Beurteilung nur mit Vorsicht heranzuziehen, da fast durchweg der Mensch hinsichtlich seiner Kalorienbildung im bekleideten Zustande, also bei nicht scharf erfassbaren Bedingungen der Wärmeabgabe an seiner Körperoberfläche beurteilt wurde.

Unter den Grundumsatzbedingungen verliert nun ein entblösster Mensch bei indifferenten Umgebungstemperatur von 24° C einen nur geringen Betrag von Wärmeverlusten durch Leitung und Konvektion. Man muss beachten, dass die spezifische Wärme der Luft sehr gering ist (0,241 kal/g) und bei der Lage des entblösten Menschen auf einem Ruhebett sich auf keine Weise kaum wesentlich mehr als 100 Kal. für 24 Stunden errechnet, auch wenn man die Atemluft von 24 auf 37° erwärmen lässt. Jedenfalls wird dieser geringfügige Wärmeverlust ohne grosse Bedenken zunächst einmal für 24 Stunden mit geringen Schwankungen zu 100 Kal. für den erwachsenen Menschen eingesetzt werden können.

Wesentlich stärker ist die Verlustseite der Energiebilanz belastet durch die Wasserverdampfung. Glücklicherweise liegen hierüber klare Messergebnisse vor, vor allem von *Benedict* und *Root*¹. Danach ist die unmerkliche Wasserabgabe des Menschen eine direkte lineare Funktion des gesamten Energieumsatzes, wie er sich etwa beim Gaswechsellversuch ergibt. Diese Tatsache vereinfacht für den Menschen sehr die Aufstellung einer Energiegleichung.

Entscheidend wirkt aber auf die Wärmeverluste ein unter den angegebenen Bedingungen des entblösten Körpers die Wärmestrahlung.

¹ *Benedict, F. G. and H. F. Root: Insensible Perspiration: Its relation to human physiology and pathology. Arch. int. Med. 38, 1 (1926).*

Sie beträgt etwa $\frac{2}{3}$ der gesamten Energieverluste und wurde vor Jahren durch direkte kalorische Bestimmungen mit Hilfe von Strahlungsempfängern unter Anwendung des *Lambertschen* Projektions-Kosinusetzes für schwarze Strahler direkt von uns bestimmt. Die Wärmestrahlung als massgebender Einfluss auf der Verlustseite des Wärmehaushaltes kann nur abhängig sein von der Grösse der Strahlungsfläche und dem Verhalten der Temperatur.

Die für schwarze Strahler gültige Fläche ist ja bei konkaven Beschaffenheiten, wie diese teilweise für den tierischen und menschlichen Körper zutreffen, nicht die geometrische Hautoberfläche, sondern die sich z. B. nach dem *Lambertschen* Gesetz bestimmende Strahlungsfläche. Beachtet man nämlich etwa die Grössenordnung der vorzugsweise emittierten Wellenlängen infraroter Strahlung, so zeigt sich alsbald, dass die zahllosen Fältelungen der Haut (bis $\frac{1}{20}$, bzw. $\frac{1}{10}$ mm) mit ihrem gewaltigen Einfluss nicht unberücksichtigt bleiben können. Auf Grund des *Planckschen* Strahlungsgesetzes und mit Hilfe des *Wienschen* Verschiebungsgesetzes lässt sich ja ohne weiteres für bestimmte Oberflächentemperaturen die Grösse der vorzugsweise emittierten infraroten Strahlung angeben, z. B. für 30°C $\lambda_{\text{max}} = 9,50 \mu$.

Durch ein neues und sehr handliches Verfahren gelang es nunmehr in Wirklichkeit zutreffend, sicher und rasch die strahlende Oberfläche von auch stark deformierten Körpern (z. B. Kyphoskoliosen) zu bestimmen. Da nämlich auch die elektrische Kapazität eines Leiters eine Funktion der Oberfläche des betrachteten Körpers ist, so wurde diese in ihrem Verhalten zur Strahlungsfläche untersucht. Bekanntlich ist ja der Sitz einer elektrischen Ladung die Körperoberfläche. Die rechnerische und experimentelle Prüfung an übersehbaren und auch deformierten Körpern ergab eine genaue Übereinstimmung der Grösse der Strahlungsfläche und der Grösse, die sich aus der elektrischen Kapazität errechnet. Die wirksame Strahlungsfläche ist nun bei Menschen z. B. stark abhängig von seiner Haltung, in zusammengekauertem Stellung natürlich viel geringer als in der gewöhnlichen Grundstellung und als etwa bei abgespreizten Armen und einem abgespreizten Bein, also bei besonders grosser Strahlungsabgabe. Veränderungen der wirksamen Strahlungsfläche bis auf das Vierfache sind unschwer zu erreichen. Für die Strahlungsverluste ist also der extensive Einfluss, die Flächengrösse durch dieses Verfahren leicht zu bestimmen.

Wie gelangt man zu bestimmten Angaben über die „mittlere“ Hauttemperatur, also zu der Temperatur der strahlungsendenden

Oberfläche, die diese besitzen würde, wenn sie an allen ihren Teilen gleich stark strahlte? Hier gelingt es mit Hilfe des *Stefan-Boltzmannschen* Strahlungsgesetzes, umgeformt für die Grundumsatzbedingungen des Menschen in der Form

$$W_{\text{Str}} = k \cdot 24 \text{ St} \cdot \text{wirksame Oberfläche } (T_h^4 - T_u^4),$$

T_h des Menschen zu bestimmen,

$$T_h = \text{mittlere Hauttemperatur in } ^\circ\text{C} + 273,$$

$$T_u = \text{Umgebungstemperatur } 24^\circ\text{C} + 273,$$

$k = 1,37 \cdot 10^{-12}$ ist eine universelle Naturkonstante von allgemeiner Gültigkeit.

24 Stunden = 86400 Sek. — Für die linke Seite der Gleichung W_{Str} ist einzusetzen die etwa durch den Gaswechselfersuch bestimmte gesamte Kalorienbildung, vermindert um den Leitungsverlust und den aus der *Benedict-Rootschen* Beziehung direkt ablesbaren kalorischen Wert für die Wasserdampfabgabe. Es bleibt dann in der Gleichung, da auch die wirksame Oberfläche ja direkt bestimmt wird, die nun leicht zu errechnende Grösse für die mittlere Hauttemperatur. Sie ergibt sich für jedes Alter und für jedes Geschlecht in bestimmter Weise, so dass mit dem Alter die mittlere Hauttemperatur des Menschen abnimmt, ferner die mittlere Hauttemperatur der Frau (gleicher Grösse und gleichen Gewichtes natürlich) stets tiefer gefunden wird als beim Manne.

Es erklären sich also hierbei die verschiedenen Grundumsatzwerte des Mannes und der Frau ohne weiteres aus der Verschiedenheit ihrer mittleren Oberflächentemperatur. Es wird erstmals hierdurch überhaupt eine Erklärung für die Abweichungen des Grundumsatzwertes bei den Geschlechtern und bei den Bedingungen verschiedenen Alters gegeben, eine Erklärung, die in Übereinstimmung steht mit den Erfahrungen über die Hauttemperaturen des Menschen in verschiedenen Lebensaltern und unter verschiedenen Gewichtsbedingungen. Es wird also Abstand davon genommen, den verschiedenen Grundumsatz gesunder Menschen zu beziehen auf Einrichtungen im Körperinnern etwa derart, dass abhängig davon die Steuerung der Hauttemperatur erfolge und die Verschiedenheit des Grundumsatzes erkläre.

Es muss nun beachtet werden, dass stets in der Natur das subkutane Fettpolster benutzt wird zum Wärmeschutz des Körperinnern und wir sehen immer, dass, sei es beim Manne oder bei der Frau, über den örtlichen Ansammlungen von Fettgewebe die Hauttemperatur bis zu mehreren Graden tiefer gefunden wird als an anderen

Stellen, dass ferner der Fettleibige sich durchaus unterscheidet durch seine Hauttemperatur von einem Normalgewichtigen oder Mageren, dass Tiere mit gleicher Bluttemperatur wie der Mensch mit fettreicher Haut wie die Dickhäuter (Rhinoseros, Nilpferd) tiefe Hauttemperaturen von durchschnittlich 25° haben. Sehr eindrucksvoll wird die Bedeutung der Fettschichten für den Energiehaushalt bei den warmblütigen Walen. Bei diesen Tieren beruht die Anpassung an die meist aufgesuchten polaren Meere offenbar auf den gewaltigen Fettschichten, die bis zu 23,3 cm Dicke beim Blauwal gemessen wurden. — Es steht also in Übereinstimmung mit aller Erfahrung bei Tier und Mensch, dass über den Fettpolstern die Hauttemperatur herabgesetzt ist. Mit aller Genauigkeit kann aber für den Menschen der Beweis für den Zusammenhang von mittlerer Hauttemperatur und Unterhautfettgewebe nur erbracht werden durch anatomische Untersuchungen. Diese sind von *Merselis* und *Texler*¹ an frischen Leichen von 15—50 Jahren und von *Traut*² von 50—90 Jahren von ganz anderen Gesichtspunkten ausgehend in einwandfreier Weise bestimmt worden. Es zeigt sich, dass 1. der Mann stets unterschieden ist von einer Frau gleicher Grösse und gleichen Gewichtes durch Grösse und Verteilung des Fettpolsters und 2. dass bis in das hohe Alter hinein mehr und mehr das Fettpolster zunimmt, der Mann dabei in gewissem Sinne einen nachholenden Fettansatz zeigt und dadurch eine gewisse Verwischung der Geschlechtsunterschiede in dieser Hinsicht bei hohem Alter eintritt. Mit anderen Worten, die ganz unabhängigen anatomischen Untersuchungen sind das getreue und bis in Feinheiten hinein übereinstimmende Abbild einer Darstellung der mittleren Hauttemperatur des Menschen für den Mann wie für die Frau, wie sie in der Abb. 1 als Beispiel angegeben ist.

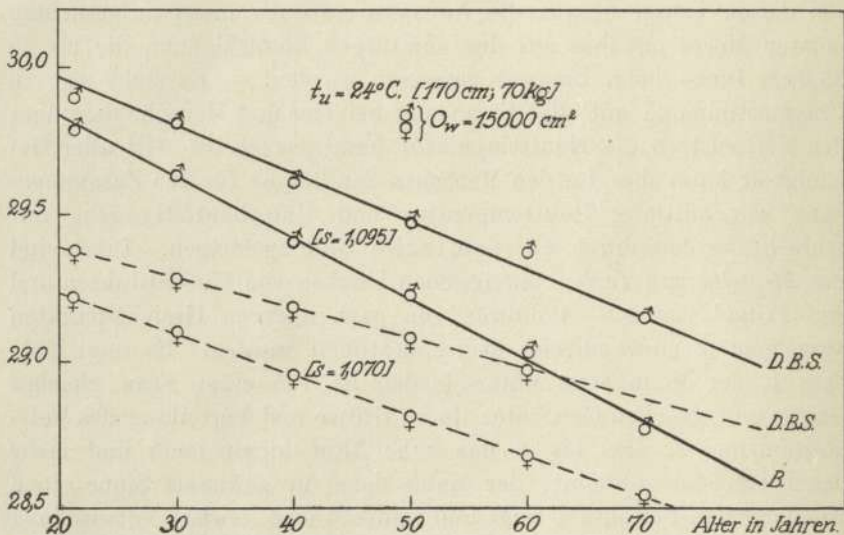
Es kann also kaum einem Zweifel unterliegen, dass wir in der Erfassung der Verhältnisse des Fettpolsters der Haut den wohl günstigsten Masstab für eine Angabe der mittleren Hauttemperatur haben.

Es ist nun 1. eine alte Erfahrung der Veterinärmedizin insbesondere der Züchter, dass bei Mast wie auch bei Hunger vor allem und in erster Linie das subkutane Fettpolster der Veränderlichkeit unterliegt. 2. ist es eine in der Stoffwechselliteratur gesicherte Tatsache, dass an einer Gewichtsschwankung des Menschen infolge veränderter

¹ *Merselis, I. G.* und *K. Texler*: Über die Fettgewebsverteilung an der Körperoberfläche. *Z. Konstit.lehre* 11, 1925.

² *Traut, Eugen*: Über Fettgewebsverteilung an der Körperoberfläche im Alter. *Z. f. Konstit.lehre* 12, 1926.

Ernährungs- oder Verbrauchsbedingungen das Fettgewebe bis zu 94% Anteil hat, also in erster Linie die Verhältnisse des Fettgewebes für Ansatz wie Abbau entscheidend sind. Hiermit stimmen überein alle bisherigen Messungen von Hautfaltendicken (von *Richet*, *Öder*), die je nach dem Ernährungszustand eine gleichsinnige Schwankung der Hautfaltendicke fanden. Da nun das spez. Gewicht



Die Abbildung zeigt für den Mann und für die Frau den Verlauf der mittleren Hauttemperatur unter Grundumsatzbedingungen bei 24°C Umgebungstemperatur. Zugrundegelegt sind für die Darstellung die Grundumsatzwerte gesunder Menschen, wie sie sich bestimmen nach den Angaben von Du Bois und überprüft und verbessert wurden durch Boothby und Sandiford (D.B.S.). Die tiefer liegenden Kurven sind bestimmt nach den gebräuchlichen Angaben von Benedict (B.). — Bei 40 Jahren ist angegeben das spezifische Gewicht, wie es sich bis jetzt aus unseren Messungen für Menschen oben bezeichneter Art ergibt.

des Fettgewebes (mit Kapillaren und Wasser 0,917) von dem mittleren spez. Gewicht der übrigen körperlichen Gewebe abweicht, so werden schon geringe Schwankungen im Fettbestand sich deutlich bemerkbar machen bei einer Bestimmung des gesamten spezifischen Gewichtes des Menschen (oder des Tieres). Es ist also für grundsätzliche Untersuchungen wohl die Erfassung der spezifischen Dichte des Menschen der einwandfreieste Massstab (sofern nicht besondere Knochenveränderungen vorliegen) für eine Angabe über das subkutane Fettgewebe und damit die mittlere Hauttemperatur unter Grundumsatzbedingungen.

Mindestens ist eine solche Bestimmung der spezifischen Dichte des Menschen notwendig für die Beurteilung der Wertigkeit der körperlichen Gewebe. Und für eine erstmalige Eichung von Körpergewichten als Ausdruck von Ernährungszuständen ist die Angabe des spezifischen Gewichtes geradezu unerlässlich.

Da am Lebenden bisher noch nie das spezifische Gewicht gemessen worden ist, wurde hierfür ebenfalls ein Verfahren entwickelt. Um das Rein- (Netto-) Volumen des Menschen zu messen, also die körperlichen Gewebe zu bestimmen, mit Ausschluss der Lungenluft und der Darmgase, wird der Mensch in einen abgegrenzten, luftdichten Raum gestellt und durch Hinzufügen bestimmter Luft- oder Gasmengen (O_2) unter verschiedene Drucke gesetzt und dabei mit grosser Genauigkeit (ca. $\frac{1}{1000}^{\circ} C$) die mittlere Gastemperatur des Raumes bestimmt. Es handelt sich also um Anwendungen des *Boyle-Mariotte-* und *Gay Lussacschen* Gesetzes. Zu berücksichtigen sind eine grosse Reihe von Korrekturen für Wasserdampfättigung, für den verbrauchten Sauerstoff und die abgegebene Kohlensäure, für die Absorption im Bodenwasser und dergleichen mehr. Es ergibt sich nun in den bisherigen Messungen, dass die spezifische Dichte der Frau stets geringer ist als die des Mannes gleichen Gewichtes und gleichen Alters und dass (von krankhaften Zuständen der Abmagerung wird natürlich abgesehen) der alternde Organismus durchaus ein geringeres spez. Gewicht hat, also fettreicher ist als in jüngeren Jahren. In dem betrachteten Rahmen ist also die Angabe der spezifischen Dichte des Menschen vor der Hand ein kaum zu überbietender Massstab der mittleren Hauttemperatur, die sich ja in der Tat völlig gleichlaufend bewegt mit den Schwankungen der spezifischen Dichte, d. h. mit den Schwankungen des Fettbestandes. Es ist kaum notwendig darauf hinzuweisen, dass natürlich auch durch Ansammlung freilich sehr grosser Mengen von Wasser oder anderen Substanzen das spezifische Gewicht verschoben werden kann, insbesondere durch Veränderungen des Skelettes, dass also die spezifische Dichte nicht nur abhängig ist vom Fettbestand.

Zurückkehrend zum Ausgangspunkt dieser Betrachtung ist es mit Hilfe der angegebenen Verfahren möglich, für die Strahlungsverluste sowohl den extensiven Faktor der gültigen Strahlungsfläche, wie den intensiven Faktor der mittleren Hauttemperatur anzugeben. Es ist damit auf Grund des *Stefan-Boltzmannschen* Gesetzes zugleich die gesamte Strahlungsabgabe erfasst. Wir haben auf diese Weise alle die etwa durch eine direkte Kalorimetrie erfassbaren Wärmegrössen

angegeben und vermögen diese in Beziehung zu setzen zu dem Wert der gebildeten Wärme im Körper, wie er sich berechnet bei der Prüfung durch die indirekte Kalorimetrie, durch den Gaswechselversuch.

Die Richtigkeit der durchgeführten Betrachtung muss sich vor allem bei der Prüfung erweisen. Da zeigt sich nun, wie nicht anders zu erwarten, dass in allen normalen Fällen der auf Grund unserer Energiegleichung vorausgesagte Grundumsatzwert beim erwachsenen Menschen völlig übereinstimmt mit dem Wert, wie er beim Gaswechselversuch gefunden wird. Für abweichende körperliche Verhältnisse, z. B. bei Fällen von Magersucht und Fettsucht sind sinngemäss und auch in der Richtung der praktischen Erfahrung die von uns angegebenen Werte verändert gegenüber den bisher gebräuchlichen und sicher nicht zutreffenden Zahlenangaben für den Grundumsatz solcher Menschen. Die Energiegleichung stimmt also auch überein mit der Erfahrung.

In Wirklichkeit kann die Gleichung für die Verhältnisse des Menschen infolge der linearen Abhängigkeit der Wasserdampfabgabe vom gesamten Grundumsatz und bei Festlegung der ja geringen Leitungsverluste wesentlich vereinfacht werden. Bis weitere Verfeinerungen an einem grossen Erfahrungsgut vorliegen, dürfte mit grosser Genauigkeit für den Menschen die Gleichung

$$E_{Gr} = 1,694 (W_{Str} + W_L) - 313$$

in zutreffender Weise den Sollumsatz angeben. Verschwunden sind damit Angaben wie Geschlecht, Alter, Körpergewicht und Länge, die nur falschen Auffassungen Vorschub leisten. Beherrscht wird der Energieumsatz der Lebewesen und der Menschen unter Grundumsatzbedingungen demnach durchaus auch durch die Verhältnisse der Energieabgabe, am stärksten durch die Verhältnisse der Wärmestrahlung. Diese aber hängt nur ab von der Strahlungsfläche und der (mittleren) Strahlungstemperatur. Das sind aber die Grössen, die von jeher nach physikalischen Gesetzen in einer Wärmebetrachtung der vorgeführten Art nur massgebend sein können.

Natürlich gilt dieses Gesetz nicht nur für den Menschen, sondern für alle, auch die wechselwarmen Lebewesen. Bei diesen liegt ja der Vorteil darin, dass sie mit der Umgebungstemperatur ihre Oberflächen-temperatur ändern und damit in der *Stefan-Boltzmannschen* Strahlungsgleichung der einflussreiche Faktor, nämlich die Differenz der 4. Potenzen(!) der absoluten Temperaturen sehr gering wird. Einerlei welche Beschaffenheit die tierische Oberfläche hat, immer ergibt sich,

dass die Hauptsätze der Wärmelehre, vor allem hinsichtlich der Strahlungsverluste das *Stefan-Boltzmannsche* Gesetz die Grundlagen auch des Energiewechsels in der belebten Natur und damit auch des Nahrungsbedürfnisses der Lebewesen sind. Das aufgestellte Energiegesetz ist richtig, solange die Hauptsätze der Wärmelehre ihre Gültigkeit behalten.

Die Untersuchungen wurden gemeinsam durchgeführt mit den Herren *Pasquay*, *Schmäh* und *Wördehoff*, ohne deren unermüdliche Hilfe das Ziel nicht gefunden worden wäre. Auch bin ich der Gesellschaft Deutscher Ärzte und Naturforscher, wie auch der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft für alle Unterstützungen zu grossem Danke verpflichtet.

II. Sitzung vom 22. Januar 1931.

Die Bedeutung des quantitativen Moments für die Reaktionsformen der Tuberkulose — eine Kritik der Stadienlehre Rankes.

Von

H. Loeschke.

K. E. Ranke hat in seiner Stadienlehre der Tuberkulose ein theoretisches Gebäude errichtet, das von grösster praktischer Bedeutung war und auf dessen Fundamenten die ganze moderne Tuberkuloseforschung weiterbaut. Dieses Fundament der *Rankeschen* Lehre ist die immunbiologische Deutung der Einzelbilder der Tuberkulose, durch die sämtliche Ablaufsformen als Stadien eines zusammenhängenden Krankheitsgeschehens aufeinander bezogen und voneinander abhängig gemacht werden. Auch die so sehr verschiedenen histologischen Reaktionsformen auf die Tuberkelbazilleninvasion werden von *Ranke* als allergische Reaktionen angesehen und gedeutet.

Die grosse Menge von Versuchen, an der *Rankeschen* Lehre Kritik zu üben, sie ganz oder teilweise abzuändern, beweist, dass sie in ihrer jetzigen Form noch nicht befriedigt, dass sie in manchen Punkten noch der Ergänzung, evtl. auch der Abänderung bedarf, und es soll das Bestreben dieser Abhandlung sein, unter gleichzeitiger Berücksichtigung der serologischen und morphologischen Kenntnisse auf dem Gebiet der Tuberkuloseforschung für einige Punkte der *Rankeschen* Stadienlehre Erklärungsversuche zu bringen, die das Gesamtbild der Tuberkuloseerkrankung mehr abrunden, sein Fundament verbreitern.

Ranke teilt den Ablauf der Tuberkulose in 3 Stadien ein. Stadium I ist die Erkrankung eines Körpers, der noch nie an Tuberkulose erkrankt war, es findet morphologisch seinen Ausdruck in einem Primärkomplex, dessen Primärherd meistens in der Lunge, seltener in Darm, Tonsillen, Haut usw. lokalisiert ist. Für den Primärkomplex ist absolut charakteristisch, dass gleichzeitig die von dem Primärherd abführende Lymph-

bahn und eine oder mehrere zugehörige Lymphknoten in ausgedehnter Verkäsung erkranken. Der Primärherd selbst stellt in seinem jüngsten Stadium, einen auf einen oder mehrere Azini beschränkten Herd dar, der schnell in totale Verkäsung übergeht und dann meist bald sich abkapselt. Für das Primärstadium der Tuberkulose ist es also im ganzen charakteristisch, dass der Körper erst einer Infektion mit Tuberkelbazillen so wehrlos gegenübersteht, dass selbst die kleinste Infektionsdosis zur Bildung eines relativ ausgedehnten, sofort verkäsenden Lungen- und Drüsenherdes führt, dass aber der erkrankte Körper ganz in der Regel in kurzer Zeit die Kraft findet, diesen Herd abzukapseln, und wenn keine Zwischenfälle mehr eintreten, zur Heilung unter Verkalkung und Verknöcherung zu bringen.

Das Sekundärstadium kann entweder als direkte Fortsetzung des Primärstadiums oder — wohl häufiger — erst nach einer Reaktivierung einige Zeit später eintreten. Es zeichnet sich durch eine starke fortschreitende Drüsenverkäsung mit Erweichungen und zirkumfokaler starker Reaktion aus. Besonders charakteristisch ist neben der Überempfindlichkeit und Neigung zu starken Reaktionen das Auftreten hämatogener Metastasen, die manchmal nur in der Einzahl, nicht selten in grösserer Anzahl auftreten und deren höchste Steigerung wir in der hämatogenen Massenausssaat, der Miliartuberkulose, sehen.

Das *Ranke*sche Tertiärstadium schliesslich ist das Stadium der Organtuberkulosen, das sowohl im Kindesalter als ganz vorwiegend im Erwachsenenalter auftreten kann, dessen hauptsächlichster Repräsentant die Lungentuberkulose in ihren verschiedensten Formen ist, ein Stadium, das sich vom Primär- und Sekundärstadium vor allem dadurch unterscheidet, dass Erkrankungen der Lymphbahnen und Lymphdrüsen selten sind und fast nie zu Verkäsungen führen und dass hämatogene Metastasierungen zu den grossen Seltenheiten gehören, während eine intrakanalikuläre Verschleppung innerhalb der Lunge, der Luftwege, des Kehlkopfs, der Tonsillen und durch verschluckte Bazillen auch des Darmes durchaus zur Regel gehört.

Ranke hat diese 3 Perioden der Tuberkuloseerkrankung in sehr charakteristischen Zustandbildern herausgearbeitet: Es fragt sich, warum der Körper unter den jeweils gegebenen Veränderungen so verschieden reagiert. *Ranke* stellt zur Erklärung seiner Beobachtung die Hypothese auf, dass der Körper durch die Infektion mit dem Tuberkelbazillus allergisch werde, dass so im Primärstadium ein Zustand entsteht, den er Allergie I nennt. Auf dem Boden dieser Allergie I entstände dann bei Fortschreiten der Infektion eine zweite

andersartige Allergieform, ein sehr schwankender Überempfindlichkeitszustand, die Allergie II, die das Verhalten des Körpers im Sekundärstadium erklären soll. Aus dieser Allergie II oder auch unter ihrer Überspringung direkt aus Allergie I entstehe die gefestigte Allergie des Tertiärstadiums.

Gerade diese für die *Rankesche* Lehre grundlegende Theorie, nach der aus der Infektion mit einer Art Bazillen — eben dem Tuberkelbazillus — nacheinander 3 untereinander wesensverschiedene Arten der Allergie entstehen sollen, scheint mir der schwächste Punkt der *Rankeschen* Lehre. Er bedarf unbedingt einer kritischen Überprüfung und für diese Prüfung müssen wir weit ausholen.

Allergie ist wörtlich genommen ein Andersreagieren des Körpers gegen eine den Körper zum zweiten Male treffende Schädigung. *Ranke* hat ihn als rein klinischen Begriff aufgefasst und aus seinen klinischen Beobachtungen die drei Allergieformen abgeleitet. Eine Allergie des Körpers entsteht immer durch Sensibilisierung. Damit kommt die Fragestellung auf das Gebiet der Immunbiologie und Serologie. Als sensibilisierende Stoffe oder Antigene haben ganz allgemein gesprochen alle artfremden Eiweissstoffe des Tier- und Pflanzenreichs (Pollen, Bakterien) zu gelten, daneben auch arteigene aber körperfremd gewordene Stoffe und eine Reihe von Lipoiden. Für die Tuberkulose können sowohl die Eiweissstoffe als die Lipotide des Tuberkelbazillus als Antigen in Frage kommen.

Der Körper reagiert auf die Einführung des Antigens innerhalb einiger Tage mit der Bildung von Antikörpern. Als Bildungsstätte der Antikörper sind in erster Linie die Uferzellen der Blutbahn und ganz vorwiegend das retikuloendotheliale System anzusehen, dessen Zellen wir bei einer Sensibilisierung immer vergrössert finden. Die Antikörper hat man je nach der Art ihres Nachweises als Lysine, Präzipitine, Agglutinine, Opsonine, Antitoxine bezeichnet; es ist nicht unwahrscheinlich, dass es sich bei all diesen Untergruppen um die gleichen Reaktionsstoffe handelt, die nur je nach der angewandten Methodik des Nachweises verschiedenartig reagieren. Die Wirksamkeit all dieser Stoffe beruht augenscheinlich darauf, dass Antigen und Antikörper miteinander eine chemische Bindung eingehen, bei der ein grossmolekularer Eiweisskörper entsteht, der meist ausflockt, sowie ein zweiter abgespaltener kleinemolekularer, der leicht löslich ist und mit dem in der *Abderhalden*-Reaktion auftretenden und diese Reaktion bedingenden, leicht diffundierenden, die Ninhydrinreaktion gebenden Eiweisskörper identisch zu sein scheint, so dass auch die

Aberhalden-Reaktion sich in die grosse Gruppe der Antigen-Antikörperreaktionen einreihen liesse (*Loeschke* und *Lehmann-Facius*). Diese Ausflockungsreaktionen finden teils im strömenden Blut, vor allem aber in der nächsten Umgebung der Erkrankungs-(Antigenbildungs-) Herde statt und wir nehmen an, dass die Hyalinbildungen, die wir bei allen abheilenden Eiweisserfallsherden in der Umgebung des Herdes finden, der morphologische Ausdruck derartiger Antigen-Antikörperpräzipitationen ist. Speziell bei der abheilenden Tuberkulose finden wir diese Hyalinbildungen häufig. Wir haben uns die Antigen-Antikörperbindungen streng quantitativ vorzustellen, man kann sie im Reagenzglas austitrieren und mengenmässig absättigen. Dementsprechend lag dann der Gedanke nahe, dass im Verlauf der Tuberkulose das Mengenverhältnis von Antigen und Antikörper sehr wechseln könne, dass es vor allem auch Zeiten geben könne, in denen der gebildete Antikörper vollständig abgesättigt und ein Antigenüberschuss da sein könnte. Diesen Fragen ging mein Mitarbeiter *Lehmann-Facius* erfolgreich nach. Es gelang ihm, aus verkästen tuberkulösen Lymphdrüsen wirksame Antigen-Extrakte zu bereiten. Mit Hilfe dieser Extrakte konnten wir in den Sera Tuberkulöser spezifische Flockungsreaktionen auslösen, d. h. das Vorhandensein eines Antikörperüberschusses nachweisen. Manche Sera und gerade die Sera schwerkranker Tuberkulöser versagten bei der Reaktion. Unsere Deutung dieses Versagens war die Annahme, dass bei diesen Schwerkranken die vorhandene Menge der Antikörper durch Antigenüberschuss abgesättigt sein müsse; war diese Deutung richtig, so musste in diesen Sera ein Antigenüberschuss auf serologischem Wege — gewissermassen durch Umkehr der Reaktion nachweisbar sein; man musste eine Flockungsreaktion erzielen, wenn man diese Sera an Stelle eines Antigenextraktes mit Sera zusammenbrachte, in denen sich vorher durch positiven Ausfall unserer Flockungsreaktion mit Drüsenextrakten ein Antikörperüberschuss hatte feststellen lassen. Dieser Nachweis gelang *Lehmann-Facius*. Brachten wir die wirksame Fraktion der mit dem Antigenextrakt negativ reagierenden Sera schwer Tuberkulöser mit dem antikörperreichen Blut Leichtkranker zusammen, so ergab sich jedesmal eine typische Flockungsreaktion. Es gelang meinem Mitarbeiter *Steinert* mit der Kombination beider Methoden 90% aller untersuchten Tuberkulösen in einer grösseren Kinderheilstätte in positiver Serumreaktion zu erfassen. Bei den wenigen mit beiden Methoden negativ reagierenden Fällen von Tuberkulose war wohl ein momentanes Antigen-Antikörpergleichgewicht im Serum anzunehmen.

Wir müssen annehmen, dass das Vorhandensein des spezifischen Antikörpers die Entwicklung und Vermehrung des Tuberkelbazillus hemmt, ohne ihn sofort abzutöten; anders ist das Vorhandensein lebens- und kulturfähiger Tuberkelbazillen im strömenden Blut (*Liebermeister, Löwenstein*) nicht zu erklären, aber auch hier spielt das quantitative Moment sicher eine bedeutende Rolle; wir sehen das Kreisen einzelner Bazillen im Blut, ohne dass Herde entstehen, wir müssen auch annehmen, dass immer aufs neue geringe Bazillenmengen durch Aspiration in die Lunge des allergischen Erwachsenen kommen, ohne sich dort ansiedeln zu können, denn der Erwachsene atmet die gleiche Luft wie das Kind, bei dem in 90% die Primärinfektion erfolgt, er atmet sogar von dieser infektiösen Luft dank seiner grösseren Lungen ein wesentlich grösseres Quantum und hat bei der grösseren Weite seiner Luftwege mehr Aussicht, dass das verstäubte Material wirklich in die Lunge gelangt als das Kind. Wir müssen annehmen, dass die vorhandene Antikörpermenge ausreicht, um die Ansiedlung derartig geringer Infektionsdosen zu verhüten. Dabei spielt eine wesentliche Rolle, dass der Blutstrom immer wieder neue Antikörpermengen heranzubringt. Fällt dieser Nachschub aus, so kann es zur Bazillenansiedlung kommen, wie uns die Entstehung traumatischer Tuberkulosen auf dem Boden geringgradiger Hämatome beweist. Auch die mangelhafte Durchblutung einer Gewebspartie kann die Ansiedlung von Bazillen begünstigen (Spitzendisposition). Auf der anderen Seite wissen wir, dass eine Superinfektion des allergischen Körpers jederzeit möglich ist, wenn nur der Infektionsstoff in genügender Menge eingeführt wird (Leichtentuberkel, Kehlkopf- und Darmtuberkulose). Der Schutz, den die Tuberkuloseallergie dem Körper verleiht, ist also nie ein absoluter, sondern immer nur relativ und leicht zu durchbrechen.

Wie verhalten sich nun diese Überlegungen zur *Rankeschen* Stadienlehre? Sind die 3 Allergien *Rankes* auf qualitative oder quantitative Unterschiede in der Bildung der Antikörper zurückzuführen? Will man qualitative Unterschiede annehmen, so könnte man vielleicht daran denken, dass das Antigen des Tuberkelbazillus zu zerlegen wäre in zahlreiche Partialantigene, die jedes für sich Antikörper erzeugen, man könnte sich dann vorstellen, dass das Mengen- und Mischungsverhältnis dieser Partialantikörper in den verschiedenen Stadien ein verschiedenes wäre. Irgendwelche Anhaltspunkte für eine derartige Annahme haben wir nicht, es ist auch nicht recht einzusehen, warum sich die Mengenverhältnisse der einzelnen Partialantikörper verschieben sollten. Nimmt man andererseits nur quantitative Unterschiede in

der Antikörperbildung an, so muss es überraschen, dass jene labile Allergie II sich an ein Stadium I anschliesst, in dem nach anfänglicher Widerstandsfähigkeit doch sehr bald erhebliche Abwehrkräfte auftreten, die in den meisten Fällen zu einer schnellen Abkapselung des Primärkomplexes führen. Merkwürdig wäre dann auch noch ein zweites Moment. Wenn der Primärkomplex nicht abheilt, so bekommen wir ganz in der Regel das Bild des *Rankeschen* II. Stadiums mit fortschreitender Drüsenverkäsung und hämatogener Metastasierung. Geht die Ausbreitung in den Lungen vor sich, so entspricht ihr Verlauf ebenso regelmässig dem *Rankeschen* Stadium III mit intrakanalikulärer Metastasierung innerhalb der Lunge und evtl. anschliessender Kehlkopf- und Darmtuberkulose, eine regionäre Neuerkrankung von Drüsen erfolgt dann nicht mehr und eine hämatogene Metastasierung von seiten der Lunge ist im Kindesalter wohl ebenso selten wie im Erwachsenenalter und *Rankeschen* Tertiärstadium, auf die Gründe komme ich noch. Manchmal läuft auch beim Kinde ein Lungenprozess, im Sinne des *Rankeschen* Tertiärstadiums gleichzeitig mit einem Drüsenprozess, der *Ranke*s Sekundärstadium entspricht. *Ranke* selbst spricht dabei von Überschichtungen und Überlagerungen verschiedener Allergien, für deren Zustandekommen man sich vom Standpunkt des Serologen keine Vorstellung bilden kann.

Ranke übertrug seine Lehre der 3 Stadien mit 3 Allergien auch auf die histologische Gewebsreaktion, er spricht geradezu von histologischer Allergie, er charakterisiert die 3 histologischen Allergien als „eine erste, in gewissem Sinne sklerotisierende, vorwiegend proliferative zu Beginn der Erkrankung, die bei langsamem Ablauf längere Zeit bestehen bleibt, eine zweite, exsudative, die sich von der vorhergehenden hauptsächlich durch die neu hinzukommende Serotaxis und Leukozytotaxis, in gewissem Sinne auch Angiotaxis, unterscheidet, und eine dritte, abortive Form der Drüsenenerkrankung, die sehr auffallende Züge einer histologischen Immunität enthält, während die zweite als Ausdruck einer hochentwickelten Giftüberempfindlichkeit gedeutet werden darf“.

Dieser Teil der *Rankeschen* Lehre scheint mir am allerschwierigsten zu stützen. Bei Stadium I hat *Ranke*, wie er selbst zugibt, nie Frühfälle eines Primärkomplexes gesehen, sondern nur Spätfälle, die in Abheilung begriffen waren und sich aus diesem Grunde als sklerotisierende vorwiegend proliferative Prozesse darstellten. Alle früheren Primärkomplexe stellen sich unter dem Bilde des exsudativen pneumonischen Prozesses mit starker Epitheldesquamation, Leukocyten-

auswanderung, Ödem und Fibrinausscheidung dar, auch die perifokale Reaktion ist sowohl am Lungenherd als an den Drüsen sehr ausgesprochen. Die Leukozytotaxis, die *Ranke* nur für das zweite Stadium in Anspruch nimmt, ist im frischen Primärkomplex ebenso ausgesprochen wie im Sekundärstadium, und wie gleich gesagt werden muss, auch im Tertiärstadium. Auch im Tertiärstadium finden wir oft exsudative Prozesse mit starker Leukozytotaxis und Verkäsungen, die sich im akuten Stadium und auch in der Abheilung von den Lungenprozessen im Primärstadium nur durch das Fehlen der Miterkrankung der regionalen Drüsen, von denen des Sekundärstadiums in überhaupt gar nichts unterscheiden lassen. Die stark entzündlichen in Verkäsung übergehenden Prozesse mit zirkumfokaler Reaktion finden sich in allen Stadien, wenn es sich um akute Prozesse handelt, ebenso die produktiven proliferativen mit sklerotisierenden Gewebsreaktionen in allen Stadien, wenn es sich um Stationärwerden oder Abheilung handelt. Histologisch können wir einem tuberkulös erkrankten Gewebe, wenn es nicht gerade die für das Primärstadium charakteristischen Lymphbahn- und Drüsen-erkrankungen aufweist, nicht ansehen, ob es aus dem Primär- Sekundär- oder Tertiärstadium *Rankes* stammt. Auch die von *Puhl* an der Kapsel von Käseherden beschriebenen Veränderungen scheinen mir durchaus keine Beweiskraft für Unterscheidung der Stadienzugehörigkeit zu haben.

Versucht man sich die Formen der Gewebsreaktion und ihre Bedingungen zu erklären, so wird es vor allem wesentlich sein, Zustände zu finden, in denen die einzelnen aufeinander einwirkenden Kräfte in ihren Zeit- und Mengenverhältnissen einigermassen übersehbar sind. Im *Rankeschen* Tertiärstadium können wir bei der Lungentuberkulose des Erwachsenen alle Reaktionsformen finden, vor allem aber können wir uns eine Vorstellung von der Infektionsdosis machen, unter deren Einwirkung die Herde zustande kommen. Wir wissen, dass die sog. produktive Tuberkulose intrakanalikulär in den Bronchioli respiratorii eines Azinus verläuft, also zentroazinär. In den Bronchioli respiratorii und von dort übergreifend auf den Bronchiolus terminalis sind die Lumina verlegt mit käsigen Massen. Die Metastasierung erfolgt durch Abbröckeln dieses Materials, wodurch es in die freie Lichtung des Bronchialbaumes kommt und mit dem Luftstrom verschleppt wird. Erfahrungsgemäss wird solches Material meist gleich in den nächsten Nachbarbronchiolus aspiriert und liefert hier die Infektionsdosis, aus der die Metastase herauswächst. Wenn Infektionsmaterial in den engen Lumina der Bronchioli respiratorii oder terminales abbröckelt,

so kann es sich bei der Kleinheit der Quellgebiete immer nur um wenig Material handeln, wir haben es also bei Tuberkulose dieser Art immer mit einer Form zu tun, die ich Streuungstuberkulose feinen Kornes genannt habe im Gegensatz zu einer Streuungstuberkulose groben Kornes, deren Streuungsmaterial sich aus Kavernen oder Tuberkulosen grösserer Bronchen rekrutiert, und bei denen neben derartigem feinen Streuungsmaterial auch wesentlich gröbere Partikel verschleppt werden. Die Bindungen sind in beiden Fällen gleich, beide Formen können gleichzeitig und nebeneinander auch in der gleichen Lunge beobachtet werden, verschieden ist nur die Infektionsdosis.

Die Lungenherde, die bei Streuungstuberkulose feinen Kornes, also bei geringer Infektionsdosis entstehen, sind regelmässig zentroazinäre Herde, die Herde der groben Streuung sind panazinär. Beide Male beginnt die Erkrankung exsudativ mit reichlicher Ansammlung von Leukozyten, bei der geringen Infektionsdosis lokalisiert sich das Exsudat aber ausschliesslich auf die Bronchioli respiratorii, es bleibt zentroazinär, bei hoher Infektionsdosis erkrankt der ganze Azinus exsudativ im Sinne einer panazinären Pneumonie. Beide Male geht das Exsudat in Verkäsung über, beide Male entsteht um das Exsudat herum eine Zellwucherung; bei der zentroazinären Form wird von der Wand der Bronchioli respiratorii ein Epitheloidzellenwall gebildet, der vielfach in seiner Breite das im Lumen liegende verkäste Exsudat bald übertrifft, so dass wir nun eine vorwiegend produktive Form vor uns haben, bei der panazinären Form sind von vornherein die Septa interacinaria als Kapsel des verkästen Azinus vorhanden, die Septa verstärken sich nur teils durch Quellung, teils durch Zellwucherung und bilden auch hier einen Epitheloidzellenwall, der nur in seiner Breite zu dem grossen Käseherd in keinem Verhältnis steht, so dass hier von einer vorwiegend exsudativen Form der Tuberkulose zu sprechen ist. Der Unterschied zwischen der Erkrankung bei hoher und geringer Infektionsdosis ist im Grunde nur der, dass bei hoher Infektionsdosis die primäre Giftwirkung und die daraus resultierende verkäsende Exsudation einen viel grösseren Radius hat als bei geringer Infektionsdosis. Die vorwiegend exsudative oder vorwiegend produktive Reaktion des Gewebes [aus eine Tuberkelbazilleninfektion steht in direktester Abhängigkeit von der Infektionsdosis, die zur Bildung des Herdes führte. Genau die gleichen Beobachtungen bei Streuungstuberkulosen groben und feinen Kornes, die hier für das *Ranke'sche* Tertiärstadium beschrieben wurden, lassen sich in gleicher Weise bei der Lungentuberkulose des Sekundärstadiums verfolgen, auch hier führt

die Streuung feinen Korns zur zentroazinären vorwiegend exsudativen Form, die Art des Ablaufes der perifokalen Reaktion und der Abheilung bleibt die gleiche.

Eine Ausnahme von dem eben skizzierten Reaktionsschema scheint der Primärkomplex zu machen. Er entspricht in seinem ganzen Aufbau und Verlauf einer panazinären vorwiegend exsudativen Gewebsreaktion, entspricht also immer dem Bilde einer Infektion mit hoher Bazillendosis. Andererseits ist die Aufnahme einer entsprechenden Bazillenmenge durch Aspiration schon beim Erwachsenen, vielmehr aber noch beim Kinde mit seinen engen Luftwegen undenkbar. Die Primärinfektion erfolgt zweifellos, soweit es sich um Lungenprimärherde handelt, immer mit geringen Bazillenmengen. Der Primärherd wird uns in seiner Entstehung erst verständlich, wenn wir die Annahme machen, dass der normergische Körper erst überhaupt nicht auf das Eindringen des Tuberkelbazillus reagiert und dadurch den eingedrungenen Bazillen Zeit gibt, sich zu vermehren und so die Mengen- und Giftwirkung zu entfalten, die zum panazinären Primärherd führt. Dass diese Annahme berechtigt ist, geht aus dem Kochschen Grundversuch hervor, bei dem das normergische Tier viele Tage bis zur ersten Reaktion auf die Infektion braucht, während das vorher sensibilisierte allergische Tier sofortige starke Reaktion zeigt.

Diese Annahme der reaktionslosen primären Bazillenanreicherung im normergischen Körper erklärt uns auch das ganze Bild des Primärkomplexes, der sich ja dadurch von allen tuberkulösen Herderkrankungen späterer Stadien auszeichnet, dass er sofort zur gleichzeitigen exsudat-käsigen Erkrankung der ganzen Lymphbahn und der zugehörigen Lymphknoten führt. Wir müssen nur annehmen, dass diese angereicherten Bazillen nicht nur am Infektionsherd selbst liegen blieben, sondern im Lymphstrom auch in die Lymphknoten wanderten zu einer Zeit, in der der normergische Körper noch nicht auf sie reagierte. Als dann die Reaktion einsetzte, lagen sie schon in grösserer Menge in der Lymphbahn und den Lymphknoten. So wird uns verständlich, dass das ganze Gebiet des Primärkomplexes gleichzeitig von der Giftwirkung grösserer Bazillenmengen betroffen und zur Verkäsung gebracht wurde.

Inzwischen hat die Antikörperbildung eingesetzt, sie ist ganz in der Regel genügend stark, um den ganzen Primärkomplex abzukapseln und ihn im Laufe der Zeit zur Abheilung zu bringen. Obgleich wir annehmen müssen, dass im Primärstadium einzelne Bazillen ins Blut kommen und eine zeitlang darin kreisen, so ist die Menge der Anti-

körper im allgemeinen doch gross genug, um die Entwicklung hämatogener Metastasen durch Ansiedlung einzelner Keime zu verhindern.

Das Sekundärstadium entsteht aus dem Primärstadium entweder dadurch, dass es nie zur wirklichen Abkapselung des Primärkomplexes kam, oder dadurch, dass die abgekapselten Primärherde reaktiviert wurden.

Betrachtet man eine Herdabkapselung vom immunbiologischen Standpunkt, so muss man sich bei der Tuberkulose klar sein, dass ein solcher Käseherd noch sehr lange lebensfähige Tuberkelbazillen enthält, dass diese Tuberkelbazillen Stoffe produzieren, die für den Körper schädlich sind, dass aber auf der anderen Seite der Körper Antikörper gebildet hat. Wir müssen um den Herd herum eine chemische Bindung des aus dem Herd stammenden Antigens und des aus dem Blut stammenden Antikörpers annehmen, die in gewissem Umfang ständig aufs neue abläuft, wir müssen Diffusionsströme zwischen Herd und perifokalem Gewebe annehmen, wir müssen die Annahme machen, dass der in genügender Menge vorhandene, vom retikuloendothelialen System immer aufs neue gebildete Antikörper in der Lage ist, das Bazillenwachstum im Herd zu hemmen, ohne dass dadurch eine völlige Abtötung der Bazillen stattfindet. Wir müssen auch hier quantitative Beziehungen zwischen dem vom Herd gebildeten Antigen und dem vom Körper gelieferten Antikörper annehmen, durch die diese den Herd umgebende Antigen-Antikörperschranke aufrecht erhalten wird. Nehmen wir an, dass aus irgendeinem Grunde die Konzentration des den Herd umspülenden Antikörpers geringer wird, so wird dieses quantitative Gleichgewicht gestört zugunsten der im Herd befindlichen Bazillen, sie können sich vermehren, die Schranke durchbrechen, neue Krankheitsherde verursachen. Die Reaktivierung erfolgt ganz in der Regel an den Stellen der Herde, die für die Diffusionsströme von aussen am schwersten erreichbar sind, d. h. im Zentrum der Herde. Hier sieht man eine Anreicherung von Bazillen meist unter Verflüssigung der Käsemassen.

Als Ursache der Reaktivierung ruhender Tuberkulosen kommen wohl entweder Prozesse in Betracht, die geeignet sind, die vorhandenen Antikörper zu neutralisieren, oder die Bildung neuer Antikörper zu verhindern. Als typisches Beispiel der ersten Art der Störung sei die Injektion von Tuberkulin genannt. Tuberkulin ist Antigen, es bindet den im Blute befindlichen Antikörper und reisst damit die Abwehrschranke um den Herd nieder, die Reaktivierung tuberkulöser Herde durch Tuberkulin ist altbekannt. — Die zweite Möglichkeit der Reakti-

vierung tuberkulöser Herde ist die Verhinderung des Antikörpernachschiebs von seiten des retikuloendothelialen Systems. Sie kann durch Blockierung dieses Systems zustande kommen. Wir kennen die experimentelle Blockierung der Retikuloendothelien durch Tusche, Farbstoffe usw., die zur Folge hat, dass der Körper gegen manche Schädigung wehrlos wird, dass z. B. Impftumoren, die unter normalen Verhältnissen nur zu geringem Prozentsatz angingen, nach Blockierung in 100% der Fälle verimpfbar werden. Wir kennen die Reaktivierung der Tuberkulose durch Masern und Keuchhusten; Infektionskrankheiten, die eine hochwertige Immunität hinterlassen, also wohl das retikuloendotheliale System in besonders hohem Masse in Anspruch nehmen, im Gegensatz etwa zur Pneumonie, die keine wesentliche Immunität hinterlässt, aber auch nicht geeignet ist eine Tuberkulose zu aktivieren. Wir müssen annehmen, dass bei der Masernbildung die geringen von dem Tuberkuloseantigen auf das Retikuloendothel einwirkenden Reize überdeckt werden von der starken Inanspruchnahme des Systems durch die Masern. So erklärt sich ein Ausbleiben des Tuberkuloseantikörpers am Herd, das gleichbedeutend ist mit einer Durchbrechung der Schranke. Bei dieser Durchbrechung der Antigen-Antikörperschranke um den Herd spricht auch wieder das quantitative Moment eine bedeutende Rolle. Wir sahen schon, dass die absolute Menge des Antikörpers niemals sehr gross ist, dass dementsprechend Immunitätsdurchbrechungen leicht zustande kommen. Wesentlicher aber für den Charakter des Rezidivs ist, wie der Herd beschaffen war, an dem die Reaktivierung erfolgte. War es ein kleiner Herd, der nur wenige Bazillen enthielt, so ist bei dem relativ langsamen Wachstum des Tuberkelbazillus immerhin die Möglichkeit noch vorhanden, dass der allergische Körper bald wieder die nötige Antikörpermenge produziert und dadurch den Herd nach geringer Ausbreitung wieder blockiert. Handelt es sich um grössere Käseherde, in den noch reichliche Bazillennengen inaktiv lagerten, so kann jetzt jeder der Bazillen sich vermehren, Gift bilden und damit eine neue breite Verkäsungszone um den alten Herd legen. Vergleicht man den Herd mit einem Gefängnis, so ist es in unserem Falle nicht so wesentlich, wie die Antikörpermauer darum herum beschaffen ist, von ihr sehen wir, dass sie immer wenig widerstandsfähig ist, sondern wie gross das Gefängnis ist, wieviel Insassen zur Zeit des Durchbruchs es beherbergte, die nun ausbrechen und ihre unheilvolle Tätigkeit wieder aufnehmen können. Diese Überlegungen erklären uns die Tuberkuloseüberempfindlichkeit des Sekundärstadiums, für das ja die grossen bazillenreichen verkästen Drüsenherde charakteristisch sind.

Das zweite für das Sekundärstadium *Rankes* durchaus charakteristische Moment ist die Neigung der reaktivierten Herde, hämatogen zu metastasieren. Diese Metastasierung kann entweder in Form von Einzelmetastasen oder in Form gleichzeitig auftretender multipler Herde, oder schliesslich in Form jener Massenherde auftreten, die wir als Miliartuberkulose bezeichnen. Prinzipiell scheint mir zwischen diesen Erscheinungsformen nur ein quantitativer Unterschied zu bestehen.

Die Vorstellung von Wesen und Entstehung der Miliartuberkulose haben im Laufe der Zeit starke Wandlungen erfahren. *Buhl* nahm als Ursache der Miliartuberkulose grosse Einbrüche verkäsender Tuberkulose in das Gefässsystem an. *Weigert* beobachtete bei den Miliartuberkulosen das sehr häufige Auftreten von Venenwandtuberkeln, die er als das Quellgebiet der miliaren Aussaat ansah. Seine Auffassung wurde von vielen Seiten angezweifelt unter Hinweis darauf, dass diese Venenwandtuberkel und die ihnen aufliegenden Thrombosen in den allermeisten Fällen keine ulzerierte Oberfläche haben. *Liebermeister* und *Huebschmann* greifen auf die von *Liebermeister* festgestellte Tatsache zurück, dass bei den meisten Tuberkulosen Bazillen im Blut kreisen und im Gewebe lagern, ohne Gewebsreaktionen zu erzeugen. Sie nahmen an, dass diese Bazillen durch den allergischen Zustand des Körpers verhindert werden, sich zu entwickeln, dass aber bei einer Änderung der Überempfindlichkeitsverhältnisse all diese Bazillen gleichzeitig zur Entwicklung und Vermehrung kommen und dadurch nur als lokale Herdreaktion die submiliaren Tuberkel aufschliessen lassen. Gegen diese Anschauung spricht die Tatsache, dass wir bei den schweren Fällen von Lungentuberkulose aller Stadien gegen Ende immer ein völliges Versagen der Abwehrreaktionen beobachten können. Starker Antigenüberschuss im Blut, ohne dass es dabei zu einer Miliartuberkulose käme, was unbedingt zu erwarten wäre, wenn die *Huebschmannsche* Theorie richtig wäre.

Weigertsche Venentuberkel habe ich teils mit blossem Auge, teils mikroskopisch bei den meisten Fällen von Miliartuberkulose gefunden, teils als reine Wandtuberkel, teils bedeckt von Thromben, niemals sah ich Ulzerationen ihrer Oberfläche und die Zahl der in ihnen darstellbaren Bazillen war so gering, dass ich diese Venentuberkel nicht als Ursache, sondern nur als Folge und Teilerscheinung der Miliartuberkulose ansehen kann. Dagegen sah ich im Laufe der Zeit 3 Fälle, in denen wohl mit Sicherheit innerhalb der Gefässbahn gebildete Thromben das Quellgebiet für eine Miliartuberkulose bildeten. In dem ersten Falle handelte es sich um einen Mann im Anfang der 30er Jahre,

bei dem die ganze linke Lunge im Laufe relativ kurzer Zeit durch käsige pneumonische Prozesse zerstört worden war. Der Prozess war dann zum Stillstand gekommen und die linke Lunge auf ein ganz kleines derbes Narbengebilde zusammengeschrumpft, in dem sich hier und da einige produktive Tuberkel fanden. Die zuführende linke Arteria pulmonalis war in ihrem Stamme fast vollständig thrombosiert, nur ein geringer Randstrom führte wenig Blut am Thrombus vorbei. Der Mann war nach Jahren anscheinender Gesundheit plötzlich an Miliartuberkulose erkrankt und schnell gestorben. Die miliare Aussaat war bei der Obduktion ausserordentlich dicht. Der Thrombus der Pulmonalarterien zeigte an seinem vorderen Ende ein Loch, das in sein ausgehöhltes Inneres führte. Aus diesem Loch liess sich ein sehr feinkörniger graurötlicher Brei ausdrücken, der im Ausstrichpräparat eine Reinkultur von Tuberkelbazillen zeigte. Die Arterienwand zeigte unter dem Thrombus keine Tuberkulose der Gefässwand. Andere tuberkulöse Herde, die Ausgang der Miliartuberkulose hätten sein können, fanden sich nicht. Fall 2 — älterer Mann mit geringer indurativer Oberlappentuberkulose, Miliartuberkulose, Koronarsklerose, Myokardschwelen, Herzinsuffizienz, Thrombose im linken Herzohr mit zentraler Einschmelzung des Thrombus und Perforation in die freie Blutbahn. Keine Tuberkulose des Herzohrs. Im Ausstrich des Thrombus unzählige Tuberkelbazillen in Reinkultur. Fall 3 — ältere Frau, Schenkelvenenthrombose bei Varizen, geringe indurative Lungentuberkulose, bekommt ihre Miliartuberkulose erst nach der Schenkelvenenthrombose. Der Thrombus zentral erweicht, durchgebrochen, im Ausstrich Reinkultur massenhafter Tuberkelbazillen, keine Venenwandtuberkulose, kein sonstiger Ausgangspunkt für die Miliartuberkulose.

Diese 3 Fälle können nicht als *Weigertsche* Gefässwandtuberkel besonderer Grösse gedeutet werden, weil eben kein Gefässwandtuberkel die Grundlage des Prozesses bildete. Vielmehr entstanden die Thrombosen jedesmal durch lokale Kreislaufstörungen. Wir müssen annehmen, dass sich in der zur Bildung des Thrombus verwendeten Blutmenge jedesmal ein frei in der Blutbahn kreisender Tuberkelbazillus befand, der sich im Thrombus weiter entwickelte, schliesslich eine das Substrat verflüssigende grosse Reinkultur von Tuberkelbazillen entstehen liess, die dann in die Blutbahn einbrach. Die Fälle lassen sich vielmehr in Parallele stellen zu den groben Gefässeinbrüchen verkäster Lymphknoten oder des Ductus thoracicus im Sinne der *Bühlschen* Lehre. Sie zeigen, wenn man sie der *Liebermeisterschen* Lehre vom Kreisen der Bazillen im Blut gegenüberstellt, noch etwas anderes wichtiges. Die *Liebermeister-*

schen kreisenden Einzelbazillen machten keine Herdreaktion, die hier eingeschwemmten Bazillenkolonien machten Miliartuberkulose. Der Grund dafür liegt darin, dass hier die Bazillen immer in Grüppchen zu mehreren ausgeschwemmt wurden, es kommt bei der hämatogenen wie bei der ärogenen Streuungstuberkulose auf die Korngrösse, auf die Grösse der Infektionsdosis an. Zur Ansiedlung kommt nur eine Infektionsdosis, die grösser ist als ein Einzelbazillus.

Bei den meisten Fällen von Miliartuberkulose lassen sich grobe Gefässeinbrüche trotz sorgfältiger Präparation nicht nachweisen. Dagegen kann man bei den Miliartuberkulosen eine andere Feststellung fast absolut regelmässig machen, nämlich das Vorhandensein nicht nur verkäster, sondern auch verflüssigter Käseherde, die meist in den Lymphdrüsen, seltener in der Prostata, den Hoden, den Tuben, den Nebennieren, Nieren oder auch Knochen liegen. Im mikroskopischen Bild zeigen die eingeschmolzenen verflüssigten Käsemassen mit grosser Regelmässigkeit reichlich Tuberkelbazillen im Gegensatz zu den übrigen verkästen Drüsenherden, in denen sich meist erst nach langem Suchen spärliche, oft auch gar keine Bazillen färberisch feststellen lassen. Der Gedanke lag nahe, diese verflüssigten Käsemassen als Quellgebiet der miliaren Aussaat zu deuten. Die Überzeugung, dass diese Deutung richtig ist, dass hier Zusammenhänge zwischen Blutbahn und flüssiger Käsemasse bestehen, gab mir folgende Überlegung. Wenn diese Herde Material an die Blutbahn abgaben, so musste umgekehrt auch Blut in die Herde eindringen und sie ausschwemmen. Tatsächlich fand ich mehrfach bei Miliartuberkulosen Drüsen, die neben ihrem Bazillengehalt schon beim Aufschneiden des vorher in toto gehärteten Präparates Blutungen erkennen liessen, in anderen Fällen fand sich erst mikroskopisch eine Durchsetzung der erweichten Käsemasse mit Erythrozyten, in wieder anderen Fällen und zwar in denen, die die miliare Aussaat lang überlebt hatten, fanden sich nur noch Pigmente oder auch nichts mehr, was für eine Blutung hätte herangezogen werden können. Im allgemeinen scheinen mir aber meine Befunde beweisend für die Annahme von relativ kleinen Gefässeinbrüchen in das durch Verflüssigung zur Ausschwemmung vorbereitete Material. Ganz besonders häufig fand sich der Ausgangspunkt der Miliartuberkulose in den intrathorakalen Lymphdrüsen, viel seltener in mesenterialen und extrathorakalen Drüsen. Ich erkläre mir das dadurch, dass ganz abgesehen von der prozentualen Häufigkeit der Erkrankung dieser Drüsengebiete auch die ständigen respiratorischen Druckschwankungen, denen diese intrathorakalen Drüsen ausgesetzt sind, ein Einbrüche erleichterndes mechanisches

Moment bilden. Vielleicht gilt ein ähnliches mechanisches Moment, nämlich die Wirkung der glatten Muskulatur als Erklärung des relativ häufigen Einbrechens verkäster Herde der Prostata und Nebenhoden jugendlicher Männer, das ich bei Miliartuberkulosen fand.

Dagegen finden sich fast nie Miliartuberkulosen, die von verkästen Lungenherden ihren Ausgang nehmen. Der Grund dafür liegt darin, dass bei einem durch Verkäsung eröffneten Lungengefäß die Blutung sofort durch den weichen Käse hindurch den Weg in die Luftwege und von dort nach aussen findet. Zur Ausschwemmung in die Blutbahn gehört eben, dass ein Ausweichen nach anderer Richtung als wieder in die eröffnete Gefäßbahn durch die Festigkeit des umliegenden Gewebes unmöglich gemacht wird. Das gibt uns den Schlüssel zu der Frage, warum Miliartuberkulosen und überhaupt hämatogene Aussaat fast nur im Sekundärstadium auftreten und für dieses Stadium charakteristisch sind. Im Tertiärstadium fehlen die verkäsenden Drüsen-erkrankungen, und die verkäsenden Lungenerkrankungen, die hier häufig sind, bieten nicht die mechanischen Grundbedingungen, die für einen Gefäßseinbruch mit hämatogener Materialverschleppung erforderlich sind.

Ziehen wir für die Entstehung hämatogener Einzelherde oder multipler hämatogener Streuungsherde die prinzipiell gleichen Momente für die Materialverschleppung in Betracht, nur in viel geringerem Ausmasse der Streuung, so sehen wir, dass sich die Vorgänge und Charakteristika des Sekundärstadiums sehr gut deuten lassen, und dass das andersartige Verhalten der Tuberkuloseerkrankung im Sekundärstadium und Tertiärstadium seine Erklärung findet, ohne dass man in diesen Stadien verschiedene Arten der Antigen-Antikörperreaktion annehmen müsste.

Über das Tertiärstadium *Rankes* kann ich mich hier kurz fassen. Es setzt erst ein, nachdem das Primär- und Sekundärstadium abgeheilt ist oder höchstens aus dem Sekundärstadium noch geringe produktive oder sklerotisierende Reste bestehen blieben. Das Tertiärstadium beginnt zeitlich ganz in der Regel in der Pubertätszeit, der überschlanke Thorax der Entwicklungsjahre schafft die Disposition des Spitzengebietes, in dem sich trotz bestehender Allergie eine exogene Superinfektion (evtl. auch gelegentlich ein hämatogene Metastase) festsetzt. Der geringen Infektionsdosis entsprechend, die sowohl bei Annahme von Aspiration neuen Infektionsstoffes als bei Annahme hämatogener Verschleppung nur möglich ist, entsteht ein Tuberkel, der sich im Sinne einer zentroazinären vorwiegend produktiven

Tuberkulose entwickelt und ein erstes Streunungszentrum für Streunungsmetastasen feinen Korn bildet. Entsprechend der jedesmal geringen Infektionsdosis entstehen erst lauter vorwiegend produktive zentroazinäre Herde im Spitzengebiet, die gutartige Spitzentuberkulose. Neben der Streunungsmetastasierung kann der Prozess kontinuierlich den Bronchen folgend in absteigender Richtung sich ausbreiten. Dabei kommt es zur Verkäsung präterminaler Bronchen und erreicht schliesslich auch die ersten knorpelführenden Bronchen. Es verkäst nicht nur die Bronchialwand, sondern bildet sich auch im Lumen der Bronchen eine gerinnende käsige Exsudatmasse (eine Art Bronchialthrombus), die nun ihrerseits erweichen und abbröckeln kann und ein Streunungsmaterial gröberer Korn liefert, das als höhere Infektionsdosis wirkt und bei Verschleppung in die Nachbargebiete käsig pneumonische Erkrankung einzelner Azini auslöst. Diese ersten Streunungsmetastasen groben Korn sind es, die dem Kliniker als die sog. „Frühinfiltrate“ imponieren. Ihr erstes Auftreten ist insofern von Bedeutung, als es anzeigt, dass eine bisher ausschliesslich unter dem Bilde der klinisch gutartigen Streunungstuberkulose feinen Korn verlaufende Erkrankung nun auf dem Umweg über eine Bronchialtuberkulose übergeht in eine Streunungstuberkulose groben Korn, die ihrer Natur nach wesentlich bösartiger ist, weil die zur Metastasierung kommende Infektionseinzeldosis wesentlich grösser ist als bisher und weil jeder der so entstandenen käsig pneumonischen exsudativen Herde unter Umständen zur Einschmelzung kommen kann und sonst seinerseits wieder ein Quellgebiet neuer Streunung groben Korn werden kann. Jede Reaktivierung bringt die Entstehung neuer Streunungszentren mit sich. Charakteristisch ist für das Tertiärstadium die rein intrakanalikuläre Metastasierung, die sprungweise durch Streunung und Aspiration erfolgt. Die Lungenherde sind wie schon ausgeführt kein Substrat für hämatogene Metastasierung, statt dessen sind die Lungenblutungen häufig. Drüsenverkäsungen kommen im Tertiärstadium kaum mehr vor und können dementsprechend auch nicht mehr zum Ausgang hämatogener Aussaat werden.

Vergleicht man die Lungenerkrankung des *Rankeschen* Sekundärstadiums mit der des Tertiärstadiums, so unterscheidet sie sich von dieser nur dadurch, dass sie nicht in der Spitze, sondern am jeweiligen Primärherd beginnt. Im übrigen ist sie mit der des Tertiärstadiums in allem identisch, sowohl darin, dass die regionären Drüsen nicht mehr verkäsen als darin, dass sich der Prozess innerhalb der Lunge streng intrakanalikulär durch feine oder grobe Streunung ausbreitet.

Auch die sekundären Infektionen von Trachea, Kehlkopf und Darm durch verschlepptes und verschlucktes Infektionsmaterial ist im Sekundär- und Tertiärstadium *Rankes* absolut gleich.

Betrachten wir zum Schluss das bisher gebrachte nochmals unter dem Gesichtspunkt, wie es sich mit der *Rankeschen* Lehre vereinigen lässt, so ergibt sich, dass wir *Rankes* Beobachtung und Charakterisierung der Stadien durchaus beipflichten können. Seine Betrachtung der Tuberkuloseerkrankung als Ganzes, seine Betonung, dass die besonderen Reaktionsformen des Sekundär- und Tertiärstadiums abhängig sind von der primären Sensibilisierung, von der Erwerbung einer Allergie sind ungemein wertvoll, dagegen lässt sich seine Unterteilung in verschiedene Allergien, die den verschiedenen Stadien des Geschehens entsprechen, nicht halten. Nicht die Art der Abwehrreaktion des Körpers ist das Entscheidende, sondern die Art der Herde, die zur Reaktivierung kommen. Ihr verschiedener Gehalt an Infektionsstoff einerseits, die mechanischen Verhältnisse des jeweils betroffenen Organs andererseits bilden das Moment, das die verschiedene Reaktion in den verschiedenen Stadien bedingt.

III. Sitzung vom 5. Februar 1931.

Kausalgesetz und gegenwärtige Physik.

Von

H. Ott.

1. Vorbemerkungen. Die Physik war bis in die jüngste Zeit die typische Vertreterin des kausalen Gedankens. Die Frage, wie das Kausalgesetz in dieser Wissenschaft eigentlich zu formulieren ist, sei auf einen späteren Abschnitt zurückgestellt. Zunächst mag folgende Bemerkung genügen: Auf Grund der Kausalität machte sich die Physik anheischig, aus einem gegebenen Zustand der Natur (oder eines abgeschlossenen Teilgebietes) den zukünftigen Zustand für eine beliebige Zeit eindeutig voraus berechnen zu können. In dieser Hinsicht hat der kausale Gedanke sicherlich ganz beachtliche Triumphe gefeiert: Man denke etwa an die Himmelsmechanik, an die ausserordentliche Präzision, mit der die Bahnen der Planeten, Sonnen- und Mondfinsternisse vorausbestimmt werden können. Trotzdem darf nicht verschwiegen werden, dass es schon seit längerem ein Gebiet in der Physik gibt, in welchem die Beschränkung auf den direkten Kausalzusammenhang fruchtlos geblieben wäre: ich meine hiermit die kinetische Theorie der Gase oder die allgemeinere statistische Wärmetheorie. Nicht eine einzige Aussage dieser Theorie erhält man ohne Hinzuziehung von Wahrscheinlichkeitsannahmen, welche über die Verteilung der Moleküle im Gase und über deren Geschwindigkeiten gemacht werden müssen. Dieser Umstand hat jedoch die Physiker in früheren Zeiten nie besonders beunruhigt. Man sah in diesen Wahrscheinlichkeitsannahmen nur einen Lückenbüßer für menschliche Unzulänglichkeit. Man dachte sich etwa so: „Wir Menschen mit unserer blöden Erkenntnis der Mikrowelt können den augenblicklichen Zustand eines Gases, das will besagen: den augenblicklichen Ort und die augenblickliche Geschwindigkeit jedes der einzelnen Gasmoleküle wohl nie festlegen; trotzdem zweifeln wir nicht daran, dass ein höheres Vernunftwesen diese Aufgabe durchaus bewältigen könnte. Für dieses höhere Wesen wäre das Wechselspiel der Moleküle streng kausal“ (oder ich will lieber „determiniert“ anstelle des philosophisch

etwas belasteten Ausdrucks „kausal“ gebrauchen). Die Verwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Physik war also bislang durchaus keine Preisgabe der deterministischen Naturanschauung.

Diese Grundeinstellung zum Determinismus ist in den letzten Jahren schwer erschüttert worden. Es wird ihnen ja bekannt sein, dass eine Reihe namhafter Physiker unter dem Eindruck gleich zu besprechender Erscheinungen das Kausalgesetz zum empirischen Gesetz stempeln, welches der Erfahrung widerspreche und daher endgültig aufzugeben sei, wie es eben das Schicksal jedes empirischen Gesetzes ist, wenn es sich nicht mehr mit der Erfahrung verträgt. Das innere Widerstreben, das wir bei dieser Forderung empfinden, wird mit dem Einwand alteingewurzelter Vorurteile abgetan. Selbstverständlich soll nicht behauptet werden, dass nun das Chaos anstelle des Kausalgesetzes tritt; allein die strengen deterministischen Gesetze sollen abgelöst werden durch Wahrscheinlichkeitsaussagen, welche dem Naturgeschehen einen gewissen Spielraum gestatten. Eine Zurückführung dieser Wahrscheinlichkeitssätze auf determinierte Gesetze soll prinzipiell unmöglich sein.

Der innerhalb der Physik entbrannte Streit um das Kausalgesetz ist sehr unzweckmässigerweise in die Öffentlichkeit gedrungen und hat dort Verwirrung, zum mindesten Beunruhigung hervorgerufen. Eine schiefe Auffassung des Begriffs „Wahrscheinlichkeit“, den der Laie gar zu leicht mit völliger Willkür verwechselt, hat die Verwirrung noch gesteigert.

Sie werden nun fragen: „Stehen heute alle Physiker auf dem Boden des Indeterminismus?“ Dies kann man bestimmt nicht sagen; aber die zahlenmässige Verteilung der Physiker auf beide Lager ist schwer anzugeben. Viele haben sich nicht zum Indeterminismus bekennen können, nehmen aber eine abwartende Haltung ein um nicht als rückständig gebrandmarkt zu werden. Zwar sind verschiedene Arbeiten zur Verteidigung des Determinismus erschienen, deren Argumente aber — von einigen Ausnahmen abgesehen — der nötigen Durchschlagskraft entbehren. Von einigen anderen Arbeiten, welche nur eingewurzelte Vorurteile breittreten, will ich gar nicht reden. In der Tat ist es nicht leicht, die schwerwiegenden Einwände gegen das Kausalgesetz zu entkräften. Eine Berufung auf die Erfahrung kann dies auch gar nicht leisten. Wohl aber sollten wir einmal, und damit möchte ich einen wesentlichen Gesichtspunkt dieses Vortrags vorwegnehmen, die Rolle des Kausalgesetzes im Rahmen einer sauberen physikalischen Begriffsbildung näher untersuchen. Mir scheint

es, dass man dann doch etwas bedenklicher werden muss und nicht mehr geneigt ist, die Abschaffung des Kausalgesetzes so leicht hin zu proklamieren; jedenfalls nicht, solange noch sehr wesentliche Gesichtspunkte in dieser Gedankenkette zu klären sind.

2. Energiequanten, Messung und physikalische Begriffe. Zunächst müssen wir uns jedoch mit der Tatsache befassen, auf die sich der moderne physikalische Indeterminismus aufbaut. Seit Ende des vorigen Jahrhunderts war ein ungeahnter Vorstoss in die Welt der atomaren und subatomaren Dimensionen gelungen. Es zeigte sich immer klarer, dass auf die Bewegung der ausserordentlich kleinen Urteilchen der Materie, jener elektrisch-negativen Elektronen und positiven Protonen, die bisherigen Gesetze der Mechanik und Elektrodynamik, ja nicht einmal unsere an der makroskopischen Welt geformten Begriffe Anwendung finden können. Ein besonders auffallender gemeinsamer Zug der Mikrowelt ist die Existenz diskreter Energieelemente, d. h.: die Energie wird bei atomaren Prozessen meist in Form diskreter, nicht unterteilbarer Dosen umgesetzt. Schon die Existenz dieser Energieelemente („Quanten“ genannt) war ein eklatanter Widerspruch gegen die alte Physik; ihre je nach den Umständen sehr verschiedene Grösse gar berechnen zu wollen, wäre auf dem alten Boden ein unsinniges Unterfangen. Die Physik, welche diese Energieelemente in den Mittelpunkt ihrer Betrachtung gestellt hat, nennt sich Quantenphysik, im Gegensatz zur älteren, der „klassischen“ Physik. Seit 1925 erschienen in kurzer Folge die Theorien von *de Broglie*, *Schrödinger*, *Heisenberg* und *Dirac*, welche die Quanten aus einem einheitlichen Gesichtspunkt heraus zu berechnen gestatten. Gewiss ein grosser Erfolg. Für den Aussenstehenden gleicht dieser Sieg aber mehr einem Pyrrhussieg; denn es mussten viele sog. „anschauliche“ Begriffe geopfert werden. Wieder einmal war die Physik gezwungen, eine Revision ihrer erkenntnistheoretischen Grundlagen, eine kritische Betrachtung ihrer Begriffe vorzunehmen. Ich darf daran erinnern, dass schon zwei Jahrzehnte zuvor die Relativitätstheorie ein ähnliches Problem aufgeworfen hatte. Schon damals hatte sich gezeigt, welche kautschukartigen Begriffe in den Unterbau der Physik eingeschleppt worden waren. Damals wurden die Begriffe der Zeit und der Strecke revidiert und auf die Messung fundiert: Die physikalische Zeit ist nicht die Zeit, welche irgend eine undefinierte metaphysische Weltuhr angibt, sondern die an einer materiellen Uhr, an einem materiellen periodischen Vorgang abzulesende Zeit. Ebenso existiert nicht eine Länge an sich, sondern sie ist erst wider-

spruchslos definiert, wenn das Messverfahren angegeben wird, mit Hilfe dessen sie zu messen ist. Bei Berücksichtigung dieses Gesichtspunktes verschwinden alle Paradoxa der Relativitätstheorie, wie z. B. jenes, dass die Entfernung zweier Punkte vom Bewegungszustand des Beobachters abhängt. Denn eine ruhende Strecke lässt sich mit Maßstab allein ausmessen, eine relativ zum Beobachter bewegte Strecke aber nur mit Maßstab und Uhr. Beide Längendefinitionen sind also gar nicht identisch. So hat uns die Relativitätstheorie gelehrt, dass die Messung die Grundlage aller sauberen physikalischen Begriffsbildung ist.

Die auf Grund der Quantentheorie vorzunehmende Revision betrifft nun gerade das Wesen der Messung selbst. Wohl wusste auch die alte Physik, dass jede Messung schliesslich eine energetische Wechselwirkung zwischen Messobjekt und Messinstrument ist¹⁾. Aber die klassische Physik glaubte, dass diese Wechselwirkung beliebig klein gemacht werden könne. Sie hat diese Ansicht in dem Schlagwort vom unendlich kleinen Probekörper präzisiert, der dem zu messenden Objekt beliebig wenig Energie entzieht. Die Existenz unteilbarer Energiequanten hat aber diesen unendlich kleinen Probekörper als unhaltbare Fiktion dargetan. Die Wechselwirkung zwischen Objekt und Messinstrument lässt sich gar nicht unter jeden Betrag absenken; die kleinste Wechselwirkung ist das kleinste Energiequant oder es gibt überhaupt keine Wechselwirkung und damit keine Messung. Jede Messung bedeutet daher nach der neuen Auffassung einen Eingriff von endlicher Grösse in das zu beobachtende Objekt. Aber nicht die Tatsache dieses Eingriffs allein ist es, was jede Messung problematisch macht; wichtig ist noch der Umstand, der in vielen Darstellungen nicht genügend betont wird: dass nämlich die Einwirkung auf das Objekt nicht mit Sicherheit bestimmt werden kann, sondern dass man ihrer Grösse nur durch einen Wahrscheinlichkeitsansatz Rechnung tragen kann. Wenn auch die Energiequanten von einer ausserordentlichen Kleinheit sind, gegenüber so kleinen Gebilden wie den Elektronen, Protonen und Atomen spielt die Beeinflussung durch die Messung eine Rolle. Dies hat zur Folge, dass, obwohl wir zwar den augenblicklichen Zustand des atomistischen Geschehens messen können, wir aber gerade durch die Messung eine Unsicherheit ins Objekt tragen, die nur durch eine Wahrscheinlichkeitsangabe umrissen ist und die daher einen bindenden Schluss auf die Zukunft vereitelt.

¹⁾ Von dieser Behauptung sind auch die sog. Nullmethoden nicht ausgenommen, was zu zeigen hier aber zu weit führen würde.

Diesen prinzipiellen Eingriff der Messung will ich nun an einigen physikalischen Beispielen illustrieren. Ich muss dabei kurz auf die seit etlichen Jahren bestehende Theorie des Lichts und der Materie eingehen. Diese Theorie hat einen versöhnenden Gesichtspunkt: Sie hat die Unterschiede zwischen Licht und Materie weitgehend verwischt und kommt damit unserem Bedürfnis nach Einheit entgegen. Aber diese Einheit ist durch ein schweres Opfer erkaufte, insofern die Theorie in einem Dualismus auseinanderklafft.

3. Die gegenwärtige Lichttheorie. Die elektromagnetische Wellentheorie des Lichts ist Ihnen ja bekannt. Sie ist eine notwendige Folge der *Maxwellschen* Theorie der Elektrizität und gibt Interferenz-, Polarisations- und Beugungserscheinungen bis in die äussersten Feinheiten wieder. Wir haben auch heute noch keinen Grund diese bewährte Theorie aufzugeben, aber eine Einschränkung muss sie sich gefallen lassen. Dem vorigen Jahrhundert war nämlich die zur Wellennatur duale Seite des Lichts völlig entgangen; seit einigen Jahrzehnten aber wissen wir, dass im Licht auch unzweifelhaft korpuskulare Stösse auftreten.

Beispiel: Licht von der Frequenz ν falle auf eine Metallplatte. Es löst dann bekanntlich Elektronen aus der Platte aus, die sog. Photoelektronen. Der Effekt ist besonders gut zu studieren bei sehr kurzwelligem Licht, wie wir es in den Röntgen- und Gammastrahlen vor uns haben. Die Fortschritte der experimentellen Beobachtung machen es heute möglich, die Spur eines einzelnen Elektrons zu beobachten. Es zeigt sich nun folgendes: Die Elektronen verlassen die Platte mit einer kinetischen Energie $\frac{m}{2} v^2$, die von der Lichtintensität völlig unabhängig ist, jedoch von der Farbe des Lichts abhängt. *Einstein* hat auf Grund von Messungen *Lenards* entdeckt, dass die kinetische Energie der Photoelektronen mit der Frequenz des Lichts in folgendem Zusammenhang steht: $\frac{m}{2} v^2 = h\nu$ (h ist die sog. *Plancksche* Wirkungskonstante.)

Wir haben hier einen typisch quantenhaften Energieaustausch vor uns. Die Elektronen entnehmen sich aus der Lichtwelle nicht mehr und nicht weniger Energie als gerade ein Quant $h\nu$. Bemerkenswert ist dabei noch eine andere, auf dem Boden der Wellentheorie gar nicht erklärbare Erscheinung: Nach der Wellentheorie ist die Energie kontinuierlich im Lichtstrahl verteilt. Das vom Licht getroffene Elektron benötigt also eine gewisse Zeit um die Energie $h\nu$

anzusammeln. Man kann die Lichtintensität so schwach machen, dass diese Akkumulationszeiten nach der Theorie Tage betragen. Das Experiment zeigt aber, dass unmittelbar mit dem Einsetzen der Belichtung die Elektronenemission beginnt.

Zur Erklärung dieses Sachverhaltes hat *Einstein* schon im Jahre 1905 eine korpuskulare Lichttheorie aufgestellt, die wir so formulieren wollen: Licht benimmt sich beim Energieaustausch mit der Materie so, als bestünde es aus Partikeln von der Energie $h\nu$, dem Impuls $\frac{h\nu}{c}$, und der Masse $\frac{h\nu}{c^2}$ (c ist die Lichtgeschwindigkeit $3 \cdot 10^{10}$ cm/sek). Man nennt diese Lichtpartikeln heute Photonen. Die Anzahl der

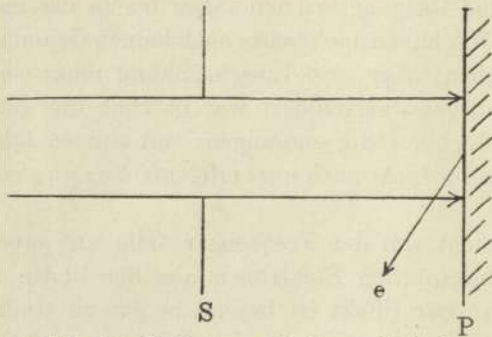


Abb. 1 a. P Platte, e Elektron, S Spalt.

Photonen in einem Lichtstrahl wird proportional zu dessen Intensität gesetzt. Die *Einsteinsche* Vorstellung bewährte sich 18 Jahre später überraschend an dem im Jahre 1923 entdeckten Comptoneffekt. *Comptons* Entdeckung bestand darin, dass Röntgenstrahlen ihre Frequenz in ganz bestimmter Weise ändern, wenn sie an freien Elektronen gestreut werden. Diese Frequenzänderung erhält man theoretisch, wenn man die Photonen wie elastische Bälle auf die Elektronen stossen lässt nach den Regeln der Mechanik. Die Elektronen erhalten dadurch kinetische Energie auf Kosten der Photonenenergie $h\nu$. Die Energie ($h\nu'$) der gestreuten Photonen wird daher kleiner, als ihre ursprüngliche Energie; dies gibt gerade die beobachtete Frequenzänderung.

Sie werden nun vielleicht sagen: Es ist gar nicht einzusehen, wie die Existenz des Photons mit dem Kausalgesetz in Widerspruch stehen soll. Warum soll man anstelle der Wellentheorie nicht einfach Photonen annehmen, wenn diese das Experiment besser erklären. Dies ist leichter gesagt als getan. Gut, nehmen wir nur Photonen

und sagen wir, ein Elektron wird beim Photoeffekt dort herausgeschlagen, wo ein Photon des Lichtstrahls einschlägt. Diese Behauptung hat natürlich nur einen brauchbaren Sinn, wenn die Anwesenheit eines Photons in irgendeinem Zeitpunkt vor der Platte mit dem herausgeschlagenen Elektron in Verbindung gebracht werden kann. Es liegt daher folgender Versuch nahe: Man decke die Platte durch einen Spalt ab, so dass sie nur noch in der Ausdehnung der Spaltbreite beleuchtet werden kann (Abb. 1 a). Die Elektronen können wohl noch innerhalb dieses Gebiets wahllos heraus fliegen; aber indem

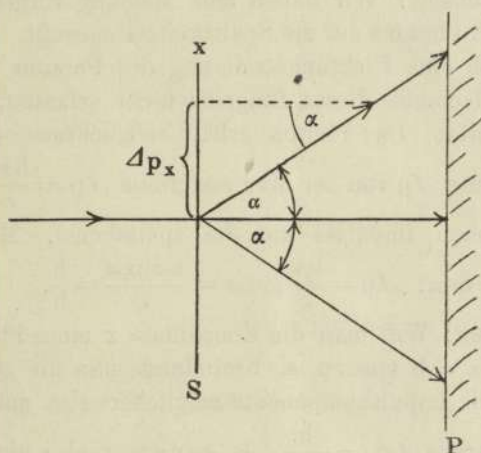


Abb. 1 b.

man an die Spaltbreite enger und immer enger macht, bekommt man schliesslich eine beliebig schmale Stelle, an welcher die Elektronen heraustreten müssen, wenn jeweils ein Photon den Spalt passiert hat. Die wirkliche Ausführung des Experiments zeigt aber ein ganz anderes Bild: Mit zunehmender Verengung des Spalts wird das Elektronen aussendende Gebiet der Platte breiter und breiter und überzieht allmählich die ganze Platte. Der Grund hierfür ist leicht einzusehen: nimmt man die Wellentheorie zu Hilfe, dann setzt eben mit abnehmender Spaltbreite Beugung ein, der Lichtstrahl verbreitert sich nach seinem Durchgang durch den Spalt zu einem Fächer (Abb. 1 b). Der halbe Öffnungswinkel des Fächers ergibt sich nach der Wellentheorie zu $\sin \alpha = \frac{\lambda}{b}$, wo b die Spaltbreite und λ die

Wellenlänge des Lichts ist. In die Sprache der Photonentheorie übersetzt, bedeutet dies aber: Das den Spalt passierende Elektronen-

bündel wird auseinandergezogen; das einzelne Photon kann eine Ablenkung erfahren, deren Maximalbetrag nach oben oder unten durch den Winkel α gegeben ist. Welche Ablenkung ein bestimmtes Photon beim Durchtritt durch den Spalt erfährt, kann nicht im voraus angegeben werden; nur für eine sehr grosse Zahl von Photonen lässt sich behaupten, dass sie sich innerhalb des Fächers so verteilen, wie es die wellentheoretisch berechenbare Intensität vorschreibt. Diese Unbestimmtheit in der Richtung des einzelnen Photons illustriert nun gerade den unter (2) erwähnten Messeingriff. Was haben wir mit dem Photon gemacht? Wir haben eine Messung vorgenommen, nämlich den Ort des Photons auf die Spaltbreite eingeengt. Diese Messung kann sich durch eine Richtungsänderung des Photons rächen. Wenn wir auch die Mechanik dieses Eingriffs nicht erfassen, so sehen wir doch sein Resultat: Das Photon erhält möglicherweise eine Zusatzimpulskomponente Δp von der Maximalgrösse $\Delta p = \frac{h\nu}{c} \sin \alpha$ (= Projektion des neuen Impulses auf die Spaltebene). Mit den obigen Grössen ergibt dies: $\Delta p = \frac{h\nu}{c} \sin \alpha = \frac{h \sin \alpha}{\lambda} = \frac{h}{b}$.

Oder mit Worten: Will man die Koordinate x eines Photons mit der Genauigkeit $\Delta x = b$ messen, so beeinflusst man die zu dieser Koordinate gehörende Impulskomponente möglicherweise mit einem Fehler vom Maximalbetrage $\Delta p_x = \frac{h}{\Delta x}$. Je genauer also eine Ortsmessung vorgenommen werden soll, desto unsicherer ist hernach der Wert des Impulses bekannt. Damit ist aber jeder Partikelmechanik der Photonen der Boden entzogen; denn in einer solchen muss man Ort und Impuls der Partikel beliebig genau kennen (siehe Abschnitt 4).

Man sieht also, dass beide Lichttheorien nicht entbehrt werden können, jedoch müssen sie gegenseitig abgegrenzt werden:

a) die Wellentheorie für die Lichtausbreitung ohne Energieabgabe an die Materie,

b) die Photonentheorie für die Wechselwirkung Licht-Materie mit Energieabgabe.

Das Bindeglied zwischen beiden Theorien wird durch den Satz hergestellt: Die an jeder Stelle des Raumes im Sinne der Wellentheorie berechenbare Intensität ist ein Mass für die Dichte des Photonensregens, d. h. sie ist proportional der mittleren Zahl der passierenden Photonen, oder auch: sie ist proportional der Wahrscheinlichkeit, dass ein Photon diese Stelle passiert.

4. Die neue Korpuskularmechanik. Für die Bewegung der Materie hatte man bis vor wenigen Jahren die von *Newton* begründete Mechanik als gültig angesehen. Diese Theorie schien so gesichert, dass sie die Mathematiker gerne unter ihre Fächer zählten. Für einen Massenpunkt, d. i. jene Abstraktion einer Masse von äusserst geringer Ausdehnung, nimmt die Mechanik die einfache Form an: Kraft = Masse · Beschleunigung. Die Bahn einer Partikel unter dem Einfluss von Kräften kann nach der Mechanik leicht berechnet werden, wenn für die Partikel Ort und Geschwindigkeit zu irgendeiner Zeit bekannt sind. Die Atomistik hatte nun in den Atomen, Protonen und Elektronen Gebilde aufgezeigt, welcher jener Fiktion des Massenpunkts in einer Weise nahekommen, wie es selbst *Newton* sich nicht hätte träumen lassen. Und gerade bei diesen Partikeln zeigte es sich, dass die *Newtonsche* Mechanik nur eine Näherungsformel ist, deren Extrapolation auf so ausserordentlich kleine Massen jeder Berechtigung entbehrt.

Wir wollen ein Experiment beschreiben, bei welchem man das Versagen der Partikelmechanik sozusagen mit dem blossen Auge sieht. Wir erinnern an die bekannte Anordnung, mit welcher *Laue* im Jahre 1912 die Wellennatur der Röntgenstrahlen nachgewiesen hat: er liess einen ausgeblendeten Röntgenstrahl auf einen Kristall fallen und erhielt durch Interferenz scharfe Sekundärstrahlen nach ganz bestimmten Richtungen. Damit war zweierlei dargetan:

1. die damals noch bezweifelte Theorie bestätigt, dass die Atome in einem Kristall streng gesetzmässig angeordnet sind, ein sogenanntes Raumgitter bilden,
2. die Wellennatur der Röntgenstrahlen gezeigt.

Wir wollen das *Lauesche* Experiment mit einem Kathodenstrahl anstelle des Röntgenstrahls wiederholen, also mit einem typischen Korpuskularstrahl, bestehend aus schnell dahinfliegenden Elektronen. Was wäre nach der Mechanik zu erwarten? Offenbar etwas ähnliches, als wenn man mit einem Sandstrahlgebläse durch ein Sieb bläst: eine diffuse Strahlverbreiterung. In Wirklichkeit findet man aber regelmässige Interferenzstrahlen in völliger Analogie zu den *Laueschen* Röntgeninterferenzen (*Davisson* und *Germer* 1927). Diese Erscheinung ist durch korpuskulare Interpretation gar nicht zu erklären; sie zeigt zur Genüge, dass bei der Materie die duale Seite, die Wellennatur übersehen worden war. Man kann aus dem Experiment eine Wellenlänge berechnen zu $\lambda = \frac{h}{m v}$, wobei v die Geschwindigkeit der Elektronen bedeutet. Wie ist diese Wellenlänge zu deuten?

Es ist bemerkenswert, dass dieses Experiment nicht erst zum Ausgangspunkt einer neuen Theorie wurde, sondern dass es umgekehrt erst aufgefunden wurde auf Grund einer von *Schrödinger* im Jahre 1926 gegebenen Theorie, die ohne mathematische Hilfsmittel allerdings schwer zu formulieren ist. Wenn ich dies trotzdem versuchen will, so muss ich mich etwa folgendermassen ausdrücken:

Um die Bewegung eines Elektronenschwarms zu berechnen, muss man die Ausbreitung einer hypothetischen Welle mit der Frequenz

$\nu = \frac{E}{h}$ betrachten ($E =$ Energie eines Elektrons im Schwarm) und

daraus nach den Grundsätzen der Wellentheorie die Intensität dieser Welle berechnen. Diese Intensität gibt an jeder Stelle des Raumes die mittlere Zahl der Elektronen an, die dort anzutreffen sind; man kann ebensogut sagen: diese Intensität gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der an der in Rede stehenden Stelle des Raumes ein Elektron anzutreffen ist. Die völlige Parallele zum Photon ist daraus wohl evident.

Wegen ihrer begrifflichen Schwierigkeiten hätte sich diese Theorie, die nach ihrem mathematischen Formalismus Wellenmechanik genannt wird, wohl nicht so schnell durchgesetzt, wenn sie nicht ein anderes überraschendes Resultat zwanglos mitlieferte: nämlich die so lange gesuchte Berechnung der Energieelemente. Darauf kann ich aber in diesem Vortrag nicht eingehen.

Die Tatsache, dass ein Kathodenstrahl wie ein Lichtstrahl gebeugt wird, hat nun für das Elektron eine merkwürdige Konsequenz: Wie im Abschnitt (3) für das Photon, so folgt jetzt für das Elektron: Jede Beobachtung, welche eine Bestimmung des augenblicklichen Elektronenorts bezweckt, macht einen unberechenbaren Eingriff in den Elektronenimpuls, der von der Grösse $\Delta p = \frac{h}{\Delta x}$ sein kann. Dies

ist die berühmte, zuerst von *Heisenberg* aufgestellte Ungenauigkeitsrelation. Während wir beim Photon lediglich das Endresultat des Eingriffs zur Kenntnis nehmen mussten, sind wir beim Elektron in der Lage, die Mechanik des Eingriffs etwas näher einzusehen. Man kann sich mit *Heisenberg* überlegen, wie wohl im Prinzip eine genaue Ortsmessung eines Elektrons durchzuführen sei. Zur Lösung dieser Aufgabe benutzen wir als feinstes Hilfsmittel derzeit das Licht, sei es in der Anordnung des Mikroskops, sei es in der Anordnung irgendeines anderen Interferenzapparats. Um aber mit Hilfe des Lichts zwei Punkte unterscheiden zu können, darf bekanntlich ihr gegenseitiger Abstand nicht kleiner sein, als die verwendete Lichtwellen-

länge. Will man den Ort eines Elektrons also sehr genau messen, so muss man möglichst kurzwelliges Licht benutzen. Das Elektron wird aber erst sichtbar, indem es das Licht zerstreut. Im Sinne der Photonentheorie passiert aber dann ein Comptoneffekt (siehe Abschnitt 2): das Elektron erhält einen Stoss durch das aufprallende Photon, der um so heftiger ausfällt, je kurzwelliger, d. h. je hochfrequenter das verwendete Licht ist. Die genaue Durchrechnung liefert wieder die *Heisenbergsche* Ungenauigkeitsrelation $\Delta p_x = \frac{h}{\Delta x}$.

Wir sehen jetzt auch, warum die klassische Mechanik für diese kleinen Partikeln nicht brauchbar ist. Die Mechanik setzt die gleichzeitige Kenntnis von Ort und Impuls voraus, eine Prämisse, die nicht zu realisieren ist.

Warum bewährt sich die klassische Mechanik aber anscheinend bei makroskopischen Körpern oder in der Himmelmechanik? Es lässt sich beweisen, dass der Schwerpunkt eines Elektronenschwarms von N Elektronen mit immer steigender Annäherung eine *Newtonsche* Bahn beschreibt, je grösser die Partikelzahl N ist. Für kleine, im Mikroskop noch kaum sichtbare Körper ist diese Zahl schon ausserordentlich gross. Auf $\frac{1}{100}$ mg Masse treffen schon $\sim 10^{19}$ Protonen + Elektronen. Daher kommt die klassische Mechanik schon als relativ gute Annäherung für alle sichtbaren Körperchen heraus.

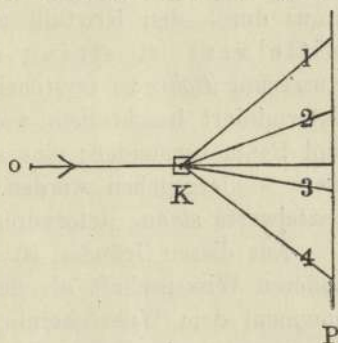


Abb. 2.

Die Gesamtwirkung einer sehr grossen Zahl von Partikeln strebt also einem determinierten Gesetz zu; dies gilt nicht nur für die Bewegungsform der Urpartikeln, sondern auch für jede andere Äusserung des atomistischen Geschehens. Dieser Determinismus im Grenzfall sehr grosser Partikelzahlen ist nichts anderes, als was für gewöhnlich mit „Gesetz der grossen Zahlen“ bezeichnet wird.

Zur Erläuterung wenden wir uns noch einmal zu den Kathodenstrahlinterferenzen zurück (Abb. 2). O sei der auf den Kristall K einfallende Kathodenstrahl, 1, 2, 3 usw. seien die vom Kristall ausgehenden Interferenzstrahlen. Um deren Intensitäten zu berechnen, muss man nach der Theorie den Kathodenstrahl durch einen Wellenstrahl ersetzen und die Prinzipien der Optik anwenden. Dadurch erhält man genau definierte Intensitätsverhältnisse $I_1 : I_2 : I_3 : \dots$ für die

Interferenzstrahlen 1, 2, 3... Diese Berechnung gibt jedoch nicht das, was die hinter dem Kristall stehende photographische Platte registrieren würde, wenn man nur ein oder einige wenige Elektronen durch den Kristall hindurchschickt. In diesem Falle erhielte man nur einige Schwärzungspunkte, da das Elektron ein unteilbares Gebilde ist. Je mehr Elektronen man aber hindurchschickt, sei es gleichzeitig miteinander oder zeitlich hintereinander, desto besser gruppieren sich die einzelnen Schwärzungspunkte zu Linien, die dem Intensitätsverhältnis $I_1 : I_2 : I_3$ entsprechen. Der Grenzwert, dem sich die beobachtete Plattenschwärzung für unendlich viele Wiederholungen des Elementarakts (d. i. die Ablenkung eines einzelnen Elektrons durch den Kristall) nähert, dieser sog. Zeit- oder Scharmittelwert ist streng definiert. In diesem Sinne ist eine Äusserung *Bohrs* zu verstehen: Wenn wir die physikalischen Vorgänge determiniert beschreiben wollen, müssen wir die Zerlegung in Zeit und Raum vermeiden; eine solche Beschreibung kann nicht determiniert wiedergegeben werden. Dagegen lassen sich Zeit- oder Scharmittelwerte streng determiniert verknüpfen.

Aus diesen Gründen ist es auch nicht nötig, dass in irgendeiner anderen Wissenschaft als der Physik (höchstens die Chemie ausgenommen) dem Wahrscheinlichkeitscharakter der physikalischen Elementargesetze Rechnung getragen wird. Alle anderen Wissenschaften haben ja nie den Elementarprozess zum Gegenstand ihrer Forschung, sondern immer schon Mittelwerte über ungeheuer viele Elementarprozesse. Eine Abweichung von der determinierten Fassung der Gesetze ist daher so unwahrscheinlich gering, dass es direkt falsch wäre, damit praktisch rechnen zu wollen.

5. Formulierung des Kausalgesetzes in der Physik. Wir wenden uns jetzt zur Frage: Fordert die in den vorigen Abschnitten dargestellte statistische Betrachtungsweise des elementaren Geschehens eine Preisgabe des Kausalgesetzes? Zunächst müssen wir uns klar werden, was man in der Physik unter Kausalgesetz versteht. Viele in der Philosophie üblichen Formulierungen sind für die Physik ungeeignet. Die Physik kann keine Einteilung in Ursache und Wirkung brauchen. Diese Einteilung entspricht schon gar nicht dem Sinn der physikalischen Methodik, welche vermöge der Mathematik oft gar nicht den vielfach verschlungenen Weg des direkten Kausalzusammenhangs nachzugehen braucht, sondern einfach überspringen kann. Die Einteilung entspricht aber auch nicht dem erkenntnistheoretischen Standpunkt der Physik. Es lassen sich Fälle in genügender

Zahl finden, bei welchen man je nach dem Standort des Beobachters Ursache und Wirkung vertauschen, oder zum mindesten nicht trennen kann. Viel näher kommt man der Frage, wenn man den Standpunkt der klassischen Physik als deterministisch bezeichnet.

Aber auch die Physiker sind sich in ihren Definitionen des Kausalgesetzes durchaus nicht ganz einig; ihre Formulierungen meinen oft unbewusst nicht dasselbe. Bei den Vertretern des Indeterminismus findet man durchaus die Aussage: Das Kausalgesetz ist die Forderung, aus einem gegenwärtigen Zustand den zukünftigen eindeutig berechnen zu können. Daran wird dann die Bemerkung geknüpft, die Quantentheorie habe diese Forderung als prinzipiell unmöglich erwiesen. Vorbehaltlich einer näheren Kritik des Wortes „prinzipiell“ müssen wir zustimmen, dass diese Forderung heute unerfüllbar ist. Allein man kann doch bezweifeln, ob die obige Formulierung wirklich den vollständigen Inhalt dessen trifft, was wir sehr dunkel unter deterministischer Naturanschauung verstehen. Dieser Meinung ist auch *Kellner*¹⁾, wenn er das Kausalprinzip in zwei Formen einteilt:

1. In ein technisches Kausalprinzip, welches die Forderung der Vorausbestimmung erhebt.

2. In ein erkenntnistheoretisches Kausalprinzip, welches die Forderung der Vorausbestimmung gar nicht enthält und etwa folgendermassen formuliert werden kann: Auf ein Ereignis a folgt immer unter gleichen Umständen das Ereignis b , wenn diese Folge einmal beobachtet worden ist. Zunächst müssen wir darauf hinweisen, dass es für die Physik kein transzendentes Erkennen irgendeines Ereignisses a bzw. b gibt. In der physikalischen Sprache heisst: „auf a folgt b “ nichts anderes als: „Zur Zeit t ist ein gewisser Komplex von Grössen ($x, y, z \dots$) gemessen (= Ereignis a). Nach einer Zeit t' finde ich die Werte (x', y', z', \dots) (= Ereignis b).

Man sieht, dass die Bestätigung oder Nichtbestätigung des Kausalgesetzes in der obigen Form ganz ausserhalb jeder Erfahrung liegt. Ist nämlich einmal die Folge $a \rightarrow b$ beobachtet und folgt bei einer anderen Versuchsreihe auf a ein Ereignis b' , so kann man immer sagen: es hat eine Störung vorgelegen. Indem man die Störung zum Ausgangsereignis a hinzunimmt, kann man die Sachlage immer auch so darstellen: Das Ausgangsereignis a ist gar nicht einheitlich, sondern komplex; es lag im zweiten Falle ein anderes a , ein a' , vor und es gilt immer die eindeutige Zuordnung $a \rightarrow b$ und $a' \rightarrow b'$.

¹⁾ *G. W. Kellner: Zeitschr. f. Phys. 64, 568, 1930.*

In der Sprache der Physik würde dies heissen, dass die das Ereignis a charakterisierenden Grössen x, y, z, \dots zur eindeutigen Beschreibung nicht ausreichen, dass also noch weitere verborgene Koordinaten zu suchen sind. Die hier verlangte formale geistige Einstellung zum Naturgeschehen experimentell prüfen zu wollen, ist gar nicht sinnvoll. Dieses Prinzip ist gar kein Gegenstand der Physik.

Man kann nun weiterhin zeigen, dass die Forderung der Vorausberechnung wirklich viel mehr verlangt, als im Kern des kausalen Gedankens liegt. Nehmen wir an, es seien aus einem Ausgangsereignis zwei oder mehrere Folgeereignisse b und b' beobachtet, so

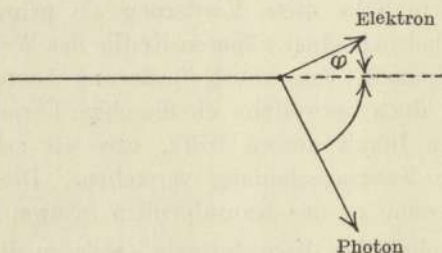


Abb. 3.

dass wir nach obigem b und b' zwei verschiedenen Ausgangsereignissen a und a' zurechnen: $a \rightarrow b$, $a' \rightarrow b'$. Es mag weiterhin angenommen werden, dass es auf keine Weise möglich sei, die Ereignisse a und a' vorauszubestimmen, d. h. dass wir es experimentell nicht in der Hand haben, das Folgeereignis b oder b' zu erzwingen. Trotzdem ist es denkbar, dass nachträglich, nachdem b oder b' eingetreten ist, sich Kriterien finden lassen, die eine Unterscheidung von a und a' gestatten. Dieser Fall liegt meines Erachtens vor in dem schon erwähnten Comptoneffekt. Das Ausgangsereignis a bildet das auf das Elektron stossende Photon. Es ist auf keine Weise vorauszusagen, um welchen Winkel θ dieses Photon gestreut wird (Abb. 3). Durch den Stoß erfährt nun auch das Elektron einen Rückstoss unter einem Winkel φ . Beobachtet man diesen Rückstosswinkel, so findet man, dass zu einem bestimmten Winkel θ des gestreuten Lichtquants ein ganz bestimmter Winkel φ des Rückstosselektrons auftritt. Dadurch lässt sich nachträglich das komplexe Stossereignis a durch φ charakterisieren als $a(\varphi)$.

Gegen diese Betrachtung des Comptoneffekts mag eingewendet werden, dass die eindeutige Zuordnungsmöglichkeit der Winkel θ und φ sozusagen nur zufällig sei: denn sie folge aus dem Energie- und

Impulssatz, den auch die statistische Theorie fortbestehen lasse. In der Tat braucht auch die statistische Theorie gewisse Grössen, die streng deterministisch aneinander gekoppelt sind. Ausser Impuls und Energie sind dies noch die Wahrscheinlichkeitsfunktionen, d. h. die Amplituden jener Materiewellen. Damit ist aber ein konsequenter Indeterminismus schon durchbrochen. Es zeigt sich eben, dass man irgendwo einmal festen Fuss fassen muss, dass man irgendwo einmal eindeutig aneinander gekoppelte Grössen braucht, wenn nicht unser ganzes Begriffssystem versinken soll. Diesen Punkt besser heraus zu arbeiten, sei die weitere Aufgabe dieses Vortrags.

Zunächst aber müssen wir uns noch mit einem sehr häufigen Einwand gegen die engere Fassung des Kausalprinzips befassen. Man sagt: Diese Fassung hat ja gar keinen Zweck. Selbst wenn eine nachträgliche Klassifizierung eines Ausgangsereignisses möglich ist, so ist sie ja ein reiner Leerlauf. Sie kann dem Experiment in keiner Weise dienlich sein; denn das Experiment verlangt die Möglichkeit einen Zustand vorzugeben und dies ist nach den Ungenauigkeitsrelationen prinzipiell unmöglich.

Diese „prinzipielle“ Unmöglichkeit stützt sich auf unsere gegenwärtige Erkenntnis des atomistischen Geschehens. Wie unsere zukünftige Erfahrung aussieht, darüber zu urteilen ist die gegenwärtige Erfahrung nicht kompetent. Denn dies wäre nicht mehr und nicht weniger, als das Verbot grundlegender Entdeckungen. Das waren aber gerade immer die grundlegenden Entdeckungen, welche sich nicht in das bestehende System einordnen liessen. So ist es durchaus denkbar (und dies war immer das Schicksal jeder Theorie), dass die Quantentheorie mitsamt den Elektronen und Protonen als Spezialfall in einer höheren Theorie aufgeht und die deterministische Beschreibung wieder triumphiert. Der Inhalt eines Kausalprinzips kann aber nicht von derartigen Zufällen abhängig gemacht werden.

6. Das apriori in Mathematik und Physik. Es ist aber nicht nötig, das Kausalprinzip mit diesem etwas billigen Vorschuss auf die Zukunft zu belasten. Dieses Prinzip scheint im Rahmen der physikalischen Begriffsbildung eine Rolle zu spielen, die schlechterdings nicht entbehrt werden kann. Wir wollen uns einmal die Frage vorlegen: Was sind und wie entstehen physikalische Begriffe? Die enge Vergesellschaftung der Physik mit der Mathematik lässt es ratsam erscheinen, die gleiche Frage zunächst einmal für die Mathematik zu stellen. Damit ist die Erkenntnistheorie *Kants* in vollem Umfang

angeschnitten. *Kant* hat aber den Umfang des Apriorischen weit überschätzt. Diese heute auf dem Gebiete der Physik und Mathematik erwiesene Überschätzung hat ihm eine gewisse Geringschätzung unter den Physikern eingetragen. Wir wissen heute, dass es keine synthetischen Urteile a priori geben kann, und dass die Mathematik und Logik über den wirklichen Zustand der Natur auch nicht das Geringste auszusagen vermag. Die Rolle des a priori in der Mathematik sieht man nicht an den Arbeiten *Kants*, sondern an den Arbeiten der sogenannten formalistischen Mathematiker, deren grösster Vertreter *Hilbert* ist. *Hilbert* hat den *Kantschen* Gedanken des a priori aufgenommen, aber so weitgehend eingeschränkt, dass zum erstenmal eine a priorische Axiomatik der Geometrie geschaffen wurde. Ich darf hier vielleicht nicht voraussetzen, warum die Axiome des *Euklid* reparaturbedürftig waren. Das bekannte Parallelenaxiom *Euklids* hatte nämlich eine sehr merkwürdige Natur geoffenbart. Beinahe 2000 Jahre lang suchte man erfolglos hierfür einen Beweis, da stellte sich heraus, dass man das Axiom gar nicht anzuerkennen braucht. Man kann die Winkelsumme eines Dreiecks (der Satz von der Winkelsumme des Dreiecks ist mathematisch identisch mit dem Parallelenaxiom) sowohl grösser wie kleiner als 180° annehmen und jedesmal erhält man eine Geometrie (allerdings von anderer Art), die jedoch in sich widerspruchlos ist. *Einstein* zeigte weiter, dass die Winkelsumme eines Dreiecks mit der Massenverteilung im Weltraum irgendwie zusammenhängt. Sie werden nun fragen: welche Geometrie ist denn nun richtig; es kann doch nur eine richtige geben. Diese Frage hat auf die Mathematik bezogen gar keinen Sinn. Ein bestimmtes reales Dreieck im Raum hat natürlich eine ganz bestimmte Winkelsumme. Insofern lässt sich nur eine Geometrie auf die realen Gegenstände anwenden. Diese Untersuchungen gehören aber nicht ins Gebiet der Mathematik, sondern sind bereits Gegenstand der Physik. Innerhalb der Mathematik aber hat alles Existenzberechtigung, was logisch widerspruchlos ist. Einen anderen Grund zur Verwerfung gibt es nicht.

Was mit dem Parallelenaxiom passiert war, beunruhigte natürlich und gab Veranlassung, die Axiome und Begriffe der Mathematik auf ihre Entbehrlichkeit und überhaupt sehr eindringlich auf ihr Wesen zu untersuchen. Diese Untersuchungen legten klar, dass unsere Vorstellung über diesen Gegenstand recht oberflächlich war. Sie zeigten, dass einem Begriff kein Inhalt an und für sich zukommt, sondern dass das Wesen eines Begriffes lediglich in Beziehungen zu anderen

Begriffen besteht¹⁾. Mit anderen Worten, die Begriffe lassen sich gar nicht explizit definieren. Um ein Beispiel zu bringen: Sollte man möglichst knapp eine völlige Definition des Begriffs „Elektrizität“ geben, so käme man in die grösste Verlegenheit. Wer dies wissen möchte, dem kann man nur raten: Studiere die Erscheinungen der Elektrizität, führe diese Erscheinungen auf einfache Grunderscheinungen zurück, und behalte die Relationen im Auge, die sich nicht mehr auseinander ableiten lassen, dann „weisst“ du, was Elektrizität ist, dann hast du einen Begriff davon, Was hier als zweckmässig geraten wird, hat *Hilbert* zum Prinzip einer axiomatischen Geometrie erhoben:

Die grundlegenden Objekte (Grundelemente): Punkt, Gerade, Ebene und Raum samt ihrer sprachlichen Bezeichnung werden nicht definiert. Sie werden als leere Wortschemen aufgefasst, die nur dazu da sind, um Unterscheidungen machen zu können. Die Objekte werden nun durch Relationen ohne inhaltliche Erklärung miteinander verknüpft (Axiome), woraus sich eine formale Umgrenzung der Grundelemente und Relationen ergibt.

Eine solche Geometrie hebt nicht an: Eine Gerade ist usw., sondern: (Ich folge in dieser Darstellung einer Arbeit von *M. Geiger*, Systematische Axiomatik der *Euklidschen* Geometrie. Das Verfahren *Hilberts* ist etwas anders.)

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| I. Es gibt vier Elementsysteme: Punkte (A, B,), | } Existenz-
axiome |
| Geraden (a, b,), Ebenen (α , β . .) und Räume (R). | |
| II. Es gibt nur ein R (einen Raum). | |
| III. Zwischen je zwei Elementen verschiedener Systeme | } Existenz-
axiome |
| gibt es stets eine Relation (Aa) („liegt auf“ oder „enthält“), welche definit ist, d. h. die Relation soll entweder erfüllt sein oder nicht [im ersten Fall symbolisch (Aa) geschrieben, im zweiten Fall —(Aa)]. | |

Ausser den existenzsetzenden Axiomen gibt es charakterisierende Axiome, welche willkürliche Einschränkungen des gleichzeitigen Bestehens von Relationen darstellen. Alles, was nicht verboten ist, ist erlaubt. So muss aber z. B. im Hinblick auf die *Euklidsche* Geometrie das Nebeneinanderbestehen von (Aa), (a α), —(A α) verboten werden: Es ist unmöglich, dass ein Punkt A auf einer Geraden a liegt, diese in einer Ebene α und gleichzeitig A nicht in der Ebene α . Von solchen willkürlichen Verboten gibt es viele Kombinationsmöglichkeiten. Eine unter diesen Kombinationen liefert den formalen

¹⁾ Man vergleiche etwa *K. Boehm*, Begriffsbildung, Sammlung „Wissen und Wirken“.

Rahmen der *Euklidschen* Geometrie, d. h. wenn man für die Grundelemente und für die Relationen die sprachlichen Bezeichnungen wählt, so hat man die geometrischen Lehrsätze. Diese sind also nicht abhängig von der Erfahrung, sondern frei vom Verstand geschaffen; inhaltliche Überlegungen leiten zwar den Gang der Verknüpfung, gehen aber nicht in die Deduktion ein.

Mit diesen axiomatischen Untersuchungen ist ein ausserordentlich wichtiger Vorstoss über die Grenzen der Aristotelischen Logik gemacht. Es hat sich der wesentliche Charakter der mathematischen, wie der logischen Sätze erkennen lassen. Mathematik (wie auch die Logik) stellen sich gleichsam als Formelspiele, krass ausgedrückt, als Tautologien dar, die nichts über die Wirklichkeit aussagen. Dies soll keine Herabsetzung sein; solche analytisch-tautologische Umformungen sind für die menschliche Erkenntnis, für das Zurechtfinden in der wirren Welt der realen Erscheinungen von unermesslichem Wert. Damit sind wir wieder bei der Physik angelangt. Als Ergebnis der vorigen Abschweifung sei im Auge behalten, dass es keine andere saubere Begriffsbestimmung gibt als die axiomatisch-relations-theoretische. Man könnte nun der Meinung sein, dass in der Physik die Grundobjekte und Grundrelationen durch die Erfahrung fix und fertig geliefert würden; der Verstand brauche sie nur zu übernehmen und aus ihnen deduktiv zu folgern. Dies wäre aber eine falsche Ansicht. Denn kein einziges Experiment, keine einzige, auch noch so einfache Beobachtungsreihe formt sich von selbst zum Gesetz. Innerhalb gewisser Toleranzgrenzen hat der Verstand unendlich viele Möglichkeiten die Beobachtungen durch Relationen zu verbinden. Dieselbe schöpferische Tätigkeit des Verstandes, welche wir bei der Grundlegung der Geometrie sehen, tritt also auch hier in Kraft. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Ihnen wohlbekannte Forderung von der Ökonomie der Wissenschaft zu verstehen, in diesem Sinne kann auch nur das Wort verstanden werden: Der Mensch schreibt der Natur die Gesetze vor. Um zu einer mathematisch-logisch sauberen Begriffsbildung zu kommen, mag auch in der Physik das Ziel vorschweben: Axiomatische Begriffsdefinition im Sinne der Relationstheorie, indem die Anschauung zwar die Verknüpfung leitet, aber nicht in die Deduktion eingeht. Gefühlsmässig ist diese Forderung schon hie und da erhoben worden, allerdings recht unglücklich formuliert. Ich meine jene Forderung, dass in einer physikalischen Theorie nur prinzipiell beobachtbare Grössen verwendet werden sollen. Macht man sich jedoch Gedanken darüber, was prinzipiell beobachtbar ist oder nicht, so lassen sich keine

scharfen Grenzen ziehen; denn prinzipiell beobachtbar ist im Grunde nichts. Alles geht über physikalische Apparate, ja auch unsere Sinne stellen solche dar. Gemeint ist mit jener Forderung: Es soll von einer in eine Theorie eingeführten Grösse nur soweit Gebrauch gemacht werden dürfen, als sie relationsmässig festgelegt ist, nicht aber von dem anschaulichen Inhalt. Um ein Missverständnis zu vermeiden: Das Experiment bleibt selbstverständlich auch in einer axiomatisch aufgebauten Physik die Grundlage der Wissenschaft. Denn die Anwendung der Axiome auf die Gegenstände der Wirklichkeit kann nie gewährleistet werden. Die Übereinstimmung mag eine zeitlang befriedigend sein; sowie der Gegenstand der Wirklichkeit aber eine Relation zeigt, welche nicht im Axiomengebäude enthalten ist, stellt er etwas wesentlich anderes dar. Doch sind wir noch weit entfernt von einer rein axiomatischen Begriffsbildung in der Physik. Zur Zeit benutzt die Physik noch ein gemischtes System von relationsmässig definierten und anschaulichen Begriffen (d. h. im Grunde genommen: undefinierte Begriffe). Wollte man auf die letzteren verzichten, so bliebe wenigstens z. Z. nicht allzuviel von der Physik mehr übrig. Aber man muss sich klar darüber sein, dass der anschauliche Begriff einen grossen Unfug verüben kann; er kann lange Zeit einen Widerspruch in sich tragen oder mit anderen Begriffen zusammen bilden, ohne dass dies bemerkt wird, und plötzlich bei anderer Beleuchtung mit aller Wucht offenbaren. Ob nicht gerade der Begriff des Elektrons als individuelle Partikel, der doch letzten Endes bei seiner Bildung nichts anderes war als die primitive Abstraktion, sagen wir einmal einer Billiardkugel, nicht ein solch gefährliches Gebilde ist und damit der ganze Atomismus!

Und nun noch einmal zum Kausalgesetz. Welche Rolle kommt diesem im Rahmen einer relationstheoretischen Begriffsbildung zu? Wir haben gesehen, dass eine solche Begriffsbildung eine definite Relation verlangt, d. h. eine Relation zwischen zwei Grundobjekten, die entweder gilt oder nicht gilt. Was ist aber eine Verknüpfung von Grundelementen, die physikalischen Inhalt bekommen sollen, in dieser definiten Form? Das ist das Kausalgesetz, allerdings nicht in der antropomorphen Form von Ursache und Wirkung, sondern in der engeren Fassung. Ob man diese Verknüpfung nicht Kausalgesetz, sondern Kausalprinzip oder Determinismus oder anders heissen will, ist nur ein Streit um Worte. Es kommt auch nicht darauf an, welcher Art die Prozesse sind, die durch eine definite Relation verbunden werden. Nachdem eine solche Verbindung bei den heutigen

Elementarakt des Atomismus nicht möglich ist, müssen diese eben für die Begriffsbildung ausscheiden. Ich möchte bezweifeln, ob sich durch Relationen von Wahrscheinlichkeitscharakter eine hinreichend strenge Begriffsbildung erreichen lässt; denn zu diesem Prozess benötigt man Relationen mit ausschliessender Kraft. Zudem stellt der z. Z. übliche Wahrscheinlichkeitsbegriff vom mathematischen Standpunkt noch einen recht unsauberen Begriff dar¹⁾. Es ist die Möglichkeit von Wahrscheinlichkeitstheorien nicht auszuschliessen, welche das Gesetz der grossen Zahlen gar nicht enthalten. Es mag fast erscheinen, als sei in die jetzt übliche Wahrscheinlichkeitstheorie ein Erfahrungselement hineingesteckt, welches sich mit dem Induktionsgesetz berührt. Aus diesen erkenntnistheoretischen Gründen bleibt nichts anderes übrig als in dem formulierten engeren Kausalgesetz einen für die Begriffsbildung nötigen formalen Rahmen zu sehen.

¹⁾ Man vergleiche etwa: Bericht über die Prager Tagung „Erkenntnis“ Bd. I, 1930.

IV. Sitzung vom 19. Februar 1931.

**Ergebnisse zweier wissenschaftlicher Streifzüge
in der Kirgisensteppe**
(mit Lichtbildern).

Von
Prof. Dr. **Zeiss** aus Moskau als Gast.

(Ein Bericht über diesen Vortrag ist nicht eingegangen.)

Über das Arcain, eine bisher unbekannte tierische Base.

Von

D. Ackermann.

(Der Schriftleitung zugegangen am 1. März 1931.)

Im Laufe unserer vergleichend physiologischen Untersuchungen über die stickstoffhaltigen Stoffwechselprodukte der Tierwelt gelang es *Fr. Kutscher* und mir (1), aus der Archenmuschel (*Arca noae*), die ebenso wie die Miesmuschel zu den Filibranchiern gehört, eine Substanz zu isolieren, welche bei der Analyse die Formel $C_6H_{16}N_6$ ergab und als Arcain bezeichnet werden möge.

Die Darstellung erfolgte aus dem Extrakt einer grossen Menge der genannten Muscheln, welche im Jahre 1922 im Adriatischen Meer bei Rovigno gefischt und nach Beseitigung der Schalen sofort an Ort und Stelle ausgekocht waren. Der dabei erhaltene, stark eingedickte Extrakt war noch heiss in ein Blechgefäss gebracht und bis jetzt verschlossen aufbewahrt worden. Mit dem Kjeldahlverfahren liess sich ermitteln, dass eine Gesamtstickstoffmenge von 129,1 g vorlag.

Die Gewinnung des Arcains gestaltete sich so, dass nach dem *Kutscherschen* Verfahren nach direkter Ausfällung der Basen mit Phosphorwolframsäure eine Argininfraktion gewonnen wurde, aus der die Base in Form ihres ausserordentlich schwerlöslichen Pikrates von dem daneben vorhandenen Arginin und anderen Substanzen abgetrennt werden konnte. Als diese Pikratfraktion mit Hilfe von Äther und Schwefelsäure in eine schwach schwefelsaure Sulfatlösung übergeführt war, kristallisierte das ziemlich schwer lösliche Arcainsulfat in einer Menge von 2,5 g aus und war nach dem Umkristallisieren rein.

Das Arcain ist, wie ja nach seinem hohen N-Gehalt und dem Fehlen des Sauerstoffes zu erwarten stand, eine starke Base und gibt sehr schwerlösliche Fällungen mit Pikrinsäure, Pikrolonsäure, Rufiansäure (Chinizarinsulfosäure) (2), *Dragendorffs* Reagens, Flaviansäure

und Styphninsäure (Trinitroresorcin). Auch fällt es mit Goldchloridchlorwasserstoffsäure und Platinchloridchlorwasserstoffsäure, mit wässrigem Quecksilberchlorid, mit *Hopkins* Reagens (Quecksilbersulfat in schwefelsaurer Lösung) bei Zugabe von Alkohol. *Nesslers* Reagens liefert einen weissen Niederschlag. Beim Kochen mit Kupfercarbonat erfolgt keine Blaufärbung, was aus dem Fehlen einer Carboxylgruppe verständlich ist. Ein Kupfernitratsalz wie beim Arginin ist ebensowenig zu erhalten. Nitrat und Chlorid sind verhältnismässig leicht löslich.

Die Diazoreaktion nach *Pauly* ist negativ. Ausserordentlich stark fällt die Probe von *Sakaguchi* (3) aus, die ja für Guanidinderivate von bestimmter Substitutionsart charakteristisch ist.

Das Arcain ist ferner optisch inaktiv. — Mit kalter Permanganatlösung erfolgt keine Entfärbung, so dass eine Doppelbindung im Molekül des Körpers nicht in Betracht kommt.

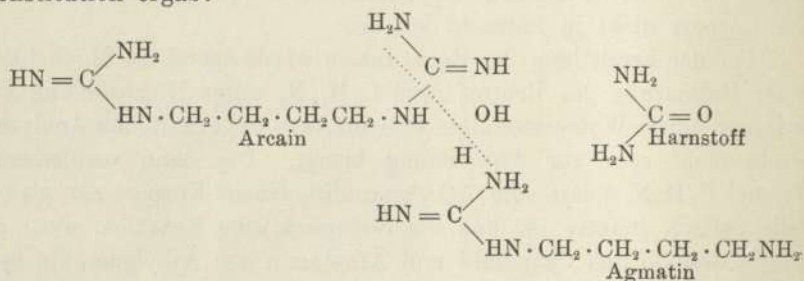
Bei der Ermittlung der Konstitution wurde zuerst die Möglichkeit einer Halbierung der Bruttoformel $C_6H_{16}N_6$ unter Hinzuzählung von jedesmal einem Wasserstoffatom erörtert, was die erhaltenen Analysenwerte nicht sehr zur Abweichung bringt. Die dann verbleibende Formel $C_3H_9N_3$ passt zum Äthylguanidin, einem Körper, der gleichfalls optisch inaktiv ist und die *Sakaguchi*sche Reaktion gibt. Es wurde deshalb aus Cyanamid und Äthylamin das Äthylguanidin synthetisch dargestellt. Da es sich aber in seinen Eigenschaften als Pikrat ganz anders verhielt als das Arcain und ausserdem im Gegensatz zu Arcain mit Jodwasserstoffsäure Jodalkyl abspaltete, musste die Vermutung, es handle sich bei der Muskelbase um Äthylguanidin, fallen gelassen werden.

Um festzustellen, ob das Arcain eine freie Aminogruppe enthält, wurde die *Strecker*sche Desaminierung mit salpetriger Säure nach dem Verfahren von *van Slyke* quantitativ vorgenommen, doch liess sich kein Stickstoff abspalten. Da nun aber der Aminostickstoff des Guanidinkernes auf diese Methode erfahrungsgemäss nicht anspricht, war immer noch die Möglichkeit eines Guanidinderivates beim Arcain offen, ja das Vorliegen eines solchen blieb sogar sehr wahrscheinlich angesichts der charakteristischen *Sakaguchi*schen Reaktion, die das Arcain gibt.

Es musste nun versucht werden, durch Spaltung zu Abbauprodukten zu kommen, die vielleicht einen Schluss auf die Konstitution zuliesse. Zu diesem Zweck wurde unter den gleichen Bedingungen, wie sie *E. Schulze* und *Winterstein* (4) beim Arginin angewendet hatten, eine Hydrolyse mit siedender Barytlösung vorgenommen und

diese führte zu zwei Sprengstücken, die einen Einblick in die Konstitution gestatten. Es entstand nämlich einerseits Harnstoff, andererseits das von *Kossel* (5) zuerst in Heringsmilch durch Hydrolyse gewonnene Agmatin, das bald darauf *Engelard* und *Kutscher* (6) im Mutterkorn und später *F. Holtz* (7) in dem Schwamm *Geodia gygas* auffanden. Aus reifem Heringstestikel ohne vorherige Hydrolyse isolierten es *Steudel* und *Suzuki* (8). Der bei der Barytspaltung des Arcain erhaltene Harnstoff wurde als Nitrat, das Agmatin als Pikrat isoliert und durch Analyse identifiziert.

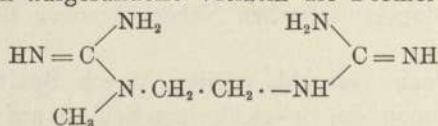
Diese beiden Spaltungsprodukte waren offenbar durch Aufnahme von 1 Molekül Wasser in das Arcain entstanden, für das sich nunmehr die Formel eines Tetramethyldiguanidins der folgenden Konstitution ergab:



Einsolches Tetramethyldiguanidin war nun bereits von *A. Kiesel* (9) einmal auf synthetischem Wege aus Putrescin und Cyanamid gewonnen worden und eingehend beschrieben. Nach seinen Angaben liess es sich ohne Schwierigkeiten herstellen und der Vergleich der Salze des synthetischen Körpers (Sulfat, Pikrat, Pikrolonat, Chloraurat, Chloroplatinat, Rufianat) mit denen des Arcains ergab in allen Eigenschaften einschliesslich der Schmelzpunkte (auch die Mischschmelzpunkte zeigten keine Depression) volle Übereinstimmung.

Damit ist die obige Formel für das Arcain sichergestellt.

Die Möglichkeit des Vorkommens derartiger Diguanidine ist schon einmal von *Fr. Kutscher* (10) erörtert, als er für das von ihm seinerzeit im Menschenharn aufgefundene Vitiatin die Formel



zur Diskussion stellte. Aus Mangel an Material und vor allem weil das wertvolle Hilfsmittel der Mikroanalyse noch fehlte, war die Ermittlung der Konstitution damals unmöglich.

Unter den verschiedenen Kombinationen, die das Auftreten einer Substanz von obiger Formel in der belebten Natur eröffnet, lässt sich jetzt auch für die Entstehung des Agmatins ein anderer Weg annehmen als bisher. Während man früher das Agmatin nur vom Arginin ableiten konnte, kommt jetzt auch das Arcain als Muttersubstanz dafür in Betracht, denn es ist möglich, dass Fermente der Zelle das Arcain in gleicher Weise in Agmatin verwandeln wie siedende Barytlösung. Untersuchungen über Spaltung des Arcains durch Fermente von Organen und Mikroorganismen sind deshalb in Angriff genommen. Bei der Fäulnis der Base muss mit der Bildung von Putrescin gerechnet werden.

Als Guanidinbase ist das Arcain pharmakologisch stark wirksam, vor allem auch im Sinne einer Herabsetzung des Blutzuckerspiegels. Hierüber wird in der Zeitschrift für Biologie eingehend berichtet werden. Die genaue Schilderung der Eigenschaften und der Konstitutionsermittlung des Arcains erscheint in der Zeitschrift für physiologische Chemie.

L i t e r a t u r.

1. Zusammenfassung der Resultate bis 1926 siehe bei *Fr. Kutscher* und *D. Ackermann*, *Zeitschr. f. Biol.* 84, 8 (1926). Spätere Arbeiten in der *Zeitschr. f. Biol. u. Zeitschr. f. Physiol. Chemie.*
2. *W. Zimmermann*, *Zeitschr. f. Physiol. Chem.* 188, S. 180 (1930) u. 189, S. 155 (1930).
3. *Sakaguchi*, *Journ. Biochem.* 5, 13, 133 (1925) u. *K. Poller*, *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* 59, 1927 (1926).
4. *E. Schulze* und *Winterstein*, *Zeitschr. f. physiol. Chem.* 26, 1 (1898).
5. *A. Kossel*, *Zeitschr. f. physiol. Chem.* 66, S. 257 (1910).
6. *R. Engeland* und *Fr. Kutscher*, *Zentralbl. f. Physiol.* 24, 479 (1910).
7. *F. Holtz*, *Zeitschr. f. Biol.* 81, 65 (1923).
8. *Studel* und *Suzuki*, *Zeitschr. f. physiol. Chem.* 127, 1 (1922).
9. *A. Kiesel*, *Zeitschr. f. physiol. Chem.* 118, 277 (1921).
10. *Fr. Kutscher*, *Zeitschr. f. physiol. Chem.* 51, 462 (1907).

V. Sitzung vom 7. Mai 1931.

1. Über den Einfluss des Berufs auf kräftige und schwächliche Jugendliche.

Von

Ludwig Schmidt.

Der männliche Jugendliche im Alter von 14—18 Jahren macht zunächst eine Zeit vermehrten Längenwachstums, dann vermehrten Breitenwachstums durch. Die endgültige Länge des Menschen ist Rassenmerkmal, also erbmächtig bedingt; sie wird erreicht, auch unter ungünstigen Umweltbedingungen. Anders die endgültige Breite, gemessen am Brustumfang. Die letzte Breitenentwicklung des Menschen in der Pubertäts- und Nachpubertätszeit ist zu einem guten Teil exogen bedingt, erfolgt auf Reize durch körperliche Arbeit und bleibt aus, wenn diese Reize fehlen. Der Kaufmann ist nicht nur deshalb schmaler gebaut als der Schlosser, weil er schlechter körperlich veranlagt ist als der andere, sondern auch deshalb, weil die Reize für die Breitenentwicklung fehlen.

Ich habe diese Verhältnisse früher (Archiv für Hygiene 94 [1924] 105) an dem Vergleich von Bauern und Spinnereiarbeitern eines abgeschlossenen Schwarzwaldtales zeigen können. Dort entschied nicht Kraft oder Schwäche die Berufswahl, sondern nichtbiologische Dinge wie Erstgeburt und soziale Bedingungen. Tatsächlich rekrutierten sich Bauern und Spinnereiarbeiter aus dem gleichen Menschenmaterial und traten mit 14 Jahren mit gleichem Längen-Breiten-Index in den Beruf. Je länger der Beruf einwirkte, umsomehr entwickelten sich beide Gruppen auseinander, die Bauern wurden breit, die Spinner blieben schmal.

Diesmal machte ich Untersuchungen an 14—18jährigen Handwerkern der Würzburger Berufsschule.

Ich benutzte nicht die übliche Methode der gleichzeitigen Untersuchung von 14jährigen, 15jährigen usw., sondern untersuchte im ersten Jahr Berufsanfänger und verfolgte die gleichen Individuen

während der nächsten 3 Jahre mit Messband und Wage. Indem ich so die Vergleichung von 14jährigen mit anderen 15jährigen usw. vermied, wurde schon eine Reihe von Zufälligkeiten ausgeschaltet. Darüber hinaus vermochte aber diese Methode noch Fragen zu lösen, die mit der üblichen Methode nicht zu lösen waren. Die Hauptfrage, die ich mir stellte, wie die Berufe auf körperlich Kräftige und körperlich Schwächliche einwirken, war nur mit der (allerdings zeitraubenden) Methode zu lösen.

Die Breitenentwicklung beurteilte ich nach dem *Kaup*schen Index $\frac{\text{Gewicht}}{\text{Länge}^2}$. Dieser Index ist deshalb besonders geeignet, weil er bei Grossen und Kleinen gleichen Alters gleichgross gefunden wird.

Ich fand die früheren Erfahrungen bestätigt, dass zur Breitenentwicklung körperliche Reize nötig sind. Ich habe daraufhin die Berufe in 2 grosse Gruppen untergebracht, in die Gruppe der „Reizberufe“ und der „Reizmangelberufe“.

Zu den Reizberufen zählte ich: Bauarbeiter, Bäcker, Büttner, Gärtner, Metzger, Schlosser, Schreiner und Steinmetze. Zu den Reizmangelberufen: Kauflente, Drogisten, Buchbinder, Feinmechaniker, Friseure, Kellner, Köche, Tapezierer, Maler, Schneider, Spengler und Schuhmacher.

Ich fand bei den 14jährigen Burschen der Reizberufe als *Kaup*schen Index den Wert 1,73¹⁾, bei den 14jährigen Burschen der Reizmangelberufe 1,71, also sehr geringe Unterschiede.

Wären in den Reizberufen nur Schmiede, in den Reizmangelberufen nur Schneider gewesen, so würden die Zahlen bestimmt weit voneinander entfernt gefunden worden sein. Die in Würzburg vorhandene Mischung von Angehörigen der Reiz- und der Reizmangelberufe war aber (zufällig) eine solche, dass beide Gruppen bei Berufsantritt gleiche Breitenindizes aufwiesen.

Anders beim Verlassen der Berufsschule: *Kaup*scher Index bei den 18jährigen Burschen der Reizberufe 2,17, bei den 18jährigen Burschen der Reizmangelberufe 2,03.

Ich analysierte nun die Zahlen, die zu diesen Mittelwerten führten, statistisch noch genauer. Die Varianten zweier Reihen, die zwei verschiedene Mittelwerte ergeben, sind als identisch zu betrachten,

¹⁾ Aus dem Gesamtzahlenmaterial [Archiv für Hygiene 105 (1931) 245], teile ich hier nur einige wenige Werte mit, die die Grundlage für die biologischen wichtigen Schlussfolgerungen darstellen.

wenn der Unterschied zwischen den beiden Mittelwerten höchstens so gross ist wie der 3fache mittlere Fehler. Man nimmt zweckmässig

Differenz der beiden Mittelwerte

Summe ihrer mittleren Fehler

und prüft, ob der Quotient grösser oder kleiner als 3 ist.

Wenn ich nun diese Probe durchführte zum Vergleich der Reizberufe und der Reizmangelberufe, so fand ich den Quotienten

	<i>Kaupscher</i> Index	Proportionaler Brustumfang
bei den 14jährigen	1,1	1,6
15 „	2,0	2,6
16 „	4,1	3,8
17 „	4,4	4,7
18 „	5,3	5,1

Wir haben damit den klaren Beweis, dass die beiden Gruppen zu Beginn ihrer Berufstätigkeit noch als identisch zu betrachten sind, dass sie sich aber, je länger der Beruf auf sie einwirkt, mehr und mehr voneinander entfernen.

Nun zu der neuen Fragestellung. In welcher Weise wirkt die Konstitutionsförderung, die von den Reizberufen ausgeht, auf kräftig und schwächlich Veranlagte? Prinzipiell waren verschiedene Möglichkeiten gegeben. Kräftige und Schwächliche konnten gleichmässig durch Berufsreize gefördert werden oder es konnten nur die gut Veranlagten auf den Reiz ansprechen oder die in ihren Körpermassen Zurückgebliebenen, die also noch viel aufzuholen hatten, waren in besonders hohem Masse beeinflussbar. Ähnliche Möglichkeiten waren bei der Hemmung des Breitenwachstums infolge fehlender Berufsreize vorhanden.

Als kräftig bezeichnete ich die Leute, deren *Kaupscher* Index grösser war als der Mittelwert seiner Altersklasse, als schwächlich diejenigen, deren *Kaupscher* Index kleiner war. Kräftige gab es bei den 14jährigen Burschen der Reizberufe 48%, der Reizmangelberufe 43%.

Der Unterschied ist nicht sehr gross, es drückt sich hierin eben die Tatsache aus, dass bei den Untersuchten Berufswahl und Konstitution nicht viel miteinander zu tun haben. Kräftige gab es jedoch bei den 18jährigen Burschen der Reizberufe 72%, bei den 18jährigen der Reizmangelberufe 37%.

In diesem gewaltigen Unterschied sehen wir den grossen Einfluss des Berufs auf die Konstitution. Dies war zu erwarten. Nun aber: was wird aus den kräftigen, was aus den schwächlichen Berufsanfängern, je nachdem ob sie einerseits in den Reizberufen, andererseits

in den Reizmangelberufen tätig waren? Jetzt wirkten sich die Vorteile der Methode der individuellen Weiterverfolgung der in den Beruf Eingetretenen während mehrerer Jahre aus. Von den schwächlich Eingetretenen wechselte in den Reizberufen ein $2\frac{1}{2}$ mal so grosser Anteil zu den Kräftigen hinüber als in den Reizmangelberufen. Es ist das nicht selbstverständlich. Die Reizberufe sind schwere Berufe im Vergleich zu den Reizmangelberufen. Vor nicht langer Zeit hätte man vermutet, dass ein schwerer Beruf einem Schwächlichen schaden könne; in Wirklichkeit aber fahren die Schwächlichen besser, wenn sie in einen schweren Beruf eintreten (Schiller: es wächst der Mensch mit seinen grössern Zwecken).

Kräftige traten in Reiz- und Reizmangelberufen mit gleichem *Kaupschen* Index an: 1,86, 1,87, entwickelten sich aber in den Reizberufen besser als in den Reizmangelberufen: 2,24, 2,09; die Differenzen betragen: 0,38, 0,22. Schwächliche traten in Reiz- und Reizmangelberufen mit ebenfalls nicht stark verschiedenem *Kaupschen* Index an: 1,64, 1,61. Auch sie entwickelten sich in den Reizberufen besser als in den Reizmangelberufen, aber nicht viel: 1,97, 1,90; Differenz: 0,33, 0,29.

Der Reizberuf regte also den Schwächlichen nicht derart an wie den Kräftigen. Daraus folgt, dass der Schwächliche weniger beeinflussbar ist durch von aussen kommende Reize als der Kräftige.

Nun war noch zu ermitteln, wie sich die Hemmung durch einen Reizmangelberuf auf Kräftige und Schwächliche auswirkt. Es zeigte sich, dass durch den Reizmangelberuf die Kräftigen mehr gehemmt werden als die Schwächlichen; die Kräftigen erreichten zwar absolut genommen eine grössere Körperbreite. Sie traten eben schon mit besserem Brustkasten in den Beruf, aber die Tendenz zu weiterer Verbesserung, wie sie im Reizberuf besteht, fiel weg. Die Schwächlichen hatten grössere Breitenzuwächse, auch ohne äusseren Reiz, lediglich durch endogene Wachstumsreize. Diese sind bei den früh entwickelten Kräftigen nur mehr geringer.

Was können wir aus diesen Untersuchungen schliessen? In Vergleich gesetzt sind zwei Gruppen von Berufsanfängern, junge Leute in Reizberufen und in Reizmangelberufen. Beide Gruppen hatten beim Eintritt in den Beruf gleiche Durchschnittswerte für ihre Breitenentwicklung, aber die eine Gruppe empfing dann durch ihren Beruf Reize für die Breitenentwicklung, die andere nicht. In beiden Gruppen waren Kräftige und Schwächliche. Es zeigte sich: die kräftig in den

Reizberuf Eintretenden entwickeln sich gut, natürlich; aber: die Breitenzuwächse der Kräftigen in den Reizmangelberufen waren recht gering, sie waren sogar geringer als die der Schwächlichen in den Reizberufen. Also: Erbmässige Anlagen kräftiger Konstitution setzen sich nur dann auch wirklich voll durch, wenn die Umweltbedingungen sie durch Reize zur Entwicklung bringen. *Lenz*, der Rassehygieniker, hat einmal die Befürchtung ausgesprochen, Leibesübungen und Militärdienstpflicht wären für die Rasse letzten Endes schädlich, denn sie verbesserten den Phänotyp des genotypisch Minderwertigen. Diese äusserlich tüchtig Aussehenden hätten dann Aussicht, genotypisch-tüchtige Mädchen zu ehelichen und Dank ihres eigenen schlechten Genotyps die Rasse zu verschlechtern. Die Bedeutung der Vererbung ist sicher sehr gross, aber ich glaube, wir sollen nicht übertreiben. Unterschätzen wir die Breitenwachstumsreize im Beruf oder als Ersatz dafür die Leibesübungen nicht, sie wirken als Konstitutionsverbesserer bei den Schwächlichen, aber mindestens ebenso wichtig sind sie als Erwecker der in den Kräftigen schlummernden körperlichen Entwicklungsmöglichkeiten.

Wir dürfen heute weniger denn je die Sorge für die Vollwertigen vernachlässigen; nicht ganz mit Unrecht wirft man unserer Zeit vor, dass sie den Schwächlichen und Minderwertigen ein Übermass von Fürsorge angedeihen lässt. Unter diesen Umständen ist es doppelt notwendig, dass die Entwicklungsmöglichkeiten, die in den genotypisch Wertvollen stecken, durch günstige Umweltbedingungen auch voll zur Auswirkung kommen.

Hand in Hand mit der gesteigerten Breitenentwicklung gehen erhöhte Wachstumsantriebe auf das Herz und die Lungen, die physische Wertigkeit des Gesamtorganismus wird dadurch gesteigert, die Abwehrkräfte erhöht. In einen Satz zusammengefasst: Umwelteinflüsse wirken stark modelnd auf die Konstitution des Jugendlichen und auf erbmächtig gut Veranlagte sind sie besonders wirksam, im fördernden und im hemmenden Sinne.

2. Über die Teilnahme von Glutathion bei Oxydationsvorgängen.

Von

Alfons Schöberl.

Das Studium von Verbindungen, deren Mitwirkung der Organismus zu wichtigen Lebensvorgängen bedarf, gewinnt heute erhöhtes Interesse. Langsam wächst die Zahl der Substanzen, denen man im Tierkörper eine gewisse Funktion zuordnen kann. Das Vorkommen von Sulfhydrylverbindungen im pflanzlichen und tierischen Organismus ist schon seit langer Zeit aus Untersuchungen von *Gola*, *Buffa*, *Heffter* und *Arnold* bekannt. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend gelang es dann *Hopkins* im Jahre 1921, den wichtigsten Träger der Sulfhydryl-(SH)-Gruppe, das Glutathion in Substanz aus Hefe, Muskel und Leber zu isolieren. SH-Gruppen sind im Organismus in löslichen Sulfhydrylverbindungen und in gewissen Gewebsproteinen enthalten. Glutathion ist im tierischen Organismus weit verbreitet. Auffallend hoch ist der Gehalt der Leber, die vor allem an der Durchführung von lebenswichtigen Oxydo-Reduktionsvorgängen beteiligt ist. Die Leber scheint das an Glutathion reichste Organ zu sein, dann folgen Niere, Gehirn und Muskel; auch im Blut ist es enthalten. Die Bedeutung, die man dem Glutathion bei wichtigen Lebensvorgängen im tierischen Organismus zuschrieb, bedingte eine intensive chemische Bearbeitung in den letzten Jahren. Auch in biologischer Hinsicht muss die jetzt mögliche Reindarstellung von SH-Glutathion in kristallisiertem Zustand als der grösste Fortschritt seit seiner Entdeckung und ersten Isolierung bezeichnet werden. Wir verdanken dies den Untersuchungen von *Hopkins* und seinen Schülern in England und von *Kendall*, *McKenzie* und *Mason* in Amerika. Es ist hier nicht der Ort, im Rahmen des gesteckten Zieles eine chemische Besprechung der Verbindung vorzunehmen. Nur soviel sei gesagt, dass Glutathion ein Tripeptid ist, welches sich aus den drei α -Aminosäuren Glutaminsäure, Cystein und Glycin aufbaut und für welches die Formel eines γ -Glutaminyl-cysteinyl-glycins als fast sichergestellt gelten kann. Zunächst soll hier versucht werden, an Hand von Modellversuchen die Rolle von Glutathion im Organismus programmatisch kurz zu beleuchten. Dabei konnten nicht alle Arbeiten Berücksichtigung finden, die sich

mit der Bestimmung von Glutathion im Organismus durch Untersuchung von Geweben und Gewebsflüssigkeiten befassen. Es scheint mir übrigens, dass für solche schwierige Untersuchungen an Geweben selbst unsere heutigen Bestimmungsmethoden von Glutathion noch zu sehr von störenden Einflüssen der Umgebung abhängen, was besonders aus einer Untersuchung von *Kühnau* hervorgeht. Untersuchungen über das Verhalten von Glutathion im Stoffwechsel sollten unbedingt durch Vergleich mit Untersuchungen an dem krystallisierten Präparat ergänzt werden.

Das Problem schien bis vor kurzem einfacher zu sein, als es sich jetzt darzustellen beginnt. Schon seit der Entdeckung des Glutathions wird die Frage nach der Teilnahme von SH-Verbindungen bei Oxydationen im Organismus durch molekularen Sauerstoff diskutiert, wobei die chemische Grundlage in der leichten Oxydierbarkeit der SH-Verbindung in nicht saurer Lösung zu dem entsprechenden Disulfid bestand. Man glaubte das Glutathion als Katalysator ansprechen zu dürfen, der den sonst so trägen molekularen Sauerstoff zu einem Teil seiner erstaunlichen Leistungen in Geweben befähigt, und es fehlte nicht an Stimmen in der Literatur, die die SH-Gruppe in den Mittelpunkt der Zellatmung stellen wollten. Bei der Sauerstoffübertragung auf Muskulatur unter dem Einfluss von Glutathion sollen vornehmlich die ungesättigten Fettsäuren des Lecithins als Substrate dienen, was den Bereich der Teilnahme der SH-Verbindung eigentlich schon sehr einschränkt. Die Deutung der katalytischen Wirkung von Glutathion verursachte von Anfang an Schwierigkeiten. Es war ausgeschlossen, eine einfache Übertragungskatalyse anzunehmen, derart, dass SH-Glutathion von molekularem Sauerstoff oxydiert wird und das Disulfid die Oxydationswirkung in den Geweben übernimmt. Das Disulfid kann nicht als Oxydationsmittel im üblichen Sinn gelten. Die Mitwirkung von Glutathion bei Oxydationen im Muskel schien vor allem aus einem Modellversuch hervorzugehen, der mit nicht einheitlichen Glutathionpräparaten zu einer Zeit ausgeführt wurde, als die Reindarstellung der Verbindung noch nicht bekannt war. Es zeigte sich, dass nach Zusatz von Glutathion in der Disulfidform zu einer wässrigen Suspension eines auf besondere Weise bereiteten Muskelpräparates („thermostable tissue preparation“ von *Hopkins*, „Alkoholpulver“ von *Meyerhof*) eine lebhafte Sauerstoffaufnahme einsetzte. Das Disulfid wird in einer solchen Umgebung sofort reduziert. Die Reduktion soll von SH-Gruppen ausgeführt werden, die dem Strukturverband des Proteins angehören und von *Hopkins* mit dem Namen „fixe SH-Gruppen“

belegt wurden. Da das so entstandene SH-Glutathion von molekularem Sauerstoff wiederum zum Disulfid oxydiert wurde, war damit die Grundlage eines sich stetig wiederholenden Wechselspieles gegeben. Die aufgenommene Sauerstoffmenge war viel grösser, als den vorhandenen SH-Gruppen entsprach. Es schien sich also zu bewahrheiten, dass der überschüssige Sauerstoff zur Oxydation von Proteinen auf diese Weise zur Verfügung gestellt wurde. Durch eine Untersuchung von *Harrison* wurde man auf eine mögliche Mitwirkung von Eisensalzen bei diesen Vorgängen aufmerksam. Die Sauerstoffaufnahme erreichte ihr Ende, als alle „fixen SH-Gruppen“ verbraucht waren. Proteine ohne „fixe SH-Gruppen“, wie z. B. natürliches Eier-Albumin, nahmen auch bei Anwesenheit von Glutathion keinen Sauerstoff auf. Die Modellversuche mit ungesättigten Fetten und ungesättigten Fettsäuren an Stelle des erwähnten Muskelpulvers liessen sich, was den Reaktionsmechanismus anlangt, nicht in der beschriebenen Weise behandeln. Es war selbstverständlich, dass alle diese mit nicht einheitlichen Glutathionpräparaten erhaltenen Ergebnisse von der *Hopkins*-schen Schule mit krystallisiertem Glutathion nachgeprüft wurden. *Meldrum* und *Dixon* haben sich dieser Aufgabe unterzogen. Es zeigten sich in der Tat einige besonders in biologischer Hinsicht bemerkenswerte Unterschiede. Vor allem ist krystallisiertes SH-Glutathion selbst in Gegenwart von Eisensalzen viel schwerer autoxydierbar. Die Oxydation soll nur von der Anwesenheit einer Substanz abhängen, die mit Metallen katalytisch wirksame Komplexe zu bilden vermag und auch in Lösungen von reinem SH-Glutathion in sehr geringer Menge vorhanden sein soll (wahrscheinlich Cysteinyl-glycin). Der grösste Unterschied aber bestand darin, dass reines Glutathion keine Sauerstoffaufnahme des erwähnten Muskelpulvers verursachen kann. Damit fallen alle Folgerungen, die man früher auf dem positiven Ergebnis aufbaute, in sich zusammen. Es verdient hervorgehoben zu werden, dass einer der wichtigsten Beweise für die Teilnahme von Glutathion an Atmungsvorgängen im tierischen Organismus nicht mehr aufrecht zu erhalten ist. Die Fähigkeit des Gewebes zur Reduktion von S-S-Glutathion wurde bestätigt. Dagegen wird die Autoxydation von reinem SH-Glutathion durch die Anwesenheit des Muskelpräparates sogar vollständig unterdrückt. Jedoch zeigte auch krystallisiertes SH-Glutathion bezüglich der Oxydation ungesättigter Fettsäuren durch molekularen Sauerstoff die gleiche katalytische Wirkung wie die ersten *Hopkins*-schen Präparate. Eine endgültige Formulierung über die Teilnahme von Glutathion bei Oxydationen im Organismus ist auf

Grund der bisher erhaltenen Resultate nicht möglich. Die sehr gründliche Untersuchung von *Meldrum* und *Dixon* scheint in dieser Beziehung besonders wichtig zu werden.

Nach Untersuchungen von *Voegtlin* kann Glutathion auch toxikologisch für den Organismus Bedeutung erlangen. SH-Verbindungen vermögen dem Körper injizierte Gifte zu entgiften. Über die Wirkung einiger Zellgifte wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Giftigkeit in der Ausschaltung von Glutathion aus dem Oxydations-Reduktions-Mechanismus bestünde. Es zeigte sich, dass Ratten bei Injektion sonst absolut tödlicher Mengen von Natriumarsenit und 3-Amino-4-oxy-phenyl-arsenoxyd am Leben erhalten werden können, wenn vorher SH-Glutathion im Verhältnis von 10 Mol auf ein Mol Arsenverbindung injiziert wird. *Voegtlin* nimmt an, dass Arsenderivate von Glutathion im Organismus gebildet werden, in denen das Arsen infolge andersartiger Bindung nicht mehr toxisch wirkt.

Untersuchungen der allerjüngsten Zeit zeigten schliesslich auch die Teilnahme von Glutathion an der enzymatischen Hydrolyse von Eiweissstoffen. Obwohl ein solcher Zusammenhang erst vor kurzem aufgezeigt wurde, dürften doch unsere Kenntnisse in dieser Richtung die experimentell am besten gestützte Beziehung zwischen Glutathion und einem wichtigen Lebensvorgang vermitteln. Man schreibt heute den sogenannten Kinasen, über die man chemisch bis vor kurzem noch nichts wusste, einen bedeutenden Einfluss auf die Regulierung der Abbauvorgänge im Organismus zu. Sie aktivieren die Proteinase der pflanzlichen und tierischen Zelle in ihrer Tätigkeit. Die Kinase des Pflanzenreiches heisst Phytokinase, die des Tierreiches Zookinase. Es ist schon längere Zeit bekannt, dass Blausäure und Schwefelwasserstoff auf die Proteinase dieselbe aktivierende Wirkung ausüben wie die natürlichen Aktivatoren. *Grassmann* und Mitarbeiter stellten fest, dass SH-Glutathion und Cystein genau so wie Blausäure und Schwefelwasserstoff Papain, die Proteinase der Hefe und das Kathepsin der Niere aktivieren, während die entsprechenden Disulfide keine Aktivierung verursachen. Sie hemmen dagegen ebenso wie Blausäure und Schwefelwasserstoff Di- und Polypeptidase der Hefe. Es besteht die Möglichkeit, dass die Wirkung all dieser Aktivatoren in der Wegnahme von Schwermetallgiften beruht. *Waldschmidt-Leitz* konnte die Zookinase aus Leber mit SH-Glutathion identifizieren, nachdem ihm die Abtrennung der Zookinase von der Proteinase gelungen war. Ein Zusammenhang zwischen Kinase und Glutathion war leicht zu vermuten, da die Leber besonders reich an Glutathion ist. Glutathion

ist in allen zookinasehaltigen tierischen Organen vorhanden. *Grassmann*, *v. Schoenebeck* und *Eibeler* haben schliesslich auch die Phytokinase der Hefe als SH-Glutathion erkannt. Die Wirkungsweise von SH-Glutathion auf die Hydrolyse von Eiweissstoffen tritt noch nicht klar zutage, da ein gewisser Gegensatz zwischen dem inaktiven Zustand der katheptischen Proteinase im lebenden Tierkörper und der heute trotz der entgegengesetzten Befunde von *Bierich* und *Kalle* vorherrschenden Meinung besteht, dass in lebenden Zellen das Glutathion hauptsächlich in der SH-Form vorliegt. Da Kinaseeigenschaft nur der SH-Verbindung, nicht aber dem Disulfid zukommt, ist das Verhältnis dieser beiden Formen in Organen von Wichtigkeit. Die aus diesem Grunde von *Grassmann* jüngst vermutete „zwangsläufige Koppelung der Atmung und der Proteolyse“ muss so lange Hypothese bleiben, bis der Nachweis der Teilnahme von Glutathion an der Atmung gelingt.

Einfache Modellversuche zur Klärung der Frage nach der Teilnahme von SH-Verbindungen bei Oxydationen mit molekularem Sauerstoff sind recht wenig ausgeführt worden. Da *Meyerhof* glaubt, dass bei der Sauerstoffübertragung auf Muskulatur hier vornehmlich die ungesättigten Fettsäuren des Lecithins als Substrate dienen, wurden vor allem Linolensäure, Linolsäure, Leinölsäure und das Lecithin selbst im Modellversuch studiert. Das Ergebnis der Untersuchungen lässt sich dahin zusammenfassen, dass die untersuchten SH-Verbindungen Glutathion, Cystein und Thioglykolsäure eine erhöhte Sauerstoffaufnahme der genannten Systeme bewirken. Die theoretische Erklärung, die *Meyerhof* zunächst der katalytischen Wirkung von SH-Verbindungen gab, erscheint vom chemischen Standpunkt aus recht unbefriedigend. *Meyerhof* nimmt intermediär die Bildung eines aktiven Peroxydes der SH-Verbindung an, das dann unter Rückbildung der SH-Verbindung als eigentliches Oxydationsmittel dem Substrat gegenüber dient. *Wieland* will die gefundene Beschleunigung der Sauerstoffaufnahme als Metallkatalyse aufgefasst wissen. Die Auswahl der im Modellversuch verwandten Substanzen kann, was die theoretische Klarstellung der katalytischen Wirkungsweise von SH-Verbindungen betrifft, nicht als sehr günstig bezeichnet werden. Es schien uns vor allem nötig, solche Oxydationen mit molekularem Sauerstoff aufzusuchen, die in einheitlichem Reaktionsverlauf zu einem einheitlichen Oxydationsprodukt führen und sich in homogener Lösung abspielen, selbst auf die Gefahr hin, dass man sich mit diesen beiden Forderungen zunächst von biologischen Versuchsbedingungen weit entfernen würde.

Uns diene als Modellversuch die durch Vermittlung eines Cuprisalzes bewirkte Oxydation von Leukomethylenblau durch molekularen Sauerstoff. Die vermeintliche Autoxydation von Leukomethylenblau ist in Wirklichkeit eine Metall-Katalyse und für die längst bekannte rasche Sauerstoffaufnahme von Leukomethylenblaulösungen sind Spuren von Kupfersalzen verantwortlich zu machen. Die Versuche mit Leukomethylenblau sollten uns, wie man an der angedeuteten Problemstellung sieht, nur als Mittel zum Zweck dienen. Methylenblau wurde schon häufig für biologische Modellversuche als Wasserstoff-acceptor verwandt. Die Auswahl eines Modellversuches mit Schwermetallkatalyse wurde veranlasst durch die Bedeutung, die der Mitwirkung von Schwermetallen, insbesondere von Eisen, bei Oxydationsvorgängen im Organismus heute zugeschrieben wird. Das Vorkommen von Kupfersalzen in Geweben ist lange bekannt und *Warburg* zeigte, dass diese sogar als regelmässiger Bestandteil im menschlichen Blutserum enthalten sind.

Zu den Versuchen wurden 50 ccm einer $\frac{\text{mol}}{100}$ essigsauen Leukomethylenblaulösung, worin 142,6 mg Leukofarbstoff enthalten waren, in Sauerstoff in einem Thermostaten von genau 19° lebhaft geschüttelt, so dass dauernde Sättigung der Lösung mit Sauerstoff gewährleistet war. Die Oxydation wurde durch Zugabe von Cupriacetat bewirkt, dessen Konzentration so gewählt wurde, dass eine lebhaft Sauerstoffaufnahme erfolgte. Cupriacetat war in allen Versuchen 2×10^{-5} -molar. Wegen der ausserordentlichen Empfindlichkeit der Oxydation des Leukofarbstoffes gegen Katalysatoren, mussten alle Lösungsmittel aus Quarzgefässen destilliert werden. Vor ihrer Verwendung wurden die Lösungsmittel mit Sauerstoff gesättigt. Wenn ein Mol Leukomethylenblau nur $\frac{1}{2}$ Mol Sauerstoff absorbiert, müssten 5,6 ccm Sauerstoff aufgenommen werden, bei einem Mol Sauerstoff dagegen 11,2 ccm. Die Versuche¹⁾ zeigten, dass der Leukofarbstoff ein Mol Sauerstoff absorbiert, so dass bei dieser Kupferkatalyse die Bildung von Wasserstoffsperoxyd angenommen werden musste. *Reid*, der sich gleichzeitig mit der vorliegenden Oxydation beschäftigte, hat Wasserstoffsperoxyd manometrisch und qualitativ nachgewiesen. Auf die Festlegung des Verlaufes der Sauerstoffabsorption im eigentlichen Modellversuch war besondere Sorgfalt zu verwenden, da mit ihm alle anderen Versuche mit Zusätzen der verschiedensten Art verglichen

¹⁾ Bezüglich der genauen Versuchsergebnisse siehe Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. **64**, 546 (1931).

werden mussten. Er wird im folgenden kurz als „Normalversuch“ bezeichnet. Die Oxydationsdauer im „Normalversuch“ beträgt 70 bis 80 Minuten, die Halbwertszeit (hier sind 5,6 ccm Sauerstoff aufgenommen) 19 Minuten. Der gesamte Sauerstoffverbrauch von 10,2 ccm bleibt hinter der einem Mol entsprechenden Menge von 11,2 ccm zurück. Es sind nur 91% des zuletzt genannten Volumens aufgenommen worden. Dies wird dadurch erklärt, dass Wasserstoffsuperoxyd Leukomethylenblau, wenn auch langsam, zu oxydieren vermag. Man hat also eine primäre und eine sekundäre Reaktion zu unterscheiden. Die primäre Reaktion besteht in der durch Cupriacetat bewirkten Übertragung von Sauerstoff auf Leukomethylenblau und daran schliesst sich als sekundäre Folgereaktion die Oxydation von noch vorhandenem Leukofarbstoff durch gebildetes Wasserstoffsuperoxyd an. Die aufgenommene Sauerstoffmenge hängt von dem Verhältnis der Geschwindigkeiten dieser beiden Reaktionen ab.

Die seit langer Zeit bekannte starke Aktivierung von Wasserstoffsuperoxyd durch Ferrosalze wurde zum indirekten Nachweis des gebildeten Wasserstoffsuperoxydes verwendet. Es wurde festgestellt, dass die Oxydation von Leukomethylenblau durch Wasserstoffsuperoxyd durch Ferrosalzzusatz ausserordentlich beschleunigt wird. Dies war die Veranlassung zur Wiederholung des „Normalversuches“ unter Zugabe von *Mohrschem* Salz. Das Ferrosalz bewirkte in der Tat eine Erhöhung der Geschwindigkeit der sekundären Reaktion und damit einen geringeren Sauerstoffverbrauch. In zwei Bestimmungen wurden nur 8,7 ccm Sauerstoff aufgenommen (= 78% des für ein Mol berechneten Sauerstoffvolumens), mithin 1,5 ccm weniger als im „Normalversuch“. Es ist nicht ausgeschlossen, dass auch bei anderen Oxydationen mit molekulärem Sauerstoff Kupfer und Eisen in ähnlicher Weise beteiligt sind. Die beiden Schwermetalle bewirken zusammen eine erhöhte „Sauerstoffausnutzung“. Die Cupriionen „aktivieren“ den molekularen Sauerstoff, die Ferroionen das Wasserstoffsuperoxyd.

Wird der Sauerstoffdruck dadurch verringert, dass man in Luft statt in reinem Sauerstoff arbeitet, erfolgt ebenfalls ein starkes Hervortreten der sekundären Oxydation, da die gesamte Oxydationsdauer sich erhöht. In einem solchen Versuch wurden nur 8,8 ccm Sauerstoff aufgenommen statt 10,2 ccm im „Normalversuch“. Was den Mechanismus der Katalyse betrifft, so sei hier nur gesagt, dass Cupriacetat vermutlich das eigentliche Oxydationsmittel ist.

Als nun nach der Klärung des Oxydationsverlaufes die Oxydation

von Leukomethylenblau unter Zusatz von SH-Verbindungen untersucht wurde, zeigte sich das überraschende Resultat, dass diese Verbindungen nicht nur keine Beschleunigung, sondern sogar eine ausgesprochene Hemmung der Sauerstoffaufnahme bewirken. Man hatte stark wirkende Antikatalysatoren gefunden. Bis jetzt sind SH-Glutathion, Cystein und Cysteinchlorhydrat untersucht, die ein völlig analoges Verhalten zeigen. Man darf hierin den Beweis erblicken, dass es sich um eine spezifische Wirkung der SH-Gruppe handelt. Die Reaktionsgeschwindigkeit eines Versuches ist durch möglichst viele Beobachtungen genau festgelegt worden. Um Einblick in den Mechanismus der hemmenden Wirkung der SH-Verbindungen zu erhalten, ist die Konzentration der Zusätze innerhalb weiter Grenzen in bezug auf die Katalysator-Konzentration variiert worden. Mit der Verringerung der Konzentration der SH-Verbindung nimmt auch die hemmende Wirkung ab. Dies zeigt am besten folgende Zusammenstellung über die Halbwertszeiten:

SH-Verbindung	Verhältnis der mol. Konzentration von SH-Verbindung zu Cupriacetat	100:1	10:1	5:1	2:1	1:1
Cysteinchlorhydrat . .	Halbwertszeit	sehr gross	135	84	36	22
Cystein	in	—	149	100	50	25
Glutathion	Minuten	sehr gross	107	—	44	—

Die im „Normalversuch“ ziemlich rasche Sauerstoffaufnahme kann durch Zusatz von SH-Verbindungen fast vollständig zurückgedrängt werden. Durch Änderung der Konzentration der SH-Verbindung besteht die Möglichkeit zur Einstellung einer bestimmten Reaktionsgeschwindigkeit.

Leider war das Bild der SH-Antikatalyse durch eine allerdings nicht ganz uninteressante Nebenreaktion gestört. Erwartungsgemäss nimmt die im „Normalversuch“ in der Zeiteinheit absorbierte Sauerstoffmenge mit fortschreitender Reaktion ab. Bei Versuchen mit Zusatz von SH-Verbindungen in wechselnder Konzentration nimmt dagegen die Reaktionsgeschwindigkeit ständig zu. Ganz besonders drastisch kommt die Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit nach anfänglich starker Hemmung der Oxydation in einem Versuch mit Glutathionzusatz zum Ausdruck, in welchem das molare Verhältnis von Glutathion zu Cupriacetat 10:1 betrug und der deshalb hervorgehoben sein mag. Hier sind in 70 Min., in welcher Zeit im „Normal-

versuch“ bereits vollständige Oxydation eingetreten ist, nur 1,4 ccm Sauerstoff aufgenommen worden. Dann setzt aber auch in diesem Versuch fast schlagartig eine starke Sauerstoffaufnahme ein, wobei die Reaktionsgeschwindigkeit des „Normalversuches“ bald erreicht wird. Glutathion vermochte also nur eine gewisse Zeit lang eine „konservierende“ Wirkung auszuüben.

Diese Geschwindigkeitszunahme im Laufe der Oxydation ist nur durch eine mit der Reaktion einhergehende Zerstörung des Antikatalysators zu erklären. Die allmähliche Ausschaltung der SH-Verbindungen bewirkt das während der Oxydation entstehende Wasserstoffsperoxyd. Der molekulare Sauerstoff kommt dafür nicht in Betracht, da SH-Verbindungen in saurer Lösung durch ihn nicht oxydiert werden. Die Einwirkung von Wasserstoffsperoxyd braucht nun nicht gleich zu einer Zerstörung des gesamten Moleküls zu führen, Wasserstoffsperoxyd greift vielmehr an der reaktionsfähigen SH-Gruppe an. Es erfolgt Oxydation der SH-Verbindungen zu den entsprechenden Disulfiden. So wird z. B. Cystein in essigsaurer Lösung bei gewöhnlicher Temperatur durch Wasserstoffsperoxyd rasch zu Cystin oxydiert. Die entwickelte Anschauung über die Ausschaltung des Antikatalysators fordert, dass die entstehenden Disulfide keine Hemmung der Oxydation bewirken dürfen. Es zeigte sich in der Tat, dass Cystin im Vergleich zu Cystein nur eine sehr schwache antikatalytische Wirkung ausübt. Bei einem Verhältnis der molaren Konzentrationen von Cystin zu Cupriacetat von 10:1 wurde eine Halbwertszeit von 22 Min. beobachtet, während die entsprechenden Werte für die Versuche mit Cystein bzw. Glutathion 149 bzw. 107 Min. sind. Die SH-Verbindungen können durch die störende Tätigkeit des Wasserstoffsperoxydes bei der Oxydation von Leukomethylenblau ihre volle Hemmungsfähigkeit nicht zeigen, wir halten diese jedoch auf Grund unserer Erfahrungen für sehr gross. Wasserstoffsperoxyd „vergiftet“ die Antikatalysatoren.

Zur Erklärung der SH-Antikatalyse kann man annehmen, dass die SH-Verbindungen die katalytisch wirksamen Cupriionen in einen Komplex einschliessen und so ihrer Tätigkeit entziehen. Eine noch vorhandene Restoxydation würde dann nur von der im allgemeinen geringen Dissoziation der entstandenen Komplexverbindung bedingt sein. Da es sich jedoch bei den Versuchen um sehr grosse Verdünnungen handelt, müssen hier die Komplexsalze weitgehend elektrolitisch gespalten sein. Diese Dissoziation muss den Bedingungen des chemischen Massenwirkungsgesetzes gehorchen, wonach eine Erhöhung

der Konzentration der SH-Verbindung eine Verringerung der Cuprionenkonzentration bewirken muss und umgekehrt. Diese Bedingung ist nun tatsächlich erfüllt, da mit steigender Konzentration der SH-Verbindung die Geschwindigkeit der Sauerstoffaufnahme fällt, mithin die wirksame Cuprionenkonzentration ebenfalls abnimmt. Für die gegebene Erklärung der SH-Antikatalyse sprechen Versuche mit Blausäurezusatz. Blausäure, deren komplexbildende Fähigkeiten bekannt sind, hemmt ebenfalls die durch Cupriacetat vermittelte Oxydation von Leukomethylenblau durch Sauerstoff.

Es ist beabsichtigt, die Teilnahme von SH-Verbindungen bei Oxydationen mit molekularem Sauerstoff an weiteren Beispielen zu studieren. Vor allem sollen auch biologische Oxydationsprozesse untersucht werden. Man wird wohl auch bei Diskussionen über die Rolle von Glutathion im Organismus auf die Eigenschaften von SH-Verbindungen, wie sie in den beschriebenen Modellversuchen zutage traten, zu achten haben. Die Annahme von *Krebs*, dass die aktivierende Wirkung derartiger Verbindungen auf die Proteasen auf der Ausschaltung von Schwermetallgiften unter Komplexbildung beruht, erfährt durch die vorliegenden Ergebnisse eine gewisse Stütze.

VERHANDLUNGEN
DER
PHYSIKALISCH-MEDIZINISCHEN
GESELLSCHAFT ZU WÜRZBURG
N. F. BAND 56 ≈ Nr. 2

SITZUNGS-
BERICHTE

VI.-XIII. SITZUNG



WÜRZBURG

VERLAG DER PHYSIK.-MED. GESELLSCHAFT

DRUCK UND KOMMISSIONSVERLAG DER
UNIVERSITÄTSDRUCKEREI H. STÜRTZ A. G.

1931

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<i>D. Ackermann:</i> Über das Arcain, eine bisher unbekannte tierische Base	68
<i>W. Linneweh:</i> Über das Verhalten des Arcains im Tierkörper	68
<i>Fritz Strieck:</i> Untersuchungen über die Perspiratio insensibilis	72
<i>Heinz Magendantz:</i> Zur Kenntnis der Perspiratio insensibilis	76
<i>Franz Termer:</i> Aufgaben und Ziele landeskundlicher Forschung im nördlichen Mittelamerika	79
<i>A. Wurm:</i> Stoff, Struktur und Bewegung der Erdkruste	98
<i>H. Rietschel:</i> Über Encephalitis postvaccinalis mit Krankendemonstration	99
<i>O. Popp:</i> Über die morphologische und funktionelle Bedeutung des Peritoneum und der Tela subperitonealis mit besonderer Berücksichtigung der konstruktiven Verhältnisse der Leberligamente. (Demonstration von Mikrophotogrammen.)	100
<i>Eichler:</i> Tonunterschiedsempfindlichkeit und Musikalität. (Mit Demonstrationen.)	101
<i>Otto Volk:</i> Über das Unendliche	102
<i>A. Kahlstorf:</i> Das Volumen des Herzens unter dem Einfluß körperlicher Arbeit	103
<i>Maria Schorn:</i> Über die Wirkung des Recresals auf die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit	105
<i>H. Rietschel:</i> Das Scharlachproblem	115
<i>D. Ackermann:</i> Über den biologischen Abbau des Arginins zum Citrullin	117

VI. Sitzung vom 21. Mai 1931.

1. Über das Arcain, eine bisher unbekannte tierische Base.

Von

D. Ackermann.

Der Bericht über diesen Vortrag befindet sich S. 48—51, Heft 1 des laufenden Jahrganges.

2. Über das Verhalten des Arcains im Tierkörper.

Von

W. Linneweh.

Das Arcain ist, wie aus dem vorhergehenden Vortrag hervorging, ein Tetramethyldiguanidin. Nach der Feststellung dieser Konstitution mußten wir an eine starke pharmakologische Wirksamkeit denken, da ja alle bekannten Guanidinderivate ohne Carboxyl- oder Carbonylgruppe mehr oder weniger giftig sind. Das bekannte Bild der Guanidinvergiftung ließ sich denn auch in noch viel stärkerem Maße als beim Guanidin selbst beim Arcain nachweisen.

Mäuse, denen eine Arcainlösung subcutan gespritzt wurde, zeigten nach kurzer Zeit Bewegungsunlust, dann eine steigende Unruhe, Lähmung der Extremitäten (zuerst hinten), beschleunigte Atmung (etwa 300—350 pro Minute), dann stark herabgesetzte Atemfrequenz (etwa 10 pro Minute), Dyspnoe (bei jedem Atemzuge wurde das Maul weit aufgerissen). Es traten klonische Krämpfe hinzu, meistens zuerst sichtbar an der Halsmuskulatur, oft aber auch Streckkrämpfe der Extremitäten. Auch beim Kaninchen konnten charakteristische Krämpfe beobachtet werden. Von dem Auftreten der ersten Symptome bis zum Tode vergingen viele Stunden je nach Dosierung. Nach einer

Gabe von 2 mg an eine etwa 20 g schwere Maus traten außer vorübergehender Freßunlust und Apathie keine äußerlich sichtbaren Symptome auf, während 2,5 mg schon tödlich wirkten. Diese Erscheinung, daß Dosen, die nur wenig kleiner sind als die letale, gar keine oder nur wenig sichtbare toxische Wirkung haben, scheint für Guanidinderivate charakteristisch zu sein. Die mit toxischen Dosen gespritzten Tiere bekamen alle oben erwähnten Symptome und starben bei 2,5 mg nach 15—16 Stunden, bei höheren Dosen entsprechend eher. Bei einem Kaninchen von 2,5 kg Gewicht wirken 200 mg bereits tödlich. Das Arcain ist also ungefähr doppelt so giftig, wie das Guanidin selbst.

Eine weitere Eigenschaft des Guanidins, nämlich die Fähigkeit, den Blutzuckerwert zu verändern, wurde von *Underhill* und *Blatherwick* (1) zuerst beobachtet bei Untersuchungen über den Zusammenhang der Guanidinkörper mit der Tetanie. Man hat ja oft versucht, die Tetanie auf eine Guanidinselbstvergiftung zurückzuführen. Noch weiter ging dann *Collip* (2), der die Guanidinkrämpfe direkt in Analogie setzte zu den hypoglykämischen Krämpfen, ja sogar vermutete, daß das Insulin eine Guanidinverbindung sei. Gleich nach der Entdeckung des Insulins stellte er aus allem möglichen, hauptsächlich pflanzlichem Material Extrakte her und beobachtete nach deren Darreichung eine Senkung des Blutzuckerwertes. Die wirksamen Substanzen nannte er, ohne sie zu kennen, Glukokinine. Die einzige bekannte Substanz dieser Art ist das 1914 von *Tanret* (3) im Gaisklee gefundene Galegin, ein Isoamylenguanidin. Die hypoglykämische Wirkung des Galegins wurde von *Müller* und *Reinwein* (4) nachgewiesen. Sie untersuchten eingehend die pharmakologische Wirkung und therapeutische Verwendbarkeit (5) dieses Körpers. Er wirkt bereits in einer Dosis von 2 mg pro Kilogramm Körpergewicht blutzuckersenkend.

Die ersten praktischen Schlußfolgerungen aus all diesen Untersuchungen zogen *Frank* und Mitarbeiter (6). Sie untersuchten einige Guanidinkörper auf ihre therapeutische Verwendbarkeit, ausgehend vom Agmatin, das ja bekanntlich in der belebten Natur vorkommt, und kamen so zu einem Körper, nach ihren Angaben ein Hexamethylenguanidin. Es erwies sich später als Dekamethylendiguanidin und wurde vor einigen Jahren als perorales Antidiabeticum unter dem Namen Synthalin in den Handel gebracht. Da sich bald die bekannten unangenehmen Nebenwirkungen, vor allem Leber- und Nierenschädigungen herausstellten, versuchte *Frank* diese zu vermindern durch Verlängerung der Kohlenstoffkette um zwei Glieder. Das so erhaltene Dodekamethylendiguanidin ist unter dem Namen Synthalin B im

Handel. Kumagai und Mitarbeiter (7), die gleichzeitig über die hypoglykämische Wirkung der Guanidine arbeiteten, wiesen dann allerdings nach, daß Synthalin B noch giftiger sei als Synthalin, daß überhaupt bei Verlängerung der Kette die Giftigkeit zunehme.

Eine ganz ähnliche Konstitution wie das Synthalin hat das jetzt im Tierreich aufgefundene Arcain. Es schien deshalb zweckmäßig, auch seine Wirkung auf den Blutzuckerwert kurz zu prüfen. Ein unreines synthetisches Präparat haben ja die Japaner in der Hand gehabt, konnten damit aber nur eine verhältnismäßig schwache Wirkung erzielen. Das reine Arcain ist annähernd so wirksam wie das Synthalin. Ich habe einige Versuche an Hunden und Kaninchen gemacht, die in folgenden Tabellen wiedergegeben sind. Die Analysen wurden ausgeführt nach der Methode von Hagedorn-Jensen.

Tabelle 1. Hund 9 kg.

nüchtern		4 mg/kg		10 mg/kg	
Zeit	% Zucker	Zeit	% Zucker	Zeit	% Zucker
7 ⁰⁰	0,108	9 ¹⁰	0,100	7 ⁰⁰	0,109
8 ⁰⁰	0,096	10 ¹⁰	0,095	8 ⁰⁰	0,104
9 ⁰⁰	0,108	10 ²⁰	← 4 mg/kg	9 ⁰⁰	0,102
10 ⁰⁰	0,110	11 ¹⁰	0,089	9 ¹⁰	← 10 mg/kg
11 ⁰⁰	0,104	12 ¹⁰	0,083	10 ⁰⁰	0,100
12 ⁰⁰	0,100	13 ¹⁰	0,075	11 ⁰⁰	0,079
13 ⁰⁰	0,103	14 ¹⁰	0,097	12 ⁰⁰	0,087
15 ⁰⁰	0,106	15 ¹⁰	0,106	13 ⁰⁰	0,100
16 ⁰⁰	0,101			14 ³⁰	0,105
17 ⁰⁰	0,100			15 ⁰⁰	0,096
18 ⁰⁰	0,106			16 ³⁰	0,096
19 ⁰⁰	0,102			17 ³⁰	0,090
21 ⁰⁰	0,102			18 ³⁰	0,095
				19 ³⁰	0,107
				20 ³⁰	0,105

Die kleinen Dosen von 2—10 mg pro Kilogramm wurden von den Tieren gut vertragen ohne die geringste Beeinträchtigung der Freßlust. Das Kaninchen, das viermal 20 mg pro Kilogramm bekam, wurde schon in der 8. Stunde nach der ersten Injektion sehr unruhig (bemerkenswert war die starke Polyurie), bekam dann nach 10 Stunden bei einem Blutzuckerwert von 0,039% klonische Krämpfe. Eine sehr frequente Atmung von ungefähr 150 pro Minute wechselte öfters ab mit einem eine halbe bis eine Minute dauernden Atemstillstand. Nach intravenöser Gabe von Traubenzucker stieg zwar der Blutzuckerwert auf fast 0,060%, die Erholung des Tieres war aber nicht entsprechend. Nach einer weiteren Stunde trat dann der Tod durch

Tabelle 2. Hund 7 kg.

nüchtern		3 mg/kg		5 mg/kg	
Zeit	‰ Zucker	Zeit	‰ Zucker	Zeit	‰ Zucker
8 ²⁰	0,091	7 ⁰⁰	0,097	6 ³⁰	0,103
9 ⁴⁵	0,081	8 ⁰⁰	0,096	8 ⁰⁰	0,093
10 ⁴⁵	0,084	9 ⁰⁰	0,092	8 ³⁰	← 5 mg/kg
11 ⁴⁵	0,086	9 ¹⁰	← 3 mg/kg	9 ⁰⁰	0,095
12 ⁴⁵	0,087	10 ⁰⁰	0,089	9 ³⁰	0,091
13 ⁴⁵	0,093	11 ⁰⁰	0,080	10 ⁰⁰	0,097
14 ⁴⁵	0,100	11 ²⁰	0,089	10 ³⁰	0,088
15 ⁴⁵	0,092	11 ⁵⁰	0,082	11 ⁰⁰	0,070
16 ⁴⁵	0,093	12 ²⁰	0,074	11 ³⁰	0,082
17 ⁴⁵	0,089	12 ⁵⁰	0,073	12 ⁰⁰	0,084
18 ⁴⁵	0,090	13 ²⁰	0,073	12 ³⁰	0,088
19 ⁴⁵	0,091	14 ²⁰	0,091	13 ⁰⁰	0,090
		15 ²⁰	0,091	13 ³⁰	0,092
		16 ²⁰	0,088	14 ⁰⁰	0,089
		17 ²⁰	0,090	15 ⁰⁰	0,086
		18 ²⁰	0,083	16 ⁰⁰	0,094
		19 ²⁰	0,091	17 ⁰⁰	0,084
		21 ⁰⁰	0,080	18 ⁰⁰	0,091
				19 ⁰⁰	0,087
				20 ⁰⁰	0,096

Tabelle 3. Kaninchen 2½ kg.

4 × 20 mg/kg					
Zeit	‰ Zucker	Zeit	‰ Zucker	Zeit	‰ Zucker
8 ⁰⁰	0,090	12 ³⁰	0,085	17 ⁴⁵	0,059
9 ⁰⁰	0,090	13 ⁰⁰	0,087	18 ¹⁵	0,042
9 ¹⁵	← 20 mg/kg	13 ³⁰	0,095	18 ⁴⁵	0,045
10 ⁰⁰	0,083	14 ⁰⁰	0,112	19 ⁰⁰	0,039
10 ¹⁵	← 20 mg/kg	14 ¹⁵	← 20 mg/kg		Krämpfe
10 ³⁰	0,078	15 ⁰⁰	0,093	19 ²⁰	← 0,5 g Trau-
11 ⁰⁰	0,075	15 ³⁰	0,074		benzucker
11 ³⁰	0,072	16 ⁰⁰	0,072		intravenös
12 ⁰⁰	0,081	16 ⁴⁵	0,059	19 ⁴⁵	0,058
12 ²⁰	← 20 mg/kg	17 ¹⁵	0,057	20 ¹⁵	0,044 tot

Atemstillstand ein. Der Zuckergehalt des sofort aus dem Herzen entnommenen Blutes betrug 0,042%. Die blutzuckersenkende Wirkung ist demnach also annähernd so stark wie die des Synthalins und des Galegins. Aus der Tabelle sieht man, daß man ebenso eine blutzuckersteigernde Wirkung erzielen kann durch Darreichung größerer Dosen, ganz wie *Reinwein* beim Galegin und *Frank* beim Synthalin angegeben haben. Die Ursache ist, wie *Müller* und *Reinwein* gezeigt haben, eine Sympathikusreizung. Diese Sympathikusreizung findet immer statt, auch bei kleineren Dosen. Ich habe einmal

die bekannte Sympathikusausschaltung durch Ergotamin versucht. Man bekommt dann auf Arcaingabe eine viel schnellere und tiefere Senkung des Blutzuckers.

Tabelle 4. Hund 7 kg nach Ergotamin.

5 mg/kg					
Zeit	% Zucker	Zeit	% Zucker	Zeit	% Zucker
8 ⁰⁰	0,068	10 ⁰⁰	0,079	13 ⁰⁰	0,076
8 ³⁰	0,075	10 ⁴⁵	0,062	13 ³⁰	0,078
9 ⁰⁰	0,071	11 ³⁰	0,048	15 ⁰⁰	0,084
9 ²⁰	← 5 mg/kg	12 ⁰⁰	0,044	16 ⁰⁰	0,084
9 ³⁰	0,081	12 ³⁰	0,052	17 ⁰⁰	0,082

Der Hund wurde drei Tage mit Gynergen (Ergotamintartrat) vorbehandelt durch Darreichung von $\frac{1}{4}$ mg zweimal pro die. Der normale Blutzuckerwert lag dann in der Höhe von etwa 0,070%, also durch Sympathikusausschaltung auf einem tieferen Niveau als gewöhnlich.

Man sieht also auch durch diese Versuche wieder bestätigt, daß eine Ähnlichkeit der Guanidinderivate in der Wirkung mit der des Insulins — wenn überhaupt — nur ganz entfernt besteht.

Auf den Blutdruck wirkt das Arcain senkend. Dieses steht im Gegensatz zu den meisten anderen Guanidinderivaten, stimmt aber überein mit dem Synthalin [*Junkmann* (8)], das gleichfalls zwei Guanidinkerne in einem Molekül hat.

Die Tatsache, daß das giftige Arcain gerade in einer Muschel gefunden wurde, läßt natürlich die Frage auftauchen, ob das Arcain nicht vielleicht bei den bekannten Muschelvergiftungen eine wesentliche Rolle spielen könnte. Schon *Brieger* (10) hatte ja aus Muscheln eine giftige Substanz isoliert, die er Mytilotoxin nannte. Mit dieser stimmt aber das Arcain in der Zusammensetzung nicht überein. Auch ist das Bild der Muschelvergiftungen ganz anders als das der Arcainvergiftung.

Eine Frage, die uns weiter noch interessierte, war die nach dem Schicksal des einem Tierkörper einverleibten Arcains. Bei einem Hunde, dem 1,5 g der freien Base in kleinen Dosen verabreicht wurde, und bei dem außer Freßunlust keine Symptome in Erscheinung traten, ließ sich ein großer Teil des Arcains im Harn wiederfinden, ebenso im Mäuse- und Kaninchenharn. Ob der im Körper zerstörte Teil durch Abspaltung von einem Molekül Harnstoff in Agmatin

verwandelt ist oder durch Abspaltung von zwei Molekülen Harnstoff in Putrescin, oder ob ein noch weiterer Abbau stattgefunden hat, konnte vorläufig nicht festgestellt werden.

Literatur.

1. *Underhill* and *Blatherwick*, Journ. of Biol. Chem. 1914. 18—19.
2. *Collip*, Ebenda, 1923, Bd. 5; Proceedings, Bd. 6, 513; Bd. 7, 65; Bd. 8, 163.
3. *Tanret*, Compt. rend. des sciences de la soc. de biol. 1914, 1182.
4. *Müller* und *Reinwein*, Arch. f. exper. Path. u. Pharm. 125, 212. 1927.
5. *Reinwein*, Münch. med. Wschr. 42, 1794. 1927.
6. *Frank*, *Nothmann* und *Wagner*, Klin. Wschr. 1926. 2100.
7. *Taizo*, *Kumagai*, *Sin-Iti*, *Kawai*, *Yoshio*, *Shikinami*, Proceed. of imperial. acad. Tokyo 4, 23. 1927.
8. *Junkmann*, Arch. f. exper. Path. u. Therap. 122, 185.
9. *Faust*, Tierische Gifte, S. 168. Braunschweig: Vieweg & Sohn 1906.
10. *Brieger*, Über Promaine, III, 76. Berlin: Hirschwald 1885.

3. Untersuchungen über die Perspiratio insensibilis.

Von

Dr. Fritz Strieck

Assistent der medizinischen Klinik.

Der unmerkliche Gewichtsverlust, die Perspiratio insensibilis, ist ein biologisches Phänomen, dessen Kenntnis schon sehr alt ist. Die ersten eingehenden Untersuchungen gehen auf *Sanctorius* zurück, dem auf Grund längerjähriger Beobachtungen an sich selbst ein großes Tatsachenmaterial zur Verfügung stand. Die Altmeister der Stoffwechselphysiologie *Voit*, *Pettenkofer*, *Atwater*, *Rubner* u. a. haben das Wesen der Perspiratio insensibilis genau erforscht. Es ist das Verdienst *Benedicts*, der schon vor langer Zeit durch Ausarbeitung besonderer Wägemethoden zahlreiche Fragestellungen bearbeitete, in der letzten Zeit erneut das Interesse auf dieses Gebiet der Physiologie gelenkt zu haben. *Schwenkenbecher*, *du Bois*, *Heller* u. a. wandten sich den pathologisch physiologischen Fragestellungen zu. In das Interesse des Klinikers wurde die Perspiratio insensibilis durch die von *Benedict* und seinen Mitarbeitern in den letzten Jahren gefundenen engen Zusammenhänge zwischen der Gesamtverbrennung in ruhendem und nüchternem Zustand und der Perspiratio insensibilis gerückt.

Unsere Untersuchungen, die in Gemeinschaft mit Herrn Professor *Urta* und Herrn cand. med. *Kraft* durchgeführt wurden, sind mit der von *Benedict* angegebenen Sauterwage, die eine Tragfähigkeit von 200 kg und eine Genauigkeit von 0,01 g hat, angestellt. Uns interessierte zunächst beim Hund die Frage, ob auch hier wie beim Menschen eine lineare Beziehung zwischen der Perspiratio insensibilis und dem Grundumsatz vorhanden ist. Wir gingen so vor, daß wir im *Grafeschen* Universalrespirationsapparat in langfristigen Versuchen bei geeigneten Hunden, die zu diesem Zweck dressiert werden mußten, den Grundumsatz und die spezifisch dynamische Eiweißwirkung prüften. Vor und nach den Untersuchungen wurden die Tiere gewogen. Wir fanden, daß ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Perspiratio insensibilis und dem Wert für den Sauerstoffverbrauch besteht. Die Kurve hat allerdings einen anderen Verlauf als die von *Benedict* für den Menschen angegebene. Auch die über die spezifisch dynamische Wirkung angestellten Versuche ergaben das gleiche Resultat. Die Perspiratio insensibilis ist die Summe des durch Haut und Lungen abgegebenen Wassers minus der Differenz der Werte für den eingeatmeten Sauerstoff und die ausgeatmete Kohlensäure. Beim Gesunden ist der letztere Wert größer. Beim Hunde liegen nun die Verhältnisse insofern anders als beim Menschen, als bei dem ersteren die Wasserabgabe durch die Haut praktisch keine Rolle spielt. Durch genaue anatomische Untersuchungen ist festgestellt, daß beim Hund echte Schweißdrüsen vorkommen, besonders an den Zehen. Es ist also möglich, durch einfache Wägung beim ruhenden und nüchternen Hund die Höhe der Gesamtverbrennung zu bestimmen. Durch gleichzeitige Bestimmung des Gaswechsels läßt sich die Größe der extrarenalen Wasserausscheidung bestimmen. Die Frage, ob sich beim Hund durch Feststellung der Perspiratio insensibilis die Werte für die Größe einer geleisteten Arbeit ermitteln lassen, konnte infolge technischer Schwierigkeiten bisher nicht beantwortet werden. Beim Menschen besteht hier unter gewissen Bedingungen wiederum ein Parallelismus zwischen Höhe der geleisteten Arbeit, bzw. dem Sauerstoffverbrauch und dem unmerklichen Gewichtsverlust. Die Voraussetzung für die Richtigkeit der Ergebnisse ist das Nichtschwitzen der Versuchsperson, da beim Schwitzen ja die Perspiratio insensibilis kein Ausdruck einer Teilerscheinung des Energieverlustes ist. Beim Schwitzen sind die Werte zu hoch, bei der Abkühlung zu gering.

Bei allen oben geschilderten Experimenten sahen wir, wie eng die Zusammenhänge zwischen der Gesamtenergieabgabe und der

61 593,0 Gewicht am 13. III.
60 263,5 „ „ 14. III.

1 329,5
+ 1 797,7 Nahrung und Flüssigkeit

3 127,2

- 2 186,0 Stuhl und Urin

941,2 g p. i. in 1494 Min.

= 37,8 g p. Std. = 1650 Kal.

Indirekte Kalorimetrie: 1661 Kal.

Bilanz.

Einfuhr 58 E 98 F 1763 Kal.
58 E 98 F 125 KH

A. Gewichtsänderung theor.

Kal.-Abgabe 1661
Kal.-Einfuhr 1763
Gewinn⁴-Kal. 102
E verbrannt 68,6
E eingeführt 57,9
Körperweiß 10,7
E-Kal. 387,6
KH-Kal. 500,8
888,4

Kal.-Abgabe 1661
E- und KH-Kal. 888,4

Kal. v. Fett 772,6 = 81 g

F der Nahrung 98 g

F gespeichert 17 g

Verlust 10,7 g E

32,1 g, E Wasser⁴

42,8 g Verlust

- 18,7 g Gewinn F + FW

24,1 g

B. H₂O der p. i.

Gewicht am 13. III. 61 593,0

Essen und Trinken 1 797,7

O₂-Gewicht 467,8

63 858,5

Gewicht am 14. III. 60 263,5

Urin und Stuhl 2 186,0

CO₂-Gewicht 518,1

62 967,6

63 858,5

- 62 967,6

890,86 g H₂O.

C. Wasserbilanz.

H₂O (Nahrung und Trinkfl.) 1456,2

Praef. H₂O 30,4

Oxydationswasser 189,9

1676,5

E × 41

F × 107

KM × 60

O₂-Berechnung.

E 58 × 1,38 = 94,668

F 98 × 2,86 = 231,66

KH 1,13 × 125 = 141,476

467,804 g O₂

CO₂

E × 1,46 100,156

F × 2,78 225,18

KH × 1,54 192,808

518,144 g CO₂.

Urin-H₂O 2132,66

Stuhl-H₂O —

H₂O p. i. 890,86

3023,52

- 1647,02

1347,02 Mehr-

abgabe von H₂O

Tatsächliche Gewichtsabnahme 1329,5

Vorausgesagt 24,1

Differenz 1305,4

1347,02

1305,4

41 g Differenz

Perspiratio insensibilis, die ja einen Teil derselben darstellt, sind. Der Gedanke lag nahe, diese durch zahlreiche Untersuchungen festgelegten Beziehungen auch auf den gesamten Umsatz Gesunder und Kranker über 24 Stunden auszudehnen. *Newbergh* und seine Mitarbeiter untersuchten zuerst im vergangenen Jahr diese Frage und zeigten, daß diese Gedankengänge in der Tat zu Recht bestehen. Es läßt sich, wie wir an vielen Untersuchungen zeigen konnten, mit Hilfe der Perspiratio insensibilis ein Schluß auf die Höhe der Gesamtverbrennung ziehen. Auch lassen sich aus der Kenntnis von Ein- und Ausfuhr sehr genaue Daten über die Stoffwechselforgänge und die Vorgänge im Wasserhaushalt gewinnen. Die Untersuchungen, die in ähnlicher Weise wie bei den Tierversuchen angestellt wurden, sind bei Gesunden und Fettsüchtigen durchgeführt. Ein Beispiel möge die Berechnung der Wasser- und Energiebilanz zeigen.

Die Bestimmung der Gesamtenergieabgabe im *Grafschen* Universalrespirationsapparat ergab 1661 Kalorien. Dieser Wert stimmt mit der durch die Ermittlung der Perspiratio insensibilis gewonnenen Zahl gut überein. Die Berechnung der Gewichtsänderung bedarf einiger Erklärungen. Bei einem Verlust von 10,7 g E ist die Tatsache, daß bei einer Verbrennung von 1 g Eiweiß etwa 300% Wasser, das physikalisch gebunden ist und frei wird, zu berücksichtigen. Ebenso ist beim Ansatz, bzw. beim Verlust von 1 g Fett ein 10% Wasseranteil zu berücksichtigen, der zu addieren, bzw. subtrahieren ist. In unserer Rechnung ergibt sich ein Gewichtsverlust von 24,1 g. Bei der Berechnung des Wassers der Perspiratio insensibilis kann man die Werte für den Sauerstoff, bzw. die Kohlensäure entweder durch Multiplikation der von *Lusk* angegebenen Zahlen für die einzelnen Nahrungsstoffe (O_2 für E = $E \times 1,38$ usw.) oder durch direktes Einsetzen der im Respirationsapparat gewonnenen CO_2 - und O_2 -Werte erhalten. Die Wasserbilanz gibt uns auf der einen Seite Auskunft über das zur Ausfuhr zur Verfügung stehende Wasser, auf der anderen Seite über die tatsächlich im ganzen ausgeschiedene Wassermenge. Das Oxydationswasser, d. h. das bei der Verbrennung der einzelnen Nahrungsstoffe freiwerdende Wasser wird mit Hilfe der in der Physiologie allgemein benutzten Werte $E \times 41$ usw. berechnet. Wir finden also eine Mehrausscheidung von Wasser von 1347 g, das aus Körpergewebe stammt. Diese Mehrabgabe von Wasser zeigt sich in der Differenz zwischen dem tatsächlichen Gewichtsverlust und dem vorausgesagten Wert. Die sich ergebende Differenz von 41 g liegt im Bereich der Fehlergrenze, da die Wassereinfuhrzahlen in der Nahrung nicht

analytisch bestimmt wurden, sondern nur nach den *Schall-Heislerschen* Durchschnittswerten errechnet wurden. Aus vorstehenden Untersuchungen geht hervor, daß die Untersuchung der *Perspiratio insensibilis* beim Menschen uns genauen Aufschluß über die Höhe der Gesamtenergieabgabe in 24 Stunden geben kann, wie die Kontrollen durch indirekte Kalorimetrie ergeben. Es lassen sich genaue Vorstellungen von Wasserhaushalt und dem intermediären Stoffwechselfvorgang machen. Erhöhte Bedeutung kommt diesen Ergebnissen beim Studium Stoffwechselkranker, insbesondere Fettsüchtiger zu. Die von uns in Reihenversuchen an Übergewichtigen gefundenen Resultate lassen sich in Übereinstimmung mit den Ergebnissen amerikanischer Forscher kurz folgendermaßen formulieren: Die Fettsucht ist bedingt durch die Diskrepanz zwischen der Gesamteinfuhr und der Gesamtenergieabgabe. Die Entfettung ist oft durch die Wasserretentionen gehemmt. Es kann theoretisch genau vorausbestimmt werden, wieviel eine Person bei gegebener Einfuhr abnehmen muß. Die theoretischen Werte stimmen, auf mehrere Wochen berechnet, mit den tatsächlichen Werten genau überein. Diese Methoden dürften auch bei der Erforschung von Fragen des Wasserwechsels und der Gesamtenergieabgabe beim Säugling eine große Bedeutung besitzen.

4. Zur Kenntnis der *Perspiratio insensibilis*.

Von

Dr. med. **Heinz Magendantz**.

Benedict und *Root* stellten 1926 die Abhängigkeit der Wasserdampf-abgabe durch Haut und Lungen (im folgenden kurz „*Perspiratio*“ genannt) von der Gesamtwärmeproduktion fest. Sie fanden, daß einer stündlichen *Perspiratio* von 14—58 g ein Grundumsatz von 900 bis 2275 Kal. entspricht.

Es fragte sich, ob hiermit ein einfaches klinisches Verfahren gewonnen war, Grundumsatzbestimmungen durchzuführen. Neben dieser Prüfung auf praktische Brauchbarkeit der Methode schien es von Interesse, etwa bestehenden Besonderheiten im Verhalten der *Perspiratio* bei verschiedenen Krankheiten nachzugehen.

In etwa 300 Wägungen an über 100 Personen wurde die *Perspiratio* pro Stunde bestimmt, wobei wir uns einer *Sauterwage* bedienten.

Nach Ermittlung der Perspiratio wurden die Kranken ins Gaswechsellzimmer gefahren und mit Hilfe des *Kroghs*chen Apparates der Grundumsatz bestimmt. Bei 97 Kranken ohne grobe Störungen im Wasserhaushalt fand sich 70 mal eine befriedigende Übereinstimmung (innerhalb 10% Abweichung) zwischen dem durch Bestimmung der Perspiratio nach der *Benedict-Roots*chen Tabelle ermittelten Grundumsatz und dem direkt im *Kroghs*chen Apparat bestimmten Wert. Bei den übrigen handelte es sich vielfach um nervöse, vasolabile, ängstliche Personen, für die schon die Tatsache einer Wägung unter nicht ganz alltäglichen Umständen genügte, um die Schweißsekretion auszulösen. Gerade bei Basedowkranken machte sich dieser Übelstand in besonders grober Weise fühlbar und nimmt hier, wo eventuell interessante Ergebnisse zu erwarten gewesen wären, den Befunden die Zuverlässigkeit.

Bei Fettleibigen fügte sich eine Anzahl in befriedigender Weise in die von *Benedict* und *Root* ermittelten Zahlen ein. Bei diesen handelte es sich um leichte bis mittelschwere Formen mit einem Übergewicht bis zu etwa 20 kg, klinisch meist typischen Mastfettsuchtsfällen. Bei 2 Fällen von hochgradiger Fettsucht war jedoch die Perspiratio im Verhältnis zum Grundumsatz sehr stark vermindert, um 27 bzw. 29%. Diese Kranken hatten in Beziehung zu den Standardwerten von *Harris* und *Benedict* noch einen normalen Grundumsatz. Ob die bei solchen Fettsüchtigen gefundene Verminderung der Perspiratio einen Schluß auf eine Störung in ihrem Energiehaushalt bzw. dessen Regulation erlaubt, müssen weitere Untersuchungen an solchen Kranken lehren. Man könnte zur Erklärung der gefundenen starken Verminderung der Perspiratio bei diesen endogen Fettsüchtigen auch an deren bekannte Neigung zur Wasserretention denken.

Aus den *Benedict-Roots*chen Zahlen ergibt sich, daß mit zunehmender Wärmeproduktion das Verhältnis zwischen Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung (Perspiratio) und durch Strahlung — Leitung sich zugunsten der Wasserverdunstung verschiebt. Wir errechneten aus diesen Zahlen, daß bei einer Wärmeabgabe von 1090 Kal. die Perspiratio mit 20 g zu 23,2% beteiligt ist, während bei einer Wärmeabgabe von 2025 Kal. die Perspiratio mit einem Stundenwert von 50 g 32% der Wärme abführt. Dieser Umstand erklärt auch, daß die *Benedict*sche Kurve nicht durch den Nullpunkt des Koordinatensystems geht. Durch die mit steigender Wärmeabgabe zunehmende Beteiligung der Perspiratio an der Gesamtwärmeabgabe erklärt sich der steile Verlauf der *Benedict-Roots*chen Kurve. Der Verlauf dieser Kurve beweist, daß es sich bei der Perspiratio nicht um einen einfachen,

rein physikalisch erklärbaren Vorgang, sondern um einen biologischen Regulationsmechanismus des Körpers handelt.

In anderen Untersuchungen wurde bei Kranken mit kardialen Ödemen durch genaue Körperwägungen, sowie ebenfalls auf das Gramm genaue Feststellung der gesamten Ein- und Ausfuhr fester und flüssiger Stoffe die 24stündige Perspiratio ermittelt. Mehrfach wurde bei solchen Kranken vor Einsetzen der Diurese beginnende Entwässerung durch entsprechend vermehrte Perspiratio beobachtet. Salyrganinjektionen steigerten bei Kranken mit kardialen Ödemen oft, nicht immer, die Perspiratio. Nach Ausschwemmung der Ödeme jedoch bewirkten Salyrganinjektionen meist Einsparung der Hautwasserabgabe zugunsten der Diurese.

VII. Sitzung vom 18. Juni 1931.

Aufgaben und Ziele landeskundlicher Forschung im nördlichen Mittelamerika.

Von

Franz Termer-Würzburg.

Wenn in der Gegenwart größere Expeditionen zu wissenschaftlichen Untersuchungen landeskundlicher Art nach fremden Ländern ausgesandt werden, so wird nicht mit Unrecht oft danach gefragt, ob denn geographisch überhaupt noch neue Ergebnisse im Sinne der älteren Forschungsreisen des vorigen Jahrhunderts eingebracht werden können. Die Vorstellung, daß eine geographische Expedition dazu berufen sein müßte, irgendwelche weiße Flecken auf den Karten zu tilgen, führt in den meisten Fällen zu dieser Fragestellung. Da sie auf ihnen in den letzten 50 Jahren bis auf Reste beseitigt worden sind, so sieht der Fernerstehende zunächst eine zwingende Notwendigkeit, größere Mittel zu neuen Unternehmungen bereit zu stellen, nicht gegeben. Man übersieht aber dabei, daß selbst die modernsten Kartenwerke überseeischer Länder hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Zuverlässigkeit leicht trügen können. Vielmehr verbirgt sich auf ihnen unter einer nach außen hin Vertrauen erweckenden Aufmachung oft ein recht dürftiger Inhalt, ohne daß, wie es nun einmal sein sollte und wie es immer von ernsthaften Kartographen und Geographen gefordert worden ist, der Grad der Zuverlässigkeit durch Angabe des benutzten Quellenmaterials und kritische Erläuterungen zu eigenen oder fremden topographischen Aufnahmen den Benutzern der Karten mitgeteilt würde. Von vornherein ist daher bei Reisen in Übersee damit zu rechnen, daß, ganz gleich welcher Art die speziellen Aufgaben der Reisen sind — botanischer, zoologischer, geologischer, geographischer, völkerkundlicher Art usw. — immer Gelegenheit gegeben sein wird, durch neue Aufnahmen des Geländes enger begrenzter Distrikte oder ganzer Gebiete erhebliche Verbesserungen des Kartenmaterials beizubringen.

Die moderne geographische Forschung verlangt aber über die rein speziellen Untersuchungen irgendwelcher Teilgebiete der physischen

und Anthropogeographie hinaus eine allgemein landeskundliche Synthese des betreffenden Gebietes, die, je nach dem einzelnen Lande verschieden, womöglich auch den Menschen stärker berücksichtigen und daher unter Umständen sich auch auf völkerkundliche Forschungen erstrecken muß. Nur dort, wo schon auf Grund längerer Studien eine solche Synthese vorgenommen worden ist, kann gefordert werden, daß ganz bestimmten speziellen Forschungsaufgaben nachgegangen wird, etwa Problemen morphologischer Art, klimatischen Erscheinungen, Fragen der Pflanzengeographie u. ä., deren Ergebnisse, gewöhnlich erst in den großen Rahmen regionaler Verbreitung oder Anordnung eingespannt, allgemeine Bedeutung erlangen.

Würde man sich der Mühe unterziehen, daraufhin die einzelnen Erdteile zu überprüfen, so würde sich zeigen, daß in allen landeskundliche Forschungen noch zur Genüge anzustellen sind. Greifen wir hier allein nur das spanische Amerika heraus, so werden wir in Süd- und Mittelamerika fast in allen Ländern auf recht beträchtliche Lücken in der modernen länderkundlichen Forschung stoßen. Südamerika ist dabei noch besser gestellt als Mittelamerika. Denn in den südlichen Staaten Südamerikas besitzen wir recht wertvolle landeskundliche Darstellungen, finden wir in Chile, in Argentinien, in Paraguay, Teilen Brasiliens und in einigen Provinzen Perus, sowie in Ecuador vortreffliche den heutigen Anforderungen entsprechende Werke, die durch mehr oder weniger umfassende kartographische und geologische Teilarbeiten unterstützt werden. Dennoch stehen diesen Gebieten noch sehr weite Strecken gegenüber, in denen die landeskundliche Forschung über die Anfänge noch nicht hinausgekommen ist. Besonders bemerkbar tritt dieses in Mittelamerika hervor, von dem wir weder eine zusammenfassende allgemeine Länderkunde¹ noch irgendeine spezielle Landeskunde eines seiner Staaten besitzen. Wenn jene Gebiete heute weniger bekannt geworden sind, als etwa gewisse größere Abschnitte des andinen Südamerika oder als Patagonien, Argentinien, Chile, so ist das nicht so sehr auf die schwierigeren Geländebeziehungen, die klimatisch ungünstigeren Bedingungen, erschwerte Verkehrsbeziehungen zurückzuführen, als vielmehr gewissen geschichtlichen, politischen und wirtschaftlichen Ereignissen und Umständen zuzuschreiben, die gerade in Mittelamerika die Forschung gehemmt haben und heute noch hemmen. Als Beispiel dafür diene nur der Hinweis, daß im Jahre 1926 die Regierung der Republik Honduras eine eingehende Erforschung der kaum bekannten

¹ Nur in französischer Sprache erschien bis jetzt eine vortreffliche Darstellung: *Max Sorre, Mexique, Amérique Centrale. Paris 1928.*

Landesteile der Mosquitoküste und ihres Hinterlandes in die Wege leiten wollte, zu deren Teilnahme ich aufgefordert wurde. Eine plötzlich ausbrechende Revolution warf alle guten Vorsätze über den Haufen, was in diesem Falle um so bedauerlicher war, als wir außer einem kurzen Bericht aus den 40er Jahren des 19. Jahrhunderts und älteren Mitteilungen spanischer Missionare aus dem 17. Jahrhundert keine Mitteilungen über die geographischen Verhältnisse jener Gebiete besitzen¹.

Es ist nicht zu leugnen, daß häufig in den mittelamerikanischen Ländern und in Mexiko die Regierungen Pläne zur Erforschung gefördert haben. So besitzt Mexiko in dem geographischen Institut in Tacubaya und in seinen wissenschaftlichen geographischen Gesellschaften Zentren für landeskundliche Forschung, die schon wertvolle Arbeiten geleistet haben. *Guatemala* hat die Absicht, die einzelnen Departamentos in Monographien darstellen zu lassen, von denen bisher 4 erschienen sind².

In der Republik El Salvador ist eine ähnliche Landeskunde in Form von Monographien der Departamentos zum größten Teil durchgeführt worden. Dazu treten in Guatemala und Honduras geographische Gesellschaften, in Guatemala-Stadt die „Sociedad de Geografía é Historia de Guatemala“, in Tegucigalpa die „Sociedad de Geografía é Historia de Honduras“, die beide fortlaufend Zeitschriften herausgeben³. Nur El Salvador entbehrt einer wissenschaftlichen geographischen Gesellschaft, und die im Jahre 1925 ins Leben gerufene „Revista de Etnología, Arqueología, y Lingüística“ ist über den ersten Band nicht hinausgekommen. An ihre Stelle trat seit 1930 die „Revista del Departamento de Historia“, die, wie der Titel schon besagt, sich nicht auf geographische Untersuchungen bezieht.

Nimmt man Einblick in die oben genannten Periodica, so fällt die

¹ Bericht über die im höchsten Auftrage Sr. Königl. Hoheit des Prinzen Carl von Preußen und Sr. Durchlaucht des Herrn Fürsten von Schoenburg-Waldenburg bewirkte Untersuchung einiger Teile des Mosquitolandes, erstattet von der dazu ernannten Commission. Berlin 1845. Geographisch wichtige Angaben finden sich in den Berichten des 8. Bandes der „Colección de libros y documentos referentes ó la Historia de América“, der den besonderen Titel trägt „Relaciones históricas y geográficas de América Central“. Madrid 1908.

² *Adrian Recinos*, Monografía del Departamento de Huehuetenango, República de Guatemala. Guatemala 1913. — *Manfredo L. Deleon*, Monografía del Departamento de Quezaltenango. Quezaltenango 1925 (dürftig). — *J. Antonio C. Villacorta*, Monografía del Departamento de Guatemala. Guatemala 1926. — *José Archila Lemus*, Monografía del Departamento de Zacapa. Guatemala 1928.

³ *Anales de la Sociedad de Geografía é Historia de Guatemala*, seit 1924 erscheinend. — *Revista del Archivo y Biblioteca Nacionales de Honduras*. Organon de la Sociedad de Geografía é Historia, seit 1922 erscheinend in Tegucigalpa.

starke Betonung der historischen und archäologischen Forschung auf. Geographische Aufsätze sind kaum vorhanden, und wenn sie aus der Feder landeseinheimischer Autoren stammen, behandeln sie den Stoff nach der alten rein aufzählenden Methode, ohne sich auf genetische Probleme oder ursächliche Verknüpfung geographischer Erscheinungen einzulassen. Die Kenntnis von den Fortschritten der modernen geographischen Methodik und die Erfassung der modernen Probleme innerhalb der physischen und Anthropogeographie ist kaum bis jetzt nach jenen Ländern vorgedrungen, geschweige, daß sie auf den Landesuniversitäten gelehrt würde. Vielmehr wird dort die Geographie vom rein praktischen Standpunkt bewertet und findet daher ihre Behandlung als Lehr- und Unterrichtsfach an den Hochschulen in Verbindung mit den Ingenieurwissenschaften.

Infolgedessen wird die sich auf topographische Aufnahmen und Vermessungen beschränkende geographische Arbeit von Ingenieuren und Landmessern verrichtet. Wir verdanken ihnen zum Teil recht wertvolle, nach den gegebenen Umständen zu bewertende kartographische Arbeiten. *Santiago Barberena* entwarf eine Karte der Republik El Salvador, die freilich heute in vielfacher Hinsicht verbesserungsbedürftig ist und, soweit ich unterrichtet bin, in naher Zukunft von einer neuen Karte im offiziellen Auftrag der Regierung abgelöst werden soll. *Francisco Vela* in Guatemala konstruierte das lehrreiche Relief dieser Republik, das als ein vorzügliches Bildungsmittel für weite Kreise der Bevölkerung bewertet werden muß. An öffentlichem Platze, im Hippodrom der Hauptstadt aufgestellt, ist es immer von Schaulustigen, Erwachsenen und Kindern, umlagert. Kleinere Reliefs sah ich in Antigua. Schließlich verdanken wir dem Ingenieur *Claudio Urrutia* eine im Jahre 1923 erschienene Karte von Guatemala, die allerdings in Einzelheiten nicht zuverlässig ist, aber immerhin an einigen Punkten Verbesserungen gegen ihre Vorgänger bringt. Vor kurzem hat die Regierung noch die Herausgabe einer Karte des nordöstlichen Teiles von Guatemala gefördert, nachdem die Grenzstreitigkeiten mit Honduras eine Spezialkarte jener Landesteile wünschenswert erscheinen ließen. Sie lehnt sich an die Katasterpläne an und zeichnet den Lauf des Motaguafusses mit einigen Verbesserungen gegen früher. Sonst aber verwertet sie keine neuen Aufnahmen¹.

¹ Vgl. *K. Sapper*, Der gegenwärtige Stand der kartographischen Darstellung Mittelamerikas (*Hermann Wagner-Gedächtnisschrift*, 1930, S. 65—73). — Mapa Catastral de la Region Nordeste de la República de Guatemala, C. A. en Escala de 1 á 200000, compilado por la Comision de Limites Año de 1929.

Wenn man nun auf Grund dieser Tatsachen der Meinung sein könnte, als wenn das Kartenwesen in unseren Gebieten besonders gefördert worden wäre, so wird eine derartige Ansicht bald korrigiert werden müssen, sowie man sich in die Einzelheiten des Studiums der Karten womöglich an Ort und Stelle vertieft hat.

Die Grundlagen aller neueren Kartenwerke über das nördliche Mittelamerika bilden die Karten von *K. Sapper*, sowie die Blätter der von der internationalen Eisenbahnkommission in den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts erfolgten Vermessung einzelner Teile von Guatemala und El Salvador. Alle Nachfolger haben sie ihren Karten zugrunde gelegt, ohne immer mit der gebotenen Gewissenhaftigkeit ihre Quellen anzugeben. Beide Kartenwerke benutzen fast ausschließlich Rutenaufnahmen zur Konstruktion und passen sie in ein nicht sehr dichtes, aber doch ausreichendes Netz astronomisch bestimmter Positionen ein, so daß immerhin eine gewisse Genauigkeit der Lage der Mehrzahl der Orte erreicht worden ist. Die Geländezeichnung arbeitet mit Höhenlinien, die fast ausschließlich „Gefühlisohypsen“ sind. Auch die Blätter der internationalen Eisenbahnkommission machen davon keine Ausnahme, geben aber dennoch wie *Sappers* Geländezeichnung ein recht zutreffendes Bild. Hierin unterscheiden sie sich vorteilhaft von späteren Karten, so besonders auch der von *Urrutia*, die oft außer falscher Ortslage ganz willkürliche Höhenlinien zeichnet. Sie machen den Eindruck einer freien Konstruktion am Zeichentisch. Im Jahre 1927 erschien endlich noch eine neue Karte von Britisch Honduras von *G. A. Elliott* im Maßstab 1:1 Million¹, die das Gelände gegen frühere Darstellungen verbessert.

Es ist selbstverständlich, daß alle diese Karten unvollkommen sind. Größere Flächenstücke bleiben immer noch fraglich, wie etwa Teile im Hochlande Westguatemalas, der ganze Nordwesten der Republik, ihr Abfall gegen das Tiefland der atlantischen Niederung, ganze Gebirge wie die unbesiedelte Sierra de las Minas, Sierra de Santa Cruz, der Cerro San Gil, die Sierra del Espíritu Santo, Sierra de la Grita und del Merendón. Dazwischen gibt es wieder kleinere Stücke, wie im Kettengebirge Mittelguatemalas, die noch genauerer Aufnahmen harren, und kaum bisher aufgenommen wurde die pazifische Abdachung des östlichen Guatemala zwischen dem Rio Michatoya und der Grenze von Salvador. Besonders mangelhaft ist der genauere Verlauf der Flüsse bekannt, die daher bis auf wenige wie der Rio Cuilco (auf-

¹ *G. A. Elliott*, *Geographical Journal* LXX (1927) bei S. 416.

genommen von der internationalen Eisenbahnkommission) eigentlich gestrichelt wiedergegeben werden müßten. Wenn es nicht geschah oder geschieht, so ist außer der Scheu der betreffenden Konstrukteure vor allem das Bestreben der kartographischen Anstalten dafür verantwortlich zu machen, die auf Kosten wissenschaftlicher Exaktheit dem Wunsche der Abnehmer aus geschäftlichen Gründen entgegenkommen. Freilich wäre es heute ein Leichtes, mittels Flugzeugaufnahmen gerade das hydrographische Netz des nördlichen Mittelamerikas aufzunehmen, und es ist nicht ausgeschlossen, daß solche Aufnahmen bereits auch durch vereinstaatliche Flugzeuge gemacht worden sind. Dann aber sind sie nicht für die Öffentlichkeit bestimmt und schlummern in irgendwelchen Archiven zu Washington.

So besteht denn ein gewisses Bedürfnis nach weiterer Verbesserung des Kartenmaterials über das nördliche Mittelamerika. Als ich daher den Auftrag der geographischen Gesellschaft in Hamburg zu Reisen in Guatemala übernahm, war es eine meiner Aufgaben, diesem Bedürfnis zu entsprechen und Material zu einer neuen Karte von Mittel- und Südguatemala zusammenzutragen. Auch dabei wurde die Rutenaufnahme gewählt, weil sie in dem unübersichtlichen Gelände immer noch die praktischste Methode ist. Ich wählte vornehmlich den Nordwesten Guatemalas und nahm so zum erstenmal während zweier Reisen durch die Altos Cuchumatanes 1926 und 1927 diese Gebirge auf. Ebenso ergänzte ich durch neue Aufnahmen das Material für Westguatemala, legte Ruten durch die zentralen Gebirge der Gegend von Rabinal und Cubulco, konnte zum erstenmal auch die Zona Reina in Nordguatemala durch zwei Ruten erschließen und unternahm 1928 eine Durchquerung des Cerro San Gil vom Rio Dulce zum Motagua-Tale, die erstmalig die inneren Partien dieses unbewohnten Waldgebirges kennen lehrte. Die Konstruktion der neuen Karte ist inzwischen soweit vorgeschritten, daß das 1. Teilblatt im Entwurf fertig gestellt ist. Es umfaßt das nordwestliche und westliche Guatemala von der mexikanischen Grenze bis zu einer Linie Cancuën-Tucurú-Sansare in der west-östlichen Erstreckung und von der mexikanischen Grenze im Norden bis zu einer Linie von Ocós nach Mataquescuintla im Süden. Der Maßstab ist 1:300 000; die Höhenlinien verlaufen im Abstand von 250:250 m. Die Höhen sind nach früheren Messungen *Sappers* und der internationalen Eisenbahnkommission, sowie nach eigenen Aneroid- und Siedepunktsbestimmungen eingetragen. Die Karte ist farbig angelegt, so daß die einzelnen Höhenstufen plastisch hervortreten. Das 2. Teilblatt, das eben in Arbeit befindlich ist, wird noch

Teile des westlichen Honduras umfassen, in dem ich gleichfalls auf einer Reise 1928 eine Route von Copan nach Erandique und Sensuntepeque-San Vicente in Salvador aufnahm.

Wenn auch diese Karte erhebliche Ergänzungen zu den früheren bringen wird, so bleibt dennoch späterer kartographischer Arbeit im nördlichen Mittelamerika manches zu tun übrig. So harret noch die Sierra de las Minas einer Aufnahme, die Gebiete zwischen dem Chixoy-Fluß und dem Ixcán einerseits, dem Lacantun-Fluß und der Gebirgsabdachung der Cuchumatanes andererseits müssen noch erkundet werden¹, auch eine Aufnahme der Grenzdistrikte zwischen Guatemala und Honduras ist dringend erforderlich. Wenn sie nicht vorgenommen werden konnte, so waren daran die politischen Verhältnisse gerade während meines Aufenthaltes schuld. Im Gegensatz zu Kartenaufnahmen unserer europäischen Kulturländer macht sich in den behandelten überseeischen Gebieten auch der Umstand erschwerend bemerkbar, daß die Wege häufig verlegt werden, was aber nicht von vornherein bekannt ist, sondern worauf man mehr durch Zufall bei Bereisung der betreffenden Gebiete erst aufmerksam wird. So sind z. B. viele Wege in der Alta Verapaz seit der Konstruktion von *Sappers* Karte im Jahre 1900 heute aufgegeben worden. Die Karte ist daher im Wegenetz heute verbesserungsbedürftig.

¹ *Adrian Recinos* erwähnt in seiner Beschreibung des Departaments Huehuetenango eine Expedition von *Otto Preiser* im Jahre 1899, die den Rio Ixcán und Lacantun in 7 Tagen von San Jorge bis zur Mündung des letzteren in den Rio Usumacinta befuhr (vgl. das S. 16 in Anm. 2 genannte Werk, S. 24 und 219). Die damaligen Ergebnisse sollten niedergelegt sein in dem „Expediente relativo á la navegación del río Ixcán, del Ministerio de Fomento, 1899. Nachforschungen nach diesem Dokument in der Hauptstadt Guatemala blieben erfolglos. Es befindet sich vielmehr in diesem Ministerium nur folgendes Schriftstück: „Acuerdo del Presidente de la República de fecha 3 de Marzo de 1909 autorizando al Ministerio de Fomento que gestione la navegación del Río Ixcán en el Departamento de Huehuetenango para el comercio en el interior de la República en los terrenos de los herederos de Florencio Villatoro á ocho leguas de Barillas. Se acompañan un plano y dos fotografías: una del río y otra de un rancho.“ Ferner besitzt dieses Ministerium in seinen Akten noch ein „Decreto Gubernativo No. 694 del 25 de Febrero de 1909 habilitando para puerto fluvial el río Ixcán en el lugar denominado San Jorge á la márgen izquierda de dicho río.“ Herr Dr. *H. Goebel* in Guatemala-Stadt hatte die Liebenswürdigkeit, sich nach diesen Schriftstücken zu erkundigen und teilte mir mit, daß damals Vermessungen anscheinend nicht vorgenommen worden sind, sondern daß als Grundlage für die Untersuchungen die älteren Karten von Guatemala dienten. Für seine freundlichen Bemühungen spreche ich Herrn Dr. *Goebel* an dieser Stelle meinen wärmsten Dank aus.

Ziehen wir also die Folgerung aus dem Vorhergehenden für die zukünftigen Aufgaben der Kartographie im nördlichen Mittelamerika, so liegen sie einmal in der Bestimmung astronomischer Positionen von Orten in den zentralen und nördlichen Gebieten Guatemalas, in Honduras und Chiapas, zum anderen in der Ergänzung des Rutenetzes der Grenzgebiete von Guatemala und Mexiko, wo bisher nur der Grenzverlauf selbst festgelegt wurde; ferner in Chiapas in dem Gebiet östlich von Comitán, besonders am Rio Jataté und in dem „Desierto“. Weiterhin bedarf die Sierra de las Minas einer Aufnahme, zumal ich selbst nur ihren westlichen Teil von Chilascó gegen das Motagua-Tal abgelaufen habe. Freilich wird gerade dieser Aufnahme das außerordentlich schwierige Gelände im Wege stehen. Denn nicht nur der Abfall des Gebirges nach dem Polochic-Tal ist außerordentlich schroff und unwegsam, sondern auch das Innere scheint nach einem günstigen Fernblick, den ich von Actelá am Nordabhang des Polochic-Tales gewinnen konnte, von tiefen, steil geböschten Tälern stark zergliedert zu sein. Vor langen Jahren gab es noch einen Saumpfad, der von Zacapa nach dem Polochic das Gebirge überquerte. Ihn erwähnt *Bernouilli*¹, und nach einer mündlichen Mitteilung von Herrn Prof. *Sapper* bestand er noch (als „Camino de las flautas“) in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts, ohne allerdings benutzt zu werden.

Anschließend folgt die Sierra del Mico, die in dem Cerro San Gil gegen den Golf von Amatique abbricht. Auch dort ist an Aufnahmen außer der Festlegung des alten Handelsweges von Izabal nach Los Amates und meiner Wegroute von Bacadilla am Rio Dulce nach Cayuga im Motagua-Tal bisher nichts erfolgt. Letztere, die erst durch Wegschlagen im Urwalde möglich war, verläuft etwas westlich von der Haupterhebung, die ich in dem unübersichtlichen Gelände verfehlte². Es wäre zu wünschen, daß in Zukunft eine Durchquerung des Gebirges etwa vom Südufer des Golfete gegen Santo Tomás hin unternommen würde. Wichtige Aufnahmen sind endlich im Bereich der Republik Honduras noch vorzunehmen, nicht nur in den Grenzgebirgen gegen Guatemala, sondern auch in den inneren Landesteilen, vor allem in der Mosquitia und im Hinterland des Küstengebirges. Salvador dagegen hat ein verhältnismäßig dichtes Rutenetz, das kleinere Ergänzungen in den nördlichen und östlichen Departamentos erfordert.

¹ In Petermanns Mitteilungen 1875, S. 333f.

² *F. Termer*, Reiseberichte über Mittelamerika. VII. In den Gebirgen des nordöstlichen Guatemala (Mitt. der geogr. Ges. in Hamburg 41, 1930, S. 11f.).

Die Aufmerksamkeit wäre auch auf eine genauere Aufnahme des Hinterlandes der Fonseca-Bai zu richten.

Betrachten wir die physisch-geographische Erforschung des nördlichen Mittelamerika, so verdanken wir vor allem *K. Sapper* das Grundgerüst unserer Kenntnisse, wobei aber nicht der Arbeiten der französischen Geologen *Dollfus* und *Montserrat* und der Studien *K. von Seebachs* vergessen werden darf, die als erste zuverlässige Mitteilungen über den geologischen Aufbau eines größeren Teiles von Guatemala und El Salvador gaben¹. *Sappers* geologische Aufnahmen und Karten erstrecken sich über das gesamte nördliche Mittelamerika und sind bis heute nicht übertroffen worden. Kleinere Teiluntersuchungen wie etwa die von *Sidney Powers* oder kurze Notizen von *Ch. Stevens* haben nur einen begrenzten Wert und sind ohne Einfluß auf das Gesamtbild des geologischen Aufbaues, während die Studien von *Wadell* neue Einblicke in die physisch-geographischen Verhältnisse des Petén verschafft haben². Der weitere Ausbau der geologischen Erforschung hat in unseren Gebieten sich noch vielen Einzelfragen zu widmen. Abgesehen von der Aufnahme bisher nicht berücksichtigter Gebiete, wie der Altos Cuchumatanes, wo ich solche vornahm, bleibt bis heute noch das genauere Alter größerer Schichtkomplexe fraglich. So fehlt eine einwandfreie Bestimmung für die Todos Santos-Schichten, die auch heute nur allgemein als mesozoisch anzusprechen sind. Die Kalke der Zona Reina, des Cerro San Gil, die vereinzelt Kalkvorkommen innerhalb der jungeruptiven Kordillere in Südguatemala, endlich die Metapan-Schichten im östlichen Guatemala und in El Salvador bleiben immer noch fraglich. Es hängt das zusammen mit der auffallenden Fossilarmut, wo nicht Fossilien jener Formationen, die teilweise auch durch Kontaktmetamorphose (innerhalb der jungeruptiven Massenergüsse) und durch Dynamometamorphose (innerhalb des zentralen Kettengebirges, z. B. bei Salamá) bedingt sein kann. Andernorts sind wohl Fossilien vorhanden, wie in den karbonen Kalken am Südabhang der Cuchumatanes oder in den tertiären Falten am

¹ *A. Dollfus et E. de Mont-Serrat, Voyage géologique dans les Républiques de Guatemala et de Salvador. Paris 1868.*

² *S. Powers, Notes on the Geology of Eastern Guatemala and Northwestern Honduras (Journal of Geology, 26, 1918, S. 507—523).* — *Ch. Stevens, Confirmations morphologiques de mouvements tectoniques très récents en Amérique Centrale (Bulletin de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et de Hydrologie, 37, 1927, S. 91—98).* — *Hakon Wadell, Pucatanhahön och dess Relation Zill Närgränsande delar av Centralamerika Meddelanden från Lunds Universitets geografiska Institution, Ser. C. no. 17, 1926).*

Rio Dulce, aber ihre Erhaltung ist dort so schlecht, daß sie zu einer genaueren Bestimmung nicht ausreichen. Es darf daher immerhin als ein Fortschritt bezeichnet werden, daß es mir gelang, in der die Todos Santos-Schichten unterlagernden Schieferformation eine Farnversteinierung zu finden, die einwandfrei als dem Oberkarbon angehörig bestimmt werden konnte. Damit wurde zum ersten Male ein Einblick in das relative Altersverhältnis der Todos Santos-Schichten zu ihrem Liegenden und Hangenden (Karbon und Kreide) gewonnen. Die Gliederung des Tertiärs innerhalb Guatemalas steht noch aus, da die bisherigen Aufnahmen noch zu lückenhaft sind. Bedauerlicherweise ist es bis jetzt nicht möglich gewesen, die sorgfältigen geologischen Untersuchungen der nordamerikanischen Ölgesellschaften innerhalb des Tertiärs von Tabasco und Chiapas in Verbindung mit den guatemaltekischen Vorkommen zu bringen, da jene Untersuchungen geheim gehalten werden. Das gleiche gilt von den im Auftrage der mexikanischen Regierung vorgenommenen Aufnahmen im südöstlichen Mexiko. Ebenso wenig ist eine genaue Altersbestimmung der Granite Westguatemalas möglich, die sich oft als Liegendes der andesitischen Bildungen in der Küstenkordillere finden, und ebenso bleibt das Alter der Gneise und kristallinen Schiefer im zentralen Kettengebirge noch ein Problem für die Zukunft. An die Lösung dieser Fragen kann erst herangetreten werden, wenn erst einmal die betreffenden Gegenden genau genug kartiert worden sind. Daß unter solchen Voraussetzungen die Erkenntnis der tektonischen Verhältnisse noch ganz in den Anfängen steckt, ist ohne weiteres verständlich. Daß die Bruchbildung eine hervorragende Rolle in der Tektonik der Kordillere spielt, ist anzunehmen. Die Anlage der großen Talsenken im nördlichen Mittelamerika deutet auf Längs- und Querverwerfungen, die sich schon im kleinen Umfang innerhalb der Cuchumatanes nachweisen lassen, und die auch dort wesentlich die Anordnung des Talnetzes hervorgerufen haben. Sobald wir aber aus den zentralen Gebirgen in die südlichen Ketten eintreten, werden alle Beobachtungen verwischt durch die späteren vulkanischen Bildungen, so daß gerade dort die geologische Arbeit sehr erschwert wird und kein dankbares Arbeitsfeld bietet.

Der Vulkanismus ist verhältnismäßig gut erforscht, besonders durch *K. Sapper*. Trotzdem bleibt auch hier noch manches zu tun übrig. Unter den rezenten Vulkanen stehen gegenwärtig Santa Maria, Izalco und San Miguel als tätige im Mittelpunkt des Interesses und sollten dauernd beobachtet werden, wie es in vorbildlicher Weise Herr *G. Hurter* am Santa Maria getan hat. Ein so stark Veränderungen durch Abbrüche

und Glutwolkenaustritte unterliegendes Gebilde wie der Staukegel des Santa Maria — heute „Volcan de Santiago“ genannt — oder der ebenfalls sich häufig verändernde Izalco wären Anlaß, in ihrer Nähe kleine Observatorien einzurichten, die, wenn auch mit einfachen Hilfsmitteln ausgestattet, aber unter Leitung sachkundiger Beobachter stehend, fortlaufend die Tätigkeit dieser Feuerberge kontrollieren müßten. Sehr wenig bekannt ist über die älteren, stärker abgetragenen Vulkanbauten an der pazifischen Abdachung, die als Vulkanruinen allerdings bei ihrer Waldbedeckung schwer aufzunehmen sind. Wünschenswert wäre eine Erkundung des dem Zunil-Vulkan vorgelagerten langgestreckten Rückens, der in einer „Cerro Santo Tomás“ genannten Spitze gipfelt, und wo zu prüfen wäre, ob es sich dort ebenfalls um einen Vulkan handelt. Zur Zeit meiner Anwesenheit im Lande war eine Besteigung wegen der ablehnenden Haltung der umwohnenden Indianer nicht ratsam. Während ich den Lacandón selbst erstiegen habe und feststellen konnte, daß es sich um den Rest eines stark abgetragenen Vulkanes handelt, fand ich nicht mehr Gelegenheit, die völlig unbekanntes Gávia zu besuchen. Es ist dies ein Bergklotz, der zwischen dem Pacaya und Tecuamburro im östlichen Guatemala liegt und der wahrscheinlich ebenfalls ein stark zerstörter, von mächtigen Schluchten zerschnittener Vulkan sein dürfte. Zu prüfen wäre auch die „Santa Clara“ genannte Erhebung, die küstenwärts dem San Pedro-Vulkan vorgelagert ist. Ob es sich dort nur um einen der Küstenkette angehörigen Rücken oder um den Rest eines Kraterwalles handelt, konnte ich wegen des Waldes aus der Ferne nicht entscheiden. Schließlich bietet das Studium der Massenergüsse in der südlichen Kordillere von Guatemala und El Salvador noch mancherlei Probleme allgemeinerer Natur für den Vulkanspezialisten.

Hinsichtlich der Beben sind dank der Errichtung der modernen Stationen in San Salvador und in der Aurora bei Guatemala-Stadt fortlaufende Beobachtungen möglich, die auch wenigstens in Salvador durch regelmäßige Veröffentlichung bekannt gegeben werden. Bei der lückenhaften Kenntnis der geologischen Verhältnisse nimmt es nicht Wunder, daß die morphologische Forschung in unseren Gebieten nach vielen Richtungen hin ausgebaut werden muß. *Sapper* hat mehrfach in seinen Arbeiten die Probleme angeschnitten; *J. Lentz* verdanken wir die vortreffliche Abhandlung über die Formen der Abtragung in den vulkanischen Lockermassengebieten Guatemalas¹. Ich selbst

¹ Die Abtragungsvorgänge in den vulkanischen Lockermassen der Republik Guatemala (Mitteilungen d. geogr. Ges. zu Würzburg, 1. Jahrg. Würzburg 1925).

habe auf meinen Reisen in den verschiedenen Gegenden des nördlichen Mittelamerika morphologischen Fragen meine Aufmerksamkeit gewidmet, deren Ergebnisse noch nicht veröffentlicht sind. In Zukunft sind sie auf größere Gebiete in Mittelamerika zu erweitern, so namentlich ist der Verfolg von Terrassensystemen aus Guatemala nach Honduras hinein und weiter über Nicaragua nach Costa Rica zu verfolgen. Flußverlegungen, wie sie im Gebiete südlich der Cuchumatanes im Bereich der Flüsse Saleguá, Cuilco und Rio Negro vorzuliegen scheinen, müßten später erst auf Grund genauer Kartierung und geologischer Aufnahmen untersucht werden. Ebenfalls sind die Hebungsterrassen an der pazifischen Abdachung Guatemalas auf ihre Zusammenhänge mit ähnlichen Vorkommen im südlichen Mittelamerika zu überprüfen. In den immerfeuchten Gegenden Nordguatemalas sind Studien über die Abtragungsformen innerhalb der Waldzone anzustellen, die jedoch nur bei langen, ununterbrochenen Aufhalten zu günstigen, neuen Ergebnissen führen werden. Besonders ist es auch hier wieder Honduras, das morphologisch wenig bekannt ist, und aus dessen Gebiet wir nur eine Spezialabhandlung bisher besitzen¹.

Den morphologischen Problemen der Vulkanlandschaften im allgemeinen bin ich selbst nachgegangen. Abzulehnen sind die Behauptungen einiger nordamerikanischer Reisender, daß sich im nördlichen Mittelamerika Spuren einer diluvialen Vereisung nachweisen lassen. Ich habe keinerlei Anhaltspunkte für das Vorhandensein einer ehemaligen Vergletscherung in den nicht vulkanischen Gebirgen dort gefunden. Über das Klima wissen wir im allgemeinen gut Bescheid. Es gibt in Guatemala-Stadt und San Salvador modern eingerichtete Stationen erster Ordnung, die regelmäßig Aufzeichnungen vornehmen, ohne jedoch in ihren Veröffentlichungen allen Anforderungen zu genügen. Am umfangreichsten sind die Messungen der Niederschläge. Ein engmaschiges Netz von kleineren Stationen ist an die Plantagenzonen gebunden, also in Guatemala an der pazifischen Abdachung und in der Alta Verapaz, in Salvador an der pazifischen Küste. Die übrigen Gebiete dagegen folgen in weitem Abstand davon. So gibt es keine genügenden Aufzeichnungen aus Guatemalas zweitgrößter Stadt Quezaltenango und aus den Altos Westguatemalas. Aus den zentralen trockenen Binnengebieten wissen wir über den Niederschlag und seine jahreszeitliche Verteilung herzlich wenig. Bemühungen, interessierte Persönlichkeiten dafür zu gewinnen, haben meist im Anfang Erfolg.

¹ *Nels A. Bengtson*, Notes on the Physiography of Honduras (Geographical Review vol. 16, 1926, S. 403—413).

Aber bald danach, sobald der Betreffende sich selbst überlassen wird, läßt das Interesse nach und schläft bald ganz ein. Hier fehlt eben eine ständige Kontrolle durch einen dauernd oder längere Zeit im Lande weilenden Fachmann. Ein besonderer Hinweis ist auch auf den Wert des Beobachtungsmaterials notwendig. Man darf ihn bei uns nicht überschätzen. Es ist unmöglich, daraus so genaue Werte zu berechnen, wie sie Meteorologen und Klimatologen in unserer Heimat zu fordern berechtigt sind. Wer Gelegenheit gehabt hat, auf Plantagen zu sehen, wie dort die Messungen von Laien vorgenommen werden, wird von Anfang an darauf verzichten, peinlich genaue Berechnungen von Mittelwerten oder Interpolationen vorzunehmen und wird sich damit begnügen, wenigstens in rohen Umrissen ein der Wirklichkeit entsprechendes Bild des jährlichen Ganges der Witterungserscheinungen zu entwerfen. Es genügt, um überhaupt eine Klimaschilderung weiterer Gebiete vorzunehmen, während die Herstellung einer Niederschlagskarte an Genauigkeit natürlich darunter leiden muß. Auch hierbei wird sich die Wiedergabe der Beobachtungen in erster Linie auf die Landesfremden stützen, da im Lande selbst die Einheimischen viel zu oberflächlich und ungenau berichten. Kann man doch oft genug beobachten, wie willkürliche Werte eingesetzt werden. Es macht sich gerade darin besonders der Mangel eines systematischen Hochschulunterrichtes und der Heranbildung eines interessierten Lehrpersonals bemerkbar.

Wissenschaftlich äußerst begrüßenswert wären in Zukunft klimatologische Untersuchungen in den Urwaldgebieten Nordguatemalas. Wissen wir doch über den täglichen und jährlichen Gang der einzelnen meteorologischen Faktoren dort herzlich wenig. Genaue Aufzeichnungen über die relative Feuchtigkeit wären dort sehr erwünscht, ebenso über ihre etwaigen täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen. Näher habe ich auf diese Fragen bereits in der unten (S. 93, Anm. 2) zitierten Abhandlung hingewiesen.

Landschaftlich zu den am meisten bekannten Gegenden Guatemalas gehören die in der Gegenwart von zahlreichen Reisenden und Touristen besuchten Seen von Atitlan und Amatitlan. Man sollte daher erwarten, daß sie bei ihrer leichten Erreichbarkeit von der Landeshauptstadt schon längst Gegenstand eingehenderer wissenschaftlicher Untersuchungen geworden wären. Jedoch trifft das nur hinsichtlich ihrer Umgebung zu. Limnologisch haben sie bisher nur zu wenigen Beobachtungen Anlaß gegeben, die sich auf die Temperaturverteilung, das Plankton und auf ganz wenige Lotungen beziehen. So ist der Atitlan-

See nur im östlichen Teil zwischen Panajachel und San Lucas an neun Stellen ausgelotet. Der westliche Teil und die Bucht von Santiago Atitlan sind ihren Tiefen nach unbekannt. Vom Amatitlan sind in der Literatur nur zwei Tiefenangaben mitgeteilt¹. Am besten ausgelotet ist der Izabal-See, von dem es eine gute, die Uferumrisse im allgemeinen brauchbar verzeichnende Seekarte gibt. Alle anderen Seen Guatemalas sind limnologisch nicht untersucht. In El Salvador besitzen wir nur über den Ilopango-See eine eingehendere Beschreibung, der gelegentlich des vulkanischen Ausbruchs in seiner Tiefe von einer Kommission unter Leitung von *Edwin Rockstroh* ausgelotet wurde². Alle anderen Seen von Salvador wie im östlichen Guatemala bedürfen noch limnologischer Untersuchungen und genauer kartographischer Aufnahmen. In erster Linie wäre das dringend beim See von Güija erwünscht:

Pflanzengeographisch bietet sich sowohl in den Hoch- wie Tiefländern manches Arbeitsfeld. Freilich macht sich noch immer der Mangel an genügenden botanischen Vorarbeiten bemerkbar, die besonders auf floristischem Gebiete viele Lücken aufweisen. So würde zunächst eine derartige Arbeit gerade im Hochland Westguatemalas und in den feuchten Niederungen Nordguatemalas sehr dankbar sein. Denn dort kennen wir eine große Anzahl von Pflanzen nur mit ihren einheimischen, oft nur mit ihren indianischen Namen. Besser ist es nur mit den tropischen Hölzern bestellt, wo für die Eichen der gemäßigteren Höhenstufen die umfangreiche Monographie von *William Trelease*, für die wärmeliebenden Hölzer das nützliche Werk von *Record* und *Mell* vorliegt³. Eine genauere pflanzengeographische Karte des nördlichen Mittelamerikas fehlt. Seit *Sappers* Versuch einer solchen aus dem Jahre 1894 ist dieser nicht wiederholt worden. Wichtig wären Untersuchungen über die Grenzziehung der Vegetationsformationen innerhalb der Binnengebiete, die dort entsprechend der landschaftlichen Kleinräumigkeit und dem stark ausgeprägten Wechsel verschiedenartigster Landschaftstypen ein kompliziertes Bild ergeben

¹ *C. Juday*, Limnological Studies on some lakes in Central America (Transactions of the Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters, vol. 18, Part. I, S. 214—250).

² Informe de la Comisión científica del Instituto Nacional de Guatemala, nombrado por el Señor Ministro de Instrucción pública para el estudio de los fenómenos en el lago de Ilopango. Guatemala 1880.

³ *William Trelease*, The American Oaks (National Academy of Sciences, vol. 20, 1924). — *Samuel J. Record* and *Calyton D. Mell*, Timbers of Tropical America. New Haven. Yale University Press. 1924).

würden. Die Verbreitung der Kiefer im nördlichen Mittelamerika bietet ein weiteres Problem. Sie ist einer der charakteristischsten Bäume des Landes und steigt an der atlantischen Abdachung bis zum Meeresniveau hinab. Sie bietet weiterhin ein wertvolles Beweismaterial für Veränderungen des Klimas in jüngster Zeit, da man beispielsweise in Chiapas ein Zurückweichen dieses Nadelholzes vor dem vordringenden feuchten Laubwald beobachten kann.

Vor allem wichtig werden pflanzengeographische Untersuchungen in Verbindung mit Fragen anthropogeographischer Richtung. Da ist es das schwierige Problem einer Rekonstruktion der einstigen Umwelt des Mayareiches, das in der gegenwärtigen Urwaldzone Nordguatemalas wurzelnd in dieser eingegangen ist. Waren dort auch schon in jenen um 1500—2000 Jahre und womöglich noch länger zurückliegenden Zeiten so dichte immer feuchte Wälder vorhanden, oder waren sie lichter und breiteten sich damals in noch weiterem Umfang als heute Savannen aus? Sind sie primäre Bildungen, oder verdanken sie ihre Entstehung erst einer jahrhundertelangen Besiedelung jener Region durch den Menschen? Oder liegen etwa Klimaänderungen vor, wie sie *Ellsworth Huntington* angenommen hat¹? Hier, wo nicht der Platz ist, im einzelnen auf diese Fragen einzugehen, genüge der Hinweis auf meinen Aufsatz über die geographischen Grundlagen der Mayakultur².

So führen uns klimatologische und pflanzengeographische Probleme zur Betrachtung der wichtigen anthropogeographischen Fragen in unserem Gebiete. Sie setzen eine genaue Kenntnis der völkerkundlichen Verhältnisse voraus, und da wir es hier mit einer alten hoch entwickelten Kultur zu tun haben, so muß dabei auch auf archäologische Forschungen zurückgegriffen werden, abgesehen davon, daß der betreffende Forscher eine hinreichende Kenntnis der indianischen Sprachen besitzen muß. Mag man im Anfang auch bezweifeln, ob die Aufrollung einer so weitgehenden Fragestellung in unserem Gebiete gerechtfertigt ist, so wird dieser Einwand hinfällig, wenn man bedenkt, daß wir im nördlichen Mittelamerika einen der wenigen Plätze auf der Erde haben, wo innerhalb der heißen, feuchten Tropen der farbige Mensch seit sehr langen Zeiten eine Kultur entwickelte, die ihn zu den höchsten materiellen

¹ *E. Huntington*, Guatemala and the highest native American civilization. (Proceedings of the American Philosophical Society. Philadelphia, vol. 52, 1913). — *The Climatic Factor*. Washington 1914.

² *F. Termer*, Die Mayakultur als geographisches Problem (Iberoamerikanisches Archiv, Bd. V/1, 1931, S. 72—88).

und geistigen Schöpfungen auf amerikanischem Boden veranlaßte und die Parallele nur in den alten Kulturreichen Südostasiens findet. Ferner ist im mittelamerikanischen Gebiete von Bedeutung, daß es als Landbrücke zwischen Nord- und Südkontinent ein wichtiges Durchgangsland der zahlreichen Völkerbewegungen war, die wir in der Menschheitsgeschichte des Doppelkontinents voraussetzen müssen. Die geographische Bedeutung Mittelamerikas in diesem Sinne, erweitert auf den zweiten Durchgangsweg des Antillenbogens ist noch nicht näher untersucht worden. Noch sehen wir nicht klar über die Wanderbewegungen in alter Zeit. Solche, die wir kennen, beschränken sich auf verhältnismäßig junge Vergangenheit, die nicht weit vor die europäische Entdeckung Amerikas zurückreicht. Anthropogeographisch wichtig sind weitere Untersuchungen über die Wohngebiete in Mittelamerika selbst, die sich dort nach den Höhenstufen einteilen lassen, und woran sich die Frage anschließt, ob der Mensch allmählich von den kühleren Hochländern in die heißen Niederungen hinabstieg, oder ob er auch dort schon vorher ansässig war, so daß ein wechselseitiger Austausch zwischen Hochlands- und Tieflandskulturen stattgefunden hatte. In alle solche Fragen spielt die Archäologie hinein, und oft wird es notwendig sein, historisch-geographische Untersuchungen darin einzuflechten, wie ich es bereits in einigen Fällen getan habe¹. Der Kernpunkt aller anthropogeographischen Forschung im nördlichen Mittelamerika ist die Mayakultur und ihr temporärer Charakter. Wieviele Fragen aus Nachbarwissenschaften spielen dabei eine Rolle, wenn man den Ursachen ihres Unterganges nachgehen wollte! Krankheiten tropischer Natur, Seuchen, Erschöpfung der Böden infolge jahrhundertelanger Auspowerung, soziale Umschichtungen, geschichtliche Ereignisse, mangelhafte Akklimatisation, physische Schwächung; eine Fülle von Fragen, die zu beantworten schwierig und teilweise erst in Zukunft möglich ist.

Von der Vergangenheit wenden wir unseren Blick wieder in die Gegenwart zurück. Auch da bieten sich uns in der Anthropogeographie und Wirtschaftsgeographie noch eine Fülle interessanter Fragen. Ein Land wie Guatemala, das gegenwärtig noch über 1 Million reinblütiger

¹ *F. Termer*, Archäologische Studien und Beobachtungen in Guatemala in den Jahren 1925—1929 (Tagungsberichte der Gesellschaft für Völkerkunde. Leipzig 1929). — Die vorspanische Besiedlung Guatemalas (Mitteilungen der Wiener Anthropologischen Gesellschaft, Bd. 60, 1930, Sitz.Ber. S. 22—24). — Zur Ethnologie und Ethnographie des nördlichen Mittelamerika. Festschrift zum 24. internationalen Amerikanistenkongreß in Hamburg 1930. (Iberoamerikanisches Archiv, Bd. 4, 1930, S. 303—492).

Indianer unter seiner Gesamtbevölkerung zählt, reizt zu Untersuchungen über die Aussichten ihrer Erhaltung, Einpassung in den modernen Staatskörper und ihre Zukunftsaussichten in rassischer und geistig-kultureller Hinsicht. Das räumliche Moment ist damit eng verknüpft, und so sind diese Fragen auch vom geographischen Standpunkt aus zu verfolgen. In El Salvador, in Honduras, wo eine Mischlingsbevölkerung längst den Indianer verdrängt oder aufgesogen hat, bietet sich ein wertvolles Studiengebiet für die Frage der Mestizenbevölkerung, der die Zukunft in diesen Ländern zu winken scheint. Jedoch fehlt es auch da an genügenden Vorarbeiten. Die Bevölkerungsdichte ist nur summarisch bekannt. Daher ist es nicht möglich, heute genaue Karten der Bevölkerungsverteilung anzulegen¹. Auch die Bevölkerungsbewegung innerhalb des nördlichen Mittelamerikas bedarf weiterer Untersuchungen. Denn nicht nur die indianische Bevölkerung Guatemalas ist ein periodisch in Bewegung befindliches Element, sondern auch in dem überbevölkerten Salvador macht sich eine dauernde Wanderbewegung bemerkbar, die sich in die Nachbarstaaten, besonders nach Honduras und Guatemala richtet.

Soziale und wirtschaftsgeographische Momente bedingen sie. Wirtschaftsgeographisch sind wir über unsere Gegenden durch *Sappers* Untersuchungen und durch eine Anzahl von Arbeiten, die sich an die United Fruit Company knüpfen, gut unterrichtet. Hier liegt das Problem vor, wie sich in Zukunft das wirtschaftsgeographische Bild des nördlichen Mittelamerika gestalten wird. Daß ein Ausweg aus der Überproduktion der wenigen Hauptausfuhrerzeugnisse landwirtschaftlicher Natur, wie Kaffee und Bananen gesucht werden muß, ist Fremden und Landeseinheimischen zu Bewußtsein gekommen. Nach welcher Richtung hin er einzuschlagen ist, wird von kommerziellen Interessen und geographischen Voraussetzungen abhängen. Für erstere fällt erschwerend in die Wagschale, daß sie in allen fünf mittelamerikanischen Staaten gleich gerichtet sind, mithin in Zukunft eine Ergänzungs- oder Austauschproduktion nicht in Frage kommt. Letztere dagegen bieten durch die große landschaftliche Mannigfaltigkeit und die Gegensätzlichkeit im Wirken einzelner physisch-geographischer Faktoren eine Anzahl von Vorzügen, die jedoch mit Rücksicht auf wirtschaftliche Prosperität erst noch genauer zu prüfen sind. Hinderlich wiederum bleibt der Faktor Mensch selbst, der durch Konservatismus — wie bei den Indianern — oder durch zu unbe-

¹ *Elsbeth Kulenkampff-Schenck*, Die Volksdichte von Mittelamerika. Bonn und Leipzig 1923.

sonnenen Fortschrittstaumel — wie bei den Mestizen — manche günstigen geographischen Voraussetzungen vernichtet oder einschränkt. Es braucht nur an die Bedeutung des Raubbaues an den Böden, an die sinnlose Verwüstung der Wälder erinnert zu werden. Es bedarf, um kurz diesen Fragenkomplex zusammenzufassen, einer gründlichen Untersuchung des Wirtschaftsgeistes der mittelamerikanischen Bevölkerungen, um über die wichtigen psychologischen Momente klar zu sehen.

Doch damit überschreiten wir schon den Rahmen einer landeskundlichen Forschung. Vielmehr gelangen wir in das Gebiet der Kulturkunde und der Politik. Diese bietet auch dem Geographen im Sinne der politischen Geographie noch manches Problem, weniger freilich in Guatemala als etwa in den Staaten des südlichen Mittelamerikas.

Was schließlich aus den Darlegungen hervorgeht, ist die Erkenntnis, daß auf dem Boden des nördlichen Mittelamerika noch recht viele Probleme zu bearbeiten sind, ehe eine so eindringende landeskundliche Behandlung möglich ist, wie sie in den europäischen Kulturländern vorgenommen werden kann. Die im nördlichen Mittelamerika erst hierfür zu schaffende Grundlage muß für die nächste Zukunft die kartographische Arbeit bleiben. Da sie erhebliche Opfer an Zeit und Mitteln verschlingen wird, so darf, ohne Mißbilligung der landeseinheimischen Forschung, betont werden, daß hierfür gerade ausländische Bearbeiter mit genügenden Erfahrungen herangezogen werden müssen. Diese bedingen gerade in unseren Gebieten besondere Landeskenntnisse und Vertrautheit mit den Landes- und Bevölkerungsverhältnissen Iberoamerikas. Auf Grund persönlicher Erfahrungen möchte darauf hingewiesen sein, daß es verkehrt wäre, diesen Punkt außerhalb zukünftiger Erwägungen zu lassen. Um nur ein Beispiel zu nennen, sei darauf hingewiesen, daß Forscher, die in den afrikanischen oder asiatischen Tropen, besonders in den ersteren gearbeitet haben, in Iberoamerika vor gänzlich anderen Verhältnissen stehen, an die sie sich verhältnismäßig schwer gewöhnen können.

Die Gegenwart sieht in Mittelamerika das Interesse der wissenschaftlichen Welt auf die Erforschung der Geschichte und völkerkundlichen Verhältnisse der eingeborenen Menschen gerichtet. Mir scheint, daß dabei unverdienterweise die Erforschung der Umwelt dieser Bevölkerungen zu sehr vernachlässigt worden ist. Mögen diese Ausführungen dazu beitragen, die Aufmerksamkeit mehr als bisher auf die geographische Arbeit dort zu lenken. Daß sie ein dankbares Arbeits-

feld findet, dürfte aus den vorstehenden Bemerkungen zur Genüge hervorgehen.

Anmerkung: Es wurde in obigen Ausführungen davon Abstand genommen, einen Überblick über die einschlägige Literatur landeskundlicher Art zu geben. Es sei dafür auf folgende Literaturzusammenstellungen, die allerdings nicht die neuesten Veröffentlichungen umfassen, hingewiesen: *K. Sapper* in Petermanns Mitt. Erg.-Heft 127, 1899. — *Derselbe*, Die geographische Forschung in Mittelamerika im 19. Jahrhundert (Verh. 13. deutsch. Geogr.-Tages zu Breslau, Berlin 1901, 285—302). — *Derselbe*, siehe oben S. 82, Anm. 1.

VIII. Sitzung vom 2. Juli 1931.

Stoff, Struktur und Bewegung der Erdkruste.

Von

A. Wurm.

Ein Bericht über diesen Vortrag ist nicht eingegangen.

IX. Sitzung vom 16. Juli 1931.

1. Über Encephalitis postvaccinalis mit Krankendemonstration.

Von

H. Rietschel.

Ein 2jähriges Kind erkrankt plötzlich am 11. Tag nach der Impfung mit Bewußtseinsstörung, die sich in den nächsten Tagen steigerte. Bei der Aufnahme, die am 14. Tage nach der Impfung erfolgte, bot das Kind folgenden Befund: Schwerstes Coma, deutlicher Opisthotonus, Pupillen gleich weit, reagieren langsam auf Licht, die Beine hyper-tonisch, während die Muskulatur der oberen Extremitäten schlaff ist, keine Parese nachweisbar. Reflexe der unteren Extremitäten gesteigert. Babinski plus beiderseits. Die Lumbalpunktion, die mehrfach wiederholt wurde, ergab anfangs einen Zellenbefund 70/3, Pandy negativ. Zucker 61 mg (51%₀ Seq. marc, 48%₀ Becenkus, 1%₀ Mono). Therapeutisch wurde sofort von mehreren älteren Kindern, die vor kurzem geimpft waren, Serum intravenös, intralumbal und intramuskulär gespritzt, im ganzen 70 ccm. Der Tierversuch (Kaninchen) mit Blut und Cerebrospinalflüssigkeit verläuft negativ.

Das schwere Coma hielt 8 Tage an, dann begann das Kind allmählich auf die Umgebung zu reagieren, war außerordentlich empfindlich. Auch die Nackensteifigkeit hielt noch lange Zeit an, wenn auch in geringerem Maße. 7 Wochen nach der Aufnahme war der Befund so, daß das Kind jetzt wieder sitzt, alles spricht und allmählich beginnt wieder zu gehen. Keine Parese nachweisbar, keine extrapyramidalen Störungen.

Vortragender bespricht dann ausführlich die holländische, englische und deutsche Kasuistik und erörtert die Frage der Ätiologie. Dieses war der 3. Fall von Encephalitis postvaccinalis, der in der Universitäts-Kinderklinik zur Aufnahme kam.

**2. Über die morphologische und funktionelle
Bedeutung des Peritoneum und der Tela sub-
peritonealis mit besonderer Berücksichtigung der
konstruktiven Verhältnisse der Leberligamente.
(Demonstration von Mikrophotogrammen.)**

Von

O. Popp.

Ein Bericht über diesen Vortrag ist nicht eingegangen.

X. Sitzung vom 5. November 1931.

Tonunterschiedsempfindlichkeit und Musikalität.
(Mit Demonstrationen.)

Von
Dr. Eichler.

Ein Bericht über diesen Vortrag ist nicht eingegangen.

XI. Sitzung vom 19. November 1931.

Über das Unendliche.

Von

Otto Volk.

In der Entwicklung der neueren Mathematik spielt der Begriff des Unendlichen eine besondere Rolle. Letzten Endes hängt von der Klarstellung des mathematischen Unendlichen die Lösung der Grundlagenfrage in der Mathematik ab.

Während die griechischen Mathematiker das Aktual-Unendliche im Kleinen wie im Großen bewußt eliminierten und so eine fein angelegte und ausgestaltete mathematische Theorie des Kontinuums aufstellen konnten, die nirgends logische Sprünge und Widersprüche aufweist, ist in der Folgezeit diese logische Strenge verlorengegangen. Die Infinitesimalrechnung von *Newton* und *Leibniz* gebraucht das Unendlichkleine, verschwommen mit voller Unbegreiflichkeit, als Grundlage; der Erfolg war zu groß, als daß man sich kritisch mit den eingeführten unendlichkleinen Größen beschäftigen wollte. *Cauchy* und insbesondere *Weierstrass* ist es erst viel später gelungen, das Unendlichkleine und Unendlichgroße durch Grenzprozesse aus der Analysis zu eliminieren. Indem aber das System der reellen Zahlen ganz wie eine fertig und abgeschlossen vorliegende Gesamtheit aufgefaßt wird und unendliche Zahlenfolgen gebraucht werden, tritt das Unendliche doch wieder versteckt auf. So ist es also das Problem des Unendlichen, das zu klären noch Not tut, soll die definitive Sicherheit der mathematischen Methode hergestellt sein.

Es wird ausgeführt, wie die Logiker (*Russel* und *Whitehead*) rein logisch die Lösung versuchen, die Intuitionisten (*Brouwer* und *Weyl*) rein konstruktiv den Aufbau der Mathematik (unter teilweiser Ausschaltung des „*Tertium non datur*“) gestalten, endlich wie *Hilbert*, der königliche Mathematiker, durch gleichzeitiges Formalisieren von Logik und Mathematik in seiner Beweistheorie die Widerspruchsllosigkeit der heutigen Mathematik auf dem Wege über die „*Metamathematik*“, in welcher letzterer das inhaltliche Schließen zur Anwendung kommt, nachzuweisen versucht; das Fazit über das Unendliche wird besonders besprochen.

XII. Sitzung vom 3. Dezember 1931.

(Aus der Medizinischen Poliklinik der Universität Würzburg
[Vorstand: Prof. Dr. E. Magnus-Alsleben].)

1. Das Volumen des Herzens unter dem Einfluß körperlicher Arbeit.

Von

A. Kahlstorf.

Nach kurzer Darlegung der Unzulänglichkeit der linearen Herzmaße (große Schwankungsbreite) und der Fläche des Sagittalorthodiagramms (Nichtberücksichtigung der Tiefenausdehnung) für die Charakterisierung der wirklichen Herzgröße werden die bisherigen Versuche zur Bestimmung des Herzvolumens kritisch besprochen. Es kann unterschieden werden zwischen plastischen Methoden — Herstellung von Tonmodellen unter röntgenologischer Kontrolle (*Palmieri, Lysholm, Schatzki*) und Verfahren, aus orthodiagraphisch oder durch Fernaufnahme ermittelten Herzabmessungen das Herzvolumen zu errechnen (*Geigel, Rohrer*). Kurze Schilderung einer eigenen rechnerischen Methode (eingehende Veröffentlichung in Fortschr. Röntgenstr. Bd. 45): Ausgehend von regelmäßigen, der Herzform möglichst ähnlichen Körpern (Ellipsoid und Paraboloid) wird die Formel $V = F \cdot t \cdot k$ zur Berechnung des Herzvolumens angegeben. In dieser Formel bedeutet F die Fläche des Sagittalorthodiagramms, t den größten Tiefendurchmesser des Herzens und k eine an anatomischen Präparaten zu 0,63 bestimmte Konstante. Da bei fortlaufenden Bestimmungen die Fehlerbreite nur um 5% liegt, wurde das Verhalten des gesunden und des kranken Herzens nach einer größeren, auf dem Fahrradergometer geleisteten Arbeit mit Hilfe dieser Formel untersucht. Dabei ergab sich, daß das gesunde Herz in allen Fällen auf eine genügend große körperliche Anstrengung (3—5000 mkg in etwa 10 Min.) mit einer deutlichen, bis zu 18% betragenden Verkleinerung des Volumens reagierte. Diese Verkleinerung wird wahrscheinlich um so größer sein, je größer die geleistete Arbeit ist und um so kürzer bei gleicher Arbeitsleistung die Zeit ist, in der die Arbeit geleistet wurde.

Wie weit aus dem Grade der Herzverkleinerung Schlüsse auf die Funktionstüchtigkeit des Herzens gezogen werden können, muß noch durch weitere Versuche geklärt werden. Ebenso wenig kann bereits eine einwandfreie Erklärung für diese Verkleinerung gegeben werden. Aber sie kann nicht allein durch eine Erhöhung der Pulsfrequenz und durch ein dadurch bedingtes Abnehmen des Schlagvolumens erklärt werden, da die Herzverkleinerung auch noch nachweisbar ist, wenn die Pulsfrequenz bereits wieder zur Norm zurückgekehrt ist. Wahrscheinlich spielen auch Tonusänderungen des Herzmuskels und Verschiebungen in der zirkulierenden und deponierten Blutmenge eine Rolle.

Gegensätzlich wie das normale Herz verhielt sich das kranke. Bei einigen Herzkranken, die an der Grenze der Kompensation standen, wurden bereits bei einer geringeren Arbeitsleistung außerhalb der Fehlerbreite liegende Vergrößerungen des Herzvolumens gefunden, z. B. bei einem Kranken mit einer typischen Mitralinsuffizienz 11,85%. Bei völlig dekompensierten würde die Volumvergrößerung wahrscheinlich noch bedeutend höhere Grade erreichen, doch können sie wegen ihres mangelhaft funktionierenden Kreislaufs nicht zu Arbeitsversuchen herangezogen werden. Kranke mit völlig kompensierten Klappenfehlern zeigten weder eine Verkleinerung noch eine Vergrößerung des Herzvolumens im Anschluß an eine körperliche Arbeit. Die Vergrößerung des Herzvolumens nach körperlicher Arbeit bei dekompensierten Herzkranken wird so erklärt, daß der insuffiziente Herzmuskel das vermehrte Angebot von Blut nicht mehr austreiben kann und daß deshalb eine stärkere Dilatation eintritt. Die Größe dieser Dilatation und damit die Größe der Volumzunahme des Herzens dürfte deshalb ein guter Maßstab für die Größe der bestehenden Insuffizienz oder der Neigung zur Insuffizienz sein. Vermutlich lassen sich deshalb aus der Größe der Volumsänderung des Herzens Schlußfolgerungen hinsichtlich der Herzprognose ziehen.

2. Über die Wirkung des Recresals auf die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit.

Von
Maria Schorn.

Eine Reihe von Untersuchungen, die in den letzten Jahren veröffentlicht wurden, scheinen die theoretischen Überlegungen und Studien *Embdens* hinsichtlich der durch Spaltung des Lactacidogens hervorgerufenen Ermüdung und hinsichtlich des Wiederaufbaus durch Zufuhr von Phosphorsäure zu bestätigen. Im Psychologischen Institut der Universität Würzburg haben wir uns auch mit der Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Zufuhr von Phosphorsäure in der durch *Embden* empfohlenen Form des Recresals (primäres Natriumphosphat) beschäftigt. Herr cand. med. et. phil. *Rahm* hat die Untersuchungen durchgeführt. Er wird in seiner demnächst im „Archiv für die gesamte Psychologie“ erscheinenden Dissertationsschrift „Über die Wirkung des Recresals auf die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit“ eingehend darüber berichten.

Die ermüdungsaufhebende Wirkung des Recresals hat sich in unseren Versuchen nicht bestätigt. Diese Tatsache veranlaßte uns, die bisherigen Arbeiten, die sich mit der Leistungssteigerung durch Recresal befassen, einer kritischen Prüfung zu unterziehen. Ich möchte auf diese Kritik etwas näher eingehen, weil sie für die Methodologie dieser Art Arbeiten überhaupt wichtig sein dürfte.

Die erste Untersuchung stammt von *Embden* und seinen Mitarbeitern¹.

Im ersten Teil dieser Arbeit werden Versuche mit sechs Soldaten besprochen. Die Versuchspersonen hatten körperliche Arbeit zu leisten am Ergostaten: das Ergostatenrad war so lange zu drehen, bis die Versuchsperson derart ermüdet war, daß ihr die Fortsetzung der Arbeit unmöglich erschien.

Wir machen folgende Einwände:

1. Es wurde keine systematische Einübung der Versuchspersonen am Ergostatenrad vorgenommen: die eigentlichen Versuche begannen nach ungenügender Einübung. Auch wurde die Einübung bei den

¹ *G. Embden, E. Grafe, E. Schmitz*, Über Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Phosphatzufuhr. Zeitschr. f. physiol. Chem. 113 (1921).

einzelnen Versuchspersonen verschieden intensiv betrieben: bei drei Versuchspersonen wurde die Einübung an einem Tage, bei einer Versuchsperson an zwei Tagen, bei einer Versuchsperson an drei Tagen und bei einer Versuchsperson an fünf Tagen vorgenommen. Wir halten es nicht für möglich, daß bereits nach einem Tage eine genügende Einübung der Versuchsperson am Ergostatenrad erfolgen konnte.

2. Die Versuchsbedingungen hinsichtlich der Dosierung des Mittels und hinsichtlich der Pause zwischen Einnahme und Beginn der Arbeit sind bei den sechs Versuchspersonen viel zu verschieden, um die Ergebnisse aus den Versuchen miteinander vergleichen zu können; selbst bei den zwei am sorgfältigsten ausgeführten Versuchsreihen mit zwei Versuchspersonen (Versuchspersonen Schu. und Hö.) werden einige sehr wichtige Bedingungen geändert.

a) Die Pause zwischen Trankeinnahme und Arbeitsbeginn ist bei den beiden Versuchspersonen verschieden.

b) Bei Versuchsperson Schu. wird während der Versuchsreihe die Belastung am Ergostatenrad geändert.

c) Es findet eine verschiedene Verteilung der Ruhetage statt: für Versuchsperson Schu. ist der 2., 7., 12. und 15. Tag ein Ruhetag, für Versuchsperson Hö. der 4. und 11. Tag.

d) Bei der Verabreichung der Phosphat- und Scheintränke bekommt Versuchsperson Schu. erst am 14. Tag nach Beginn der Arbeit Recresal; Versuchsperson Hö. dagegen bereits am 6. Tag. Der Versuchsperson Schu. wird nie an zwei aufeinanderfolgenden Tagen Recresal verabreicht; Versuchsperson Hö. erhält drei Tage hintereinander 5 g Recresal und am folgenden Tag 7,5 g, eine Quantität, die Schu. überhaupt niemals bekommt. (Schu. erhält in 28 Tagen 25 g, Hö. in 22 Tagen 32,5 g.)

Neben diesen offensichtlichen Mängeln in der Versuchsanordnung ist hinsichtlich der Resultate folgendes festzustellen:

1. die anfängliche Leistungssteigerung, die bei der Recresalgabe auftritt, ist durch Übung zu erklären;

2. wenn im Verlauf der weiteren Versuche auch nach einzelnen Recresalgaben eine gewisse Mehrleistung auftritt, so sind doch die Schwankungen viel zu groß, als daß von eindeutig günstigen Resultaten für das Recresal gesprochen werden könnte. Wohl ist manchmal nach Recresalzufuhr ein Leistungsanstieg zu konstatieren; oft wird aber auch nach dem aus Weinsäurelösung bestehenden Scheintranke mehr geleistet als nach Recresal.

3. *Emlden* legt die Resultate so aus, daß bei fünf von sechs Versuchspersonen die Resultate günstig für das Recresal ausfallen, bei einer Versuchsperson nicht; diese eine Versuchsperson verhält sich bei kritischer Durchsicht der Ergebnisse aber nicht viel anders als die fünf anderen.

Weitere Versuche haben *Emlden* und seine Mitarbeiter beim Militär angestellt. Das Phosphat wurde an Soldaten bei militärischen Aufgaben verabreicht, namentlich auf dem Marsch. Die Phosphatmannschaften sollen, wie durch Beobachter festgestellt wurde, physisch und psychisch leistungsfähiger geblieben sein als die Kontrollmannschaften. Daß eine so rohe Untersuchungsmethode, die lediglich auf unsystematischer Beobachtung beruht, wissenschaftlich durchaus unbefriedigend ist und keine Ergebnisse zutage fördern kann, brauche ich wohl nicht zu unterstreichen. — Übrigens haben Versuche, die mit Soldaten im Felde ausgeführt wurden, keine positiven Ergebnisse gezeitigt.

Ähnliche Kritik ist an den Versuchen *Emldens* im Bergbau zu üben; außerdem ist hier noch zu bemerken, daß keine Scheinrankversuche zur Kontrolle angestellt wurden.

Emlden teilt dann schließlich in der oben zitierten Arbeit noch Versuche an Arbeits- und Zugtieren mit. Aber auch hier liegen keine exakten Untersuchungen, sondern lediglich Beobachtungen einzelner Landwirte vor. Seinen vermeintlichen positiven Ergebnissen steht auch ein negatives Ergebnis eines landwirtschaftlichen Instituts einer Universität gegenüber.

Überzeugend sind aus den von uns soeben angeführten Gründen wohl die Ergebnisse aus diesen ersten Versuchen über die Leistungssteigerung durch Recresal nicht.

Weitere Untersuchungen über die Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch das Recresal liegen von *Griesbach*¹ an Fußballspielern, Turnern und Schwerarbeitern vor, von *Herzheimer*² an Turnern und Sportlern der preußischen Polizeischule für Leibesübungen in Spandau, von *Poppelreuter*³ an Arbeiterinnen der Chemischen Werke

¹ *W. Griesbach*, Recresal und Leistungsfähigkeit. Die Medizinische Welt 1928, S. 780 ff.

² *H. Herzheimer*, Zur Wirkung von primärem Natriumphosphat auf die körperliche Leistungsfähigkeit. Klin. Wschr. 1922, S. 480 ff.

³ *W. Poppelreuter*, Zur Frage der Steigerung der industriellen Arbeitsfähigkeit durch Recresalzufuhr. Arbeitsphysiologie, herausgegeben von *E. Atzler* und *M. Rubner*. 2 (1930) S. 507 ff.

Albert in Wiesbaden-Bieberich, von *Hinsberg*¹ Laboratoriumsversuche über den Sauerstoffverbrauch bei der Arbeit mit und ohne Recresal.

Alle diese Untersuchungen, die die positive Wirkung des Recresals gezeigt zu haben glauben, halten einer Kritik aus ähnlichen Gründen wie die Untersuchungen von *Emden* nicht stand.

Relativ am sorgfältigsten erscheinen die Untersuchungen von *Griesbach*, der sich auch am vorsichtigsten über seine gefundenen Ergebnisse ausdrückt. Doch haben wir auch hier Mängel an der Methode festzustellen: die Versuche wurden einmal in der Turnhalle, auf dem Sportplatz und in der Fabrik durchgeführt, wo natürlich das exakte Experimentieren sehr erschwert ist; zum andern verwendete er außer der Dynamometermethode nur die Äthesiometermethode.

Gegen die *Herzheimerschen* und *Poppelreuterschen* Versuche haben wir vor allem vorzubringen, daß keine Kontrollversuche mit Scheintränken angestellt wurden: die Wirkung der Suggestion, die von der Verabreichung eines Medikamentes auf die Arbeitsleistung der Versuchspersonen ausgeübt wird, kann ohne die Darreichung von Scheintränken überhaupt nicht beurteilt werden. Bei der *Poppelreuterschen* Arbeit spielt insoweit die Suggestionwirkung noch weiterhin eine verhängnisvolle Rolle, als es sich bei den Versuchspersonen um Arbeiterinnen handelte, die der Fabrik angehörten, in der das Recresal hergestellt wird, die über die Indikations- und Gebrauchsanweisungen, die den Schachteln beiliegen, unterrichtet waren.

Auch gegen die Laboratoriumsversuche von *Hinsberg* über den Einfluß von Phosphat auf den Sauerstoffverbrauch bei der Arbeit haben wir einzuwenden, daß Kontrollversuche mit einem Scheinrank nicht angestellt wurden: auch bei diesen exakten Stoffwechselversuchen ist die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, daß durch die Verabreichung eines Medikamentes psychisch der Eindruck einer erhöhten Leistungsfähigkeit bewirkt und dadurch auch der respiratorische Stoffwechsel in gewissem Sinne beeinflußt worden ist. Außerdem hat auch *Hinsberg* sehr unterschiedlich die Dosierung gehandhabt; ebenfalls finden wir in seiner Arbeit keine Bemerkung darüber, welche Pause zwischen der Recresalverabreichung und dem Stoffwechselversuch eingeschaltet wurde.

Schließlich können wir auch denjenigen Untersuchungen, die die Steigerung der Leistungsfähigkeit auf geistigem Gebiete nachzuweisen

¹ *K. Hinsberg*, Über den Einfluß von Phosphat auf den Sauerstoffverbrauch bei der Arbeit. *Zeitschr. f. d. ges. exper. Med.* 9 (1928) S. 262 ff.

versuchten, unsere kritischen Einwände aus ähnlichen Gründen nicht vorenthalten¹.

Ich gehe nun zu den Versuchen des hiesigen Psychologischen Instituts über. Im ganzen wurden zehn Versuche von Herrn *Rahm* ausgeführt, die wieder in einzelne Versuchsreihen zerfielen. Ein erster Versuch sollte feststellen, welche Wirkung das Recresal bei einmaliger und bei fortgesetzter Verabreichung entfaltet. Dieser Versuch wurde an Studenten vorgenommen. Fünf Studenten erhielten in einer ersten Versuchsreihe an einem ersten Tage um 8¹/₄ Uhr 3 g Recresalpulver in 80 ccm Wasser. An einem zweiten Tag innerhalb der Versuchsreihe verabreichten wir an Stelle des Recresals ebenfalls um die angegebene Zeit Scheintränke, die aus 1¹/₂ g Natriumbicarbonat, wiederum in 80 ccm Wasser gelöst, bestanden. Die Leistungsprüfungen begannen um 11¹/₄ Uhr, drei Stunden nach der Trankeinnahme. Als Leistungsprüfungen wählten wir:

1. Reagieren mit dem Oberbegriff auf dargebotene Wörter,
2. fortlaufendes Addieren (während 15 Min.) in den *Kraepelinschen* Rechenheften,
3. fortlaufendes Anmerken bzw. Ausstreichen von bestimmten Buchstaben in vorgelegten Texten (Bourdontest), ebenfalls während 15 Minuten,
4. körperliche Arbeit am Extender. Unter dem Extender verstehen wir folgende, in unserem Institut schon mehrfach verwendete Versuchsanordnung. Das Hauptinstrument dieser Versuchsanordnung ist eine zu gymnastischen Zwecken viel gebrauchte Spiralfederzugvorrichtung. Diese Spiralfederzugvorrichtung ist an einem Ende auf einem Holzgerüst montiert. Das andere Ende zieht die Versuchsperson mit beiden Händen, so hoch sie kann, im Takte eines Metronoms. Die Versuchsperson zieht so oft die Spiralfeder in die Höhe, bis eine Weiterarbeit nicht mehr möglich ist. Eine Schnur wird von der Spiralfederzugvorrichtung weg über eine Rolle geleitet. An ihrem Ende hängt ein Laufgewicht, das auf einer Skala die jeweiligen Hubhöhen der Versuchsperson anzeigt.

Die Versuchspersonen wurden in allen Versuchen zunächst zehn Tage lang eingeübt.

¹ *W. Poppelreuter*, Steigerung der geistigen Leistungsfähigkeit durch Recresalzufuhr. Münch. med. Wschr. 22 (1929) S. 912ff. — *W. Griesbach*, Recresal und Leistungsfähigkeit. Die Medizinische Welt 1928, S. 780ff. — *O. Dahmen*, Die steigernde Wirkung von Recresal auf die optische Auffassung. Industrielle Psychotechnik 1930, S. 271 ff.

Tabelle 1.

Versuchs- anordnung	Reagieren durch Nennen des Oberbegriffs			Addieren		Bourdontest		Extender	
	Arith- met. Mittel (in $\frac{1}{1000}$)	Mitt- lere Vari- ation (Sek.)	Feh- ler	Addi- tio- nen	Feh- ler	Buch- staben	Feh- ler	Zug- an- zahl	Mitt- lere Zug- höhe (cm)
Ohne Trank	2014,17	618,38	4,80	82,70	6,80	1712,20	20,20	41,00	50,98
Mit Recresal	1626,61	563,18	1,80	90,90	6,40	2395,60	13,60	41,20	55,86
Ohne Trank	1892,49	708,34	2,60	84,40	6,80	1400,40	37,80	38,20	52,86
Mit Scheinrank ..	1709,78	548,97	1,40	87,30	6,60	2323,80	28,40	40,20	54,05

In der vorstehenden Tabelle 1 haben wir die Leistungen unserer fünf Versuchspersonen in den oben angegebenen Prüfungen wiedergegeben. Die Zahlen sind die Durchschnittswerte bei unseren fünf Versuchspersonen. In der ersten horizontalen Zahlenreihe sind die Werte des letzten Einübungstages wiedergegeben, die zweite Horizontale gibt die Werte der Versuchspersonen mit Recresaltrank, die dritte Reihe ohne Trank, die vierte Reihe mit Scheinrank wieder.

Von einer augenscheinlichen Recresalwirkung ist nach einmaliger Darbietung von Recresal an Hand dieser Tabelle nichts festzustellen. Wohl können wir fast durchweg eine Steigerung der Leistung am Recresaltag und am Scheinranktag feststellen.

Diese Tatsache zeigt uns sehr schön die Wirkung der Suggestion. Die Versuchspersonen, die nach der Instruktion nicht wußten, um was es sich bei den Versuchen handelte, ahnten, wie aus ihren Fragen hervorging, zweifellos, daß es um die Ausprobierung eines oder mehrerer leistungssteigernder Mittel gehe. Die Annahme aber, daß ihnen ein solcher leistungssteigernder Trank verabfolgt wurde, wirkte zweifellos suggestiv auf sie und erhöhte etwas ihre Leistungsfähigkeit sowohl bei Recresal- wie bei Scheinrankverabreichung.

Nach der Pause von einer Woche, während der keine Versuche gemacht wurden, begann die zweite Versuchsreihe des ersten Versuches, die die Wirkung des Recresals bei länger dauernder Verabreichung untersuchen sollte. Zuerst fand wieder eine Einübung von sechs Tagen statt; in dieser Versuchsreihe verabfolgten wir während der Einübungszeit bereits die Scheinränke. Dann begann die fortlaufende Verab-

reichung des Recresals in der Weise, daß jeden Tag um 8 $\frac{1}{4}$ Uhr morgens den Versuchspersonen 3 g Recresalpulver gegeben wurde. Die Recresalverabreichung dauerte zwölf Tage. Die Leistungsprüfungen, die nach drei Stunden auch bei diesem zweiten Versuch begannen, waren die gleichen wie beim ersten Versuch. Sie erfolgten jeden vierten Tag, und zwar am ersten, vierten, achten und zwölften Recresaltag.

Trotz dieser Recresalkur ist bei kritischer Betrachtung unserer Ergebnisse keine Mehrleistung durch das Recresal festzustellen.

Unser zweiter Versuch zog eine größere Anzahl von Schulkindern als Versuchspersonen heran. Versuchspersonen waren 17 Schüler einer achten (letzten) Knabenklasse. Den Kindern, ebenso wie den Eltern wurde gesagt, daß die Wirkung verschiedener chemischer Substanzen auf Leistungsfähigkeit und Ermüdung festgestellt werden sollte.

Der Versuch zerfällt in drei Teile. Die erste Versuchsreihe untersuchte die Wirkung des Recresals auf die geistige Leistungsfähigkeit bei einmaliger Recresalgabe: 2 g Recresalpulver wurden den Versuchspersonen in 60 ccm Wasser gegeben. Als Scheinrank verwendeten wir 1 $\frac{1}{2}$ g Natriumbicarbonat, ebenfalls in 60 ccm Wasser gelöst. Die Tränke wurden um 10 Uhr am Ende der zweiten Schulstunde verabreicht. Die Prüfungsarbeit begann eine halbe Stunde später. Als erste Leistungsprüfung verwendeten wir das fortlaufende Addieren von je sieben einstelligen Zahlen und den Bourdontest. Die Arbeitszeit betrug 15 Min., die Einübungszeit zehn Tage. Auch diese erste Versuchsreihe unseres Versuches 2 brachte keine günstigen Ergebnisse für das Recresal.

Wir finden hier analoge Ergebnisse wie bei unseren erwachsenen Versuchspersonen: an den Tagen, an denen Tränke (ob dies nun Recresal- oder Scheinrank war) verabreicht werden, wird im allgemeinen etwas mehr gearbeitet als an den Tagen, an denen kein Rank verabfolgt wird, was wieder sehr schön die Wirkung der Suggestion bei der Verabreichung von Medikamenten zeigt.

Eine zweite Versuchsreihe unseres Versuches 2 an Schulkindern beschäftigte sich mit dem Einfluß des Recresals bei länger dauernder Verabreichung. Die Versuchspersonen erhielten während 18 Tagen mit Ausnahme der Sonntage jeden Tag Scheinrank, und während weiterer elf Tage, ausgenommen Sonntags, Recresal. Sowohl in der Zeit, in der die Scheinränke verabreicht wurden, als auch in der Zeit, in der Recresal gegeben wurde, ließen wir die Versuchspersonen an je acht Tagen 15 Min. lang die Addierarbeit vornehmen.

Tabelle 2.

Summe der Additionen		Summe der Fehler	
Scheinrank	Recresal	Scheinrank	Recresal
2149	2212	124	129
1926	2329	138	139
2084	2589	149	176
2104	2474	110	147
2307	2445	164	151
2191	2613	149	95
2490	2288	160	67
2437	2351	141	63
$\Sigma = 17\ 688$	$\Sigma = 19301$	$\Sigma = 1135$	$\Sigma = 967$

Wenn wir die Leistungen nach Recresal und nach Scheinrank miteinander vergleichen, so läßt sich nicht verkennen, daß die Leistungen während der Recresalkur besser sind als in der Zeit, in der die Scheinränke verabreicht wurden. Ob wir die Verbesserung der Leistung auf Konto der größeren Übung setzen sollen, die sich vielleicht trotz der langen Einübung noch geltend machen konnte, oder ob wir die Resultate zugunsten des Recresals erklären sollen, läßt sich nach diesen Versuchen nicht einwandfrei entscheiden. Doch dürfen wir unsere Ergebnisse hinsichtlich des Recresals auch nicht zu optimistisch auswerten: jedenfalls ist zu bemerken, daß nur zwei Additionssummen innerhalb der Recresaltage von den Versuchspersonen geliefert werden, deren Höhe nicht bei den Scheinränken erreicht wird. Auch ist hinsichtlich der Abnahme der Fehler zu bemerken, daß in der ersten Hälfte der Recresalkur die Fehler gegenüber den Scheinranktagen nicht abnehmen, und daß man doch geneigt sein könnte, den rapiden Rückgang der Fehler (von 151 auf 95) auf andere Einflüsse (etwa Ermahnungen von seiten des Lehrers und ähnliches) zurückzuführen.

Die Versuche 3, 4, 5, 6 untersuchten die Wirkung des Recresals auf die körperliche Leistungsfähigkeit am Drehrad und am Extender mit je einer Versuchsperson in äußerst sorgfältig durchgeführten Experimenten; auch hier war nicht der geringste Einfluß einer Leistungssteigerung durch das Recresal nachzuweisen.

Da sich immer wieder in unseren Versuchen die Wirkung der Suggestion bei der Verabreichung unserer Medikamente gezeigt hatte,

führten wir zwei besondere Suggestionenversuche durch. Zunächst diente uns der Versuch 7, der in Anlehnung an die zuletzt besprochenen Versuche mit dem Lehrling des Instituts ausgeführt wurde, durch eine entsprechende, mit Suggestion versehene Instruktion als Suggestionenversuch; es zeigte sich aber, daß die erteilten Suggestionen bei dieser Versuchsperson, die schon länger bei den Versuchen mitgewirkt hatte, keinen deutlichen Erfolg hatten, anscheinend deshalb, weil die Versuchsperson durch die länger andauernde Arbeit am Extender gegenüber Suggestionen abgestumpft war.

Sehr schön dagegen fanden wir die Suggestionenwirkung bei der Verabreichung von Medikamenten in unserem Versuch 8. Als Versuchspersonen dienten zwei Studenten des Instituts, die bisher bei den Recresalversuchen noch nicht als Versuchspersonen mitgewirkt hatten. Es wurde ihnen sowohl Recresaltrank am einen Tag wie Scheintrank am andern Tag verabreicht; an einem dritten Tag kein Trank. Als Leistungsprüfung diente das fortlaufende Addieren, wie wir es oben beschrieben haben. Die Versuchspersonen erhielten nach einer Einübungszeit von sechs Tagen sowohl bei der Verabreichung des Recresals wie bei der Verabreichung des Scheintranks folgende Instruktion:

„Sie erhalten jetzt einen Trank, der zu einer Steigerung Ihrer geistigen Leistungsfähigkeit führen wird. Die Wirkung wird sich in der Weise zeigen, daß es Ihnen möglich sein wird, mehr Aufgaben als bisher zu rechnen und dabei weniger Fehler zu machen. Die Tränke haben gesundheitlich nicht die geringsten nachteiligen Wirkungen zur Folge.“

Tabelle 3.

Versuchsanordnung	Versuchsperson Kü.		Versuchsperson Wr.	
	Aufgaben	Fehler	Aufgaben	Fehler
Ohne Trank	161,00	5,00	226,90	7,00
Scheintrank	179,85	5,00	244,71	7,00
Recresal	173,50	4,66	245,16	7,83
Scheintrank	179,25	4,00	255,00	8,50
Ohne Trank	176,00	5,00	226,33	7,00

In Tabelle 3 haben wir die Ergebnisse dieses Versuches wiedergegeben. Bei beiden Versuchspersonen ist die deutliche Wirkung der Suggestion in der Menge der gerechneten Aufgaben festzustellen.

Man könnte angesichts der vielen negativen Resultate, die unsere Versuche zeitigten, einwenden, daß unsere Versuche vielleicht der

richtigen Technik entbehrten, um überhaupt zu leistungssteigernden Ergebnissen zu kommen. Daß dies freilich nicht der Fall ist, zeigen zunächst die im vorangehenden und auch schon oben besprochenen Suggestionenwirkungen. Ganz deutlich aber wird es, daß wir mit unserer Versuchstechnik auf dem richtigen Wege waren, durch unsere Versuche 9 und 10.

Versuch 9: Zwei Studierende, die bisher noch nicht an den Recresalversuchen teilgenommen hatten, erhielten innerhalb einer Versuchsreihe von vier Tagen 0,1 g Coffein an einem vierten Tag verabreicht, nachdem an einem ersten Tag ohne Trank gearbeitet worden war, an einem zweiten nach Scheinrank, an einem dritten nach Recresal. Die Arbeit der Versuchspersonen bestand hier nach gehöriger Einübung im Reagieren auf Schallreize mit der Instruktion, möglichst schnell den Finger von dem Taster wegzuziehen, wenn der Schallreiz wahrgenommen worden war.

Tabelle 4.

Versuchsordnung	(Reaktionszeiten in $\frac{1}{1000}$ Sek.)			
	Versuchsperson Gr.		Versuchsperson Sa.	
	Arithmet. Mittel	Mittlere Variation	Arithmet. Mittel	Mittlere Variation
Ohne Trank	170,04	21,53	159,05	17,02
Scheinrank	160,80	19,72	148,72	17,22
Recresal	158,21	18,98	149,21	17,13
Coffein	145,40	16,21	139,22	15,13

Unsere Ergebnisse sind in Tabelle 4 wiedergegeben; sie zeigen deutlich die abweichenden Werte nach Coffein gegenüber den Versuchen nach Recresal und Scheinrank.

Sehr schön und einwandfrei wurden diese Ergebnisse bestätigt in unserem Versuch 10, der mit acht anderen Studierenden unseres Institutes in einer längeren Versuchsreihe vorgenommen wurde.

Zusammenfassung.

I. Die kritische Durchsicht der bisherigen Untersuchungen über die Wirkung des Recresals ergibt folgendes:

1. Die Versuchsordnungen in diesen Arbeiten erscheinen fast durchweg nicht zweckentsprechend, so daß mit den zutage geförderten

Ergebnissen die behauptete günstige Recresalwirkung nicht bewiesen ist.

2. Die Bewertung der Ergebnisse durch die Autoren erfolgte in den meisten Fällen zu wenig kritisch.

II. Unsere eigenen Untersuchungen haben folgendes ergeben:

1. Eine Leistungssteigerung bei körperlicher Arbeit durch Recresal konnte weder bei einmaliger noch bei länger dauernder Darreichung von Recresal festgestellt werden.

2. Auch bei geistiger Arbeit fielen die Versuche mit Recresal, sofern es sich um Erwachsene handelte, durchweg negativ im Sinne einer Leistungssteigerung aus.

3. Bei Kindern versagten ebenfalls einmalige Recresalgaben. Nach mehrwöchentlicher Zufuhr von Recresal konnte bei geistiger Tätigkeit eine Leistungssteigerung festgestellt werden. Daß aber diese Leistungssteigerung mit dem Recresal zusammenhängt, ist in keiner Weise bewiesen.

4. Suggestionenversuche erwiesen den außerordentlichen Einfluß der Suggestion bei der Verabreichung von Recresal. Es zeigte sich, daß bei geeigneter Suggestion sowohl nach Recresal als auch nach Scheinrankverabreichung eine Leistungssteigerung auftrat; nach Recresaleinnahme wurde im allgemeinen nicht mehr, sondern oft sogar weniger geleistet als nach Scheinrank.

5. Nach Verabreichung von Coffein dagegen ergaben sich Leistungssteigerungen, die ganz beträchtlich größer waren als die bei den Suggestionenversuchen erzielten.

6. Die Resultate der Suggestionen- und Coffeinversuche berechtigen zu der Behauptung, daß die günstigen Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen über Recresal in erster Linie als Suggestionen- und nicht als Recresalwirkung anzusehen sind.

XIII. Sitzung zur Feier des 82. Stiftungstages der Gesellschaft am 17. Dezember 1931.

Das Scharlachproblem.

Von

H. Rietschel.

Vortragender geht zunächst ausführlich auf die Geschichte des Scharlachs ein. Gleichviel, wie man sich den Erreger auch denken mag, jedenfalls steht fest, daß Streptokokken eine prädominierende Rolle beim Scharlach spielen. Ausführlich wird die Anaphylaxiehypothese besprochen und sodann auf die Theorien der beiden *Dicks* und die von *Dochez* eingegangen. Zweifellos kann die Theorie vom Ehepaar *Dick* in der ursprünglichen Form nicht aufrechterhalten werden, denn eine Spezifität des Scharlachstreptokokkus existiert nicht. Auch ist das sog. Dickgift kein reines Ektotoxin, sondern enthält wohl auch noch andere Partialgifte, die allergischen Charakter tragen. Vielleicht ist auch das darin enthaltene Ektotoxin etwas hitzebeständiger als das Diphtheriegift. Nach den Untersuchungen, die Vortragender in seiner Klinik ausgeführt hat, ergibt das 2 Stunden sterilisierte Dickgift bei dickpositiven Kindern meist gar keine Reaktion, während es bei Menschen, die den Scharlach gehabt haben, eine sog. Pseudoreaktion macht. Das spricht mit Wahrscheinlichkeit auch dafür, daß auch ein allergisches Antigen im Dickgift enthalten ist. Die Anaphylaxiehypothese läßt sich heute nicht mehr aufrechterhalten. Auch das *Schultz-Charltonsche* Phänomen ist mit der Anaphylaxiehypothese schwer zu vereinbaren. Besonders sprechen neuere Versuche, die Vortragender in seiner Klinik ausgeführt hat, gegen die Anaphylaxiehypothese. Nimmt man einem scharlachempfindlichen (dickpositiven) Kind Blutserum und spritzt dieses Säuglingen, die dicknegativ sind, im *Prausnitz-Küstnerschen* Versuch ein, sensibilisiert man also diese Kinder lokal, und spritzt man am nächsten Tag in die Nähe dieser Stelle etwas Dickgift, so entsteht keine Reaktion. Macht man denselben Versuch mit dem Serum eines Menschen, der gegen Pferdeeiweiß

hoch empfindlich ist, und spritzt man dann kleinste Mengen Pferde-eiweiß, so reagieren Säuglinge deutlich. Die Negativität des *Prausnitz-Küstnerschen* Versuchs gegen Dickgift spricht also durchaus gegen die Anaphylaxiehypothese. Vortragender möchte die folgende Hypothese über den Scharlach aussprechen: Der Scharlach ist eine Streptokokken-erkrankung, deren charakteristische Besonderheit ein Exanthem und eine Immunität gegen das Scharlachexanthem vorstellt. Das Exanthem wird durch ein Ektotoxin des Streptokokkus hervorgerufen. Folglich ist der Scharlach nur durch Streptokokken bedingt, die Toxinbildner sind. Der Scharlachstreptokokkus unterscheidet sich von all den anderen Streptokokkenarten nur durch seine Fähigkeit, größere Mengen von spezifischem Ektotoxin zu bilden, das nachweisbar nur beim Menschen dadurch wird, daß es von der Haut gebunden, ein charakteristisches Exanthem anzeigt, und dort zur Antitoxinbildung Anlaß gibt. Diese Eigenschaft, Toxin zu bilden, ist keine unveränderliche und nur einer Art eigen; es gibt also keinen *Streptococcus scarlatinae*, sondern auch andere Streptokokkenarten können Toxin bilden, doch meist in so geringen Mengen, so daß sie nicht den Scharlachkomplex auslösen können. Fragen der Zukunftsforschung sind es, unter welchen Umständen der Streptokokkus die Fähigkeit erlangt, Toxinbildner, also Scharlacherreger zu werden.

(Aus dem Physiologisch-chemischen Institut der Universität Würzburg.)

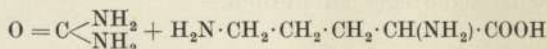
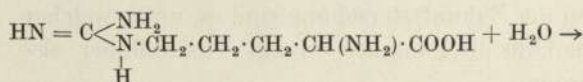
Über den biologischen Abbau des Arginins zum Citrullin.

Von

D. Ackermann.

(Der Schriftleitung zugegangen am 1. August 1931.)

Das Eiweißspaltungsprodukt Arginin unterliegt im Stoffwechsel einem vor allem in der Leber aufgefundenen Ferment, der sog. Arginase (1), welche zu einer Spaltung des Arginins in Harnstoff und Ornithin führt.



Während durch dieses Ferment, das sich auch in der Pflanzenwelt (2) findet, der Guanidinkern dadurch zerstört wird, daß gleichzeitig zwei Stickstoffatome und ein Kohlenstoffatom als Harnstoff zur Abscheidung kommen, wäre daneben noch ein milderer fermentativer Angriff auf den Guanidinkern denkbar, der zu einer Ureidosäure führt.

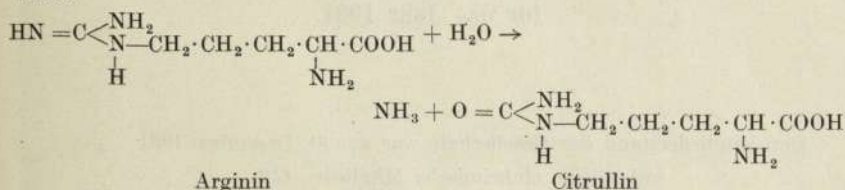
Die Umwandlung von Guanidinderivaten in Ureidoderivate auf biologischem Wege ist nämlich schon bekannt. Zuerst konnte sie am Kreatinin (3) gezeigt werden, das durch Fäulnis in Methylhydantoin übergeht. Neuerdings beschrieb *F. Linneweh* (4) einen analogen Vorgang beim *Arcaïn*. Dieses liefert nämlich bei der Fäulnis unter anderm Carbaminylagmatin.

Die so gemachten Erfahrungen ermutigten nun zur Wiederholung der Fäulnisversuche mit Arginin (5), bei denen bisher erst Ornithin, Putrescin und δ -Aminovaleriansäure gefunden waren.

Durch schonende Aufarbeitung des mit Phosphorwolframsäure in stark verdünnter Lösung nichtfallenden Anteiles einer Argininfäulnis gelang es, einen Körper der Formel $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}_3$ zu isolieren, der als

freie Substanz, wie als Kupferverbindung zur Analyse kam und sich als in jeder Beziehung identisch mit dem zuerst von *Y. Koga* und *S. Odake* (6) in der Wassermelone, *Citrullus vulgaris* schrad., gefundenen Citrullin erwies. Die Konstitutionsermittlung des Citrullins durch *Wada* (7) ergab, daß es sich um δ -Carbaminylnornithin handelt, was er auch durch die Synthese bestätigen konnte.

Das Auftreten von δ -Carbaminylnornithin bei der Argininfäulnis führt nun zu der Annahme eines besonderen Fermentes, das als Arginindesimidase bezeichnet werden möge und in diesem Sinne wirkt:



Daß dieses Ferment auch in der Wassermelone wirksam ist, muß man um so mehr annehmen, als *Koga* und *Odake* (6) neben Citrullin auch freies Arginin in der Wassermelone nachwiesen. Ein Teil der Muttersubstanz des Citrullins ist danach also in der Frucht noch unverändert erhalten geblieben.

Literatur.

1. *A. Kossel* und *H. D. Dakin*, Zeitschr. f. physiol. Chem. 41, 321. 1904; 42, 181. 1904.
2. Vgl. *C. Oppenheimer*, Die Fermente, S. 795. Verlag Thieme, Leipzig 1926.
3. *D. Ackermann*, Zeitschr. f. Biologie 62, 208. 1913 u. 63, 78. 1913; ferner *F. Linneweh*, ebenda 90, 109. 1930.
4. *F. Linneweh*, Zeitschr. f. physiol. Chem. 201. 1931.
5. *D. Ackermann*, Zeitschr. f. physiol. Chem. 56, 311. 1908; 60, 482. 1909; 69, 275. 1910.
6. *Y. Koga* und *S. Odake*, Journ. Tokyo Chem. Soc. 35, 519. 1914.
7. *M. Wada*, Biochem. Zeitschr. 224, 420. 1930.

Jahresbericht

der

Physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg

für das Jahr 1931.

Der Mitgliederstand der Gesellschaft war am 31. Dezember 1931

ordentliche einheimische Mitglieder	112
ordentliche auswärtige Mitglieder	13
außerordentliche Mitglieder	27
korrespondierende Mitglieder	5

Neu aufgenommen wurden 8 Herren (siehe Mitgliederverzeichnis 1930).

Durch den Tod verlor die Gesellschaft 1 Mitglied:

Dr. *Schmitt*, Walter, Universitäts-Professor.

Es wurden 19 Vorträge in 13 Sitzungen gehalten.

Die Vorstandswahl für das nächste Geschäftsjahr brachte folgendes Ergebnis:

1. Vorsitzender: Herr *Burgeff*,
2. Vorsitzender: Herr *Lubosch*,
1. Schriftführer: Herr *Strughold*,
2. Schriftführer: Herr *Wetzel*,
- Kassenwart: Herr *Hoppe-Seyler*,

Drittes Mitglied des Schriftleitungsausschusses: Herr *v. Frey*.

Mitgliederstand

der

Physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg

für das Jahr 1931.

I. Ordentliche einheimische Mitglieder.

Lfd. Nr.	Jahr der Aufnahme	
1	1876	Dr. <i>Kirchner</i> , Wilhelm, Hofrat, em. Universitäts-Professor.
2	1879	Dr. <i>Diem</i> , Wilhelm, Hofrat, prakt. Arzt.
3	1882	Dr. <i>Seifert</i> , Otto, Universitäts-Professor.
4	1887	Dr. <i>Lehmann</i> , Karl Bernhard, Geh. Rat, Universitäts-Professor.
5	1889	Dr. <i>Seisser</i> , Rudolf, Hofrat, prakt. Arzt.
6	1894	Dr. <i>Hofmann</i> , Adam, prakt. Arzt, Sanitätsrat.
7	1896	Dr. <i>Marbe</i> , Karl, Geh. Med.-Rat, Universitäts-Professor.
8	1897	Dr. <i>Hellmann</i> , Ludwig, Facharzt, Sanitätsrat.
9	1898	Dr. <i>Burckhard</i> , Georg, Universitäts-Professor.
10		Dr. <i>Beckenkamp</i> , Jakob, Geh. Hofrat, Universitäts-Professor.
11	1899	Dr. <i>Stumpf</i> , Julius, Obermedizinalrat, em. Universitäts-Professor.
12		Dr. <i>von Frey</i> , Max, Geh. Hofrat, Universitäts-Professor.
13	1903	Dr. <i>Kirchgessner</i> , Philipp, Facharzt.
14		Dr. <i>Schäffer</i> , Raimund, prakt. Arzt.
15		Dr. <i>Reichardt</i> , Martin, Universitäts-Professor.
16		Dr. <i>Rosenberger</i> , Wilhelm, Facharzt, Sanitätsrat.
17	1904	Dr. <i>Harms</i> , Fritz, Universitäts-Professor.
18	1905	Dr. <i>Pauly</i> , Hermann, Universitäts-Professor.
19	1906	Dr. <i>Fick</i> , Friedrich, Generaldirektor, M. d. R.
20	1908	Dr. <i>Wolde</i> , Oskar, Facharzt.
21		Dr. <i>Ackermann</i> , Dankwart, Universitäts-Professor.
22	1909	Dr. <i>Zieler</i> , Karl, Universitäts-Professor.
23		Dr. <i>Meyer</i> , Oskar B., Facharzt.
24	1911	Dr. <i>Bergrath</i> , Robert, Facharzt, Sanitätsrat.
25		Dr. <i>Emmert</i> , Bruno, Universitäts-Professor.
26		Dr. <i>Magnus-Alsleben</i> , Ernst, Universitäts-Professor.
27	1912	Dr. <i>Flury</i> , Ferdinand, Universitäts-Professor.
28		Dr. <i>Lubosch</i> , Wilhelm, Universitäts-Professor.
29	1913	Dr. <i>Schmidt</i> , Martin Benno, Geh. Hofrat, Universitäts-Professor.
30	1914	Dr. <i>Dahl</i> , Wilhelm, Facharzt.
31		Dr. <i>Seifert</i> , Ernst, Universitäts-Professor.

Lfd. Nr.	Jahr der Aufnahme	
32	1915	Dr. <i>Ruland</i> , Ludwig, Geh. Reg.-Rat, Universitäts-Professor.
33	1916	Dr. <i>Schleip</i> , Waldemar, Universitäts-Professor.
34	1917	Dr. <i>Rietschel</i> , Hans, Universitäts-Professor.
35	1918	Dr. <i>Dimroth</i> , Otto, Geh. Rat, Universitäts-Professor.
36	1919	Dr. <i>Port</i> , Konrad, Universitäts-Professor.
37		Dr. <i>Leuchs</i> , Prof. Julius, Direktor d. bakteriol. Untersuchungsanstalt.
38		Dr. <i>Baerthlein</i> , Karl, Universitäts-Professor.
39		Dr. <i>König</i> , Fritz, Geh. Medizinalrat, Universitäts-Professor.
40		Dr. <i>Hagemann</i> , Richard, Universitäts-Professor.
41		Dr. <i>Weinland</i> , Rudolf, Universitäts-Professor.
42		Dr. <i>Sapper</i> , Karl Theodor, Geh. Regierungsrat, Universitäts-Professor.
43		Dr. <i>Penners</i> , Andreas, Universitäts-Professor.
44	1921	Dr. <i>Förster</i> , Alfons, Universitäts-Professor.
45		Dr. <i>Meyer</i> , Max, Universitäts-Professor.
46		Dr. <i>Sticker</i> , Georg, Universitäts-Professor.
47		Dr. <i>Christa</i> , Emanuel, Universitäts-Professor.
48		Dr. <i>Gutmann</i> , Bernhard, prakt. Arzt.
49	1922	Dr. <i>Rost</i> , Georg, Geh. Reg.-Rat, Universitäts-Professor.
50		Dr. <i>v. Weber</i> , Eduard, Geh. Reg.-Rat, Universitäts-Professor.
51		Dr. <i>Bolza</i> , Hans, Fabrikdirektor.
52		Dr. <i>Kirchner</i> , Heinrich, Universitäts-Professor.
53		Dr. <i>v. Hirsch</i> , Gabriel, Privatgelehrter.
54		<i>v. Hirsch</i> , Paul, Rentner.
55	1923	Dr. <i>Steidle</i> , Hans, Universitäts-Professor.
56		Dr. <i>Hübler</i> , Karl, Universitäts-Professor.
57		Dr. <i>Münch</i> , Josef, Universitäts-Professor.
58		Dr. <i>Gauss</i> , Karl Johann, Universitäts-Professor.
59	1924	Dr. <i>Zöpffel</i> , Helmuth, Facharzt.
60		Dr. <i>Gabbe</i> , Ernst, Universitäts-Professor.
61		Dr. <i>Rapp</i> , Eugen, prakt. Arzt.
62		Dr. <i>Letterer</i> , Erich, Privatdozent.
63		Dr. <i>Redenz</i> , Ernst, Privatdozent.
64		Dr. <i>Wetzel</i> , Robert, Privatdozent.
65	1925	Dr. <i>Poller</i> , Konrad, Universitäts-Assistent.
66		Dr. <i>Petersen</i> , Hans, Universitäts-Professor.
67		Dr. <i>Strughold</i> , Hubertus, Privatdozent.
68		Dr. <i>Hellmuth</i> , Karl, Privatdozent.
69		Dr. <i>Reinwein</i> , Helmut, Privatdozent.
70	1926	Dr. <i>Kroiss</i> , Otto, Universitäts-Assistent.
71		Dr. <i>Grünthal</i> , Ernst, Privatdozent.
72		Dr. <i>Schieck</i> , Franz, Geh. Rat, Universitäts-Professor.
73		Dr. <i>Schmidt</i> , Ludwig, Universitäts-Professor.
74		Dr. <i>Hoppe-Seyler</i> , Felix, Privatdozent.
75		Dr. <i>Grafe</i> , Erich, Universitäts-Professor.
76		Dr. <i>Fischer</i> , Herwarth, Universitäts-Professor.
77		Dr. <i>Burgeff</i> , Hans, Universitäts-Professor.

Lfd. Nr.	Jahr der Aufnahme	
78	1927	Dr. <i>Oberniedermayr</i> , Anton, Universitäts-Assistent.
79		Dr. <i>Tönnis</i> , Wilhelm, Universitäts-Assistent.
80		Dr. <i>Bohnenkamp</i> , Helmut, Universitäts-Professor.
81		Dr. <i>Bundschuh</i> , Eduard, Oberarzt.
82		Dr. <i>Gäuting</i> , Heinz, Assistenzarzt.
83		Dr. <i>Lebermann</i> , Friedrich, Assistenzarzt.
84		Dr. <i>Wustrow</i> , Paul, Universitäts-Professor.
85		Dr. <i>De Rudder</i> , Bernhard, Privatdozent.
86	1928	Dr. <i>Kadanow</i> , D., Universitäts-Assistent.
87		Dr. <i>Gfroerer</i> , Facharzt.
88		Dr. <i>Marx</i> , Hermann, Universitäts-Professor.
89		Dr. <i>Haemel</i> , Joseph, Privatdozent.
90		Dr. <i>Schriever</i> , Hans, Privatdozent.
91		Dr. <i>Riehm</i> , Wolfgang, Privatdozent.
92	1929	Dr. <i>Neeff</i> , Th. C., Universitäts-Assistent.
93		Dr. <i>Rummel</i> , Universitäts-Assistent.
94		Dr. <i>Brodführer</i> , Obermedizinalrat.
95		Dr. <i>Kyrieleis</i> , Werner, Privatdozent.
96		Dr. <i>Willer</i> , Hans, Privatdozent.
97	1930	Dr. <i>Jander</i> , Wilhelm, Privatdozent.
98		Dr. <i>Weigmann</i> , Rudolf, Universitäts-Assistent.
99		Dr. <i>Weber</i> , Ullrich, Privatdozent.
100		Dr. <i>Heinicke</i> , Erich, Universitäts-Assistent.
101		Dr. <i>Wurm</i> , Adolf, Universitäts-Professor.
102		Dr. <i>Branscheidt</i> , Paul, Privatdozent.
103		Dr. <i>Dyes</i> , Otto, Privatdozent.
104		Dr. <i>Welte</i> , Adolf, Privatdozent.
105		Dr. <i>Reimers</i> , Karl, Universitäts-Assistent.
106		Dr. <i>Beltinger</i> , Oberregierungsrat.
107		Dr. <i>Schorn</i> , Maria, Privatdozentin.
108		Dr. <i>Karlstorf</i> , Adolf, Privatdozent.
109		Dr. <i>Bellonoschkin</i> , Boris, Universitäts-Assistent.
110		Dr. <i>von Diringshofen</i> , Oberarzt.
111		Dr. <i>Popp</i> , O., Universitäts-Assistent.
112		Dr. <i>Beller</i> , Alfred, Universitäts-Assistent.

II. Ordentliche auswärtige Mitglieder.

1	1891	Dr. <i>Heidenhain</i> , Martin, Universitäts-Professor, Tübingen.
2	1914	Dr. <i>Horowitz</i> , Isaak, Facharzt, Frankfurt a. M.
3	1917	Dr. <i>Süssmann</i> , Philipp Oskar, Universitäts-Professor, Nürnberg.
4	1919	Dr. <i>Nonnenbruch</i> , Wilhelm, Universitäts-Professor, Prag.
5	1920	Dr. <i>Birnbaum</i> , Universitäts-Professor, Dortmund.
6	1922	Dr. <i>Strecker</i> , Herbert, Privatdozent.
7		Dr. <i>Termer</i> , Universitäts-Professor, Guatemala.
8	1923	Dr. <i>Glaser</i> , Karl Ludwig, Universitäts-Professor, Solingen.
9	1925	Dr. <i>Grimm</i> , Hans, Universitäts-Professor, Heidelberg.
10		Dr. <i>Stahnke</i> , Ernst, Universitäts-Professor, Ludwigshafen.

Lfd. Jahr der
Nr. Aufnahme

- | | | |
|----|------|----------------------------------------------------------|
| 11 | 1925 | Dr. <i>Bogendorfer</i> , Ludwig, Universitäts-Professor. |
| 12 | | Dr. <i>Peters</i> , Friedrich, Köln. |
| 13 | | Dr. <i>Mark</i> , Köln. |

III. Außerordentliche Mitglieder.

- | | | |
|----|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 1876 | Dr. <i>Braun</i> , Max, Geh. Reg.-Rat, em. Univ.-Prof., Königsberg i. Pr. |
| 2 | 1878 | Dr. <i>Virchow</i> , Hans, Geh. Med.-Rat, em. Universitäts-Professor,
Berlin-Charlottenburg. |
| 3 | 1879 | Dr. <i>Wagenhäuser</i> , Josef, Universitäts-Professor, Tübingen. |
| 4 | 1880 | Dr. <i>Gad</i> , Johannes, Univ.-Professor i. R., Bubentsch bei Prag. |
| 5 | 1885 | Dr. <i>von Müller</i> , Friedrich, Geh. Rat, Univ.-Professor, München. |
| 6 | 1887 | Dr. <i>Berten</i> , Jakob, Universitäts-Professor, München. |
| 7 | | Dr. <i>Rösgen</i> , Philipp, Hofrat, prakt. Arzt. |
| 8 | 1888 | Dr. <i>Lenk</i> , Hans, Geh. Rat, Universitäts-Professor, Erlangen. |
| 9 | | Dr. <i>Landerer</i> , Robert, Facharzt, Stuttgart. |
| 10 | 1889 | Dr. <i>Heim</i> , Ludwig, Universitäts-Professor, Erlangen. |
| 11 | 1891 | Dr. <i>Sommer</i> , Robert, Universitäts-Professor, Giessen. |
| 12 | 1892 | Dr. <i>Riese</i> , Heinrich, Geh. Sanitätsrat, Professor, Berlin. |
| 13 | 1893 | Dr. <i>Koll</i> , Eduard, Krankenhaus-Oberarzt, Barmen. |
| 14 | | Dr. <i>von Lenhossék</i> , Michael, Hofrat, Univ.-Professor, Budapest. |
| 15 | 1895 | Dr. <i>von Müller</i> , Koloman, Freiherr, Univ.-Professor, Budapest. |
| 16 | | Dr. <i>Sobotta</i> , Johannes, Universitäts-Professor, Bonn. |
| 17 | | Dr. <i>Wolff</i> , Gustav, Universitäts-Professor, Basel. |
| 18 | 1898 | Dr. <i>Dieudonné</i> , Adolf, Geh. Medizinalrat, Ministerialrat, München. |
| 19 | | <i>Zierler</i> , Fr. E. Hj., Zahnarzt, Hamburg. |
| 20 | | Dr. <i>Helbron</i> , Josef, Professor, Berlin. |
| 21 | 1899 | Dr. <i>Weygandt</i> , Wilhelm, Univ.-Professor, Hamburg. |
| 22 | 1904 | Dr. <i>Peter</i> , Karl, Universitäts-Professor, Greifswald. |
| 23 | | Dr. <i>Manchot</i> , Wilhelm, Hochschul-Professor, München. |
| 24 | 1908 | Dr. <i>Enderlen</i> , Eugen, Geh. Hofrat, Univ.-Professor, Heidelberg. |
| 25 | 1911 | Dr. <i>Schlagintweit</i> , Otto, Privatdozent (beurl.), Berlin. |
| 26 | 1914 | Dr. <i>Müller</i> , Ludwig Robert, Universitäts-Professor, Erlangen. |
| 27 | | Dr. <i>Noll</i> , Hugo, Reg.-Med.-Rat, Bezirksarzt, Krumbach, Schwaben. |

IV. Korrespondierende Mitglieder.

- | | | |
|---|------|------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 1884 | Dr. <i>Ludwig Ferdinand</i> , K. Hoheit, Prinz von Bayern, München. |
| 2 | 1895 | Dr. <i>von Ebner</i> , Viktor, Hofrat, Universitäts-Professor, Wien. |
| 3 | 1905 | Dr. <i>Neuburger</i> , Max, Universitäts-Professor, Wien. |
| 4 | | Dr. <i>Spatz</i> , Bernhard, Geh. Sanitätsrat, Schriftleiter, München. |
| 5 | 1927 | Dr. <i>Beruti</i> , Universitäts-Professor, Buenos-Aires. |