

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:	88 (1905)
Rubrik:	Vorträge gehalten in den zwei Haupt-Versammlungen

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: 10.01.2026

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

Vorträge

gehalten in den

zwei Haupt - Versammlungen



Leere Seite
Blank page
Page vide

La fixation de l'azote et l'électrochimie

Par M. le Prof. Ph. A. GUYE.

Messieurs,

Sous la forme de sel ammoniacal ou de nitrate de soude, l'azote représente un des produits vitaux de la civilisation; ses emplois sont si considérables qu'il constitue un des facteurs économiques les plus importants de notre époque.

L'ammoniaque joue un très grand rôle dans l'industrie chimique en général, et tout particulièrement comme matière auxiliaire dans la préparation du carbonate de soude, un des produits chimiques les plus employés dans l'industrie et dans l'économie domestique. De son côté, le nitrate de soude, provenant du Chili, sert à la fabrication de l'acide nitrique, dont l'importance n'est pas moins grande dans des branches nombreuses de l'industrie chimique; il suffit de rappeler à ce propos le rôle de l'acide nitrique dans la fabrication des explosifs, auxquels notre civilisation est redevable en grande partie des remarquables travaux d'art (chemins de fer, canaux, mines, etc.) qui ont modifié du tout au tout la vie économique, depuis la seconde moitié du dix-neuvième siècle.

Et pourtant, ces emplois chimiques des corps azotés sont encore inférieurs à ceux que représente la consommation des engrains, à base de sels ammoniacaux ou de nitrate, auxquels on doit cette culture intensive, caractéristique de notre époque, qui permet aux peuples civilisés

de supporter une densité de population presque sans pareille dans l'histoire. L'importation annuelle en Europe des nitrates du Chili est, en nombre rond, d'un million de tonnes ; les quatre cinquièmes environ sont consommés par l'agriculture. La production annuelle de sels ammoniacaux en Europe est de 350,000 tonnes : la plus grande partie est aussi absorbée par l'agriculture. Les transports par voie ferrée résultants de cette énorme consommation de produits azotés sur toute la surface du sol cultivable en Europe, nécessitent, à eux-seuls, un matériel roulant de plusieurs milliers de wagons en service continual dans ce but.

Ces quelques données précisent l'importance des produits azotés dans la vie civilisée et permettent de juger combien les conditions en seraient modifiées s'ils venaient à manquer.

Or, nos ressources en produits azotés sont limitées, et l'époque n'est pas très éloignée où celles-ci seront insuffisantes si des modifications importantes ne sont pas apportées à leurs conditions de production.

En effet, en ce qui concerne les nitrates d'abord, les gisements du Chili seront épuisés, d'après l'avis des hommes compétents, dans une vingtaine d'années environ ; aucun des nouveaux gisements trouvés soit au Chili même, soit ailleurs (car ils sont soigneusement recherchés), ne présente l'importance ou les facilités d'exploitation qui caractérisent ceux sur lesquels le monde civilisé a vécu depuis un demi-siècle.

Si cette source d'azote venait à manquer, les sels ammoniacaux ne pourraient y suppléer que d'une façon très incomplète. Leur production en Europe, avons-nous vu, s'élève à 350,000 tonnes par an, provenant presque exclusivement du traitement des eaux ammoniacales de l'industrie du gaz d'éclairage et du coke ; il est vrai que toutes

les usines à gaz ne pratiquent pas ce traitement. Mais, comme leur production ne peut être augmentée au delà des besoins, il en résulte que la fabrication de sels ammoniacaux, sous-produits de ces deux industries, restera forcément limitée; aussi estime-t-on que l'on pourrait tout au plus doubler la quantité de sels ammoniacaux actuellement livrée à la consommation. Cela ne ferait, pour l'Europe, que 700,000 tonnes environ, tandis que les besoins actuels de nitrate et de sels ammoniacaux s'élèvent ensemble à 1,350,000 tonnes environ. Le déficit brut, en cas d'épuisement des gisements du Chili serait donc de 650,000 tonnes, en supposant que d'ici-là la consommation ne se soit pas accrue. Il serait plus considérable encore si l'on tient compte du fait que l'azote nitrique paraît avoir certains avantages, au point de vue agricole, sur l'azote ammoniacal. On n'est pas absolument d'accord sur le rapport d'efficacité de ces deux produits; il paraît être assez voisin des nombres 10 : 8 ou 10 : 9. Ce qu'il y a de certain, c'est que le kilo d'azote vaut environ fr. 1.50 sous forme de nitrate et fr. 1.10 sous forme ammoniaque. Enfin, au point de vue des industries chimiques, l'azote ammoniacal ne peut remplacer l'azote nitrique.

Un des problèmes économiques les plus importants de notre temps consistera donc à parer aux conséquences de l'épuisement des gisements de nitrates du Chili et à créer des ressources d'azote équivalentes.

L'électrochimie paraît en voie d'apporter des solutions rationnelles à ces questions. Je vous demande la permission de vous exposer ceux des résultats actuels qui sont le plus près d'entrer dans la pratique. Vu le temps fort court dont je dispose, vous me dispenserez de faire l'historique complet des travaux antérieurs pour ne considérer que ceux dont la portée est la plus immédiate.

Comme bien l'on pense, c'est à l'azote atmosphérique que l'on devait s'adresser pour chercher à remplacer les nitrates et les sels ammoniacaux. C'est une source pour ainsi dire inépuisable : la quantité d'azote contenue dans 1 million de tonnes de nitrate du Chili, consommation annuelle de l'Europe, est sensiblement égale à celle que renferme l'atmosphère recouvrant deux hectares de la surface terrestre. La matière première abonde ; le gaspillage n'est donc pas à craindre, mais les difficultés que présente la fixation chimique de l'azote sont telles que jusqu'à présent il a été beaucoup plus économique de recourir aux gisements du Chili et de supporter les frais énormes et de toute nature que représente ce mode de faire : extraction, transports, droits de sortie au Chili, fret, droits d'entrée en Europe, transports européens, intermédiaires innombrables, etc., etc.

Deux méthodes principales paraissent cependant aujourd'hui devoir donner sous peu des résultats industriels pratiques pour la fixation de l'azote atmosphérique ; toutes deux sont liées aux progrès de l'électrochimie de ces dix dernières années. L'une atteint son but par la préparation de la chaux azotée (Kalkstickstoff), produit résultant de l'union des éléments du carbure de calcium avec l'azote atmosphérique, l'autre est basée sur la combinaison de l'azote et de l'oxygène atmosphériques à l'aide de l'arc électrique.

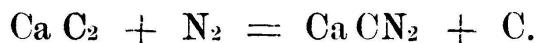
La Chaux azotée.

M. le Dr. Frank, de Charlottenburg, avait observé que le carbure de baryum BaC_2 chauffé à haute température fixe presque quantitativement l'azote



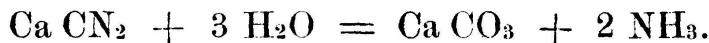
pour donner du cyanure de baryum.

Cherchant à appliquer cette réaction au carbure de calcium, avec l'idée de perfectionner l'industrie des cyanures, il constata, non sans surprise, que la quantité de cyanogène formée était bien inférieure à celle prévue par la théorie. Ayant étudié de plus près cette réaction, il reconnut que celle-ci se passait d'une façon différente, et que le phénomène principal, lorsqu'on travaille avec le carbure de calcium, était exprimé par l'équation



Le carbure abandonne donc la moitié de son carbone et se transforme, non plus en cyanure, mais en cyanamide calcique ou chaux azotée.

Ce corps, traité par l'eau dans des conditions appropriées, donne lieu à un dégagement d'ammoniaque :



Répandu dans le sol, il se décompose, plus ou moins lentement, d'une façon analogue, et l'on conçoit dès lors facilement, qu'employé comme engrais azoté, il ait déjà donné des résultats fort encourageants, comparables, dans une certaine mesure, à ceux fournis par les sels ammoniacaux.

Industriellement, la chaux azotée peut être préparée en dirigeant du gaz azote sur du carbure de calcium pulvérisé et porté à une température d'environ 800° ; la réaction se poursuit ensuite sans grande dépense de combustible, car elle est fortement exothermique; c'est la méthode pratiquée jusqu'à présent. Mais on a aussi proposé de préparer la chaux azotée en mettant en présence de la chaux, du carbone et de l'azote, à la température très élevée du four électrique. Quelle que soit la façon d'opérer, l'azote atmosphérique doit être préalablement séparé de l'oxygène qui l'accompagne.

Théoriquement, le mélange de chaux azotée et de charbon ainsi obtenu devrait contenir environ 30 % d'azote. En fait, soit en raison des impuretés du carbure de calcium, soit à cause des altérations que ce produit subit en cours d'opération, la teneur en azote de la chaux azotée brute est inférieure à ce nombre. D'après M. Frank, elle oscille entre 14 et 22 %; les produits récemment fabriqués contiennent environ 20 % de ce précieux élément.

Quoiqu'il en soit, sans entrer dans des détails, dont l'industrie, on le conçoit facilement, désire garder le secret, il est hors de doute que la production de la chaux azotée se présente comme une opération étroitement liée, en principe, à la fabrication électrochimique du carbure de calcium au four électrique; les quantités d'énergie à mettre en œuvre doivent être sensiblement les mêmes; et l'on voit d'emblée que la chaux azotée à 20 % d'azote, par exemple, obtenue à partir de carbure de calcium revenant à 140 francs la tonne (prix de revient réalisé actuellement dans les usines électrochimiques très favorablement installées) fait ressortir le kilo d'azote fixé à fr. 0.70 environ, soit à peu près à la parité de l'azote ammoniacal si l'on tient compte de tous les frais de fabrication. D'autre part, les essais tentés par l'agriculture ont donné d'assez bons résultats; les hommes compétents ne sont pas encore absolument d'accord sur la valeur relative de la chaux azotée comparée à celle des sels ammoniacaux et du nitrate; mais il semble cependant qu'à plusieurs égards, la chaux azotée occupe une position intermédiaire entre ces deux produits.

Celle-ci se présente donc dans des conditions de prix de revient et de qualité pour la consommation qui lui permettront de prendre place sur le marché des engrains azotés, surtout lorsqu'elle sera fabriquée en utilisant des ins-

tallations hydro-électriques importantes susceptibles de produire l'énergie à très bon compte.

Jusqu'à présent la chaux azotée était livrée par une station d'essai à Berlin ; une première usine plus importante de 3000 HP doit être mise en marche cette année en Italie. D'autres produits similaires sont également étudiés.

L'acide nitrique électrochimique.

La chaux azotée ne répond qu'à l'un des désiderata économiques du grand problème de l'azote ; elle fournit un engrais chimique susceptible de remplacer, en partie du moins, le nitrate du Chili et surtout les sels ammoniacaux. Si les prévisions que l'on peut formuler aujourd'hui se réalisent, ce serait une solution partielle du problème.

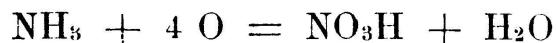
Mais le nitrate du Chili joue un rôle aussi important, on l'a vu, comme matière première servant à la fabrication de l'acide nitrique, dont la plus grande partie est consommée pour la production des explosifs, poudres de guerre, et poudres de mines pour les travaux du génie civil. En Europe, le nitrate employé dans ce but représente environ le $\frac{1}{5}$ de la totalité des quantités importées du Chili. En outre les statistiques établissent que partout la production d'acide nitrique est en augmentation croissante.

Après l'épuisement des gisements chiliens, les besoins de l'industrie en azote nitrique devront donc être couverts par une voie différente.

Deux directions générales s'imposent à première vue.

La première s'inspire de cette idée que l'azote atmosphérique peut d'abord être fixé sous forme ammoniacale (par exemple, par la réaction de la chaux azotée avec

l'eau) et que le seul problème à résoudre consiste à trouver des conditions économiques pour oxyder l'azote de l'ammoniaque en acide nitrique. Cette façon d'envisager les choses a ceci de tentant que l'oxydation de l'ammoniaque est fortement exothermique ; la réaction



correspond théoriquement à un dégagement de 97 Cal. Il semble donc qu'en trouvant des conditions favorables, elle doive s'accomplir spontanément.

C'est ce qui explique que des recherches aient été entreprises de divers côtés en vue de réaliser cette transformation.

Jusqu'à présent, et malgré d'assez nombreux essais, au cours desquels on s'est efforcé surtout de trouver des catalyseurs efficaces, il ne semble pas qu'une solution pratique, susceptible d'être transportée dans l'industrie, ait vu le jour.

La seconde direction générale suivie, pour obtenir l'azote nitrique, a pour point de départ une observation de Cavendisch (1784), d'après laquelle l'azote et l'oxygène se combinent lentement sous l'action des décharges électriques et forment ainsi des oxydes d'azote susceptibles de se convertir ensuite, par un processus chimique plus ou moins complexe, en acide nitrique, en acide nitreux, ou en nitrates et nitrites. La réaction fondamentale est donc, suivant l'heureuse expression du Professeur Crookes, une véritable „combustion“ de l'azote dans l'oxygène ; mais on peut ajouter, pour préciser le phénomène, que cette combustion est „lente et paresseuse“ puisqu'elle ne se poursuit qu'autant que l'énergie électrique continue à agir, qu'elle s'arrête lorsque la teneur des gaz en oxydes d'azote a atteint une certaine valeur limite.

Depuis dix ans environ, des expériences ont été entreprises de divers côtés, en vue d'établir les données précises d'une industrie de l'acide nitrique électrochimique, basée sur ce principe.

La description des divers procédés proposés entraînerait dans des détails techniques trop spéciaux. Il est plus utile de chercher à dégager les conclusions et données générales auxquelles conduisent les recherches de ces dernières années. Je tiens cependant à mentionner que la première tentative de ce genre, en Suisse, est due à M. Aloïs Naville (1893), qui me proposa peu après d'étudier ce problème en collaboration avec lui et avec M. le Prof. C. Eug. Guye. Les résultats de cette collaboration furent repris en 1896 par la Société d'Etudes Electrochimiques à Genève en vue d'essais en demi-grand poursuivis dès lors d'une façon continue. D'autres essais du même genre ont été organisés depuis, parmi lesquels il convient de citer : l'Atmospheric Product Co aux Etats Unis, le Groupe d'Initiative à Fribourg en Suisse (méthode Kowalski), et l'Actieselskabet det Norske Kvaestofcompagni en Norvège. Indépendamment de ces travaux, ayant plus ou moins un caractère industriel, des expériences de laboratoire fort intéressantes sont dues à M. Crookes (1897), à Lord Rayleigh (1897), à MM. Mc Dougal et Howles (1900), à MM. Muthmann et Hofer (1903), à M. Nernst (1904), à M. von Lepel (1903), ainsi qu'à de nombreux expérimentateurs dont il serait très long de donner la liste.

Au début de ce genre de recherches, des résultats souvent contradictoires ont été signalés ; il semblait que les effets obtenus n'étaient pas les mêmes suivant que l'arc électrique, jaillissant dans l'air, est produit par le courant continu ou par le courant alternatif, suivant que l'arc est allongé ou raccourci ; les uns ont préconisé les courants

de faible intensité ; d'autres les courants intenses ; la présence de la vapeur d'eau a été indiquée tantôt comme favorable, tantôt comme défavorable ; la forme même des électrodes paraissait jouer un rôle plus ou moins important. En résumé, l'oxydation de l'azote à la température de l'arc électrique paraissait soumise à des lois bizarres, capricieuses et mystérieuses, et dépendre d'éléments nouveaux, complètement étrangers à ceux que l'on prend généralement en considération.

Toutes ces conditions paraissent aujourd'hui secondaires et accessoires ; si elles ont masqué parfois et momentanément le jeu des lois fondamentales de la mécanique chimique, on peut affirmer à présent que l'étude approfondie des observations ramène de plus en plus à concevoir le phénomène comme régi uniquement par ces lois fondamentales.

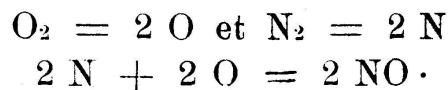
Cette façon de l'étudier a pour elle, non seulement l'avantage de la simplicité, elle fournit encore de précieuses indications sur les possibilités réalisables avec lesquelles les données acquises aujourd'hui sont en parfait accord. C'est donc sous cette forme simple et à la lumière des lois de la mécanique chimique les mieux établies que je me propose de résumer devant vous les résultats fondamentaux obtenus. .

Je commencerai par l'étude des principaux phénomènes chimiques qui se passent lorsque l'arc électrique jaillit dans l'air atmosphérique. Ils sont commodément classés sous trois chefs différents.

I. Réaction initiale.

A la température élevée de l'arc électrique, jaillissant dans l'air, les molécules d'azote et d'oxygène se dédoublent

en leurs atomes, lesquels se recombinent en donnant d'abord du gaz bioxyde d'azote NO*):

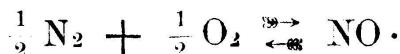


Comme la plupart des réactions chimiques gazeuses, cette réaction est limitée, c'est-à-dire que, pour une température donnée, et pour des conditions initiales données de pression, composition, etc., la réaction s'arrête lorsque la teneur en bioxyde d'azote a atteint une valeur donnée.

De fait, cet arrêt a pour cause la réaction contraire, c'est-à-dire la décomposition du bioxyde d'azote en ses éléments :



La limite est atteinte lorsque les deux réactions contraires se produisent dans le même temps sur le même nombre de molécules :



En d'autres termes, pour employer la terminologie de la mécanique chimique moderne, la combustion de l'azote dans l'air atmosphérique, est une *réaction réversible*.

Pratiquement, la teneur-limite du gaz NO est difficile à observer, car en présence d'un excès d'oxygène, ce qui est toujours le cas dans ces expériences, le bioxyde d'azote se transforme assez rapidement, en dessous de 500 à 600°, en peroxyde :



*) Quelques auteurs ont supposé qu'il se formait directement du peroxyde d'azote; cette opinion est insoutenable si l'on tient compte des expériences de M. Richardson, d'après lesquelles le gaz NO_2 se dissocie totalement en $NO + \frac{1}{2} O_2$ entre 500° et 600°, température bien inférieure à celle de l'arc électrique.

C'est donc généralement sous forme de NO_2 qu'il faut effectuer les dosages. Ceci ne modifie cependant pas les conclusions précédentes.

II. Rôle de la température.

La limite de la réaction est d'autant plus élevée, toutes choses égales d'ailleurs, que la température est plus haute. Voici les nombres trouvés par M. Nernst et contrôlés par le calcul (loi des masses actives) :

Temp. abs.	% NO en vol (obs.)	% NO en vol (calc.)
1811°	0,37	0,35
2033°	0,64	0,67
2195°	0,97	0,98
3200°	5,0	4,4

Les temps dans lesquels ces limites sont atteintes sont aussi d'autant plus courts que la température est plus élevée. Voici quelques nombres indiqués par le même auteur pour durée de la demi-réaction (c'est-à-dire jusqu'à la moitié des limites ci-dessus)

$$\begin{aligned} \text{à } 1540^\circ &= 100.0'' \\ \text{à } 1737^\circ &= 3.5'' \end{aligned}$$

De là résulte qu'il y a double avantage à effectuer la combustion de l'azote à température aussi élevée que possible : d'une part la teneur des gaz en oxydes d'azote sera plus forte ; d'autre part, la transformation sera plus rapide.

Il est vrai que ces avantages sont compensés, en partie, par le fait qu'en travaillant à température élevée la dépense d'énergie calorifique accessoire sera plus considérable aussi, l'arc électrique devant en effet fournir les calories nécessaires pour porter à la température voulue, non seulement l'azote et l'oxygène qui se combineront, mais encore tout l'excès de ces deux gaz échappant à la réaction. Tous calculs faits, le supplément d'énergie néces-

saire pour opérer à haute température représente une dépense inférieure au supplément de gain résultant d'un meilleur rendement, de telle sorte que l'élévation de température se traduit en fin de compte par un bénéfice. Voici en effet les résultats de ce genre de calcul, tel que les donne M. Haber :

1 kwatt-an (de 365 jours de 24 heures) doit théoriquement fixer l'azote correspondant à la production de :

1850 k. HNO_3 , si l'arc travaille à 4200° C.

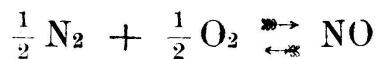
819 k. HNO_3 , „ „ „ „ „ 3200° C.

Un abaissement de 1000° produit donc une diminution de rendement de 50 %.

III. Rétrogradation.

La formation de bioxyde d'azote à haute température est suivie d'une rétrogradation en azote et oxygène pendant la période de refroidissement.

Ceci est une conséquence nécessaire des lois de la mécanique chimique appliquée aux réactions réversibles. En conséquence si l'on a par exemple effectué la réaction fondamentale



à une température de 3200° , et atteint la limite correspondante, c'est-à-dire une teneur d'environ 5 % NO (en vol.), et que l'on refroidisse lentement le mélange à 2200° , l'équilibre s'établira à cette température à la teneur de 1 % environ NO (en vol.); durant ce refroidissement de 1000° on aura perdu 80 % de ce qui aura été produit à 3200° . C'est ce qui constitue le phénomène de la *rétrogradation*.

De même que les équilibres précédemment considérés sont d'autant plus rapidement établis que la température est plus élevée, de même aussi la rétrogradation se produit beaucoup plus rapidement aux températures élevées.

qu'aux températures basses. Ceci est d'ailleurs une conséquence du phénomène général de réversibilité.

D'où l'on conclut que les températures les plus dangereuses pour la rétrogradation sont celles les plus voisines de la température de réaction. De là la nécessité de refroidir aussi brusquement que possible les gaz qui ont été portés à la température de l'arc pour les ramener dans le temps le plus court à des températures auxquelles la vitesse de rétrogradation soit pratiquement nulle ; dans le cas de la combustion de l'azote, cette condition se réalise d'autant plus facilement qu'en dessous de 600° le gaz NO se combine peu à peu avec l'oxygène en excès pour former des vapeurs nitreuses NO₂ qui échappent au phénomène de la rétrogradation.

Pratiquement, on a cherché à atteindre ce résultat, au début, en entraînant rapidement les gaz hors de la région où ils ont subi l'action de l'arc, et, plus récemment, en ayant recours à des dispositifs électriques ou mécaniques destinés ou bien à soumettre les arcs à des allumages et extinctions successives (plusieurs milliers de fois par seconde), ou bien à faire jaillir l'arc électrique dans des régions différentes de l'espace ; dans tous ces cas, la zone gazeuse, portée instantanément par l'arc à une température très élevée, se refroidit instantanément aussi dans la masse d'air environnante et les effets de la rétrogradation sont, sinon supprimés, du moins considérablement atténués.

En résumé, au point de vue électrochimique, les considérations fondamentales qui régissent la combustion de l'azote atmosphérique sont les suivantes :

1° Travail à température élevée, pour augmenter le rendement et la rapidité de la réaction.

2° Refroidissement instantané des gaz, pour éviter la rétrogradation.

On le voit, ces deux conditions sont pratiquement assez difficiles à réaliser simultanément. Suivant que les expérimentateurs ont satisfait plus ou moins à l'une ou à l'autre, les résultats ont pu paraître contradictoires. C'est ce qui explique les résultats parfois bizarres constatés au début des recherches sur ce sujet. Mais en dernière analyse, les lois de la formation du bioxyde d'azote à la température de l'arc électrique sont absolument les mêmes que celles des célèbres expériences de Sainte-Claire Deville par le dispositif du tube chaud-froid.

Les gaz ainsi obtenus, contenant environ 1 à 2% en volume de NO à la sortie immédiate des appareils où ils ont été portés à la température de l'arc, doivent ensuite être traités pour transformer le gaz NO en acide nitrique ou en nitrates et nitrites ; ces opérations relèvent plus de la chimie que de l'électrochimie ; il suffira d'en indiquer le principe, bien qu'en pratique elles présentent certaines difficultés ; on est en effet obligé de manier un poids mort considérable de gaz inertes ou indifférents. Par refroidissement, le gaz NO se transforme en N_2O_3 et N_2O_4 dès que la température s'abaisse en dessous de 500—600°. Des réactions appropriées avec l'eau ou avec des solutions alcalines (soude, lait de chaux, etc.) donnent soit un acide nitrique dilué, soit des nitrates ou un mélange de nitrates et de nitrites.

Pour terminer, il convient d'indiquer enfin une caractéristique électrique commune à tous les dispositifs étudiés.

Quelle que soit la solution adoptée, que l'on travaille avec le courant continu ou alternatif ou avec des oscillations électriques rapides dans l'air en mouvement, ou en déplaçant les décharges électriques, l'arc demande pour jaillir un voltage supérieur à celui qui est nécessaire pour

se maintenir à l'état de stabilité lorsqu'il a été une fois établi; en d'autres termes, le voltage à l'allumage est notablement plus élevé que le voltage de régime. Il en résulte que l'on est toujours obligé d'installer entre la source d'énergie électrique et l'appareil producteur d'arcs, ou bien une résistance assez considérable avec le courant continu, ou bien une ou plusieurs selfs avec les courants alternatifs ou oscillatoires. Au point de vue pratique, cela revient à dire que l'on n'utilise jamais dans l'arc qu'une fraction de la puissance nominale de la dynamo; avec le courant alternatif, par exemple, on aura toujours un décalage sensible mesuré par un $\cos. \varphi$ souvent assez défavorable; dans tous les cas, les calculs d'installation devront tenir compte de ce coefficient, puisqu'il équivaut à une augmentation du coût des dynamos, et par suite du coût de l'énergie.

Telles sont les données scientifiques qui se dégagent aujourd'hui des études laborieuses et coûteuses auxquelles on s'est livré ces dernières années sur ce sujet; elles apparaissent assez simples; tel n'a pas été le cas au début. Il est intéressant de voir jusqu'où elles ont conduit.

Les résultats les plus favorables qui aient été publiés indiquent une production de 800 à 900 k. NO_3H par kwatt-an mesurés sur l'arc. Pour tenir compte des dépenses d'énergie accessoires, du coefficient d'utilisation des dynamos, des difficultés de récupération des oxydes d'azote, etc., il est prudent d'admettre que dans la pratique industrielle cette quantité doit être réduite d'environ de moitié et de fixer ainsi à $1/2$ tonne par kwatt-an la quantité d'acide nitrique susceptible d'être produite industriellement par les procédés électrochimiques.

En comptant le kwatt-an électrique à 60 francs, prix réalisable dans de grandes installations, l'énergie néces-

saire pour produire un quintal d'acide nitrique serait d'environ 12 francs.

Or, le quintal d'acide nitrique coûte actuellement :

1^o A l'état d'acide nitrique concentré . . . fr. 45.—

2^o A l'état d'acide virtuel (dans le nitrate

à 26 fr. le quintal) „ 35.—

La marge sur les prix actuels paraît donc suffisante pour que l'industrie puisse tenter, avec des chances sérieuses de succès, la fabrication électrochimique de l'acide nitrique, surtout si le coût des installations n'est pas trop élevé, point évidemment capital dont il faudra tenir grand compte.

Une tentative de ce genre est actuellement en voie d'exécution en Norvège dans une usine où l'on travaille avec une puissance de 2000 à 3000 HP.

Rôle de l'air liquide et conclusions.

Après avoir exposé comme nous venons de le faire les recherches qui paraissent conduire aujourd'hui à des résultats fort encourageants dans la résolution du problème de la fixation de l'azote, il nous reste à signaler en quelques mots le rôle que l'air liquide est appelé à jouer dans le développement de ces industries naissantes.

Le procédé de la cyanamide calcique a besoin comme matière première, d'azote pur et privé d'oxygène; jusqu'à présent on le lui a fourni en faisant préalablement passer l'air atmosphérique nécessaire, à travers des corps facilement oxydables (sels ferreux, cuivreux, etc. qui retiennent l'oxygène). Récemment, l'usine italienne en construction a installé dans le même but la distillation de l'air liquide, qui, on le sait, se prête, dans des conditions plus ou moins économiques à l'obtention de l'azote pur. Mais dans ce cas, on ne voit pas ce que l'on fera de l'oxygène, surtout lorsqu'on opérera sur des tonnages un peu considérables.

Or, fait extrêmement intéressant, la combustion de l'azote atmosphérique se fait avec une amélioration de rendement très appréciable si l'on opère en présence d'un certain excès d'oxygène. De là résulte que si les deux industries — cyanamide calcique et acide nitrique électro-chimique, — s'installent côté à côté, elles seront à même d'utiliser complètement, et sur une vaste échelle, les deux produits, azote et oxygène, provenant de la liquéfaction de l'air. — Bien loin donc de se considérer comme des rivales, ces deux industries sont appelées à se prêter un mutuel appui. Travaillant ensemble elles seront à même de fixer l'azote atmosphérique dans des conditions beaucoup plus économiques que si chacune d'elles voulait vivre de sa propre vie. Il est intéressant de noter en passant que ce sera l'air liquide qui constituera un jour le trait d'union entre les deux groupes de procédés.

Pour conclure, vous voyez, Messieurs, que deux voies sont actuellement ouvertes en vue de parer à l'épuisement des réserves de nitrates du Chili, sur lesquelles a vécu jusqu'à présent le monde civilisé. — Ces deux solutions font appel, l'une et l'autre, aux forces hydro-électriques économiques que produisent seules actuellement les chutes des régions montagneuses. Le problème intéresse donc à un haut degré notre pays. Il nécessite en outre la mise en œuvre des méthodes les plus perfectionnées de la technique électrique et de la technique chimique ; sa résolution est liée aux lois les plus importantes et les plus modernes de la physico-chimie. Il m'a semblé que c'étaient là des titres suffisants pour en exposer dans cette réunion les résultats principaux.

Das Säntisgebirge.

Vortrag von Prof. Dr. Alb. HEIM.

In meiner Jugend hat mich zuerst das Relief zur Geologie geführt und zum Geologen gemacht. Und nun in dem Alter, von dem es im Volksmund heißt: „Stillestahn“, da ich das Ideal, das mir nun für ein Gebirgsrelief vor- schwebte, nochmals zu verwirklichen suchte, indem ich das Relief der Säntisgruppe in 1 : 5000 herstellte, führte mich abermals das Relief auf die Geologie zurück.

Die ersten Versuche zeigten, daß für Herstellung eines Reliefs des Säntis die Eschersche geologische Karte nicht genügte. Die Revision einiger Stellen ergab sofort die nicht geahnte Häufigkeit und Bedeutung der Querbrüche für die Gebirgsformen. Nachdem ich das Gebiet des Reliefprojektes untersucht hatte, schien es mir angesichts der interessanten neuen Resultate unrecht, hier abzubrechen. Ich dehnte die Untersuchung westlich und östlich aus. Nun zeigte sich auch hier die Kartenblattgrenze wieder als zu künstlich, und es reifte der Wunsch, die Untersuchung bis an die natürlichen Enden des Säntisgebirges, das ist gegen Osten bis an den Rhein, gegen Westen bis über die Thur, durchzuführen.

Ich hatte das Glück, in dreien meiner Jünger treue Helfer zu finden, die sich mit mir in intensiver, begeisterter Forschung in die große Arbeit teilten :

Fräulein Dr. *Marie Jerosch* (jetzt Frau Dr. Brockmann- Jerosch) übernahm die Spezialuntersuchung der Querbrüche

der Mittelregion, Herr Dr. *Ernst Blumer* die Untersuchung und Darstellung des östlichen Endes vom Kamor bis zum Rheine, und mein eigener Sohn, Dr. *Arnold Heim*, den westlichen Teil. Ich berichte über unsere Resultate, ohne im weitern zu unterscheiden, was vom einen oder andern von uns stammt.

Im Säntisgebirge hat *Arnold Escher v. d. Linth* zuerst schon 1835 bis 1840 die schweizerisch-alpine Kreide festgestellt und gegliedert; hier hat er zuerst den Faltenbau der Erdrinde an Stelle des sonst angenommenen Chaos von Verwerfungen erkannt und den Faltenwurf verfolgt. Und hier im Säntisgebirge ist durch ihn zum ersten Mal ein Gebirge geologisch im Maßstab 1 : 25000 kartiert worden.

Allein ohne zur Publikation zu gelangen, starb dieser selbstloseste und größte Alpenforscher am 15. Juli 1872. In seiner Hinterlassenschaft fanden sich nur eine Masse Reisenotizen von 1835 bis 1871 von sehr ungleichem Wert, begonnene Profilzeichnungen, begonnene Karten-einträge, nichts Druckbereites.

Desor prüfte im Auftrag der geologischen Kommission 1872 den Nachlaß. Die Karten und Profile wurden, ohne Revision oder Ergänzung durch einen Geologen, dem Lithographen zur Drucklegung gegeben. Zwei und ein halb Jahre nach Eschers Tode erschienen sie — wo Escher Lücken gelassen oder Fragezeichen eingesetzt hatte, aufs Geratewohl ergänzt. Und noch mehr mißglückte der Text, der an *Mösch* zur Zusammenstellung nach Eschers Notizen übertragen worden war.

Unsere Untersuchungen bauen auf den Escherschen weiter. Uns half die bessere Karte, das Relief und der vorgeschrittenere Stand der Wissenschaft. Wer unsere Resultate mit den bisherigen vergleicht, wird sehen, daß

die neue Untersuchung und Darstellung notwendig war und durchaus nicht nur ergänzender Natur ist.

Um den Aufbau des Säntisgebirges verständlich zu machen, muß ich zuerst von dessen *Baumaterial* sprechen.

Südlich vom Rande der Molassebildung mit ihren Conglomeraten stoßen wir auf den alttertiären *Flysch*, vorherrschend aus Tonschiefern und Mergelschiefern mit Einlagerungen von Sandsteinen und Nummulitenbänken gebildet. Er umgibt ringsum das Säntisgebirge, z. T. überlagernd, z. T. unterlagernd, tritt aber nur wenig zwischen die Falten hinein. Die Säntisketten selbst bestehen alle aus den verschiedenen Stufen des *Kreidesystems*, von oben nach unten aus *Seewerkalk* (Senon, Turon und Ober-Cenoman), *Grünsand* (= Gault = Unter-Cenomanien und Albien), *Schrattenkalk* (Aptien und Urgonien), *Neocomien* und *Valangien*. Auch in den am tiefsten aufgeschlossenen Gewölbekernen ist keine Spur Jura, höchstens vielleicht noch Aequivalent des Berriasien enthalten.

Neue stratigraphische Ergebnisse unserer Untersuchungen sind, kurz notiert, die folgenden:

1. In der Ausbildungsart (Facies) der Sedimente zeigt sich, besonders schön im Gault, aber auch im Seewerkalk und im Valangien, ein allmählicher *Wechsel* von NW nach SE, also quer zu den Ketten, der viel stärker ist, selbst wenn man die Kettenfalten sich ausgeglättet denkt, als die Faciesveränderung in der Richtung SW — NE. Die Gaultunterlage ist eine Transgressionsfläche.
2. Im *Valangien* kommen zwei Komplexe von *hellen Kalken* vor, die im SW-Teil durch eine starke, im NE-Teil aber auf wenige Meter abnehmende, mergelige Zwischenlagerung getrennt sind. Diese Zwischenlager sind die Hauptschichten der *Exogyra Couloni*,

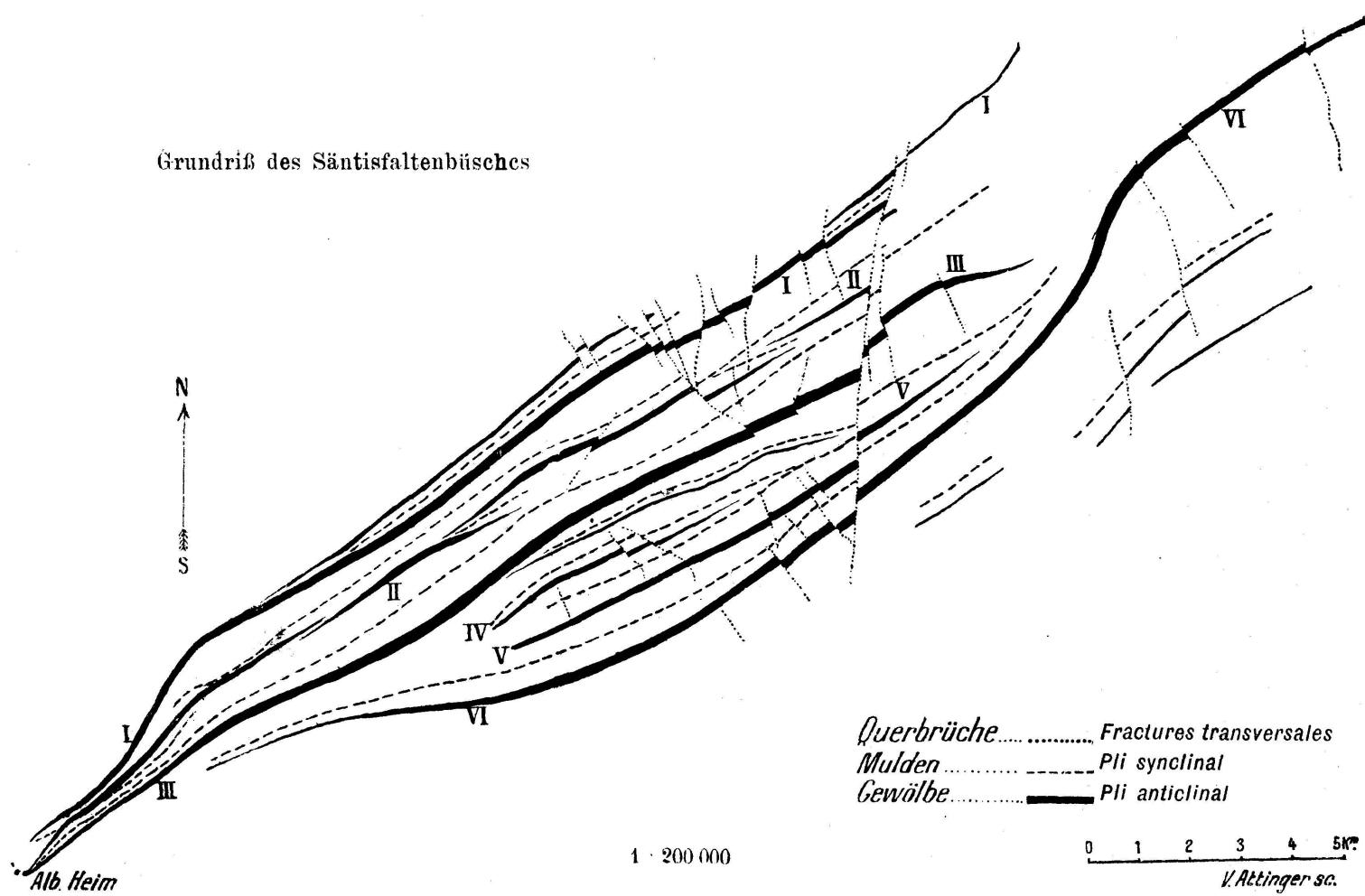
Pinna Robinaldina, *Alectryonia rectangularis*. Diese Valangienkalke sind dem Schrattenkalk sehr ähnlich und früher stets für Schrattenkalk gehalten worden. Die Trennung vom Schrattenkalk hat einen großen Einfluß auf die Auffassung vieler Profile und der ganzen Tektonik. Die Läden, die Türme, Nadleren, Hängeten, Öhrli, Hühnerberg, Mäusefallenwand, Bogenköpfe, Rotsteinpaßrippen, Bötzeli und noch andere, die alle früher für Schrattenkalk gehalten worden sind, sind schrattenähnliche, viel ältere Kalke des Valangien. Manches, was Escher durchaus unbegreiflich und verwirrend erscheinen mußte, ist dadurch aufgeklärt. *Requienia (Valletia) Jaccardi*, *Ostraea Etalloni*, *Rhynchonella irregularis*, *Nerinaea cyatus* und viele Korallen sind die in den Valangienkalken erkannten Petrefakten.

Das Säntisgebirge ist ein *Faltenbüschel* von sechs Hauptgewölbezonen und mehreren Nebenfalten, zusammen 12 Falten. Gegen *West* vereinigen sich die Gewölbe im Häderenberg, und die Mulden streichen in dieser Richtung eine nach der andern nach oben aus. Gegen *Ost* sinken die Mulden und Gewölbe. Jedes Gewölbe taucht dort *für sich allein* und *in seiner Art* in der Flyschmasse unter.

Die einzelnen Gewölbe sind ungleich lang. Von Norden nach Süden vorschreitend hat die erste Gewölbe-kette G I 21 Km. Länge. Die zweite (Säntisgipfelkette) G II besteht aus drei sich ablösenden Gewölben von $5+14+2=21$ Km. G III (Altmannsgewölbe) hat 24, G IV (Wildhauser Schafberggewölbe) hat 5, G V (Kreialp-Roslen-

Anmerkung: Herr Mineraliensammler Otto Köberle, Rorschacherstraße 63, St. Gallen, hat nach meinen Angaben gesammelt und geschlagen und kann sehr typische gute Serien der Säntis-gesteine liefern.

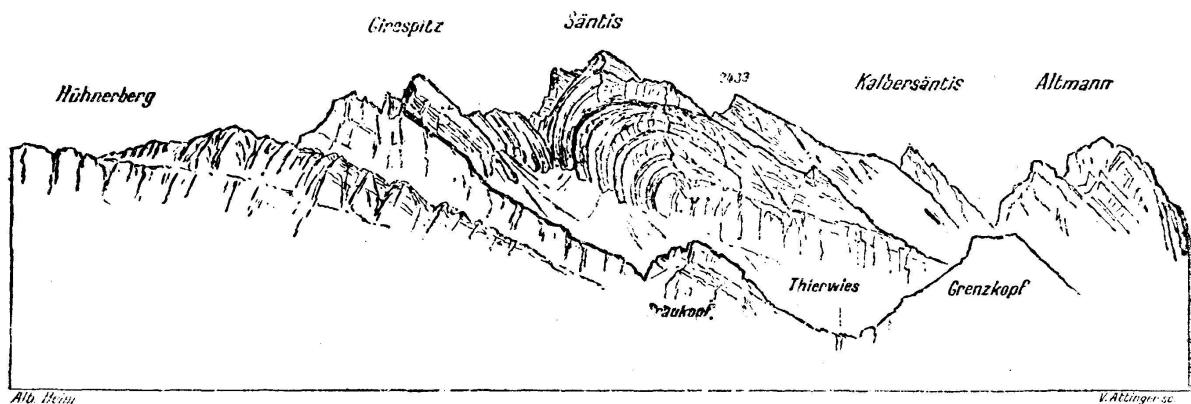
Grundriß des Säntisfaltenbüsches



firstgewölbe) 11 und G VI, das südlichste (Gulmen — Fürgglenfirst — hohe Kasten) hat bis zum Rheine 27 Km. Länge. Die ganze Faltenschar vom W-Ende am Häderenberg bis ans E-Ende am Rhein mißt 31 Km.

Von Westen gegen Osten vermehren sich die Falten manchmal durch Zweiteilung einer Mulde, öfter durch Einbiegung einer neuen Mulde in einem Gewölbeschenkel und auch durch Teilung eines Gewölbescheitels in zwei Hälften durch eine auf dem Scheitel einsetzende Mulde.

Die Gewölbescheitel sind im allgemeinen in der mittleren Region des Längsprofiles am höchsten, sie sinken gegen West und gegen Ost. Die Faltenhöhen, d. h. die Niveaudifferenzen der gleichen Schicht von der Muldenlinie zur benachbarten Gewölbelinie betragen häufig 600 bis 1000 aber auch über 1500 Meter und bis zu 1800 Meter.



Säntis, gesehen vom Utliberg bei Zürich

Die Faltung ist hier keine Hypothese, sie kann durchweg direkt beobachtet werden. An einer Menge von Stellen sind die gegen Norden überliegenden Gewölbeumbiegungen herrlich entblößt, und nicht selten auf große Distanz sichtbar (so z. B. am Säntisgipfel, Stoß Ostseite, Schrenit gegen Westen, Farnboden gegen Osten und gegen Westen, Schafberg von West, Kreialpfirst von Fählenalp, Nordgipfel des Altmann von NW, Häuser von Stauber-

first, Ostseite des Brültobel, etc.) Ebenso sind oft die Muldenumbiegungen sichtbar (Hundstein-Borsthalde, Wildhäuser Schatberg Westseite, Rietgerten ob Gräppen, Kamm, Bogenköpfe nördlich unter Silberblatt, etc.).

Die Falten des Säntisgebirges liegen alle mehr oder weniger stark *nördlich über*. Von günstigen Standpunkten aus ist dies wunderschön zu sehen, erinnernd an die Form der Wellen eines brandenden Meeres. Es sind die nördlichsten Wellen der Alpenfaltung, welche hier am Molassevorland branden, alle ihre steilen, überstürzenden Seiten gegen Norden, den flacheren sanfter, abfallenden Rücken gegen Süden wendend. Sie sind hierin ein getreues Teilstück der Alpen überhaupt. Am ergreifendsten habe ich diesen Eindruck gewonnen, als ich bei hellem Wetter im Ballon gegen 3000 Meter hoch über Wil stand.

Mit der Erscheinung des nördlichen Ueberliegens geht Hand in Hand die *Reduktion der verkehrten* (überkippten nördlichen Schenkel) *Mittelschenkel*, die am Säntisgebirge in allen Stadien in klarster Weise zu beobachten ist. Schon bei sanftem Ueberliegen sehen wir oft den Schrattenkalk auf $\frac{2}{3}$ auf $\frac{1}{2}$ seiner normalen Mächtigkeit reducirt, bei starkem Ueberliegen sogar auf $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, d. h. wenige Meter, oder auf 0, er ist zerrissen, weggequetscht.

Das Verhalten der verschiedenen Glieder der stratigraphischen Reihe im verkehrten Mittelschenkel ist je nach der mechanischen Beschaffenheit des Gesteins verschieden. Mergel werden ganz zerquetscht, schützen aber zwischenliegende festere Gesteine vor Zerdrückung, indem sie alle notwendige Deformation auf sich nehmen. Feste spröde Kalksteine werden in linsenförmige, von Rutschflächen umschnittene Fetzen zerrissen und diese einzelnen Fetzen verschleppt. Der Seewerkkalk, fest und zugleich duktil, zur Bewegung prädestiniert durch seine flasrigen kohligen Tonhäute, gibt leicht nach, faltet sich enger,

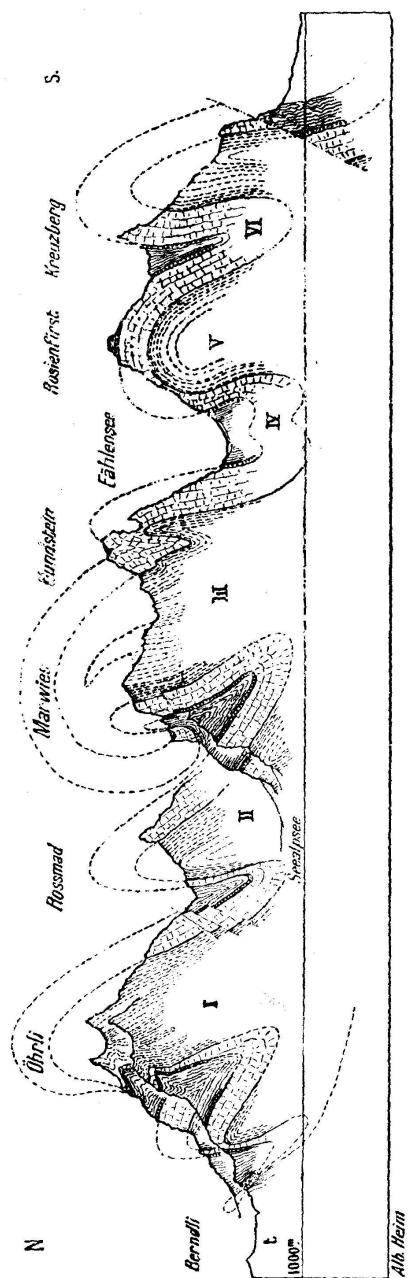
wird dünngewalzt, wird marmorisiert, er harrt aber bei aller Reduktion am treuesten und regelmäßigesten aus, von seinen ursprünglich 150 Meter Mächtigkeit oft reduziert auf 10 Meter, auf 1 Meter, auf $\frac{1}{2}$ Meter.

Das Auswalzen der Mittelschenkel führt auch schon im Säntisgebirge zu einer ausgezeichneten *mechanischen Metamorphose*, die sehr schön unter dem Mikroskop verfolgt werden kann. Fern von allen Eruptivgesteinen kann hier kein Mensch an Kontaktmetamorphose denken. Da finden wir: Flachquetschen der Foraminiferen des Seewerkalkes zuerst ohne Veränderung der Schalenstruktur, dann Umkristallisieren der Schalen, Kalcitisieren, Marmorisieren zuerst an den Linsenrändern des Kalksteines und Ausscheidung neuer Tonhäute mit Gleitflächen, eine völlige dynamometamorphe *Entmischung*. Schließlich wird der ganze Kalkstein zu unregelmäßig grobkörnigem Marmor. Im Schrattenkalk sind ferner keine Tonhäute vorhanden, sie scheiden sich dort erst durch die dynamische Marmorisierung und Entmischung aus. Wir können deutlich zwei Haupttypen der Stauungsmetamorphose unterscheiden: In Gewölbekernen und Muldenkernen, bei *stehender* Pressung geschieht die Marmorisierung ohne sichtbare Deformation, und die neu ausgeschiedenen wie die ursprünglichen Tonhäutchen werden kraus. In Mittelschenkeln unter gleichzeitig starker *Bewegung* entstehen viele glatte neue Gleitflächen, Schieferung, Linearstreckungen, Deformation von Foraminiferen und feinkörnige Marmorisierung.

Schon Escher sprach von „verquetscht“; allein die Gesetzmäßigkeit dieser Erscheinungen in den verschiedenen Faltenteilen kannte er noch nicht.

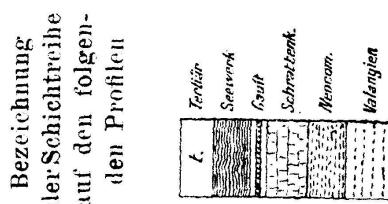
Ueber die *einzelnen Faltenzüge* des Säntisgebirges kann ich hier nur kurz berichten:

Die *Nordkette* wird in ihrem westlichen Teil durch eine einzige stark flach nördlich überliegende Falte gebildet, deren verkehrter unterliegender Mittelschenkel auf weniger als $1/10$ der ursprünglichen Mächtigkeit ausgewalzt ist. Südlich des Rispasses ist die Umbiegung im Gewölbekern im untersten Valangien gut sichtbar. Weiter östlich wird das erste Gewölbe zweiteilig durch die an den Bogenköpfen (Wideralp) einsetzende prachtvolle Muldenumbiegung der Valangienkalke und Kieselkalke des Neocomien. Beide Gewölbe liegen in gleicher Weise flach nördlich über, und bei beiden ist der verkehrte Schenkel enorm reduziert. Der untere Gewölbeteil verschwindet im Berndl in der Tiefe, der obere kippt im Oehrli mit seinem Scheitelgipfel nördlich herab. Weiter östlich stellt sich das Hauptgewölbe wieder gerader auf und wird einfacher. Es sinkt gegen Osten ruckweise. In der Ebenalp ist sein Seewerscheitel erhalten, in der Bommenalp in tie-



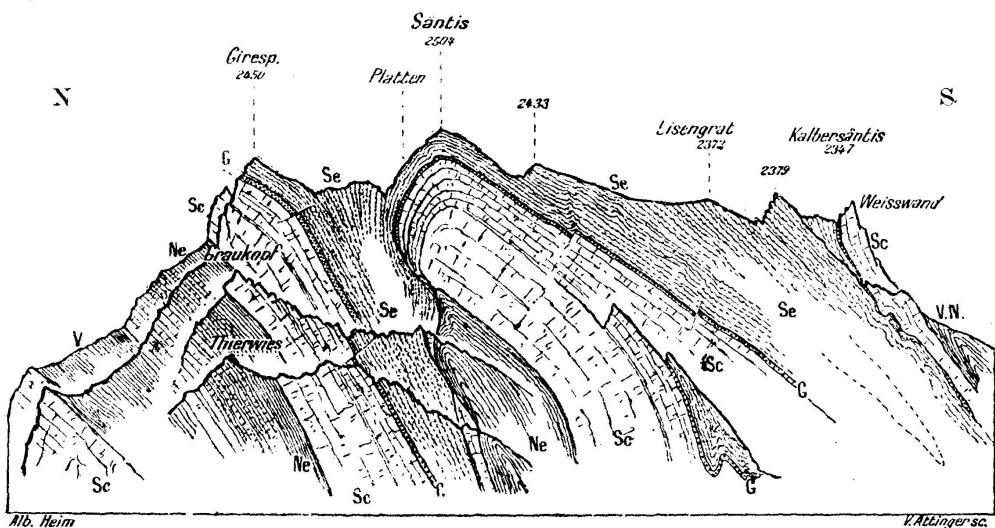
1 : 62 000

Profil durch die mittlere Region der Säntisketten



ferer Stufe desgleichen. Endlich läuft es östlich in der Fähnern im Klammeneggzug aus und endigt da blind oben, unten ohne Wurzel, von der Wurzel abgequetscht.

Der zweite *Gewölbezug* G II, aus G III sich abtrennend, zeigt in der Folge Ersatzstücke oder *Gewölbewechsel*. Im Stoß taucht das nördlich überliegende Gewölbe mit zirka 30 % Längsgefälle gegen Osten unter, dafür steigt das Säntisgipfelgewölbe ebenso rasch in wenig verschobener Richtung als neues Gewölbe auf, das das Stoßgewölbe genau ablöst, während die nördlich und südlich angrenzenden Gewölbe G I und G III von diesem Wechsel ganz unbeeinflußt bleiben. Stoßgewölbe und Säntisgewölbe lösen denselben Zusammenschub aus. Das Säntisgewölbe bildet mit seinem erhaltenen Seewerkalksattel den höchsten Gipfel, der das Vorbild eines alpinen *Antiklinalgipfels* oder *Gewölbe-gipfels* ist.



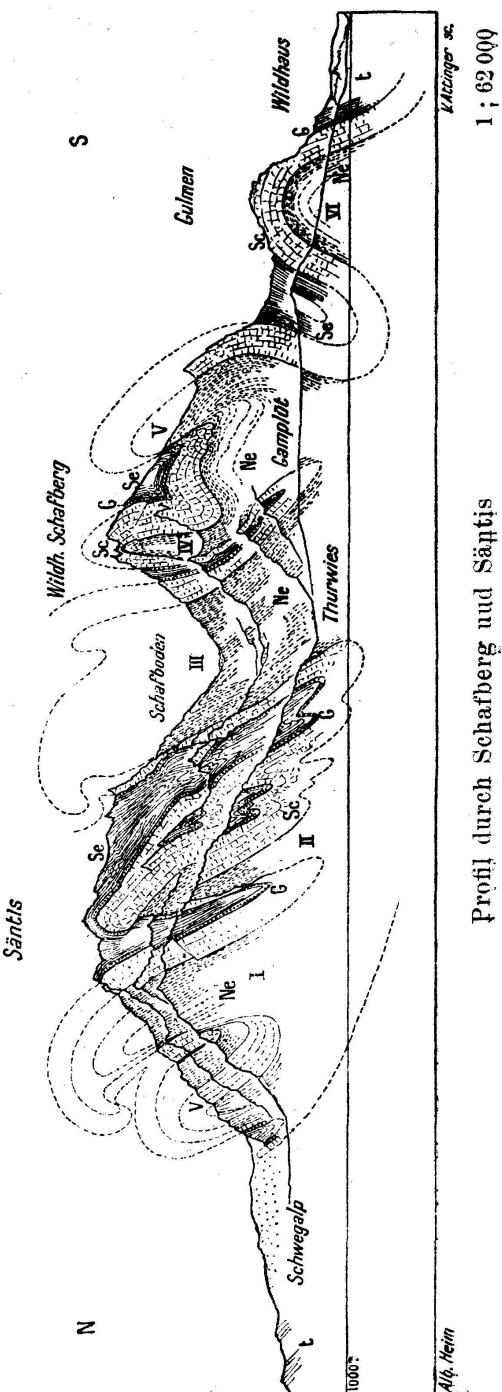
Profil durch den Säntis
Se. Seewerkalk; G. Gault; Sc. Schrattenkalk; Ne. Neocomien; V. Valangien.

Das dritte *Gewölbe* ist das mächtigste und hätte den höchsten Gipfel bilden sollen, es ist aber am stärksten abgetragen, wahrscheinlich weil es die Nase zuerst hochgehalten und deshalb zuerst von der Verwitterung bis auf den leicht ausspülbaren Neocomkern entblößt worden ist.

Es ist zum Teil zum Antiklinaltal geworden, dessen begleitender Nordkamm aus reduziertem Mittelschenkel (Kalbersäntis), der Südkamm aus aufragendem Gewölbeschenkel (Altmann, Hundstein, etc.) gebildet wird. Erst wo seine Höhe bescheidener wird, im Alpsiegel, ist der Schrattenkalkgewölbescheitel erhalten. Dieser Falte gehört auch der wunderbarste Berg des Säntis an, die Marwies, wo die *Falte nochmals gefaltet* und der nördliche anliegende Muldenkern in Gewölbestellung eingewickelt ist. Im Alpsiegel sinkt G III rasch und taucht östlich des Brühlertobel mit schöner Gewölbeumbiegung unter den Flysch.

Das *vierte Gewölbe* ist steil und scharf isoklinal zusammengedrückt. Es bildet den Gipfel des Wildhauser Schafberg. Oestlich sinkt es ab und verschwindet vor dem Fährlensee.

Das *fünfte Gewölbe* kommt von Westen und setzt dann plötzlich am Schafberg in den noch vorhandenen Gebirgskörper ein. Sein verkehrter Mittelschenkel ist an der Schafbergalp, im Schafboden und auf Kreialp im Schrattenkalk zu wenigen Metern reduziert, und herrlich lässt sich



Profil durch Schafberg und Säntis

am Südabsturz des Moor die allmähliche Reduktion von der vollmächtigen Gewölbeumbiegungsstelle zum zerquetschten Mittelschenkel verfolgen. Oestlich von Kreialp bleibt das Gewölbe V auf seinem Scheitel im Schrattenkalk, sogar im Gault und Seewerkalk geschlossen, ganz erinnernd an eines der großen geschlossenen Gewölbe des Juragebirges mit breitem flachem Rücken.

Das längste Gewölbe ist das *südlichste* des Gebirges. Es beginnt sanft nördlich Wildhaus, ist im Schrattenkalk des Gulmen noch geschlossen, in den Kreuzbergen (= verkehrter Mittelschenkel) schon mächtig geöffnet, sinkt weiter östlich allmählich tiefer, wird aber mehr und mehr überliegend. Schon im Hohenkasten ist das Gewölbe VI das am meisten flach überliegende des ganzen Gebirges. Die nördlichen Gewölbe sind untergetaucht, das südlichste allein hält sich weiter östlich. Sein Gewölbeschenkel fängt an, neue sekundäre Falten zu bilden. Das Gewölbe VI, den Zusammenschub aller andern absorbierend, wird zur *neuen Deckenfalte*. Die Kreideketten des Vorarlberg entstehen alle im Gewölbeschenkel der Hohenkasten-Deckenfalte, die dort das Säntisgebirge als eine aus demselben entwickelte Teildecke vertritt.

Die zwar nicht sehr häufigen *Längsbrüche* im Säntisgebirge können geteilt werden in solche, welche Faltungsteigerungen bedeuten, und solche, welche Faltungsschwächungen sind. Zu den erstenen sind eigentlich auch alle zerrissenen verkehrten *Mittelschenkel* zu rechnen, sodann einige *Scheitelbrüche* (Schäfler, Zisler) und endlich einige *Gewölbeschenkellängsbrüche*. Die letzteren haben der Deutung zuerst Schwierigkeiten bereitet. In vertikaler Schichtstellung können z. B. die Seewerkalkplatten des südlichen Bergfußes oben durch schiefe oder flache Kluft abgesichert sein und in gleicher Steilstellung sind auf dieselben ältere Schichten, Schrattenkalk, Neocomien, gesetzt. Die Er-

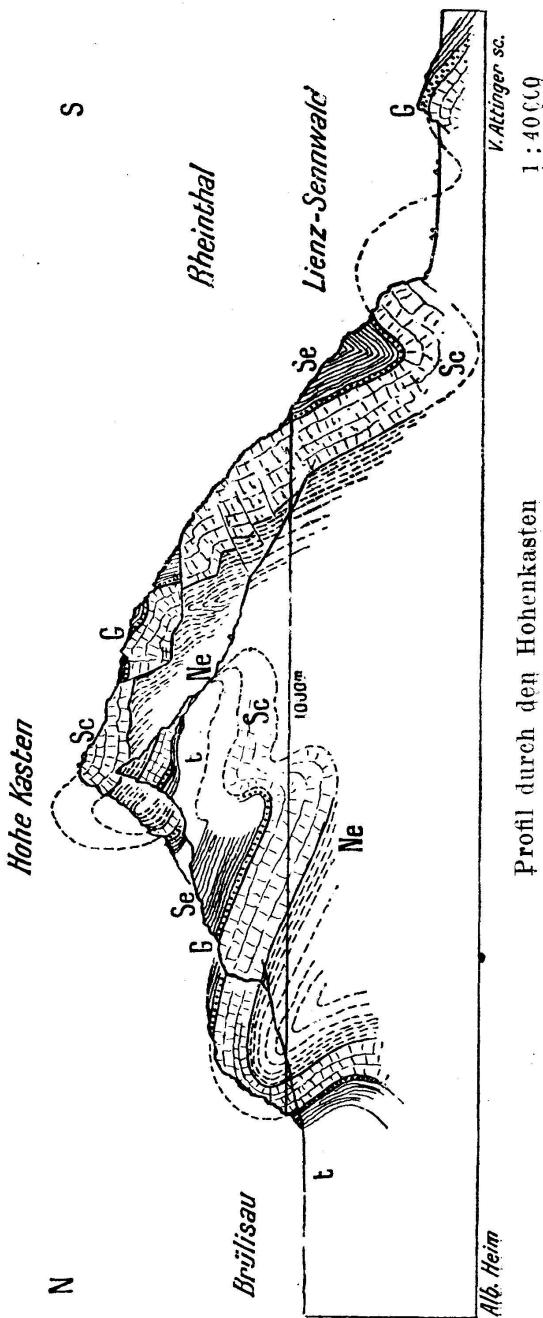
scheinung beruht auf einem Ausweichen des Gewölbes bei weiterem Zusammendrängen in der Tiefe.

Wir haben solche longitudinale Schenkelbrüche vom Silberblatt durch Fehlalp, Seetalp bis Wasserauen und an der Südseite von Gätterifirst unter den Kreuzbergen durch verfolgt.

Die schwächenden Längsbrüche fehlen in der westlichen und mittleren Säntisregion, sie gehören wie die Querbrüche mit vertikalem Sinne nur dem östlichen Teile des Gewölbes VI (Hohenkastendecke) an.

Wenn wir die am besten konstruierbaren Profile abwickeln, so finden wir für den gut aufgeschlossenen Teil der Falten in der Mittelregion: Frühere Breite — jetzige Breite = 11,500 Meter Zusammenschub. Rechnen wir dazu schätzungsweise noch den Verlauf in der Wurzel, so erhalten wir 14,000 bis 15,000 Meter.

== relativer Zusammenschub == 2 bis 3. Diese Zahlen gelten, wenn das Säntisgebirge an Ort und Stelle gefaltet worden ist. Wahrscheinlich liegt aber seine Wurzel viel



Profil durch den Hohenkasten

südlicher und es ist hierher transportiert. Der Mittelschenkel unter der ganzen Säntisgruppe durch mißt für die Faltung nichts, er ist auf 0 reduziert. Nur der Gewölbeteil ist zu messen.

Im Säntisgebirge finden wir keine Diskordanztransgression, d. h. keine Auffaltung älterer Gesteine vor Ablagerung der jüngeren. Wo ältere und jüngere diskordant einander berühren, sind es nachweisbar stets *spätere* Bewegungen, die ursprünglich harmonisch gelagerte Gesteine ungleich ver stellt haben. Die sämtlichen Gesteinsschichten des Säntisgebirges sind als ursprünglich parallele horizontale Blätter der Erdrinde abgelagert worden, und die erste Faltung und Aufrichtung, welche dieselben ergriffen hat, ist *jünger* als die Ablagerung der Tertiärgesteine, denn letztere sind am Rande durchweg harmonisch mitgehoben, teils miteingefaltet, teils überschoben. Die Auffaltung des Säntisgebirges ist also wie fast alle Alpenfaltung *Miocän-Pliocän*, und hat mit dem Beginn des Diluviums aufgehört. Erst diluviale Massen, Moränen, dann Bergstürze, etc. sind diskordant aufgelagert.

Das Faltensystem des Säntisgebirges ist von einer großen Anzahl von steilstehenden *Querbrüchen* durchsetzt. Schon Escher kannte den einen größten und einige kleinere. Heute zählen wir deren 400 bis 420.

Ein Blick auf die geologische Karte zeigt sofort, daß die *Querbrüche die Falten durchsetzen und verwerfen, aber im allgemeinen nicht ändern*. Eine Falte, die an einen Querbruch stößt, setzt verschoben jenseits in gleicher Gestalt oder nur wenig verändert fort. Es gibt *gebrochene Falten, aber keine gefalteten Brüche*. Die Querbrüche sind also in der Hauptsache *jünger als die Falten*, oder richtiger: sie sind erst in einer der letzten Phasen der Faltung entstanden. Die Querbrüche sind auch *jünger als die Faltung-verstärkenden Längsbrüche*, sie verwerfen letztere

horizontal, ohne sie abzuschneiden, diese Längsbrüche gehören ja eben zur Faltung und verhalten sich deshalb gegenüber den Querbrüchen genau wie die Falten.

An einen Querbruch herantretend, sieht man zuerst die mechanischen Begleiterscheinungen. Der Bruch sieht oft schon von weitem aus wie die Spur eines Messerschnittes; die Bruchfläche bildet oft auf der Seite des gegen Verwitterung resistenzfähigeren Gesteines ein glattes vorragendes Felswändchen. Meistens stellt sich der Bruch dar als ein ziemlich ebenes Flächenpaar, zwischen welchem eine Furche ausgewittert ist. Das Flächenpaar hat 10 cm., 20 cm. oder auch ein oder mehrere Meter Distanz.

Das Material zwischen den Bruchwänden stammt ab von den beidseitig anstoßenden Gesteinsmassen. Sind dieselben mergelig schiefrig oder doch plattig, so ist die Kluftfüllung aus schieferigem, wellig geknetetem und gequältem Gesteinsmaterial gebildet. Sind sie dagegen ganz oder teilweise aus festen Kalksteinen gebildet, so wird die Kluftfüllung zu einer Reibungsbreccie, durchwachsen mit Calcitmasse, einer Art Marmor mit Krystallkörnern von 1 cm³ bis 1 dm³. Der Calcit zeigt nirgends Secretionsänderung, er ist nicht nachträglich aus Wasser abgeschieden, sondern während der Bewegung Schritt für Schritt durch allmähliche krystallinische Umlagerung der Kalksteinbrocken entstanden. Die letzteren werden mehr und mehr calcitisch aufgezehrt, und die Calcitmasse wird durchsetzt von zackigen antrakonitisch tonigen Häuten, dem unlöslichen hinausgesäuberten Reste des Kalksteins.

Man muß sich den Vorgang so denken: Der erste Bruch ist uneben. Die Bewegung reibt beiderseits die Vorsprünge ab und bildet aus dem Material die Kluftfüllung. Die Wände werden dadurch immer glatter, aber auch immer weiter abstehend und die Umbildung der Trümmermasse zwischen den relativ bewegten Gesteins-

wänden schreitet vorwärts — verknnetete Schiefer einerseits, Calcitgang andererseits sind das Endresultat.

Die Bruchwände sind dadurch geglättet, oft wellig, oft total eben, häufig mit *Spiegelglättung* und sehr oft mit ausgezeichneten *Rutschstreifen* und *Hohlkehlen* versehen; die letzteren können 50 Meter lang und 1 Meter tief werden.

In der Kluftfüllung liegen oft große Fetzen des Nebengesteines in fremde Lagerung gedreht, beidseitig von Rutschflächen umgeben eingeschleppt. Die gleiche Erscheinung kann auch große Dimensionen annehmen: Der Querbruch teilt sich und umschließt ein ganz ansehnliches Gebirgsstück, ein sogenanntes *Klemmpaket*, das tektonisch eine Mittelstellung zwischen den beiden Bruchflügeln einnimmt. Wir kennen im Säntisgebirge Klemmpakete von einigen 100 Meter Länge und 10, 20 und 30 Meter Dicke, oft um Hunderte von Metern von der Stelle verschleppt. Sprödere Gesteine geben mehr Klemmpakete, duktilere mehr Schleppung.

Außer den zirka 400 Querbrüchen mit starker Verstellung der beiden Flügel gibt es noch eine Menge solcher mit geringer, tektonisch unbedeutender Bewegung. Viele der Brüche gehen nur durch einen Faltenschenkel, manche durch eine ganze Falte, wenige durch mehrere Falten. In Gewölbescheiteln und Gewölbeschenkeln sind sie häufiger, als in Mulden.

Fast alle Querbrüche des Säntisgebirges sind steil, annähernd senkrecht, manche völlig quer, andere schief zum Streichen. Die Bewegungsrichtung kann aus der Verstellung beider Flügel und aus der Lage der Rutschstreifen ermittelt werden.

Ueber $\frac{9}{10}$ der Querbrüche im Säntisgebirge sind *horizontale Transversalverschiebungen* von wechselndem Sinn. Sie weisen einen annähernd horizontalen Verschie-

bungsbetrag von wenigen Metern bis über 1 Kilometer auf (wir nennen diese häufigsten Brüche im folgenden kurzweg *Querverschiebungen*); diese Horizontalrichtung der Verschiebung ist auch auf den Bruchflächen abgebildet:

Ob wir am Fuße eines Berges eine entblößte Bruchwand beobachten oder oben am Kamm, — ob die abgesicherten Schichten steil stehen oder flach liegen, — ob wir im Gewölbeschenkel, im Mittelschenkel oder im Muldenschenkel beobachten, — ob wir in der nördlichsten oder einer der südlicheren Ketten stehen — an Hunderten von Stellen haben wir immer wieder fast *horizontale oder wenige bis zu 15° nach Nord geneigte Rutschstreifen* beobachtet.

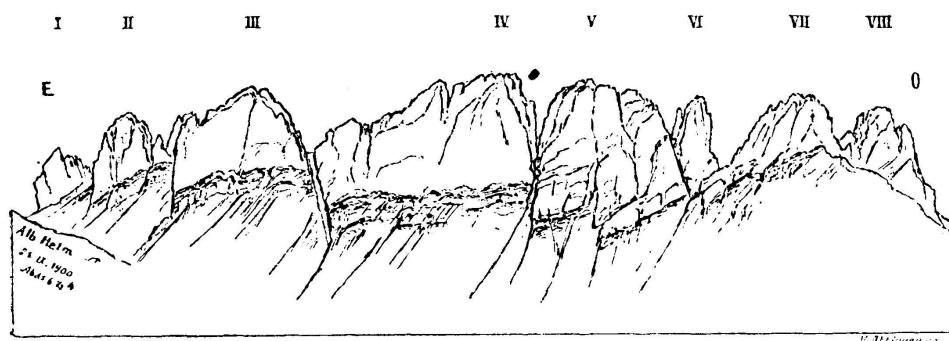
Das ist ein überraschendes Resultat. Es beweist die *Einheitlichkeit* der Erscheinung der Querbrüche und zugleich ihre *Jugendlichkeit*. Die Verschiebungen an den Querbrüchen sind durch Faltung wenig mehr verstellt worden, sie sind *jünger* als die Faltung und sie sind Resultate des Horizontalschubes, sie sind nicht „Verwerfungen“. Die horizontalen Transversalverschiebungen erlöschten im Flysch am Rande, sie gehen nicht in die Molasse. Sie sind bedingt durch *Differenzen im Widerstande*, welcher dem aus S kommenden Zusammenschub entgegenstand, *deshalb* sind sie S-N gerichtete Abscherungen, und *deshalb* haben sie wechselnden Sinn.

Wir können die horizontalen Transversalverschiebungen nicht verlassen, ohne einiger derselben im besonderen zu gedenken.

Eines der schönsten Landschaftsbilder, von Tausenden alljährlich bewundert, ist der Seealpsee mit seinem Hintergrund. Hinter dem waldbekränzten See mit der Seealp schließt das Tal ab durch den gewaltigen Felszahn des Roßmaadgrates, der zum Blauschnee und Säntis hinauf-

fährt — der kühne Berg mitten in die Fortsetzung der Seetalmulde gestellt. Das hat ein Transversalbruch getan.

Das Säntisgebirge zeichnet sich aus durch gewaltige Scharten in seinen Kämmen — fast alle sind durch Querbrüche bedingt.



Breschen im Kamm der Kreuzberge, bedingt durch Querbrüche

Der größte Querbruch schafft einen Paßweg von Sax bis Schwendi, wir haben ihn deshalb Sax-Schwendi-Bruch getauft.

Südlich beginnt er damit, daß Gewölbe VI in seinem Neocomkern in einem Sprung fast auf die doppelte Breite zunimmt. Er schert sodann die Kreuzberge ab, stellt vor die Roslenmulde das Gewölbe der Furgglenfirst und läßt dazwischen den Krinnenpaß (Saxerlucke). Das abgescherte Ostende der Roslenfirst schiebt er vor die Fählenmulde und staut dadurch den Fähleensee. Die Hundstein- und Marwieskette setzen in Gabelschutz und Alpsiegel, die Hüttenalp setzt bei Wasserauen fort, und das Bommen gewölbe schneidet ab am Sax-Schwendi-Bruch. Die Horizontalverschiebung wächst im Verlauf des Sax-Schwendi-Bruches von S nach N von 500 m bis 1500 m. Saxerlucke, Stiefel, Bogartenlucke, Hüttentobel sind die dadurch geschaffenen Paßscharten. Wie ein gewaltiger Schnitt schert er durch alle Ketten. Der Sax-Schwendi-Bruch hat auch großen Einfluß auf die Talgeschichte geübt. Er hat das

Roslen-Furgglental zerrissen, Fählenseetal und Sämbtiserseetal getrennt und die beiden Seen veranlaßt. Der Fählensee ist der schönste tektonische Stausee. An der vor den See geschobenen Riegelwand sieht man die Rutschstreifen. Es bestand ein altes Seealp - Hüttenalp - Schwendital. Der untere Teil ist vom oberen und mittleren abgerissen und ein tektonischer Stausee, der Seealpsee, im oberen entstanden. Der untere Teil ist an einen ihm fremden Talanfang angegliedert worden. Dieser hat seinerseits rückwärts greifend den alten Oberlauf angezapft und abgelenkt, sich dadurch als **Mittelstück** fremder Art eingeschaltet und das alte Mittelstück der Hüttenalp ganz ausgeschaltet. Auch die Entstehung des Seealpsees röhrt vom **Sax - Schwendi - Bruch**. Eine genaue Prüfung der Formen, die alten Kiese im Furgglental, wo jetzt gar kein Kies mehr hinkommen kann, etc., beweisen, daß die Haupttalbildung hier schon vor dem **Transversalbruch** vorhanden war!

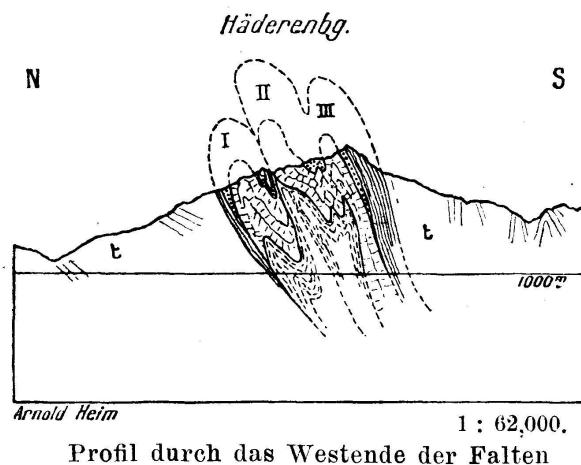
In der westlichsten Region des Säntisgebirges finden wir keine Querbrüche. Dann stellen sie sich gruppenweise, schwarmweise ein. In der Mittelregion sind sie alle horizontale Transversalverschiebungen. Nur gegen *Osten* stellen sich mehr und mehr Brüche mit vertikaler Verstellung der Flügel, meistens im Sinne des Absinkens des östlichen Teiles, ein. Ein Bruch der Art von 300 m Sprunghöhe trennt Ebenalp und Bommenalp und schafft die Wildkirchliwand, die meisten folgen in der südlichsten Falte vom Hohenkasten an gegen Osten. Da treten auch schwächende, „abfaltende“ Längsbrüche, Einbrüche der Gewölbedecken, auf. Die Falten verstärkenden Längsbrüche gehören zur Faltung und sind älter als die Querverschiebungen, die Falten schwächenden Längsbrüche hingegen erweisen sich hier im Ostteil, wo allein sie ihre Heimat haben, als zum gleichen System gehörend wie die

Querverwerfungen und sind gleichzeitig mit diesen wiederum später, d. h. unmittelbar vor Abschluß der Faltung gebildet. So sinkt die Deckenfalte des Hohenkasten unter die Rheinebene hinab.

Und wie die Säntisfalten zum Rheine absinken, so sinken auch von Osten her die dortigen dem gleichen Faltensystem angehörenden Kreidefalten des Vorarlberg gegen den Rhein ab. Der Rhein läuft in einer Querzone, die durch Einbruch der Faltendecke bezeichnet ist, in einem „Transsynclinaltal“. Diese Einsenkung unter den Rhein wiederholt sich aber weder an den nördlichen Molasseketten noch an den südlichen, zum Rhein streichenden Trias-, Jura- und Kreideketten. Sie betrifft einzig die Kreideüberfaltungsdecke der Säntis-Hohenkastenzone. Wir sind zur Überzeugung gekommen, daß die „nördlichste Brandungswelle der Alpen“, die Kreidefaltendecke des Hohenkasten, eingehüllt in Flysch, hier bei ihrem Vorstoße auf eine schon vorhandene Vertiefung, vielleicht ein altes Rheintal gekommen und nach demselben eingebrochen ist. Der Einbruch bildete wiederum die niedrigste Schwelle und veranlaßte nachher die Lage des jetzigen Rheintales. Nicht die Dislokationsform hat die Lage des Rheintales bedingt, sondern ein älteres Rheintal hat den Gebirgsbau modifiziert und die Einsenkung der Kette erzeugt.

Gegen *Westen* gruppieren sich die Falten enger. Im Kamm sticht die prachtvolle Seewermulde I als Synclinalgipfel aus und flacht sich rasch ab. In der Thurschlucht hat die genaue Untersuchung durch meinen Sohn noch zwei Gewölbekerne nachgewiesen, und zwar G I und G III. Im Häderenberg endlich kommen kleine Gewölbbescheitel-fältelungen mit enormer Quetschung der Schenkel zu stande, und am sogenannten Gewölbekopf endigt das ganze Säntisgebirge als doppelter, abgequetschter Gewölbekern,

unterteuft von Flysch, umlagert von Flysch, ähnlich wie der Klammeneggzug am NE-Ende. Hier lassen sich deutlich die Erscheinungen einer *Longitudinalstreckung* und *Zerreißung* erkennen, die die Säntisfaltenschar abgerissen hat von Gulmen und Mattstock.



Rings ist das Säntisgebirge von Flysch umgeben. In E, N und W geht er durchweg flach unter das Gebirge hinein. Der Flysch, der im S über der Säntiskreide liegt, hat etwas andere Beschaffenheit, als derjenige, der im N darunter einsticht. Gegen SW hängt das Säntisgebirge mit der Churfirstenkette zusammen, der es faciel sehr nahe steht. Der die Säntisketten unterteufende Flysch der Nordseite lässt sich zusammenhängend westlich unter Gulmen, Mattstock, Durchschlägiberg, Bättis bis an den Südabhang der Churfirsten zwischen der oberen und einer faciel stark verschiedenen unteren Kreideplatte verfolgen. Gulmen, Mattstock, Amdermulde, Kapf, Leistkamm, Churfirsten und mit ihnen das Säntisgebirge schwimmen auf dem jüngeren Flysch. Im Westen tritt dies bloß deshalb nicht zur Erscheinung, weil die Talbildung und Abwitterung die im Flysch schwimmende

Faltendecke noch nicht bis an ihre Unterlage herausgeschält hat. Die Säntisfalten haben also gar *keine Wurzel* direkt nach unten. Darum enthält auch keiner ihrer Gewölbekerne Jura. Sie sind eine von Süden überfaltete und überschobene, in ihrem Gewölbeschenkel durch den vorliegenden Widerstand gefaltete Kreideplatte. Die zahlreichen Brüche liegen besonders in den oberen Teilen der Kreidefaltendecke, sie enden rasch in den Randregionen, sie gehen nicht durch den Flysch hinab, *sie gehören nur der überfalteten Kreideplatte an*. Dies läßt sich in gleicher Weise für die horizontalen Transversalverschiebungen wie für die Brüche mit vertikaler Verstellung erweisen.

Sie sehen, verehrte Hörer, daß wir für das Säntisgebirge durch Erwägung aller unserer Beobachtungen uns vollständig der Theorie der von S kommenden Deckenfalten (Bertrand, Schardt, Lugeon) angeschlossen haben.



m. = Molasse.

Schema des Profils durch den Säntis.

e. = Flysch.

(Die schwarze Linie bezeichnet den Schrattenkalk).

c. = Kreide.

Die Stirn der am weitesten gegen Nord vorgeschobenen Ueberdeckungsfalte ist um so stärker gefaltet, je mehr Widerstand sie gefunden hat, und sie ist *gegen Ende ihrer Fahrt* zerschellt und zerbrochen in viel stärkerem Maße, als die weiter alpeneinwärts gelegenen, noch mächtiger bedeckten Gesteinsfalten. Die gleichzeitig vorschreitende Entlastung durch Abwitterung hat mehr und mehr den Bruch an Stelle der Faltung befördert. Überall im Säntis können wir zeigen, daß zu

Zeiten und an Orten starker Bedeckung die Horizontal-Dislokation sich in *Faltung*, mit abnehmender Belastung dagegen mehr und mehr in *Bruch* ausgelöst hat. Wieder erinnert uns das Säntisgebirge an die Wellen eines gegen Norden brandenden Meeres — die vordersten zerschäumen am stärksten!

Das Ueberschieben der ganzen Faltungsdecke, die Falten und steigernden Längsbrüche des Säntisgebirges in der Frontregion der Decke sind durch aus Süden kommenden *Horizontalschub* gestaut. Die Querbrüche der Mittelregion sind bei fortschreitender Abdeckung durch ungleichen Widerstand gegen den *Horizontalschub*, also als Folge des letzteren, entstanden. Die vertikalen Querbrüche und die schwächenden Längsbrüche der Ostregion sind durch Einsinken der sich vorschreibenden Faltungsdecke in schon vorhandene Vertiefungen ihrer Unterlage gebildet. *Das ganze herrliche Dislokationswerk des Säntisgebirges ist somit mit allen seinen Formen auf den primären Horizontalschub zurückzuführen; jeder Beweis für eine primäre Radial-Dislokation fehlt.*

Im Säntisgebirge schimmert der innere Bau in den Formen schöner durch, als bei den meisten andern Gebirgen. *Die Form verrät den Bau.*

In Gebirgen, die aus vorherrschend undurchlässigen Gesteinen gebildet sind, beherrscht die Erosion durch das fließende Wasser die ganze Gebirgsgestalt und verwischt die Formen der Türmung. Stets ähnliche Gestalten, Ruinen zwischen Erosionssystemen wiederholen sich dort. Wildbachsysteme durchfurchen die Gehänge, Wildbachschuttkegel wachsen aus den Schluchten heraus. — Ganz anders im Säntisgebirge! Im allgemeinen ist das Gestein leicht durchlässig. Eine Masse Wasser geht zur Quellbildung, die Wildbäche haben wenig Bedeutung, *die Ver-*

witterung schält nicht durch Nachsturz nach Erosions-schluchten, sondern nach der Anatomie. Steile Schichtstellung, scharfer Wechsel sehr resistenzfähiger Kalkstein-komplexe mit leicht verwitterbaren Mergeln geben die kühnen, fein geschnittenen Formen, und die Querbrüche durchhacken die Gräte mit Breschen. Die ungeheure Blätterung der Erdrinde kommt zum vollen Ausdruck. Die Verwitterung hat alle diese Gestalten herausgeschält aus ihrer früheren Entwicklung in Flysch. Die Gletscher-wirkungen sind im Säntisgebirge nicht bedeutend. Da-gegen zählen wir über 40 Bergstürze, von denen 4 oder 5 recht ansehnlich sind.

Wir wissen, daß unsere Alpen um eine geologische Periode jünger sind, als das Hochgebirge von Neuseeland. Dementsprechend sind sie auch viel weniger gealtert in ihren Verwitterungsformen. Unter den verschiedenen Gebirgszonen unserer Alpen selbst ist aber das Säntis-gebirge eine der jungendschönsten geblieben. Auch die herrliche Harmonie von äußerer Gestalt mit innerem Bau ist ein Zug jugendlicher Aufrichtigkeit und Offenheit.

Die hervorgehobene frische Gliederung der Formen läßt sich in Zahlen fassen. Die Geographen streben schon lange nach einem Maß der Oberflächengliederung. Dasselbe wäre am besten gegeben durch das Verhältnis der wirklichen Gebirgsoberfläche zur Grundrißfläche — wenn nur die wirkliche Oberfläche nicht so schwierig zu ermitteln wäre. Die bisherigen Methoden dafür sind zu schlecht und geben zu kleine Zahlen.

Es ist bestimmt worden, daß am Vesuv die wirkliche Oberfläche um 4 % größer ist, als der Grundriß, in den Ennstaler Alpen 10 %, in der Jungfraugruppe 24 %. Für das Säntisgebirge hat Prof. Früh aus meinem Relief 90 % bestimmt. Ich bin überzeugt, daß es noch mehr ist.

Das Säntisgebirge hat also eine ungewöhnlich scharfe und feine äußere wie innere Gliederung! Darum ist es so schön!

Das ganze Säntisgebirge überblickend, können wir sagen:

Der *Baumeister* des Säntisgebirges war allein nur der gleiche von Süden nach Norden gerichtete Horizontal-schub in der Erdrinde, der unsere Alpen überhaupt gebildet hat. Das *Baumaterial* sind die Meeresabsätze der Kreidezeit, die, eingewickelt in einer Hülle von Flysch, aus Süden — südlich des Tödi — herbeigestoßen worden sind. Der *Baustil* ist vorherrschend und durchgreifend nach Nord überliegende Faltung mit Querbrüchen. Die *Bauzeit* begann frühestens Miocen, die Hauptfaltung fand während der Pliocenzeit statt und das Zerschellen durch Querbrüche infolge fortschreitender Entlastung erst gegen Schluß der Faltung. Die Querverschiebungen waren bedingt durch ungleichen Widerstand, den der Horizontal-schub fand, die Querverwerfungen durch Vorstoß über unebenen *Baugrund*. An der Ausziselierung wird stets ohne Ende weiter gearbeitet.

Ich habe die Freude, der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft das erste fertige Exemplar des Werkes vorzulegen, dessen Hauptinhalt ich Ihnen in möglichster Kürze soeben skizziert habe. Es führt den Titel: Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, neue Folge XVI. Lieferung: *Das Säntisgebirge* von Albert Heim, Mitarbeiter: Dr. Marie Jerosch, Dr. Arnold Heim, Dr. Ernst Blumer, und besteht aus einem Textband mit Titelbild und 120 Textbildern und einem Atlas von 42 Tafeln.

Die Tiefenfauna des Vierwaldstätter-Sees.

Von Prof. Dr. F. ZSCHOKKE, Basel.

Vor 21 Jahren, am 16. September 1884, krönte die an dieser Stelle in Luzern versammelte schweizerische naturforschende Gesellschaft die Abhandlungen der Herren *F. A. Forel* und *Du Plessis* über die Tiefenfauna der Schweizer-Seen mit dem Preis der Schläfli-Stiftung. Seit-her erst wandte sich die allgemeine Aufmerksamkeit der Zoologen auf die kleine und unscheinbare Bevölkerung der großen Tiefen der Seen des Alpenrands, und eine beträchtliche Zahl schweizerischer Forscher suchte den faunistischen Bestand jener an so entlegener Stelle des Erdballs und unter so eigentümlichen Bedingungen lebenden Tiergesellschaft festzustellen.

Von Anbeginn an aber verfolgte die biologische Tief-seeuntersuchung im Süßwasser nach zwei Richtungen weit höhere Ziele, als die bloße Aufstellung von Tierlisten. Fragen der Tiergeographie und der Descendenz-Theorie drängten sich immer wieder vor, führten dem jungen Wissenszweig fortwährend neue Säfte zu und bewahrten ihn vor Dahinwelken und Verkümmерung, den unausweichlichen Folgen einseitig begrenzter Faunistik.

Woher stammen die Bewohner der tiefen Gründen unserer Seen, seit wann haben sie ihre heutige Heimat bezogen und in welcher genetischen Beziehung stehen sie zur Bevölkerung anderer Bezirke des Süßwassers und anderer geographischer Zonen, so etwa lautet die eine Reihe der immer wieder gestellten Fragen. Und an sie schließt sich unmittelbar die zweite an, die nach der

Entstehung von Varietäten und Arten im Lauf der Generationen und unter dem Druck der ungewöhnlichen am Seegrund herrschenden, physikalischen und chemischen Bedingungen. Vermochte die Außenwelt in langen Zeiträumen umgestaltend auf die Organismen der Tiefen einzuwirken, stellt der Abgrund jedes Seebeckens ein Schöpfungscentrum dar?

Fragen der Tiergeographie vor allem lieferten auch den Maßstab zur Beurteilung der Tiefenfauna des Vierwaldstätter-Sees. Die Zusammensetzung jener Tierwelt, ihr faunistischer Charakter, ihre Verteilung im See sollte für ihren Ursprung, ihren Zusammenhang mit anderen Tiergesellschaften, für das woher und seit wann sprechen. Nach den klassischen Methoden *Forels* wurden die Tiefen-Organismen in hunderten über den ganzen See regelmässig verteilten Fängen in den Sommermonaten des Jahres 1901 erbeutet und auf dem Landgut zum „Rebstock“ bei Luzern, das sein Besitzer, Herr Dr. *Nager*, in äußerst verdankenswerter und liberaler Weise der Seeuntersuchung zur Verfügung stellte, vorläufig gesichtet und bestimmt.

Früher hatten nur *Asper* und *Forel* ihre Schlamm-schöpfer zu wenigen Fängen vor Stansstad und Beckenried in den See versenkt, und hatte *Surbeck* die Tiefen der verschiedenen Becken nach Mollusken abgesucht.

Die Bewohnerschaft des Seegrundes steht an Reich-tum von Arten kaum, an Fülle von Individuen dagegen nicht unbeträchtlich hinter der Tiefenfauna des Genfer-Sees zurück. Wenn sich aber auch die Fänge an Zahl der erbeuteten Tiere nicht mit denjenigen *Forels* vor Ouchy und Morges vergleichen lassen, so gelang doch der Nachweis, daß der Grund des Vierwaldstätter-Sees an manchen Stellen bis zu den größten Tiefen sich mit Rasen und Wäldern von Moostierchen (*Fredericella Duplessisi*) bedeckt, daß sich in seinem Schlamm zahlreiche, blinde-

Asseln und Flohkrebse aufhalten, daß fast überall die Tiefenmuschel *Pisidium clessini* zu Hause ist, während rote Hydren und eine sehr artenreiche Fauna von Borstenwürmern sich nur an engbegrenzten Lokalitäten, dort aber um so massenhafter einstellen.

Gewisse Tiergruppen, die im Genfer-See eine bedeutende Rolle spielen, fehlen dem von uns untersuchten Wasserbecken als Tiefenbewohner ganz. Umsonst durchstöberten wir den Schlamm nach Cladoceren und ohne Erfolg suchten *Surbeck* und ich auch für den Vierwaldstätter-See die merkwürdige Tatsache festzustellen, daß Lungenschnecken hunderte von Metern unter der Oberfläche noch ihr Leben zu fristen vermögen. Schon im Bereiche des Ufers, bei 5 bis 20 Meter Tiefe, leben die letzten Schnecken. Dem Seegrund gehört ein einziges Weichtier, die schon genannte Muschel, *Pisidium clessini* in zwei Größen- und Standorts-Varietäten an. Sie bleibt klein und durchsichtig an den meisten Stellen, sie wird dagegen größer und kräftiger und inkrustiert sich mit Schlamm und Detritus vor dem Delta der Reuß, vor der Einmündung der Muota und des Wildbaches der Engelberger Aa, überall da somit, wo kaltes, aber auch nahrungsreiches Wasser in die Tiefe stürzt.

Vertikal steigen die Vertreter der Tiefenfauna bis in die Abgründe von 214 Meter vor Gersau, von 200 Meter im Urner-Becken hinab. Die großen Tiefen zwischen Beckenried und Gersau lieferten eine ziemlich bunte Tiergesellschaft. Neben Pisidien und Cytheriden (*Cytheridea lacustris*), typischen Formen der abyssalen Fauna des Süßwassers, leben dort Infusorien, Rhizopoden und Mückenlarven (*Chironomus*), die jeder flache Tümpel und Teich unserer nächsten Umgebung in ungezählten Exemplaren beherbergt. Besonders stellen sich in dieser lichtlosen und kalten, unter schwerem Wasserdruck ruhenden Tiefe

noch zwei anpassungsfähige Borstenwürmer ein. Der eine, *Tubifex tubifex*, kommt überall und immer vor, im Bach, wie im Torfsee, in den kleinen Wasserbecken des Hochgebirges, wie am Ufer der großen subalpinen Seen; der andere *Psammoryctes plicatus*, verbreitet sich ebenfalls weit, wenn auch mehr sporadisch an recht verschiedenartigen Lokalitäten. Er lebt im Tiefenschlamm des Zürcher-Sees, wie in der fließenden Limmat, er fühlt sich zu Hause am Litoral des Lago Maggiore, wie in kleinen hochgelegenen Wasserbehältern, die nur ein kurzer Alpensommer von der Eiskruste befreit.

Mit dem faunistischen Ergebnis der Fänge in der Seetiefe von Gersau deckt sich ziemlich genau das Resultat der Durchsuchung des Schlamms, den die kleine Metall-dredge vor dem Rütli, vor Sisikon, zwischen Bauen und Tellsplatte in 195—200 Meter Tiefe schöpfte. Dieselben resistenten Tierarten wie vor Gersau ließen sich sammeln, dieselbe Mischung der Fauna aus typischen Bewohnern der Tiefe und aus fast kosmopolitisch verbreiteten Insassen des Ufers, der Tümpel und Teiche, ja des mäßig stark fließenden Wassers kehrte wieder.

Manche Vertreter der Teich-, Sumpf- und Uferfauna allerdings wagen sich nicht bis in die größten Seetiefen. So macht, um nur wenig zu nennen, die braunrote *Hydra fusca* schon bei 45 Meter unter dem Wasserspiegel Halt, Larven des am Ufer in ungeheuren Mengen schwärmenden Insekts *Sialis lutaria*, des gemeinen Uferaas, sinken zufällig bis zu 30 Meter Tiefe hinab, und bei 50 Meter lebt noch die seltene und eigentümliche Larve einer Köcherfliege, die ihre Röhren aus dem feinen Tiefenschlamm aufbaut. Interessant verhalten sich die Muschelkrebse, die Ostracoden. Sie senden im Vierwaldstätter-See vier widerstandsfähige Kosmopoliten, die sich

jeder Wassermenge und jeder Wasserbeschaffenheit anzupassen verstehen und die sich vom Tal bis auf das höchste Gebirge verschleppen lassen, bis zu einer Tiefe von 70 Meter hinab. (*Cypria ophthalmica*, *Cyclocypris laevis*, *Candona candida* und *C. neglecta*). Bei 70 Meter verschwinden die Uferbewohner, um typischen Tiefen-Ostracoden von marinem und nordischem Anstrich, den Cytheriden, den Platz zu überlassen (*Cytheridea Jacustris* und *Limnicythere St. Patricii*).

Anders wieder tragen die Copepoden mit ihrer umfangreichen Gattung *Cyclops* zur Belebung der Tiefenzone des Vierwaldstätter-Sees bei. Sie verfügen über keine für den Seegrund charakteristischen Arten. Dafür schicken sie zwei systematisch sich nahestehende Formen von verschiedener Lebensweise in die Tiefe, *Cyclops strenuus* und *C. viridis*. Der erste ist ein Kaltwassertier, das freies, pelagisches Schwimmen bevorzugt. Der Krebs verschwindet im Sommer aus den flachen, überhitzten Gewässern der Ebene, die er unter dem winterlichen Eis massenhaft bevölkert. Er erfüllt in ungezählten Schwärmen und strahlend rot gefärbt auch während der warmen Jahreszeit die glacialen Alpenseen, wo er sich bis zur höchsten Grenze, den Eisseen des Orny-Gletschers bei 2700 Meter, erhebt. Horizontal reicht sein Verbreitungsbezirk von Portugal bis nach Moskau, von Island, Norrland und der arktischen Halbinsel Kola bis nach der Auvergne und an die Pyrenäen, von Triest und Ungarn bis nach Sibirien und Turkestan, aber auch bis nach Syrien und Algier. Selten fehlt *C. strenuus* in einem Gewässer Deutschlands, oder der Schweiz. Den Vierwaldstätter-See bewohnt der Copepode pelagisch in der ungeheuren Häufigkeit des Plankontiers. Er bequemt sich aber auch dem Leben auf dem Grund bis zu Tiefen von mehr als 100 Meter an.

Vorliebe für kaltes Wasser, Häufigkeit des Auftretens, weite Verbreitung, Vordringen hoch in die Alpen und in den äußersten Norden teilt mit *C. strenuus* der verwandte *C. viridis*. Im Sommer verschwindet auch er aus den sich überhitzenden Gewässern. Lebt indessen *C. strenuus* vorzugsweise pelagisch, so neigt *C. viridis* zu kriechender Lebensweise am Ufer und auf dem Grund der Seen, Teiche und Brunnen. Besonders stellt er das Charaktertier der mit kaltem Quellwasser sich füllenden Bruntröge der Jura-Bergwiesen dar. Dort traf ihn *Graeter*, wie er in seiner vorzüglichen Arbeit über die Copepoden von Basels Umgebung berichtet, regelmäßig an. Hohe Anpassungsfähigkeit an heterogenste, äußere Bedingungen erlaubt es demselben Krebs, den Grundschlamm des Vierwaldstätter-Sees bis zur größten Tiefe von über 200 Meter als Wohnort zu wählen.

Auch aus der Gruppe der Strudelwürmer wagen sich einige Formen vom Ufer tief nach dem Seegrund hinab, und abermals sind es weitverbreitete Arten, wie *Dendrocoelum lacteum* und *Microstoma lineare*. Andere aber (*Monotus morginiensis*, *Plagiostoma lemansi*), die wieder ihre nähere Verwandtschaft in nordischen Meeren zu suchen haben, werden erst in den größeren Tiefen unseres Sees häufig. Sie leben viel seltener am Ufer oder sogar in kleinen stagnierenden Gewässern der Ebene, ohne indessen dort zu voller Größe auszuwachsen. *Monotus* tritt noch einmal in großer Zahl an entlegener Stelle in den littoralen Algenwiesen hochalpiner Schmelzwasserseen auf. So bekunden sich diese Turbellarien als eigentliche Bestandteile der Tiefenfauna.

Erwähnung mag endlich finden, daß die blinde Assel (*Asellus foreli*) im Vierwaldstätter-See die Tiefengrenze von 170 Meter erreicht, daß der in der Regel ebenfalls augenlose Flohkrebs, *Niphargus foreli*, schon bei 125

Meter Halt macht, während Rasen der so typischen, im Schlamm steckenden Bäumchen des Moostierchens *Fredericella Duplessisi* von 30 – 170 Meter Tiefe üppig gedeihen.

Genug der Beispiele, um zu zeigen, daß sich das vertikale Vorkommen der einzelnen Tiefenbewohner des Vierwaldstätter-Sees höchst ungleich gestaltet und um vorausahnen zu lassen, daß die profunde Bevölkerung aus verschiedenen Elementen besteht, aus mancherlei Quellen zusammenfließt.

Auffallender noch mag der Umstand erscheinen, daß auch in horizontaler Richtung, von Becken zu Becken des Sees, ja oft in einem Becken von Station zu Station der faunistische Charakter der Tiefenbevölkerung wechselt, daß Lokalitäten, die scheinbar denselben äußeren Bedingungen unterworfen sind, die unter demselben Wasserdruck stehen, dieselben Lichtmengen erhalten, deren Temperatur im Jahreslauf sich in denselben enggezogenen Grenzen bewegt, eine anders zusammengesetzte Tiergesellschaft beherbergen.

Nur wenige Tiere, gewisse Rhizopoden etwa und besonders die Muschel *Pisidium clessini*, streuen sich regelmäßigt über den Grund des ganzen Sees aus. Zu diesen allgemein verbreiteten Organismen mögen auch zählen die Krebse *Cypria ophthalmica*, *Candona neglecta* und wohl auch der resistente *Cyclops viridis*.

Andere Tiefentiere dagegen lokalisieren sich an einer Stelle des Sees oder leben sporadisch ausgesäet an einzelnen, weit auseinander gerissenen Standorten. So fand sich *Hydra* nur zweimal, im Küsnacher-See und vor Vitznau, und so lebt *Fredericella*, wie ihre geringe Beweglichkeit es zum voraus vermuten ließ, in größeren und kleineren, weit zersprengten Beständen oder Kolonien.

Die größte Unregelmäßigkeit in der Verteilung, den reichsten faunistischen Wechsel also, selbst für einander

nächstliegende Lokalitäten, zeigen die Borstenwürmer. Die meisten Arten besetzen nur kleinste Bezirke, die sich in bunter, schwer zu deutender Reihe ablösen. Was *Brettscher* für die Oligochaeten der seichten Gewässer erkannte, die Tendenz einzelner Arten zur Lokalisation, gilt in vollem Umfang für die Vertreter der Gruppe in der Tiefsee.

Viel schwerwiegender als die Ungleichheit des Auftretens und der horizontalen Verteilung mancher Tiefenbewohner des Vierwaldstätter-Sees, die sich durch Verschiedenheit des Untergrunds, der Ernährung und wohl auch durch den Zufall aktiver Wanderung und passiver Uebertragung wenigstens teilweise erklären mag, erscheint die Tatsache, daß in der Seetiefe, oft in unerwarteten Linien, faunistische Grenzen verlaufen, die wesentlich verschieden zusammengesetzte Tiergesellschaften scharf von einander trennen. So setzt sich, wie in anderer Beziehung, auch in Bezug auf die Tiefenfauna der Vierwaldstätter-See aus ungleichen Bestandteilen zusammen.

Zwei solcher faunistischer Schranken verdienen besonderes Interesse; die Existenz der einen kann als selbstverständlich gelten, die Gegenwart der anderen wirkt umso überraschender, als der betreffende Grenzstrich sich mitten durch den See scharf gezeichnet verfolgen läßt.

Fast selbstverständlich erscheint die biologische Sonderstellung des Alpnacher-Sees. Das Becken weicht in seiner Hydrographie, sowie in den physikalischen und chemischen Eigenschaften seines Wassers weit von den übrigen Bezirken des Vierwaldstätter-Sees ab; es bildet einen Annex von besonderem Charakter, der durch eine 150 Meter breite und nur 4 Meter tiefe Lücke gegen den nach Stansstad sich erstreckenden Seearm offen steht. Seine Tiefe fällt nur zu 35 Meter ab, und die großen Mengen des von der Alpnacher-Aa jahrein jahraus mitgeführten Gesteinschuttes sorgen dafür, daß die Sedimentie-

rung rasche Fortschritte macht und daß das Wasser un-durchsichtig bleibt.

Auch die gelbgrüne oder gelbbraune Wasserfarbe des Alpnacher-Sees entfernt sich beträchtlich vom blaugrünen Kolorit der übrigen Becken und nähert sich den für den ebenfalls mit Geschiebe beladenen Brienzer-See in dieser Beziehung geltenden Verhältnissen. Nach *Forels* Farben-skala müßte der Alpnacher-See in die Stufe X eingereiht werden, während die anderen Seebecken unter IV und V ihren Platz finden.

Thermisch behauptet der See von Alpnach nicht minder seinen eigenen Charakter. Seine Temperatur steigt im Sommer höher und fällt im Winter tiefer, als die des eigentlichen Vierwaldstätter-Sees; die Monate Oktober und März bringen den Wärme-Ausgleich. Ufer und freie pelagische Fläche zeigen beinahe dieselben Wärmegrade, und auch im Temperaturregime der Tiefe herrschen mancherlei Anomalien. Wenn wieder *Forels* Nomenklatur Anwendung finden soll, so zählt das Alpnacher-Becken zu den temperierten Seen von geringer Tiefe, deren abyssale Temperatur variiert und mehr oder weniger als 4° betragen kann und in denen sich das Wasser thermisch bald normal, bald invers schichtet. Dagegen gehören die tiefen Becken von Flüelen und Gersau zu den Wasserbehältern von tropischem Typus. Ihre Tiefentemperatur fällt nie unter 4° , die thermische Schichtung bleibt stets normal. Der äußere See, die Buchten und Arme von Luzern, Küssnach, Hergiswil, der See von Weggis und Vitznau schieben sich in verschiedener Weise als thermische Zwischenglieder zwischen den oberen Gersauer-Flüeler-See und den isolierten Arm von Alpnach ein. In zwei sich folgenden Beobachtungsjahren sank die Tiefentemperatur des Flüeler-Beckens nie unter 5° , diejenige der übrigen Hauptbecken nie unter $4,7^{\circ}$. Nur zweimal, soweit beglau-

bigte Notizen reichen, in den Wintern 1684 und 1685, konnte der Gersauer-See auf fester Eisdecke überschritten werden; nicht selten frieren die Seeteile von Luzern, Hergiswil und Küsnach zu; das Flüeler-Becken bedeckte sich noch nie vollkommen mit Eis, während jeder etwas kalte und lange Winter seine Brücke über den Alpnacher-See schlägt.

Allen diesen physikalischen Besonderheiten des Alpnacher-Beckens, die durch die Herren *Arnet* und *Amberg* sorgfältig festgelegt wurden, entsprechen auch eigentümliche, chemische Wasserverhältnisse. Herr Dr. *E. Schumacher-Kopp* berichtet über einen im Vergleich zu den anderen Seebecken sehr bedeutenden Gehalt des Wassers an kohlensaurem Kalk und an Gips; er weist auch auf die Gegenwart vieler warmen Quellen, sogenannter „Kochbrunnen“ hin, die sich am Ufer und am Grund in den See ergießen.

Es wäre zu verwundern, wenn alle diese eigentümlichen äußereren Bedingungen des Alpnacher-Sees nicht biologisch ihren Widerhall finden würden. Zoologisch spricht sich das in der Zusammensetzung und im Leben der Tierwelt von Ufer, freier Fläche und Seetiefe aus. Die allgemeine faunistische Signatur heißt Dürftigkeit und Armut, Gegenwart von wenig Arten und relativ wenig zahlreichen Individuen, ausschließliches Vorkommen von resistenten Formen, deren Widerstandsfähigkeit ihnen auch sonst weite, ja kosmopolitische Verbreitung sichert.

Dies fiel *G. Surbeck* auf, als er die Ufer des Alpnacher-Sees nach Mollusken absuchte. Wenn der ganze Vierwaldstätter-See 23 Arten und Varietäten von Schnecken und Muscheln beherbergt und davon im Gersauer-Becken z. B. nicht weniger als 20 Formen leben, bringen es nur seltene Individuen von 8 weit verbreiteten Weichtieren fertig, sich im Alpnacher-See anzusiedeln.

Ununterbrochene Ablagerung von Schlamm, Schutt und Geschiebe, und Mangel an geeigneten Wohnstätten mag die in dieser Hinsicht anspruchsvollen Mollusken vom Vormarsch in das Alpnacher-Becken abhalten. Keine einzige typische Weichtierart ist in dem unwirtlichen Gewässer zu Hause, während z. B. einzig das pflanzenreiche Delta der Muota drei nur diesem Seeabschnitt eigene Schnecken beherbergt.

Selbständigkeit gegenüber allen anderen Seebecken, auffallende quantitative und qualitative Armut kennzeichnet, nach *G. Burckhardt*, auch das Plankton, die Tiergesellschaft, welche freischwimmend die fast immer vom Wind bewegte Fläche des Alpnacher-Sees belebt. Aber nicht nur die Zahl der Arten freier Schwimmer und die Menge ihrer Individuen steht weit hinter den für alle übrigen Seeteile in dieser Beziehung festgelegten Verhältnissen zurück; auch der jährliche Entwicklungsgang der einzelnen Formen, ihr Erscheinen, ihr quantitatives Aufsteigen, Blühen und ihr Niedergang folgt im Alpnacher-See eigenen, für die benachbarten großen Becken nicht gültigen Gesetzen. Die im Vierwaldstätter-See verbreitete *Daphnia hyalina* z. B. besitzt im Wasserbehälter von Alpnach eine Kolonie, die biologisch eine vollkommen eigene Stellung einnimmt.

Faunistische Armut herrscht auch in der Tiefe des Alpnacher-Sees, und zwar so, daß von einer typischen, profunden Tierwelt nicht die Rede sein kann. Es fehlen dem an Detritus reichen Grundschlamm alle irgendwie charakteristischen Tiefenbewohner. Kein Rasen von Fredericellen breitet sich aus, die blinden Asseln und Flohkrebse sind aus der benachbarten Hergiswiler-Bucht nicht eingewandert, die an marine Verwandte anklingenden Cytheriden und Turbellarien finden keine Vertreter. Aber auch manche Ufertiere, die an vielen Stellen des Vier-

waldstätter-Sees zur Tiefe wanderten, Hydren, Cyclopiden, Planarien, zahlreiche Oligochaeten bleiben dem Grund des Alpnacher-Sees fern. Kümmerlich setzt sich die von Schuttablagerung und Sedimentierung bedrohte Tiefenfauna aus spärlichen Fliegenlarven, wenigen Borstenwürmern, schwachen und kleinen Exemplaren des genügsamen *Pisidium clessini* und vom Ufer zugewanderten Muschelkrebschen (*Cypria ophthalmica*, *Cyclocypris laevis*, *Candonia neglecta*) zusammen. Kaum eine Tierform kennzeichnet den Grund des Alpnacher-Beckens gegenüber der Tiefe der Arme und Buchten des Vierwaldstätter-Sees. Es bildet das Alpnacher-Becken eine allerdings fast nur negativ umschriebene faunistische Einheit.

So selbstverständlich eine biologische Sonderstellung des Alpnacher-Sees sich voraussehen ließ, ebenso unerwartet kam die Entdeckung einer scharfgezogenen faunistischen Grenze, die das Gersauer-Becken quer durchzieht und diesen Seeteil in zwei Abschnitte, einen größeren westlichen und einen kleineren östlichen, trennt. Die Scheidelinie fällt mit einer unterseeischen Barriere zusammen, welche etwa von der Kapelle beim Kindlimord am Nordufer des Sees ausgehend sich bis in die Nähe der am südlichen Gestade gelegenen Höfe von Schwibogen erstreckt. Auf diesem Wege senkt sich der Wall, wohl eine sublakustrische Moräne, zu einem Sattel von 81 Meter Tiefe unter den Wasserspiegel und erhebt sich zweimal zu Hügeln, deren Gipfel nur 50 und 70 Meter unter dem mittleren Seeniveau liegt. Die Schweile scheidet von einander das kleine östliche Becken von Folligen, mit 125 Meter Maximaltiefe, vom großen westlichen Gersauer-Becken im engeren Sinn, in dem das Lot erst bei 214 Meter Grund findet. Sie bedeutet für die Fauna des ganzen Sees eine genau abgesteckte Verbreitungslinie, deren Gegenwart von uns mit aller Sorgfalt konstatiert

wurde. Tiere, die alle westlich gelegenen Seeabschnitte, die Buchten und Arme von Luzern, Küsnach, Hergiswil und Stansstad, den Trichter, die Becken von Weggis und Gersau beleben und zum Teil massenhaft erfüllen, wagen sich nicht über die Schwelle am Kindlimord, oder werden östlich derselben selten.

Eine zweite, vielleicht nicht ganz so scharf ausgeprägte Tiergrenze durchquert den See nördlich von den beiden Nasen. Wieder entspricht ihr ein unterseeischer Höhenzug, ebenfalls eine Moräne vielleicht, der halbkreisartig den See überquert, an einer Stelle bis 27 Meter unter den Wasserspiegel hinanreicht und im Maximum zu nur 47 Meter Tiefe sich hinabsenkt.

Es stellen sich somit der Tiefenbevölkerung, die sich etwa aus den westlichen Teilen des Sees nach Osten ausbreiten möchte, zwei Wälle entgegen, der unterseeische Damm bei den Nasen und derjenige am Kindlimord. Schon das erste Hindernis gebietet mancher, besonders schwerer beweglichen Tierform Halt, andere Arten nehmen dort an Häufigkeit des Auftretens beträchtlich ab. Die zweite Schwelle hält auch das Vordringen mehr mobiler Geschöpfe nach Osten auf.

So fehlen, um beim Auffallendsten zu bleiben, blinde Asseln und Flohkrebse in keinem Fang in den Seeteilen westlich der Nasen; die Tiere beleben den Schlamm oft in großer Menge. Sie treten im eigentlichen Gersauer-Becken an Häufigkeit und regelmäsigem Vorkommen zurück; aus der Tiefe des Urner-Sees und des Beckens von Folligen endlich hob sie der Schlammschöpfer nie empor, die Ostgrenze der Verbreitung fällt genau mit der unterseeischen Moräne von Kindlimord zusammen. Ähnlich verhalten sich die Cytheriden und die Tiefenturbellarien *Plagiostoma* und *Monotus*. Erstere ließen sich östlich der Schwelle von Folligen nicht nachweisen, letztere gehören

schon von der See-Enge der Nasen an zu den großen Seltenheiten, trotzdem sie als fast überall vorkommende Charaktertiere des äußeren oder unteren Sees zu betrachten sind. Endlich sei noch erwähnt ein Borstenwurm, der aus mancherlei Gründen als Überrest einer Glacialfauna aufgefaßt worden ist, *Haplotaxis gordiooides*. Auch er hat den Moränenwall, der in weitem Halbbogen die Nasen unterseeisch verbindet, in östlicher Richtung noch nicht überstiegen, während er sich im westlichen Vierwaldstätter-See ausgiebig verbreitet.

Genug der Einzelheiten um zu beweisen, daß die sublakustrischen Moränenzüge sich in unserem See dem Vordringen der Tiere nach Osten hemmend entgegenstellen und daß in ihrer Wanderung hauptsächlich echte Tiefentiere, blinde Krebse, Turbellarien und Ostrakoden von marin-nordischem Habitus, glaciale Oligochaeten, aufgehalten werden. Für alle diese verschwindenden Tiere bieten die Seebecken von Folligen und Flüelen kaum einen Ersatz; sie kennzeichnen sich gegenüber den westlichen Abschnitten des Sees durch Armut besonders an eigentlichen, tiefenbewohnenden Organismen.

So ergibt sich der bestimmte Eindruck, die Einwanderung jener faunistischen Elemente, die wir vor allem als charakteristische Tiefenbewohner betrachten dürfen, sei im Vierwaldstätter-See von Nordwesten her erfolgt. Sie sei von der Seite ausgegangen, die zuerst der Vereisung und dem Einfluß der Gletscher entrückt wurde. Die Wanderung machte Halt vor dem großen mit Geschiebe beladenen Teich oder Tümpel des Alpnacher-Sees. Sie fand ernstliche Hindernisse in den unterseeischen Moränenwällen südlich von Vitznau und östlich von Gersau. Bis zum heutigen Tag ist es kaum einem echten Tiefenbewohner, denn Pisidien und Fredericellen zählen, wie das an anderer Stelle auseinandergesetzt werden soll, wohl

nicht hieher, gelungen, die unterseeischen Mauern nach Osten hin zu übersteigen.

Wenn der reichgegliederte Vierwaldstätter-See hydrographisch in wohl gesonderte Abschnitte zerfällt, und wenn sich das Gewässer physikalisch und chemisch aus getrennten, scharf charakterisierten Teilen zusammenfügt, so liegt heute der weitere Beweis vor, daß der See faunistisch-biologisch ebenfalls keine Einheit bildet. Dies fand *Surbeck* für die Mollusken, *G. Burckhardt* für das Plankton. Die freischwimmende Tierwelt der einzelnen Seeteile geht nach Zusammensetzung und Biologie so sehr auseinander, wie sonst nur in weit voneinander abliegenden, stehenden Gewässern, die als Vertreter eigener Kategorien von Seen gelten können. Der Vierwaldstätter-See setzt sich faunistisch aus heterogenen Teilen in einem solchen Grad zusammen, wie das für kein anderes Seebecken bekannt ist.

Dieser Satz behält seine Gültigkeit für die Tierwelt der Tiefe. Auf dem Seegrund mit seinen überall ähnlichen Bedingungen aber bestimmen die Tierverbreitung in erster Linie nicht physikalische Verhältnisse, sondern vor allem Grenzwälle der Geologie.

Aus den vorangehenden Auseinandersetzungen ergab sich wiederholt, daß der Ursprung der Tiefenfauna des Vierwaldstätter-Sees kaum auf eine einheitliche Quelle zurückgeführt werden kann. Für einen großen Teil der Bewohner der dunklen Tiefe liegt die Herkunft klar auf der Hand; die Quelle, welche diese profunden Tiere lieferte, fließt heute noch weiter; sie heißt littoriale Fauna, Bewohnerschaft der sonnenbestrahlten und pflanzendurchwachsenen Ufer.

Aktives Hinabwandern oder passives Hinabsinken entrückte und entrückt immer noch die littoralen Geschöpfe ihrer ursprünglichen Heimat, dem Gestade des Sees. Die widerstandsfähigsten Auswanderer, die gerade

wegen ihrer Resistenzkraft weitverbreitete Kosmopoliten geworden sind, vermögen auch den fremden Bedingungen der Tiefsee zu trotzen; sie leben im Grundschlamm weiter und vermehren sich in der neuen Heimat. So bevölkert sich der dunkle Seeboden mit den Hydren und Planarien des Ufers, mit littoralen Borstenwürmern, Cyclopiden und Cypriden, mit weitverbreiteten Infusorien und Wurzelfüßern, sogar mit Larven von Köcherfliegen und Uferfliegen, kurz mit einer Gesellschaft, die das Seeufer belebt und anpassungsfähig Tümpel und Teiche, Brunnen und Gräben, ja langsam fließende Bäche und Ströme bevölkert. Manche dieser Ufertiere dringen bis in die größten Seetiefen vor, andere machen in ihrer nach unten gerichteten Fahrt früher Halt. Eine heute noch ununterbrochene Wanderung führt der Tiefenfauna immer frische Ankömmlinge, immer neue Elemente vom Ufer aus zu. Sie erstreckt sich über sämtliche Becken des Vierwaldstätter-Sees, über die seichte Bucht von Luzern so gut, wie über den tiefen Urnerarm, über den Alpnacher-See, wie über das Gersauer Becken und liefert dem Grundschlamm überall eine Bewohnerschaft von kosmopolitischem Anstrich.

Einige der littoralen Ankömmlinge mögen sich im Lauf der Generationen und unter dem Druck der neuen, fremden Umgebung verändert haben. Es entstanden vielleicht die frei im Schlamm steckenden Moostierchen (*Fredericella Duplessisi*), die Kümmerformen der Tiefseepisidien. So gilt Forels Ansicht vom recenten, littoralen Ursprung der Tiefenfauna der großen Süßwasserseen auch für einen guten Teil der profunden Tierwelt des Vierwaldstätter-Sees. *Forel* wird vielleicht auch Recht behalten mit der Annahme, daß den Seetiefen tierische Elemente aus unterirdischen Gewässern, aus Höhlen und Grotten zugewandert seien. Die Höhlenplanarie (*Planaria cavatica*), die blinden Asseln und Flohkrebse des Vierwaldstätter-

Sees zählen zu dieser Gruppe cavigoler Tiere. Für die augenlosen Krebse allerdings, die mit besonderer Regelmäßigkeit die kalten Quellen der Gebirge bewohnen, möchte ich aus mancherlei Gründen in letzter Linie glacialen Ursprung annehmen. Sie wären zugleich Höhlen- und Gletschertiere.

Neben den neuen Einwanderern aber vom Ufer und aus der Höhle bietet der Seegrund noch einer weit älteren, heute durch Zufluß sich nicht mehr erneuernden Bürgerschaft Obdach. Auch sie entstammt der Uferbevölkerung, aber derjenigen weit zurückliegender Zeiten. Heute verbreitet sich dieses alte Element der profunden Tierwelt über beschränkte Bezirke; seine Vertreter leben fast ausschließlich in den beträchtlichen Tiefen der subalpinen Süßwasserseen. Im Vierwaldstätter-See haben sie allerdings einstweilen die größten Tiefen nicht oder nur teilweise erreicht. Sie werden selten oder fehlen gerade da, wo man sie am ersten erwarten würde, im Tiefenschlamm des Gersauer-Beckens und des Urner-Sees. Sublakustrische Moränenwälle stellen sich ihrem Vormarsch als Hindernis entgegen. Andere Gewässer aber, der Genfer-See etwa, beherbergen diese eigentlichste und älteste Tiefenfauna in voller, vertikaler Ausdehnung.

Diese alte Bewohnerschaft der Seetiefen setzt sich aus mannigfaltigen Bestandteilen zusammen. Zu ihr zählen eine Reihe von charakteristischen Wurzelfüßern, die Vertreter der Cytheriden aus dem Stamme der Muschelkrebse, die blinden Asseln und Flohkrebse, mehrere Strudelwürmer, deren nächste Verwandte, wie die Angehörigen der Cytheriden, die nordischen Meere bevölkern, und wahrscheinlich auch einige Wassermilben und Borstenwürmer.

Penard zeigte zuerst, daß in den Tiefen der Schweizer-Seen eine besondere, in den flachen Gewässern und am Ufer sich nicht findende Rhizopodenfauna neben allgemein

verbreiteten, in den Grundschlamm hinabgesunkenen Arten des Littorals lebt. Von diesen an das tieflakustrische Medium gebundenen, niederen Organismen zählt auch der Vierwaldstätter-See eine stattliche Reihe. Leider lässt sich über die geographische Verbreitung dieser typischen Tiefen-Rhizopoden außerhalb der Schweiz einstweilen nur wenig oder nichts sagen.

Viel besser steht es um unsere Kenntnisse über die Cytheriden und Turbellarien der Tiefe. Die Cytheriden galten lange als eine rein marine Gruppe. Nach neuen Untersuchungen spannt sich ihr Verbreitungskreis weiter aus, über das Brackwasser der westlichen Ostsee, über die nordischen Süßwasserseen in Skandinavien, England, Schottland und Irland und über die Tiefenzone der Seen des Alpenrands in der Schweiz und in Österreich. An diesen weit auseinander gerissenen Wohnstätten leben die Cytheriden in nahe verwandten Formen, ja oft in identischen Arten. Sie suchen im Süßwasser ausschließlich die Tiefe auf und fehlen dem warmen Tümpel und Teich, dem lichtdurchstrahlten Ufer.

Auch die Strudelwürmer der Tiefe weisen nach Ursprung und Verwandtschaft auf die Meere des Nordens. Zwei von ihnen, *Monotus* und *Plagiostoma*, genießen in der Tiefenregion aller Seen die weiteste Verbreitung. Seltener und nur sporadisch zerstreut leben sie etwa auch in Tümpeln, Lachen und langsam fließenden Gewässern. *Monotus* steigt empor in den hochalpinen Gletschersee. Auf den Grund des Genfer-Sees dagegen beschränkt sich *Macrorhynchus lemani*, auf die Tiefe des Neuenburger-Sees der jüngst von Fuhrmann entdeckte *Hyporhynchus neocomensis*. Beide stellen sich als einzige Vertreter rein mariner Gattungen im Süßwasser dar.

Unter den Hydrachniden mag der nordische *Hygro-bates albinus* und *Lebertia tau-insignita* der alt-profunden

Fauna angehören. Ihren Tummelplatz bildet vor allem der tiefe Seegrund; selten fristet die letzgenannte Milbe in seichten Gewässern der Ebene und am Ufer ihr Leben; erst im Schmelzwasser der Hochalpen wird sie mit ihren nächsten Verwandten wieder häufig.

Den Seegrund, die eisigen Bergquellen, die niedrig temperierten, subterraren Wasseradern charakterisieren die blinden Asseln und Flohkrebse. Auch sie stellen sich wohl zur echten Tiefenfauna mit nordisch-glacialen Beziehungen. Ähnliches gilt vielleicht für einige Borstenwürmer.

Alle die genannten Faunen-Elemente verbinden sich durch eine Reihe gemeinsamer Eigenschaften des Vorkommens, der Verbreitung und der Biologie. Alle sind stenotherme, an tiefe, eisige Temperaturen gebundene Bewohner des kalten Wassers. Sie bevölkern die Tiefsee und fehlen heute ganz oder fast ganz dem warmen Ufersaum. Alle breiten sich weit und vorherrschend nach Norden aus; viele suchen ihre nächsten Verwandten in den nordischen Meeren; manche haben eine zweite Heimat am Gletscherrand der Hochalpen, im Schmelzwassersee, im Eistümpel, in der Bergquelle gefunden.

Die Einwanderung dieser echten, heute am Ufer fehlenden Tiefenbewohner in den Seegrund muß nach der Vergangenheit zurückdatieren. Gleichzeitig aber spricht das Vorkommen derselben Tierformen in den Tiefen aller Seen für einstigen gemeinsamen Ursprung der profunden Fauna.

Rhizopoden und Cytheriden, Turbellarien und augenlose Krebse, Hydrachniden und Borstenwürmer der Tiefe aller Seen müssen auf demselben Weg eingewandert sein. Mag sich der betretene Pfad für einzelne Tiergruppen kaum noch nachweisen lassen, so liegt er dafür bei anderen Abteilungen klarer vor den Augen. Die mannigfaltige

Zusammensetzung der Tiefenfauna gerade erlaubt uns Schlüsse über den Ursprung ihrer Gesamtheit.

Die gemeinschaftliche Quelle aber zur ersten Besiedelung der Seetiefen nach dem Rückgang der großen Eismassen möchte ich zunächst in der Fauna suchen, die zur Zeit der letzten weiten Vergletscherung die flachen, kalten Gewässer der vom Eis freigebliebenen Teile des mitteleuropäischen Flachlandes belebte. Zu diesen Glacialtieren gesellten sich gegen den Schluß der Eiszeit, als gewaltige Ströme von Schmelzwasser die Meere weithin aussüßten, marine, nordische Zuwanderer. Das reiche System von Lagunen, Kanälen, Seen, Wasserstraßen mag ihnen stufenweises Vordringen vom Salzwasser in das süße Element gestattet und gleichzeitig die Bahn zu allmählichem Vormarsch in das Herz des Binnenlandes geöffnet haben. Damals traten wohl die heute in die Seetiefen verbannten Strudelwürmer und Muschelkrebse ihre Reise aus der Meerheimat an, begleitet von den wandernden Salmoniden, den nun stabil gewordenen Felchen, Forellen und Saiblingen und dem kräftigen, wanderlustig gebliebenen Lachs.

Wie nach *Lovén* und, um Neuere zu nennen, nach *Wesenberg, Samter* und *Weltner* die Seebecken des Nordens, von Skandinavien, Norddeutschland und Rußland im Anschluß an die Eiszeit marine Organismen aufnahmen, so existieren auch in den Seen des Alpenfußes ursprünglich dem Meer entstammende Glacialrelikte weiter. Nicht Relikte allerdings im Sinne *Pavesis*, als Bewohner abgetrennter, zu Seen gewordener Meeresarme.

So lebte wohl gegen Ende der Glacialzeit im flachen Schmelzwasser eine stenotherme, an tiefe Temperaturen gebundene Mischfauna, zusammengesetzt aus Süßwassertieren, die sich am Eisrand widerstandsfähig gehalten hatten und aus marinen Zuwanderern. Diese Tierwelt

folgte den rückweichenden Eismassen nach Norden, sie stieg mit den Gletschern hinauf in die Gebirge, sie sank in die große und kalte Tiefe der Seen und flüchtete sich in das eisige Wasser der Höhlen, um dort wohl erst das Augenlicht einzubüßen.

Vier Refugien öffneten sich, wie schon früher ausgeführt wurde, bei uns den Trümmern der glacialen und postglacialen Mischfauna, als sich das bewohnte Medium allmählich durchwärmte: der schäumende Bergbach, der Hochalpensee, in den noch heute der Gletscher abtropft, die unterirdische Wasserader und die kalte Tiefe der großen subalpinen Seebecken.

Manche der glacialen und marinischen Tiere verschwanden allmählich ganz aus dem Flachwasser und wurden reine Tiefenbewohner; andere hielten sich anpassungsfähig noch da und dort am Ufer, ja im Teich und Tümpel. Gerade ihr so sporadisches Vorkommen im Wasser der Oberfläche kennzeichnet sie in der Jetzzeit als Fremdlinge, als zerstreut lebende Überreste der Fauna einer vergangenen Epoche. Einige besonders anpassungsfähige marin-glaciale Tierrelikte gehören noch heute in weiter Verbreitung dem Plankton oder sogar der Uferfauna unserer Seen an.

Die Tiefenfauna des Vierwaldstätter-Sees, und damit der übrigen subalpinen Wasserbecken, fließt aus zwei Hauptquellen zusammen, stellt sich dar als das Resultat von zwei verschiedenen großen Einwanderungen. Sie entstammt zum Teil der Jetzzeit und bezieht ihre Elemente heute noch vom reichbelebten Littoral; und zugleich lebt in ihr das Andenken an die geologische Vergangenheit, an allgemeine Eisbedeckung und Vergletscherung weiter. In letzter Linie aber entspringen beide Quellen der Tiefenfauna, die der Gegenwart und die der Vergangenheit, am sonnigen Ufer.

Wenn die postglaciale Epoche uns die nordischen Salmoniden schenkte und wenn auch die freischwimmende Organismenwelt des Süßwassers, nach dem Ergebnis der Untersuchungen von *Sven Ekman* in Skandinavien, von *Wesenberg* in Dänemark und von *G. Burckhardt* in der Schweiz, im Anschluß an allgemeine Eisbedeckung aus dem Norden in die Alpenseen einzog, so spricht nicht minder die Tiefenfauna derselben Seebecken für die biologische Kraft der Eiszeit. Ein geologisches Ereignis, das scheinbar das Leben vernichtete, legte zugleich den Grund zu Neubelebung und frischer Blüte.



Ergebnisse fünfundzwanzigjähriger Erdbebenbeobachtungen in der Schweiz

1880—1904 *)

von Prof. Dr. J. FRÜH

Letzten Freitag, den 8. September a. c., 2 Uhr 45 Minuten nachmittags wurden in weniger als einer Minute in Kalabrien mehrere hundert Menschen durch ein Dislokationsbeben getötet, Tausende verwundet und viel mal Zehntausende ihres Obdaches beraubt. Es erinnert das Unglück an das Basler Erdbeben vom 18. Oktober 1356. Glücklicherweise ist das Phänomen seither bei uns nie mehr so heftig aufgetreten. Doch wurden den 8. September 1601 Unterwalden, Luzern und andere Orte von einer so kräftigen Erschütterung heimgesucht, daß drei Häuser und eine Kapelle einstürzten, bei Arth und Immensee Schiffe auf das Ufer geschleudert wurden, das Wasser im Luzerner See sich zu „einem großen Hügel“ erhob, das Reußbett zeitweise ganz trocken lag und das Brunnenbecken auf dem hiesigen Barfüßerplatz sich links und rechts entleerte. Kein Wunder, wenn die Chronisten gerne der „Erdbidem“ gedenken.

Ratsherr Peter Merian in Basel war der erste, welcher 1834 das seismische Phänomen kritisch zu untersuchen begann, und nach dem Vorbilde von K. E. A. von Hoff 1840, A. Perrey 1841, setzte G. H. O. Volger 1856—58

*) Résumé eines freien, durch Karten und Zeichnungen illustrierten Vortrages.

dasselbe speziell für die Schweiz in verdienstvoller Weise fort. Mit der Entwicklung der tektonischen Geologie wurde der Erscheinung von dieser Seite vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt. Insbesondere vertraten die Alpengeologen Süeß und Heim die Anschauung, daß die meisten Erdbeben auf fortdauernde Gleichgewichtsstörungen in der Erdrinde zurückzuführen seien. Forel, Forster, Hagenbach und Heim regten 1878 unsere Erdbebenkommission an, nebst der 1879 in Italien verstaatlichten Institution und der gleichzeitig in Japan entstandenen, die älteste dieser Art. Man stellte sich drei Hauptaufgaben: Sammlung historischer Daten, Untersuchung rezenter Berichte, Errichtung von mit Instrumenten versehenen Erdbebenstationen. Instruktionen und Fragebogen vermittelten den Kontakt zwischen den Naturforschern und dem Publikum.

Noch ist eine ausführliche Darstellung der gewonnenen Resultate nicht abgeschlossen. Fragen wir uns heute, was ist im wesentlichen erreicht und was ist ferner zu tun?

Mindestens 5800 Berichte sind zu Monographieen und Jahresberichten verarbeitet und teils in den Jahrbüchern des tellurischen Observatoriums in Bern, teils (seit 1888) in den Annalen der meteorologischen Zentralanstalt in Zürich veröffentlicht worden, zusammen einen Quartband von 425 Seiten mit 12 Tafeln darstellend. Dabei sind endogene, schweizerische Erschütterungen von zu uns verpflanzten scharf geschieden worden. Die von Forel 1879 vorgeschlagene Intensitätsskala, später mit derjenigen von Rossi vereinigt, ist seit 1883 angewendet worden.

In den 25 Jahren 1880 — 1904 kamen, wie wir provisorisch mitteilen können, 822 zeitlich getrennte und von mindestens zwei Personen beobachtete Erschütterungen zur Anzeige, d. h. durchschnittlich 32 — 33 per Jahr, welche zum Teil 195 Erdbeben angehören, wovon

17 externe, mit andern Worten, jährlich 6—7 schweizerische Erdbeben.

Dabei zeigt sich das fast allgemein erkannte Ergebnis, daß die Erdstöße und Erdbeben in der Nacht häufiger als am Tag, im Winter häufiger als im Sommer wahrgenommen werden, ein Resultat, das wir vorläufig nicht mehr als eine statistische, keineswegs als eine absolute Tatsache aufstellen möchten in Anbetracht des Umstandes, daß Personen in Ruhelage für seismische Beobachtungen viel geeigneter sind als während einer Tätigkeit.

Was die Intensität von Beben betrifft, ist zunächst zu konstatieren, daß die Größe des Schüttergebietes keineswegs im geraden Verhältnis zu derselben steht.

Beispielsweise wurden beim Berner Erdbeben vom 27. Januar 1881 innerhalb der Stadt mehr als 100 Kamine abgeworfen, bei einem Areal von 20,000 Km²; in Freiburg fielen i. J. 1880 Kamine und Ziegel bei einem totalen Schüttergebiet von 3770 Km². Um Grandson und St-Blaise am Neuenburger See erfolgten wiederholt sehr heftige Bewegungen bei Arealen von 1880—90 Km².

Im übrigen sind sehr selten Gebäude beschädigt worden, dank der soliden Konstruktion derselben, insbesondere der hölzernen Gebäude der Bergregion. Vielfach sind Risse in Mauern und im Erdboden, Lawinen, Bergfälle konstatiert worden, das Anschlagen von Kirchenglocken, allgemeine Panik der Bewohner. Quellen werden getrübt, versiegen oder treten an früher unbekannten Orten zu Tage. Wiederholt beobachtete man lokale Wellenbildung auf Seen bei ganz ruhiger Luft, bei Grandson am 22. Februar 1898 bis zu 55 cm. Höhe. Eisdecken springen, Leute im Freien haben viel Mal Erdbewegungen konstatiert bei verschiedenster Form der Tätigkeit oder des Standortes. Kleine Bewegungen von Bäumen, Telegraphenstangen, Blumenstöcken dürften auf eine optische

Täuschung bei feiner Eigenbewegung zurückzuführen sein. Bei St-Blaise hielt während eines Erdbebens ein Pferd mit dem Wagen auf der Straße plötzlich an, um gleich wieder anzuziehen, was an ganz analoge Empfindungen bei Seebeben erinnert.

Frägt man nach den wahrscheinlichen Ursachen, durch welche bei uns Erdbeben ausgelöst werden, so sind als solche zu nennen:

1. Explosion von *Minen*, z. B. wurde durch eine Sprengung in Villeneuve mittelst 1200 Kilogramm Pulver ein Areal von zirka 70 Km² erschüttert, die Explosion eines Hektoliters Petrol im Tunnel zu Chexbres am Genfer See als Beben empfunden, etc. Desgleichen die Detonation eines *Meteors* bei Palézieux, 30. November 1901.
2. *Senkungen von Deltas an Seen* (Vevey, Riesbach).
3. *Einstürze* in höhlenreichen Gegenden (Val de Ruz, Schuls, Simmental)? Allein die in 1:250,000 kartierten Areale der 168 schweizerischen Erdbeben zeigen keineswegs eine Prävalenz in den Kalkgebieten, dagegen dürften sie deutlich genug sprechen für das Vorherrschen von
4. *Dislokationsbeben* im Zusammenhang mit der Gebirgsbildung. Nicht nur bestätigt unsere Karte die von O. Volger erkannten *habituellen Stoßgebiete*, sondern lehrt für 1880—1904 drei besonders häufig erschütterte Gebiete:
 - a) Vom Veltlin durch Bünden ins St. Gallische Rheintal.
 - b) Unter Wallis == Genfer See, im Winkel zwischen Alpen und Jura.
 - c) Gebiet um die drei Jura Seen, speziell Grandson-St-Blaise.

Dabei sind die Schüttergebiete oft klein, aber gut begrenzt. Etwa 40 % derselben umfassen blos unter 5 bis 100 Quadratkilometer und 30 von 1000 Quadratkilometer an aufwärts bis 80,000 Quadratkilometer.

Am 22. Mai 1901 dürfte in Basel eine tektonische Linie in Tätigkeit gewesen sein, indem gelegentlich eines Oberelsässer Erdbebens die 60 Berichte aus dem Gebiet Missionsstraße = Südende der Wettsteinbrücke geliefert wurden.

Für eine kritische Untersuchung des Mechanismus der Erdbeben sind exakte — auf Sekunden genaue — Angaben der Zeit des Eintrittes und objektiver Stoßrichtungen eine absolute Notwendigkeit. In den seltensten Fällen verfügt man aus naheliegenden Gründen über brauchbare Daten. Deshalb kann heute eine vielfach gewonnene Anschauung, daß Erdbeben über weite Flächen gleichzeitig primär eintreten, statt von einem Epizentrum aus, noch nicht begründet werden. Erst zuverlässige Instrumente einfachster Form, die über das Land verteilt wären, können uns hierin und noch für so viele Fragen weiter bringen.

Die dritte Aufgabe der Kommission bleibt immer noch Wunsch. Und doch sind und waren Seismoscope oder Seismometer in Genf, Morges, Lausanne, Büren a./A., Bern und Basel in Tätigkeit. An Anstrengungen aller Art fehlte es nicht. Aber die Zahl der Fälle, wo am gleichen Ort Personen Erschütterungen gut beachteten, während gleichzeitig Instrumente indifferent blieben, ist in allen Ländern eine zu große. Die Horizontalpendel und verwandte komplizierte und teure Instrumente zeigen wohl Fernbeben, auf Erdsehnen elastisch verpflanzte an, aber meistens keine Nahebeben. Es ist ganz gut denkbar, daß mitten unter vielen Beobachtungspunkten ein an und für sich trefflich konstruierter Apparat aus verschiedenen

strukturellen Dispositionen des Bodens einmal nicht reagiert; doch sollten das Ausnahmen sein. Noch fehlt ein einfaches Instrument, das ähnlich wie meteorologische Instrumente, von irgend einem Nicht-Physiker mit Erfolg beobachtet werden könnte. Es muß daher unser Streben dahin gehen, die bisherigen Erfahrungen als Korrigens zu benützen und dann die zur Zeit immer noch fast fehlende instrumentelle Seite auszubauen, um die Methoden des seismischen Dienstes erheblich zu vervollkommen.

Wir ergreifen gerne die Gelegenheit, von dieser Stelle aus zur Unterstützung unserer Bestrebungen einen warmen Appell zu richten an die gesamte schweizerische naturforschende Gesellschaft, an die einzelnen Sektionen zur eventuellen Uebernahme einer einfacheren Erdbebenstation, an die Presse und das gesamte Schweizervolk, denen wir zugleich herzlich danken für die freundliche Mitwirkung mit der freudigen Genugtuung, daß die vielen Tausende von Berichten zugleich einen hohen Kulturgrad, eine vielfach treffliche Beobachtungsgabe dokumentieren.



Projet de Bureau météorologique central européen

par M. RENÉ DE SAUSSURE.

A mesure que la météorologie se développe, la nécessité de services permanents internationaux s'impose davantage. La question de la fondation d'un Institut météorologique international a été discutée pour la première fois à la Conférence météorologique de Leipzig en 1872, puis au Congrès de Rome.

A cette époque le „Comité international de météorologie“ existait déjà et à la Conférence météorologique de Munich (1891), ce Comité fut chargé d'étudier la question d'un Bureau international dont les attributions auraient été les suivantes :

- 1) Imprimer et distribuer les procès-verbaux des Conférences internationales.
- 2) Entretenir une correspondance continue avec les différents Instituts météorologiques.
- 3) Préparer les Programmes des Conférences et Congrès météorologiques.

Ce Bureau devait être placé sous le contrôle du Comité international, qui, lui, ne se réunit qu'à des époques déterminées, tous les deux ou trois ans.

Mais à la réunion d'Upsal en 1894, le Comité international émet l'avis que „la constitution d'un Bureau international ne lui paraît pas réalisable“.

Le rapporteur, M. H. Hildebrand Hildebrandson, fait remarquer qu'un tel Bureau ne devrait en aucune manière

diriger les travaux des Instituts ou des Observatoires des différents pays ou y intervenir; d'un autre côté, que ce Bureau ne doit pas être seulement pour les affaires administratives.

C'est principalement à cause de la contradiction qui semble exister entre ces deux points de vue, que le projet du Bureau international fût abandonné ou tout au moins ajourné indéfiniment, car ce projet ne figure pas à l'ordre du jour de la „Conférence météorologique internationale“ qui a lieu en ce moment même à Innsbruck. Mais il y avait aussi une autre raison: ce projet était alors et est encore aujourd'hui prématuré.

Avant de songer à étendre et coordonner les services météorologiques sur toute la surface du globe terrestre, il faut les coordonner sur la surface d'un continent, ou tout au moins d'une région suffisamment grande pour l'étude des météores, et suffisamment petite pour que les résultats des observations puissent être rassemblés, une ou plusieurs fois par jour, dans un Bureau central unique.

Le service météorologique des Etats-Unis de l'Amérique du Nord nous offre le meilleur exemple de ce genre de service. Le „Weather-Bureau“ de Washington reçoit en effet trois fois par jour les rapports des bureaux centraux de tous les Etats de l'Union et ces rapports sont coordonnés sur une seule carte du temps. Il y a ainsi une unité parfaite dans les méthodes de travail, les unités de mesure, l'heure des observations et l'envoi des dépêches météorologiques.

En Europe, chaque Etat a son organisation indépendante; mais comme les pays européens ont une superficie trop petite pour l'étude scientifique des météores et la prévision du temps, chaque Etat doit faire la carte du temps pour toute l'Europe, d'après les renseignements qui lui sont fournis par les services étrangers. Il n'y a donc

aucune unité, ni dans les méthodes de travail, ni dans les unités de mesure, ni dans les heures d'observations, ni dans la transmission des dépêches, malgré tous les arrangements internationaux déjà faits et les nombreux voeux émis par le Comité international de météorologie.

Le seul moyen de remédier à cet état de choses, dans la mesure du possible, est de fonder un *Bureau météorologique européen* chargé d'un travail *administratif et technique* parfaitement défini, de sorte que ce Bureau central ne dirigerait en aucune manière les travaux des Instituts des différents pays, mais serait au contraire placé sous la dépendance d'un *Comité météorologique européen*, composé des Directeurs de ces Instituts.

Le Bureau central européen serait donc chargé :

- 1^o) Au point de vue *administratif*, de préparer et imprimer les programmes, procès-verbaux et rapports des Conférences météorologiques européennes et des séances annuelles du Comité européen.
- 2^o) Au point de vue *technique*, de faire une ou plusieurs fois par jour la carte du temps de l'Europe d'après les rapports télégraphiques des différents Bureaux nationaux et, cette carte une fois faite, de la réexpédier télégraphiquement aux dits Bureaux nationaux.
- 3^o) On pourrait adjoindre éventuellement au Bureau central un *laboratoire* destiné au contrôle et à la vérification des instruments d'observation destinés aux différentes stations météorologiques de l'Europe.

Il est facile de voir quels seraient les avantages d'un tel Bureau central pour les différents services météorologiques européens et pour la science météorologique en général.

Tout d'abord l'indépendance des Instituts nationaux est respectée; ceux-ci peuvent conserver leurs unités de

mesure et leurs méthodes de travail. La seule question que le Comité météorologique européen aura quelque difficulté à résoudre est celle de l'unification des heures normales d'observation et de transmission des dépêches. Il serait très désirable, en effet, d'arriver à la simultanéité des observations dans toute l'Europe ainsi qu'à un arrangement définitif avec les différentes administrations des télégraphes.

Le travail des bureaux nationaux sera considérablement diminué par l'existence d'un Bureau central, car ces Bureaux n'auront plus à faire eux-mêmes la carte du temps et ils n'auront plus à transmettre leur rapport à tous les autres Bureaux nationaux, mais seulement au Bureau central. Cette diminution de travail permettrait à chaque Bureau national d'envoyer un ou deux dessinateurs ou commis au Bureau européen et de constituer ainsi presque tout le personnel du Bureau central sans augmentation de frais.

D'autre part, le service des dépêches étant simplifié, il sera possible de faire la carte du temps deux ou trois fois par jour au lieu d'une fois.

Enfin, le Bureau central pourra faire des cartes beaucoup plus complètes à cause de la centralisation des renseignements. L'échelle des cartes sera agrandie et l'on développera surtout les méthodes de représentation graphique des météores, ces méthodes ayant l'avantage d'être comprises dans toutes les langues et d'offrir immédiatement à l'œil la vue d'ensemble des phénomènes.

A ce propos, je ferai remarquer que les résultats numériques fournis par les observatoires météorologiques (hauteur du baromètre ou du thermomètre, direction et force du vent, etc. . .) sont bons à conserver comme documents dans les archives des bureaux ou à être publiés dans les journaux locaux; mais il n'est pas nécessaire

d'indiquer sur la carte du temps ces données numériques locales, ni même d'indiquer la position des observatoires. La carte générale ne doit contenir que les tracés graphiques qui résultent des données numériques, tels par exemple que les tracés des isobares; des isothermes, etc.

Dans les cartes du temps actuelles, on indique encore la direction du vent aux différents postes d'observation par une flèche. Or ces flèches ne représentent que des données numériques locales et ne donnent aucune idée du mouvement général de l'atmosphère au moment des observations.

Ce qu'il faut représenter sur la carte, ce n'est pas seulement la direction de la girouette de tel ou tel observatoire, ce sont les *lignes de flux* de l'atmosphère, c'est-à-dire des lignes faisant connaître (par leur tangente) la direction du vent en un point quelconque de la carte. Le tracé quotidien de ces lignes serait très utile pour l'étude empirique des lois de formation et de propagation des tempêtes, et par suite pour la prévision du temps.

Il faut donc résoudre le problème suivant d'interpolation :

Connaissant la direction de la girouette en un certain nombre de stations, déterminer la direction du vent en un point quelconque de la carte. J'ai indiqué il y a quelques années une méthode géométrique qui permet de résoudre ce problème *). Il est donc superflu d'y revenir ici, mais M. Jean Bertrand, membre de la Société belge d'Astronomie et de Météorologie, ayant publié cette année un compte-rendu **) très complet de cette méthode avec plusieurs dessins et cartes à l'appui, je lui ai demandé la

*) Voir Archives des Sc. Phys. et Nat. Années 1898 et suivantes.

**) Voir bulletin de la Soc. belge d'Astronomie et de Météorologie, 1905.

permission de reproduire une de ces cartes ici (voir planches I et II). Si l'on compare les deux planches, on voit que les centres cycloniques et anti-cycloniques sont déterminés graphiquement et correspondent bien aux points où le baromètre est minimum ou maximum.

Le Bureau central européen serait tout désigné pour faire tous les jours le graphique complet des mouvements de l'atmosphère sur tout le continent. Ce graphique devrait être fait sur une carte spéciale, appelée *Carte du Vent*, qui contiendrait deux séries de lignes: les lignes de flux de l'atmosphère et les lignes d'égale force du vent.

Mais ici se présente une difficulté:

Comment le Bureau central communiquera-t-il promptement la carte du temps aux différents Bureaux de Paris, Londres, Berlin, etc.?

On ne peut songer à envoyer la carte par la poste; d'autre part, si l'on emploie la méthode en usage actuellement aux Etats-Unis, qui consiste à transformer la carte du temps en chiffres conventionnels et à télégraphier ces chiffres aux Bureaux des différents Etats, on perd tout l'avantage des méthodes graphiques, puisque ces méthodes ont précisément pour but de remplacer des données isolées par des traits continus.

La méthode inventée récemment par M. le Prof. A. Korn, de l'Université de Munich, pour reproduire télégraphiquement à une distance quelconque n'importe quel dessin ou photographie est toute indiquée pour résoudre cette difficulté.

L'appareil transmetteur de M. Korn se compose d'un cylindre transparent qui se visse sur son axe et qui porte le cliché photographique à reproduire. Un pinceau de lumière fixe et constant traverse normalement la surface du cylindre et éclaire un morceau de sélénium placé à l'intérieur. Comme le pas de vis du cylindre est

très petit, les différents points du cliché sont traversés successivement par le pinceau lumineux qui est ainsi d'autant plus éteint que le point considéré est plus opaque.

Ces variations lumineuses se traduisent sur le sélénium par des variations de résistance électrique qui produisent des variations du courant électrique envoyé à l'appareil récepteur. Celui-ci se compose d'un tube à vide excité par un courant à haute tension, et l'intensité lumineuse de ce tube varie avec l'intensité du courant provenant de l'appareil transmetteur. Le tube à vide est recouvert de cire à cacheter sur toute sa surface, excepté sur un point par où on laisse sortir un pinceau de lumière qui tombe normalement sur un cylindre recouvert d'une pellicule sensible. A mesure que ce cylindre se visse sur lui-même, la pellicule est impressionnée plus ou moins selon l'intensité du pinceau de lumière, de sorte qu'on obtient finalement un cliché identique à celui de l'appareil transmetteur. Un cliché de 9×16 cm peut être reproduit en 10 minutes à plusieurs milliers de kilomètres de distance.

On arrivera certainement à diminuer encore le temps de reproduction et comme on peut réunir plusieurs récepteurs à un même transmetteur, le Bureau central européen pourra en quelques minutes télégraphier la carte du temps simultanément à tous les Bureaux nationaux et cela quelque compliquée que soit la carte.

Mais quel que soit le procédé adopté *) pour transmettre télégraphiquement la carte du Bureau central aux

*) Il existe en effet d'autres méthodes pour reproduire un dessin par le télégraphe. Si la carte météorologique ne contient que des lignes (comme les isobares, les lignes de flux, etc), on pourra la reproduire au moyen de l'appareil connu sous le nom de *télautographe*; si au contraire la carte contient des régions teintées, l'appareil de M. Korn sera préférable.

différents Bureaux nationaux, il sera toujours très difficile d'obtenir en Europe que les principales lignes télégraphiques soient mises quotidiennement à des heures fixes à la disposition des Services météorologiques, ainsi que cela a lieu aux Etats-Unis. La création d'un Bureau central permettrait de résoudre d'un seul coup toutes les difficultés concernant la transmission des dépêches météorologiques, car il ne serait pas très coûteux de relier les Bureaux nationaux au Bureau central par des fils spéciaux, puisque les frais de dépêches seraient supprimés.

Enfin le Bureau européen serait aussi chargé du travail de récapitulation, consistant à revoir avec soin et compléter les cartes journalières du temps qui sont faites un peu hâtivement et à publier un atlas annuel contenant les cartes correspondant à chaque jour de l'année écoulée.

* * *

Tels sont, brièvement résumés, les avantages que procurerait la création d'un Bureau météorologique central-européen, avantages qui faciliteraient l'étude théorique des météores et permettraient de rendre de grands services à l'agriculture par la prévision plus certaine du temps. Quant à l'emplacement de ce Bureau central, la Suisse nous paraît indiquée pour le recevoir, tant par sa position géographique au centre de l'Europe que par sa qualité d'Etat neutre.

En terminant, j'ai l'honneur de proposer à la Société helvétique des Sciences Naturelles de prendre les résolutions suivantes :

1. La création d'un Bureau météorologique central-européen est désirable.
2. Le meilleur moyen d'arriver à la création d'un tel Bureau lui paraît être la réunion d'une Conférence

météorologique à laquelle prendraient part les directeurs des différents Instituts météorologiques nationaux de l'Europe.*)

3. Le comité central est chargé de transmettre ces résolutions à la Commission météorologique fédérale et éventuellement d'appuyer toute démarche que cette dernière pourrait faire auprès du Conseil Fédéral dans le but de provoquer la réunion de la Conférence proposée.



*) Ou les membres européens du Comité international de météorologie.



Planche 1: Carte de la pression atmosphérique.

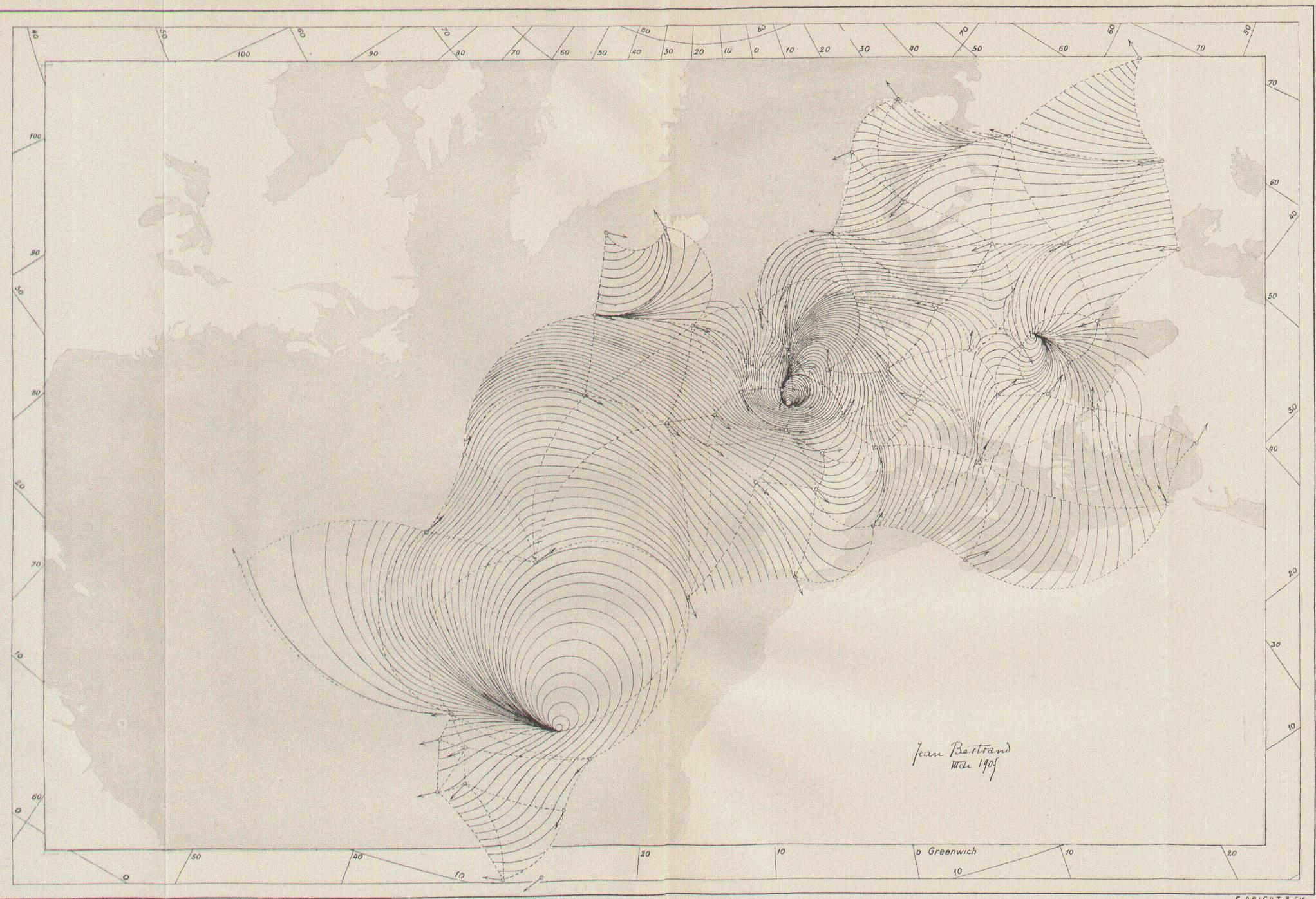


Planche II: Carte du Vent.