

**Zeitschrift:** Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

**Herausgeber:** Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

**Band:** 105 (1924)

**Rubrik:** Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten und Hauptvorträge

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



Eröffnungsrede  
des Jahrespräsidenten  
und  
Hauptvorträge

---

Discours d'introduction  
du Président annuel  
et  
Conférences

---

Discorso inaugurale  
del Presidente annuale  
e  
Conferenze

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

# Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten

von

HANS BACHMANN (Luzern)

Dem Herrn Zentralpräsidenten, dem Zentralvorstande,  
den Mitgliedern und Freunden der Schweizerischen Natur-  
forschenden Gesellschaft mein Gruss!

Zum fünften Male hat Luzern die Ehre, die Schweizerischen Naturforscher und ihre Freunde zu wissenschaftlicher Arbeit und zu freundschaftlicher Geselligkeit in seinen Mauern vereinigt zu sehen. 1834 unter dem Präsidenten Dr. Jos. ELMIGER fanden sich 52 Mitglieder ein. 1862 begrüßte der Jahrespräsident Dr. FELIX NAGER die erlauchte Gesellschaft, deren Zentralpräsident Prof. Dr. LOCHER war. 1884 tagten die Schweizerischen Naturforscher unter dem Präsidenten Prof. Dr. L. SORET in Luzern. Jahrespräsident war Apotheker OTTO SUIDTER. Und 1905 hatte der von uns allen so hoch verehrte Herr Dr. FRITZ SARASIN die von ihm präsi- dierte Gesellschaft in Luzern eingeführt. Jahrespräsident war Herr Dr. SCHUMACHER-KOPP.

Sie haben mir die Ehre gegeben, die heutige Versammlung zu eröffnen. Wie soll ich diese Aufgabe lösen? Einen Rückblick auf die naturwissenschaftlichen Arbeiten unserer kleinen Stadt zu werfen, kann ich deswegen mir ersparen, da dies in den frühern Luzerner Jahresversammlungen reichlich geschehen ist. Wenn Sie das Titelbild unserer Teilnehmerkarte betrachten<sup>1</sup>, das aus der weltberühmten Luzerner Chronik von DIEBOLD SCHILLING entnommen ist, und dabei bedenken, dass kaum mehr als 300 Jahre seit der Abfassung dieser Chronik verflossen sind, dann wird Ihnen der gewaltige Schritt zum Bewusstsein kommen, den die Wissenschaft seit jenem 16. Jahrhundert ausgeführt hat. Ich kann diesen Augenblick nicht vorbeigehen lassen, ohne an zwei Luzerner zu erinnern, die mit jener Zeit im innigsten Zusammenhange standen. Es sind dies Dr. CARL NIKLAUS LANG (1670—1741) und Dr. MORIZ ANTON

---

<sup>1</sup> Einen die Reuss hinaufschwimmenden Drachen darstellend.

CAPPELER (1685—1769). Der Erstere steht noch mitten in der Zeit, aus der ein Bild, wie das angeführte, möglich war. Der Sammlungseifer von CARL NIKLAUS LANG hatte ein ganzes Museum von Petrefakten und anderen sogenannten Figurensteinen zusammengebracht. Aber so wenig er sich von den obstrusen Ideen betreffs der Entstehung der Versteinerungen ganz losmachen konnte, so wenig vermochte er sich ganz zu trennen von der Drachensage. Ihm gegenüber vertritt CAPPELER den Typus des streng wissenschaftlichen Beobachters. Er ist ja der Begründer der modernen Krystallographie. Sie sehen also, dass Geologie in unserer Stadt schon früh ihre Freunde fand. Was seit den Arbeiten unseres unvergesslichen FRANZ JOS. KAUFMANN in unserer engern Heimat an geologischem Schaffen geleistet wurde, ist Ihnen allen bekannt.

Auch die Pflanzenwelt unseres Kantons hat schon in den 60er Jahren ihren Bearbeiter gefunden. Daraus entstand die Flora des Kantons Luzern von Dr. ROBERT STEIGER, ein Buch, das noch heute seine zahlreichen Freunde besitzt.

Heute soll der Vierwaldstättersee das Thema meiner Begrüßungsansprache umschreiben. Dabei verschweige ich nicht, dass schon im Jahre 1661 ein Buch über den Vierwaldstättersee erschienen ist, dessen Titel lautet: *Beschreibung dess Berühmbten Lucerner- oder 4 Waldstätten Sees vnd dessen Fürtrefflichen Qualiteten vnd sonderbaaren Eygenschaften etc.... durch JOHANN LEOPOLD CYSAT, der Zeit Vnder-Stattschreibern zu Lucern.* Dass heute eine andere Betrachtungsweise der Seen den Wissenszweig der Hydrobiologie gestaltet, ist Ihnen bekannt. Um bei meinem engern Arbeitsgebiete zu verbleiben, werde ich mich mit der Planktonflora beschäftigen, deren Studium ich 1895 begonnen und bis heute fortgesetzt habe. Der Kanton Luzern bietet mit seinen sieben Seen Gelegenheit, allgemeine Fragen der Planktonkunde zu erörtern. Und diese allgemeinen Fragen dürften auf Ihr Interesse Anspruch machen. Zur Erledigung oder wenigstens zur Diskussion allgemeiner Gesichtspunkte darf weder die Studierstube mit der nötigen Literatur noch ein so beschränktes Gebiet, wie es der Kanton Luzern ist, die alleinige Quelle des Diskussionsstoffes darstellen. Nirgends ist es so wichtig, wie in der Planktonkunde, dass ein möglichst grosses Gebiet aus eigener Anschauung bekannt ist. Aus diesem Grunde habe ich in den verflossenen 30 Jahren mehr als 80 Schweizerseen auf Planktonpflanzen angesehen. Meine

Reisen nach Schottland, Grönland, Finnland haben dazu beigetragen, unsere Seen besser zu verstehen. Meine Erörterungen werde ich mit Bildern illustrieren, die durch mikrophotographische Aufnahmen entstanden sind.

### *I. Charakteristik der Seen des Kantons Luzern*

Die Zeit reicht nicht hin, um Ihnen ein vollständiges Bild über die Planktonflora unserer Gewässer zu geben. Es hat auch keinen Sinn, Sie mit Florenlisten zu langweilen. Ich begnüge mich, Ihnen durch die dominierenden Bestandteile des Vegetationsbildes den Charakter unserer Luzernerseen vorzuzeichnen. Freilich muss ich eine Frage vorerst erledigen, und die betrifft die Konstanz des Planktoncharakters der Seen. Meine 30jährigen Studien haben mir gezeigt, dass weitaus der grösste Teil unserer Schweizerseen ihren Charakter des Phytoplanktons beibehalten. Einige Beispiele mögen dies bezeugen. Der Vierwaldstättersee ist heute wie vor 30 Jahren ein ausgesprochener *Cyclotellasee* mit den typischen Planktonbacillariaceen *Asterionella* und *Fragilaria crotonensis*. Daneben vermögen verschiedene Dinobryon-Arten und *Ceratium hirundinella* dem Planktoncharakter ihr Gepräge zu geben. Planktonproben des Luganersees und des Lago maggiore aus den Jahren 1893, 1905, 1923 zeigten den nämlichen Charakter: *Ceratium*, *Asterionella*, *Fragilaria*, Dinobryon und kleinere Cycloptellen, bald den einen, bald den andern Bestandteil in Maximalentwicklung, je nach der Jahreszeit. Das Planktonbild des Zugersees aus den nämlichen Monaten der Jahre 1898, 1905, 1906 bis 1909, 1923 zeigt keine wesentlichen Abweichungen. Im Silsersee dominierten im August 1898, 1907 und 1921 *Ceratium* und *Asterionella*. Der Baldeggersee zeigt im Mai 1899, wie im Mai 1924, neben der Massenfaltung von *Oscillatoria rubescens* die Bacillariaceen *Synedra delicatissima*, *Fragilaria crotonensis*, *Tabellaria fenestrata* var. *asterionelloides*, *Asterionella gracillima* und die Peridinee *Ceratium hirundinella*. Sogar der kleine Schwendisee im Toggenburg demonstrierte seine Konstanz des Planktoncharakters, indem im September 1905, August 1913 und September 1921 *Ceratium* dominierend war und daneben *Asterionella* und Dinobryon *sertularia* das Bild ergänzten. Da die Periodizität der meisten Plankter bekannt ist, da ferner kein Bestandteil des Vegetationsbestandes gänzlich fehlt, wird man auch mit einer Probe

eines konstanten Sees den Charakter des betreffenden Gewässers diagnostizieren können. Im Gegensatz zu den konstanten Gewässern stehen die in Umbildung begriffenen Seen, als deren Beispiele der Rotsee und der Zürichsee zu betrachten sind.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen versuche ich, Ihnen das Phytoplanktonbild unserer Luzerner Seen zu entwerfen.

1. *Der Vierwaldstättersee*. Wie ich schon früher bemerkt habe, ist er ein ausgesprochener Cyclotellasee mit folgenden Arten: *Cyclotella lemanensis* Lemm., *C. socialis* Schütt, *C. Schroeteri* Lemm., *C. melosiroides* Lemm., *C. glomerata* Bachm., *C. lucernensis* Bachm. Je nach der Jahreszeit kommen *Asterionella gracillima* und *Fragilaria* zur Dominanz. Fast das ganze Jahr kommt auch *Cymatopleura elliptica* als Planktonbestandteil vor. Die Flagellaten figurieren mit den Dinobryon-Arten: *D. divergens* Imh., *D. sociale* Ehrb., *D. sociale* var. *stipitatum* (Stein) Lemm., *D. sociale* var. *bavaricum* Zach., *D. sociale* var. *americanum* Bachm., *D. cylindricum* Imh., *Cryptomonas pusilla* Bachm., *Cr. ovata* Ehrb., *Cr. erosa* Ehrb., *Uroglena volvox* Ehrb., *Mallomonas*-Arten. Unter den Peridineen sind fast das ganze Jahr in grösserer Zahl vorhanden: *Ceratium hirundinella*, *Peridinium cinctum* und *Willei*. Die Cyanophyceen rücken mit *Anabaena flos aquae* und *Aphanothece clathrata* var. *brevis* Bachm. auf, und die Grünalgen stellen das ganze Jahr: *Gloeococcus Schroeteri* (Chodat) Lemm. und *Botryococcus Braunii* Kütz.

2. *Der Sempachersee* (14,37 km<sup>2</sup>, grösste Tiefe 86,9 m). Dieser ausgesprochene See des Molasselandes zeigt eine Steigerung der Cyanophyceen. *Anabaena flos aquae* erreicht oft eine Wasserblüte (21. XI. 1923). Zu ihr gesellen sich: *Aphanothece microscopica* var. *connectens*, *Aph. clathrata* var. *brevis*, *Microcystis flos aquae*, *Gomphosphaeria Naegeliana*, *Coelosphaerium Kützingianum*, *Chroococcus limneticus*. Es fehlen die grossen Cyclotellen, aber die kleinern Arten bilden oft wesentliche Bestandteile des Vegetationsbildes. *Ceratium* mit den beiden vorerwähnten *Peridinium*-arten, *Asterionella*, *Fragilaria*, die Dinobryonarten geben immer noch Zeugnis von dem Reinwassercharakter des Sempachersees.

3. *Baldeggersee*. Seit mehr als 40 Jahren ist in stets gleicher Üppigkeit *Oscillatoria rubescens* der Hauptbestandteil des Planktonbildes. In den Wintermonaten stets gleichmässig in der Wassersäule verteilt, zieht sich dieses sog. Burgunderblut im Sommer in

die tiefern Wasserschichten zurück. Dazu gesellt sich oft *Microcystis aeruginosa*. Trotz der Massenentwicklung von *Oscillatoria* sind *Ceratium hirundinella* und *Peridinium cinctum* noch in hervorragender Menge entwickelt. *Tabellaria fenestrata* liefert die schöne Varietät *asterionelloides*. Und die Bacillariaceen *Asterionella*, *Fragilaria* und *Synedra delicatissima*, sowie *Cyclotella socialis* und die kleinern *Cyclotella*-formen illustrieren immer noch den Reinwassersee, dessen Stadium für den Baldeggersee wahrscheinlich nächstens abgeschlossen wird. Denn durch die fortwährenden Mengen von abgestorbenen *Oscillatorien* und die zugeführten organischen Verunreinigungen kann der Baldeggersee dem Stadium des Rotsees entgegengeführt werden.

4. *Der Mauensee*. Es ist eine weitere Steigerung der Cyanophyceen zu beobachten (*Gomphosphaeria Naegeliana*, *Aphanothece clathrata* var. *brevis*, *Merismopedia*). Dazu kommt noch eine reichliche Entfaltung der Chlorophyceen. Ich erwähne nur: *Ankistrodesmus falcatus* var. *mirabile*, *Oocystis*-Arten, *Scenedesmus quadricauda*, *Crucigenia rectangularis*, *Tetraedron minimum*, *Dictyosphaerium Ehrenbergianum*, *Chlorella*, alles Arten, die wir wieder beim zweiten Stadium des Rotsees treffen. Trotz dieser gewaltigen Entwicklung der Grünalgen, zu denen sich eine Massenentfaltung der grünen *Euglena oxyuris* gesellt, haben sich dennoch *Ceratium hirundinella* und die beiden *Peridinium cinctum* und *Willei* erhalten. *Peridinium cinctum* erreicht sogar ein Maximum, wie es in den grösseren Seen nie zu treffen ist. Und die Diatomeen *Asterionella*, *Synedra delicatissima*, *Cyclotella socialis* geben dem Mauensee noch das Gepräge der Sauberkeit, das auch durch die Maximalentfaltung der Gattung *Melosira* nicht gestört wird.

5. *Der Soppensee*. Das Bild wird beherrscht durch die drei Cyanophyceen: *Oscillatoria rubescens*, *Microcystis aeruginosa* und *Gomphosphaeria Naegeliana*, das nämliche Bild, wie es der Rotsee in seinem ersten Verschmutzungsstadium zeigte. Neben den Volvocaceen: *Phacotus lenticularis* und *Chlamydomonas* gelangen die Flagellaten: *Uroglena volvox*, *Mallomonas acaroides* zur Massenentwicklung. Dazu gesellen sich *Dinobryon sertularia* und *socialis*. Trotz diesen ausgesprochenen Zeichen von starker organischer Verunreinigung besitzt der Soppensee immer noch die Ceratien-*Peridinium*-Vegetation und die Bacillariaceen: *Asterionella*, *Fragilaria*, sowie kleine *Cyclotellen*. Dass dieser See einen ausgesprochenen



Faulschlamm aufweist, beweist das Vorkommen des Schwefelbakteriums *Chromatium* in den tiefern Wasserschichten.

6. *Der Egolzwilersee*. Er ist das Bild der Massenentfaltung der Cyanophyceen, die zu einer schokoladebraunen Wasserblüte sich entwickeln. Es sind dies: *Oscillatoria* und *Microcystis aeruginosa*. Dass sich dazu ein Menge von Chlorophyceen, Euglenen und *Dinobryon sertularia* gesellen, wird nicht verwundern. Immer noch erhalten geblieben sind: *Asterionella*, *Fragilaria* und *Synedra delicatissima*.

7. *Der Rotsee* (0,475 km<sup>2</sup>, grösste Tiefe 16,3 m). Der Rotsee ist ein hübsches Beispiel dafür, welche Veränderungen das Plankton eines Gewässers erfährt, wenn seine Wasserqualitäten sich ändern. Vor 1910 stellte der Rotsee den Seentypus des Mauensees dar. *Ceratium hirundinella* und *Peridinium cinctum* vertraten die Peridineen. *Microcystis aeruginosa*, *Gomphosphaeria Naegeliana*, *lacustris* und *Coelosphaerium Kützingianum* beherrschten das Planktonbild. *Dinobryon*, *Mallomonas* fühlten sich noch wohl. *Staurostrum gracile*, *Gloeococcus Schroeteri* und *Coelastrum microporum* wiesen in ihrer Hauptentfaltung auf die Anwesenheit grösserer Mengen organischer Substanzen. Aber dennoch konnten *Asterionella* und *Fragilaria* ihre gewohnten Maxima entwickeln. Da erschien im Jahre 1910 eine ungeheure Massenentfaltung von *Oscillatoria rubescens*, um nach wenigen Jahren wieder spurlos zu verschwinden. Und von nun an zeigte der Rotsee eine Entwicklung von Wasserblüten, wie sie in der Schweiz wohl einzig dastehen. An diesen Wasserblüten beteiligen sich vor allem die Chlorophyceen. Ich nenne da: *Gloeococcus Schroeteri* (1920), *Ankistrodesmus falcatus* var. *mirabilis*, *Richteriella botryoides* (V. 1921, V. 1922), die Flagellate *Cryptomonas ovata* (IV. 1921, I. 1922), die Cyanophyceen *Microcystis aeruginosa* und *Gomphosphaeria Naegeliana*, die Volvocaceen *Phacotus lenticularis* (IX. 1921, IX. 1923) und *Volvox aureus*. Die Peridineen *Ceratium* und *Peridinium* sind verschwunden. *Asterionella* und *Fragilaria* haben nur wenige Entfaltung aufzuweisen. Dafür tritt im Februar 1921 eine Massenentfaltung von *Stephanodiscus Hantzschii* auf, die nur wenig Dauer aufweist. In der Tiefe hat *Chromatium* seine Herrschaft angetreten. Das Planktonbild ist seit 1911 ein total anderes geworden. Die Ursache ist in der Einleitung von Kloaken aus der Stadt Luzern und von aus dem städtischen Kehricht ausgelaugten organischen Substanzen zu suchen.

Wiederum ist das Planktonbild des Rotsees in Umbildung begriffen, indem aus der Reuss Wasser in den Rotsee eingeführt wird. Solange die Wasserqualität des Rotsees kein Gleichgewicht gefunden haben wird, ist eine Konstanz des Planktonbildes nicht zu erwarten.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich die wertvolle Mitteilung von Dr. MINDER über den Zürichsee nicht unerwähnt lassen. Er erinnert an die aufeinanderfolgenden Plankterinvasionen und Massenerfaltungen, die seit 1896 im Zürichsee beobachtet wurden: 1896 *Tabellaria fenestrata* in der Varietät *asterionelloides*, 1898 *Oscillatoria rubescens* (ich verweise auf den Baldeggersee), 1905 *Melosira islandica* var. *helvetica*, 1907 *Stephanodiscus Hantzschii* (siehe Rotsee). Dann sagt MINDER: „Wir haben also im Zürichsee das seltene Beispiel vor uns einer Schritt für Schritt verfolgbaren Umbildung eines grossen subalpinen Randsees vom oligotrophen zum eutrophen Typus. Schleichend zwar, fast unmerklich, hat sich das Wasser mit Schmutzstoffen angereichert. Spontan und titanenhaft geradezu hat seine Biozönose reagiert.“ Sollte diese Umwandlung weitergehen, so lehrt uns der Rotsee, dass die noch vorhanden gebliebenen Reinwasserplankter verschwinden würden, und in der Tiefe würde *Chromatium* einziehen. Der Zürichsee würde zu einem Chlorophyceensee mit all den Launen der Wasserblüten umgestaltet.

Wie sehr die Plankter auf die Wasserqualitäten reagieren, das zeigten Versuche beim Einlaufe des Reusswassers in den Rotsee. Planktonproben aus dem Einlauf besaßen die verschiedenen Planktonpflanzen des Vierwaldstättersees in tadellos lebendem Zustande. Ich erwähne nur *Ceratium*, verschiedene *Cyclotellen* und *Dinobryon*kolonien. Schon 30 m von der Mündung entfernt konnte man das Absterben der *Ceratien*, *Dinobryon* und *Cyclotellen* verfolgen. Und das früher häufig vorkommende *Mallomonas*, aus dem Vierwaldstättersee wieder massenhaft eingeführt, kann vorläufig nicht wieder aufkommen.

## II. Seentypen in der Schweiz

Die vorausgehende Charakterisierung der Luzerner Seen führt mich zur Frage der Seentypen. Dieses Thema hat schon eine weitläufige Erörterung gefunden. Im Vordergrund stehen die Publikationen von THIENEMANN und NAUMANN. Als Resultat dieser

Diskussion gibt THIENEMANN in den „Naturwissenschaften“, 1921, folgende Gruppen der Seen an:

1. *Klarwasserseen* mit minimalen Mengen von Humusstoffen. Diese unterscheidet er in:

- a) Oligotrophen Typus und
- b) Eutrophen Typus.

Ich begnüge mich mit der kurzen Charakteristik beider Typen, indem ich auf die Literatur verweise. Das Hauptcharakteristikum des oligotrophen Typus ist die Armut an Pflanzennährstoffen. Im Winter wie im Sommer ist keine scharfe Sauerstoffschichtung vorhanden. Der Seeschlamm ist arm an organischen Stoffen. Kein Faulschlamm. Der eutrophe Typus besitzt Wasser, das reich ist an Pflanzennährstoffen. Im Sommer ist stets eine scharfe Sauerstoffschichtung vorhanden. Der Tiefenschlamm ist ein ausgesprochener Faulschlamm.

2. *Braunwasserseen*. Dystropher Typus. Flache Seen mit mooriger Umgebung und humusstoffreichem Wasser. Phytoplankton arm. Wasserblüten fehlen. Schizophyceen treten gegenüber Chlorophyceen, Chrysomonaden, Peridineen, Desmidiaceen zurück etc.

NAUMANN hatte 1917 Seentypen nach der Massenproduktion charakteristischer Plankter folgendermassen unterschieden:

#### *A. In nährstoffreichen Seen:*

Hier werden Massenentwicklungen von Phytoplankton beobachtet.

- 1. Der Myxophyceentypus.
- 2. Der Melosira-Stephanodiscus-Typus.
- 3. Der Peridineentypus südlicher Art (*Ceratium* ohne *Perid. Willei*).
- 4. Der *Fragilaria-crotonensis*-Typus.
- 5. Der *Pediastrum*typus.

#### *B. In nährstoffärmern Seen:*

- 1. Der Chlorophyceentypus.
- 2. Der Chrysomonadentypus.
- 3. Der Desmidiaceentypus.
- 4. Der Peridineentypus nördlicher Art.
- 5. Der *Cyclotella*-*Tabellaria*-Typus.

Wenn ich meine zahlreichen Planktonlisten betrachte, muss ich in erster Linie HUITFELDT-KAAS (1906) recht geben, der Gebirgsseen und Tieflandseen unterscheidet. Ich möchte die erste Gruppe derart erweitern, dass ich sie nenne:

#### *A. Gebirgsseen und arktische Seen*

Als Hauptmerkmale, worin die Gebirgsseen und arktischen Seen miteinander übereinstimmen, nenne ich:

1. Das Zurückbleiben von *Ceratium hirundinella*.
2. Das Ausbleiben von *Asterionella* und *Fragilaria crotonensis*.  
Überhaupt fehlen die typischen Planktondiatomeen.
3. Die ausserordentlich geringe quantitative Menge an Phytoplankton. Sie ist besonders in den Seen merklich, wo viel mineralischer Detritus schwebend vorhanden ist.
4. Die seichtern Felsbecken mit geringem Wasserwechsel sind der Schauplatz von Desmidiaceen und von Wasserblüten bildenden Chrysomonadineen (*Uroglena* und *Dinobryon sertularia*).
5. Von den Chlorophyceen sind *Crucigenia*, *Gloeococcus Schroeteri*, *Chlamydomonas*, *Ankistrodesmus* häufig.

Gehen wir vom Vierwaldstättersee aus, so stellt der Seelisbergsee (736 m) noch einen typischen Tieflandsee mit den Hauptplanktern *Ceratium*, *Gloeococcus Schroeteri*, *Asterionella*, *Synedra delicatissima* etc. dar. Schon die Frutt weist nur Gebirgsseen auf. Und da zeigt sich der grosse Einfluss des mineralischen Detritus auf die Entfaltung des pflanzlichen Planktonlebens, ein Einfluss, den man nicht nur bei Gebirgsseen, sondern auch im arktischen Gebiet beobachtet, die fast völlige Verhinderung des Phytoplanktons. Der Melchsee und der Engstlensee weisen kein Phytoplankton auf. Hingegen die Rundhöckerbecken der Tannalp sind das Dorado der Desmidiaceen und der *Uroglena volvox*.

Betrachten wir die Gotthardseen, so können wir hier noch *Ceratium hirundinella* konstatieren. Aber neben dem *Peridinium Westii*, das auch im Seelisbergsee vorkommt, ist kein anderer Phytoplankter wahrzunehmen. Im Lucendrosee fehlt auch *Ceratium*. Und da wie dort präsentieren sich die Cruster in dem herrlich roten Carotinkleide, das für die Gebirgsseen so charakteristisch ist.

Sehr schön demonstrieren die Seen des Val Piora das allmähliche Zurücktretten von *Ceratium*. Der Ritom-, Cadagno- und Tomsee

stimmen darin überein, dass überall die typischen Planktondiatomeen *Asterionella* und *Fragilaria crotonensis* fehlen. Aber in allen drei Seen ist *Ceratium* noch häufig. Der Ritomsee mit seinem vielen mineralischen Detritus ist quantitativ arm an Phytoplankton, während der Cadagnosee, der eine geringere Zuflussmenge von Gebirgswasser erhält, eine reiche Flora an *Uroglena*, *Chlamydomonas*, *Cryptomonas*, *Oocystis*, *Gloeococcus Schroeteri* etc. entfaltet. Der höher gelegene Lago di Dentro kennt *Ceratium* nicht mehr.

Der auf 1800 m gegenüber dem Val Piora gelegene Tremorgiosee besitzt weder *Ceratium* noch *Asterionella*, sondern nur *Cryptomonas*, *Gloeococcus Schroeteri*, *Oocystis* und merkwürdigerweise die kleine *Cyclotella melosiroides*.

Von den Graubündnerseen möchte ich nur zwei Beispiele anführen. Das erste Beispiel betrifft den Pass von San Bernardino. Ich kenne keine Gegend in der Schweiz, die so geeignet ist, die Erinnerung an Grönland so lebhaft wach zu rufen, wie San Bernardino. Lassen Sie auf die Quote von 1800 m eine Nebelschicht legen und betrachten Sie diese herrliche Rundhöckerlandschaft mit dem Phantasiegedanken, unter Ihnen breite sich das unendliche Meer aus, dann haben Sie ein Bild der Westküste von Grönland, etwa in der Gegend von Holstensborg. Und nun ein Blick in die mikroskopische Pflanzenwelt des Moesolasees und der andern zahlreichen Felsbecken. Es ist fast genau die nämliche Desmidiaceenflora hier wie dort. Keine planktonischen Diatomeen, kein *Ceratium*, nur das allgemein vorkommende *Peridinium Willei*, von dem ich später noch sprechen werde. Ich könnte die Planktonlisten in eine Arbeit über grönländisches Plankton einreihen. Niemand würde diesen Irrtum ausfindig machen.

Folgen Sie mir einige Augenblicke ins Engadin. Auf 1800 m Höhe diese herrlichen Silser-, Silvaplaner-, Campfer- und Sankt Moritzerseen. Alle noch typische Tieflandseen mit *Ceratium*, *Asterionella* und *Fragilaria*, wenn auch die letztere stark zurückgeblieben ist. Aber schon der Cavlocchiosee (1910 m) ist in die Reihe der Gebirgsseen eingetreten mit schwach ausgebildetem Desmidiaceencharakter. Und die kleinern Becken, wie: Lunghinsee, Lei Sgrischus und benachbarter Lei Alv, oder auf der Gegenseite der einsame Tscheppasee, alle durch eine auffallende Armut in quantitativer wie in qualitativer Beziehung ausgezeichnet und keiner einen Organismus aufweisend, der nur für Gebirgsseen

charakteristisch wäre. Eine hübsche Überraschung darf ich dabei nicht verschweigen, die uns den Weg zeigt, wie die Alpenseen studiert werden sollten. Der Lei Sgrischus war durch die gewohnte Armut an Plankton sofort als ächter Gebirgssee gezeichnet. Nun schöpfte ich Wasser zur Untersuchung mit der Zentrifuge. Und da ergab die Untersuchung eine Massenentwicklung von *Cyclotella comensis* var. *alpina* mit dem geringen Durchmesser von bloss 5—8 Mikron. Daher war diese Kieselalge dem Netzplankton fern geblieben. Und so dürfte die Methode mit der Zentrifuge noch manche Überraschung bei dem Studium der Alpenseen bringen.

Im Wallis sind mir die Wasserbecken der Gegend von Zermatt und Saas Fee bekannt. Der Grünsee von Findelen, die Gornerseen, Riffelseen, Seelein am Gagenhaupt, überall dieselbe Armut an Arten und Individuen (*Chroococcaceen*, *Nostoc*, *Oocystis*, *Crucigenia* und spärliche *Desmidiaceen*). Nur im Schwarzsee präsentierte sich eine stattliche *Desmidiaceenflora*. Und als ob hier die Verwandtschaft der Gebirgsseen mit den arktischen Seen demonstriert werden sollte, fand ich hier eine hübsche Varietät des *Euastrum verrucosum*, das ich in Grönland als häufigen Bestandteil konstatiert hatte. Auch die Felsbecken von Saas Fee demonstrierten eine nämliche üppige *Desmidiaceenflora*, wie die Felsbecken von San Bernardino.

Die Gebirgsseen der Grimsel und der Gemmi gehören zu der Gruppe, wo durch mineralischen Detritus das Phytoplankton unmöglich gemacht wird.

Schon in meiner Arbeit über die Süßwasserflora von Westgrönland habe ich darauf hingewiesen, dass dem arktischen Gebiete keine Charakterflora des Süßwassers zukomme. Den nämlichen Schluss muss ich aus meinen Studien der Planktonflora der Alpenseen ziehen. Ich könnte keinen Organismus nennen, der nur den Gebirgsseen zukommen würde. Immerhin darf ich einen Organismus nicht unerwähnt lassen. HUITFELDT-KAAS und nach ihm NAUMANN haben das *Peridinium Willei* als nordische Peridinee bezeichnet. Dieses *Peridinium* ist nun auch das häufigste *Peridinium* der Gebirgsseen. Aber es ist auch in den meisten Schweizerseen des Tieflandes nachgewiesen. Und was früher unter der Flagge des *Peridinium tabulatum* segelte, ist in den meisten Fällen dasselbe *Peridinium Willei*. Und eine andere kleine Peridinee soll auch erwähnt werden. Es ist dies *Glenodinium minimum*, das zuerst im Zugersee durch LANTZSCH nachgewiesen worden ist.



Dieser Peridineenzwerg kommt nun in sehr vielen schweizerischen Gebirgsseen vor und ist ebenso häufig in den Tieflandseen der Schweiz, wie das vorerwähnte *Peridinium Willei*.

Hier könnte nun die Frage aufgeworfen werden, ob diese beiden Organismen nicht Relikte der nordischen Planktonflora wären, wie dies bekanntlich für zahlreiche Planktontiere nachgewiesen wurde.

### *B. Tieflandseen*

Man könnte diese Seen auch als Ceratium-Asterionellaseen bezeichnen, dann umfasst dieser Begriff alle Seen, die nicht dem arktischen Charakter angehören. Der Begriff Braunwasserseen im Sinne THIENEMANNs kann nicht aufrecht erhalten werden, wenn man die Seen Schottlands kennt. Sie sind Ceratium-Asterionellaseen, die oft auch Wasserblüten entfalten, obschon ihr Wasser die typische Kaffeebraunfarbe besitzt, die den Humusgewässern eigen ist. Wenn die Seen durch ihre Wasserqualitäten die Planktonbewohner bestimmen, und daran ist nicht zu zweifeln, dann hatte NAUMANN recht, als er die Seentypen nach einer Charakterflora bezeichnete. Und von diesem Standpunkte aus scheint mir eine Zerteilung der Tieflandseen etwa in der Form angängig, dass man unterscheidet:

- a) Desmidiaceenseen und
- b) Desmidiaceenfreie Seen.

Von den Schweizerseen war vor 1910 der Rotsee eines der wenigen Beispiele der erstern Gruppe. Das Hauptland der ersten Gruppe ist Schottland. Das Studium der schottischen Seen zeigte mir, dass auch bei den Desmidiaceenseen verschiedene Typen unterschieden werden können, die einigermaßen parallel den Typen gehen, die wir bei den desmidiaceenfreien Seen unterscheiden werden. Ich will diese Gruppe nicht weiter in den Kreis meiner heutigen Betrachtung einbeziehen, sondern einige Augenblicke bei der zweiten Gruppe verweilen, der ja die meisten Tieflandseen der Schweiz angehören. Hier könnte man die Unterscheidung von THIENEMANN annehmen und von oligotrophen und eutrophen Seen sprechen. Aber auch da gehe ich mit THIENEMANN einig, dass kein scharfer Unterschied dieser zwei Typen vorhanden ist.

#### 1. Oligotrophe Seen

1. Typus. Cyclotellaseen. Zu diesen Seen gehören der Genfer-, Neuenburger-, Bieler-, Thuner-, Brienzer-, Vierwaldstätter-, Zuger-,

Boden-, Luganer-, Langensee, also alle grössern Schweizerseen. Aber keine zwei Seen dieses Typus werden jemals zur gleichen Zeit das nämliche Vegetationsbild zeigen. Jeder ist eine ausgesprochene Individualität. Als weitere Formationen könnten die Cyanophyceen in Betracht kommen. In dieser Beziehung würde ich weiter gruppieren:

- a) Anabænaseen, z. B. der Vierwaldstättersee.
- b) Anabæna-Microcystis-Seen, z. B. Luganer-, Langensee.
- c) Oscillatoriasen, z. B. der Zuger-, der Sarnersee, der Murtensee.
- d) Cyanophyceenseen mit den kleinen Cyclotellaarten. Sie stehen auf der Grenze der nährstoffarmen und nährstoffreichen Seen. Entweder *Oscillatoria rubescens* oder irgend eine Anabæna- oder Microcystisart kommen öfter zur Wasserblütenbildung. Dahin gehören der Zürich-, der Sempacher-, der Baldeggersee, wobei der Sempachersee den oligotrophen Seen am nächsten steht.
- e) Als eine besondere Gruppe der Cyclotellaseen (Lac de Bret) wären noch die kleinen Seen zu erwähnen, die wenig Cyanophyceen, aber *Ceratium* besitzen und das für seichte Gewässer charakteristische *Dinobryon sertularia* (Hüttwiler-, Lützel-, Pfäffikonsee).

## 2. Eutrophe Seen

Hier erwähne ich 3 Typen:

2. Typus. Cyanophyceen-Chlorophyceen-Seen nach dem Beispiel des Mauensees. Neben Wasserblüten von Cyanophyceen, die ja den Oberflächenschichten angehören, finden sich die Grünalgen in einer speciesreichen und individuenreichen Flora ein.

3. Typus. Cyanophyceen-Chrysomonaden-Typus. *Uroglena* und *Dinobryon sertularia* kommen hier zur Massenentfaltung. Das Beispiel ist der Egolzwilersee.

4. Typus. Chromatiumseen. Auch da spielen die Cyanophyceen mit Massenentfaltungen von Grünalgen und Flagellaten die Hauptrolle. In den tiefern Wasserschichten lebt das Schwefelbakterium *Chromatium*. Beispiele sind der Soppensee und Rotsee. Wie sich diese Gruppierung der Seen ausnimmt, wenn man die bis jetzt bekannten Seen anderer Länder in Betracht zieht, kann ich heute nicht erörtern. Ich werde anderwärts Gelegenheit dazu nehmen.



### *III. Planktonbestimmende Faktoren*

Schon FOREL hat darauf hingewiesen, dass jeder See einen Organismus für sich darstelle. Und alle die Monographien der Schweizerseen, die aus den Laboratorien der Herren CHODAT, WILCZEK, FUHRMANN, ZSCHOKKE, SCHROETER hervorgegangen sind — Sie werden mir die Aufzählung der zahlreichen Bearbeiter des Phytoplanktons unserer Seen ersparen —, stimmen darin überein, dass, wie ich schon früher bemerkt habe, nicht zwei Seen unseres Landes mit einander in ihrem Pflanzenbilde identisch sind.

Instruktiv sind in dieser Beziehung Seen, die in geringer Distanz mit einander in Verbindung sind. Da hat BALLY (1907) als hübsches Beispiel die Untersuchungen des Zürcher Obersees und den Vergleich mit dem Zürcher Untersee gebracht. Gleichzeitige Bestandesaufnahmen dieser beiden Seen gaben vollständig verschiedene Bilder. Damit stimmen auch meine Untersuchungen des Silser- und Silvaplanersees überein. Während der erstere ein reines Ceratiumplankton aufwies, zeigte der Silvaplanersee zur nämlichen Zeit eine Dominanz von Asterionella. Der Vierwaldstättersee erhält lebende Planktonorganismen vom Sarner- und Lowerzersee. Der erstere liefert *Oscillatoria rubescens*. Aber noch nie konnte diese Pflanze im Vierwaldstättersee zum Planktonbestandteil sich entwickeln. Und von beiden genannten Seen erhält der Vierwaldstättersee Ceratien von typischem Habitus. Aber deswegen hat der letztere doch seinen Habitus der Ceratienform beibehalten. Und wie sich die Plankter des Vierwaldstättersees verhalten, wenn sie durch den Reusskanal in den Rotsee gelangen, darauf habe ich schon hingewiesen. Vorläufig haben sie es nicht zustande gebracht, das Planktonbild des Rotsees umzugestalten. Der grösste Teil der Plankter des Vierwaldstättersees geht im Rotsee in kurzer Distanz vom Einlaufe zu Grunde.

Ein anderes Beispiel steht mir zur Verfügung, wo die Überführung von Plankton aus einem See in einen andern von Erfolg begleitet ist. Es ist dies der Cadagno- und Ritomsee im Val Piora. Zur Zeit, als der Ritomsee noch eine ausgedehnte Schwefelwasserstoffschicht unterhalb 12 Meter Tiefe besass, war in den Sommermonaten das Phytoplankton des Ritomsees nur das vom Cadagnosee eingeführte Phytoplankton. Freilich war damals schon eine Weiterentwicklung zu konstatieren. Jedes Jahr aber musste das Plankton

des Ritomsees wieder durch dasjenige des Cadagnosees erneuert werden, da die Dauerzustände der Ritomsee-Plankter im Schwefelwasserstoffschlamm zugrunde gingen. Nachdem nun die Schwefelwasserstoffzone des Ritomsees verschwunden ist, hat in demselben die aus dem Cadagnosee eingeführte Planktonflora eine normale Entwicklung erfahren. Das Planktonbild des Ritomsees unterscheidet sich nur durch die Quantität von demjenigen des Cadagnosees. Die Organismen sind mit Ausnahme von *Chromatium*, welches nur noch dem Cadagnosee angehört, die nämlichen, wie im Cadagnosee. Wir haben also folgende Fälle bei Seen, die mit einander in Verbindung stehen, zu unterscheiden:

1. In beiden Seen sind die Planktonbilder übereinstimmend. (Cadagno—Ritomsee, Baldegger—Hallwilersee.)

2. Beide Seen enthalten nämliche Organismen, aber verschiedene Bestandesbilder. Der zweite See kann dabei Organismen aufweisen, die im ersten See fehlen. (Zürcher Ober- und Untersee.)

3. Die Planktonbilder beider Seen sind quantitativ und qualitativ verschieden, als ob sie nicht miteinander in Verbindung wären. Der letztere Fall zeigt dann schon die Erscheinung, die wir bei unsern Schweizerseen, wie bei allen andern Seen konstatieren, eine Erscheinung, auf die schon SCHRÖTER aufmerksam gemacht hat, ich meine die Lokalformen der variationsfähigen Plankter. Ich begnüge mich mit drei Beispielen: *Ceratium hirundinella*, *Cymatopleura elliptica* und *Tabellaria fenestrata* var. *asterionelloides*. Man dürfte fast behaupten, dass jeder See, der einen dieser Organismen aufweist, durch eine ihm eigene Form dieses Plankters ausgezeichnet ist. Und worin liegt die Ursache all dieser Erscheinungen? Bis heute gibt es nicht einen einzigen Anhaltspunkt, diese Frage zu beantworten. Der Rotsee muss Qualitäten besitzen, welche die Plankter des Vierwaldstättersees zugrunde richten. Das ist Tatsache. Er muss Qualitäten besitzen, welche ihm den Charakter eines eutrophen Sees im Sinne THIENEMANNS verleihen. Und für diese letztere Qualität haben z. B. NAUMANN und THIENEMANN und andere Planktologen die Antwort bereit: Ursache an diesen eutrophen Planktonbildern sind die reichlich vorhandenen Pflanzennährstoffe. Das ist der einzige Ausdruck, der in der bisherigen Planktonliteratur vorkommt. Ich denke, dieser Ausdruck könnte auch mit dem Ausdruck „organische Substanz“ wiedergegeben werden, ein Ausdruck, der ja chemisch erfasst werden kann. SUCHLAND, MINDER,

AUERBACH haben dem Gehalt an Kalksalzen Aufmerksamkeit geschenkt. Aber weder durch die Bestimmung der Menge an organischen Substanzen im allgemeinen, noch durch die Härtebestimmung oder durch die interessanten Sauerstoffbestimmungen (MINDER, THIENEMANN) ist ein Kausalzusammenhang des Planktonbildes eines Sees mit den Qualitäten des Wassers nachgewiesen worden. Mir scheint es unabweisbar, dass Qualitätsunterschiede von so geringer Quantität ausschlaggebend sind, wie sie die gewöhnliche chemische Wasseranalyse niemals auffinden könnte. Und dass chemische Verhältnisse in Betracht kommen, zeigen diejenigen Seen, die in thermischer Beziehung mit einander übereinstimmen und doch in ihren Planktonbildern grundverschieden sind. Die Herren Chemiker mögen den Weg weisen, wie an Stelle des nichtssagenden Ausdrucks „Pflanzennährstoff“ oder „organische Substanz“ greifbarere Begriffe gesetzt werden können, die einzeln gefasst werden. Vielleicht bringt die Methode der Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration einen Aufschluss, in welcher Richtung die Untersuchungen durchgeführt werden müssen, um das pflanzliche Planktonbild eines Sees als Ausdruck des Milieus zu erkennen. Kosmopoliten sind die Bewohner unserer Seen. Darüber haben die Planktonuntersuchungen in den verschiedensten Erdteilen Aufschluss gegeben. Individualitäten sind unsere Seen, wie die Seen aller Länder. Die Ursächlichkeit dieser Tatsachen aufzuklären, ist das grosse Ziel der künftigen Planktonforschung, ein Ziel, dem auch die experimentelle Planktonforschung ihre Arbeit widmen sollte.

Meine verehrten Anwesenden! Ich habe die Ehre, die 105. Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft für eröffnet zu erklären.

# Geologie des Pilatus

Von

A. BUXTORF, Basel

(Mit 1 Profiltafel und 3 Textfiguren)

Der Nordrand der Schweizeralpen ist ein Gebiet schärfster landschaftlicher Gegensätze. Vom Thunersee bis zum St. Galler Rheintal wird das mittelschweizerische Molasseland im Süden unmittelbar überragt von der Stirne der helvetischen Kalkalpen. Aber es ist kein einheitlicher und gleichförmiger Gebirgszug, der uns hier entgegentritt: Die Randkette der Alpen erscheint vielmehr aufgelöst in einzelne Teilstücke, deren jedes nach Gestalt und Bau seine Eigenheiten aufweist. Unter all den Gliedern aber ragen zwei als selbständige Gebirgsgruppen weit über alle andern hinaus: im Osten der Säntis, in der Zentralschweiz der Pilatus. Hier wie dort zeigt sich ein wildes „Sich-Aufbäumen“ der Falten, viel energischer als wir es sonst am Alpenrande gewohnt sind.

Als vor 19 Jahren die Schweizer Naturforscher in Luzern tagten, war es dem Altmeister der Schweizer Geologen, Prof. ALB. HEIM, vergönnt, sie mit dem Säntisgebirge vertraut zu machen. Heute, wo uns die Wege wieder in diese gastliche Stadt geführt haben, sei mir gestattet, die Geologie des Pilatus darzulegen, dessen vielzackige Silhouette den markanten westlichen Abschluss im Panorama der Vierwaldstätterberge bei Luzern bildet.

Es würde gewiss eine reizvolle Aufgabe sein, mit Ihnen der Erforschungsgeschichte des Pilatus nachzugehen und zu verfolgen, wie es der Jahrhunderte bedurfte, um an Stelle sagenhafter oder abergläubischer Überlieferung ganz allmählich naturwissenschaftliches Erkennen zu setzen. Berühmte Namen würden uns begegnen: CONRAD GESSNER, FELIX PLATTER, J. W. CYSAT, KARL NIKLAUS LANG, J. J. SCHEUCHZER, MORITZ ANTON CAPPELER; sie alle, um nur die wichtigsten zu nennen, haben ihre Spuren in der Erforschung des berühmten Berges zurückgelassen; allein ich muss es

mir versagen, ihre Verdienste im einzelnen zu würdigen und zu prüfen, was wir ihnen an Wertvollem verdanken.

Eines Mannes der neuern Zeit aber haben wir an dieser Stelle eingehend zu gedenken, nämlich des Luzerner Geologen Prof. FRANZ JOSEPH KAUFMANN, dessen Werke für alle Zeiten den Ausgangspunkt jeder geologischen Erforschung der Zentralschweiz, besonders der Gegend von Luzern, bilden werden.

Als im Jahre 1860 die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft eine besondere „Geologische Kommission“ einsetzte und damit beauftragte, die Erstellung einer geologischen Karte der Schweiz an die Hand zu nehmen, war Prof. KAUFMANN der gegebene Mitarbeiter. Seit 1854 erteilte er den naturwissenschaftlichen Unterricht an der Luzerner Kantonsschule; ein Auftrag Dr. KASIMIR PFYFFERS, für eine Beschreibung des Kantons Luzern den geologischen Teil zu liefern, war für KAUFMANN Mitte der fünfziger Jahre die äussere Veranlassung, sich mehr und mehr der Geologie zuzuwenden. Seine 1860 erschienenen „Untersuchungen über die mittel- und ostschweizerische subalpine Molasse“ waren der denkbar beste Ausweis für sein geologisches Können.

KAUFMANN ist in der Folge einer der erfolgreichsten Mitarbeiter der Schweizerischen Geologischen Kommission geworden; wir verdanken ihm nicht bloss die geologische Karte 1 : 100,000 ausgehnter Gebiete der Voralpen der Zentralschweiz und des miltel-schweizerischen Molasselandes, sondern auch eine Reihe von Textbänden, sogenannten Beiträgen, in denen er mit äusserster Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit seine Beobachtungen niedergelegt hat. Unter all den Arbeiten KAUFMANNS nimmt aber eine besondere Stellung ein: es ist seine 1867 erschienene „Geologische Beschreibung des Pilatus“.<sup>1</sup> Was KAUFMANN anstrebte, das sagt uns am besten das Vorwort des Werkes: „Der Wichtigkeit des Gegenstandes entsprechend und nicht ohne einige Vorliebe für denselben (uns Luzernern allen ist er ja nahe ans Herz gewachsen), habe ich dem Pilatus nicht nur alles dasjenige abzugewinnen gesucht, was für die geologische Wissenschaft und Landeskunde von Interesse sein kann, sondern auch ein besonderes Gewicht gelegt auf Verständlichkeit und Brauchbarkeit, damit auch Laien, die sich mit der Geologie vertraut machen und den Pilatus als Lehrmeister benutzen

---

<sup>1</sup> Diese kleinen Zahlenhinweise im Text beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss.

wollen, insbesondere junge Leute, denen die Anfangsgründe der Geologie nicht ganz unbekannt sind, in den Stand gesetzt seien, sich bei ihren Exkursionen leicht zurecht zu finden und die Kluft, welche zwischen dem toten Buchstaben der Theorie und dem lebensfrischen Borne der Erfahrung besteht, aus eigenen Kräften auszufüllen.“ KAUFMANN hat das Ziel, das ihm vorschwebte, in allen Teilen erreicht; Text und Illustration seines Pilatusbandes fügen sich zu einem vollendeten Ganzen zusammen, das seinen Wert auch dann beibehalten wird, wenn neue Ideen längst einer andern Betrachtungsweise gerufen haben.

Zu Karte und Text hat KAUFMANN noch ein drittes gefügt: das geologische Relief des Pilatus. Als im September 1867 in Luzern der Schweizerische Alpen-Club seine 5. Jahresversammlung abhielt, konnte KAUFMANN namens der Sektion Pilatus als ihr Erstlingswerk zwei Reliefs des Pilatusberges vorlegen, das eine in landschaftlicher, das andere in geologischer Bemalung: ein Gedanke, der, wie wir sehen werden, fünf Jahrzehnte später erneut aufgegriffen worden ist.<sup>2</sup>

All diesen, mit ebenso viel Sachkenntnis als Sorgfalt und Liebe durchgeführten geologischen Arbeiten KAUFMANNs war es zu verdanken, dass schon vor mehr als 50 Jahren der Pilatus der bestbekannte Schweizerberg geworden war.

Die Besucher unserer Jahresversammlungen sind damit vertraut, dass die letzten drei Jahrzehnte für das Alpengebiet eine ganz neue Betrachtungsweise des geologischen Baues gebracht haben; die genannte Zeitspanne bedeutet den Siegeszug der Lehre von den grossen Überschiebungen, der sogenannten Deckentheorie, als deren Begründer M. BERTRAND, H. SCHARDT und M. LUGEON zu gelten haben. Die Anregung, die von diesen neuen Gedanken auf die Alpengeologie ausging, war eine gewaltige, bis heute unvermindert fortwirkende. Das gesamte Alpengebiet musste nun einer Neubearbeitung unterworfen werden; mit Feuereifer hat sich eine grosse Zahl von Forschern dieser Arbeit zugewandt und heute ist zum mindesten für das Gebiet der Schweiz, dank dem vorgeschrittenen Stand seiner topographischen und geologischen Karten, eine weitgehende Abklärung erreicht worden.

Das eben Gesagte gilt auch für das Gebiet des Vierwaldstättersees. Ausgehend von der Bearbeitung der Aufsam-



lungen des 1895 in Basel verstorbenen Geologen ULR. STUTZ, hat bald nachher A. TOBLER, im Auftrag der Schweizerischen Geologischen Kommission, es unternommen, die sogenannten Klippen: Stanserhorn, Buochserhorn und Mythen neu zu bearbeiten. Weitere Kräfte untersuchten in der Folge die umgebenden Gebirge und die Gegend von Luzern und so entstand im Zeitraum 1896—1912 durch die gemeinsame Arbeit von A. TOBLER, G. NIETHAMMER, E. BAUMBERGER, P. ARBENZ, WALTER STAUB und A. BUXTORF die 1916 von der Schweizerischen Geologischen Kommission herausgegebene „Geologische Vierwaldstättersee-Karte“ 1 : 50,000.<sup>3</sup>

Der Umstand, dass für den Alpenrand die geologische Originalkartierung in 1 : 25,000 ausgeführt worden war, veranlasste die Schweizerische Geologische Kommission, vom Bürgenstock und der Rigi hochfluhkette Detailkarten in diesem grössern Massstabe herauszugeben. Eine entsprechende Einzelkarte ist für den Pilatus geplant; sie würde wohl längst fertig vorliegen, wenn nicht seit einer Reihe von Jahren eine leider viel zu lang sich hinziehende topographische Neubearbeitung des Siegfriedblattes Pilatus stattfände. Hoffen wir, die Eidgenössische Landestopographie liefere das längst versprochene neue Blatt bis Ende dieses Jahres, damit dann endlich die Übertragung der auf alter Topographie erstellten geologischen Aufnahmen auf die neue Unterlage von statten gehen kann!

Als Ersatz für die noch ausstehende geologische Karte aber mögen Sie das heute hier ausgestellte „Geologische Relief des Pilatus“ 1 : 10,000 betrachten, dessen erste Vorarbeiten zurückgehen auf XAVER IMFELD, den 1909 verstorbenen berühmten Ingenieur-Topographen. Nach IMFELDS Tod erwarben Professor ALB. HEIM und der Sprechende das erst im „Rohbau“ fertige Relief und unter der Leitung Professor HEIMS hat der inzwischen verstorbene Reliefkünstler C. MEILI die Modellierarbeit zu Ende geführt, so dass dann 1914 der Sprechende die geologische Kolorierung vornehmen konnte. Ein landschaftlich bemaltes Exemplar ist im Luzerner Gletschergarten ausgestellt; das geologische aber ist, abgesehen von der kurzen Zeit, da es 1914 an der Landesausstellung in Bern zu sehen war, zu einem Dornröschenschlaf verurteilt gewesen.\*

---

\* Das hier erwähnte Relief ist inzwischen von einem Freunde der Naturwissenschaft erworben und dem Naturhistorischen Museum der Kantonsschule Luzern geschenkt worden; dort soll es seine Aufstellung finden. (Anmerkung während des Druckes.)

Nach diesen einführenden Darlegungen wollen wir uns nun dem Pilatus selber zuwenden, und zwar werden wir zunächst die ihn aufbauende Gesteinsfolge zu prüfen haben und dann den Gebirgsbau.

*Die Gesteinsserie des Pilatus* verteilt sich auf Bildungen der Kreide und der ältern Tertiärformation, beides in sogenannter helvetischer Facies.

Queren wir das Pilatusgebirge von Norden nach Süden, so lässt sich leicht erkennen, dass auf diesem Wege die Gesteinsfolge mannigfachen Wechsel aufweist. Für die Kreidebildungen gilt ganz allgemein, dass im Süden die Mächtigkeit der einzelnen Glieder eine etwas grössere ist als im Norden; wir haben dies wohl zurückzuführen auf primäre Unterschiede in der Sedimentation: das südliche Gebiet war in etwas stärkerer Senkung begriffen als das nördliche, wodurch die Möglichkeit grösserer Sedimentaufhäufung gegeben war. Ausserdem aber ist die Kreideserie im Süden vollständiger vorhanden und umfasst noch jüngere Glieder als im Norden; zur Erklärung dieser Erscheinung nehmen wir an, es seien die jetzt fehlenden jüngern Stufen ehemals auch im Norden vorhanden gewesen, hier aber wieder der Abtragung anheim gefallen. Eine nach Absatz der Kreidesedimente erfolgte Trockenlegung und Verstellung der Sedimentplatte mag eine Senkung des südlichen und eine Hebung des nördlichen Abschnittes erzeugt und damit im Nordgebiet eine Abtragung der jüngern Kreidestufen ermöglicht haben. Als dann später das Eocänmeer seine Sedimente ablagerte, kamen diese nach Norden zu auf immer ältere Kreideniveaux zur Ablagerung.

Über die Kreidebildungen am Pilatus gilt nun im einzelnen das Folgende (vgl. Fig. 1):

Die Serie weist als Ältestes das Valangien auf, das naturgemäss ausschliesslich in den innersten Kernen der Gewölbe sich findet. Der einwandfreie Nachweis dieser Schichten ist ein Ergebnis der neuen Aufnahmen; KAUFMANN hat die betreffenden Bildungen nicht besonders unterschieden, sondern sie in den meisten Fällen mit den nächstjüngern zusammengefasst. Von den drei am Pilatus erkennbaren Gliedern sind die zu unterst liegenden Valangienmergel im Süden und Norden ähnlich entwickelt; der darüber folgende Valangienkalk dagegen ist typisch nur im Nordpilatus ausgebildet, im südlichsten Gewölbe ist er oft gering-



mächtig, nur in Spuren angedeutet oder fehlt ganz. Ein wichtiger Horizont ist der das Valangien abschliessende Valangienglaukonit, den ich nach der reichsten Fundstelle, am sogenannten „Gems mättli“ im Westpilatus, „Gems mättlischicht“ benannt habe. Wir wissen heute, dass diese wichtige Fossilbank vom Vorarlberg (neueste Aufnahmen von P. MEESMANN) bis zum Thunersee in gleicher stratigraphischer Stellung ab und zu sich findet; möglicherweise wird ihr Nachweis auch in den Kreideketten der westschweizerischen Kalkalpen (Wildhorn-Diablerets) gelingen.

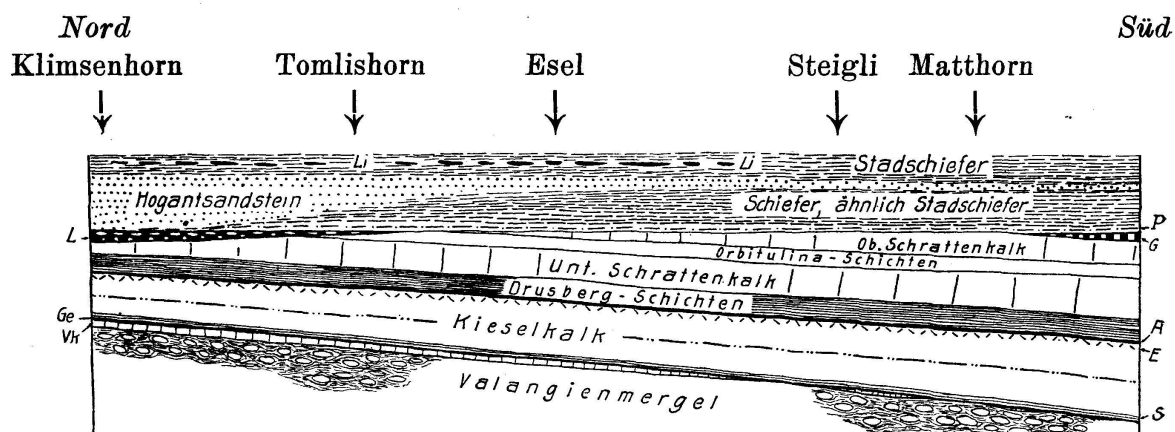


Fig. 1. Schematisches Profil der Kreide- und Eocänbildungen des Pilatus

- Li = Lithothamnienkalk (Priabonien)
- P = Pectinitenschiefer (Auversien)
- L = Nummulitenkalk und -Sandstein (Lutétien)
- G = Gault (Albien und Oberes Aptien)
- A = Altmannschichten (Unteres Barrémien)
- E = Echinodermenbreccie (Oberes Hauterivien)
- S = Schiefer an der Basis des Kieselkalks (Unterstes Hauterivien)
- Ge = Gems mättlischicht (Oberstes Valangien)
- Vk = Valangienkalk

Für die das Valangien überlagernden Bildungen können wir in allen Teilen KAUFMANN'S Darstellung zu Grunde legen.

Die nächstjüngere Stufe, das Hauterivien, umfasst am Pilatus den mächtigen Kieselkalk, dessen basale Schichten meist schiefrig ausgebildet sind; den obern Abschluss bildet eine weitverbreitete Echinodermenbreccie.

Das darüberliegende Barrémien gliedert sich in wenig mächtige grünsandige Altmannschichten, mergelige Drusberg-schichten und untern Schrattenkalk. Drusberg-schichten und unterer Schrattenkalk treten im Landschaftsbilde scharf her-

vor; die erstern bedingen ein sanftgeböschtes Band über den Abstürzen des Kieselkalks und werden scharf überragt von den Steilwänden des untern Schrattenkalks.

Die nächst jüngere Stufe, das Aptien, ist durch drei leicht kenntliche Glieder vertreten: die sogenannten Orbitulinabänke, den obern Schrattenkalk und eine glaukonitführende Echinodermenbreccie. Als leichtkenntliches Mergel- und Mergelkalkband trennen die Orbitulinabänke den untern vom obern Schrattenkalk; die glaukonitische Echinodermenbreccie überlagert den Schrattenkalk mit scharfer, oft verzahnter Grenzfläche, offenbar infolge eines kleinen Unterbruches der Sedimentation. Es ist bei den Schweizer Geologen seit Alters üblich, die Echinodermenbreccie wegen ihres Glaukonitgehaltes mit zum Gault zu zählen.

Echte Albien- (Gault)sedimente finden sich in geringer Mächtigkeit einzig auf der Südflanke des Pilatus.

Auch was die Gliederung der alttertiären Sedimente des Pilatus betrifft, möchte ich mich ganz den Ansichten KAUFMANNS anschliessen. Die Eocänbildungen sind vertreten durch das Lutétien, bestehend aus Sandsteinen und Nummulitenkalk, beide beschränkt in ihrem Auftreten auf den Nordpilatus. Zum Auversien wären zu stellen KAUFMANNS Pectinitenschiefer, welche einen sehr charakteristischen Horizont bilden und im mittleren und südlichen Pilatus direkt auf dem Schrattenkalk ruhen. Im Süden entwickeln sich nach oben aus den Pectinitenschiefern sehr rasch dünnblättrige Schiefer, von den jüngern Stadschiefern nicht unterscheidbar. Dem Schieferkomplex ist eingeschaltet eine Sandsteinserie, welche im Nordpilatus die grösste Mächtigkeit aufweist und hier stellenweise auch die Pectinitenschiefer umfasst; es ist der Hogantsandstein. Die den Abschluss des Eocäns bildenden Stadschiefer (Priabonien) sind im mittlern und nördlichen Pilatus durch Einlagerungen von Lithothamnienkalk gekennzeichnet; KAUFMANN hat für diese den Namen Wängenkalk vorgeschlagen, benannt nach der Wängentalp im Westpilatus.

Der starke Wechsel in der Gesteinsbeschaffenheit der einzelnen Glieder dieser Kreide-Eocänserie bedingt, dass dieselben der Verwitterung und Abtragung gegenüber sehr verschiedenen Widerstand leisten. Am widerstandsfähigsten erweisen sich Schratten-

kalk, Hogantsandstein und Kieselkalk; sie sind es ausschliesslich, welche die Bergspitzen bilden.

Damit hätten wir das Baumaterial des eigentlichen Pilatus kennen gelernt; über die angrenzenden Zonen müssen wenige Worte genügen.

Nach Norden zu ruht der Pilatus auf dem sogenannten Subalpinen Flysch, einer sehr heterogen zusammengesetzten Zone, in der helvetisches und fremdartiges Material aufs engste vermischt worden ist. Die subalpine Flyschzone ruht ihrerseits im Norden auf Molassebildungen, die aber unter dem Druck der alpinen Massen gleichfalls schwer entzifferbare Lagerungsverhältnisse aufweisen; wir bezeichnen diese südlichste Molassezone als „Aufgeschobene Molasse“.

Nach Südwesten taucht die Pilatusserie unter einer neuen tektonischen Einheit unter, es ist dies die Flyschmasse der Schliertäler Obwaldens, der sogenannte Schlierenflysch, den wir wohl am ehesten zu den ultrahelvetischen Schubmassen zu stellen haben. Näher hierauf einzutreten, müssen wir uns versagen.

Nachdem wir nun die helvetische Serie des Pilatus kennen, verfügen wir über das Rüstzeug zur Entzifferung des *geologischen Baues*. Auch dieser ist in seinen grossen Zügen von KAUFMANN richtig erkannt worden; freilich hat die Neuaufnahme ergeben, dass im einzelnen das tektonische Bild eine Kompliziertheit erreicht, die jeder Beschreibung spottet; erst die neue Karte wird zeigen, welche Unzahl von lokalen Begleitstörungen, wie Brüchen, Überschiebungen, Ausquetschungen etc. die einzelnen Falten beeinflussen, sodass es oft schwer hält, die Leitlinien durchzuverfolgen.

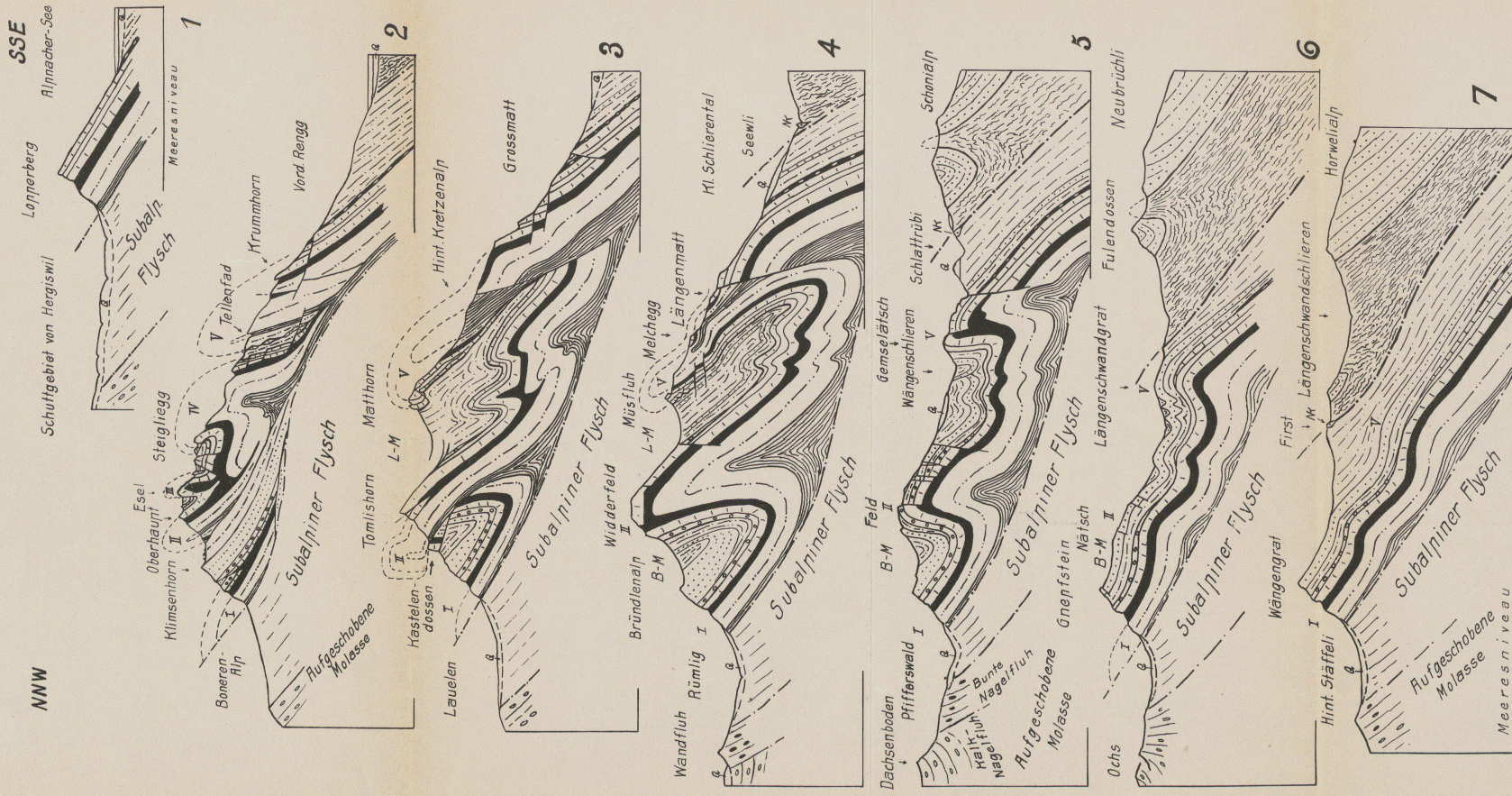
Werfen Sie einen Blick auf die Profilserie (Tafel I), so zeigt sich ein recht wechselndes tektonisches Bild, je nachdem wir den westlichen Pilatus oder das gegen Luzern gerichtete Ostende betrachten. Wir folgen wiederum KAUFMANN, wenn wir unsere Betrachtung im Westen beginnen und dann schrittweise gegen Osten vordringen.

*Profil 7*, gelegt durch den Wängengrat, zeigt Verhältnisse, wie sie für den ganzen Alpenrand vom Thunersee an nach Nordosten zu gelten: Von der subalpinen Flyschzone ausgehend, bis hinauf auf den Grat finden wir eine einfache Schichtfolge, nach der Härte des Gesteins treppenartig gegliedert. Der Valangien-

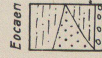


# Geologische Profile durch den Pilatus.

Entworfen von R. Buxtorf, 1924



## Sedimentserie des Pilatus



Eocene  
Stadtschiefer  
Hogamsch.  
Pectinitisch.  
Nummulitenkalk  
u. Sandstein

Miocen  
Präbomien  
u.  
Fluvien  
Lutetian

Pliocen  
Ob-Schranthek  
Orbulina-schichten  
Unt-Schranthek  
Grusberg-schichten  
Häselkalk

Schlierenflysch (ultrahevel.)  
Schlierensandstein  
Wildflysch  
M. Nummulitenkalk  
als Schürflinge

Quarzitbildungen

Maßstab 2 km

I-Klinsenthornserie II-Tomlishornserie III-Eselgewölbe IV-Steigleggölbe V-Matthornserie  
B-M-Bründlenalpmulde L-M-Laubalmulde



kalk, hier das älteste Glied, ruht mit scharfer Überschiebung auf dem Flysch, es fehlt jegliche Spur eines Gewölbemittelschenkels. Diese einfache Schichtfolge streicht ostwärts ununterbrochen weiter zum Klimsenhorn; wir wollen sie Klimsenhornserie (I) nennen. In der Südabdachung ist das gleichförmige Einfallen der Hogantsandsteine unterbrochen durch eine schmale Zone flacher Lagerung. Weiter südwärts überlagern dann mächtige Stadschiefermassen die Serie der ältern Gesteine und lassen uns im Ungewissen über deren Lagerungsverhältnisse in der Tiefe. Auf die Stadschiefer legt sich endlich die mächtige Schlierenflyschmasse.

*Profil 6* ist gelegt durch den Gnepfstein. Für den Nordabhang gilt dasselbe was für den Wängengrat; die Südseite aber zeigt schon eine weitergehende Gliederung; zunächst macht sich in der Südflanke des Nätsch eine flexurartige Biegung (II), verknüpft mit Brüchen, geltend. Weiter südwärts haben die Quellflüsse der kleinen Schliere die Stadschiefer weitgehend abgetragen und den Hogantsandstein blossgelegt; dieser lässt vier Falten erkennen, je eine grosse im Norden und Süden, dazwischen zwei kleinere, nach Art von Stauchungsfalten. Von diesen vier Falten ist die südlichste die wichtigste; aus ihr geht, wie wir sehen werden, die Südkette des Pilatus, das Matthorn gewölbe (V) hervor. Die südliche Überdeckung wird hier wieder vom Schlierenflysch gebildet.

*Profil 5*, etwa  $1\frac{1}{2}$  km östlich vom vorigen liegend, zeigt nun schon deutlich die weiterschreitende Steigerung der Faltung. Der Nordabhang unter der Bründlenalp, von der Klimsenhornserie (I) gebildet, bietet freilich noch das alte Bild; Bründlenalp aber entspricht einer tiefeingesenkten Mulde, denn aus der Flexur am Nätsch hat sich nach Osten zu ein breites Gewölbe entwickelt, das hier bei der Alp Feld kulminiert; weiter im Osten gehört diesem Gewölbe auch der höchste Pilatusgipfel, das Tomlishorn, an, weshalb wir es Tomlishorn gewölbe (II) nennen wollen. Die Südflanke dieser Falte ist wieder von Brüchen staffelartig gegliedert. Unten, im Tal der Wängenschliere und des Schiebaches sind von den vier Gewölben des Profils 6 nur noch die beiden südlichsten oberflächlich erkennbar. Durch axiales Aufsteigen nach Osten zu hat das Matthorn gewölbe (V) schon bedeutend an Ausmass gewonnen, gleichzeitig hat sich sein Bau wesentlich kompliziert. Am Genselätsch wird der Gewölbescheitel

von einem Bruch durchsetzt, der einen steil aufgerichteten Nordschenkel von einem flachen südwärts neigenden Südschenkel trennt. Dieser letztere wird seinerseits in der Schlucht der Längenschwandschliere von einem Bruch abgeschnitten und südwärts versenkt. Diesem Bruch kommt regionale Bedeutung zu, er reicht, wie wir sehen werden, nordostwärts bis in die Kretzenalp (Prof. 3), wir nennen ihn Kretzenalpbruch. Über den Bau des Gewölbes am Gemselätsch ist noch nachzutragen, dass die Faltung sich disharmonisch vollzogen hat. Der Kieselkalkkern ist in der Tiefe zurückgeblieben; gleitend auf den Drusbergschiefern ist der Schrattenkalk nach Norden gepresst worden und dabei zerbrochen; die Drusbergsschichten haben sich aufgehäuft und intensiv verfäلتelt.

*Profil 4* zeigt uns die weitere Steigerung des bisher verfolgten Baues. Die Bründlenalpmulde sticht noch tiefer ein, das Tomlishorngewölbe (II) ist axial noch höher aufgestiegen und liegt etwas nach Norden über; sein Schrattenkalkscheitel bildet das Widderfeld, den westlichsten der Gipfel des eigentlichen Pilatus. Die Matthornfalte (V) hat sich, nach Osten gleichfalls axial ansteigend, mächtig entwickelt; das nördliche Überliegen kommt noch viel stärker zum Ausdruck als beim Widderfeld. Der verkehrte Nordschenkel ist in seiner Mächtigkeit stark reduziert und ausserdem von horizontalen Brüchen durchsetzt, längs welchen das jeweils höhere Stück weiter nach Norden gepresst worden ist. Dadurch wird die Müsfluh ganz nahe an die Südflanke des Widderfeldes herangerückt. Ungemein kompliziert gebaut sind Kern und Südschenkel der Matthornfalte. Bis hinauf nach Längenmatt bildet der Südschenkel eine in leicht geschwungenem Bogen ansteigende Schichtplatte mit normaler Mächtigkeit der Schrattenkalk-Drusbergserie. Mit dem Durchstreichen des Kretzenalpbruches wird von Längenmatt an nordwärts der Bau sofort ein anderer: Kern und Südschenkel erscheinen stark ausgedünnt und nordwärts verschleppt, sodass an der Melchegg Schrattenkalk ganz nahe an den Valangienkern zu liegen kommt. Es fällt schwer, für diesen Bau eine zufriedenstellende Erklärung zu finden. Längs dem Kretzenalpbruch ein Absinken des südlichen Abschnittes anzunehmen, widerspricht dem Gesamtbau. Eher möchte ich daran denken, es sei der Nordabschnitt längs dem Kretzenalpbruch heraufgepresst und dann nordwärts verwalzt worden, beides unter dem Einfluss von Druck-

kräften, welche auf die gesamte Südflanke wirkten, herrührend von Massen, die heute längst der Erosion anheimgefallen sind.

*Profil 3* quert das interessante Gebiet der Kastelen, des Tomlishorns und des Matthorns. Die Tomlishornfalte (II) erreicht ihre maximale Entwicklung. Gewölbekern und Nordschenkel sind auf die östliche Verlängerung der Bründlenalpmulde hinausgeschoben; der merkwürdige Kastelendossen ist ein auf halbem Wege zurückgebliebenes Stück des Nordschenkels. Am Tomlishorn erzeugt ein Bruch eine Doppelung des Schrattenkalks. Der nächst-südlich folgende Kamm des Matthorns zeigt in der Gipfelpartie eine sehr interessante Komplikation: die Schrattenkalkserie des Gipfels, die ungefähr der Gewölbebiegung entspricht, ist längs einem Bruch nordwärts in die Tiefe gepresst, sodass das Gewölbe gleichsam seinen Kopf in die Eocänschiefer einbohrt. Im Gebiet der Kretzenalp spielt der Kretzenalpbruch eine ähnliche Rolle wie im vorigen Profil; die Südflanke endlich zeigt im mittleren Teil mehrfach nach Norden gerichtete Verschiebung der Schrattenkalkserie längs flach verlaufenden Bruchflächen, während ganz unten, durch einen andern Bruchtypus bedingt, Schrattenkalk an eocäne Schiefer angeschoben erscheint. In allen diesen Störungen, vom Kastelendossen, Tomlishorn, Matthorn bis an den Südhang manifestiert sich immer die gleiche Kraft: der von SSE nach NNW wirkende Horizontalschub.

*Profil 2* schneidet den nordöstlichen Teil des Pilatus und erläutert die Verhältnisse, die der Berg auf seiner gegen Luzern gerichteten Flanke aufweist. Gegenüber Schnitt 3 sind gewaltige Unterschiede zu verzeichnen. Die Klimsenhornserie (I) ist immerhin noch ähnlich wie in den früheren Profilen; denn die hier auftretende Doppelung im Schratten- und Nummulitenkalk besitzt nur lokale Bedeutung. Von der Bründlenmulde ist der Südschenkel fast ganz verloren gegangen, die Tomlishornfalte (II) ist weit hinausgeschoben auf die Muldenfüllung. Auf das Tomlishorngewölbe aber folgt nun nach Süden nicht eine weite tiefeinsteckende Tertiärmulde, sondern nur ein schmaler Muldenzug, der beim alten Hotel die Bergkontur erreicht. Südöstlich erhebt sich dann aber sofort eine schmale, firstförmig hochgepresste Schrattenkalkfalte, es ist das Eselgewölbe (III), dessen enggepresster Drusbergkern unharmonisch auf der Stirn des zugehörigen Kieselkalkkerns reitet. An den Esel schliesst sich nach Südosten wieder eine

Eocänmulde, die aber von zwei Brüchen durchsetzt wird und daher recht kompliziert gebaut erscheint. Weiter nach Südosten finden wir dann noch eine weitere, bisher nicht auftretende Kreidefalte, das Steigligewölbe (IV), dessen Schrattenkalk nach NW zu auf die Eocänschiefer überpresst worden ist. Dieses Steigligewölbe übertrifft die Eselfalte an Breite um das Vierfache, und beherrscht damit die Ostkante des Berges. Erst südlich der Steiglifalte folgt dann, nach einer schmalen trennenden Eocänmulde, das Matthorn-  
gewölbe (V), das uns schon in den andern Querschnitten begegnet ist. Wie sind nun diese beiden Zwischenfalten zu deuten? Vom Esel- und Steigligewölbe lässt sich übereinstimmend erkennen, dass sie nach Südsüdwesten steil axial abtauchen; beim Esel mag dieses Abtauchen zirka  $35^{\circ}$  betragen, beim Steigligewölbe erreicht es Beträge von zirka  $45^{\circ}$ , hier schiesst tatsächlich das Gewölbe aus dem Boden empor; im schiefen Anschnitt, wie er sich heute auf der Südostflanke bietet, erscheinen im Kartenbilde die Schichtbänder in konzentrischen Halbkreisen angeschnitten. Das Aufschieszen dieser beiden Gewölbe ist das Leitmotiv im Bau des Nordostrandes; im Querprofil des Matthorns (Prof. 3) ist oberflächlich von beiden Falten nichts nachweisbar, auch nicht in den eocänen Schichten; wenn im Querschnitt 3 die beiden Gewölbe in der Tiefe noch gezeichnet sind (III und IV), so geschah dies aus der Annahme heraus, dass derartig energische Falten doch wohl kaum sich plötzlich ausglätten können. Ob sie auch in Profil 4 tief unter der Müsfluh noch fortstreichen, ist natürlich ganz hypothetisch, wie es auch unentschieden bleiben muss, ob die im Hogant-sandstein von Profil 6 erkennbaren Falten als wiederauftauchendes Esel- und Steigligewölbe gedeutet werden dürfen.

Das Auftreten der Esel- und Steiglifalte aber lässt uns sofort erkennen, dass die von Südosten her schiebende Kraft hier die Falten am höchsten aufgestaut und das ganze Faltenbündel am weitesten nach NW auf den subalpinen Flysch hinausgeschoben hat. Schrittweise lässt sich am Nordostfuss des Berges ein Auskeilen der verschiedenen tektonischen Elemente I—V südwärts und nach der Tiefe zu erkennen; wir haben schliesslich anzunehmen, dass das Valangien des Gewölbekerns V direkt auf den Flysch zu liegen kommt.

Über das Matthorn-  
gewölbe (V) haben wir noch einige wichtige Züge nachzutragen: Der enggepresste Gewölbekern bildet den



von Luzern aus erkennbaren scharfen Einschnitt der Tellenfald-lücke; der überkippte Nordschenkel ist stark reduziert, während der Südschenkel eine durch Schuppung bedingte Doppelung des Kieselkalkes erkennen lässt; und um das Mass der Komplikationen voll zu machen, wird die gedoppelte Serie noch von einem flach nordwärts ansteigenden Bruch durchsetzt, längs welchem die Krummhornpartie etwas nach Norden verschoben worden ist.

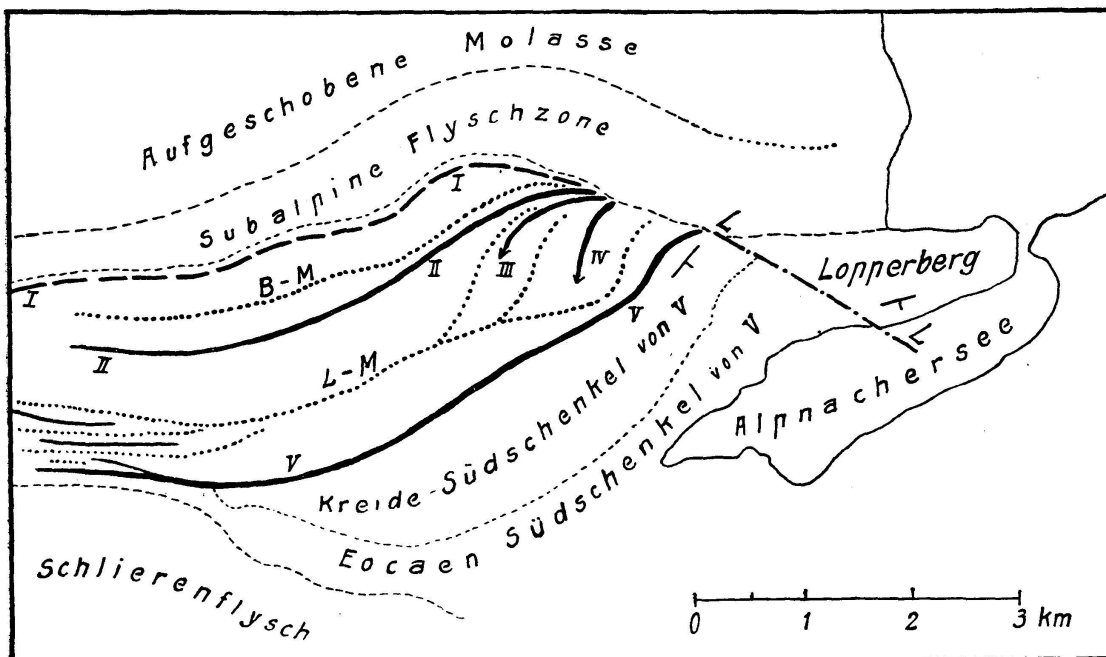
Von diesem ganzen Faltenbau bleibt nun nach Osten zu nichts übrig als der Südschenkel des südlichsten Gewölbes (V); dieser bildet, wie *Profil 1* darstellt, die Schichtplatte des L o p p e r - b e r g e s, von der wir annehmen dürfen, dass sie direkt dem sub-alpinen Flysch aufruhe; das Schuttgebiet von Hergiswil verhindert freilich den strikten Nachweis. Der Lopperberg aber liegt nicht im Streichen des Pilatus; die dem Lopperberg entsprechende Serie erscheint im Pilatus nach NW zu vorgeschoben, der Lopperberg ist zurückgeblieben.

Es darf nun wohl als eines der wichtigsten Ergebnisse der neuen Untersuchungen bezeichnet werden, dass es gelungen ist, für das Verhältnis Pilatus-Lopperberg und manch ähnlichen Fall im Alpenrand am Vierwaldstättersee eine einfache Erklärung zu finden. Wir haben es zu tun mit h o r i z o n t a l e n T r a n s - v e r s a l v e r s c h i e b u n g e n, welche schief zum Streichen der Kette verlaufen. Längs den Bruchflächen haben sich die einzelnen Stücke gegeneinander verschoben, und zwar in der Weise, dass als Endresultat eine Streckung der den Alpenrand bildenden Ketten resultierte. Mit unsern modernen Vorstellungen vom Bau der Alpen steht dies in vollster Harmonie, denn wenn von Süden her Überschiebungsdecken nach Norden gleiten, müssen die Stirnfalten, in Anpassung an den im allgemeinen bogenförmig verlaufenden Alpenrand, notwendigerweise Streckung erleiden. Dabei ist freilich auch von Einfluss die lokale Beschaffenheit des Südrandes des Molasselandes; Nagelfluhzentren erschwerten das Vorbränden der Randkette; hierauf einzutreten würde uns aber von unserm Weg weit abführen.

Festzuhalten ist, dass ein gewaltiger Streckungsbruch den Pilatus vom Lopperberg trennt: Der Pilatus ist um zirka 1 km weiter nach NW vorgeschoben worden als der Lopperberg. In der Landschaft entspricht dem Bruch die Scharte des Renggpasses,

über den der Weg von Hergiswil nach Obwalden führte, bevor die Strasse um den Lopperberg herum gebaut war.

Allein es bleibt nun noch die Frage zu erörtern, ob denn die nördlichen Pilatusfalten I—IV, die nach Osten zu in die Luft ausstreichen, in irgend einer Form eine östliche Fortsetzung besitzen oder nicht. Prüfen wir zunächst den Alpenrand nach Osten zu, so finden wir hier wohl mehrfach Stücke einer Fortsetzung der

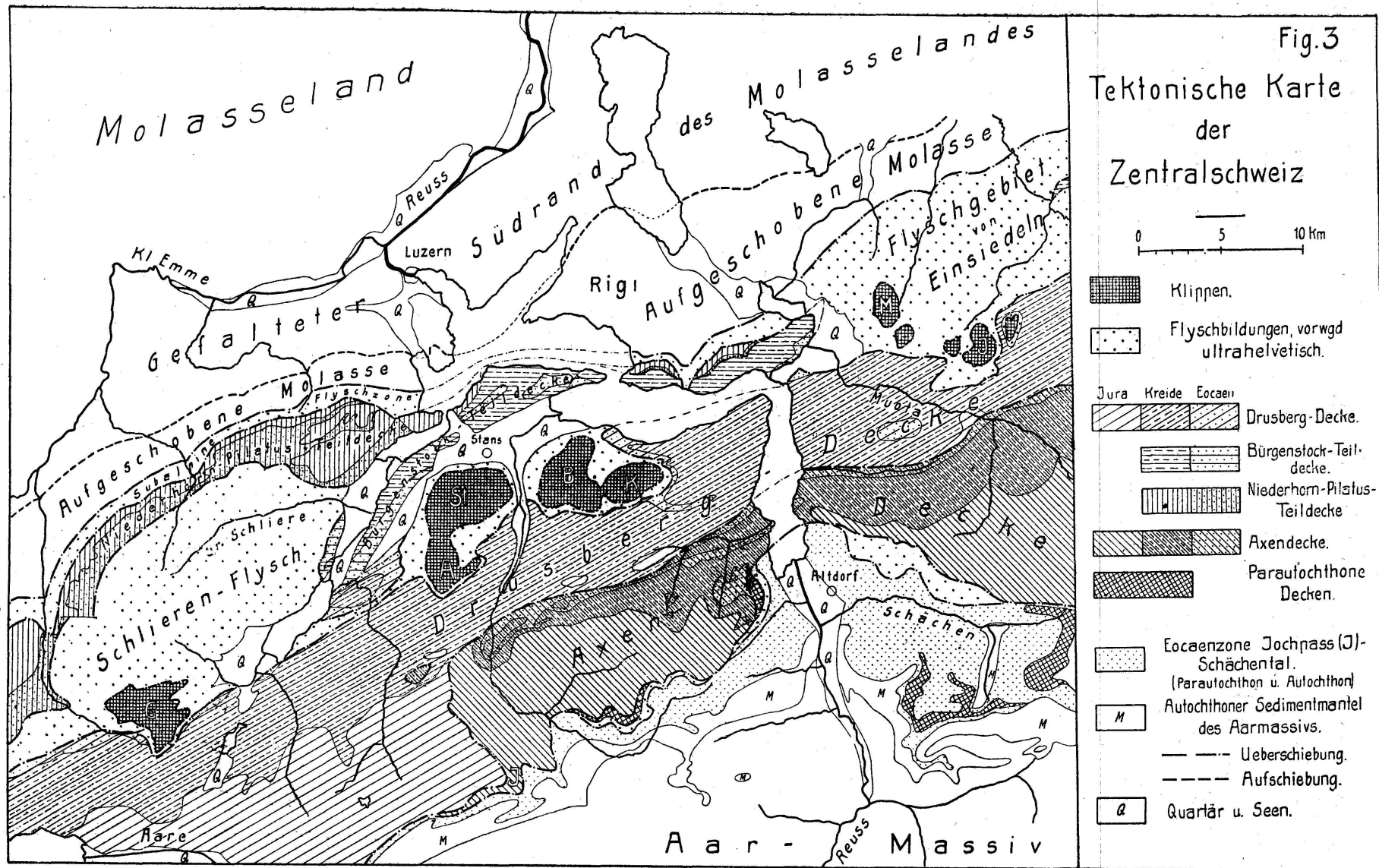


Figur 2. Tektonische Leitlinien des Pilatusgebietes

- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| I = Klismenhornserie | B—M = Bründlenalpmulde |
| II = Tomlishornserie | L—M = Laubalpmulde     |
| III = Eselgewölbe    | IV = Steigligewölbe    |
| V = Matthorngewölbe  | L—L = Lopperbergbruch  |

Lopperbergserie (Zipfel von Fürigen am Bürgenstock und untere Schuppe der Rigihochnfluhkette), aber für das mächtige Faltenbündel des Nordpilatus fehlt ein Äquivalent. Wir müssen also nach einer andern Lösung suchen, und diese bietet sich, wenn wir etwas weitere Umschau halten im Gebiet der helvetischen Decken (vgl. Figur 3).

Seit den klassischen Darlegungen von M. LUGNON wissen wir, dass am Vierwaldstättersee eine tiefere und eine höhere helvetische Decke unterschieden werden können, die wir heute Axen- und Drusbergdecke nennen; die Teildecken der Randketten (Niederhorn-Pilatus- und Bürgenstock-Teildecke)



wollen wir dabei ausser Acht lassen. Von der Axenkette haben die Untersuchungen von P. ARBENZ festgestellt, dass sie wenig westlich des Engelbergertals nach W zu unter die Drusbergdecke untertaucht und oberflächlich verschwindet.<sup>5</sup> Bei Grafenort verschwindet auch die Kreidestirne der Axenkette, deren Verlauf zwischen Isental und Grafenort von A. TOBLER, G. NIETHAMMER und A. BUXTORF im einzelnen verfolgt worden ist. Facielle Erscheinungen, namentlich der Umstand, dass am Westende der Axenkette das Eocän direkt auf unterm Schrattenkalk aufrucht, erinnern nun so sehr an die Verhältnisse im Ostpilatus, dass der Sprechende schon 1910 die Ansicht äusserte, es sei die westliche Fortsetzung der Axenkreide draussen im Pilatus zu suchen.<sup>6</sup> Während östlich vom Engelbergertal die Kreide mit dem zugehörigen Jurakern des Urirotstockes verknüpft bleibt, vollzieht sich westlich des Tales die Loslösung der Kreide vom Jura; die höher folgenden Decken schürften die Axenkreide bis an den Alpenrand hinaus, wo sie heute die nördlichsten Falten des Pilatus bildet. Das Abgleiten der Kreide auf den mächtigen Valangienmergeln erklärt hier wie in allen andern Fällen, weshalb wir in den Kreideketten des Alpenrandes als ältestes nur Valangien finden. Es wird die Aufgabe künftiger Untersuchungen sein, die Analogien zwischen Pilatus- und Axenkreide und -Eocän näher zu verfolgen; heute schon die einzelnen Falten des Pilatus mit solchen der Axenkreide parallelisieren zu wollen, darf nicht gewagt werden.

Diese Beziehungen zwischen Pilatus und Axenkreide lassen uns nun auch die morphologische Ähnlichkeit von Pilatus und Säntis besser begreifen. P. ARBENZ hat, meines Erachtens mit Recht, darauf hingewiesen, dass der Säntis zu deuten sei als die an den Alpenrand hinausgeschobene östliche Fortsetzung der Glärnischkreide.<sup>7</sup> Da aber die Glärnischkreide als Ganzes genommen zur Axendecke gehört, so können wir heute zusammenfassend sagen, Pilatus und Säntis markieren die Stellen, wo im Westen, bzw. Osten die Axendecke ihre Kreide verloren und an den Alpenrand abgegeben hat. Zwischen Engelberger- und Linthtal, wo die Axendecke mächtig entwickelt ist, hat sie vermocht, ihren Kreideanteil bei sich zu behalten; wo sie aber im Westen und Osten an Bedeutung einbüsst, wird ihr die Kreide entrissen und an den Alpenrand verfrachtet; dort führt ihr Einsetzen zur Entstehung der hochaufgefalteten Kreidegebirge Säntis und Pilatus.

Ich bin am Schlusse meiner Darlegungen angelangt. Wir haben geprüft, welche Gesteine den Pilatus aufbauen, und dann schrittweise verfolgt, wie von Westen nach Osten zu der Bau ein komplizierterer wird, und sahen, wie im Momente höchster tektonischer Steigerung das Gebirge ohne Fortsetzung in die Luft hinausstreicht. Durch dieses Abreissen der Gewölbe und Mulden entsteht die vielzackige, prachtvoll gegliederte Kontur, die der Pilatus von Luzern aus darbietet. Wir haben weiter versucht, eine Erklärung zu finden für das Problem der östlichen Fortsetzung des Pilatus. Dass „als Ganzes genommen die Erhebung des Pilatus durch einen seitwärts und in ungefähr horizontaler Richtung wirkenden Druck stattgefunden hat“, hat schon KAUFMANN ausgesprochen; die damalige Zeit suchte die Ursache für diese horizontalen Verschiebungen in den Zentralmassiven, deren eruptives Aufsteigen die geschichteten Ablagerungen beiseite geschoben habe; heute hat uns die Deckentheorie eine Erklärungsmöglichkeit in die Hand gegeben, die in glänzender Weise allen Beobachtungen gerecht zu werden vermag.

Es sei mir gestattet, an dieser Stelle der Pilatusbahn-Gesellschaft, im besondern Herrn Direktor WINKLER, bestens dafür zu danken, dass mir bei meinen Untersuchungen jegliche Erleichterung gewährt worden ist.

PS. Im Anschluss an den Vortrag wurde eine grössere Anzahl Lichtbilder gezeigt, darunter auch solche von Fliegeraufnahmen der Ad Astra-Aero A.-G. Zürich. Diese letztern Bilder sind beim Pilatus von besonderem Interesse, weil einzig in Aufnahmen, die von Nordosten her, aus grosser Höhe gemacht worden sind, das Axialgefälle des Esel- und Steigligewölbes richtig zur Geltung kommt.

### Zitierte Literatur

1. F. J. KAUFMANN: Geologische Beschreibung des Pilatus. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, 5. Lfg. 1867.
2. F. J. KAUFMANN: Vortrag über die geologischen Verhältnisse des Pilatus, In: Zur Erinnerung an die 5. Jahresversammlung des S. A. C. in Luzern 1867. Luzern, Verlag J. Schiffmanns Buchhandlung 1868.
3. A. BUXTORF, A. TOBLER etc.: Geologische Vierwaldstättersee-Karte. 1:50,000. Geol. Spezialkarte 66 a) und Profiltafel 66 b), herausgegeben von der Schweiz. Geol. Komm. 1916.
4. A. BUXTORF: Geol. Karten von a) Bürgenstock und b) Rigihoehfuhkette. Spezialkarten 27 a) bzw. 29 a) mit Profiltafeln 27 b) bzw. 29 b). Herausgeg. v. d. Schweiz. geol. Komm. 1910 und 1916.
5. P. ARBENZ: Geol. Karte des Gebirges zw. Engelberg und Meiringen. Spezialkarte Nr. 55, herausgeg. v. d. Schweiz. Geol. Komm. 1911.
6. A. BUXTORF: cf. Eclogae geol. Helv. Bd. XI, S. 286—287, 1910.
7. P. ARBENZ: Die Faltenbogen der Zentral- und Ostschweiz. Vierteljahrsschrift Naturf. Ges. Zürich, Bd. LVIII, 1913.

# Le rôle des colloïdes en médecine

par

le D<sup>r</sup> L. MICHAUD

Professeur de Clinique médicale à Lausanne

Monsieur le Président,  
Mesdames et Messieurs,

J'ai assumé la tâche d'exposer devant vous l'importance qu'incontestablement la science des colloïdes a acquise en médecine. Il n'y a pas de doute que nombre de problèmes biologiques et pathologiques ont singulièrement gagné en clarté depuis qu'on a tenté de leur appliquer les notions de cet état particulier et si intéressant de la matière que nous appelons l'état colloïdal.

Vous me permettrez de dire dans cette assemblée que si la nature des colloïdes est aujourd'hui mieux connue qu'elle ne l'était encore naguère, cela est dû, en partie, au fait que les biologistes, physiologistes et pathologistes, ont su poser des questions très précises et ont contribué, par un travail personnel assidu, à les résoudre.<sup>1</sup> Dans ce domaine, la médecine n'est donc pas uniquement celle qui reçoit, elle est aussi de celles qui donnent. Et le domaine des colloïdes est un des plus beaux exemples de ce que peut produire une étroite collaboration entre la médecine et les sciences naturelles. Cela doit, du reste, être ainsi. Car la médecine ne saurait se servir d'autres méthodes que de celles des naturalistes.

Il est utile d'établir de temps en temps un bilan, de résumer ce qui est déjà acquis et d'esquisser ce qui doit nous préoccuper à l'avenir. Je remercie le Président de la Société Helvétique des Sciences Naturelles, Monsieur LUGEON, de m'avoir donné l'occasion de faire ce travail.

---

<sup>1</sup> Voir en particulier les mémoires et les traités de BOTTAZZI, HOEBER, JACQUES LOEB, OPPENHEIMER, SCHADE, ZANGGER.



Mais dès le début de mon exposé je dois vous faire des excuses et vous demander beaucoup d'indulgence. Il est impossible de donner en une heure un résumé, si concis soit-il, qui soit à peu près complet et vous permette d'embrasser d'un regard toute l'étendue de la question.

Je ne ferai donc qu'un choix restreint parmi les faits bien établis et je chercherai à en dégager les idées directrices principales, les *Leitmotiv*. Et si parmi vous, quelques-uns trouvent que j'ai omis de parler de telle question ou de telle autre, qu'ils ne croient pas que ce soit de la négligence ou de l'ignorance. Mais précisément ceux qui se sont occupés du problème si vaste des colloïdes, voudront bien approuver, je l'espère, ma manière de procéder.

\* \* \*

La question des colloïdes touche de très près aux problèmes les plus importants de la vie. On ne connaît pas de processus physiologique, ni pathologique qui ne soit accompagné d'une modification de l'état colloïdal des cellules et des liquides de notre corps.

Toute manifestation vitale est une manifestation de métabolisme. Mais qu'entendons-nous par métabolisme? Nous entendons par là non seulement la totalité des réactions chimiques des substances qui constituent les cellules, les organes et les liquides de notre corps, mais aussi et surtout un équilibre dynamique de ces innombrables réactions. En effet, notre corps est capable de décomposer les grandes molécules, si compliquées, des protéines, des nucléines, des graisses et des lipoides, des hydrates de carbone, d'en dégager des molécules petites et des ions et ensuite, après avoir éliminé les déchets, de reconstituer avec ces molécules simples les substances propres de l'organisme. Il est donc doué d'un pouvoir d'analyse et de synthèse infiniment développé. Malgré leur grand nombre, ces réactions se suivent et s'enchaînent sans se nuire mutuellement. Au contraire, elles se complètent, s'additionnent, se multiplient dans leurs effets physiologiques. Les cellules des organes sont capables de guider toutes ces multiples activités, d'influencer leur rapidité de réaction dans un sens ou dans l'autre, grâce à un pouvoir d'autorégulation qui leur est propre. Et quoique les cellules reçoivent constamment des quantités variables de matières nutritives et d'énergie calorique et qu'elles aient à éliminer



des quantités variables de déchets, quoiqu'elles soient entourées de conditions toujours changeantes, les cellules, les organes, toute la personnalité même, gardent leur caractère spécifique. Réactions et échanges chimiques, autorégulation et équilibre dynamique, voilà ce que nous résumons par le mot métabolisme, manifestation essentielle de la vie.

Mais comment l'organisme réalise-t-il ce merveilleux équilibre vital ?

Il n'était pas suffisant de connaître exactement la composition des corps qui constituent le protoplasme. On a reconnu comment les acides aminés et les polypeptides s'enchainent pour former les protéines, on sait comment les nucléines sont composées, on réussit à faire des synthèses dans le groupe des sucres, etc. Ce sont des faits très intéressants et d'une portée scientifique très grande. Mais nous sommes bien loin d'y trouver une explication quelconque des phénomènes vitaux.

Un grand progrès a été fait lorsque les lois des solutions de VAN'T HOFF, la théorie de la dissociation électrolytique de ARRHENIUS et lorsque la loi d'action des masses de GULDBERG et WAAGE ont vu le jour.

Toute substance devant être résorbée ou éliminée se trouve en solution aqueuse; toutes les réactions du métabolisme doivent se faire en un milieu aqueux. Il est donc clair que les lois que je viens de mentionner devaient être applicables aux processus biologiques. Surtout la loi d'action des masses devait attirer l'attention des biologistes, car elle concerne surtout les processus réversibles; et dans l'organisme animal ce sont précisément ces processus réversibles qui jouent un rôle prépondérant. Il y a constamment des modifications d'équilibres chimiques, des changements de concentrations d'ions. Les biologistes se sont donc rapidement emparés de ces trois lois et c'est avec un incontestable succès qu'ils ont étudié à leur lumière les phénomènes vitaux, tels que les échanges osmotiques, la perméabilité, la résorption et la sécrétion, etc.

Toutefois, grand nombre de problèmes ne s'expliquent pas si facilement. Ainsi, la paroi intestinale est capable de résorber du NaCl, même quand l'intestin contient une solution hypotonique; et de même elle est capable de résorber de l'eau quand le contenu intestinal est hypertonique. Je pourrais aussi vous citer l'activité des reins pour vous montrer que dans l'organisme animal des cou-

rants d'eau et de sels peuvent avoir lieu dans une direction opposée à la pression osmotique. Dois-je multiplier les exemples pour vous convaincre que les processus physiologiques ne sont pas rares où les lois de VAN'T HOFF, d'ARRHENIUS et de GULDBERG et WAAGE sont insuffisantes et pour lesquels nous devons chercher par une autre voie une explication satisfaisante? Cette explication de maints problèmes très intéressants et très importants s'impose à nous dès que nous tenons compte du fait que notre corps est constitué de colloïdes.

Les propriétés des colloïdes sont aujourd'hui généralement connues. Permettez-moi néanmoins de vous rappeler rapidement ce que nous entendons par état colloïdal.

L'état colloïdal est l'intermédiaire entre les suspensions et les solutions. Les véritables solutions sont caractérisées par leur *homogénéité*, c'est-à-dire par l'absence de surfaces de séparation entre la matière dissoute et le solvant. Une véritable solution est optiquement vide. Les colloïdes, par contre, présentent une surface de séparation entre le liquide solvant et la substance dissoute, de sorte que la solution n'est plus homogène, mais *hétérogène*. Elle est composée de deux phases distinctes. La phase dissoute peut présenter des degrés très variés de division. Plus la division est prononcée, plus le colloïde se rapproche des vraies solutions; et moins la division est poussée, plus le colloïde se rapproche des vraies suspensions. Les limites ne sont pas précises. L'état de suspension cesse et l'état colloïdal commence quand il n'est plus possible de distinguer les particules au microscope, c'est-à-dire dès que leurs dimensions sont en dessous de  $0,1 \mu$ . Quant à la transition de l'état colloïdal vers l'état de vraie solution, nous l'observons à peu près à partir du moment où les particules n'ont plus qu'un millième de  $\mu$ , c'est-à-dire  $1 \mu\mu$ .

On a l'habitude de désigner par *microns* les particules visibles au microscope, par *ultramicros* ou *submicrons* les particules visibles à l'ultramicroscope, et enfin on nomme *amicrons* tous les éléments qui ne sont plus visibles même à l'ultramicroscope. Dans cette dernière catégorie d'amicrons nous trouvons les ions et les molécules, mais aussi les particules de certains colloïdes dont le degré de division est très prononcé. Par contre, les particules de l'ordre de grandeur des submicrons et des microns sont souvent formés d'agréats de molécules, que depuis NÆGELI on désigne par le nom de *micelles*.

Vous voyez donc qu'il y a une transition ininterrompue, une continuité d'un état à l'autre — de la suspension d'ions à la suspension de molécules, puis à la suspension de granules (colloïde) et enfin à l'état cristallin solide.

Tant que l'équilibre entre le corps solvant et les particules en suspension se maintient, la solution colloïdale est stable ; mais dès que cet équilibre est rompu, le phénomène de floculation apparaît.

Il y a aussi une affinité très variable entre l'eau et les micelles. Est-elle grande, nous parlons de colloïde lyophile ou hydrophile, et est-elle petite, de colloïde lyophobe. Les colloïdes organiques sont en général des colloïdes lyophiles. Leur état sous forme de sol ou de gel dépendra aussi de ces affinités entre agrégats moléculaires et eau solvante.

Sans nous arrêter plus longuement à ces considérations, retenons ce fait, essentiel pour nous, que les propriétés de l'état colloïdal et leurs multiples variations sont liées à une *structure physique* déterminée et à ses variations.

\* \* \*

Si nous voulons maintenant aborder notre sujet de plus près et chercher à définir l'importance des colloïdes pour les phénomènes vitaux, nous devons avant tout nous arrêter aux deux problèmes que voici.

1° Toute vie est liée à la cellule, c'est-à-dire à sa forme, sa grandeur et son organisation intérieure. Comment se fait-il que les cellules et les organes ont une forme déterminée spécifique, constante et que, si cette forme et cette organisation sont altérées ou détruites, toute activité coordonnée, tout équilibre dynamique du métabolisme cessent aussitôt ? Nous verrons que, la cellule étant composée de colloïdes, ce sont des propriétés physico-chimiques des colloïdes que dépendent cette forme et cette organisation intérieure de la cellule, condition sine qua non de la vie.

2° La cellule plongeant — si je puis m'exprimer ainsi — dans les liquides qui lui amènent les matières nutritives et qui évacuent les déchets du métabolisme, liquides qui contiennent soit des colloïdes soit des cristalloïdes, il y a forcément ainsi des phases différentes mises en contact constant. Ce qui veut dire qu'il doit exister entre ces deux phases — les colloïdes de la cellule

et le liquide environnant — une membrane, puisque malgré les conditions très variables du liquide environnant, la cellule maintient sa forme et sa grandeur caractéristique. Le problème de la membrane devra donc retenir dans la suite toute notre attention.

Les membranes étant constituées par des colloïdes, ce problème est aussi un problème colloïdal. En effet, grâce à sa structure colloïdale, la membrane n'est pas une formation stable, constante et indifférente vis-à-vis des échanges entre cellules et liquides. Au contraire, faisons ressortir que la membrane est, elle aussi, essentiellement variable; elle est le produit d'une activité, en elle se passent des processus chimiques et physico-chimiques, des processus réversibles et irréversibles. C'est grâce à son état colloïdal qu'elle est douée d'une perméabilité élective, d'une capacité de sélection physique. Les fonctions de la membrane détermineront non pas seulement le côté quantitatif des réactions, mais aussi leur rapidité. De la membrane dépendra donc tout l'équilibre dynamique.

Je suis heureux de pouvoir rendre ici hommage à H. ZANGGER (Zurich) qui, un des premiers, a posé le problème de la membrane comme problème colloïdal.

\* \* \*

Voyons maintenant quelles sont les propriétés des colloïdes organiques et en quoi elles nous aident à mieux comprendre l'importance de la forme, de l'organisation intérieure de la cellule et les fonctions de la membrane cellulaire.

Il est incontestable que les colloïdes ont des propriétés essentiellement chimiques, qu'ils ont leur spécificité et leurs affinités particulières, tout comme les cristalloïdes. Mais la faculté de prendre la forme colloïdale n'est aucunément liée à la constitution chimique d'une substance. Le fait qu'un composé prend ou ne prend pas la forme colloïdale, est en relation avec des propriétés encore mal connues, mais certainement différentes de celles qui règlent les réactions chimiques proprement dites.

Nous laisserons, aujourd'hui, sciemment de côté l'aspect chimique de la question. Par contre, ce qui retiendra surtout notre attention, ce seront les *propriétés physiques des colloïdes*, et nous n'hésitons pas à affirmer que c'est en première ligne l'étude des

constantes physiques des colloïdes qui a permis de mieux pénétrer certains problèmes biologiques.

En général, nous pouvons dire que certaines propriétés qui caractérisent les solutions à dispersion d'ions et à dispersion moléculaire, manquent aux colloïdes, tandis que ceux-ci présentent d'autres propriétés importantes que nous ne retrouvons pas chez les véritables solutions. Ainsi, la pression osmotique des colloïdes organiques est très faible, tout comme la conductibilité électrique, ce qui n'est pas étonnant vu l'ionisation peu avancée. De même la tendance à la diffusion et à la dialyse est minime. Ils n'ont presque pas d'influence sur les points de congélation et d'ébullition des solvants. Tandis que les colloïdes métalliques n'ont qu'une viscosité très faible (qui est à peu près celle de l'eau), la viscosité des colloïdes hydrophiles est très prononcée. (Voir les travaux de ZANGGER et HESS [Zurich].).

D'autre part, un des caractères les plus importants des colloïdes, qui permet de les distinguer des vraies solutions moléculaires et ionisées, c'est la faculté de développer des *énergies de surface*. A l'état colloïdal, la proportion entre la surface et la masse est telle, que ce ne sont plus les propriétés de masse qui caractérisent le corps. La surface sera énorme et les propriétés de surface seront au premier plan. Elles se manifesteront d'autant plus que la surface aura augmenté.

Rappelez-vous qu'un cube de 1 cm d'arête a une surface de 6 cm<sup>2</sup>. Divisé en cubes de 1  $\mu$  d'arête, c'est-à-dire en 10<sup>12</sup> fragments, ils offrent une aire totale de 6 m<sup>2</sup>, et divisé en cubes de 1  $\mu\mu$ , c'est-à-dire en 10<sup>21</sup> fragments, la surface atteint 6000 m<sup>2</sup>. Toute augmentation de surface est l'effet d'un travail. La surface agrandie gardera accumulé ce travail, de nature soit électrique, soit mécanique, soit thermique, etc.; et, à un moment donné, cette énergie pourra être dégagée tandis que la surface diminuera d'étendue.

Parmi ces énergies de surface citons la tension superficielle. Plus la surface du colloïde sera grande, grâce à sa division, plus la tension de surface sera élevée et plus il y aura tendance à la diminuer, c'est-à-dire tendance à la congglomération, à la confluence des particules. En outre, plus la surface sera étendue, plus il y aura des phénomènes d'adsorption. Les lois d'adsorption peuvent être résumées simplement par le théorème de GIBBS-THOMSON qui dit que, dans une solution, les corps qui diminuent

la tension de surface se concentrent dans la zone limite du liquide. Dans les solutions à dispersion colloïdale ils se concentrent aux surfaces des granules. On peut formuler ce théorème aussi de la manière suivante : Les substances qui diminuent la tension de surface sont adsorbées positivement, et les substances qui l'augmentent sont adsorbées négativement. Evidemment, ce mode de répartition a ses limites. Car, à partir d'une certaine concentration dans les zones périphériques d'une solution, les substances qui diminuent la tension de surface se répartiront par diffusion aussi dans l'intérieur de la solution. En tout cas, il en résulte que la répartition de ces corps dans un liquide sera considérablement modifiée par la présence d'un colloïde à division très prononcée. Parmi ces corps qui intéressent le médecin, citons les graisses, les acides gras, les savons, les albumoses, les acides biliaires, etc. Nous verrons dans la suite comment ce théorème de GIBBS-THOMSON facilitera la compréhension de la nature réelle de certains processus tels que la résorption, la sécrétion, la narcose, l'action pharmacologique et toxique de certaines substances, l'action des catalyseurs et des ferments.

De même la rythmicité de certaines fonctions animales est compréhensible depuis qu'on les ramène à des actions de surface. Je vous rappelle, en passant, les travaux de BREDIG si importants pour l'interprétation des automatismes rythmés.

Enfin, citons comme antagoniste de la tension de surface, la charge électrique des particules colloïdales. Puisque l'étendue de surface des particules détermine la capacité électrique, il est évident que la charge électrique augmentera d'autant plus que la phase colloïdale sera divisée.

Les colloïdes, aussi, sont ou électro-positifs ou électro-négatifs et les particules de même signe se repoussent, tandis que les particules de signe opposé s'attirent. Si j'insiste sur ce fait, c'est qu'il vous explique comment peuvent apparaître des floculats, des précipités, des gels, et pourquoi certains colloïdes peuvent rester stables. Cela a acquis de l'importance dans les problèmes de coagulation sanguine, d'immunité et d'anaphylaxie.

Dans un champ électrique les colloïdes se meuvent soit vers l'anode, soit vers la cathode, selon le caractère de leur charge électrique. D'après HARDY et J. PERRIN, ce sont les ions H et OH qui confèrent leur charge électrique aux particules colloïdales. Il est



donc clair que le caractère de la charge électrique des particules et la cataphorèse seront modifiées par des adjonctions au liquide solvant de groupes acides ou alcalins. Ainsi l'on observe qu'en milieu alcalin les particules de blanc d'œuf vont de la cathode vers l'anode, et qu'en milieu acide la direction de leur mouvement est inverse. Mais dès que le liquide est exactement neutre, aucun mouvement des particules colloïdales ne peut être constaté. Le colloïde se trouve alors à son *point isoélectrique*. Ce point isoélectrique dépend donc de la proportion des groupes acides et alcalins du colloïde ou, d'après MICHAËLIS qui, en particulier, a étudié cette question, il correspond à la concentration d' $H^+$  (exprimée par son logarithme  $pH$ ) à laquelle les particules ne vont ni vers l'anode ni vers la cathode. J. LOEB a élargi cette définition en disant que le point isoélectrique est la concentration en ions  $H^+$  à laquelle, par exemple, les protéines existent à l'état non-ionogénique, parce qu'elles ne peuvent alors former pratiquement ni protéinate métallique, ni sel acide de protéine. Ce point isoélectrique est pour nous de la plus haute importance, car plus on s'en rapproche, plus la stabilité du colloïde diminue, et quand on l'atteint, elle s'évanouit complètement (BOTTAZZI). Diverses propriétés y sont au minimum, telles la pression osmotique des protéines, la viscosité, la conductivité, le gonflement, la différence de potentiel, même la quantité d'alcool nécessaire à la précipitation des protéines y est minimale (J. LOEB). Nous verrons plus tard que précisément ces faits nous permettent de mieux comprendre l'organisation intérieure de la cellule.

Une des questions qui nous intéressera vivement est la question des rapports entre les colloïdes et les ions. Nous trouvons des électrolytes soit dans le sérum, soit dans les cellules. Mais les cations intracellulaires ne sont pas les mêmes que ceux du plasma. Ainsi dans le sérum et dans le liquide cébrospinal ce sont les ions Na et Ca qui prévalent, dans les cellules les ions K et Mg. De même on trouve dans le sang surtout les chlorures, dans les cellules surtout les phosphates. Cette répartition d'électrolytes ne peut pas être due au simple hasard. Il doit y avoir là un sens profond que nous devons chercher dans l'action des électrolytes sur les colloïdes.

Nous savons aujourd'hui qu'un électrolyte, quel qu'il soit, est nuisible aux colloïdes, surtout aux colloïdes organiques, dès qu'il agit isolément. Ainsi un muscle, gardé dans une solution pure de



NaCl, manifestera des contractions anormales. Il n'y a pas longtemps encore, on croyait pouvoir remplacer le sang par des solutions de NaCl, qu'on appelait même solutions « physiologiques ». Aujourd'hui nous savons qu'il n'en est rien. Les solutions pures de NaCl peuvent avoir un effet nuisible sur l'organisme. Même on peut, dans certains cas, juger à l'autopsie, d'après l'aspect du muscle du cœur, si le malade avait reçu *intra vitam* une infusion de solution de NaCl (ROESSLE).

Il doit donc exister des rapports très curieux entre les colloïdes et les électrolytes. C'est HOFMEISTER qui, le premier, les a étudiés avec succès. HOFMEISTER a vu que les différentes propriétés des colloïdes, telles que l'imbibition, la viscosité, la rapidité de gélification ou de coagulation, la température à laquelle ces processus ont lieu, la pression osmotique, sont influencées par les sels neutres non pas d'après leur valence, mais d'après la nature de leur ion. Il a établi ainsi des séries d'anions et de cations d'après l'intensité de leur effet. Ce sont les séries lyotropes bien connues de HOFMEISTER. Je ne veux vous donner qu'un seul exemple. Les anions (le cation restant toujours identique) ont sur l'imbibition des colloïdes une action quantitativement progressive dans l'ordre suivant :

$\text{SO}_4, \text{Tartrate}, \text{Citrates} < \text{Acétate} < \text{Cl} < \text{Br}, \text{NO}_3 < \text{J} < \text{SCN},$

c'est-à-dire les sulfates, tartrates et citrates provoquent une rétraction de la gélatine, l'acétate agit moins fort dans ce sens, puis les chlorures, les bromures, les nitrates, les iodures et les sulfocyanures augmentent progressivement l'imbibition.

Si l'on fait varier les cations (l'anion restant toujours identique), la série se présentera ainsi :

$\text{Li} < \text{Na} < \text{K}, \text{NH}_4 < \text{Rb} < \text{Cs} < \text{Mg} < \text{Ca},$

c'est-à-dire l'imbibition augmente progressivement avec le lithium, le sodium, le potassium et l'ammonium, et enfin avec les alcalino-terreux.

Pour les autres propriétés des colloïdes, HOFMEISTER et ensuite surtout HOEBER ont établi des séries analogues qui ne diffèrent que peu entre elles et que je ne veux pas vous citer tout au long. C'est le principe qui importe ici. Vous voyez donc que des ions à valence égale ont des effets différents et spécifiques sur les propriétés physiques des colloïdes.

Ces séries dépendent de la réaction du milieu. Telles que je vous les ai indiquées, elles correspondent à un milieu alcalin. Si vous examinez l'action des électrolytes en réaction acide, les séries seront complètement renversées. Rappelez-vous que les colloïdes organiques tels que les protéines sont des ampholytes : ils peuvent jouer soit le rôle de cation, soit celui d'anion. C'est précisément de ce rôle ampholytique que dépend le fait que les séries de HOFMEISTER sont variables selon la réaction.

Cela a une importance capitale. Car J. LOEB a montré, ces dernières années, que si l'on examine l'action des électrolytes sur les protéines quand celles-ci se trouvent au point isoélectrique, les séries de HOFMEISTER disparaissent, et l'effet des sels sur les protéines se fait, au point isoélectrique, d'après la valence et le signe des ions. Les différents ions de même valence auraient, selon LOEB, une influence quantitativement égale. Ainsi, d'après la série de HOFMEISTER les acétates agissent non comme les chlorures, comme l'exigerait la loi de valence, mais comme les sulfates. D'après J. LOEB, par contre, cela tombe dès qu'on tient compte de la concentration en  $H^+$ . A pH égale, l'action de l'acétate est égale à celle de NaCl.

De même pour les cations, J. LOEB a montré qu'ils abaissent la pression osmotique, la viscosité et le gonflement des protéines d'autant plus que la valence du cation est plus élevée.

Ces recherches de J. LOEB doivent retenir toute notre attention. Car elles nous obligent à conclure que les protéines se combinent aux électrolytes non pas par adsorption — ce qui avait toujours été admis — mais bien suivant les règles chimiques ordinaires, c'est-à-dire selon les lois stoechiométriques des proportions définies, ce qui renverse donc toutes nos vues antérieures. Et cela n'est pas non plus indifférent si l'on veut interpréter certains processus biologiques que nous aurons encore à discuter et dans lesquels on ne peut se passer d'admettre un rôle prépondérant de l'adsorption.

Du reste, tout en admettant l'exactitude des expériences de J. LOEB, des physiologistes qui sont aussi de remarquables physico-chimistes tels que HOEBER, SPIRO, SCHADE ont fait remarquer que les séries de HOFMEISTER gardent néanmoins toute leur valeur pour la physiologie. En effet, nous les retrouvons quand nous étudions l'hémolyse par les sels, l'influence des ions sur la phagocytose, l'excitabilité musculaire et nerveuse, la parthénogenèse. Les con-

clusions de J. LOEB sont évidemment exactes pour les conditions dans lesquelles il a fait ses expériences. Mais ces conditions sont-elles les mêmes aussi dans le corps animal? L'avenir apportera une solution à ce dilemme.

Revenons à ce que nous disions il y a un instant. Les ions, isolément, ont tous une action nocive sur les colloïdes organiques. Mais ajoutons que l'action des ions se manifestera dans un sens très varié, souvent contraire, de sorte qu'on peut parler d'un véritable antagonisme — parfois il ne sera qu'apparent — vis-à-vis des colloïdes. Ainsi, par exemple, le cation Na provoque un amollissement, un véritable relâchement des colloïdes de la membrane cellulaire. Par contre, le cation Ca agit dans un sens contraire et produit une solidification des colloïdes de la membrane. Et le défaut de Ca est suivi d'une dislocation des éléments tissulaires et cellulaires. Si l'on examine l'action de K, on constate qu'elle est analogue à celle d'un défaut de Ca. Aucun ion n'est donc capable d'établir des conditions favorables pour les colloïdes de notre corps. Tous, ils agissent dans un sens ou dans un autre, en liquéfiant ou en coagulant les colloïdes. Ils troublent donc l'équilibre colloïdal comme le feraient des « poisons ». Mais précisément puisque ces antagonismes d'ions existent, on a su les exploiter. En les combinant, on a réussi à faire des solutions bien équilibrées, qui n'ont plus d'effet nocif et qui sont, au contraire, capables de maintenir les colloïdes des cellules et des tissus dans un état optimal.

La répartition idéale d'ions à actions physiologiques opposées, nous la trouvons incontestablement dans le sérum du sang. Là le chlorure de sodium, le chlorure de potassium et le chlorure de calcium (pour ne parler que de ces trois sels) sont toujours présents dans la proportion approximative de 100 molécules de NaCl, 2 molécules de KCl et 2 molécules de CaCl<sub>2</sub>. On a essayé grand nombre de mélanges d'ions. Mais toujours la proportion 100 Na : 2 K : 2 Ca, telle qu'elle est réalisée dans le sérum, s'est trouvée la meilleure. Cette proportion n'est pas réservée uniquement à l'organisme humain; nous la retrouvons dans le sang de tous les animaux, même chez les organismes les plus bas, les plus primitifs de la série animale. Et, fait extrêmement curieux, cette proportion d'ions dans le sang est la même que dans l'eau de la mer. Ceci n'est pas non plus un pur hasard. Là aussi, voyez une signification profonde: une propriété essentielle, qui caractérise

le milieu d'origine de toute vie — la mer — se conserve constante dans toute l'évolution phylogénétique du règne animal jusqu'à l'homme. Nous portons en nous, comme un précieux héritage, une « eau marine » intérieure, constante dans son équilibre d'ions, garante de l'«eucolloïdité» et du bon fonctionnement de nos organes (SCHADE). Voilà ce qu'est le sérum de notre sang!

Notre liquide intérieur, le sang, est donc doué de deux propriétés primordiales: l'isotonie et l'isoionie. Toutes les solutions physiologiques artificielles, que nous utilisons en clinique dans des buts thérapeutiques, devront ainsi s'inspirer de cette loi, devront imiter autant que possible les conditions telles qu'elles sont réalisées dans le sérum.

Les ions jouent aussi un rôle important dans l'intérieur des cellules. Ce sont eux qui, probablement, assurent l'«eucolloïdité» du cytoplasme, si exposé aux influences contraires durant toute la vie. L'organisation intérieure de la cellule dépendra donc de leur répartition. Nous avons déjà dit qu'ils ne sont pas les mêmes que dans les liquides environnants. Mais outre cela, on trouve des proportions variables d'ions d'une cellule à l'autre et, dans les cellules analogues, d'une espèce d'animal à l'autre. Ainsi l'acide phosphorique, les ions Na et K sont différemment répartis dans les globules rouges du cheval, du porc d'une part, du chien et du chat d'autre part et enfin de la vache, du mouton, etc. Nous croyons trouver dans ce fait l'explication de certains caractères spécifiques cellulaires, de modes de réaction vis-à-vis d'influences extérieures. Un exemple: La résistance des globules rouges des diverses catégories d'animaux que nous venons de voir, est très variable. Vis-à-vis des solutions hypotoniques elle est d'autant plus prononcée, que les globules rouges sont plus riches en acide phosphorique et en K, et vis-à-vis de la saponine, au contraire, qu'ils sont pauvres en ces mêmes ions. Les électrolytes dans l'intérieur des cellules ont donc des fonctions très précises et très importantes pour la spécificité même des cellules.

Et cette spécificité se retrouve quand nous examinons l'action des électrolytes extérieurs sur les organes. Ainsi nous voyons la chaux agir inversement sur l'oreillette et le ventricule du cœur; nous voyons l'utérus virginal réagir tout différemment que l'utérus gravide vis-à-vis de certains électrolytes. Donc l'état colloïdal de la cellule est une condition sine qua non des effets des ions.

Ces faits n'ont pas qu'une importance théorique. Ils font comprendre nombre de questions d'ordre purement pratique. La balnéologie, par exemple, n'était trop longtemps qu'une méthode uniquement empirique. Il était difficile d'interpréter les guérisons par les sources thermales. Actuellement, si l'on veut bien tenir compte de l'action des ions sur les colloïdes organiques, le scepticisme tombera et l'on négligera un peu moins cette méthode thérapeutique importante; surtout on cherchera à lui donner une nouvelle base expérimentale.

Un des antagonismes d'ions les plus importants pour notre organisme est celui des ions  $H^+$  et  $OH^-$ . Permettez-moi d'en dire rapidement quelques mots. Nous savons maintenant que la concentration en  $H^+$  (pH) du sang est constante. Chaque variation de cette concentration en  $H^+$ , par conséquent de la réaction du sang, même un très léger trouble de l'équilibre des  $H^+$  et  $OH^-$ , peut entraîner des conséquences dangereuses. L'organisme dispose de plusieurs moyens de se défendre contre de trop subites altérations de cette constance, provoquées par l'activité des organes mêmes, par exemple par l'activité musculaire. En effet, les organes actifs produisent des acides, de l'acide carbonique, de l'acide lactique. Dans certaines maladies, telles que par exemple le diabète sucré, des acides « pathologiques », comme l'acide  $\beta$ -oxybutyrique peuvent apparaître en excès. Si l'action chimique de tous ces acides n'était pas immédiatement annihilée, ils auraient un effet déplorable sur les colloïdes qui constituent les cellules. Vous voyez donc que les organes ne peuvent bien fonctionner qu'à la condition que la concentration de  $H^+$  soit bien déterminée et très constante. Les reins et les poumons se chargent d'évacuer aussi rapidement que possible tout excès d'acide.<sup>1</sup> Mais ils n'y suffiraient pas toujours et l'organisme a heureusement la possibilité d'y suppléer, grâce à la présence, dans le sang, de substances tampons, toujours prêtes à atténuer l'action nocive d'un excès d'ions  $H^+$ . Comme substances-tampons fonctionnent surtout les carbonates, les phosphates et les colloïdes ampholytiques. Ainsi l'organisme a

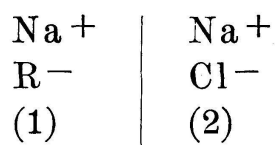
---

<sup>1</sup> Le centre respiratoire dans le bulbe est extrêmement sensible aux variations de la concentration en  $H^+$ ; les stimulus nerveux qui vont du centre vers les poumons, tout l'automatisme respiratoire, dépendront précisément de cette concentration en  $H^+$  dans le sang. (Voir entre autres les travaux de FLEISCH-Zurich.)

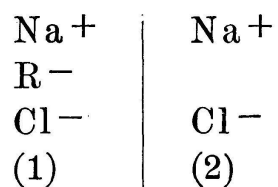
là une excellente garantie du maintien intact de ces colloïdes cellulaires.

Enfin permettez-moi encore de dire que si les électrolytes ont, comme nous venons de le voir, une importance énorme pour l'«eu-colloïdité» des organes, les non-électrolytes jouent, à ce point de vue, un rôle très effacé.

Je ne puis terminer ce chapitre des relations entre ions et colloïdes sans vous parler des équilibres de DONNAN. DONNAN a montré que quand une membrane sépare deux solutions, dont l'une contient un ion incapable de diffuser à travers la membrane, tandis que les ions de l'autre solution diffusent librement, il en résulte, quand l'équilibre des ions est établi des deux côtés de la membrane, une répartition très inégale des ions diffusibles dans les deux solutions en question. Admettons, par exemple, que nous ayons à gauche de la membrane, représentée par la ligne verticale, un sel Na R, dont l'anion R, une protéine, est incapable de diffuser à travers la membrane, et à droite une solution de NaCl.



Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> diffuseront de (2) vers (1). Il en résultera l'équilibre



Mais comme l'équilibre est atteint quand le produit des concentrations d'un côté de la membrane d'un couple de cations et d'anions diffusibles est égal au produit des concentrations du même couple d'ions de l'autre côté, c'est-à-dire quand

$$[\text{Na}^+]_2 \times [\text{Cl}^-]_2 = [\text{Na}^+]_1 \times [\text{Cl}^-]_1,$$

cet état ne sera possible que si

$$[\text{Na}^+]_1 > [\text{Na}^+]_2 \text{ et } [\text{Cl}^-]_1 < [\text{Cl}^-]_2.$$

Cette différence dans la concentration des ions diffusibles des deux côtés de la membrane doit forcément produire aussi une différence de potentiel entre ses deux faces. J. LOEB a vérifié ces



différences de potentiels pour des solutions de sels de protéines séparées de l'eau par une membrane de collodion. Ainsi la théorie de DONNAN ne fait pas de doute.

Je crois que nous sommes là en présence d'une des découvertes de ces dernières années les plus importantes pour la biologie. Elle n'a pas encore été suffisamment remarquée. Mais il me semble que tous les processus de « concentration », pour lesquels on cherchait vainement une explication dans les lois de l'osmose, peuvent maintenant, grâce à ces équilibres de DONNAN, être interprétés logiquement. Ainsi, pouvait-on comprendre comment l'estomac est capable de sécréter un suc gastrique à concentration d'acide chlorhydrique très élevée? Comment s'explique le fait, que j'ai pu vérifier souvent moi-même, que le liquide d'œdème ou d'épanchements dans les cavités séreuses contenait du NaCl à un taux de beaucoup plus élevé que le sang? Encore un exemple: Comment comprendre, sans faire appel à de nouvelles hypothèses accessoires, le travail rénal? Le rein produit une urine dont le poids spécifique, la pression osmotique, la proportion de sels sont très variables et qui dépassent souvent très fortement ceux du sang.

Nous voyons que tout ce que nous appelons travail de concentration, de sélection physiologique — manifestations pour lesquelles on s'est de tout temps difficilement passé d'admettre une force vitale inexplicable — peut être ramené à ces équilibres de DONNAN. L'avenir, je le suppose, nous réserve, dans ce domaine, encore mainte découverte intéressante.

Mais ces équilibres de DONNAN ont une autre signification encore — je dirais primordiale. Nous ne pouvons admettre leur existence que si nous admettons en même temps que les protéines forment de véritables sels ionisés avec les acides et les alcalis. Sinon, les conditions nécessaires à l'établissement d'un équilibre de DONNAN ne sont plus remplies.

Vous comprenez immédiatement que nous sommes en présence d'une conclusion grosse de conséquences. Car il n'est pas indifférent que les protéines et les autres colloïdes organiques se trouvent, dans le corps animal, à l'état ionisé ou non.

Abordons maintenant la question, comment se comportent les colloïdes entre eux, question qu'on ne saurait négliger, puisque, en réalité, nous avons constamment à faire, dans l'organisme animal,



à des mélanges de colloïdes. Quand deux colloïdes organiques sont en présence, une réaction sera évidente d'autant plus que les réactions acide et alcaline des deux colloïdes seront plus prononcées. Mais même quand le contraste des charges électriques des deux colloïdes n'est que minime, une réaction a lieu. Ces réactions de colloïde à colloïde, nous les retrouvons quand nous avons à examiner, par exemple, la coagulation du sang, l'hémolyse, les réactions d'immunité dans les maladies infectieuses. Au début, toutes ces réactions avaient été envisagées d'un point de vue purement chimique. Ce qui fascinait les esprits, c'était surtout leur spécificité, et c'est elle qu'on croyait pouvoir expliquer le mieux en admettant qu'un corps ne pouvait réagir avec un anti-corps que si les deux étaient doués d'une constitution chimique spéciale.

Pourtant, cette manière de voir a un inconvénient, celui d'exiger pour chaque réaction un grand nombre de substances de constitution différente, la spécificité n'étant jamais complète.

Mais la question de spécificité ne prime pas tout et le problème de l'immunité présente encore d'autres aspects importants.

C'est de nouveau ZANGGER, simultanément avec BORDET, puis LANDSTEINER, DOERR qui ont montré que toutes ces réactions devaient être interprétées comme réactions de systèmes colloïdaux. Car les toxines et les antitoxines, les antigènes (bactéries, globules rouges, etc.) et les anticorps, sont sans exception des colloïdes hydrophiles et en présentent les propriétés physiques. Ils ne diffusent et ne dialysent que difficilement; dans le champ électrique ils se comportent en ampholytes comme les protéines; ils sont très sensibles à la chaleur, aux influences mécaniques, telles les secousses répétées, ils se modifient spontanément en « vieillissant ». Puis on a reconnu que les réactions entre antigènes et anticorps sont réglées par les énergies de surfaces, qu'elles sont des phénomènes d'adsorption, qu'il s'agisse de précipitation, d'agglutination ou, au contraire, d'hémolyse, de bactériolyse. Le principe intime est le même. Nous voyons que ces réactions ne sont presque pas réversibles; elles dépendent du facteur temps. Elles seront très différentes selon la manière dont on aura mis les corps en présence l'un de l'autre. Ainsi DANYSZ et BORDET ont montré que l'antitoxine ajoutée rapidement en une seule dose, détruit complètement la toxicité de la toxine, mais que la même quantité d'antitoxine, ajoutée lentement et en plusieurs portions, n'y suffit pas.

BORDET a en outre démontré que, par exemple, les bactéries chargées d'agglutinine restent dans l'eau distillée en suspension finement divisée et que l'agglutination a lieu dès qu'on y ajoute de faibles quantités d'électrolytes.

Ce ne sont là que quelques arguments, mais j'espère qu'ils suffisent pour vous convaincre qu'il s'agit bien de véritables réactions colloïdales, qu'on est incapable d'expliquer par des processus purement chimiques. Et ce ne sont pas des faits isolés. Dans la coagulation du sang, par exemple, il s'agit de processus analogues. Nous pouvons donc dire que la théorie de l'adsorption a une signification générale pour toutes les questions qui se rattachent à l'immunité.

Cependant, comme les colloïdes organiques peuvent se rapprocher beaucoup des véritables solutions (ainsi que nous l'avions dit au début de cet exposé), et comme nous ne savons pas à quel degré de division se trouvent les corps immunisants, la supposition avait été faite que les réactions d'immunité ont lieu d'après la loi d'action de masses. ARRHENIUS et MADSEN avaient ainsi essayé de l'établir pour la toxine diphtérique et le sérum antidiphtérique, pour la toxine tétanique et le sérum antitétanique, pour la ricine et l'antiricine. Mais des recherches ultérieures ont facilement montré pourquoi ces réactions ne pouvaient pas être régies par ces lois et pourquoi les processus d'adsorption étaient plus probables.

Mais la spécificité, me demanderez-vous, est-elle expliquée par les énergies de surface? Je vous avoue que c'est une question difficile à résoudre. LANDSTEINER a supposé, ce qui me paraît fort plausible, que peut-être la présence, dans les réactions, de lipoides, si variables entre eux, pourrait déterminer certaines affinités spécifiques.

En tout cas, pour résumer, nous pouvons dire, comme SAHLI, que l'infinie variété des manifestations d'immunité ne peut être mieux comprise qu'en la ramenant à la nature colloïdale des substances qui sont en contact.

Nous venons de voir brièvement quelques réactions de colloïdes hydrophiles organiques entre eux et leur importance pour la médecine pratique. Mais que ce passe-t-il entre un colloïde organique et un colloïde de suspension?

Si un colloïde hydrophile, par exemple une protéine, est mis en présence d'un colloïde de suspension, par exemple un colloïde

métallique, il pourra être floculé et précipité. Mais cette floculation disparaîtra dans un excès d'albumine. Il s'agit là probablement aussi d'une simple action de surface, la protéine étant adsorbée à la surface des particules colloïdales en suspension. Des forces électriques de surface peuvent naturellement aussi se manifester.

Nous sommes là vis-à-vis d'un phénomène très intéressant. Car vous savez tous qu'on utilise volontiers — avec un succès d'ailleurs très variable et souvent minime! — des injections de colloïdes métalliques très divisés pour combattre les infections microbiennes. Les bactéries, comme les autres protéines, peuvent être adsorbées. Heureusement, notre organisme dispose de mécanismes suffisants pour empêcher que ces injections de métaux colloïdaux en suspension ne déclenchent des floculations étendues et ne fassent plus de mal que de bien. Les chocs qu'on voit suivre de pareilles opérations sont parfois extrêmement violents, mais sont transitoires.

Les floculations disparaissent dans un excès d'albumine, avons-nous dit. En effet, nous savons que les colloïdes lyophiles ont des propriétés protectrices, ils empêchent la formation de précipités. Et ceci est de la plus grande importance pour notre corps. Ce n'est que grâce à la présence de colloïdes organiques que, par exemple, le lait peut contenir de grandes quantités de phosphate de chaux, si important pour l'alimentation.

Mais certains processus pathologiques aussi nous apparaissent plus compréhensibles si nous tenons compte des propriétés protectrices de certains colloïdes. Ainsi l'acide urique, très peu soluble, se trouve à un taux assez élevé en solution dans le sang. Mais dès que le rôle protecteur des colloïdes du sang est troublé, l'acide urique est précipité et s'accumule à certains endroits du corps, provoquant les phénomènes de la goutte.

Peut-être l'artériosclérose aussi, avec ses dépôts de sels de Ca dans la paroi des artères, est-elle due à un processus analogue, c'est-à-dire à une déficience des colloïdes protecteurs dans la paroi artérielle même.

Je veux citer encore un exemple qui intéresse surtout les minéralogistes, la formation des calculs biliaires. Quand on se représente la grande quantité de cholestérine et de bilirubinate de chaux qui peut être maintenue en solution dans la bile, on devrait se demander en première ligne, non pas pourquoi certaines personnes

ont des calculs biliaires, mais pourquoi tout le monde n'en a pas. Ces sels, aussi, ne sont pas précipités parce qu'ils se trouvent, dans la bile, sous la protection de plusieurs substances colloïdales. Ce n'est que lorsque, par suite de stase chronique, les colloïdes s'altèrent, ou que lorsqu'il y a une inflammation avec production de nouveaux colloïdes tels que la fibrine, que l'équilibre est rompu et que la cholestérine et les bilirubinales de chaux sont entraînés dans des précipités.

Et la formation intérieure du calcul — car un précipité n'est pas un calcul — est aussi un problème colloïdal. Car nous y voyons des formations de couches analogues à celles que LIESEGANG a pu produire artificiellement. (Voir aussi les derniers travaux de NAUNYN.)

Enfin, j'ai à dire quelques mots des facteurs extérieurs tels que influences mécaniques, influences de radiation, lumière, rayons Röntgen, radium, influences thermiques, qui sont capables de modifier le degré de division des colloïdes. L'étude de l'action de ces multiples facteurs extérieurs pourra, peut-être, servir de base scientifique à l'explication de la radiothérapie, de l'héliothérapie, de l'hydrothérapie — je n'insiste pas.

Permettez-moi de n'attirer votre attention que sur le facteur thermique. D'une part, les vitesses de réaction augmentent en proportion de l'élévation de la température; c'est une notion courante. Mais d'autre part, la division colloïdale diminue et nous observons que, déjà entre 37° et 40°, le sérum sanguin présente les premiers signes de cette modification de la surface granulaire. Ceci nous permet de comprendre les modifications du métabolisme dans la fièvre. D'une façon analogue, les basses températures ne sont pas indifférentes. Vous voyez donc que l'isothermie de notre organisme est une condition nécessaire de vie.

Et de même vous comprendrez aussi ce phénomène qu'on peut détruire mécaniquement la cellule, de sorte que sa forme extérieure n'existe plus, néanmoins certaines activités seront maintenues telles que respiration, actions fermentatives; mais soumettez la cellule à l'action de la chaleur, immédiatement toute activité vitale cesse, malgré qu'à l'examen microscopique vous ne pouvez remarquer aucune altération de la forme extérieure. Y a-t-il de meilleure preuve que c'est de l'état de division colloïdale, de l'«eucolloïdité» que dépendent les manifestations vitales!

\* \* \*

Après avoir ainsi passé en revue les principales propriétés physiques des colloïdes hydrophiles organiques, revenons aux deux problèmes que j'avais posés au début de ma conférence: le problème de la forme et de l'organisation intérieure de la cellule, et le problème des fonctions des membranes. Examinons, si maintenant nous pouvons leur donner une réponse satisfaisante.

Il est superflu de vous dire qu'il existe sur l'organisation cellulaire une littérature énorme et que différentes hypothèses ont été formulées afin d'expliquer le protoplasme et ses fonctions (théorie de l'écume, de mousse, de mosaïque, etc.). N'ayez pas de crainte que je veuille les discuter ici. Tenons-nous simplement aux propriétés physiques des colloïdes; cela nous permettra de mettre quelque ordre dans les idées et le problème paraîtra plus clair. Il me semble que c'est F. BOTTAZZI, de Naples, qui a résumé les questions qui s'y rattachent de la manière la plus nette,<sup>1</sup> et je me permettrai, dans la suite, de m'en inspirer.

D'abord, ne confondons pas le protoplasme avec un gel. Ce serait une erreur. Le protoplasme est un système liquide, il est vrai, à consistance plus solide que celle du plasma sanguin, par exemple.

Ensuite, ne confondons pas le protoplasme et le cytoplasme qui, lui, représente la formation organisée de la cellule. Cette distinction est essentielle! Le protoplasme est un liquide non-différencié, relativement homogène, tandis que le cytoplasme est différencié; c'est un système colloïdal polyphasique. Dès que l'organisation commence, nous voyons apparaître dans le protoplasme liquide des granulations, visibles d'abord à l'ultramicroscope, ensuite au microscope. Ce sont les amicros du protoplasme qui, peu à peu s'agrandissent, s'associent en submicrons et enfin en micro-granulations. C'est l'état ionisé des protéines — et nous avons vu que dans certaines conditions les protéines peuvent se maintenir à l'état d'ions — qui diminue, qui cède à la formation de molécules à dissociation moindre et à tendance augmentée à la formation de micelles. Mais — et ceci est très important — il s'agit là d'un processus réversible; ces mêmes microgranulations peuvent se retransformer en amicros et disparaître, dès que des conditions opposées s'établissent.

---

<sup>1</sup> Voir surtout son dernier exposé, «*Atti della Società Italiana per il progresso delle Scienze*», 1923.

Retenons donc que le protoplasme évolue en système colloïdal hétérogène et vice-versa. Ce cytoplasme est caractérisé par la présence d'au moins deux phases : les microgranulations et le protoplasme qui, lui, représente la phase extérieure, continue. La proportion, dans les cellules différenciées, de ces deux phases est très variable. Plus il y aura formation de granulations, plus la phase protoplasme sera réduite. Et plus il y aura de granulations, plus la viscosité intracellulaire augmentera, plus les mouvements browniens diminueront, pour réapparaître de nouveau pendant la période de régénération où les granulations diminuent. (BAYLISS.)

Mais par quoi cette apparition de structure hétérogène est-elle provoquée ? Toute irritation physiologique est accompagnée de formation d'acide, et ces acides amènent les lipoprotéides qui constituent le protoplasme, vers le point isoélectrique — duquel ils ne sont, du reste, normalement, que très peu éloignés.

Nous avons vu qu'au point isoélectrique les colloïdes présentent un minimum de stabilité. C'est là que les floculations ont lieu le plus facilement. Les charges électriques, grâce auxquelles les particules se repoussent, étant neutralisées, les forces d'attraction peuvent se manifester facilement. Les protéines, moins ionisées au point isoélectrique, pourront donc facilement former des granulations.

Dès que la réaction cellulaire s'éloigne de nouveau du point isoélectrique — et cela a lieu dans la période de repos qui suit la période d'activité — le processus inverse aura lieu ; les granulations disparaîtront. C'est donc dans cette approche et dans cet éloignement du point isoélectrique que nous trouvons une explication de la réversibilité du processus de transformation du protoplasme homogène en cytoplasme hétérogène et actif, réversibilité si importante pour la vie.<sup>1</sup>

La formation et la disparition de microgranulations, les oscillations alternantes autour du point isoélectrique, voilà à quoi peut être ramenée la vitalité de la cellule. La vie, c'est le mouvement intracellulaire suivi de périodes de régénération, et plus il y aura

---

<sup>1</sup> Les différents colloïdes organiques ayant des points isoélectriques très variables, il est clair que le point isoélectrique de la cellule sera aussi variable selon la proportion des différentes fractions de protéines, liquides, etc., qui la constituent. Cela explique que, dans les états pathologiques, les points isoélectriques pourront être modifiés et que les processus d'oscillation autour du point isoélectrique seront différents des processus normaux.



formation de granules différenciés et réversibles, plus la capacité de travail de la cellule sera grande. Mais si la réversibilité du processus diminue et si elle cesse, si les floculations, les granulations persistent et se stabilisent, si la réaction du protoplasme tend à rester définitivement au point isoélectrique, si le retour au protoplasme homogène devient impossible, l'excitabilité de la cellule diminuera et sa vitalité se ralentira. La mort surviendra. La mort, c'est le repos intracellulaire, c'est l'inexcitabilité, c'est l'hétérogénéité du cytoplasme devenue durable.

Vous avez déjà saisi toute l'importance de ces processus réversibles. Ils sont une condition sine qua non du métabolisme cellulaire. Car ce n'est que lorsqu'il y a un système hétérogène polyphasique que toutes les propriétés du colloïde que nous avons esquissées peuvent se manifester dans toute leur étendue. Plus il y aura de micro-granules, plus la surface intérieure sera grande et, par conséquent, plus les énergies de surface, notamment la force d'adsorption, seront grandes. Et celles-ci aussi diminueront, parallèlement à la surface même, dès que la réaction aura atteint le point isoélectrique où les granula floculent et diminuent leur surface.

L'adsorption jouera un très grand rôle dans l'orientation intérieure et dans les échanges de la cellule avec l'extérieur. Conformément à la loi de GIBBS-THOMSON qui dit que les substances qui diminuent la tension superficielle sont adsorbées positivement, la répartition des différentes substances chimiques importantes pour le métabolisme, seront orientées les unes vers la périphérie de la cellule, les autres vers son centre. Ainsi nous comprenons la formation d'une membrane ou couche périphérique de la cellule, variable et active, produit de l'activité cellulaire. L'adsorption influencera les réactions chimiques. En orientant les différentes substances du métabolisme, elle mettra les réactions en activité et les accélérera.

Grâce aux oscillations autour du point isoélectrique, grâce à la disparition d'anciennes et à la production de nouvelles granulations avec de nouvelles surfaces, grâce à cette suite de périodes de repos et d'activité, les produits du métabolisme pourront être mis en mouvement, pourront être éliminés, et ce précieux équilibre dynamique qui caractérise le métabolisme pourra s'établir. Comme c'est à la floculation et aux forces d'adsorption aux surfaces créées par elle que nous ramenons la perméabilité de la cellule, il est

aussi compréhensible que cette perméabilité cellulaire est un phénomène variable.

Je ne vous ai cité que peu d'exemples pour vous montrer que les propriétés physiques des colloïdes sont bien capables d'expliquer les problèmes d'organisation cellulaire. Faute de temps je ne puis le faire plus complètement. En tout cas, vous avez pu voir que les cellules les plus actives sont celles où l'hétérogénéité colloïdale avec toutes ses propriétés physiques est la plus prononcée et la mieux régénérée.

Nous voyons du reste dans l'organisme animal aussi des phénomènes contraires, confirmant bien toute l'importance de la différenciation endocellulaire pour le métabolisme. J'entends certaines cellules, telles que les globules rouges des mammifères, et d'autres formations, telles que la lentille, le corps vitré, le cartilage hyalin, etc., qui sont des systèmes homogènes, sans tendance à la différenciation en systèmes polyphasiques. Ce sont du reste des cellules et des formations chez lesquelles nous ne rencontrons que des échanges minimes.

Les globules rouges et le plasma sanguin sont uniquement les véhicules qui transportent les substances nutritives, les sécrétions, les hormones, les déchets, etc. Ils ne participent pas aux échanges du métabolisme qui se fait dans les organes. Il est clair qu'ils ne pourraient pas faire face à leur tâche de véhicule s'ils constituaient des systèmes polyphasiques à grandes énergies de surface. Les substances nutritives y resteraient adsorbées et ne seraient mobilisées qu'avec grande difficulté, les échanges entre cellules des organes et le sang seraient alors gravement entravés ou même impossibles. Précisément parce que les globules rouges et le sérum sont des formations homogènes, ils peuvent facilement céder aux organes les substances qu'ils leur apportent. Et sans vouloir nous engager dans des déductions téléologiques, nous pouvons dire que la nature a bien réparti les rôles.

Envisageons maintenant le problème de la membrane. De la structure de celle-ci dépend la perméabilité, base de toute assimilation, sécrétion, action pharmacologique et toxique des médicaments.

Mais comment comprendre la perméabilité? Si l'on réfléchit un peu en se rappelant les nombreux faits objectifs, on sera bien vite persuadé que de simples réactions chimiques entre la surface

cellulaire et les substances à résorber ou à éliminer n'expliquent rien. Trois possibilités peuvent être envisagées :

1° Ou bien la membrane — ou la surface cellulaire — a des pores de différentes grandeurs et fonctionnera comme un filtre, en laissant passer les molécules ou les groupements moléculaires jusqu'à une certaine grandeur et en retenant les particules dépassant la dimension-limite. Ce serait là le même principe que celui sur lequel on se fonde pour utiliser les membranes pour l'ultrafiltration des colloïdes.

2° Ou bien la membrane cellulaire est un véritable milieu de solution pour les substances perméables, donc capable de faire un choix parmi les substances qui l'entourent. D'après OVERTON ce seraient les lipoïdes qui joueraient ce rôle important d'agent de solution. La cellule serait, selon lui, entourée d'une couche lipoïde, et seuls les corps doués de solubilité lipoïde seraient capables d'y pénétrer, tandis que les substances insolubles dans les graisses seraient arrêtées. La solubilité lipoïde serait donc le facteur déterminant la rapidité de passage à travers la membrane.

3° Ou bien, enfin, la perméabilité de la membrane cellulaire est due à l'adsorption physique aux surfaces des colloïdes qui constituent la cellule. La membrane cellulaire serait donc perméable pour les substances douées d'une forte activité de surface, et imperméable pour les substances inactives.

La théorie d'OVERTON a été longtemps très en vogue. Actuellement, elle ne peut plus être soutenue. Il est vrai que beaucoup d'observations semblaient l'appuyer. Ainsi EHRLICH avait montré que les colorants et les alcaloïdes qui agissent sur le système nerveux sont essentiellement lipotropes. Puis OVERTON a trouvé qu'un grand nombre de substances perméantes ont un facteur de répartition entre l'huile et l'eau très élevé en faveur de l'huile, tandis que ce facteur est très bas pour les substances non-perméantes. En outre, on a constaté que les substances hémolysantes ont un pouvoir hémolysant d'autant plus fort que le quotient de solubilité lipoïde est élevé. RANSOM avait par exemple observé que la saponine, hémolysant très actif, réagissait avec la cholestérine des globules rouges et qu'il était possible d'empêcher cette hémolyse en ajoutant suffisamment de cholestérine au sang, de sorte que par cette cholestérine la saponine serait absorbée avant qu'elle n'ait attaqué les globules rouges.

On a aussi pu établir que les cellules riches en cholestérine résistent plus facilement aux substances hémolysantes que les cellules riches en lécithine; la résistance variable des cellules vis-à-vis des hémolysines serait donc une conséquence de la proportion de leurs différents corps lipoides. Citons aussi les recherches de J. LOEB qui avait montré que les substances cytolytiques déclenchent le développement parthénogénétique des œufs, et cela parallèlement à leur solubilité lipoides.

Enfin, on a réussi à créer artificiellement des membranes avec des corps lipoides, imperméables pour les sels minéraux et perméables pour le chloral, la cocaïne, la stovaine et les alcaloïdes, donc des membranes imitant bien la membrane naturelle cellulaire. Et ces membranes, si elles séparaient une solution d'hémoglobine d'une solution de saponine, laissaient peu à peu passer l'hémoglobine; elles avaient donc été altérées par la saponine hémolysante.

Mais si tous ces faits semblent confirmer la théorie, celle-ci néanmoins ne résiste pas aux objections suivantes:

Ainsi l'eau, dont la faculté de traverser les membranes cellulaires ne fait de doute pour personne, devrait ne pas pouvoir entrer dans une cellule ou en sortir, si cette cellule était vraiment entourée d'une couche de corps lipoides. Ou bien, il faudrait admettre que les lipoides de la membrane soient capables d'adsorber de l'eau comme eau d'imbibition. Mais alors, dans ce cas, ils ne sont plus exclusivement perméables pour les substances liposolubles, et la théorie tombe.

En second lieu: Si l'on examine de plus près quelles sont les substances à solubilité lipoides, on est étonné de constater que ce sont presque toutes des substances qui ne jouent pas de rôle dans les fonctions cellulaires. Par contre, les substances pour lesquelles, d'après la théorie, la membrane cellulaire est imperméable, telles que les sucres, les acides aminés, les sels neutres des alcalins et des alcalino-terreux, sont précisément les matières alimentaires dont les cellules ont besoin et dont la présence dans l'intérieur des cellules est bien prouvée. Donc, en un mot: ce dont la cellule a besoin, ne passe pas, et ce qui passe — la cellule peut s'en passer, en tout cas ne fait pas partie de sa constitution.

Enfin, dernier argument que je me permets de vous soumettre, il y a un grand nombre de substances qui ne sont pas liposolubles

et qui entrent néanmoins très bien dans les cellules; ainsi, par exemple, certains colorants acides.

Nous croyons qu'on peut expliquer la perméabilité cellulaire bien mieux en tenant compte des propriétés physiques des colloïdes organiques. Il existe, en effet, un parallélisme entre la perméabilité et l'activité de surface. La perméabilité est un phénomène d'adsorption. Je vous rappelle encore une fois le théorème de GIBBS-THOMSON dont on reconnaît précisément dans cette question toute la valeur. Ainsi les albumines, les albumoses, les graisses, les acides gras, les acides biliaires, etc., tous corps qui abaissent la tension de surface, seront adsorbés et pourront entrer dans la cellule. Vous reconnaissez aussi immédiatement que cette interprétation physique de la perméabilité est en parfaite harmonie avec ce que je vous disais il y a un moment de l'organisation du cytoplasme. Cela nous fait comprendre comment la perméabilité augmente avec l'activité cellulaire et comment la perméabilité n'est pas un simple phénomène de membrane passive, mais que la membrane cellulaire est douée d'une perméabilité active, sélective.

La différenciation du cytoplasme pendant l'activité cellulaire avec l'énorme extension de sa surface intérieure permettra la manifestation de phénomènes d'adsorption. Donc plus une cellule est en état d'activité, plus elle pourra adsorber les substances dont elle a besoin pour sa tâche. Et HOEBER, un des physico-chimistes les plus remarquables et qui a particulièrement étudié cette question, que je me plais donc de citer amplement, insiste aussi sur le fait, bien observé objectivement, que la perméabilité sélective est un symptôme d'activité cellulaire et que l'imperméabilité est un indice d'inaction. Les preuves de ce que je viens de dire abondent. Je ne veux vous en citer que quelques-unes. Ainsi, l'œuf, après la fécondation, a une perméabilité plus grande que celle d'œufs non-fécondés. Ou bien, selon EMBDEN, les échanges d'ions dans le muscle se font mieux, dès que le muscle est excité et travaille. L'activité musculaire est accompagnée de déperdition d'acide phosphorique, tandis que le muscle au repos est imperméable pour cet acide. De même, vous savez tous par propre expérience que les excitations électriques, mécaniques, thermiques de la peau sont accompagnées d'une augmentation de perméabilité cellulaire.

La perméabilité sera aussi modifiée par la température (HOEBER), puisque la structure colloïdale elle-même sera modifiée. Je vous

indique ce fait pour vous faire comprendre les modifications de résorption et de sécrétion dans les états pathologiques de fièvre.

Je crois donc pouvoir conclure que la théorie lipoïde est impuissante à servir de base à nombre de faits physiologiques et que la théorie colloïdale nous satisfait beaucoup mieux. Et dans cette théorie d'adsorption nous pouvons faire rentrer aussi l'idée d'une membrane-filtre, à pores variables, idée qu'il me semble ne pas devoir être négligée. Par l'étude des propriétés physiques des colloïdes la question de la perméabilité physiologique et sélective des membranes cellulaires a gagné en clarté et en unité.<sup>1</sup> Nous nous en convainquons à chaque pas dès que nous poursuivons de plus près les fonctions de résorption et de sécrétion de divers organes, l'action pharmacologique des médicaments, le mécanisme de la narcose, etc.

Pour vous l'illustrer, je ne veux choisir que deux exemples : la résorption intestinale et la sécrétion rénale. Car là nous voyons développée à un très haut degré la faculté de concentration de l'organe. L'intestin tout comme le rein, est loin de n'être qu'une membrane passive et la diffusion et l'osmose n'expliquent ni la résorption dans l'un ni la sécrétion dans l'autre. Ce sont précisément deux exemples qui permettent de saisir au vif le fait que la perméabilité est bien fonction de l'activité cellulaire.

La paroi intestinale, composée de plusieurs couches, n'est pas douée seulement de la faculté de résorber sélectivement et de concentrer. Il y a encore autre chose. Maintes substances résorbées sont transformées dans la paroi intestinale avant même d'être déversées dans le sang ou la lymphe. Je vous citerai l'exemple de l'utilisation des albumines. Dans l'intestin les protéines sont digérées, c'est-à-dire décomposées jusqu'à l'état d'acides aminés. Mais ces acides aminés, on ne les retrouve pas, ou seulement en minimes quantités, dans le sang veineux venant des intestins. Une synthèse doit donc avoir eu lieu dans la paroi résorbante même, une synthèse transformant les acides aminés non pas seulement en état de polypeptides, ou peptones ou albumoses, mais jusqu'à l'état d'albumines. Ces nouvelles albumines portent déjà le caractère

---

<sup>1</sup> Elle suffit à tous les cas qui jusqu'à présent ont été étudiés, excepté à la coloration vitale des tissus. La coloration par adsorption devra encore être poursuivie. Là interviennent des conditions compliquées, telles que propriétés chimiques, réaction acide ou basique, etc.



spécifique de l'espèce à laquelle appartient l'individu. Elles n'ont en tout cas plus de parenté avec l'organisme duquel elles provenaient. La digestion intestinale ne se fait pas en bloc mais progressivement, et de même la résorption et la transformation synthétique se fait aussi au fur et à mesure que les acides aminés sont produits par l'activité des ferments trypsine et érepsine sur les albumoses et peptones.

Si l'on tient compte de la grande surface de la muqueuse intestinale déployée et si l'on tient compte en outre de l'énorme surface des particules colloïdales qui constituent le cytoplasme des cellules en activité, on comprendra que les processus si variés et si compliqués de résorption, de transformation chimique, de transport vers le sang peuvent avoir lieu simultanément et avec une très grande rapidité.

Le rein aussi, comme je vous l'ai déjà dit, est capable de faire un travail de concentration, car nous voyons l'urine présenter une pression osmotique très variable, en général beaucoup plus élevée que celle du sang. Mais ce travail rénal ne consiste pas simplement à multiplier par un facteur les corps du sang, capables de traverser le rein. L'urine contient, par exemple, plus de NaCl que le sang, tandis que le glycose n'y apparaît normalement qu'en concentration excessivement faible. Le rein, donc, tout en concentrant, sélectionne.

Comment expliquer cette sécrétion rénale? Assurément il ne peut pas s'agir d'une filtration. MAGNUS, ASHER et son école ont suffisamment réfuté cette hypothèse trop simpliste d'une filtration, dans les glomérules, d'un liquide isotonique au sang qui serait, ensuite, dans les multiples canaux du rein, condensé jusqu'à la concentration finale de l'urine, grâce à un processus de résorption d'eau et de sels. Que la filtration, due à la pression artérielle, y joue un rôle, c'est probable; mais ce ne peut être qu'un rôle secondaire. Car à la force de filtration due à la pression artérielle s'opposera toujours la force d'attraction que les colloïdes du sang ont pour l'eau et les autres substances devant être sécrétées. Par une expérience intéressante, STARLING a pu montrer que dès que la pression capillaire tombe à 30—40 mm Hg, c'est-à-dire au niveau de la pression osmotique des albumines, toute sécrétion cesse. Cette force contraire à la filtration, due aux colloïdes sanguins, peut aussi augmenter démesurément.

Nous voyons de pareilles conditions réalisées dans certains états pathologiques tels, par exemple, que la stase veineuse du rein, où la sécrétion d'urine diminue et peut même faire complètement défaut. Cette anurie ne serait pas compréhensible, si la filtration était la cause principale de la diurèse. Car alors on devrait s'attendre à une augmentation de la diurèse, ce qui n'a pas lieu. L'urine, telle qu'elle est éliminée par les glomérules, est donc une espèce d'ultrafiltration. Mais cela n'explique pas non plus tout.

Le mot de « sécrétion » — en admettant une sécrétion de telle substance dans les glomérules, de telle autre dans les canalicules — ne nous éclaire pas davantage.

Par contre, je crois que nous pouvons expliquer le travail de sélection et de concentration rénale en appliquant au rein la notion des équilibres de DONNAN. Tout nous paraît alors clair. Nous sommes en présence d'une membrane — la capsule de BOWMAN dans les glomérules, les cellules épithéliales dans les tubuli contorti —; d'un côté de la membrane se trouve le sang — colloïdes et sels ionisés, dont certains sont capables de traverser la membrane, d'autres pas; tandis que de l'autre côté ne se trouvent que l'eau et les sels ionisés pour lesquels la membrane rénale est perméable.

Nous avons vu que la seule présence d'albumine d'un côté de la membrane suffit pour que les ions diffusibles se trouvent des deux côtés de la membrane en concentrations très différentes. Et comme l'urine s'écoule constamment, l'équilibre de DONNAN ne pourra jamais être atteint complètement, et la sécrétion continuera sans interruption. Les albumines étant des corps ampholytes, il est clair que soit les anions, soit les cations, pourront passer en concentration augmentée dans l'urine.

Qu'il y ait des concentrations de sels et des pressions osmotiques beaucoup plus fortes dans l'urine que dans le sang, ne nous paraît maintenant plus une énigme insoluble.

Nous venons de voir l'importance des colloïdes du sang. Evidemment, le degré d'hétérogénéité colloïdale des cellules rénales, leur différenciation réversible en cytoplasme, joue aussi un rôle de premier plan et influencera l'établissement des équilibres de DONNAN.

Un autre fait, très important pour l'interprétation de processus pathologiques, ne sera aussi expliqué que si nous envisageons le rein comme système colloïdal. Certaines substances ne sont élimi-

nées que quand elles dépassent un seuil défini dans le sang afférent, tels l'eau, le NaCl, le glucose; d'autres substances sont éliminées, quelles que soient leurs concentrations dans le sang et sans qu'il y ait un seuil bien établi. Ce sont l'urée, la créatinine, etc. Il est curieux de constater que les substances à seuil sont précisément celles qui sont nécessaires au maintien de l'«eucolloïdité» du sang et des cellules. Par contre, les substances sans seuil sont dépourvues de cette propriété. L'eau et le NaCl, substances à seuil, sont aussi les substances qui déclanchent l'apparition d'œdèmes dans les néphrites, tandis que l'urée ne joue aucun rôle dans la pathogénie des œdèmes. Les œdèmes ne se développent, nous le savons aujourd'hui, que quand l'«eucolloïdité» des systèmes colloïdes est rompue.

Vous voyez donc que nous arrivons à un résultat d'importance générale, c'est que tout le problème de la sécrétion — et ce que nous disons du rein, nous pouvons l'appliquer aussi à d'autres organes à sécrétion, par exemple le foie — est un problème qu'on ne peut résoudre que si l'on tient compte des propriétés des colloïdes.

Ce point de vue nous est du reste aussi un aide puissant pour l'interprétation des troubles pathologiques des reins. Supposez une lésion quelconque des cellules, provenant soit d'un processus de dégénérescence, soit d'un processus inflammatoire, il y aura modification du degré de division des colloïdes cellulaires, formation de floculations irréversibles et tendance à l'inactivité, à la mort cellulaire. Les énergies de surface n'entreront plus en jeu; les fonctions de la membrane seront troublées à fond. La membrane, produit de vitalité, deviendra un simple filtre. Les équilibres de DONNAN ne pourront plus se produire. L'albumine passera du sang dans l'urine, l'élimination de NaCl se fera en concentration moindre, il y aura rétention d'eau, d'urée, etc. Ou bien l'urine ne sera qu'un vulgaire filtrat avec peu de sels et beaucoup d'eau et à poids spécifiques et pressions osmotiques constants. L'«eucolloïdité» des colloïdes organiques de tout le corps en souffrira.

Enfin, je voudrais vous montrer, en prenant encore le rein comme exemple, que la conception colloïdale nous permet d'interpréter plus sûrement aussi les effets pharmacologiques. Je choisis le fait bien connu de l'augmentation de la diurèse par la caféine. Il ne s'agit pas là de simple accroissement de la perméabilité des parois

capillaires intrarénales, comme on l'avait admis encore naguère. Aujourd'hui nous savons que la caféine modifie l'état colloïdal des albumines. Elle accélère l'ultrafiltration du sérum à travers une membrane de collodion. Mais comme elle n'augmente en aucune façon la filtration de glycose à travers la membrane, il ne peut s'agir que d'une action sur l'albumine même et non pas sur la membrane (ELLINGER). D'autres diurétiques aussi, les sels, l'urée, le glycose agissent, comme la caféine, en diminuant la division des colloïdes du sang et, par conséquent, en abaissant le pouvoir de rétention d'eau des albumines du sang. D'autre part, une participation de la membrane peut aussi avoir lieu, puisque la membrane est aussi un système colloïdal dépendant des facteurs capables de modifier son «eucolloïdité». Ainsi pour modifier la perméabilité rénale nous faisons, en clinique, usage de Ca, dont nous avons déjà signalé la grande importance pour l'équilibre entre ions et colloïdes.

\* \* \*

Messieurs! Je m'arrête, et je vous fais mes excuses d'avoir retenu si longtemps votre attention par un exposé, en lui-même trop incomplet. Il y aurait encore bien des idées à développer.

Mais j'espère que vous retiendrez en tout cas une idée, c'est l'importance de la *structure physique* pour tout processus vital.

Certes, les problèmes de la vie sont compliqués et merveilleux. Mais nous ne voulons pas nous contenter d'admirer le merveilleux, nous voulons chercher à le comprendre. Nous n'y arriverons que si la médecine, science empirique, prend pour guide la méthode expérimentale. L'étude de l'état colloïdal de la matière en est un exemple entre les plus suggestifs. Mais pour cela il faut avoir l'esprit tourné vers la Physique. PLATON, le père de toute pensée moderne, n'admettait dans sa République que ceux qui étaient géomètres. Que cet esprit règne parmi nous toujours, et l'avenir de la médecine est assuré.

# Atoms and Isotopes

Summary of the address delivered  
by

Prof. F. W. ASTON, Sc. D., F. R. S.  
(Trinity College, Cambridge)

DALTON in his atomic theory postulated that "Atoms of the same element are similar to one another and equal in weight", a simple and definite conception which has been of inestimable value in the development of chemistry. A little later PROUT suggested that the atoms of all elements were made of atoms of a primordial substance which he endeavoured to identify with hydrogen. If DALTON and PROUT were both right the chemical atomic weights should all be whole numbers, hydrogen being unity. Chemical evidence was against this and PROUT's theory was abandoned for the time. We cannot test the truth of DALTON's postulate for the elements generally by chemical methods since these require countless myriads of atoms and therefore only give a mean result. Definite doubt as to its validity was first raised when it was discovered that among the products of radioactive disintegration were elements of identical chemical properties but of different atomic weights. Thus the final product of the Uranium series of disintegrations is lead of atomic weight 206. That of the Thorium series is also lead but of atomic weight 208. To such elements SODDY gave the name of Isotopes since they occupy the same position in the Periodic Table.

---

*Deutsche Übersetzung des obigen Resumés, die an der Versammlung in Luzern zur Verteilung gelangte.*

Die DALTON'sche Atomtheorie fusst auf der Annahme, dass alle Atome desselben Elementes gleichartig und von gleichem Gewicht seien. Diese einfache und klare Auffassung war für die Entwicklung der Chemie von unschätzbarem Wert. Etwas später stellte PROUT die Hypothese auf, dass die Atome aller Elemente aus Atomen einer Ursubstanz, wahrscheinlich Wasserstoff, aufgebaut seien. Nach diesen beiden Hypothesen von DALTON und PROUT müssten die Atomgewichte sämtlicher Elemente (bezogen auf Wasserstoff als Einheit) ganzzahlig sein. Dagegen sprachen aber die experimentellen Befunde, und so wurde die PROUT'sche Hypothese eine Zeit lang aufgegeben.

Die Richtigkeit der DALTON'schen Hypothese für die Elemente kann nicht generell durch chemische Methoden geprüft werden, da diese ja stets mit einer Grosszahl von Atomen arbeiten und daher nur Mittelwerte geben können. Begründete Zweifel an der Gültigkeit der DALTON'schen Hypothese stiegen erst auf, als unter den Produkten des radioaktiven Zerfalls Elemente gefunden wurden von identischen chemischen Eigenschaften, aber verschiedenen Atomgewichten. So ist das Endprodukt des Zerfalles in der Uranreihe Blei vom Atomgewicht 206, in der Thoriumreihe Blei vom Atomgewicht 208. Solche

A more direct method of investigation which is not confined to the products of radioactivity is the comparison of the weights of individual atoms. This can be done by the analysis of positive rays and the early experiments of Sir J. J. THOMSON by his "parabola method" supplied the first direct experimental evidence that the atoms of an element were, even approximately, of the same weight. The results of analysis at first seemed to support DALTON's view but those obtained with Neon suggested that this element might be composed of two kinds of atoms differing in weight by ten per cent. Experimental attempts to separate these further supported the idea that Neon was really a mixture of isotopes but satisfactory proof was only obtained by increasing the accuracy of positive ray analysis.

This has been done by means of the Mass-spectrograph. In this instrument the charged atoms in a beam of positive rays are sorted out according to their weight by means of magnetic and electric fields so that they focus on a photographic plate at different points. In this way a mixture of atoms of different weights will give a series of focussed lines called a mass-spectrum and the relative weights of the atoms can be calculated from the position of their lines to an accuracy of 1 in 1000.

The mass-spectra obtained from Neon showed at once that it is a mixture of atoms of weights 20 and 22. These are present in proportions of about 9 to 1, giving the accepted mean atomic weight 20,20. Chlorine (At. Wt. 35,46) is a mixture of isotopic atoms

---

Elemente nannte SODDY Isotope, da sie dieselbe Stelle im periodischen System einnehmen.

Eine direktere Untersuchungsmethode, die nicht beschränkt ist auf die Produkte des radioaktiven Zerfalls, ist der Vergleich der Gewichte der einzelnen Atome. Dieser kann erfolgen durch die Kanalstrahlenuntersuchung (positive Strahlen), und die Experimente mittels der Parabelzerlegungsmethode von Sir J. J. THOMSON lieferten den ersten experimentellen Beweis dafür, dass die Atome eines Elementes zum mindesten annähernd von gleichem Gewicht seien. Die Resultate der Untersuchungen schienen zuerst die DALTON'sche Theorie zu bestätigen, aber die Untersuchungen beim Neon liessen vermuten, dass dieses Element aus zweierlei Atomen bestehen könnte, deren Gewichte um 10 % voneinander differieren. Versuche zu ihrer Trennung stützten diese Auffassung. Aber einen befriedigenden Beweis lieferte erst die bedeutend verfeinerte Methode der Kanalstrahlenanalyse.

Diese Verfeinerung wurde erreicht durch den Massenspektrographen. Mit diesem Instrument gelingt es, die geladenen Atome in einem Kanalstrahlenbündel mittels magnetischer und elektrischer Felder nach ihren Gewichten zu sortieren, so dass sie auf einer photographischen Platte auf verschiedene Punkte fokussieren. Auf diese Weise gibt eine Mischung von Atomen verschiedener



of weights 35 and 37. About half the elements so far analysed turn out to be mixtures and some are very complex. Thus Krypton has six, Tin at least seven and Xenon possibly nine constituent isotopes. Recently by means of the method of accelerated anode rays the work has been extended to many metals and already more than fifty out of the eightyfour known non-radioactive elements have been analysed.

The most important result of these measurements is that all true weights of atoms can be expressed as whole numbers to a very high degree of accuracy. This generalisation known as the "whole number rule" has removed the last obstacle in the way of a simple unitary theory of matter. We now know that Nature uses the same bricks in the construction of the atoms of all elements, and that these standard bricks are the primordial atoms of positive and negative electricity, protons and electrons. The protons are enormously heavier than the electrons so that the weight of an atom on the ordinary scale is roughly equal to the number of protons it contains, this number is called its mass-number.

According to modern views all the protons and some of the electrons are packed in a central massive nucleus or sun round which circulate the remaining electrons like planets in orbits. All the chemical and spectroscopic properties of an atom depend on the movements of its planetary electrons, and these in their turn depend on the positive electric charge on the nucleus which we now know is MOSELEY's atomic number. In the case of isotopic atoms

---

Gewichte eine Reihe von fokussierten Linien, die man Massenspektren nennt, und die relativen Atomgewichte können bis zu einer Genauigkeit von 1:1000 nach der Lage dieser Linien berechnet werden.

Die Massenspektren des Neons zeigten sofort, dass dieses Element eine Mischung ist von Atomen von den Gewichten 20 und 22. Diese sind vorhanden im Verhältnis 9:1, so dass sie das mittlere und anerkannte Atomgewicht von 20,20 ergeben. Chlor (35,46) ist eine Mischung von isotopen Atomen der Gewichte 35 und 37. Ungefähr die Hälfte der bis jetzt untersuchten Elemente erweisen sich als Mischungen, und zwar zum Teil sehr komplizierter Natur. So besteht Krypton aus 6, Zinn aus mindestens 7 und Xenon vielleicht aus 9 Isotopen. In neuester Zeit sind diese Untersuchungen mittels der Methode der beschleunigten Anodenstrahlen auf viele Metalle ausgedehnt worden. Bereits sind über 50 von den 84 bekannten, nicht-radioaktiven Elementen untersucht.

Als wichtigstes Resultat dieser Messungen ergibt sich, dass alle wahren Atomgewichte mit grosser Genauigkeit als ganze Zahlen ausgedrückt werden können. Diese Verallgemeinerung, bekannt als das Gesetz der ganzen Zahlen, hat das letzte Hindernis für eine unitarische Theorie der Materie beseitigt. Wir wissen jetzt, dass die Natur zum Aufbau der Atome aller Elemente dieselben Bausteine verwendet, und dass diese Normalbausteine auch die Uratome

the net positive charge on their nuclei is the same, giving identical chemical properties, but the total number of protons is different giving different atomic weights.

On this view there can clearly be any number of possible isotopes of the same element but actually the number is limited for reasons which are not yet understood. It is a curious fact that elements of odd atomic number are limited to two isotopes, and in all but the lightest elements these have odd atomic weights. The anomalous positions of such pairs as Argon and Potassium, Nickel and Cobalt in the periodic table receive a simple explanation from the relative proportions of their constituent isotopes.

The whole number rule is not mathematically exact. Owing to the very close association of charges of opposite sign in the nucleus their electromagnetic mass is not truly additive. The change of mass from this cause is called the packing effect and will not be the same for all elements. It is comparatively large in the case of Hydrogen which contains no electrons in its nucleus and therefore has the maximum mass associated with a proton 1,008. The most accurate measurements of mass spectra show that the isotopes of many of the heavier elements have weights less than whole numbers. Study of these divergencies and also of the relative abundance of atomic species in nature leads to the conclusion that the similarity between isotopic atoms is not confined to identity of nuclear charge alone.

For further information see F. W. ASTON, *Isotopes*. Arnold, London. 2<sup>nd</sup> ed. 1924.

der positiven und negativen Elektrizität sind, der Protonen (+) und Elektronen (—). Die Protonen sind enorm viel schwerer als die Elektronen, so dass das Atomgewicht annähernd gleich ist der Zahl der Protonen, welche das Atom enthält. Diese Zahl nennt man Massenzahl.

Nach moderner Auffassung sind alle Protonen und auch einzelne Elektronen eines Atoms zusammengeballt zu einem zentralen Massenkern, zu einer „Sonne“, um welche die übrigen Elektronen wie Planeten in ihren Bahnen kreisen. Alle chemischen und spektrographischen Eigenschaften eines Atoms hängen von den Bewegungen dieser planetischen Elektronen ab, und diese Bewegungen ihrerseits sind bedingt durch die positive elektrische Ladung des Kerns, welche, wie wir jetzt wissen, durch die MOSELEY'sche Atomzahl ausgedrückt wird. Bei isotopen Atomen ist die freie Kernladung die gleiche, wodurch gleiche chemische Eigenschaften bedingt werden, aber die Totalzahl der Protonen ist verschieden, wodurch verschiedene Atomgewichte zustande kommen.

Demnach könnten offenbar beliebig viele Isotope eines Elementes existieren. In Wirklichkeit aber ist ihre Zahl aus bisher noch unbekannten Ursachen eine beschränkte. Es ist eine merkwürdige Tatsache, dass bei Elementen mit ungerader Atomzahl höchstens 2 Isotope existieren, und dass bei allen ausser den leichtesten Elementen diese Isotopen ungeradzahlige Atomgewichte besitzen.

*Table of Elements and Isotopes*

up to Oct. 1<sup>st</sup> 1924

Element	Atomic Number	Atomic Weight	Minimum number of Isotopes	Mass-numbers of Isotopes in order of intensity	Element	Atomic Number	Atomic Weight	Minimum number of Isotopes	Mass-numbers of Isotopes in order of intensity
H	1	1,008	1	1	Ga	31	69,72	2	69, 71
He	2	4,00	1	4	Ge	32	72,38	3	74, 72, 70
Li	3	6,94	2	7, 6	As	33	74,96	1	75
Be	4	9,02	1	9	Se	34	79,20	6	80, 78, 76, 82, 77, 74
B	5	10,82	2	11, 10	Br	35	79,92	2	79, 81
C	6	12,00	1	12	Kr	36	82,92	6	84, 86, 82, 83, 80, 78
N	7	14,01	1	14	Rb	37	85,44	2	85, 87
O	8	16,00	1	16	Sr	38	87,63	2	88, 86
F	9	19,00	1	19	Y	39	88,90	1	89
Ne	10	20,20	2	20, 22	Zn	40	(91)	(4)	90, 94, 92, (96)
Na	11	23,00	1	23	Ag	47	107,88	2	107, 109
Mg	12	24,32	3	24, 25, 26	In	49	114,80	1	115
Al	13	26,98	1	27	Sn	50	118,70	7 (8)	120, 118, 166, 124, 119, 117, 122, (121)
Si	14	28,06	3	28, 29, 30	Sb	51	121,77	2	121, 123
P	15	31,02	1	31	I	53	126,92	1	127
S	16	32,06	1	32	X	54	130,20	7 (9)	129, 132, 131, 134, 136, 128, 130, (126), (124)
Cl	17	35,46	2	35, 37	Cs	55	132,81	1	133
A	18	39,88	2	40, 36	Ba	56	137,37	(2)	138, (136)
K	19	39,10	2	39, 41	La	57	138,91	1	139
Ca	20	40,07	2	40, 44	Ce	58	140,25	2	140, 142
Sc	21	45,10	1	45	Pr	59	140,92	1	141
Ti	22	48,10	1	48	Nd	60	144,27	(4)	142, 144, 146, (145)
V	23	51,00	1	51	Hg	80	200,60	(6)	(197), 202, 204, 198, 199, 200
Cr	24	52,00	1	52					
Mn	25	54,93	1	55					
Fe	26	55,84	2	56, 54					
Co	27	58,97	1	59					
Ni	28	58,68	2	58, 60					
Cu	29	63,57	2	63, 65					
Zn	30	65,38	4	64, 66, 68, 70					

(Numbers in brackets are provisional only)

(Die eingeklammerten Zahlen sind provisorisch)

Die Ausnahmestellungen von Elementenpaaren wie Argon und Kalium, Nickel und Kobalt im periodischen System lassen sich leicht erklären durch das Mengenverhältnis der sie zusammensetzenden Isotopen.

Das Gesetz der ganzen Zahlen ist nicht mathematisch genau. Infolge der sehr engen Anhäufung von Ladungen mit verschiedenem Vorzeichen im Kern ist ihre elektromagnetische Masse nicht genau additiv. Die Änderung der Masse aus dieser Ursache wird Packungseffekt genannt; er ist nicht bei allen Elementen gleich gross. Er ist verhältnismässig gross beim Wasserstoffatom, welches keine Elektronen im Kern enthält und dem daher die maximale Masse für das Proton, 1,008, zukommt. Die genauesten Messungen von Massenspektren zeigen, dass die Isotopen vieler schwererer Elemente Atomgewichte aufweisen, die kleiner als ganze Zahlen sind. Das Studium dieser Abweichungen und ebenso der relativen Mannigfaltigkeit der in der Natur vorkommenden Atomarten führt zum Schluss, dass die Ähnlichkeit zwischen isotopen Atomen nicht auf die Gleichheit der Kernladung allein beschränkt ist.

(Übersetzt von Dr. F. Schwyzer, Kastanienbaum.)

# Über den Äther

Von

Prof. Dr. ALBERT EINSTEIN (Berlin)

Wenn hier vom Äther die Rede ist, so soll es sich natürlich nicht um den körperlichen Äther der mechanischen Undulationstheorie handeln, welcher den Gesetzen der NEWTONSchen Mechanik unterliegt, und dessen einzelnen Punkten eine Geschwindigkeit zugeteilt wird. Dies theoretische Gebilde hat nach meiner Überzeugung seit der Aufstellung der speziellen Relativitätstheorie seine Rolle endgültig zu Ende gespielt. Es handelt sich vielmehr allgemeiner um diejenigen als physikalisch-real gedachten Dinge, welche neben der aus elektrischen Elementarteilchen bestehenden ponderablen Materie im Kausal-Nexus der Physik eine Rolle spielen. Man könnte statt von „Äther“ also ebensogut von „physikalischen Qualitäten des Raumes“ sprechen. Nun könnte allerdings die Meinung vertreten werden, dass unter diesen Begriff alle Gegenstände der Physik fallen, weil nach der konsequenten Feldtheorie auch die ponderable Materie, bzw. die sie konstituierenden Elementarteilchen als „Felder“ besonderer Art, bzw. als besondere „Raum-Zustände“ aufzufassen seien. Indessen wird man zugeben müssen, dass beim heutigen Stande der Physik eine solche Auffassung verfrüht wäre, denn bisher sind alle auf dies Ziel gerichteten Bemühungen der theoretischen Physiker gescheitert. So sind wir beim heutigen Stand der Dinge faktisch gezwungen, zwischen „Materie“ und „Feldern“ zu unterscheiden, wenn wir auch hoffen dürfen, dass spätere Generationen diese dualistische Auffassung überwinden und durch eine einheitliche ersetzen werden, wie es die Feldtheorie in unseren Tagen vergeblich versucht hat.

Man glaubt gewöhnlich, dass die Physik NEWTONS keinen Äther gekannt habe, sondern dass erst die Undulationstheorie des Lichtes

ein allgegenwärtiges, die physikalischen Phänomene mitbedingendes Medium eingeführt habe. Dies ist jedoch nicht der Fall. Die NEWTONsche Mechanik hat ihren „Äther“ in dem angedeuteten Sinne, der allerdings als „absoluter Raum“ bezeichnet wird. Um dies klar zu erkennen und gleichzeitig den Äther-Begriff etwas schärfer herauszuarbeiten, müssen wir ein wenig ausholen.

Wir betrachten zuerst einen Zweig der Physik, der ohne Äther auskommt, nämlich die Geometrie EUKLIDS, aufgefasst als die Lehre von den möglichen Arten, praktisch starre Körper miteinander in Berührung zu bringen. (Von den Lichtstrahlen, die ebenfalls bei der Entstehung der Begriffe und Gesetze der Geometrie beteiligt sein mögen, sehen wir hier ab.) Die Lagerungs-Gesetze fester Körper bei Ausschluss von relativen Bewegungen, Temperaturen und Deformationseinflüssen, wie sie idealisiert in der Geometrie EUKLIDS niedergelegt sind, kommen mit dem Begriff des starren Körpers aus; irgend welche Milieu-Einflüsse, die als unabhängig von den Körpern vorhanden und als auf die Körper wirkend und ihre Lagerungs-Gesetze beeinflussend gedacht würden, kennt die euklidische Geometrie nicht. Dasselbe gilt von den nicht-euklidischen Geometrien konstanter Krümmung, wenn diese als (denkbare) Naturgesetze der Körper-Lagerung aufgefasst werden. Anders wäre es, wenn man eine Geometrie variabler Krümmung anzunehmen sich genötigt sähe; dies würde bedeuten, dass die möglichen Berührungslagerungen von praktisch starren Körpern in verschiedenen Fällen verschieden, von Milieu-Einflüssen bedingt wäre. Hier müsste man im Sinne unserer Betrachtung sagen, eine solche Theorie bediene sich einer Äther-Hypothese. Ihr Äther wäre etwas physikalisch Reales, so gut wie die Materie. Wären die Lagerungsgesetze durch physikalische Faktoren, wie Anhäufung und Bewegungszustand von Körpern in der Umgebung usw., nicht beeinflussbar, sondern unverrückbar gegeben, so würde man diesen Äther als „absolut“ (d. h. unabhängig von Einflüssen irgend welcher anderer Gegenstände) bezeichnen.

Ebensowenig wie die euklidische (physikalisch interpretierte) Geometrie einen Äther braucht, ebensowenig bedarf die Kinematik oder Phoronomie der klassischen Mechanik eines solchen; ihre Sätze haben einen klaren physikalischen Sinn, wenn nur angenommen wird, dass die in der speziellen Relativitätstheorie angenommenen Einflüsse der Bewegung auf Maßstäbe und Uhren nicht existieren.

Anders in der Dynamik GALILEIS und NEWTONS. Das Bewegungsgesetz „Masse  $\times$  Beschleunigung = Kraft“ enthält nicht nur eine Aussage über materielle Systeme, auch dann nicht, wenn, wie bei NEWTONS astronomischem Fundamentalgesetz die Kraft durch Abstände, also durch Grössen ausgedrückt ist, deren Realdefinition auf Messungen mit starren Messkörpern gegründet werden kann. Denn die Realdefinition der Beschleunigung kann nicht restlos auf Beobachtungen an starren Körpern und Uhren gegründet werden. Sie kann nicht zurückgeführt werden auf die messbaren Abstände zwischen den das mechanische System konstituierenden Punkten. Man bedarf zu ihrer Definition noch eines Koordinationssystems, bzw. Bezugskörpers von geeignetem Bewegungszustand. Wird der Bewegungszustand des Koordinatensystems anders gewählt, so gelten inbezug auf dasselbe die NEWTONSchen Gleichungen nicht. In jenen Gleichungen tritt gleichsam das Milieu, in welchem die Körper bewegt sind, implicite als realer Faktor im Bewegungsgesetze auf neben den realen Körpern und ihren durch Messkörper definierbaren Abständen. In NEWTONS Bewegungslehre besitzt der „Raum“ physikalische Realität — im Gegensatz zu Geometrie und Kinematik. Wir wollen dies physikalisch Reale, welches neben den beobachtbaren ponderablen Körpern in das NEWTONSche Bewegungsgesetz eingeht, als „Äther der Mechanik“ bezeichnen. Das Auftreten von Zentrifugalkwirkungen bei einem (rotierenden) Körper, dessen materielle Punkte ihre Abstände gegeneinander nicht ändern, zeigt, dass dieser Äther nicht nur als ein Phantasiegebilde der NEWTONSchen Theorie aufzufassen ist, sondern dass ihm etwas Reales in der Natur entspricht.

Wir sehen, dass für NEWTON der „Raum“ etwas physikalisch Reales war, trotz der merkwürdig indirekten Art, in welcher dieses Reale zu unserer Kenntnis gelangt. ERNST MACH, der als Erster nach NEWTON das Fundament der Mechanik einer tiefen Analyse unterzog, hat dies klar erkannt. Er suchte der Hypothese des „Äthers der Mechanik“ dadurch zu entgehen, dass er die Trägheit auf unvermittelte Wechselwirkung zwischen der ins Auge gefassten Masse und allen übrigen Massen der Welt zurückzuführen suchte. Diese Auffassung ist zwar logisch möglich, kommt aber als Fernwirkungstheorie für uns heute nicht mehr ernsthaft in Betracht. Der mechanische Äther, von NEWTON als „absoluter Raum“ bezeichnet, muss uns also als physikalische Realität gelten. Natürlich darf aber



der Ausdruck „Äther“ nicht dazu verleiten, dass man sich wie die Physik des 19. Jahrhunderts etwas der ponderablen Materie Analoges darunter denke.

Wenn NEWTON den Raum der Physik als „absolut“ bezeichnet, so denkt er noch an eine andere Eigenschaft dessen, was wir hier „Äther“ nennen. Jedes physikalische Ding beeinflusst andere und wird umgekehrt im allgemeinen von anderen beeinflusst. Letzteres trifft aber für den Äther der NEWTONSchen Mechanik nicht zu. Die trägheitspendende Eigenschaft des letztern ist nämlich gemäss der klassischen Mechanik durch nichts beeinflussbar, weder durch die Konfiguration der Materie, noch durch sonst etwas; insofern kann man ihn als „absolut“ bezeichnen.

Dass für die Bevorzugung der Inertialsysteme gegenüber den Nicht-Inertialsystemen ein reales Ding als Ursache vorausgesetzt werden müsse, wurde den Physikern erst in den letzten Jahren deutlich. Historisch ist die Äther-Hypothese in ihrer heutigen Gestalt aus der mechanischen Äther-Hypothese der Optik durch Sublimierung hervorgegangen. Nach langen, unfruchtbaren Bemühungen kam man zu der Überzeugung, dass das Licht nicht als Bewegung eines trägen, elastischen Mediums aufzufassen sei, dass die elektromagnetischen Felder der MAXWELLSchen Theorie überhaupt nicht mechanisch gedeutet werden könnten. Die elektromagnetischen Felder wurden so unter dem Druck dieser Misserfolge allmählich als letzte, irreduzible, physikalische Realitäten, als nicht mehr weiter erklärbare Zustände des Äthers betrachtet. Was dem Äther von der mechanischen Theorie zunächst noch blieb, das war sein bestimmter Bewegungszustand; er verkörperte gewissermassen eine „absolute Ruhe“. Waren in der NEWTONSchen Mechanik wenigstens alle Inertialsysteme gleichberechtigt, so schien der MAXWELL-LORENTZschen Theorie der Bewegungszustand des berechtigten Koordinatensystems (Ruhe gegen den Äther) völlig determiniert zu sein. Man nahm stillschweigend an, dass dies bevorzugte System gleichzeitig ein Inertialsystem sei, d. h. dass relativ zum elektromagnetischen Äther das Trägheitsprinzip gelte.

Noch in einer zweiten Weise verschob sich unter dem Einfluss der MAXWELL-LORENTZschen Theorie die grundsätzliche Auffassung der Physiker. Nachdem die elektromagnetischen Felder als fundamentale, irreduzible Wesenheiten aufgefasst worden waren,

schiene sie berufen zu sein, der ponderabeln trägen Masse auch in der Mechanik ihre grundlegende Bedeutung zu rauben. Es wurde aus den MAXWELLSchen Gleichungen geschlossen, dass ein bewegter elektrisch geladener Körper von einem Magnetfelde umgeben sei, dessen Energie in erster Näherung quadratisch von der Geschwindigkeit abhängig ist. Was lag näher, als alle kinetische Energie als elektromagnetische Energie aufzufassen? Man konnte so hoffen, die Mechanik auf die Elektromagnetik zurückzuführen, nachdem zuvor die Zurückführung der elektromagnetischen Vorgänge auf die mechanischen misslungen war. Dies schien umso hoffnungsvoller, als es immer wahrscheinlicher wurde, dass alle ponderable Materie aus elektrischen Elementarteilchen aufgebaut sei. Indessen konnte man zweier Schwierigkeiten nicht Herr werden. Erstens nämlich konnten die MAXWELL-LORENTZschen Gleichungen nicht verständlich machen, wieso die ein elektrisches Elementarteilchen konstituierende elektrische Ladung trotz der elektrostatischen Abstossungskräfte im Gleichgewicht existieren kann. Zweitens vermochte die elektromagnetische Theorie die Gravitation nicht einigermaßen natürlich und befriedigend zu erklären. Trotzdem waren die Erfolge, welche die elektromagnetische Theorie der Physik brachte, so bedeutende, dass sie als vollkommen gesicherter Besitz der Physik, ja als deren am besten fundierte Errungenschaft betrachtet wurde.

Die MAXWELL-LORENTZsche Theorie beeinflusste endlich dadurch unsere Einstellung zu den Fragen des theoretischen Fundamentes, dass sie zu der Aufstellung der speziellen Relativitätstheorie führte. Man erkannte, dass die elektromagnetischen Gleichungen in Wahrheit gar keinen bestimmten Bewegungszustand auszeichnen, sondern dass nach diesen Gleichungen ebenso wie nach der klassischen Mechanik eine unendliche Mannigfaltigkeit von gegeneinander gleichförmig bewegten Koordinatensystemen gleich berechtigt seien, wenn man nur passende Transformationsformeln für die räumlichen Koordinaten und die Zeit anwendet. Es ist wohlbekannt, dass diese Erkenntnis eine tiefe Modifikation der Kinematik und Dynamik im Gefolge hatte. Dem Äther der Elektrodynamik war nun kein bestimmter Bewegungszustand mehr zuzuschreiben. Er bewirkte nun — wie der Äther der klassischen Mechanik — nicht die Bevorzugung eines bestimmten Bewegungs-Zustandes, sondern, nur die Bevorzugung eines bestimmten Beschleunigungs-Zustandes. Dadurch,

dass in einem absoluten Sinne nicht mehr von gleichzeitigen Zuständen an verschiedenen Stellen des Äthers gesprochen werden konnte, wurde der Äther gewissermassen vierdimensional, denn es gab keine objektive Ordnung seiner Zustände nach der Zeit allein. Auch nach der speziellen Relativitätstheorie war der Äther absolut, denn sein Einfluss auf Trägheit und Lichtausbreitung war als unabhängig gedacht von physikalischen Einflüssen jeder Art. Während in der klassischen Physik die Körper-Geometrie als unabhängig vom Bewegungszustande vorausgesetzt wird, sind gemäss der speziellen Relativitätstheorie die Gesetze der euklidischen Geometrie für die Lagerung von relativ zu einander ruhenden Körpern nur dann massgebend, wenn diese Körper relativ zu einem Inertialsystem in Ruhe sind;<sup>1</sup> dies kann leicht aus der sogenannten LORENTZ-Kontraktion geschlossen werden. Also wird die Körpergeometrie wie die Dynamik vom Äther mitbedingt.

Die allgemeine Relativitätstheorie beseitigt einen Übelstand der klassischen Dynamik: nach letzterer erscheinen Trägheit und Schwere als ganz verschiedene, voneinander unabhängige Erscheinungen, trotzdem sie beide durch dieselbe Körperkonstante, die Masse, bedingt werden. Die Relativitätstheorie überwindet diesen Mangel, indem sie das dynamische Verhalten des elektrisch neutralen Massenpunktes durch das Gesetz der geodätischen Linie festlegt, in welchem die Trägheits- und Schwerewirkungen nicht mehr auseinandergehalten sind. Dabei legt sie dem Äther von Punkt zu Punkt variable, die Metrik und das dynamische Verhalten materieller Punkte bestimmende Eigenschaften bei, welche ihrerseits durch physikalische Faktoren, nämlich durch die Verteilung von Masse bzw. Energie bestimmt sind. Der Äther der allgemeinen Relativitätstheorie unterscheidet sich also von demjenigen der klassischen Mechanik bzw. der speziellen Relativitätstheorie dadurch, dass er nicht „absolut“, sondern in seinen örtlich variablen Eigenschaften durch die ponderable Materie bestimmt ist. Diese Bestimmung ist dann eine vollständige, wenn die Welt räumlich endlich und in sich geschlossen ist. Dass es in der allgemeinen Relativitätstheorie keine bevorzugten, mit der Metrik eindeutig verknüpften raumzeitlichen Koordinaten gibt, ist mehr für die

---

<sup>1</sup> Für Körper, welche zwar relativ zu einander in Ruhe sind, aber in ihrer Gesamtheit gegen ein Inertialsystem rotieren, gilt beispielsweise (gemäss der speziellen Relativitätstheorie) die euklidische Geometrie nicht.

mathematische Form dieser Theorie als für ihren physikalischen Gehalt charakteristisch.

Auch mit der Anwendung des formalen Apparates der allgemeinen Relativitätstheorie gelang es nicht, alle Massenträgheit auf elektromagnetische Felder, überhaupt auf Felder, zurückzuführen. Auch sind wir bis jetzt nach meiner Ansicht über eine äusserliche Einordnung der elektromagnetischen Kräfte in das Schema der allgemeinen Relativitätstheorie nicht hinausgekommen. Der die Gravitations- und Trägheitserscheinungen mitbestimmende metrische Tensor einerseits und der Tensor des elektromagnetischen Feldes andererseits, erscheinen nach wie vor als wesensverschiedene Ausdrücke des Ätherzustandes, deren logische Unabhängigkeit man wohl weit eher auf das Konto der Unvollkommenheit unseres theoretischen Gebäudes als auf dasjenige einer komplexen Struktur der Wirklichkeit zu setzen geneigt sein wird.

Zwar haben WEYL und EDDINGTON durch Verallgemeinerung der RIEMANNschen Geometrie ein mathematisches System gefunden, welches beide Feldarten als unter einem einheitlichen Gesichtspunkte vereinigt erscheinen lässt. Aber die einfachsten Feldgesetze, welche jene Theorie liefert, scheinen mir nicht zu Fortschritten der physikalischen Erkenntnis zu führen. Überhaupt scheint es heute, dass wir von einer Kenntnis der elektromagnetischen Elementargesetze viel weiter entfernt sind, als es am Anfange dieses Jahrhunderts der Fall zu sein schien. Zur Begründung dieser Meinung möchte ich hier noch kurz auf das *Problem des magnetischen Erd- und Sonnenfeldes* sowie auf das *Problem der Lichtquanten* hinweisen, welche Probleme gewissermassen die Grobstruktur und die Feinstruktur des elektromagnetischen Feldes betreffen.

Erde und Sonne besitzen Magnetfelder, deren Orientierung und Sinn mit der Drehaxe dieser Himmelskörper in annäherndem Zusammenhang stehen. Nach der MAXWELLSchen Theorie könnten jene Felder von elektrischen Strömen herrühren, welche entgegengesetzt der Drehbewegung um die Drehachse der Himmelskörper herum fließen. Auch die Sonnenflecken, welche mit guten Gründen als Wirbel aufgefasst werden, besitzen analoge, sehr kräftige Magnetfelder. Es ist aber kaum denkbar, dass in allen diesen Fällen elektrische Leitungs-, bzw. Konvektionsströme von hinreichender Stärke wirklich vorhanden seien. Es sieht vielmehr so aus, wie wenn zyklische Bewegungen neutraler Massen Magnetfelder erzeugten. Weder die

MAXWELLSche Theorie in ihrer ursprünglichen Fassung noch die im Sinne der allgemeinen Relativitätstheorie erweiterte MAXWELLSche Theorie lassen eine derartige Felderzeugung voraus sehen. Hier scheint uns die Natur auf einen fundamentalen, bis jetzt theoretisch noch nicht erfassten Zusammenhang hinzuweisen.<sup>1</sup>

Handelte es sich soeben um einen Fall, welchem die Feldtheorie in ihrer gegenwärtigen Gestalt nicht gewachsen zu sein scheint, so drohen die in der *Quantentheorie* zusammengefassten Tatsachen und Gedanken das Gebäude der Feldtheorie überhaupt zu sprengen. Es mehren sich nämlich die Argumente dafür, dass die Lichtquanten als physikalische Realitäten aufzufassen seien, dass das elektromagnetische Feld nicht als letzte Realität angesehen werden könne, auf welche die anderen physikalischen Dinge zurückgeführt werden könnten. Nachdem die Theorie der PLANCKschen Formel schon gezeigt hatte, dass die Übertragung von Energie und Impuls durch die Strahlung so erfolgt, wie wenn letztere aus mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  bewegten Atomen von der Energie  $h\nu$  und von dem Impuls  $\frac{h\nu}{c}$  bestünde, hat COMPTON durch Versuche über die Zerstreuung von Röntgenstrahlen an Materie nachgewiesen, dass Zerstreuungs-Akte auftreten, bei welchen Lichtquanten auf Elektronen stossen und diesen einen Teil ihrer Energie übertragen, wobei die Lichtquanten ihre Energie und Richtung ändern. Tatsache ist wenigstens, dass die Röntgenstrahlen solche (von DEBYE und COMPTON vorhergesehene) Frequenzänderungen bei ihrer Zerstreuung erfahren, wie es die Quantenhypothese erfordert.

Vor kurzem ist ferner eine Arbeit des Inders BOSE über die Ableitung der PLANCKschen Formel erschienen, die aus fol-

<sup>1</sup> Es liegt nach elektrodynamischer Analogie nahe, eine Beziehung von der Form  $d\mathfrak{h} = -C dm \frac{[v, r]}{r^3}$  anzusetzen, wobei  $dm$  eine mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegte Masse  $r$ , bzw.  $r = |r|$  die Entfernung des Aufpunktes von dieser Masse bedeutet. (Die Formel kann allerdings höchstens für zyklische Bewegungen und als erste Näherung in Betracht kommen.) Das Verhältnis zwischen Sonnenfeld und Erdfeld kommt so der Grössenordnung nach richtig heraus. Die Konstante  $C$  ist von der Dimension  $\frac{\sqrt{\text{Gravitations-Konstante}}}{\text{Lichtgeschwindigkeit}}$ . Hieraus kann man vermutungsweise die Grössenordnung der Konstante  $C$  ermitteln. Setzt man diesen Zahlenwert in obige Formel ein, so liefert sie — auf die rotierende Erde angewendet — die richtige Grössenordnung für das magnetische Feld der Erde. Diese Zusammenhänge verdienen Beachtung, könnten aber auf Zufall beruhen.

gendem Grunde für unsere theoretische Auffassung von besonderer Bedeutung ist: Bisher wurde bei allen vollständigen Ableitungen der PLANCKschen Formel irgendwie von der Hypothese der Undulations-Struktur der Strahlung Gebrauch gemacht. So wurde z. B. der Faktor  $\frac{8 \pi h \nu^3}{c^3}$  dieser Formel bei der bekannten EHRENFEST-DEBYESchen Ableitung dadurch gewonnen, dass die Zahl der Eigenschwingungen des Hohlraumes gezählt wurden, welche zum Frequenzbereiche  $d\nu$  gehören. BOSE ersetzt diese auf die Vorstellungen der Undulationstheorie gegründete Abzählung durch eine gas-theoretische Rechnung, die er auf ein in dem Hohlraum befindliches, nach Art eines Moleküls gedachtes Lichtquant bezieht. Da drängt sich die Frage auf, ob nicht doch einmal die Beugungs- und Interferenz-Erscheinungen derart an die Quantentheorie angeschlossen werden könnten, dass die feldartigen Begriffe der Theorie nur Ausdrücke der Wechselwirkungen zwischen Quanten darstellen, wobei dem Felde keine selbständige physikalische Realität mehr zugeschrieben würde.

Die wichtige Tatsache, dass nach der BOHRSchen Theorie die Frequenz der emittierten Strahlung nicht bestimmt wird durch elektrische Massen, die periodische Vorgänge von derselben Frequenz durchlaufen, kann uns nur bestärken in diesem Zweifel an der selbständigen Realität des Undulationsfeldes.

Aber selbst wenn diese Möglichkeiten zu wirklichen Theorien heranreifen, werden wir des Äthers, d. h. des mit physikalischen Eigenschaften ausgestatteten Kontinuums, in der theoretischen Physik nicht entbehren können; denn die allgemeine Relativitätstheorie, an deren grundsätzlichen Gesichtspunkten die Physiker wohl stets festhalten werden, schliesst eine unvermittelte Fernwirkung aus; jede Nahewirkungs-Theorie aber setzt kontinuierliche Felder voraus, also auch die Existenz eines „Äthers“.