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: 87 (1904)

Rubrik: Vorträge gehalten in den zwei allgemeinen Versammlungen und Vorträge gehalten in den Sektionssitzungen, laut Beschluss des Zentralkomitees in extenso aufgenommen

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: 13.04.2026

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

Vorträge,

gehalten in den

zwei allgemeinen Versammlungen

und

Vorträge,

gehalten in den

Sektionssitzungen,

laut Beschluss des Zentralkomitees in extenso

aufgenommen.

Leere Seite
Blank page
Page vide

La Biométrie et les méthodes de statistique appliquées à la Botanique.

Par R. CHODAT.

Un mathématicien de mes amis me disait dernièrement que ce qui l'avait détourné de la chimie c'était son manque de précision. Qu'aurait-il pensé de la biologie? Le chimiste à son tour considérera la biologie comme une branche inférieure des sciences; peu orienté dans ce domaine, il n'y verra qu'une longue, une interminable énumération des objets et des phénomènes. Il ne saura y reconnaître de lois générales et précises. Il ne verra dans la biologie qu'un ensemble de sciences descriptives, un domaine où le hasard et la fantaisie règnent en maîtres, mais où l'on ne saurait découvrir que limites imprécises et mouvantes.

Inattentif aux choses de l'art, le biologiste dénie peut-être à la musique, à la peinture, à la psychologie et à la morale tout élément scientifique. Il ne sait démêler dans une symphonie de Beethoven les lois de l'harmonie; étranger encore peut-être au domaine des sciences morales, il essaie de tout ramener à ses conceptions de la vie rudimentaire. Il ne reconnaît aucune réalité objective aux phénomènes qu'il ne sait pas encore analyser.

La vérité est que la science n'est pas encore assez avancée, le sera-t-elle jamais, pour pouvoir ramener, résoudre le phénomène chimique à une pure question de

physique. La matière, telle que nous la signalent nos sens, est quelque chose d'irréductible, nous apparaissant sous divers aspects. De même, toute donnée biologique ne se laisse pas simplement analyser, décomposer en facteurs chimico-physiques. Il y a ainsi, dans toutes les sciences, même dans les plus avancées et les plus étudiées, des données actuellement irréductibles. Ces dernières ne comportent donc aucune explication. Ce sont des constantes dont nous devons tenir compte, mais qui échappent à nos investigations. Et cependant, c'est faire de la science que d'étudier ces divers aspects de la matière, d'en connaître les rapports mutuels, de trouver la loi de leurs combinaisons. Ainsi la chimie est en quelque sorte encore une science descriptive. Mais nous pouvons nous élever par la chimie générale, par une sorte d'abstraction, à des conceptions plus vastes. Négligeant pour un moment les propriétés particulières aux éléments, nous trouvons les lois de la physique moléculaire. Tout phénomène chimique, tout changement d'équilibre dans un système chimique se laisse ramener à un problème d'énergétique. Edifié comme il l'est actuellement, ce magnifique chapitre de la science contemporaine*), la chimie physique ou chimie générale, ne serait pas si les efforts constants des chimistes descripteurs et des expérimentateurs ne nous avaient fourni les matériaux pour une généralisation plus haute.

En est-il de même de la biologie? L'examen de la cellule, ce complexe admirable, ce microcosme merveilleux dans lequel non seulement les unités hiérarchiques gravitent en un système ordonné, tel un système solaire, mais passent constamment d'un équilibre donné à un

*) Oswald, Allgemeine Chemie.

autre équilibre selon l'ordre du développement ontogénique, cet examen superficiel, dis-je, pourrait nous faire craindre qu'une généralisation analogue ne soit pas possible en biologie.

En effet la cellule est déjà, même chez les protophytes et les protozoaires, douée de tant de propriétés diverses, susceptible d'évolution et d'adaptations si compliquées, qu'elle nous apparaît comme animée par une conscience au moins rudimentaire et se manifeste à nous comme un être muni d'un élément de liberté. Et cependant combien parmi les fonctions les plus délicates de la cellule ont été déja ramenées à certaines structures définies et à des conditions physico-chimiques déterminées.

En montrant que dans le plasma se passent des réactions qui peuvent être exprimées en un langage physique et mathématique, vous n'avez pas écarté le mystère, me dira-t-on ; vous n'avez pas expliqué la structure particulière de ce milieu ni des éléments qui, avec lui, composent la cellule vivante.

Sans doute l'objection est forte ; mais un semblable reproche n'a pas arrêté le chimiste dans ses recherches lorsqu'on lui opposait de n'avoir pas su expliquer la raison de l'existence du grand nombre des corps simples. Il a laissé aux alchimistes la poursuite d'une utopie. Il a pensé que les grands problèmes ne peuvent être abordés que lorsque les éléments en sont résolus. Laissons donc les alchimistes de la biologie s'essayer en vain à déchirer le voile épais qui recouvre le problème de l'origine de la vie et des espèces pour nous attacher loyalement et consciencieusement à analyser les problèmes du vivant tels qu'ils se présentent à nous actuellement. L'exemple suivant illustrera ma pensée.

Parmi les substances qui jouent un grand rôle dans

l'économie de la cellule sont les ferments*). Extraits de de la cellule vivante, on les connaît en solution ou à l'état solide. Sous cette dernière forme, on a pu parfois les stériliser, c.-à-.d. les chauffer à une température telle qu'aucune particule organisée ne pourrait subsister. Cependant il est encore actuellement des vitalistes qui considèrent les ferments comme des fractions de plasma, sorte de biophores auxquels seraient attachées, en vertu de leur origine, certaines particularités de la matière vivante.

Il est vrai qu'actuellement encore nous ne connaissons pas la nature chimique des ferments. Sont-ils toujours des albuminoïdes? Ont-ils entre eux une parenté de composition? Problèmes encore à résoudre. Mais nous en connaissons les propriétés chimiques. Les plus connus sont ceux de ces corps qui activent l'eau dans les phénomènes d'hydrolyse, les ferments hydrolysants.

Avec Bach**), nous avons montré que, dans les ferments oxydants, sont des péroxydes organiques activés par un catalysateur, la péroxydase. Nous avons mis en évidence les péroxydes à l'intérieur de la cellule vivante. Enfin, et c'est ce qui, dans ce moment, doit nous intéresser, nous avons réussi à montrer que dans certaines réactions on peut établir un rapport exact et constant entre les masses du péroxyde, du corps qui l'active et du produit d'oxydation. Ces ferments se comportent donc comme des corps chimiquement définis. On peut établir leur équivalent et par conséquent ce qu'ils avaient de mystérieux diminue d'autant.

---

*) Voir Oppenheimer, Die Fermente, 1904.

**) Chodat et Bach, Berichte der chem. Gesellschaft. Berlin, 1902—1904.

En chimie moderne, on veut non seulement connaître le point de départ d'une réaction et son terme, mais classifier les réactions d'après leur marche. Il était donc extrêmement intéressant de connaître la vitesse de réaction des ferments, ces dérivés du protoplasma vivant. On pourrait ainsi déterminer si, dans leur mode d'action, ces corps particuliers suivent les lois générales des catalysateurs ou s'ils effectuent les réactions qu'ils accélèrent selon un mode propre. Etablir à chaque instant le rapport entre la quantité de ferment qui entre en réaction et le produit obtenu, c'est connaître, non seulement pour une quantité donnée, mais pour toute quantité la loi du phénomène en fonction du temps.

Or il s'est trouvé dans nos expériences sur le ferment oxydant, la péroxydase, qui active le péroxyde d'hydrogène, que sa vitesse de réaction suit la loi de l'action des masses de Güldberg et Waage, pour autant que les produits de la réaction ne viennent pas troubler le phénomène. D'une manière analogue se comportent aussi le labferment, la catalase*), l'invertase**), etc.

Les ferments, ces mystérieux corps issus de l'activité de la cellule ne se comportent donc pas autrement que les catalysateurs inorganiques. Ramener ainsi par la mesure, c.-à.-d. par une sorte de statistique, les phénomènes si variés de la coagulation, ceux du dédoublement et de l'oxydation provoqués par les ferments, aux lois générales de l'énergétique chimique, c'est opérer une généralisation de la plus haute importance.

Mais, me diront les adeptes de je ne sais quel faux vitalisme, autre chose est de décrire par une formule

*) G. Senter, Zeitschrift für phys. Chemie. Bd. XLIV.

**) Henry, Lois d'action des ferments, Paris 1903.

générale les lois de la catalyse dans les êtres vivants et de donner les lois de croissance par lesquelles des cellules en apparence semblables, des êtres aussi différents que l'homme, les animaux et les plantes se développent selon un plan si différent et aboutissent à des résultats si variés.

Sans doute il nous est impossible actuellement de donner la raison de cette différence, mais si nous pouvons montrer que, cachée par ces différences particulières, une loi générale se laisse découvrir par l'analyse, nous aurons prouvé que la morphogenèse n'est que l'étude de l'ensemble des états particuliers du développement, de ce que, par une abstraction, nous appelons la matière vivante.

Chaque germe est comme une amorce, un ferment qui active une série de réactions si complexes dans leur enchevêtrement qu'à première vue une analyse et à plus forte raison une généralisation du phénomène nous paraît impossible. Et cependant que d'unité ne découvrons-nous pas au milieu de cette décevante multiplicité!

L'étude du plasma considéré comme un colloïde, ses divers états ramenés à ceux des fausses solutions et des gelées, le problème des échanges cellulaires ramené à celui de la diffusion à travers des colloïdes*), la statique cellulaire expliquée par la pression osmotique, l'énergétique cellulaire élucidée par les phénomènes de combustion, de désagrégation moléculaire, de condensation de molécules simples en molécules complexes, par des phénomènes de physique moléculaire comme l'imbibition, la tension superficielle, etc., tout cet ensemble ne montre-t-il pas que les phénomènes les plus subtils de la vie cellulaire sont susceptibles d'analyse rationnelle et peu-

*) Höber, Physikalische Chemie der Zelle.

vent être exprimés en une langue précise, par des constantes physiques?

Mais, me dira-t-on, ce que vous étudiez ainsi dans la cellule ce n'est pas toute la cellule; vous choisissez de l'ensemble des phénomènes qui se passent dans ce microcosme ceux qui, par leur nature, sont d'ordre essentiellement chimique ou physique et vous laissez de côté tout ce qui est plus complexe, par conséquent, de nature éminemment biologique.

Personne ne niera que les phénomènes d'assimilation et de désassimilation, dont la résultante est l'édification d'un corps organisé, ne soient assez variés et complexes pour qu'au premier abord on puisse douter de pouvoir les exprimer par une formule unique. Qu'observons-nous en réalité? Portons en ordonnées les poids observés durant la croissance, correspondant aux temps, inscrits sur l'axe des x; en réunissant les points obtenus, on trace une courbe de croissance qu'on peut analyser géométriquement.

Or il se trouve que, durant la période de croissance soit de l'animal soit de l'homme jusqu'à l'âge adulte, l'augmentation de poids peut s'exprimer par une hyperbole*).

Il était intéressant de vérifier cette loi sur les végétaux. C'est ce qu'ont fait, à Genève, Mlle Stefanowska et M. Monnier. Ils ont trouvé que, soit pour le poids brut, soit en ce qui concerne les cendres ou l'azote, l'augmentation en poids suit la même loi et se laisse donc exprimer d'une manière précise comme on décrit une vitesse de réaction.

Les plantes étudiées ont été l'avoine et le blé sarrazin. Ainsi l'analyse des phénomènes de croissance con-

*) Stefanowska, Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 4 mai 1903 et 1er février 1904.

sidérés comme un tout, nous permet une remarquable généralisation qu'on n'aurait point obtenue sans l'aide de la biométrie, sans les méthodes graphiques ou analytiques. Chez les champignons étudiés au même point de vue dans mon laboratoire, la courbe de croissance était une ligne droite, indiquant ainsi une remarquable proportionnalité. Les Mucédinées étudiées étaient le *Penicillium glaucum* et le *Sterigmatocystis nigra.* Ici le phénomène de croissance semble n'être qu'une augmentation de masse, une réaction chimique simplifiée.

Ces préliminaires un peu longs m'amènent au but essentiel de cette conférence, l'application des méthodes précises au problème de la variation qui touche de si près à cette grande question de l'origine des races.

Jusqu'ici nous avons pu constater qu'à côté des particularités qui caractérisent chaque être, il est des propriétés générales par lesquelles l'unité du monde organique se laisse facilement démontrer. Peut-on également trouver l'expression exacte du phénomène de la variation par lequel les individus d'une même race, d'une même espèce, diffèrent les uns des autres dans leur stature, leur apparence et jusque dans leurs particularités les plus insignifiantes? Ce n'est pas ici le moment de dire dans quelle mesure la variation affecte les espèces animales et végétales depuis celles qui sont le plus constantes jusqu'à celles qui sont en perpétuelle fluctuation. Chacun connaît des exemples tirés de notre espèce humaine, des races canine ou chevaline ou des plantes cultivées. On a souvent parlé de variation ordonnée et de variation désordonnée*). Ces expressions proviennent d'une analyse incomplète du matériel variable.

*) L'Evêque de Vilmorin, Hérédité, Paris 1890.

Lorsqu'on aborde ces questions par des méthodes précises on trouve que la variation est toujours ordonnée. Il suffit de pousser l'analyse assez loin pour découvrir la loi du phénomène. En particulier il faut considérer un à un les caractères élémentaires, dont la mosaïque constitue le caractère spécifique complexe. Les méthodes de statistique appliquées à l'étude de la variation ont été fondées par Quételet et Galton*); peu à peu elles se sont perfectionnées, précisées. Aujourd'hui elles constituent une branche importante de la biologie contemporaine. Elles ont leur organe attitré dans une revue périodique, „Biometrika", qui accueille des travaux rédigés dans les trois langues scientifiques. De savants mathématiciens ont apporté leur concours à ces investigations. Ici comme en physique et en chimie générale on ne peut se passer de mathématiques supérieures. Une étude reste incomplète si elle n'est révisée par un savant rompu aux méthodes mathématiques.

Il s'agit en effet non seulement d'évaluer d'une manière numérique les variantes, mais, après les avoir ordonnées, d'étudier la loi numérique de leurs rapports.

Un exemple tiré de mes recherches**) illustrera ma pensée et les principes de cette méthode. Il y a quelques années, un jeune amateur de Genève m'apportait un bouquet d'orchidées cueillies dans sa propriété de Mézery. Autant de hampes, autant d'espèces différentes, pensait-il. La variation en effet était excessive; au premier abord on avait quelque peine à reconnaître le type

*) Voir au sujet de ces méthodes: Davenport Statistical methods, New-York, II. Ed.; Duncker, G., Die Methoden der Variationsstatistik; Pearson, Grammar of science.

**) Chodat, Bull. Herb. Boissier, 1901, 682. Ces recherches seront prochainement publiées in extenso dans un autre périodique.

fondamental au milieu du polymorphisme extraordinaire de ces fleurs. La grandeur, la couleur, la forme du labellum, celle de l'éperon, le nombre des taches, tout variait d'une manière désordonnée en apparence.

Pour étudier ce phénomène nous choisîmes, comme élément de variation, celui qui nous parut à la fois le plus saillant et le plus facile à évaluer. C'est le nombre des taches qui se dessinent sur le tablier. Chaque tache, petite ou grande, était prise comme intégrale; on voit que la variation en ce qui concerne ce caractère va de 0—45. On calcule le nombre des fleurs qui présentent un nombre donné de taches (V), on détermine la fréquence (F) de ces variantes. Portant sur l'axe des x les variantes, on a pour ordonnées correspondantes les fréquences. Réunissant les sommets des ordonnées on obtient une figure, dite polygone de variation, qui correspond sensiblement à une courbe qu'on peut définir mathématiquement.

Or il résulte d'un grand nombre de statistiques, tant zoologiques que botaniques que, le plus souvent, la courbe ainsi obtenue est symétrique et correspond au développement du binôme $(p + q)^c =$

$$o + c_o p^c q^0 + c_1 p^{c-1} q^1 + c_2 p^{c-2} q^2 + \ldots\ldots$$
$$+ c_{c-2} p^2 q^{c-2} + c_{c-1} p^1 q^{c-1} + c_c p^0 q^c + o$$

Si l'on dispose graphiquement ces termes comme ordonnées sur l'axe des x à des distances égales, on obtient en réunissant les extrémités libres des ordonnées par des lignes droites, des polygones binomiaux qui sont symétriques si $p=q$, asymétriques si $p<q$ ou $p>q$.

Le développement d'un binôme donne la probabilité des combinaisons en c, éléments qui se distribuent en deux groupes analogues, dont l'un est par rapport à l'autre dans la proportion de $p : q$.

On peut se représenter que l'organisme est sollicité à varier selon des causes qui agissent positivement ou négativement et qui sont dans le rapport de p : q. Selon les combinaisons de ces causes, l'écart individuel de la moyenne de l'ensemble sera fort (positivement ou négativement) ou faible.

Cette méthode n'indique nullement la qualité particulière des causes. La valeur c peut être limitée ou illimitée et par conséquent le polygone peut avoir l'abscisse limitée ou illimitée. Outre cette courbe de Gauss, on en a reconnu plusieurs autres qui sont étudiées dans les traités de biométrie.

On se sert beaucoup en biométrie des notions suivantes: M, la moyenne

$M = \frac{\Sigma (v \cdot f)}{n}$, où Σ est la somme, v les variantes, f leur fréquence respective, n le nombre des variantes.

σ, l'indice de variabilité ou l'indice étalon

$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(x^2 \cdot f)}{n}}$, où x est la déviation de chaque classe de variantes de la moyenne (M), f et n comme dans l'exemple précédent.

Dans les cas où toutes les variantes exprimées par leur fréquence se laissent grouper en un polygone à un sommet, l'analyse de cette courbe est relativement aisée. Pearson, Duncker et Davenport ont résumé en des opuscules intelligibles les méthodes découvertes jusqu'à présent. Grâce à elles on peut exprimer simplement et en particulier par la valeur de σ le degré de variabilité et l'allure d'un polygone et comparer ainsi des races ou des espèces plus ou moins éloignées. Mais, lorsque le polygone de variation montre plusieurs sommets, ce qui est souvent réalisé dans les statistiques végétales, l'analyse de

ces courbes devient si difficile que des mathématiciens déja rompus à ce genre de recherches y renoncent.

Lorsque la variation s'ordonne symétriquement autour d'un mode (la plus forte fréquence, indiquée dans les graphiques par les sommets) il y a tout lieu de supposer que l'on se trouve en présence d'une race pure. Cependant Pearson a montré que les fréquences des variantes peuvent, exprimées graphiquement, simuler un polygone unique de variation, lorsqu'une des formes l'emporte de beaucoup sur l'autre, dont le mode est voisin du mode principal.

Il peut en être tout autrement lorsque la courbe est complexe, c.-à.-d. que le polygone exhibe plusieurs sommets, plusieurs modes. Ludwig y a vu l'indice de la coexistence de plusieurs races auxquelles correspondraient les divers sommets du polygone. L'école anglaise n'admet pas sans autre que cette plurimodalité exprime toujours cette coexistence; elle soutient qu'elle peut être produite par les variations du milieu et les multiples facteurs de l'environnement.

Dans l'exemple que j'ai choisi de l'*Orchis morio* les courbes, à une exception près, ont été plurimodales. Ne pouvant analyser ces courbes, j'ai eu recours au procédé suivant: examiner dans un nombre de stations aussi considérable que possible et réparties sur l'Europe entière les courbes de variation de cette espèce et les comparer.

On pourrait voir ainsi si les modes observés à Genève, du premier printemps au mois de juin, se retrouveraient autre part et si, dans le déplacement des modes, il y aurait à découvrir une loi.

Mes statistiques se sont étendues à une trentaine de stations de plaine et de montagne; Genève (plusieurs stations), Savoie, Ain, Vaud, Valais, Lucerne, Marbourg, Breslau, Belluno (Italie), Grenoble (Dauphiné), Nantes,

Heriménil (Lorraine), Hyères, Corse, Gand (Belgique), Leiden (Hollande), Suède (plusieurs stations), Leeds, Cambridge, Buckden (Angleterre), Majorque (Baléares). *)

Or il résulte de la comparaison de tous ces polygones de variation qui comprennent près de 30,000 fleurs, que certains sommets se maintiennent avec une remarquable régularité. Ainsi le sommet principal qui, à Genève, est au-dessus de 11 (c'est-à-dire correspond à la fréquence de 11 taches sur le labellum) et qui se maintient, lorsqu'on combine en un seul polygone de variation toutes les statistiques, est accompagné de sommets secondaires au-dessus de 13, de 15, de 17 (parfois déplacés d'une unité à droite si la statistique est faite sur un matériel peu nombreux), se retrouve à Corbeyrier (Vaud), au Valais, à Hériménil (Meurthe et Moselle), à Nantes, à Bordeaux, à Belluno (Italie), à Leiden, à Cambridge, à Breslau, etc. Ce mode, qui est principal dans les stations de l'Europe centrale, devient secondaire autre part. A mesure que l'on s'approche de la région atlantique ou sub-atlantique, le sommet principal se déplace, il vient se placer au-dessus de 9 qui correspond alors à la plus grande fréquence. Si nous considérons l'ordonnée de 11 comme méridien, nous pourrons exprimer ceci en disant que, dans les formes atlantiques et sub-atlantiques, la masse des individus se trouve accumulée vers la gauche. Ce méridien devient médian pour plusieurs des races de

*) Ceci grâce à l'amabilité de correspondants qui ont récolté ou fait récolter pour moi le matériel en quantité suffisante. Ce sont en particulier MM. Bachmann (Lucerne), Besse (Martigny), Belèze (Paris), Dupuis (Genève), Gravis (Liège), Gadeceaux (Nantes), Hunnybun (Buckden), Hoskin (Cambridge), Janse (Leiden), Maire (Nancy), Meyer (Marbourg), Pax (Breslau), Devaux (Bordeaux), Smith et Gaut (Leeds), de Toni (Padoue), Wilczeck (Lausanne), Minio (Belluno), Nordstedt (Lund), Offner (Grenoble).

l'Europe centrale. Autrement dit, quand même ces statistiques ne sont pas encore assez complètes pour donner un résultat absolument définitif, il est cependant dès maintenant évident que le déplacement de M se fait vers la gauche avec une remarquable régularité, lorsqu'il s'agit de stations plus ou moins nordiques; au contraire dans l'Europe centrale M se confond presque avec le mode (F) ou se déplace plus ou moins fortement vers la droite entraîné par les sommets secondaires et parfois importants (Breslau) de 13, 15, 17.

Selon les stations, 13, 15, 17 l'emportent sur 11. On a bien ici l'impression d'une courbe complexe due au mélange de races, à la coexistence de plusieurs isomères.

J'entends dire par là que, lors de la maturité sexuelle et vu la population plus ou moins inhomogène, des isomères biologiques plus ou moins nombreux sont possibles. Ces combinaisons suivent la loi des grands nombres. Les conditions données par l'environnement favorisent les uns aux dépens des autres. Dans le N et vers l'Océan c'est l'isomère oscillant autour de la moyenne 9 qui prédomine; la formation des isomères 11 et 6 est alors moins fréquente. Dans le type de Gand, l'isomère 6, qui préexiste dans plusieurs des populations étudiées (ce qui se voit par l'examen des courbes), l'emporte sur les autres.

Mais dans tous les cas examinés il s'agit (à une exception près) de complexes, c.-à.-d. de populations*).

Dans un travail récent, Johannsen**) a montré que l'on pouvait par sélection trier dans une population de *Phaseolus,* en partant d'une semence unique et en main-

*) L'auteur de cette communication avait exhibé une dizaine de graphiques; ils seront publiés autre part.

**) Johannsen, Erblichkeit in Populationen und in reinen Linien, 1903.

tenant la fécondation directe, des lignées à peu près constantes, c.-à.-d. dont tous les individus s'ordonnent en une courbe normale. Chaque écart de la moyenne, si considérable qu'il puisse être, revient (par autofécondation) à la moyenne. Les écarts dûs au milieu, tels qu'ils se présentent dans ces races pures, ne sont pas susceptibles de donner prise à la sélection; ils ne sont pas héréditaires puisque la descendance des types les plus aberrants revient immédiatement à la moyenne si l'on considère un nombre suffisant de semences.

De même dans la nature on trouve coexistant, se fécondant mutuellement, puis se triant plus ou moins selon les lois de la ségrégation par maturation sexuelle, on trouve, dis-je, des races, des lignées nombreuses qui constituent la population d'une station donnée. Il est le plus souvent impossible de démêler ce complexe par d'autres méthodes que celles de la statistique biométrique.

Un fait qui milite en faveur de cette idée, en particulier en ce qui concerne l'*Orchis morio,* c'est la manière dont se comporte, au point de vue de la variation, une forme de cette espèce étudiée par moi dans l'île de Majorque, aux Baléares. La statistique nous fait découvrir ici une race pure en ce qui concerne les taches; le polygone de variation a son mode sur le chiffre 5, la courbe est unimodale et symétrique et correspond presque exactement à la courbe normale calculée (voir à propos de la méthode qui permet de comparer une courbe observée avec la courbe calculée, Davenport l. c. p. 25). L'amplitude de variation est également plus faible dans le type de Majorque que dans ceux du continent. En effet, tandis que la valeur de σ est de 3—4 pour ces derniers, elle descend pour le type insulaire à 1,5. Ainsi se trouve vérifiée, par une méthode biométrique, cette loi de ségrégation des variétés

par les îles ou par toute cause isolante *), qu'elle s'exprime par les lacs avec leurs variétés de Diatomacées, les massifs montagneux avec leurs espèces vicariantes, le substratum géologique avec ses espèces calcifuges et calcicoles.

Mais cette variation si intéressante de l'*Orchis morio* de Majorque semble être, en somme, contenue dans les types continentaux, car nous voyons déjà sur le continent, et en particulier dans les populations atlantiques, les variantes à 5 taches devenir plus nombreuses. Cette variation est donc contenue dans l'amplitude de l'espèce complexe, continentale; quand même elle ne possède aucun mode ni sur 9 ni sur 11, 13 ou 17 (le maximum de taches observées étant de 10) elle appartient à l'extrême gauche du groupement. C'est comme si elle en avait été isolée par sélection géographique.

Cet exemple montre quelle peut être l'application de cette méthode à des problèmes de phylogénie et de géographie botanique.

La morphologie comparée peut devenir par ce moyen une science précise; la comparaison ne sera plus seulement conjecturale, elle s'exprimera par des coefficients de ressemblance ou de dissemblance. Ainsi les problèmes les plus compliqués de la biologie sont susceptibles d'une analyse rigoureuse.

C'est ce que les recherches méthodiques de l'école anglaise Galton-Pearson ont mis tout récemment en lumière. Je veux parler du problème si difficile de l'hérédité.

Etudiant cette question au point de vue biométrique, Pearson et Weldon nous ont montré que les mêmes lois découlent des observations, qu'elles soient faites en partant de l'homme, de l'animal ou de la plante. Il est important

*) Wagner, Die Entstehung der Arten durch räumliche Sonderung, 1889.

d'insister sur la nécessité d'opérer sur un grand nombre d'individus, ces lois de variation ne pouvant être déduites d'un petit nombre d'observations.

Ainsi les coefficients de corrélation entre descendants et ascendants (il s'agit ici exclusivement de populations au sens de Johannsen) sont sensiblement les mêmes dans les cas les plus divers. L'héritage reçu des deux ascendants est sensiblement 50 pour cent ou 0,50 du total, 0,25 des 4 grands parents, 0,125 des arrière grands parents et $\frac{1}{2^n}$ du total de la n^e génération. Pearson, dans ses recherches basées sur un matériel très considérable, a quelque peu modifié ces premiers résultats. Un de ses travaux nous intéresse tout particulièrement, celui ou il étudie la corrélation ancestrale ou fraternelle des Pavots (Shirley Poppy). La conclusion est la suivante: „Il résulte de ceci que les premières observations sur de grandes séries de plantes, en ce qui concerne les lois de l'héridité des caractères variant d'une manière continue, donnent des résultats numériques en accordance générale avec ceux déjà obtenus pour les animaux supérieurs et les insectes.

„Par conséquent les méthodes qui ont été reconnues comme suffisantes pour décrire l'influence héréditaire chez l'homme et les animaux suffiront pour décrire les résultats analogues dans les variations continues des caractères de la plante.“

J'aurais voulu vous parler d'autres résultats obtenus, en particulier dans l'étude de l'hybridité, mais le temps limité de cette conférence me force à conclure.

Laissons à ceux que fascinent je ne sais quelles lois d'un vitalisme ancien ou moderne, spéculer sur des faits insuffisamment établis ou aborder la résolution de problè-

mes insolubles. Mais sans diminuer aucunement cette partie de la biologie qui consiste essentiellement dans l'énumération et la description des phénomènes naturels, sachons nous élever par l'abstraction à une généralisation supérieure. Au lieu de nous attarder à faire de la biologie conjecturale, abordons franchement les problèmes en nous servant des méthodes précises mises à notre portée maintenant. Elles ne sont pas d'aujourd'hui, ces méthodes en biologie ; elles ont été fondées par tous ceux qui ont abordé logiquement l'étude des êtres vivants. Mises en honneur par les pères de la physiologie végétale, les Hales, les Th. de Saussure, les Pfeffer, elles demandent à être complétées et étendues à tous les domaines de la biologie, depuis la physique moléculaire de la cellule et de ses dérivés, jusqu'aux problèmes les plus mystérieux de la fécondation et de la filiation. Si ce succinct exposé avait pu intéresser l'un ou l'autre de mes auditeurs à ces questions d'énergétique et de biométrie, le but de ma conférence serait atteint.

Le jubilé des palafittes.

Par F. A. FOREL, Morges.

Nous célébrons cette année le jubilé cinquantenaire de la découverte des anciens palafittes des lacs suisses. L'importance de cet évènement a été telle pour notre patrie d'abord, et aussi pour la science générale, qu'il mérite d'être rappelé devant la Société helvétique des sciences naturelles.

On connait les faits. Dans l'hiver de 1854, les eaux du lac de Zurich étant extraordinairement basses, les riverains en profitèrent pour divers travaux dans la grève inondable. A Dollikon, près de Meilen, en extrayant des graviers pour le remblai des quais gagnés sur le lac, on rencontra dans le sol des bois travaillés, pilotis verticaux et poutres couchées en terre, des produits de l'industrie humaine, des outils et des armes de pierre, des poteries, des ossements d'animaux. Un maître d'école de Meilen, Johannes Aeppli, recueillit ces monuments de l'âge de la pierre, et les apporta à la société des Antiquaires de Zurich. Le Dr Ferdinand Keller, le président et le coryphée de cette société, y reconnut la preuve de l'habitation de l'homme sur le domaine des eaux, dans des demeures construites sur pilotis, ce qu'il exprima par les mots de *Pfahlbau* et de *Pfahlbauer;* dans une généralisation heureuse, il affirma que la trouvaille de Meilen n'était pas seulement un fait local, mais était l'indice d'un style d'architecture qui s'était probablement reproduit ailleurs; il invita à la recherche de

faits analogues. On fouilla sur les bords de tous les lacs suisses, et partout on trouva les ruines de palafittes.

L'existence de ces ruines était connue depuis longtemps. Nous avions souvent vu à Morges, mais sans en comprendre la nature, la forêt de pilotis qui hérisse le sol de la beine sous trois mètres de profondeur dans le lac, et nous savions qu'en 1823 des jeunes gens en avaient extrait un canot en bois de chêne, ce qu'on appelait alors un bassin de fontaine; sur le Steinberg de Nidau, les pêcheurs recueillaient fréquemment des pièces antiques qu'ils portaient au colonel Schwab de Bienne et au notaire Müller de Nidau; ceux-ci en enrichissaient leurs collections, mais sans deviner l'importance de ces monuments. L'interprétation par Keller de la découverte de Meilen, et l'extension qu'il annonça du fait archéologique entrevu, nous donna la clef de ces trouvailles antérieures, et provoqua dans tous nos cantons, dans tous nos lacs la recherche très active qui amena des résultats merveilleux.

Depuis longtemps, bien avant 1854, la doctrine des trois âges archéologiques était connue. Les théories de Thomsen, le savant directeur du Musée des antiquités de Copenhague, de Lisch, l'archéologue mecklenbourgeois, et de Nilsson, l'archéologue de Lund, théories renouvelées en 1836 de celles du poète latin Lucrèce (T. Lucretius Carus vers l'an 50 av. J.-Chr.), la distinction des phases du développement de l'industrie humaine en âge de la pierre, âge du bronze et âge du fer, avaient pénétré chez nous: elles avaient été répandues en Suisse par les communications et par les leçons de Keller à Zurich, de Troyon et de Morlot à Lausanne; les constatations faites en sol helvétique semblaient en justifier les conclusions. Mais ces notions ne s'appuyaient encore que sur des faits

isolés, sur quelques trouvailles accidentelles d'armes et d'outils perdus en terre libre, sur quelques tombeaux dont le mobilier funéraire à lui seul était déjà fort instructif.

L'étude des palafittes a transformé ces notions en les étendant et en les précisant. Dans les ruines de nos Pompeï lacustres on a trouvé tous les éléments de la vie des populations antiques; on a appris à connaître leur ménage, leur alimentation, leur agriculture, leur costume, leurs parures, leur armement, leur industrie, leurs arts, leurs mœurs; et, en même temps, la faune de l'époque, la flore, la climatologie, la géologie nous ont été révélées par des déductions légitimes des faits constatés. L'âge néolithique, l'âge du bronze, le premier âge du fer, celui-ci par les trouvailles de la Tène, nous sont mieux familiers, quant à leur histoire naturelle, que bien des périodes de l'antiquité barbare ou du moyen-âge. Il ne nous manque, pour avoir une connaissance complète, de l'antiquité antéhistorique de notre pays que des notions certaines sur l'anthropologie anatomique et sur la langue de ces populations lacustres. Nous n'avons aucune constatation assurée de leur mode de sépulture; leurs cimetières sont douteux, et les crânes trouvés dans les palafittes étant peut-être des trophées conquis sur leurs ennemis, ne nous apprennent rien de positif sur la race des indigènes. D'autre part, nous n'avons pas un mot de leur écriture; nous ignorons leur langue; nous ne pouvons les localiser dans le tableau des familles linguistiques. Ils étaient des illetrés, ils sont pour nous des anonymes ; quand je les ai appelés les *Palafitteurs,* mot tiré de *palafitte* de Desor, tiré lui-même en passant par l'italien *palafitta* de *Pfahlbau* de Keller, je leur ai donné un nom paléontologique, un nom qui exprime la principale de leurs caractéristiques, et non un nom de peuple appartenant à l'histoire de l'humanité.

Quoiqu'il en soit de ces lacunes, notre connaissance au point de vue de l'histoire naturelle des populations révélées par la trouvaille de Meilen a été complète.

Ces découvertes excitèrent une grande émotion; elles bouleversaient nos idées traditionnelles; elles aidèrent à les transformer et à les réformer. Nous étions encore, en 1854, sous le joug dominateur de G. Cuvier; nous étions subjugés par le dogme de la création individuelle de chaque espèce au commencement de la période géologique qui l'avait vue apparaître. Lamarck, Blainville, Geoffroy Saint-Hilaire et quelques naturalistes isolés en Angleterre, en Allemagne, avaient en vain essayé de protester contre l'absolutisme du fondateur de le paléontologie moderne; ils n'avaient pu libérer le monde scientifique de son autoritarisme écrasant. Constant Prevost avait été sans rayonnement extérieur. Charles Lyell avait publié, dès 1830 déjà, ses immortels Principes de géologie, mais son influence émancipatrice ne se propageait que lentement. Les premières œuvres d'Herbert Spencer où il formulait déjà la théorie de l'évolution, datent de 1851. L'Origine des Espèces de Charles Darwin n'a été publiée que plus tard; sa première édition est de novembre 1859. Je ne puis juger par des souvenirs personels de l'état des idées en 1854: petit garçonnet de 13 ans, je ne pouvais, à cet âge, m'être libéré des influences du milieu familial. Mais en 1859 j'étais étudiant, et je me souviens de l'émotion puissante que provoqua la révélation de Darwin. Ce fut un éclair qui traversa le ciel, et qui illumina le monde. Tous les dogmes classiques s'effondrèrent, et la doctrine de l'évolution s'empara victorieusement des esprits.

L'éclaircissement des faits antiques qu'a amené l'étude des palafittes s'est traduit chez nous par l'établissement de la chronologie archéologique. Entre la chrono-

logie géologique qui ne donne que des dates relatives et qui ignore la durée réelle des périodes, d'une part, et la chronologie historique qui établit des dates précises, rapportées à une ère déterminée, d'autre part, il s'est établi une chronologie archéologique qui ne peut pas encore arriver aux dates absolues de l'histoire, mais qui donne cependant plus que les successions de la géologie: elle parvient à l'appréciation, d'une approximation plus ou moins serrée, de la durée des périodes. Nous avons appris que l'ère des palafittes a été longue, très longue; que c'est par siècles et par dizaines de siècles qu'ont duré les diverses phases de son histoire. Et comme, avant cette ère des palafittes il y a eu les âges paléolithiques, séparés eux-mêmes des âges néolithiques par la grande „lacune archéologique" (l'hiatus des auteurs), nous sommes obligés d'attribuer une énorme durée à ces premiers développements de l'humanité dans les époques antéhistoriques.

D'un autre côté, les faits géologiques et historiques, dans leur enchaînement compliqué, n'ont cependant pas exigé un nombre infiniment long de millénaires. Nous ne pouvons en poser les limites en formulant des dates certaines; mais, dans nos appréciations très générales, nous pouvons affirmer qu'entre l'homme de Thaïngen et nous, il s'est écoulé plus de dix mille ans et moins de cent mille ans.

Du coup, la chronologie mosaïque s'effondrait en ruines; les lointains de l'histoire archéologique se reculaient splendidement, et l'histoire naturelle de notre pays s'illuminait aux lueurs d'une aurore pleine de promesses.

Ce ne fut pas seulement en Suisse que la découverte des palafittes a été d'action heureuse et féconde; la science universelle en a abondamment profité. La connais-

sance certaine que nous avons pu prendre de l'âge néolithique dans les ruines de nos cités lacustres nous a mis à même de séparer les grandes phases des époques archéologiques. La distinction jusqu'alors indécise entre le paléolithique et le néolithique est devenue évidente, et si, par le peu de développement en Suisse de l'époque primitive ou paléolithique, nous n'avons pas été appelés à utiliser largement chez nous cette séparation, nos études ont puissamment contribué à la faire admettre. Tous les archéologues et naturalistes d'Europe sont venus en Suisse étudier les palafittes; tous, après les leçons qu'ils y ont trouvées, n'ont plus hésité à séparer absolument et nettement le chasseur de rennes habitant les cavernes, du pêcheur sédentaire de nos palafittes des lacs suisses. Tout est différent entre eux; autre faune, autre flore, autre climat, autre géologie, autre industrie, autre anthropologie, autre homme. Cette constatation qui était très facile pour les naturalistes suisses, en possession du riche matériel d'étude que les palafittes leur avaient fourni, leur donna, vers le milieu du XIXme siècle, une avance notable sur leurs collègues des autres pays; c'est une bonne fortune en science, que d'être dans les premiers qui arrivent à entrevoir une vérité.

Cette étude des palafittes a été fructueuse pour notre pays en ce qu'elle a été très populaire et qu'elle a entraîné la collaboration d'un nombreux personnel de toutes les classes de la société, dans tous les cantons de la Suisse. Les recherches dans les ruines lacustres n'exigeaient aucune préparation scientifique ou technique; tout au plus un peu de curiosité et de goût d'exploration. Chacun y pouvait prendre part et y jouer son rôle: hommes de science, historiens, archéologues, naturalistes qui rivalisaient à généraliser les faits constatés, et à en

tirer les lois et les théories; hommes pratiques, pêcheurs, bateliers et amateurs, qui y trouvaient une heureuse application de leurs talents de chercheurs, ou une juste rémunération de leurs travaux. Les faits constatés, les trésors recueillis étaient précieux et intéressants; chacun y prenait plaisir, et le grand public, spectateur de ces découvertes, y sympathisait cordialement. Jamais étude ne fut plus populaire, et c'était une ère de joie générale dans tout le pays que cette époque de la première exploration des palafittes.

Notre Suisse a eu, dans le siècle passé, le très heureux avantage de connaître plusieurs de ces phases de grandes découvertes scientifiques qui, à titres divers, sont devenues populaires par la collaboration spontanée d'un grand nombre d'hommes et par l'intérêt qu'elles ont excité dans toutes les classes de la société. Parmi ces études, dirigées par les hommes de science qui y ont imprimé leur cachet, mais soutenues par l'appui parfois effectif mais toujours sympathique de tout le pays, je rappellerai:

1° La géologie glaciaire. La divination, la reconnaissance et la démonstration de l'époque glaciaire géologique. Perraudin, Venetz, Charpentier.

La géologie moderne tend à diviser cette époque glaciaire en plusieurs glaciations secondaires avec phases alternatives de gigantesques crues et de gigantesques décrues. DuPasquier, Mühlberg, Brückner.

2° Les études directes sur les glaciers actuels. Hugi, Agassiz et ses amis de l'hôtel des Neuchâtelois; puis, plus récemment, les mensurations des ingénieurs du bureau topographique fédéral, Gosset, L. Held, Wild, sous le patronage et avec les subsides du Club Alpin Suisse et de notre Société helvétique des sciences naturelles.

3° L'étude des variations périodiques des glaciers,

inaugurée par les naturalistes et les clubistes, actuellement exécutée par les forestiers fédéraux et cantonaux.

4° L'étude de la météorologie de la Suisse; l'étude des tremblements de terre.

5° Les études limnologiques, histoire physique et naturelle des lacs.

6° L'étude de la tectonique des Alpes, depuis H.-B. de Saussure, B. Studer, P. Merian, A. Escher de la Linth, A. Favre, jusqu'aux géologues vivants qui font la gloire de notre société des naturalistes suisses.

Ajoutons-y l'étude des palafittes, et nous constaterons avec joie que ces grandes recherches dans diverses branches des sciences naturelles représentent déjà, à elles seules, une contribution suffisante offerte par notre petite confédération, pauvre république de paysans et de bourgeois montagnards, pour sa part à l'édifice de la science, à la construction duquel l'humanité toute entière rivalise d'ardeur et de noble émulation. Constatons en même temps que ces services rendus à la science universelle n'ont pas été sans de très grands bénéfices pour notre pays, le peuple dans toutes les classes, et, avant tout, la classe cultivée, y a beaucoup gagné par l'excitation heureuse d'une vie intellectuelle généralisée, et par le contact avec la recherche scientifique.

De toutes ces études la plus populaire, car elle a amené la participation la plus nombreuse et la plus variée de travailleurs de toute classe et de tout rang, a été celle des palafittes. Je vous rappellerai les chercheurs d'il y a cinquante ans dont les noms sont inscrits dans les trois premiers rapports de Ferdinand Keller, ceux de 1854, de 1858 et de 1860.

Dr. Ferdinand Keller, président de la Société des antiquaires de Zurich.

Frédéric Troyon, archéologue, à Cheseaux près Lausanne, plus tard, conservateur du Musée d'archéologie à Lausanne.
Adolphe de Morlot de Berne, géologue, prof., à Lausanne.
Emmanuel Müller, notaire, à Nidau.
Frédéric Schwab, colonel, créateur da la belle collection d'archéologie qu'il a léguée à la ville de Bienne.
Dr. Albert Jahn, archiviste, à Berne.
Dr. Johann Uhlmann, médecin, à Münchenbuchsee.
Dr. Oswald Heer, professeur, à Zurich.
Dr. Louis Rütimeyer, professeur, à Bâle.
Edouard Desor, professeur, à Neuchâtel.
François Forel, président de la Société d'histoire de la Suisse romande, à Morges.
Louis Rochat, professeur, à Yverdon.
Henri Rey, à Estavayer.
Beat de Vevey, à Estavayer.
Johannes Aeppli, instituteur, à Meilen, Zurich.
Jakob Messikommer, à Robenhausen, Wetzikon, Zurich.
Zuppinger, greffier, à Männedorf, Zurich.
Jos. Bölsterli, curé, à Sempach.
J. Amiet, président, à Soleure.
Roth, à Wangen, Soleure.
Gaspard Löhle, à Wangen, Bodan.
R. Suter-Suter, colonel, à Zofingen.

J'ajouterai les noms des naturalistes qui, sans apparaître dans les rapports de Keller, se sont, dès les premières années, occupés de l'exploration des palafittes:
Dr. Hippolyte Gosse, professeur, plus tard conservateur du Musée d'Archéologie de Genève.
Louis Revon, archiviste, à Annecy.
F. Thioly, dentiste, à Genève.
Henri Carrard, professeur, à Lausanne.

André Perrin, à Chambéry.

Et enfin les noms de ceux qui plus tard sont entrés dans ces études et sont devenus des maîtres en la science des palafittes:

Dr. Edmond de Fellenberg, directeur du Musée d'Archéologie de Berne.

Dr. Victor Gross, médecin, à la Neuveville.

Dr. Théophile Studer, professeur, à Berne, le continuateur de Rütimeyer.

Dr. C. Schröter, professeur, à Zurich, le continuateur d'Oswald Heer.

Arnold Morel-Fatio, directeur du Musée d'Archéologie de Lausanne.

Dr. Jakob Heierli, professeur, à Zurich.

De la première couche des explorateurs des palafittes presque tous sont morts. Nous ne sommes plus que deux survivants qui pouvons nous mémorer les souvenirs d'il y a cinquante ans, le vénérable Jakob Messikommer, l'explorateur de Robenhausen, à Wetzikon, et moi-même. C'est là une des tristesses de la vieillesse; on reste seul et réduit à s'entretenir avec soi-même des belles années du passé; années de jeunesse, années d'activité productrice! Que vous êtes loin de nous!

La découverte et l'exploration des palafittes ont été assez précieuses, et d'une importance assez capitale dans le monde scientifique de la Suisse, pour que ce jubilé cinquantenaire n'ait pas passé oublié dans le sein de notre Société helvétique des sciences naturelles; surtout puisque nous siégeons dans ce canton de Zurich, d'où est partie l'impulsion première de notre vénéré maître et ami le Dr. Ferdinand Keller.

Ueber Erscheinungen der spontanen und der innern Oxydation.

Von Prof. Dr. ED. SCHAER (Strassburg).

Verehrte Versammlung!

In unserm Kreise über Oxydations-Erscheinungen zu sprechen, bedarf wohl keiner besondern Entschuldigung, da die grosse Bedeutung von Oxydationsvorgängen sowohl bei allgemein-chemischen, als besonders auch bei biologisch-chemischen Prozessen wohlbekannt ist. Vor einigen Jahren hatte der Vortragende Gelegenheit, an der Versammlung in Bern über die Entwicklung unserer Kenntnisse von den Oxydasen (Oxydationsfermenten) zu reden, welche vor bald 50 Jahren zuerst von *Chr. Fr. Schönbein* in Basel beobachtet und in den Kreis chemischer Erörterungen gezogen worden waren. Der heutige Vortrag wird, obwohl gleichfalls an Schönbein'sche Untersuchungen anknüpfend, nicht dem letztgenannten Gebiete gewidmet sein; ohnehin würden hier zwei andere Mitglieder unserer Gesellschaft, die HH. *Chodat* und *Bach* in Genf, in erster Linie als kompetent gelten müssen, da sie in letzter Zeit sowohl der chemischen Natur der Oxydasen als deren Rolle in den lebenden Pflanzengeweben ihre Untersuchungen gewidmet haben. Allein neben diesen auf Oxydationsfermente zurückzuführenden langsamen Verbrennungen lassen sich noch drei weitere Gruppen von Oxydationsvorgängen unterscheiden, welchen zum Teil eine weit allgemeinere Verbreitung zukommt; nämlich erstens:

Oxydationen, welche durch oxydierende Substanzen vermittelt werden und bei denen eine direkte (oder bei Beteiligung des Wassers indirekte) Sauerstoffabgabe an die oxydierbaren Stoffe erfolgt; zweitens: spontane Oxydationen, sogenannte Autoxydationen, bei welchen eine direkte Anziehung des atmosphärischen Sauerstoffs durch die oxydable Substanz stattfindet, und wobei hinsichtlich der interessanten Erscheinung der Sauerstoff-Aktivierung verschiedene Modalitäten auftreten können; drittens endlich: die sogenannten innern oder intramolekularen Oxydationen, bei denen eine meist wenig stabile chemische Verbindung mit locker gebundenem Sauerstoff so verändert wird, dass der lose gebundene Sauerstoff, unter Bildung neuer Produkte, in festere Vereinigung mit den übrigen im Moleküle vorhandenen Elementen respektive Atomen tritt.

Ueber gewisse Erscheinungen bei diesen beiden letzten Arten von Oxydationen soll im folgenden einiges berichtet werden, denn dieselben haben gerade in neuester Zeit wieder besondere Beachtung gefunden, nachdem schon vor vierzig bis fünfzig Jahren Schönbein zahlreiche Beobachtungen auf diesem Gebiete gemacht und veröffentlicht hatte. Nun bin ich freilich auf den Einwand oder die Frage gefasst, wie denn gerade der Pharmazeut und nicht ein Vertreter der reinen Chemie dazu gelange, über Oxydations-Erscheinungen zu sprechen; der Vortragende kann für solches Unterfangen nur zwei mildernde Umstände ins Feld führen, nämlich einmal die Tatsache, dass er sich seit vierzig Jahren fast unausgesetzt mit der Wiederholung und Ergänzung Schönbein'scher Versuche beschäftigt, sodann die Erfahrung, dass in der Tat bei pharmazeutischen und pharmazeutisch-chemischen Arbeiten ganz besonders häufige Gelegenheit zur Beobachtung von

Oxydationsvorgängen gegeben ist. Während die durch Oxydationsmittel bewirkten Oxydationen vorzugsweise in den Laboratorien der reinen und der technischen Chemie ihre sehr wichtige Rolle spielen, scheint den sogenannten Autoxydationen, sowie den innern Oxydationen eine grosse Bedeutung bei physiologisch-chemischen Prozessen zuzukommen. Dass Oxydationserscheinungen zu den bedeutendsten Vorgängen auf biologisch-chemischem Gebiete, und zwar sowohl in dem Chemismus der tierischen als in dem der pflanzlichen Gewebe, gehören, wird allseitig zugegeben; dennoch harren hier noch eine Reihe schwieriger und subtiler Fragen eines sicheren Entscheides. So wissen wir, um nur auf einige wenige Punkte hinzuweisen, noch nicht, ob wir die Verbrennungen, welche in den lebenden tierischen Geweben auf Kosten des vom Blute in physikalisch-chemischer Bindung dahin transportierten Sauerstoffes vor sich gehen, mit den Oxydationsprozessen vergleichen sollen, die wir im Laboratorium etwa mit Hülfe von Salpetersäure oder Chromsäure vornehmen oder ob wir dieselben eher als Autoxydationen aufzufassen haben, bei denen der atmosphärische Sauerstoff in periodischer losester Bindung durch Vermittlung des Blutstroms nach den Stätten der Oxydation geführt wird? Und was sodann die Erscheinungen der pflanzlichen Ernährung d. h. der Assimilation von Kohlensäure, Wasser u. s. w., unter Bildung von Kohlenhydraten, organischen Säuren und andern Stoffen, betrifft, so ist es wohl allmählich statthaft geworden, die etwas ketzerische Meinung zu äussern, dass es sich bei diesen wichtigen Prozessen nicht ausschliesslich um Reduktionsvorgänge und Kondensationserscheinungen, sondern nebenbei auch um intensivere Oxydationen handelt. Es werden im Laufe dieses Vortrages manche bekannte chemische Tatsachen anzuführen sein,

mit denen Chemiker vom Fach wohl vertraut sind; und dennoch erscheint es oft wünschenswert, zerstreute bekannte Fakta von Zeit zu Zeit in einem gewissen Zusammenhange zu besprechen. Ueberdies werden auch eine Anzahl neuer Beobachtungen zu erwähnen sein, die meines Erachtens nicht ohne alles physiologisch-chemisches Interesse sind. Eine solche Betrachtung älterer und Mitteilung neuer Erfahrungen über Oxydationserscheinungen lässt sich, wie ich glaube, am zweckmässigsten und einfachsten an zwei besonders typische Substanzen anschliessen, nämlich an das *Pyrogallol* ($C_6 H_6 O_3$) und an das *Chinon* ($C_6 H_4 O_2$). Die erstere dieser Verbindungen ist namentlich typisch für die spontane Oxydation, die letztere insbesondere für die innere (intramolekulare) Oxydation; die beiden Stoffe sind überdies auch noch nach andern Richtungen belehrend und zur experimentellen Erläuterung theoretisch wichtiger Fragen der Oxydation vorzüglich geeignet. Es erhellt dies u. a. besonders aus zwei Abhandlungen Schönbeins, der einen aus dem Jahre 1860 über die Einwirkung des Sauerstoffs auf die Brenzgallussäure und der andern aus dem Jahre 1867 über den beweglich-tätigen Sauerstoff des Chinons. Wenn wir in erster Linie das *Pyrogallol* in Betracht ziehen, so ist zunächst an die längst bekannte Eigenschaft der sehr leichten Oxydierbarkeit oder, was dasselbe besagen will, des intensiven Reduktionsvermögens dieser Substanz zu erinnern. Das Pyrogallol (früher als Brenzgallussäure oder Pyrogallussäure bekannt), welches nach seiner rationellen chemischen Formel $C_6 H_3 (O H)_3$ sich als ein einfaches Benzolderivat, d. h. als Trioxybenzol darstellt, ist infolge seiner stark ausgeprägten reduzierenden Eigenschaften längst nicht nur zu chemischen und arzneilichen, sondern besonders auch zu gewissen

technisch-chemischen Zwecken verwendet worden; so ist namentlich dessen Rolle als sogenannter Entwickler in der Photographie allgemeiner bekannt, wenn wir auch noch keineswegs eine klare Einsicht in den Grund der Tatsache haben, dass gewisse Silberverbindungen (wie Brom- und Jodsilber), wenn sie auch nur kürzeste Zeit (z. B. bei sogenannten Blitzaufnahmen) der Lichtwirkung ausgesetzt waren, durch Pyrogallol und andere „Entwickler“ sehr viel leichter und rascher zu metallischem Silber reduziert werden, als wenn dieselben konstant im Dunkeln geblieben sind? Das Pyrogallol erleidet aber nicht nur chemische Veränderung durch Oxydationsmittel, sondern ist unter gewissen Bedingungen in höchstem Masse zur spontanen Oxydation oder Autoxydation geneigt. Während die Substanz in absolut wasserfreiem Zustande selbst in Kontakt mit Sauerstoff, d. h. mit Luft sich nicht verändert, tritt bei Gegenwart von Feuchtigkeit und namentlich bei wässerigen Pyrogallollösungen mehr oder weniger rasch spontane Oxydation unter Verfärbung der farblosen Lösungen nach Gelb und Braun ein. Von der grössten Bedeutung ist bei dieser Autoxydation, wie übrigens längst bekannt, die Reaktion der Lösungen und zwar in dem Sinne, dass bei deutlich saurer Reaktion, d. h. nach Zusatz kleiner Mengen einer Mineralsäure oder einer organischen Säure die spontane Oxydation bei Luftzutritt sich nicht vollzieht oder wenigstens so langsam verläuft, dass sie auch in längeren Perioden nicht wahrnehmbar wird, es sei denn, dass bei Anwendung einer flüchtigen Säure und bei Erwärmung der Lösungen durch Verdunsten der betreffenden Säure eine allmähliche Abschwächung der sauren Reaktion eintritt. Die neutralen Pyrogallollösungen ohne Säurezusatz verfallen der spontanen Oxydation, wenn auch

relativ langsam, doch in sehr deutlicher Weise, welche sich durch zunehmende Gelbfärbung der Lösungen verrät. Höchst auffallend ist endlich die Intensität der Autoxydation bei Zusatz kaustischer Alkalien oder der Alkalikarbonate, so dass bei stark alkalischer Reaktion der Lösung fast augenblicklich tiefbraune Färbung als Zeichen vehement verlaufender spontaner Oxydation eintritt. Bekanntlich absorbiert eine derartige stark alkalische Pyrogallollösung sehr begierig Sauerstoff und wird deshalb seit Liebig's Zeiten in der Gasanalyse zur Sauerstoffbestimmung benützt.

Auf diesen Einfluss der alkalischen Reaktion auf die Autoxydation des Pyrogallols wird später nochmals einzutreten sein. Neben dieser Einwirkung der Reaktion auf die spontane Oxydation lassen sich aber auch noch anderweitige Einflüsse konstatieren, unter welchen namentlich derjenige der Belichtung, sowie der Temperatur hervorzuheben sind. Die Autoxydation und die damit verbundenen Gelb- bis Braunfärbung durch die gebildeten Oxydationsprodukte erfolgen merklich rascher bei direkter Einwirkung des Lichtes, z. B. der Sonnenstrahlen; allein auch in diffusem Tageslichte ist in dem Gange der spontanen Oxydation ein Unterschied gegenüber einer im dunkeln gehaltenen Pyrogallollösung zu bemerken. Ebenso auffällig ist auch der Einfluss einer Erwärmung, wenn beispielsweise im diffusen Tageslichte eine Portion Pyrogallollösung in einer Schale oder einem halbgefüllten Glaskolben bei gewöhnlicher Temperatur gehalten, eine zweite gleiche Portion aber während derselben Zeit (unter Ersatz des verdunstenden Wassers) auf ein Wasserbad gesetzt wird. Diese Einflüsse von Belichtung und Temperaturerhöhung machen sich je nach der neutralen oder alkalischen Reaktion der Lösungen in etwas verschie-

dener Weise geltend; doch erlaubt es die Zeit nicht, auf diese Unterschiede hier des Nähern einzutreten. Eine mit der spontanen Oxydation des Pyrogallols verknüpfte, von Schönbein schon vor Jahrzehnten beobachtete Erscheinung ist die Bildung kleinerer oder grösserer Mengen von Hydroperoxyd (Wasserstoffsuperoxyd), welche bekanntlich auch bei der Autoxydation zahlreicher anderer anorganischer und organischer Stoffe, wie z. B. des metallischen Zinks und Eisens, des Brasilins, des Indigweiss u. s. w. zu konstatieren ist. Dieses Auftreten von Wasserstoffsuperoxyd bei vielen spontanen Oxydationen hatte seinerzeit Schönbein zu seiner Theorie der Sauerstoffpolarisation geführt, deren Quintessenz sich in den Satz zusammenfassen lässt, dass bei derartigen Autoxydationen der atmosphärische Sauerstoff in zwei verschiedene Zustände, den positiv-aktiven und den negativ-aktiven, übergeht, von denen der erstere mit Wasser zusammentretend Hydroperoxyd bildet, während der letztere, wie Ozon sich verhaltend, sich mit der oxydierbaren Materie zu bestimmten Oxydationsprodukten verbindet. Es ist bekannt, dass diese Schönbein'schen Ansichten, deren bleibendes Verdienst in der fruchtbaren Anregung zu neuen Beobachtungen zu suchen ist, in neuerer Zeit nicht mehr in ihrer ursprünglichen Form aufrecht erhalten, vielmehr durch neuere Auffassungen ersetzt worden sind, welche vornehmlich auf den schönen Untersuchungen von *Engler, Manchot* und andern Chemikern beruhen. Nach diesen Versuchen spielt bei den Autoxydationen vieler Substanzen anorganischer und organischer Natur die Bildung von Peroxyden, z. B. von metallischen Peroxyden oder von organischen Superoxyden (wie sie schon Schönbein u. a. bei der spontanen Oxydation der Terpene und anderer Kohlenwasserstoffe

angenommen hatte) eine hervorragende Rolle. Bei Gegenwart des Wassers tritt dabei in sekundärer Weise Hydroperoxyd auf und der aktive Sauerstoff der primär gebildeten, wenig stabilen Peroxyde verbindet sich mit den vorhandenen Molekülen oxydierbarer Substanz oder mit den im Peroxyd vorhandenen Atomen zu stabileren Oxydationsprodukten. In den letzteren, vermutlich sehr häufigen Fällen würde das zweite Stadium der Autoxydation mit der Erscheinung der intramolekularen Oxydation oder innern Verbrennung zusammenfallen.*)

In durchaus analoger Weise wie das Pyrogallol verhalten sich bei der spontanen Oxydation eine ganze Reihe anderer organischer Stoffe, wie beispielsweise das mit dem später zu besprechenden Chinon nahe verwandte Hydrochinon ($C_6 H_6 O_2$), ferner zahlreiche Gerbstoffe, insbesondere auch die verschiedenen Chromogene, die wir in manchen Farbhölzern, aber auch in vielen andern Pflanzenstoffen antreffen. So enthält beispielsweise das Opium, der eingetrocknete Milchsaft des Papaver somniferum, ein Chromogen, welches beim Eindampfen des Auszuges in braungefärbte Oxydationsprodukte übergeht, die sich durch Anwendung von Bleisalz fixieren und ausfällen lassen. Die fast farblos gewordenen Filtrate färben sich auch nach öfterer Wiederholung dieser Prozedur stets wieder braun, so lange noch etwas unverändertes Chromogen in der Flüssigkeit gelöst ist.

Gehen wir nunmehr nach Besprechung des Pyrogallols zum *Chinon* ($C_6 H_4 O_2$) über, welches als Benzol aufzufassen ist, in welchem zwei Wasserstoffatome des

*) Eine ausführlichere Darlegung der Vorgänge der Autoxydation auf Grund der neuern Beobachtungen ist unter dem Titel: „Kritische Studien über die Vorgänge der Autoxydation von C. Engler und J. Weissberg, Braunschweig 1904“ soeben erschienen.

Komplexes C_6 H_6 durch zwei Sauerstoffatome ersetzt sind. Das Chinon, zur Unterscheidung von andern analogen Verbindungen öfters auch als „Benzochinon“ bezeichnet, ist, wie bereits angedeutet, eine in chemischer Beziehung höchst merkwürdige Verbindung; denn sie ist nicht allein ein typischer Vertreter von superoxydähnlichen wenig stabilen Substanzen, welche innere (intramolekulare) Verbrennung erleiden, sondern zugleich von superoxydartigen Oxydationsmitteln, welche direkt Sauerstoff an oxydierbare Stoffe abgeben und endlich von autoxydabeln Verbindungen wie Pyrogallol, Hydrochinon, Gerbsäure etc.

Die Eigenschaften des Chinons als eines superoxydähnlichen Oxydationsmittels sind bereits vor mehr als 30 Jahren auf Grund zahlreicher Reaktionen sowohl von dem Vortragenden*) als auch auf dessen Veranlassung in ergänzender Weise von *Schönbein***) dargelegt worden. Von den damals mitgeteilten Reaktionen des Chinons, welche sonderbarer Weise grösstenteils auch noch heute in den Lehr- und Handbüchern der organischen Chemie nicht verzeichnet sind, mögen an dieser Stelle nur erwähnt werden: die Bräunung des Pyrogallols (unter Bildung des Pyrogallochinons oder Purpurogallins), die Bläuung der Guajakharzlösung, die Wiederbläuung der durch Wasserstoffpersulfid oder durch Hydroschwefligesäure gebleichten Indigolösung, die Bläuung des aus einem Ferrosalze und Ferrocyankalium erhaltenen weisslichen Ferrocyaneisens, die Bläuung der angesäuerten Jodkalium-Stärkelösung u. s. w. Diese und andere Oxydations-

*) Über eine neue Ozonverbindung organischer Natur; Mitteilungen der Berner naturforschenden Gesellschaft 1867.

**) Über den beweglich-tätigen Sauerstoff im Chinon; Verhandlungen der Basler naturforschenden Gesellschaft, IV, 799 (1867).

Reaktionen, zu welchen in neuester Zeit u. a. auch die tiefe Rötung einer verdünnten hellgelben Isobarbaloinlösung durch Chinonlösung hinzugetreten ist, rechtfertigen eine Vergleichung des Chinons mit gewissen anorganischen Peroxyden wie z. B. dem Bleisuperoxyde und bestätigen die Ansichten über eine Superoxydnatur des Benzochinons und anderer verwandter Chinone, zu welchen auf anderem Wege schon *C. Graebe* in seiner klassischen Arbeit über die Chinongruppe (1867) gelangt war.

In einem nahen Zusammenhange mit diesem Charakter des Chinons als superoxydartiges Oxydationsmittel steht nun auch sein Verhalten als eine Verbindung mit locker gebundenem Sauerstoff, welch letzterer in Folge seines eigentümlich tätigen Zustandes und seiner losen Bindungsweise im Stande ist, sich nicht allein auf fremde oxydierbare Stoffe zu werfen, sondern auch mit den im Chinon selbst vorhandenen Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen in festere Verbindung zu treten und tiefgefärbte Oxydationsprodukte zu bilden, mit andern Worten eine sogenannte innere oder intramolekulare Oxydation zu bewerkstelligen. So erklärt sich die Tatsache, dass eine wässerige Chinonlösung selbst bei vollständigem Abschluss von Sauerstoff relativ rasch ihre gelbe Färbung nachdunkeln lässt resp. in eine mehr und mehr braun gefärbte Flüssigkeit übergeht und in demselben Masse die oben angeführten Eigenschaften als organisches Oxydationsmittel einbüsst. Das Chinon, obwohl wegen seiner leichten Krystallisierbarkeit eine scheinbar stabile Substanz, verhält sich hinsichtlich der Tendenz zur intramolekularen Verbrennung in ganz analoger Weise wie das bei den Guajakharzreaktionen auftretende „Guajakblau“, das durch Superoxyde oder andere ozonartig wir-

kende Oxydationsmittel aus gewissen Aloinarten erzeugte „Aloinrot“ oder auch das aus dem Alkaloide Apomorphin durch spontane Oxydation sich bildende in Wasser und Alkohol mit grüner, in Äther, Chloroform u. s. w. mit violettroter Farbe lösliche Oxydationsprodukt. Ja, auch das Oxyhämoglobin des arteriellen Blutes zeigt, wie noch zu erörtern sein wird, ein durchaus analoges Verhalten. Alle die genannten Sauerstoffverbindungen mit teilweise locker gebundenem, nach Schönbein in beweglich tätigem Zustande befindlichen und daher ozonartig wirkenden Sauerstoff verändern sich, auch bei Luftabschluss, spontan; so gehen beispielsweise Guajakblau oder Aloinrot unter Veränderung der Farbe der Lösungen und unter festerer chemischer Bindung des „tätigen“ Sauerstoffs in stabilere Oxydationsprodukte der Guajakonsäure resp. des Aloins über und die betreffenden Lösungen (des Guajakharzes und Aloins) verlieren deshalb nach öfterer Bläuung oder Rötung und jeweiliger spontaner Entfärbung allmählich das Vermögen, durch Oxydationsmittel wieder gebläut resp. gerötet zu werden, ebenso wie das gelöste Chinon durch eine analoge innere Verbrennung allmählich die schön gelbe Farbe und seine oxydierenden Wirkungen (siehe oben) einbüsst.

Endlich äussert das Chinon merkwürdigerweise ungeachtet seiner verschiedenen Oxydationswirkungen gleichzeitig die Eigenschaften einer durch Oxydationsmittel oxydierbaren und zugleich, ähnlich wie Pyrogallol oder Hydrochinon, energischer Autoxydation fähigen Substanz. Während die wässrige Chinonlösung, wie erwähnt wurde und wie die vorgewiesene, mit luftfreiem Wasser hergestellte und mit Petroläther überschichtete Lösung zeigt, schon bei Sauerstoffabschluss durch innere Oxydation ihre Farbe und ihr oxydierendes Vermögen verändert,

tritt die Farbenänderung, d. h. der Uebergang der gelben in eine braune Färbung, noch merklich rascher und intensiver bei Luft- resp. Sauerstoffzutritt ein, wie denn die geringe Haltbarkeit mehr oder weniger hermetisch abgeschlossener Chinonlösungen längst bekannt ist. Mit diesem Verhalten geht die Tatsache Hand in Hand, dass die frische Chinonlösung, der Pyrogallollösung analog, durch eine Reihe von Oxydationsmitteln, wie Chromsäure oder Uebermangansäure sofort gebräunt wird.

So erinnert das Chinon durch sein gleichzeitig stark oxydierendes und intensiv reduzierendes Vermögen an die Eigenschaften des Wasserstoffsuperoxyds. Wir können dasselbe als eine in labilem chemischem Gleichgewichte befindliche Substanz betrachten, in welcher je nach der Art der das Molekül treffenden Erschütterung oder Gleichgewichtsstörung bald die eine, bald die andere Eigenschaft ausgelöst wird.

In ganz analoger Weise, wie die Autoxydation des Pyrogallols wird nun auch sowohl die innere Verbrennung als die spontane Oxydation des Chinons durch Temperaturerhöhung, Lichtwirkung und namentlich durch Herbeiführung alkalischer Reaktion beschleunigt und verstärkt und ebenso, wie bei Pyrogallol, sind auch hier die Erscheinungen der Oxydation an die Gegenwart von Wasser geknüpft, wie denn die Tatsache, dass eine alkalisch gemachte wässerige Chinonlösung begierig Sauerstoff absorbiert, schon *Wöhler* und andern Chemikern seiner Zeit bekannt war.

Das Chinon zeigt überdies bezüglich seiner Fähigkeit zur innern Oxydation deutliche Aehnlichkeit mit dem Farbstoffe des arteriellen Blutes, dem Oxyhämoglobin, welches bekanntlich nicht allein bei Einwirkung gewisser Oxydationsmittel (wie etwa Ferricyankalium, Hypochlo-

rite etc.), sondern auch spontan bei Erwärmung oder Eintritt stark alkalischer Reaktion unter Veränderung des Hämochromogen-Komplexes in Hämatin (auf Kosten des lose gebundenen Oxyhämoglobin-Sauerstoffs) Methämoglobin bildet und unter gewissen Bedingungen noch weitere Zersetzung erleidet, d. h. unter gleichzeitiger Abspaltung eines Albuminstoffes Hämatin abscheidet.

Während nun aber, um nochmals auf den Einfluss der alkalischen Reaktion bei den beschriebenen Oxydationsvorgängen zurückzukommen, die bisherigen Erfahrungen über die Beschleunigung und Verstärkung von Prozessen der spontanen oder auch der intramolekularen Oxydation (bei Pyrogallol, Gerbsäuren, Chinon und manchen andern Substanzen) fast ausnahmslos mit basischen Stoffen von sehr stark alkalischer Reaktion, wie z. B. mit kaustischen Alkalien oder Alkalikarbonaten gemacht worden sind, haben mich in letzter Zeit neue Versuche zu Beobachtungen geführt, welche ich am Schlusse dieses Vortrages anführen zu sollen glaube, weil aus denselben hervorgeht, dass der fördernde Einfluss alkalischer Stoffe auf Oxydationsvorgänge der verschiedensten Art eine viel allgemeiner verbreitete Erscheinung darstellt, als bis jetzt angenommen werden durfte.

Im Anschlusse an eingehendere Versuchsreihen über die Einwirkung alkalischer Reaktion auf das Oxydationsvermögen verschiedener Metallsalze *) habe ich weitere

---

*) s. m. Abhandlung: Über die Einwirkung anorganischer und organischer alkalischer Substanzen auf das Oxydationsvermögen von Metallsalzen. Verhandlungen der Basler naturforschenden Gesellschaft Bd. XVI (Hagenbach-Festband) 1903, Seite 70. Im weitern vergleiche E. Feder, Beiträge zur Kenntnis der Basizität der Alkaloide, geprüft an ihrer Wirkung auf gewisse Oxydationsvorgänge. — Inaug.-Dissert. Strassburg 1904.

Beobachtungen über den Einfluss alkalischer Substanzen auf die Vorgänge der Autoxydation z. B. bei Pyrogallol und Chinon, sowie der innern Oxydation (bei Chinon, Aloinrot, Guajakblau) angestellt. Es hat sich dabei ergeben, dass sowohl das oxydierende Vermögen gewisser Metallsalze (Kupfer-, Quecksilber-, Silber-, Goldsalze), als auch die Prozesse der Autoxydation sowie der intramolekularen Oxydation nicht allein durch stark wirkende Alkalien, sondern auch durch eine grosse Reihe schwach basischer anorganischer und organischer Stoffe (unter den letztern besonders durch verschiedenste Pflanzenbasen) wesentlich verstärkt werden, ja dass diese Einflüsse selbst schwächster alkalischer Reaktion öfters so intensiv sind, dass mit deren Hülfe durch Anstellung geeigneter Kontrollreaktionen die Gegenwart solcher basischer Substanzen erkannt werden kann, welche auf die gewöhnlich verwendeten Indikatoren (Pflanzenfarben und künstliche Farbstoffe) nicht mehr einwirken. Für die nähern Einzelheiten muss hier auf die beiden oben angemerkten Arbeiten verwiesen und mag deshalb nur in Kürze erwähnt werden, dass sowohl die Autoxydation des Pyrogallols und anderer analoger Substanzen als auch die Autoxydation und die innere Verbrennung des Chinons und ähnlicher superoxydartiger Verbindungen schon durch minimale Quantitäten selbst sehr schwach alkalischer anorganischer und organischer Stoffe in augenfälligster Weise gefördert werden. Diese Erscheinungen, d. h. der auffallend günstige Einfluss, den auch ganz schwach basische Substanzen auf verschiedenste Oxydationsvorgänge auszuüben vermögen, scheinen mir nicht ohne alle Bedeutung für das Verständnis physiologisch-chemischer Veränderungen zu sein; denn bekanntlich sind in den Geweben und Säften des lebenden Körpers,

namentlich im Blute und in manchen Drüsensekreten mancherlei Substanzen von mehr oder weniger stark ausgeprägter basischer Natur, ja auch solche von sogenannter amphoterer Reaktion vertreten, und ich müsste mich sehr täuschen, wenn nicht gerade solchen schwach alkalischen Verbindungen eine gewisse Rolle bei den verschiedensten, in den lebenden Körperorganen sich konstant abspielenden Oxydationserscheinungen zukäme. Nur zahlreiche weitere Versuche und Beobachtungen können diese, wie mir scheint, auch medizinisch nicht ganz unwichtigen Fragen abklären. Der grosse Forscher aber, der das Wort gesprochen hat: „Zwei Dinge erfüllen meine Seele mit heiligen Schauern, der gestirnte Himmel über mir und die Selbsterkenntnis in mir“, würde in unserer Zeit wohl noch beifügen: „die unübersehbare Kompliziertheit der Lebensvorgänge.“

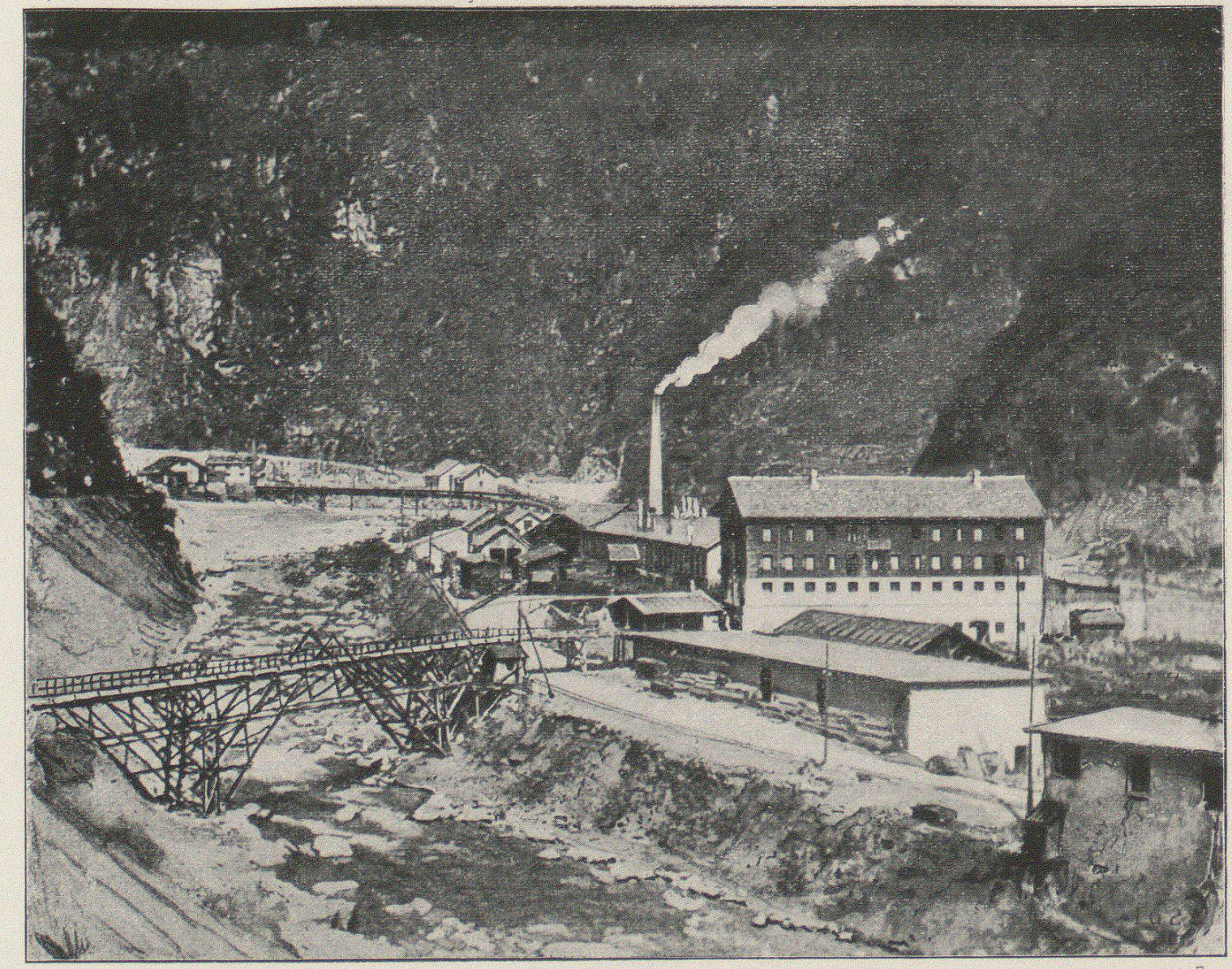
Der Bau des Simplon-Tunnels.

Von ED. SULZER-ZIEGLER.

Meine Herren! Als mich Ihr Kollege und mein Freund, Herr Rektor Keller, aufforderte, an Ihrer Jahres-Versammlung über den Bau des Simplon-Tunnels zu sprechen, hatte ich nicht geringe Bedenken dagegen. Sie sind gewohnt, bei diesem Anlass über rein wissenschaftliche Fragen zu diskutieren und über solche Berichte entgegenzunehmen. Auch der Durchstich des Simplon lässt sich rein wissenschaftlich behandeln, und zwar von verschiedenen wissenschaftlichen Gesichtspunkten aus, aber dafür bin ich nicht der Mann und masse mir solches auch nicht an; ich bin Praktiker und Geschäftsmann und kann, was ich vorbringen werde, nur von diesem Gesichtspunkte vorbringen, das andere den Gelehrten überlassend.

Wenn also mein Vortrag nicht nach Ihrem Geschmack sein sollte, so trifft die Verantwortung nicht mich, sondern meinen lieben und geschätzten Freund Rektor Dr. Keller.

Noch ein anderes Bedenken war mir aufgestiegen. Die naturforschende Gesellschaft zählt in ihrem Schosse auch die Herren Geologen. Nun wissen Sie, meine Herren, dass die Simplonunternehmung mit der Geologie und ihren Vertretern auf etwas gespannten Fuss geraten ist. Ich bin nun nicht etwa hier, um die Geologen heraus-



Tafel 1: **Installation in Iselle.**

zufordern, da würde ich angesichts der Beredsamkeit derselben sicherlich den Kürzeren ziehen, sondern ich werde nur den Standpunkt markieren, den wir Praktiker, durch die Erfahrung gewitzigt, den geologischen Voraussagungen gegenüber in Zukunft einnehmen werden.

Ich soll einige Mitteilungen machen über die Art und Weise, wie der Tunnel ausgeführt wurde und wird, über das Vorgehen und die Methoden, die beim Bau zur Anwendung gekommen sind und über die Erfahrungen, die bei demselben gesammelt worden sind.

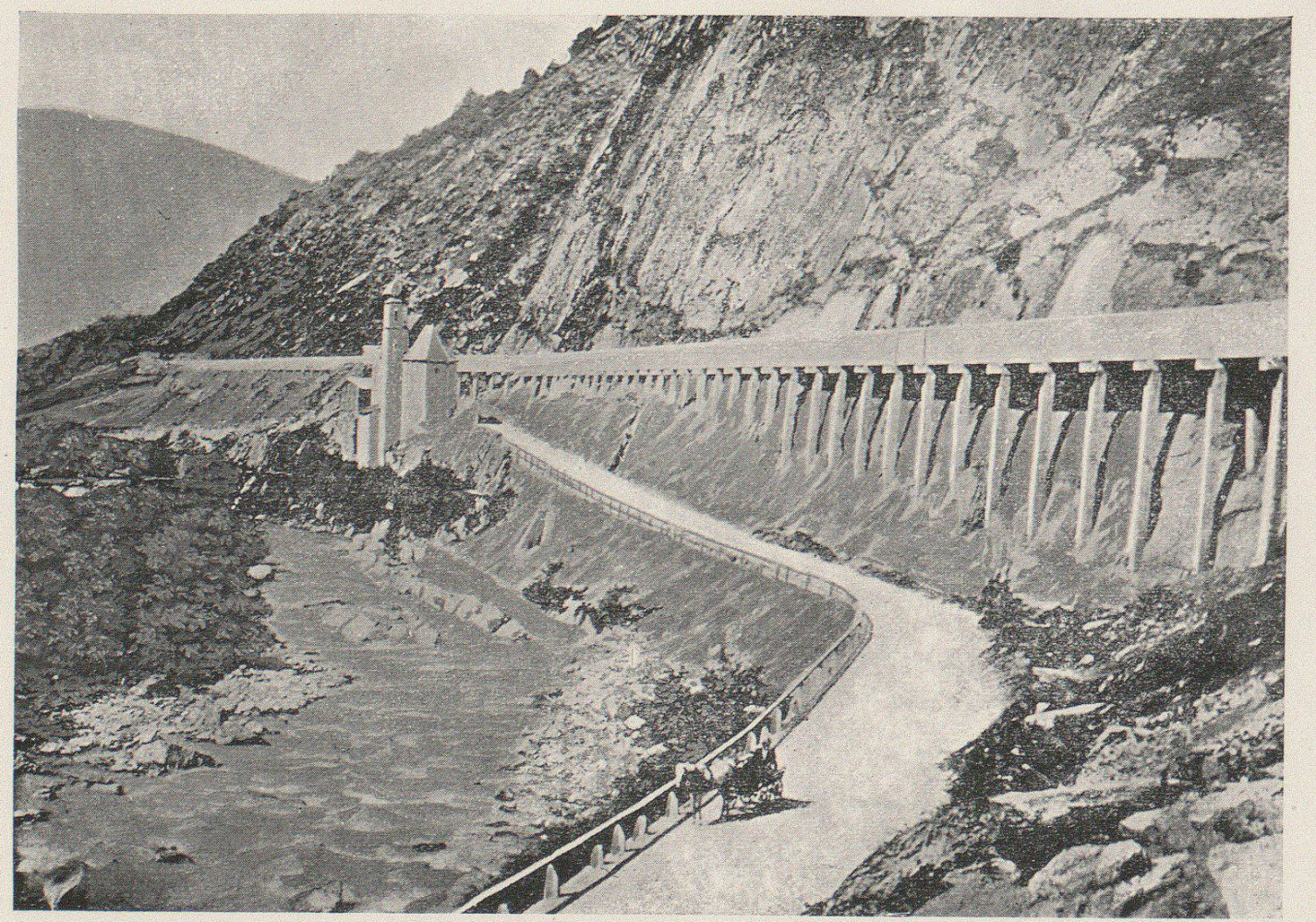
Bevor ich darauf eintrete, will ich mich einigermassen über das Objekt, um das es sich handelt, aussprechen. Es war ein Jahrzehnte langer Traum der Westschweiz, durch den Simplon eine Eisenbahnverbindung mit Italien zu bekommen. Einen Berg, der Simplon heisst, gibt es nicht, ebenso wenig, wie es einen Berg giebt, der Gotthard oder Splügen heisst. Was man heute die Gotthardbahn nennt, ist eine Bahn, die dieselben Zugangstäler benützt, wie die frühere Gotthardstrasse, und im Tunnel ungefähr unter denjenigen Gebirgszügen durchgeht, welche die Gotthardstrasse überschreitet. Gerade so ist es am Simplon. Der wesentliche Unterschied ist gegenüber dem Gotthard nur der, dass der Simplontunnel viel tiefer unten beginnt und infolge dessen erheblich länger wird, dafür aber den Vorteil hat, dass die sogenannten Bergstrecken erspart werden. Denken wir uns, der Gotthardtunnel beginne anstatt bei Göschenen oberhalb Amsteg und endige anstatt bei Airolo ungefähr bei Faido, so können wir uns am besten eine Vorstellung machen, in welchem Verhältnis bezüglich Meereshöhe, Zufahrtsverhältnissen, Gebirgsüberlagerung etc. der Simplontunnel zum Gotthardtunnel steht. Ein Tunnel von Amsteg nach Faido würde allerdings ungefähr 34 Kilometer lang,

während der Simplon 20 Kilometer lang ist; das heisst mit anderen Worten, das Simplongebiet eignet sich für einen sogenannten Basistunnel besser, indem auf derselben Meereshöhe der Tunnel ca. 70 % kürzer wird als im Gotthardgebiet.

Die Vorstellung von der Länge des Simplontunnels will ich durch einige Vergleiche klar machen. Der Simplontunnel ist ziemlich genau so lang, wie die Luftlinie zwischen Zürich und Winterthur, oder wie die Luftlinie von St. Gallen nach St. Margarethen, oder wie die Distanz von St. Gallen bis zur Säntisspitze, in der Projektion gemessen; einen andern Vergleich: Wenn wir uns den Tunnel in einem Tausendstel seiner Dimensionen vorstellen, so kommt er gleich einem Drahte von 6 mm Durchmesser und 20 m Länge.

Es ist zu konstatieren, dass es in der ganzen Alpenkette keine Stelle giebt, die für einen Basistunnel günstiger liegt, als das Simplongebiet. Basistunnel heissen wir diesen Tunnel, weil er die Berge an der Basis anpackt und dadurch bewirkt, dass man nicht mittelst Zufahrtslinien lange an dieselben heranzusteigen braucht, um dann den Tunnel erst weiter oben beginnen zu lassen. Beim Simplontunnel liegt der nördliche Eingang 685 m über Meer, also 15 m höher, der südliche Eingang 634 m über Meer, also 36 m tiefer als der Bahnhof St. Gallen. Der Höhenunterschied zwischen dem Simplon- und Gotthardtunnel beträgt rund 450 m. Es folgt aus dem Gesagten, dass, abgesehen von der grössern Länge beim Simplontunnel, die Gebirgsüberlagerung — ungefähr gleich hohe Berge vorausgesetzt, wie sie Simplon- und Gotthardgebiet in der Tat aufweisen — dementsprechend grösser sein muss.

Wir haben in Beilage 1 die Profile der drei Tunnels



Tafel 2: **Rhonewasserkanal in armiertem Beton.**

Mont-Cenis, Gotthard und Simplon. Das Mont-Cenis-Profil ist in ..... dargestellt, das vom Gotthard in .—.—. und das vom Simplon in ——— Linie. Es ist darauf aufmerksam zu machen, dass die Meereshöhe der Tunnelachsen vollständig verschieden ist. Der Mont-Cenis liegt 600 m höher als der Simplon, der Gotthard, wie gesagt, 450 m. Diese Darstellung soll nur das über der Achse liegende Profil veranschaulichen. Man ersieht daraus am allerdeutlichsten die Verschiedenheit der Ueberlagerung; wir sehen deutlich, dass der Simplontunnel in sehr vielen Punkten wesentlich höher überlagert ist als der Gotthard- und der Mont-Cenis-Tunnel. Bei sämtlichen Tunnels ist das Nordportal am selben Punkte angebracht, damit man einen Vergleich der Länge bekommt. Wir bemerken, dass der Mont-Cenis ungefähr 12 km, der Gotthard 15 km und der Simplon rund 20 km lang ist. Hier schon mache ich auf das sogenannte offizielle geologische Profil (Beilage 2), dasjenige Profil, das vor ungefähr 14 Jahren aufgestellt worden ist, aufmerksam; das untere (Beilage 2) — wir kommen später darauf zu sprechen —, stellt dasselbe Profil dar, mit den unterdessen durch die Geologen eingetragenen Änderungen.

Nachdem ich so den Brocken vorgestellt habe, den es sich zu durchbohren handelt, ist es nun meine Aufgabe, zu sagen, wie sich die Technik einem solchen Projekte gegenüber stellt, und da muss ich etwas zurückgreifen. Bekanntlich ist der Tunnelbau grössern Stils ein Kind der modernsten Zeit. Der Eisenbahnbau hat ihn ins Leben gerufen. Ein Tunnel wie der Hauenstein von zirka 2¼ km Länge war für seine Zeit ein Objekt, das aller Welt Aufmerksamkeit auf sich zog. Es war ein gewaltiger Schritt und brauchte auch einen gewaltigen Mut, den Mont-Cenis mit rund 12 km Länge in Angriff

zu nehmen. Es war das im Jahre 1859. Man war damals zu Beginne der Arbeiten noch gänzlich auf Handbohrung angewiesen. Die Maschinenbohrung wurde erst während des Baues erfunden und eingeführt; zur Abkürzung der Bauten wurden damals überall Schächte vorgeschlagen, welche eine grössere Anzahl Angriffspunkte schaffen sollten. Im Hochgebirge sind dieselben aber praktisch ausgeschlossen, weil sie zu tief und dadurch zu schwierig zu betreiben werden. Was wollte es aber heissen, sechs und einen halben Kilometer von einer Seite aus mittelst Handbohrung zu machen? Wenn wir per Tag einen Meter Fortschritt der Bohrung rechnen — und mehr dürfen wir nicht — so giebt es bei 360 Arbeitstagen per Jahr für diese 6½ km eine Arbeitsdauer, bis die Stollen durchschlagen sind, von 16½ Jahren. Das heisst man fürwahr eine *Geduldsarbeit!* So lange ist es nun allerdings nicht gegangen, dank dem Umstand, dass während des Baues des Mont-Cenis mechanische Bohrung zur Anwendung kam; aber 11 Jahre hat es immerhin gedauert, was einen durchschnittlichen täglichen einseitigen Fortschritt von zirka 1½ m gleichkommt, und das 12. Jahr wurde zur Vollendung des Tunnels gebraucht. So lange dauernde Bauten geben teure Bauten ab, an und für sich, und ganz besonders wegen der auflaufenden enormen Zinsen des ausgegebenen Kapitals, das erst nach Jahren Früchte trägt. Es hat sich also für die Technik vor allem um die Frage gehandelt: Wie kürzen wir die Dauer solcher Bauten ab? Da kann nur helfen: verbesserte mechanische Bohrung. In der Tat war der Gotthard mit seinen rund 15 km Länge in zirka 8 Jahren durchbohrt, was einem durchschnittlichen täglichen Fortschritt von einer Seite von zirka 2,6 m gleichkommt: schon ein gewaltiger Fortschritt!

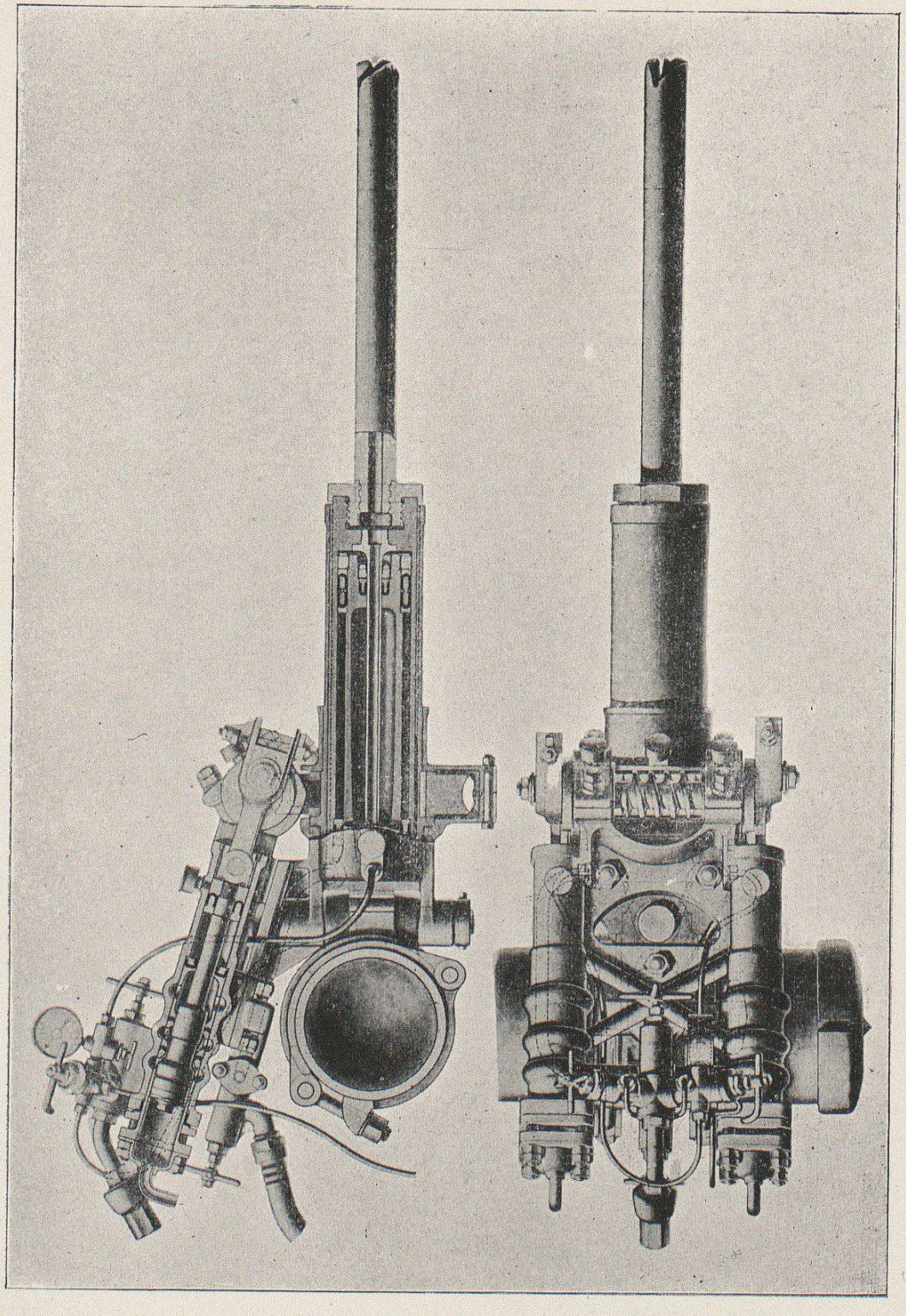


Tafel 3: **Signal auf der Spitze des Monte Leone.**

Und nun die Bauzeit für den 20 km langen Simplontunnel! Welche Dauer sollte da in Aussicht genommen werden? Sie wurde in folgender Weise berechnet. Die Gesamtlänge des Tunnels beträgt genau 19,770 m, die Hälfte also 9885 m. Es kann davon keine Rede sein, dass man grössere Vorbereitungen trifft, bevor einem der Auftrag erteilt ist. Von diesem Tag an mussten wir mindestens 3 Monate rechnen, bis wir mit den Einrichtungen für die mechanische Bohrung bereit sein konnten. Rechneten wir für die Handbohrung täglich einen Meter, so ergab das in 3 Monaten rund 100 m; das kommt fast nicht in Betracht.

Es war für uns eine ausgemachte Sache, dass nur *ein* Bohrsystem, nämlich das nach seinem Erfinder genannte *Brandt'sche Bohrsystem* mit hydraulischem Betriebe in Betracht kommen konnte. Mit Rücksicht einerseits auf die Aufschlüsse der geologischen Profile, die zahlreich ausgearbeitet worden waren, und die die zu erwartenden Gesteinsarten und deren mutmassliche Schichtungen im grossen ganzen als günstig darstellten, und anderseits mit Rücksicht auf bereits erwiesene Leistungen des Brandt'schen Bohrsystems, glaubten wir einen durchschnittlichen täglichen Fortschritt auf jeder Seite von $5^1/_2$ m in Aussicht nehmen zu dürfen. Das ergab für die restierenden 9785 Meter einer Seite rund 5 Jahre bis zum Durchschlag und inklusive des nötigen halben Jahres zur Vollendung des Tunnels, vom Tage der Inbetriebsetzung der mechanischen Bohrung an, eine Bauzeit von $5^1/_2$ Jahren. Ich werde später davon sprechen, wie wir dieses Programm eingehalten haben und bemerke nur noch, dass bei der knappen Finanzierung des ganzen Unternehmens es auf eine kurze Bauzeit wegen der namhaften Ersparnisse an Zinsen wesentlich ankam.

Lag die Frage der mechanischen Bohrung verhältnismässig einfach, so stellten sich derjenigen der *Ventilation* dagegen grosse Schwierigkeiten entgegen. Eines hat der Bau des Gotthardtunnels klar und deutlich dargetan, nämlich, dass die dort angewendeten Mittel zur Erneuerung der Luft gänzlich ungenügend waren. Hinsichtlich der Ventilation war man an den Bau des Mont-Cenistunnels mit einer geradezu unglaublichen Naivität getreten, indem man annahm, dass sich die Lufterneuerung so mehr oder weniger von selber herstelle, wie das in der Tat bei ganz kurzen Tunnels der Fall ist. Es ist daher erklärlich, dass beim Mont-Cenis die Einführung der komprimierten Luft zum Betriebe der Bohrmaschinen, die zugleich eine gewisse Lüftung brachte, als eine grosse Errungenschaft betrachtet wurde. Unter dem Eindruck derselben wurde das Bauprogramm für den Gotthard festgestellt. Prinzipiell ist es nun ja ganz richtig, dass komprimierte Luft bei ihrer Expansion Lufterneuerung bringt. Man hat sich aber quantitativ verrechnet. Was die Luftbohrmaschinen brauchen, genügt wohl für das dabei beschäftigte Personal; aber die andern Arbeiter sind auch noch da und bilden das „Gros“ und für diese war beim Bau des Gotthardtunnels nicht genügend gesorgt. Es ist in wasserarmen Wintern, wo die Kraft knapp war, vorgekommen, dass per Sekunde nicht mehr als zirka $1^1/_2$ cbm atmosphärischer Luft in den Tunnel kam, also per Minute zirka 90 cbm und das für zirka 400 Mann, während man per Mann, der im Tunnel arbeitet, mindestens einen halben Kubikmeter rechnen sollte, was 200 cbm erfordert hätte. Die Folge war dann auch eine entsprechende Verunreinigung der Luft durch Lampen, Sprengmaterialien und nicht zuletzt durch die Ausdünstung der Menschen selbst, ein Zustand, welcher die Gesundheit,



Tafel 4: **Bohrmaschine.**

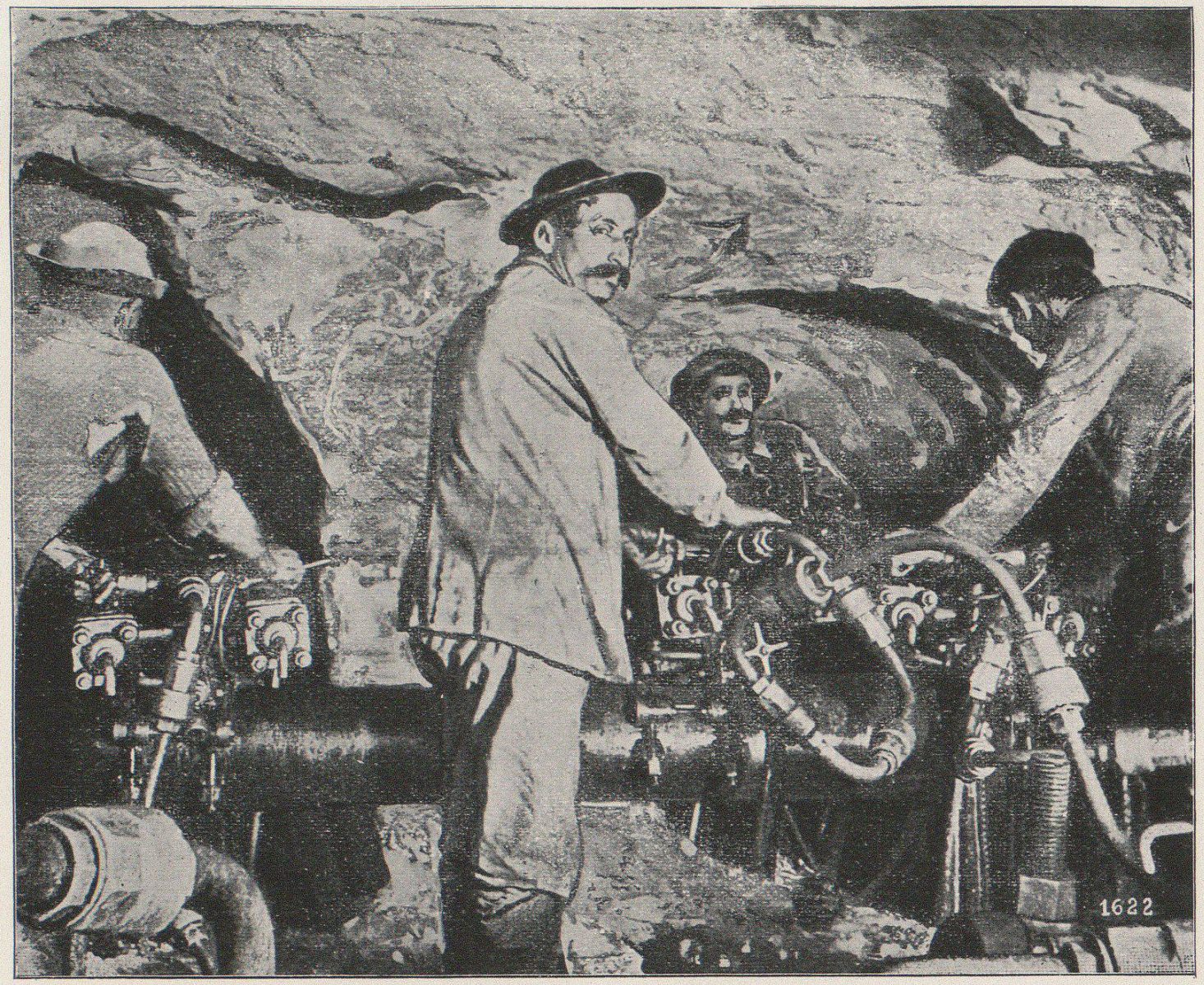
also auch die Leistungsfähigkeit der Arbeiter stark beeinträchtigte und dadurch die Arbeiten sehr verteuerte.

Es ist wesentlich der ungenügenden Ventilation zuzuschreiben, dass der Gesundheitszustand der Arbeiter am Gotthard viel zu wünschen übrig liess, der mit der mangelnden Reinlichkeit und infolge dessen auftretender Krankheiten viele Menschenopfer forderte. Es war ein St. Galler Arzt, der leider zu früh verstorbene, verdiente Dr. Sonderegger, der im Auftrag der eidgenössischen Behörden damals am Gotthard Untersuchungen veranstaltete und darüber Bericht erstatten musste. Sein Bericht ist sehr interessant; er war selbstverständlich wie immer vom besten Willen erfüllt, aber ändern konnte er nichts mehr, da der Sachlage gemäss nichts mehr zu ändern war. Der Sprechende war von einem Besuche am Gotthard während des Baues derart ergriffen, dass er sich damals sofort die Frage vorlegte: Ist es wirklich beim Tunnelbau nicht anders zu machen, als dass die Arbeiter unter derartig erschwerenden und peniblen, ihrer Gesundheit schädlichen Umständen arbeiten müssen? Giebt es nicht Mittel, diese schweren Übelstände zu heben, so dass auch der Tunnelbau auf humane Weise betrieben werden kann? Das Problem schien schwierig genug; die Leute vom Fach schüttelten die Köpfe und glaubten sich resigniert in das Unvermeidliche schicken zu müssen. Man muss eben bedenken, wie schwierig es ist, sperrige Einrichtungen zu machen in einem so engen Raum, wie ein Tunnel es ist, in dem ein grosser Verkehr für Abfuhr des Sprengschuttes und Einfuhr der Baumaterialien stattfindet, in dem alle paar Stunden gesprengt wird, wo je nach dem Gestein Wände und Decken mit dicht aneinander stehenden Holzbalken — dem sogenannten Einbau — gestützt werden müssen, wo einbrechendes

Wasser fusshoch den Boden, die sogenannte Sohle, überschwemmen kann, wo alles konstant im Werden und Entstehen, nichts bleibend ist; ich sage, man muss all das bedenken, und dann begreift man die Resignation der damaligen Fachleute. Man durfte sich aber dadurch nicht abschrecken lassen. Ein zweiter Tunnelbau mit derartigen Menschenopfern, wie der Gotthard sie gefordert hat, wäre unverantwortlich gewesen. Wenn die Technik nicht die Mittel findet, diese Dinge zu ändern, dann lieber keinen derartigen Tunnel mehr bauen, das sagte man sich!

Nach eingehendem Studium dieser wichtigsten Frage glaubten wir den Weg gefunden zu haben. Der Bau des Arlbergtunnels bot uns das gewünschte Versuchsfeld. Unser Vorschlag, mittelst Rohrleitungen von einem bis dahin für unmöglich gehaltenen Durchmesser und mit viel Luft von schwacher Pression den Tunnel stark zu ventilieren, fand die Zustimmung der österreichischen Ingenieure, und der Erfolg hat uns vollkommen Recht gegeben. Wesentlich dank der neuen Ventilationsmethode, nach welcher per Sekunde durchschnittlich 6 cbm Luft eingeführt wurden, ist der Arlbergtunnel ein Jahr vor dem programmässigen Zeitpunkt vollendet worden, und es muss gesagt werden, dass schon am Arlbergtunnel der Gesundheitszustand der Arbeiter ein guter war.

Für den Simplon lag die Frage der Ventilation ungleich schwieriger als für den Arlberg. Es handelte sich um die doppelte Länge — der Arlberg hat zirka 10 km —, es handelte sich um eine grössere Anzahl Leute, die zu gleicher Zeit im Tunnel arbeiten, und es handelte sich, und das war die Hauptsache, um hohe Temperaturen, ein vollständig neuer Faktor im Tunnelbau. Wollte man als Grundsatz aufstellen — und das taten wir — dass in aller erster Linie die im Tunnel beschäftigten

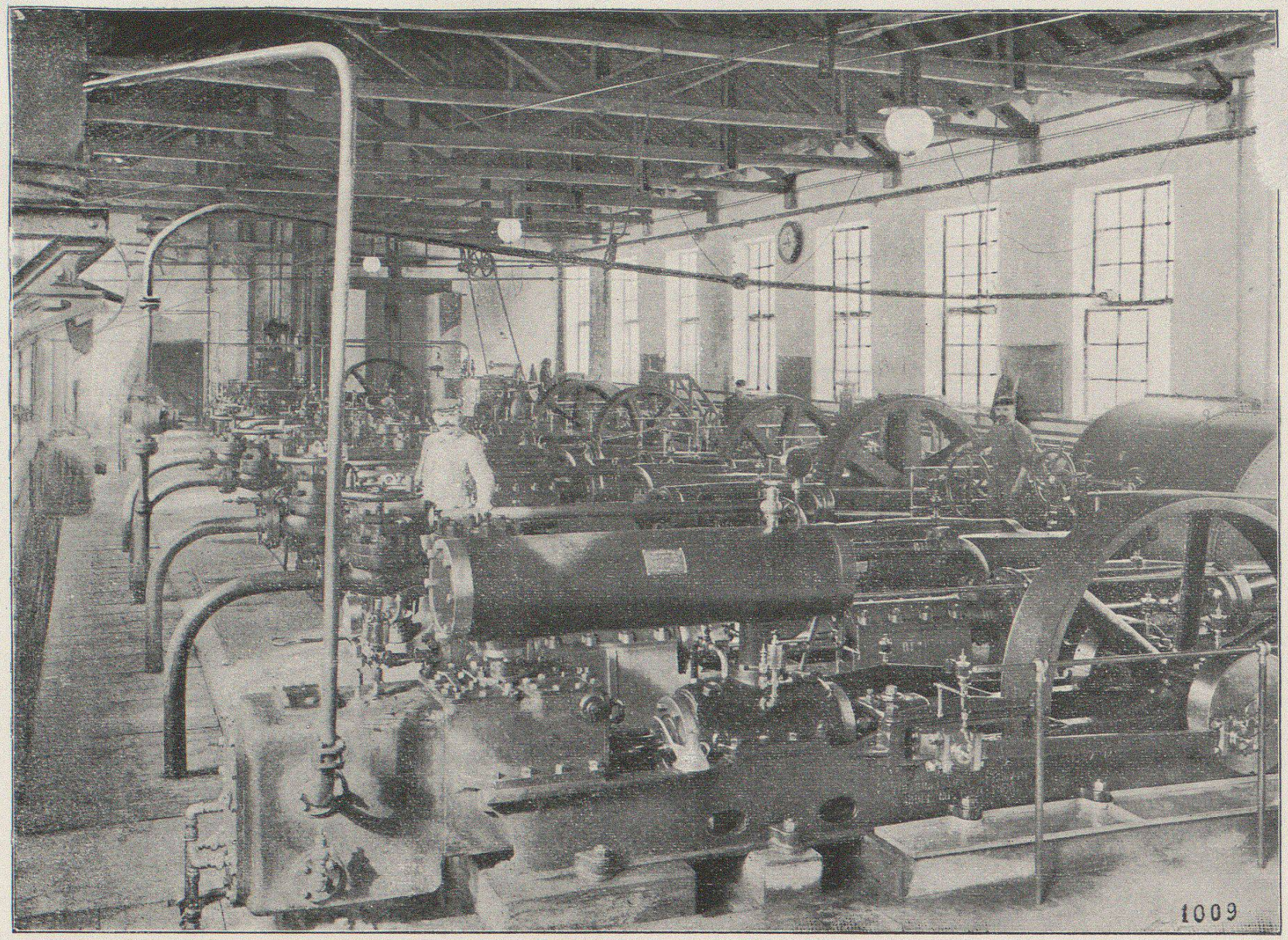


Tafel 5: **Bohrmaschine Vorort.**

Menschen geschont und in ihrer Gesundheit nicht geschädigt werden sollten, dass sie ferner ihre volle Leistungsfähigkeit sollten entwickeln können, ich möchte sagen wie Leute, die in freier Luft, unter freiem Himmel arbeiten, so stand man bezüglich Lufterneuerung vor Anforderungen, die weit über das hinausgingen, was bis daher angenommen war. Nicht einen halben, auch nicht nur 1 cbm Luft per Mann und Minute, sondern womöglich 3 cbm und eher noch mehr waren in Aussicht zu nehmen bei 500 Mann im Tunnel; also 1500 cbm Luft per Minute. Wir gingen dabei von der einfachen Tatsache aus, dass ein Mensch hohe Temperaturen nicht erträgt, wenn er in stagnierender Luft arbeiten muss, durch sie aber nicht beeinträchtigt wird, wenn er in Zugluft steht. Jeder von uns hat das schon an sich gespürt; die Luft mag noch so schwül sein, wenn ein Lüftchen geht, ist es erträglich. Dieses Lüftchen wollten wir unsern Arbeitern verschaffen. Aber wie? Die Rechnung ergab, dass derartige Quantitäten Luft nur mit einem unverhältnismässigen Aufwand von Kraft durch Rohrleitungen auf grosse Distanzen geblasen werden konnten, und ungemessene Kräfte standen uns nicht zur Verfügung Wohl konnte man ja in der fertiggestellten Partie des Tunnels Rohrleitungen von grossem Durchmesser, sagen wir ein Meter und noch mehr, plazieren, um an Reibung und dadurch an Kraft zu sparen; es blieb aber immer noch das Problem, durch die sogenannte Baustrecke, die jeweilen über 1000 m lang ist, die nötige Luft durchzupressen. Man musste immer mehr und mehr einsehen, dass das nicht möglich sein würde, und so reifte nach und nach der Gedanke an die gleichzeitige Herstellung des zweiten Stollens, des *Parallelstollens*, der mit einem Schlag die befriedigende Lösung gab.

Man macht sich eine falsche Vorstellung, wenn man meint, solche Ideen seien als geniale Einfälle sofort zur Hand, nein, aus der Not werden sie geboren, als Schlussresultat auf den Grund gehender Gedankenarbeit, und wenn sie gut sein sollen, so müssen sie einfach sein, so dass nachher jedermann sagt: „Es ist ja selbstverständlich und keine Hexerei; das hätte ich auch so gemacht; wie kann man das überhaupt anders machen?“ Die befriedigende Lösung bestand darin, dass wir nun in diesem zweiten Stollen das grosse Rohr besassen, dessen wir bedurften; nur noch viel grösser, als man sich bisher vorgestellt hatte, und das zugleich den Vorteil bot, dass es die Arbeiten im Haupttunnel in keiner Weise genierte. Damit konnte man nicht nur 3 cbm per Mann und per Minute, sondern noch mehr Luft in die Arbeitsstellen bringen. Abgesehen von dem Vorteil für die Lüftung brachte der zweite Stollen ebenso grosse für die Transportfrage, die im Tunnel eine so grosse Rolle spielt, für die Frage des Wasserabflusses und namentlich für die Preisfrage; denn er ermöglichte die Ausführung eines vorläufig nur eingeleisigen Tunnels. Auf alle diese Dinge werden wir später zu sprechen kommen.

Waren wir damit der Lösung des Problems schon nahe gerückt, so blieb immer noch *ein* ganz dunkler Punkt: *die Wärme.* Denn dass diese mit der blossen Ventilation bei der bekannten geringen Wärmekapazität der Luft nicht bewältigt werden konnte, war klar und ergab die Rechnung. Der Faktor Wärme hatte schon beim Gotthard eine fast verhängnisvolle Rolle gespielt, trotzdem die Wärme des Gebirges dort nur auf 31 ° C. stieg, während für den Simplontunnel, dank der grösseren Ueberlagerung 38, 40, ja bis zu 42° C. in Aussicht gestellt waren. Bekanntlich nimmt die Erdwärme zu, je



Tafel 6: **Kompressionsmaschinenanlage in Brig.**

weiter man von der Oberfläche der Erde, z. B. in einem Schacht, in die Tiefe dringt. Man hat durch Messungen herausgefunden, dass in der Ebene die Wärme mit je ungefähr 30 m Tiefe um einen Grad zunimmt; im Gebirge, wo Abkühlungsflächen der Berge vorhanden sind, ist es anders, und man hat beim Simplon auf 60 m einen Grad gerechnet. Die Ueberlagerung des Gebirges über dem Tunnel ist nun auf seiner ganzen Länge sehr verschieden; sie ist in den ersten Kilometern von Norden gering, wächst dann nach dem 5. km rasch, erreicht bei km 9, gerade unter der italienisch-schweizerischen Grenze, ihr Maximum mit 2135 m, bleibt dann zirka 7 km ungefähr gleich mit durchschnittlich 1800 m und sinkt gegen das Südportal allmählich wieder ab. In der ganzen Partie vom 6. km von Nord bis zum 15. war eine erheblich höhere Temperatur als beim Gotthard zu gewärtigen, nämlich zwischen 35—40° C. Nachdem sich am Gotthard erwiesen hatte, dass schon eine Temperatur von zirka 30° C. bei wenig erneuter Luft die Leistungsfähigkeit des Arbeiters stark herunterminderte, musste man sich rechtzeitig vorsehen. Es kommt dazu, dass in jedem Tunnel die Luft sozusagen gänzlich mit Feuchtigkeit gesättigt ist, weil jedes Gebirge etwas Wasser führt, und dass diese Sättigung vom Menschen bekanntlich sehr lästig empfunden wird, aus dem einfachen Grunde, weil er darin nicht transpirieren, respektive der Schweiss in einer solchen Luft nicht verdunsten kann. Es handelte sich also darum, nicht nur viel, sondern genügend kühle und vor allem wo möglich trockene Luft für den Arbeiter zu beschaffen. Nun aber wie? Zur Kälteerzeugung sind verschiedene Mittel tauglich: Das Expandieren komprimierter Luft hätte z. B. nahe gelegen; die Gletscher sind ja auch in der Nähe, man

könnte leicht Eis und Lawinenschnee einführen, auch könnte man durch künstliches Eis Kälte erzeugen, da ja Kraft genug vorhanden ist. Ja, das ist prinzipiell alles recht, wenn man aber zu rechnen anfängt, einerseits was für Wärmemengen abzuführen sind, und anderseits was die verschiedenen Verfahren leisten, so ergiebt die Rechnung entweder monströse Anlagen oder aber ein grosses Defizit. Vor allem aber musste man sich darüber Rechenschaft geben, wie gross das abzuführende Wärmequantum sei, um die Temperatur für den Arbeiter auf ein vernünftiges Mass hinunter zu bringen, als welches 25° C. angenommen wurde. Wie viele Calorien, wie viel Wärmeeinheiten werden die Tunnelwände, wird das Ausbruchsmaterial abgeben? Eine solche Rechnung ist wohl kaum je zuvor durchgeführt worden. Sie ist das spezielle Verdienst des leider zu früh verstorbenen Oberingenieur *Hirzel-Gysi* von Winterthur, der auch in der Lösung der Ventilationsfrage hervorragenden Anteil gehabt hat, den Bau des Tunnels aber nicht mehr erleben sollte. Es lag bis zu einem gewissen Grad der umgekehrte Fall vor, als wie er sich bei der Heizung eines Gebäudes präsentiert; bei der letztern handelt es sich um Wärmezuführung, hier beim Tunnel um Wärmeabführung. Es wäre Verwegenheit gewesen, Vorschläge für den Bau des Simplontunnels zu machen, bevor man sich mit dieser Frage der Wärmeabführung gründlich und möglichst zuverlässig abgefunden hatte. Die Rechnungen ergaben eine stündlich nötig werdende Wärmeabführung von zirka zwei Millionen Wärmeeinheiten, und als unter gegebenen Umständen tauglichstes Mittel kam *Hirzel* wieder auf ein möglichst einfaches — kaltes Wasser. Das scheint wiederum ungeheuer einfach und selbstverständlich, und doch ist kein anderer darauf gekommen.



Tafel 7: **Anzünden der Minen Vorort.**



Tafel 8: **Schutterung Vorort.**

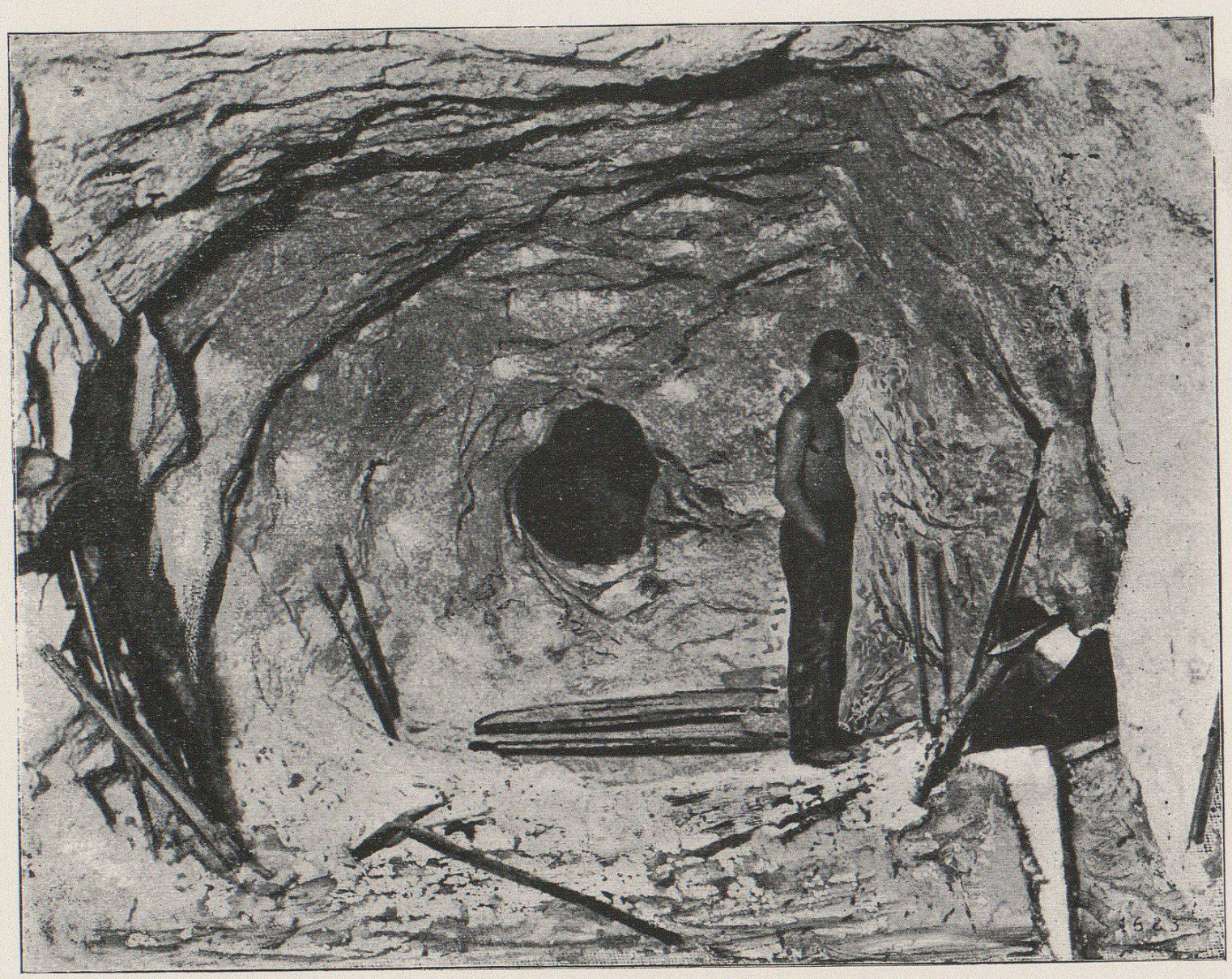
Nachdem auf diese Weise die drei Hauptfragen: mechanische Bohrung, Ventilation und Kühlung befriedigend geordnet waren, konnte man daran denken, das Programm für die *Installationen* des genauern aufzustellen (Tafel 1). In erster Linie kam die *Kraftfrage.* Aus dem Gesagten ergiebt sich, dass bei einem derartigen Tunnelbau der Mechaniker so viel zu tun hat wie der Bauingenieur. Es handelt sich überall um die Anwendung grosser mechanischer Mittel sowohl bei der Bohrung, wie bei der Ventilation, wie bei der Kühlung; dem entsprechend muss der Kraftbedarf für solche Tunnelbetriebe ein grosser sein. Die genannten Betriebe zusammen unter Hinzurechnung der nötigen Kraft für Werkstätten, Sägereien, für elektrisches Licht zur Beleuchtung der Installationen etc. absorbierten nach unserer Rechnung zirka 1700 HP; um ganz sicher zu gehen, nahmen wir aber 2200 HP an, und wir sind heute darüber froh.

Wenn man Kraft sucht, hat man in unsern Bergen die Auswahl; so standen uns denn auch auf der Nord- und Südseite verschiedene Kraftquellen zur Verfügung. Wir wählten die sichersten, diejenigen, die so ausgebeutet werden konnten, dass sie möglichst wenig durch Steinschlag, Lawinen und Ueberschwemmung gefährdet waren und damit einen ununterbrochenen Betrieb garantierten: auf der Nordseite die Rhone, auf der Südseite die Diveria. (Taf. 2.)

Es möge gestattet sein, nicht etwa in logischer Folge dessen, was ich gesagt habe, sondern weil es gerade den Laien interessieren wird, einige Worte über die *Triangulation* einzuschalten, über die Frage, wie es möglich ist, dass man in einem solchen Loche aufeinander kommt Ich habe immer bemerkt, dass dem Laien diese Frage die grösste Sorge macht. Ich kann

aber versichern, dass dies für den Techniker das geringste Bedenken ist. Deswegen habe ich noch nie eine unruhige Nacht gehabt. Soweit sind wir, dank der raffinierten Ausbildung unserer Messkunde; wir hoffen nicht nur auf den Meter, nicht nur auf den Dezimeter, sondern auf wenige Centimeter genau zusammenzukommen.

Ueber die Bestimmung der Tunnelachse möge folgendes zur Orientierung dienen. Wir sind mitten im Gebirge, und wir sehen von der Spitze der Berge, zum Beispiel der Nordseite, wenn auch nicht die Spitzen am andern Ende, so doch die Spitze des Monte Leone, der im Zentrum des Simplonmassivs steht; ebenso von den Bergspitzen der Südseite die Spitze des Monte Leone und verschiedene andere. Es wird nun unter denjenigen Bergspitzen, die sich am besten eignen, das Triangulationsnetz hergestellt, d. h. es werden die Winkel, unter denen diese Bergspitzen stehen, die mit Signalen versehen sind, genau festgestellt, mit der heutigen geradezu unglaublichen Präzision. Man kennt anderseits die beiden Endpunkte des Tunnels. Es handelt sich nun schliesslich darum, die letzten Winkel auf Nord- und Südseite festzustellen zwischen den Ausgangspunkten und den von denselben sichtbaren Bergspitzen, und wenn diese Winkel festgestellt sind, und man die Tunnelachse kennt, kann man sich nicht mehr täuschen: Der Tunnel muss in der ganz bestimmten Richtung gemacht werden, vorausgesetzt, dass die Absteckungen günstig vollzogen werden können. Nun, in dieser Beziehung waren wir ausserordentlich begünstigt. Wir haben noch vom 6. km auf Nord- und Südseite hinausgesehen; dann hatte es aber eine Grenze; es handelte sich dann darum, nach gemachten Fixpunkten die Messinstrumente zu hand-



Tafel 9: **Durchschlag in der First.**

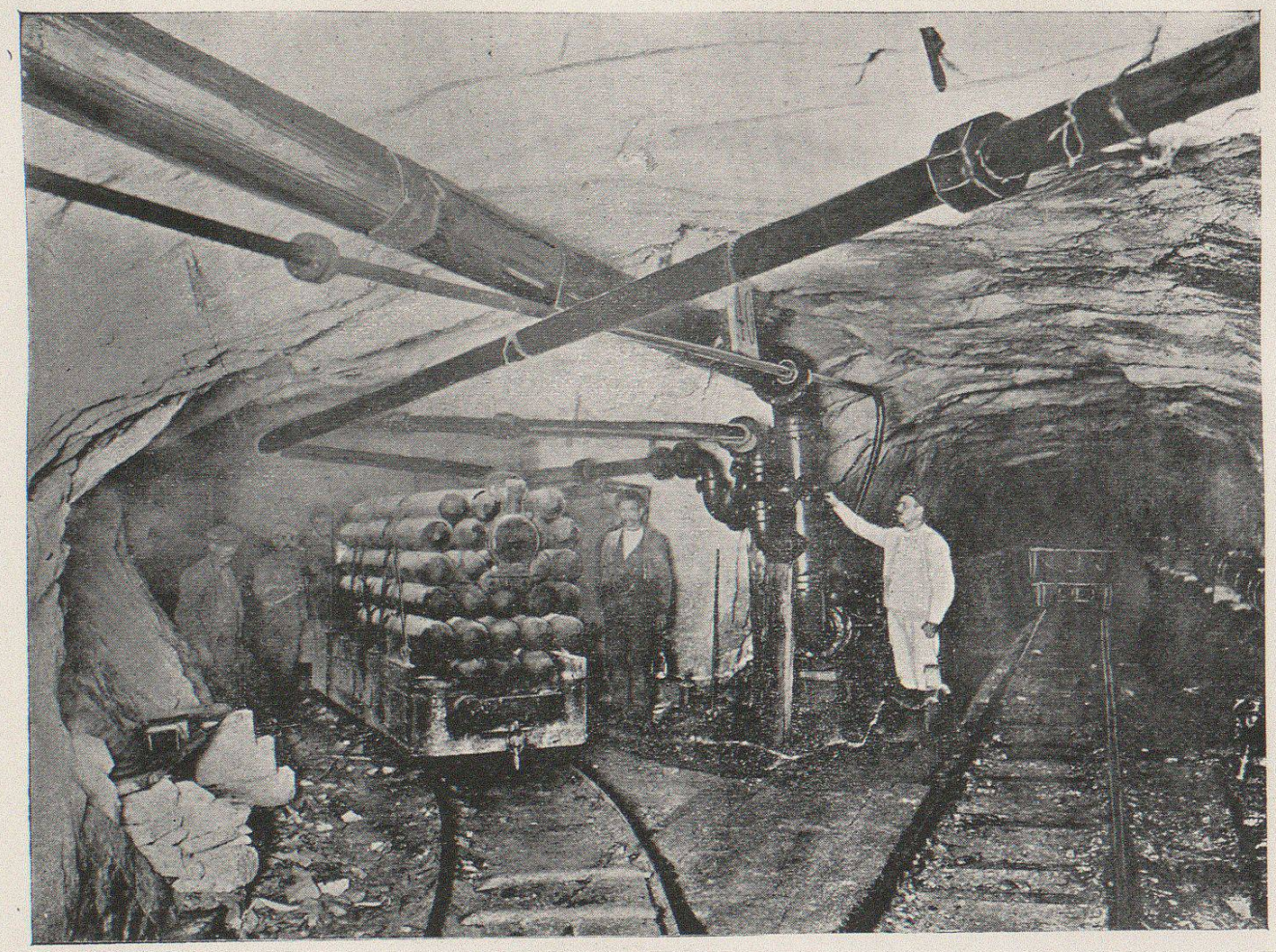
haben und so kann man die Richtung weiter vollständig mit Sicherheit festsetzen. (Taf. 3.)

Nachdem ich im Voranstehenden unser Hauptprogramm im allgemeinen auseinandergesetzt habe, komme ich etwas eingehender auf die einzelnen Teile desselben zurück; zuerst auf die *mechanische Bohrung*. Man weiss ungefähr, wie gross der Querschnitt eines eingeleisigen Tunnels ist, wie breit und wie hoch. Die Breite ist ungefähr 4½—5 m, die Höhe ungefähr 6 m. Man muss sich nun nicht vorstellen, dass dieses ganze grosse Loch auf einmal in seiner ganzen Front in Angriff genommen wird, sondern man macht vorerst ein kleines Loch, den sogenannten Stollen, der ungefähr 2 m hoch und 2½—3 m breit ist, gerade hoch genug, dass Menschen darin aufrecht gehen können und breit genug, dass Rollwagen darin verkehren können. Dieses herzustellen, ist Sache der Bohrmaschinen. Auf diese Weise kommt man begreiflicherweise rascher vorwärts und darauf kommt alles an. Nur bei ganz kurzen Tunnels nimmt man etwa das ganze Profil in einzelnen Abstufungen in Angriff. Dieses kleine Loch, diesen Stollen, kann man nun ansetzen, wo man will; man setzt ihn aus praktischen Gründen entweder oben oder unten an. Im ersten Falle heisst man ihn den *Firststollen*, im zweiten Falle den *Sohlstollen*. Was verdient den Vorzug? Am Gotthardtunnel ist der Firststollen gemacht worden, am Arlberg der Sohlstollen und am Simplon desgleichen. Eine der Hauptlehren des Baues des Gotthardtunnels war, dass der Firststollen für grosse Tunnels grosse Nachteile mit sich bringt. Es entstand in Fachkreisen ein erbitterter Kampf über die Frage: Sohlstollen oder

Firststollen? Bekanntlich haben alle Dinge ihre zwei Seiten, ihre Vorzüge und Nachteile. Es frägt sich nur: Wo ist die Summe der Vorteile grösser? Nach unserer Ansicht ist das für lange Tunnels beim Sohlstollen der Fall: darüber allein könnte man aber einen mehrstündigen Vortrag halten. Eines ist sicher: beim Sohlstollen hat man eine bleibende, sichere Basis für alles, für Geleise, für Rohrleitungen, für Wasserablauf, deshalb, weil sich die Sohle nicht mehr verändert; bei Anwendung des Firststollens, wo man mit der Ausweitung nach und nach hinunter muss, ändert sich die Basis fortwährend, und das bringt grosse Umständlichkeiten. In Fachkreisen hat man einen grossen Teil des Misserfolges von *Favre* dem von ihm angewendeten Firststollen zugeschrieben. Wir sind überzeugte *Anhänger des Sohlstollens.*

Der Unterschied gegenüber dem gewöhnlichen Alpentunnelbau war bei uns nun der, dass wir zugleich zwei Sohlstollen in Angriff nahmen, die 17 m von einander entfernt sind; in jedem derselben spielt sich aber vorläufig genau dasselbe ab.

Die zur Anwendung gekommene Bohrmaschine ist, wie bekannt, die Brandt'sche mit hydraulischem Betriebe (Taf. 4 u. 5). Das Prinzip derselben ist, dass die einzelnen Gesteinspartikelchen des Bohrloches nicht durch Schlag, sondern durch Druck gelöst werden. Ein röhrenförmiger Hohlbohrer mit drei Zähnen wird unter starkem Drucke gegen das Gestein gepresst, damit die Zähne einige Millimeter in dasselbe eindringen und zugleich langsam gedreht. Es ist ein Bohrer von 7 cm Durchmesser und die Hauptsache daran, dass die drei Zähne möglichst zäh und hart sind. Der Bohrer wird gepresst durch ein Gestänge mit einem Druck von 10,000 bis



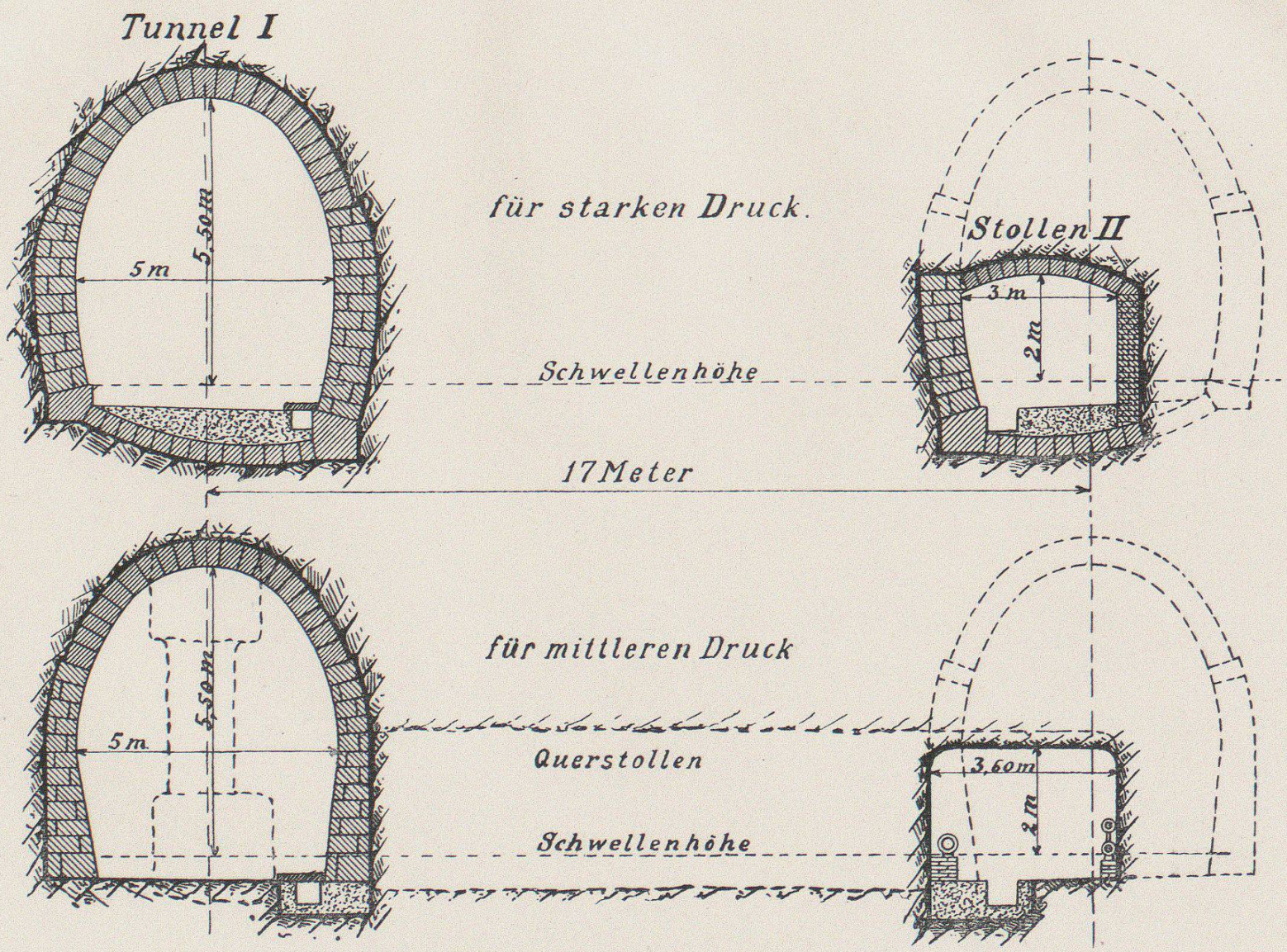
Tafel 10: **Einmündung eines Querschlages in den Stollen II.**

12,000 Kilo, was also dem Gewicht einer normalen Eisenbahnwagenladung entspricht. Die hydraulische Bohrmaschine kann ich Ihnen hier nicht in allen Details erklären; ich kann Ihnen nur sagen, dass das Gestänge, angetrieben von dem Vorschubzylinder mit einer Geschwindigkeit, je nach dem Gestein, von 4 bis 8 Touren per Minute gedreht wird; die Hauptasche ist, dass der Bohrer mit dem nötigen Druck eingepresst wird und sich die einzelnen Zähne einige Millimeter in das Gebirge eingedrängt haben, so dass durch die Drehung kleine Brocken abgesprengt werden. Also ganz im Gegensatz zu den Stoss-Bohrmaschinen, die das Material zu Staub reduzieren, handelt es sich nicht um Zertrümmern, sondern um Herausbrechen; es ist dies eine sehr gewaltsame Arbeit! In einer einzigen Bohrmaschine wird eine Kraft von zirka 25 HP entwickelt; es werden in einem Stollen 3 bis 4 Bohrmaschinen in Betrieb gesetzt, — wir arbeiten auf der Nordseite mit drei, auf der Südseite mit vier solchen Maschinen — und diese Bohrmaschinen sind aufgestellt auf der Spannsäule, auf einem Rohr, das zwischen die Stollenwände gepresst wird. Dieses Rohr bildet den nötigen Rückhalt; es muss den Gesamtdruck der 3 oder 4 Bohrmaschinen, also 30 bis 40,000 Kilo aufnehmen. Die Bohrmaschinen sind mit der Spannsäule auf einem Wagen montiert, dieser ist fahrbar, und selbstverständlich muss jeweilen der ganze Apparat zurückgezogen werden, wenn es zur Sprengung geht. Derselbe ist ziemlich schwer, es braucht eine gehörige Anzahl Leute, jeweilen die ganze Mannschaft, um den Bohrwagen mit seiner Ladung hinwegzuführen. Die Bohrmaschinen sollen per Umdrehung mindestens einen Centimeter Fortschritt bringen; wenn das nicht der Fall ist, so kann man sagen, die Bohrmaschine dreht

unnütz und beisst sich die Zähne für nichts aus. Sobald dieser Fortschritt nicht mehr da ist, wird der Bohrer ausgewechselt; hartes Gestein erfordert diese Auswechslung sehr häufig. In solchem brauchten wir per Attacke, d. h. bis wir wieder in der Lage sind zu schiessen, bis zu 120 und 150 Bohrer. Mit dem besten Stahl und mit der besten Behandlung desselben ist es nicht möglich, im harten Fels mehr als zehn bis fünfzehn Centimeter zu machen. Die Bohrzeit beträgt je nach der Härte 40 Minuten bis 1 Stunde, aber auch 1½, 2 Stunden, ja bis zu 3 Stunden haben wir in hartem Gestein gebraucht; *eine* solche Bohrmaschine muss per Attacke 3 oder 4 Löcher machen, je nach dem Gestein; hartes, zähes Gestein braucht viele Löcher. Man macht per Tag je nachdem 4 bis 6, ja bis 7 Attacken und in jeder derselben legt man 1 bis 1½ Meter zu Boden.

Von allen diesen Faktoren hängt der Fortschritt ab. Wir hatten Tage mit hartem Gestein, wo wir weniger als 4 Meter machen konnten und Tage in ganz günstigem Gestein, wo wir 9 Meter machten. Die ausgiebigste Woche, die wir je gehabt haben, zeigte einen Fortschritt von 63 Metern in 7 Tagen, genau 9 Meter täglich. Nachher werden wir den durchschnittlichen Fortschritt sehen!

Zum Betriebe dieser Bohrmaschinen braucht es nun komprimiertes Wasser und dieses wird draussen auf der Installation erzeugt. Wir sehen auf Tafel 6 die Kompressionsmaschinen dargestellt. In diesen ziemlich einfachen Pumpen wird das Wasser auf 80 bis 120 Atmosphären komprimiert und geht dann durch entsprechend starke Rohrleitungen bis vor Ort, heute mehr als 10 Kilometer weit. Wir müssen selbstverständlich diese Rohrleitungen erstens stark genug und zweitens gross genug



Tafel 11: **Querprofile.**

machen, das letztere, damit nicht alles in Reibung aufgeht. Wir haben heute noch bei einem ursprünglichen Druck von 100 Atmosphären 70 bis 80 Atmosphären auf 10 km Distanz. Dafür mussten allerdings 2 Rohrleitungen angelegt werden, die in den letzten 5 km 120 mm Diam. messen. Die Kompressoren werden angetrieben direkt durch Turbinen. Wir haben auf jeder Seite drei grosse Kompressorengruppen von je 4 Pumpen und diese drei Gruppen absorbieren über 1000 HP. Wir brauchen das komprimierte Wasser nämlich nicht nur für die Bohrmaschinen, sondern für alle möglichen Zwecke im Tunnel, vor allem zum Antrieb für alle möglichen Pumpen mittelst Strahlgebläse, für die Stollenventilation u. s. w. Das Wasser ist das grosse Agens, mit welchem wir den Tunnel bauen.

Der durchschnittliche tägliche Fortschritt, den wir auf der Nordseite, die in relativ normalen Verhältnissen gearbeitet hat, erreicht haben, alles ineinander gerechnet, auch die verlorenen Tage, vom ersten Tage der mechanischen Bohrung an, November 1898, bis wir die Mitte erreichten, September 1903, beträgt 5,52 Meter; wenn wir bloss die Tage mit Fortschritt, also nur die Bohrtage rechnen, haben wir einen Fortschritt von 5,92 Metern. Auf der Südseite dagegen haben wir weniger günstige Fortschritte zu verzeichnen, weil wir ungünstiges Gestein antrafen. Ich werde später noch darauf zu sprechen kommen. Wir hatten sehr ungünstige Schichtung des Gesteins, abgesehen von der Härte, und diese Schichtung kommt in der Sprengwirkung ausserordentlich in Betracht.

Sehr wichtig ist nun, abgesehen von der Bohrung, von der man vielleicht sagen kann, sie habe vorläufig ihre höchste Vollendung erreicht, die sogenannte *Schutterung*. Sämtliches durch die Schüsse niedergestrecktes Material

muss natürlich weggeschafft werden. Das Material liegt in vielen Kubikmetern in einem sehr kleinen Raum, und es gehört ein ausserordentliches Raffinement und eine scharfe Arbeitsteilung dazu, um dieses Material in kurzer Zeit wegzuschaffen. (Taf. 7 und 8.)

Rasche Schutterung, das ist das grosse Problem, das die Tunnelbauer seit Jahren beschäftigt, und keine unbedeutende Aufgabe ist es in der Tat, mittelst mechanischer Schutterung die Sache so einzurichten, dass man den Schutt wieder bald wegbekommt. Da sind schon unglaublich viele Versuche gemacht worden. Auch wir haben geglaubt, eine mechanische Schutterung gefunden zu haben, und im Prinzip hatten wir sie auch gefunden, indem wir das Material mit einem hydraulischen Strahl im Moment der Sprengung von Ort wegfegen wollten, was uns auch gelungen wäre, wenn wir nicht allzu grosse Reibungsverluste in der Leitung gehabt hätten. Es hat sich herausgestellt, dass das Moment, das nötig ist, um diese Gesteinsmassen in der Zeit von zirka 1½ Minuten — denn länger geht die Sprengung nicht — zurückzutreiben, grösser ist als die verfügbare Kraft. Es war zu schwierig, die Kraftmittel nahe genug an die Stollenbrust zu bringen, und ein zu grosser Teil des Druckes hat sich durch Reibung aufgefressen.

Die Unternehmung, die den Rickentunnel ausführt, glaubt eine Lösung gefunden zu haben, und wir sind wirklich sehr gespannt, wie die Versuche ausfallen werden, die sie im Sinne hat auszuführen. Wir haben unsere Zweifel, würden es aber begrüssen, wenn es einer Unternehmung gelingen würde, diese kolossal komplizierte Frage zu lösen.

Die Arbeit der Bohrmaschinen geht nun Tag und Nacht vor sich, jahraus, jahrein, mit Ausnahme der aller-



Tafel 12: **Ausweitung von Stollen I.**

höchsten Festtage; wir geben deren nur zwei zu im Jahre, und mit Ausnahme dieser und der Absteckungen, die auch zwei Tage per Jahr beanspruchen, ist seit dem Jahre 1898 am Simplon ununterbrochen gebohrt worden.

Es handelt sich nun darum, vom Stollen aus den Tunnel auszuweiten, und da kann man verschieden vorgehen. Von dem Sohlstollen aus geht man in die Höhe nach der alten Methode, und dann, wenn man in der Höhe angelangt ist, vorwärts und rückwärts (Beilage 3). Diese sämtlichen Ausweitungsarbeiten macht man bis jetzt von Hand und nicht mit der Bohrmaschine. Mit ihr können sie unter Umständen gemacht werden, wenn die Kosten nicht zu hoch werden. Dann geht man zuerst oben, nachher unten in die Breite, wie es in Beilage 3 dargestellt ist, unten die Sohlstollen, oben die Firststollen und diese Firststollen kommen schliesslich zusammen (Taf. 9). Alle 200 Meter wird der Tunnel I mit dem Stollen II durch einen Querschlag verbunden. (Taf. 10.) Diese Traversen dienen uns wesentlich für die Ventilation; aber namentlich auch für den Transport. Mit dem Stollen ist vom ganzen Tunnel zirka $^1/_5$ des Profils ausgebrochen (Tafel 11), die andern $^4/_5$ werden ausgebrochen, wie eben beschrieben; die Art des Vorgehens richtet sich nach dem Gestein, nach der Schichtung, die bei uns jetzt meistens horizontal ist. Wir gehen deshalb nicht mehr mit den beschriebenen Aufbrüchen vorwärts, sondern treiben den sogenannten Schlitz, d. h. wir schlitzen den Stollen direkt hinauf bis in die Firste und breiten nach und nach aus. (Taf. 12.)

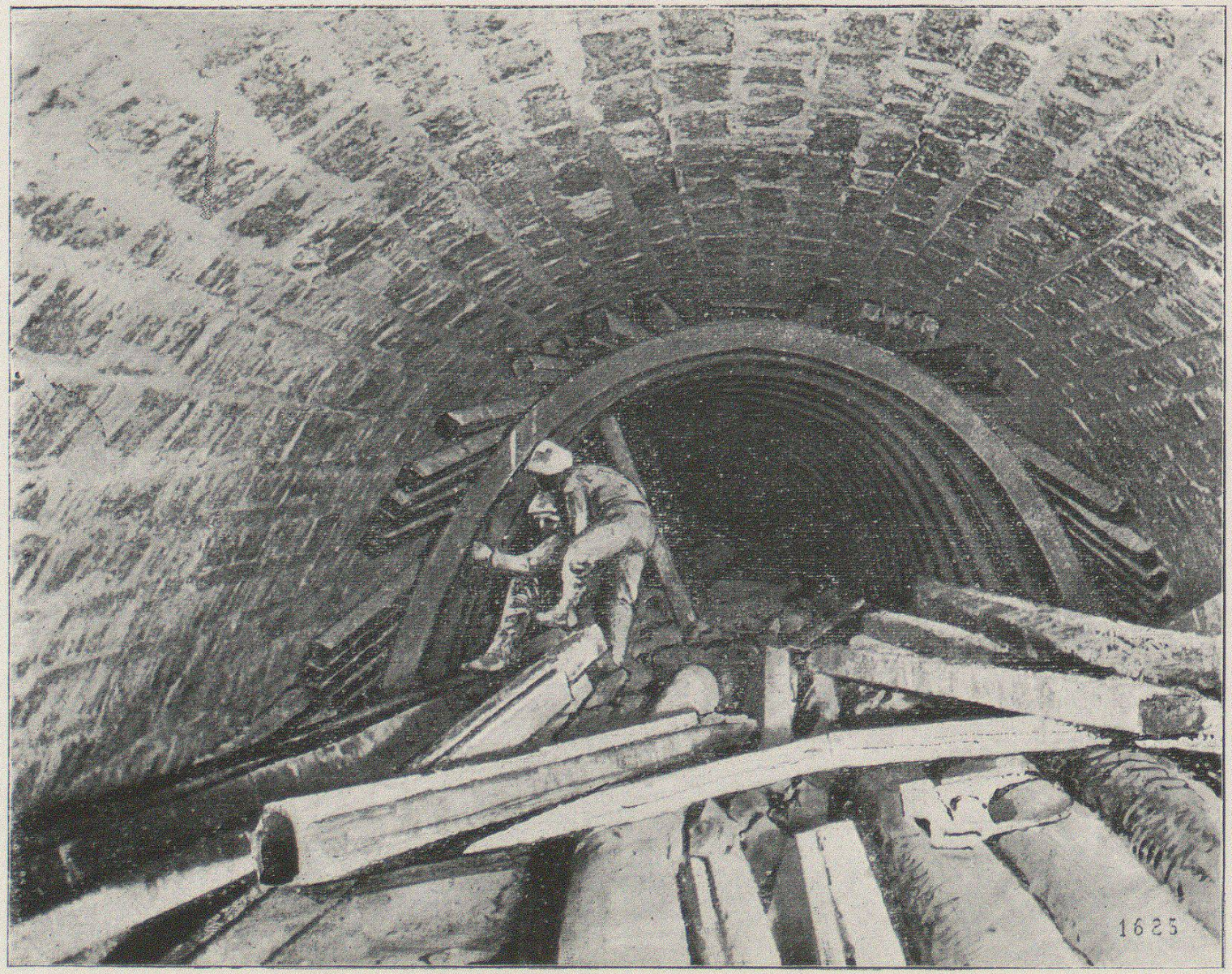
Nun ist es zu verstehen, warum sich alles Interesse auf einen raschen Fortschritt richtet. Es handelt sich darum, möglichst viele Angriffspunkte, möglichst vielen Arbeitern Platz zur Arbeit zu schaffen. Das ist in einem

schmalen Tunnel nur in der Längsrichtung möglich, weil ja der Tunnel eigentlich nur *eine* Dimension hat. Vergegenwärtigen wir uns im Gegensatz zu diesem Vorgehen ein solches, wo das ganze Tunnelprofil in einem Mal in der Front angegriffen würde, wo also als ganze Angriffsfläche zirka 30 Quadratmeter zur Verfügung stünden. Mehr als einen Mann per Quadratmeter können wir kaum aufstellen, das würde somit 30 Mann ausmachen, während beim Vorgehen mittelst Stollen am Simplon 500 und noch mehr Mann zugleich am Tunnel Hand anlegen können. Die Erfahrung hat denn auch gezeigt, dass man mit einer guten Organisation imstande ist, in Vollausbruch und Mauerung jede Leistung zu bewältigen, respektive einen mindestens ebenso grossen Fortschritt zu machen, als die Bohrmaschinen vor Ort es vermögen.

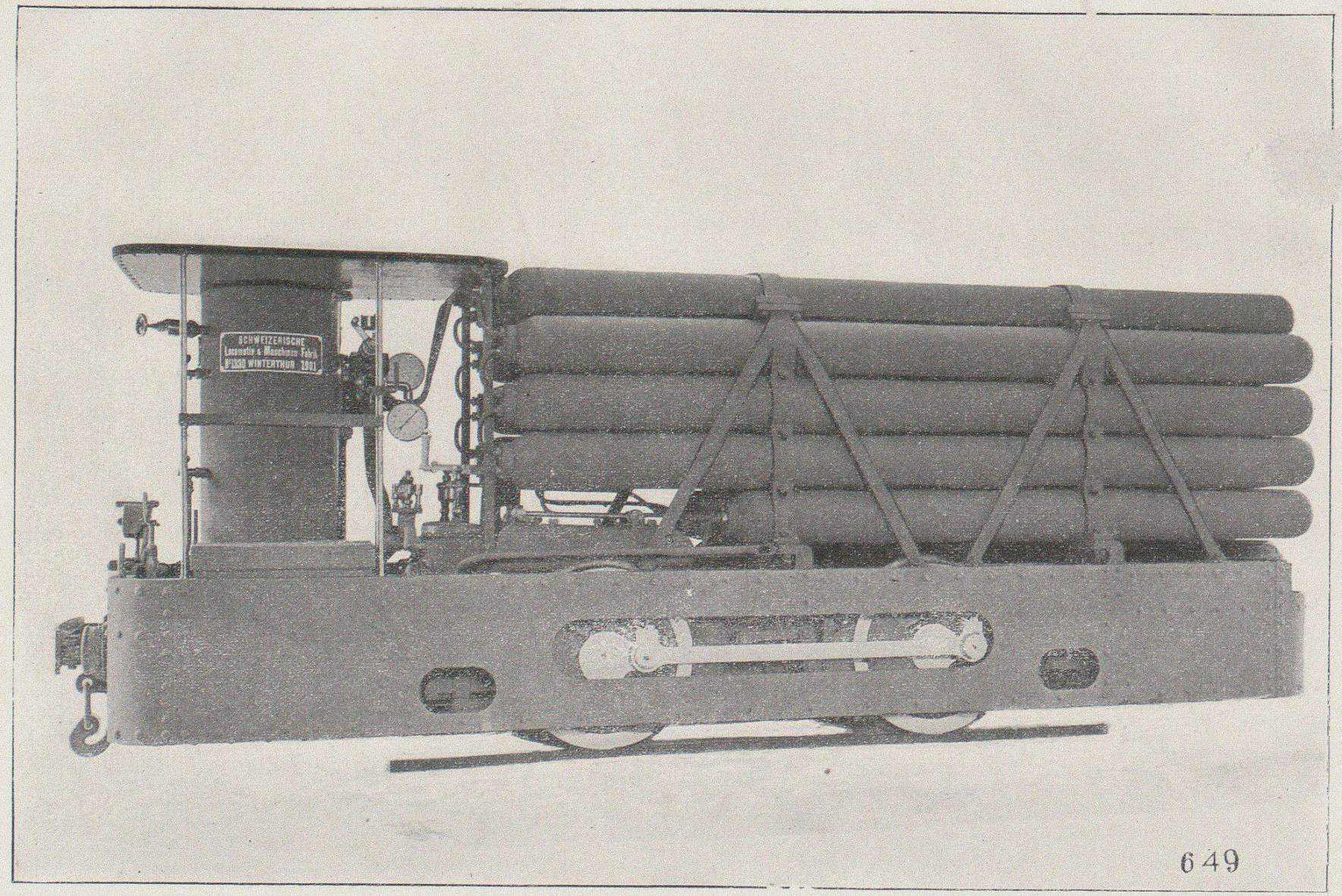
Wenn wir in Gedanken einen Spaziergang vom Vorort durch die Baustrecke machen bis zu dem Punkte, wo wir den fertigen Tunnel erreichen, so sehen wir den Tunnel in allen Stadien der Vollendung, vom primitiven Stollen bis zum fertig ausgemauerten Tunnel.

Mit Rücksicht darauf, dass die einzelnen Arbeitsgruppen einander nicht in den Weg kommen, dass namentlich die Transporte sich ohne grosse Störungen vollziehen, dass die Sprengungen der einen Partie die andern nicht zum Verlassen des Platzes zwingen etc., zieht sich die Baustrecke in der Regel auf 1 bis 1½ Kilometer hin — sukzessiv, sozusagen jeden Tag etwas vorrückend.

Man wird fragen: Ja, warum arbeitet man denn im Vollausbruch nicht mit Maschinen? Diese Frage ist im wesentlichen eine Frage der Kosten. In sehr vielen Fällen würde Maschinenbohrung teurer kommen als Handbohrarbeit, weil sich die letztere den oft sehr veränderlichen



Tafel 13: **Fertige Ausmauerung der First und Lehrbögen.**



649

Tafel 14: **Luftlokomotive.**

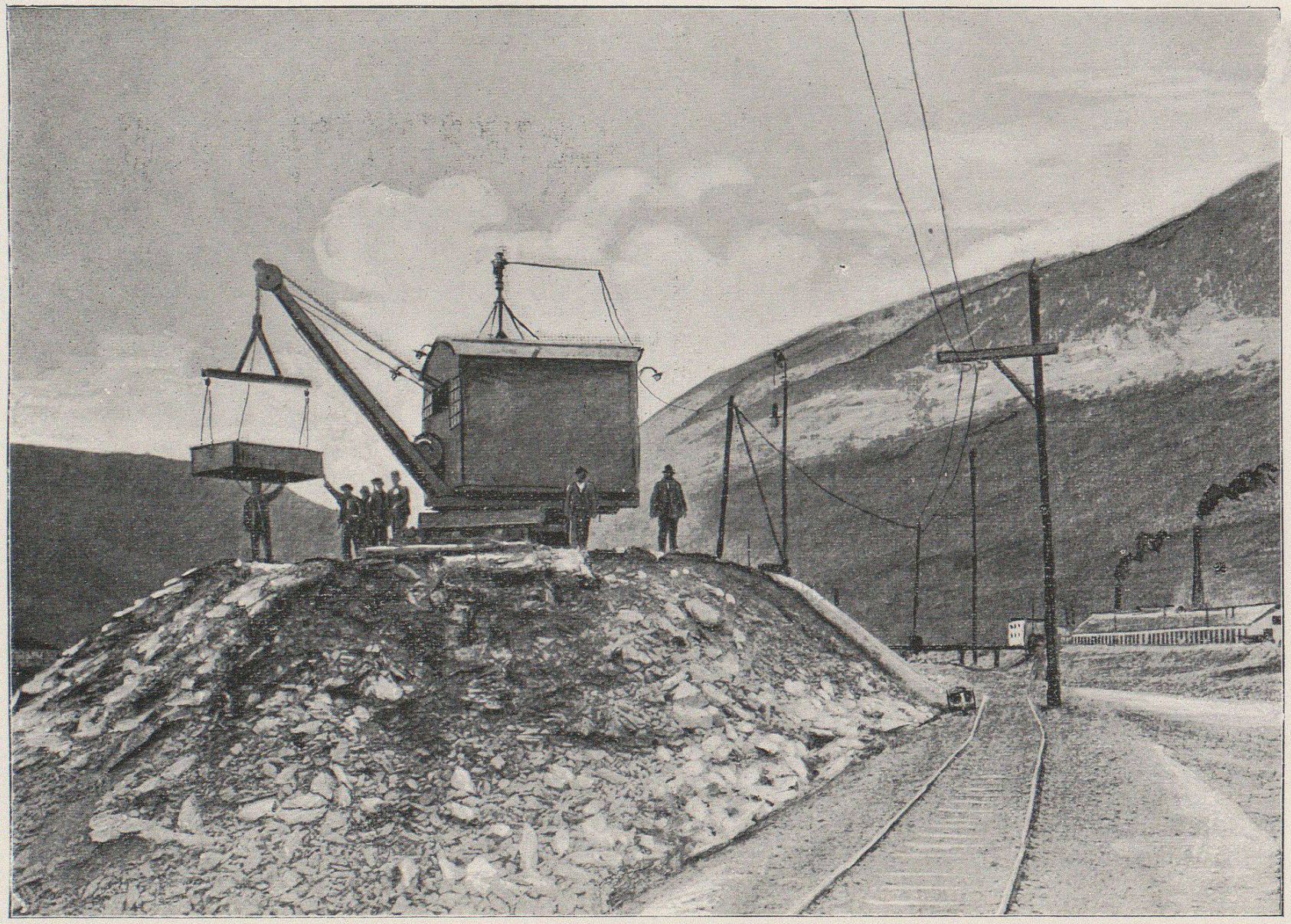
Verhältnissen im Tunnel, z. B. drückenden Strecken etc., besser anpassen kann. Am Simplon lagen die Verhältnisse so, dass wir meistens konvenierend fanden, die Maschinenbohrung auf die Stollen zu beschränken. Der Albulatunnel ist dagegen in dem letzten Jahr seines Ausbaues fast vollständig mit der Bohrmaschine vollendet worden.

Was nun die *Ausmauerung* (Taf. 11 und 13) anbetrifft, so ist zu sagen, und darüber wundert man sich in der Regel, dass der Tunnel in seiner ganzen Länge ausgemauert wird, nicht etwa deshalb, weil es überall ein Gewölbe braucht, um das Gebirge zu tragen, sondern aus dem einfachen Grunde, weil bei jeder Sprengarbeit einzelne Stücke lose werden, die im Moment der Arbeiten nicht herunterfallen, von denen man aber befürchten muss, dass sie zu irgend einer Zeit fallen werden. Das darf man nicht riskieren. Man beugt diesen Eventualitäten aus Betriebssicherheitsgründen vor. Da, wo das Gebirge fest genug ist, macht man einfach eine Ausmantelung, mit einer möglichst dünnen Mauer, das Minimum derselben beträgt im Simplon 35 cm Dicke. Wo das Gebirge nicht fest ist, wo eventuell Druck zu erwarten ist, werden die Mauerprofile selbstverständlich stärker ausgeführt; und weil es viele Strecken giebt, in denen das Gebirge derart drückt, dass die beiden Widerlager zusammengedrückt würden, wird oft Sohlengewölbe gemacht, das die Widerlager stützen soll. Dasselbe müssen wir je nachdem in gewissem Gestein auch im zweiten Stollen machen (Tafel 11).

Im grossen und ganzen hat das Gebirge in den ersten Kilometern auf Nord- und Südseite günstig gestanden. Wir sind mit den kleinsten Ausmauerungsprofilen ausgekommen. Es ist erst in den innern Partien schlechter

geworden. Es kommt selbstverständlich bei dieser ganzen Frage der Druck des überlagernden Gebirges ausserordentlich in Betracht. Wenn der Tunnel durch ein relativ wenig festes Gebirge geht, hat man immer zu gewärtigen, dass die enorme Belastung durch die Überlagerung die Festigkeit dieses Gebirges überwiegt und dieses künstlich gestützt werden muss.

Ich muss nun im Anschluss an das Gesagte einiges mitteilen über die *Transportfrage*, eine im Tunnelbau ausserordentlich wichtige und schwierige Frage. Nehmen wir einen täglichen einseitigen Fortschritt des ganzen Tunnelprofils von 7 Meter an, so handelt es sich um die Abführung von zirka $30 \times 7 = 210$ cbm ausgebrochenen Gesteins, sogenannten Tunnelschuttes. Das repräsentiert mindestens eine ebenso grosse Anzahl von Tunnelwagen vollgeladen. Dazu kommt der Transport der Baumaterialien, Mauersteine, Sand, Kalk, Zement, Holz etc., die hineingeführt werden müssen. Auf jeder Seite des Tunnels sind zirka 300 Transportwagen im Dienst, und der tägliche Wagenverkehr beträgt bei normalem Betrieb zirka 510 bis 560 einfahrende und ebenso viele ausfahrende Wagen. Und das alles in einem so engen Schlauch, wie ein eingeleisiger Tunnel es ist. Der Verkehr spielt sich nun folgendermassen ab: Nach einem ganz genauen Fahrplan gehen in erster Linie von der Installation her durch den fertig gebauten Tunnel Züge, die mittelst Dampflokomotiven vorwärts bewegt werden; es sind dies Lokomotiven von 16 Tonnen Gewicht, welche unsere Züge zu befördern imstande sind. Sie sind so gebaut, dass sie eine grosse Heisswasser- und Dampfreserve haben, damit sie möglichst wenig Rauch entwickeln müssen. Uebrigens wäre dieser Rauch nicht sehr schädlich, da die Luft, wie ich später beschreiben



Tafel 15: **Abladen eines Schuttwagens.**

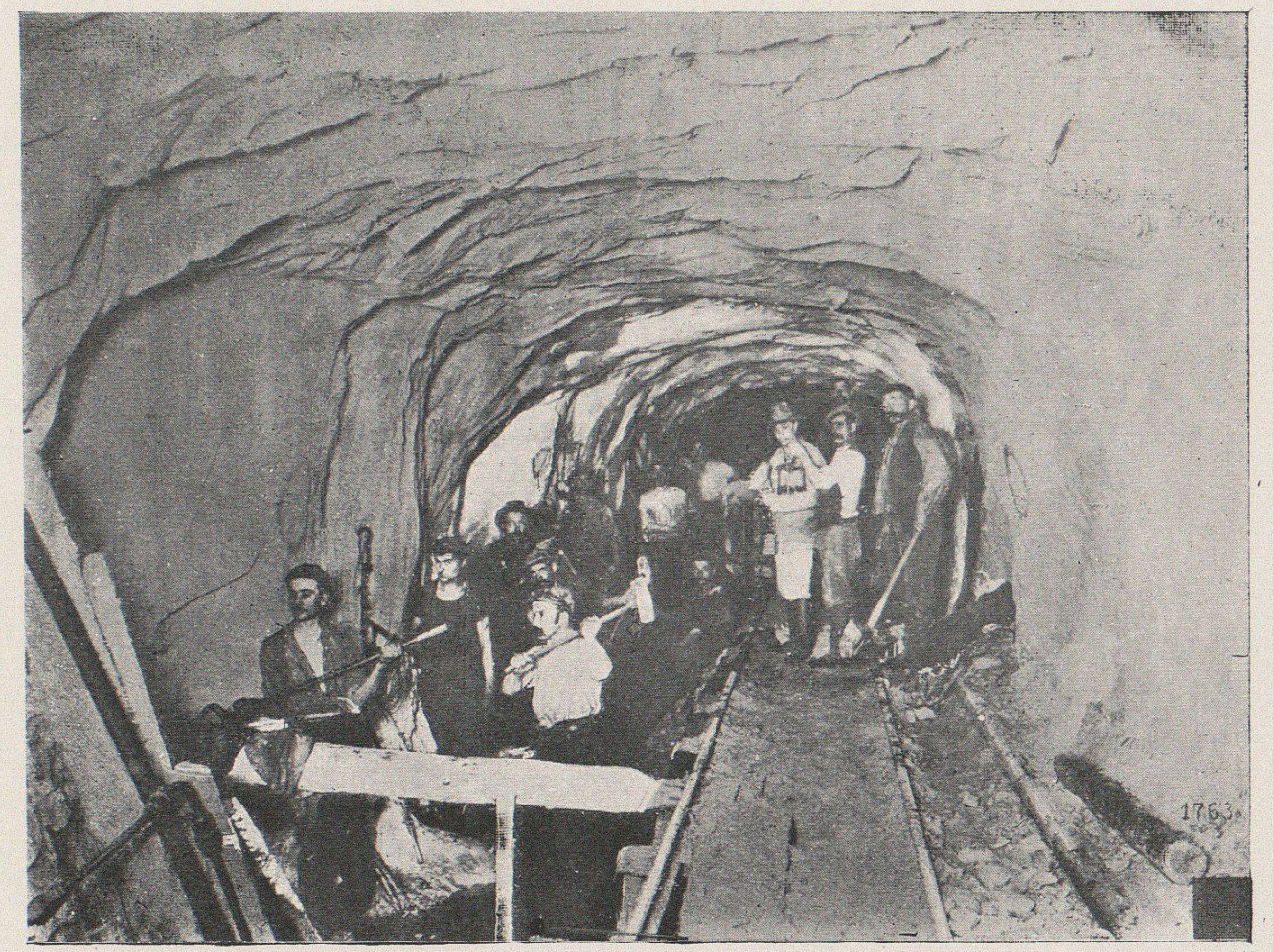
werde, im fertigen Tunnel auszieht, also keine Arbeitsstrecke bestreicht. In dem letzten Teil der fertigen Strecke haben wir dann die sogenannte Tunnelstation. Da sind zwei Geleise, Dienstgeleise selbstverständlich. Die Wagen werden rangiert, und von da weg geht nun der Verkehr getrennt. Die Wagen, welche für den Ausbau des Tunnel I dienen, gehen weiter im Tunnel I. Die Wagen für den Vortrieb der Stollen gehen von Tunnel I durch die Traversen in Tunnel II und der ganze Verkehr geht neben Tunnel I vorbei und entlastet denselben wesentlich, einer der grossen Vorzüge unserer Baumethode. Von der Tunnelstation an machen Luftlokomotiven (Tafel 14) den Dienst; dieselben haben ungefähr die halbe Leistungsfähigkeit der Dampflokomotiven und werden mittelst hoch komprimierter Luft von zirka 80 Atmosphären Druck angetrieben. Sie werden in der Tunnelstation von einer Leitung aus gespiesen, die von der Installation her dahin geführt ist. Draussen in der Installation stehen die betreffenden Kompressoren, drei an der Zahl. Diese Luftlokomotiven sind sehr kompendiös gebaut, so dass sie überall, auch in den engsten Stellen der Arbeitsstrecke durchkommen. Sie fassen in einem Rohrbündel sogenannter Mannesmann-Röhren, ähnlich den bekannten Kohlensäureflaschen, komprimierte Luft für mehrere Stunden Dienst. Um zu verhindern, dass bei der Expansion der Luft Kälte erzeugt wird, die schliesslich zu schädlichen Eisbildungen führen könnte, passiert die Luft vor der Arbeit eine sogenannte Bouillotte zur Erwärmung. Auf diese Weise setzen wir die Energie der Rhone in eine billige Traktionskraft um, wobei zugleich der Vorteil besteht, dass geringere Luftverunreinigung entsteht.

Man wird vielleicht fragen: Ja, warum denn nicht

im Zeitalter der Elektrizität elektrische Traktion? Wir haben nicht unterlassen, diese Frage zu studieren, haben aber gefunden, dass vieles im Tunnel dagegen spricht: Einmal die grosse Feuchtigkeit und das unvermeidliche Tropfen, wodurch leicht Kurzschluss entsteht, dann aber namentlich die Gefährdungen, denen jede fixe Einrichtung ausgesetzt ist, infolge der Sprengungen und der ewigen Veränderungen. Lediglich Akkumulatoren-Lokomotiven hätten in Betracht kommen können; dieser Betrieb aber ist zu teuer.

Neu und beim Tunnelbau wohl zum ersten Mal angewendet ist die Art der Abladung der Schuttwagen draussen (Taf. 15). Dieselben werden nämlich nicht nach bisheriger Art von Hand abgeladen oder gekippt, sondern sie werden mechanisch entleert, indem bei den einen das eigentliche Gefäss vom Wagengestell gehoben, aufgehängt und umgeschüttet wird, bei den andern der ganze Wagen in die Höhe gehoben und durch Schrägstellen entleert wird. Es ist dies geschehen, um Handarbeit zu ersparen. Wir haben zweierlei Wagen: Für den Vollausbruch haben wir ziemlich breite, und für den engen Stollen in die Länge gezogene, schmale Wagen; beide Arten haben ungefähr die gleiche Kapazität. Die Entladung geschieht mittelst eines elektrischen Krahns.

Wir kommen nun zur Besprechung der *Lüftung* der Arbeitsstellen. Es ist bereits angedeutet worden, dass der Parallelstollen als Luft-Zuführungsrohr dient. Der Fall, dass man durch ein derartig gestaltetes Rohr auf grosse Distanzen, in unserem Fall bis zu 10 Kilometern und eventuell mehr, grosse Quantitäten Luft bläst, war noch nie vorgekommen. Versuchszahlen waren keine zur Verfügung, lediglich unsere eigenen Versuche am Arlberg mit einem eisernen Rohr. Namentlich schwierig



Tafel 16: **Kanalausbruch in Stollen II.**

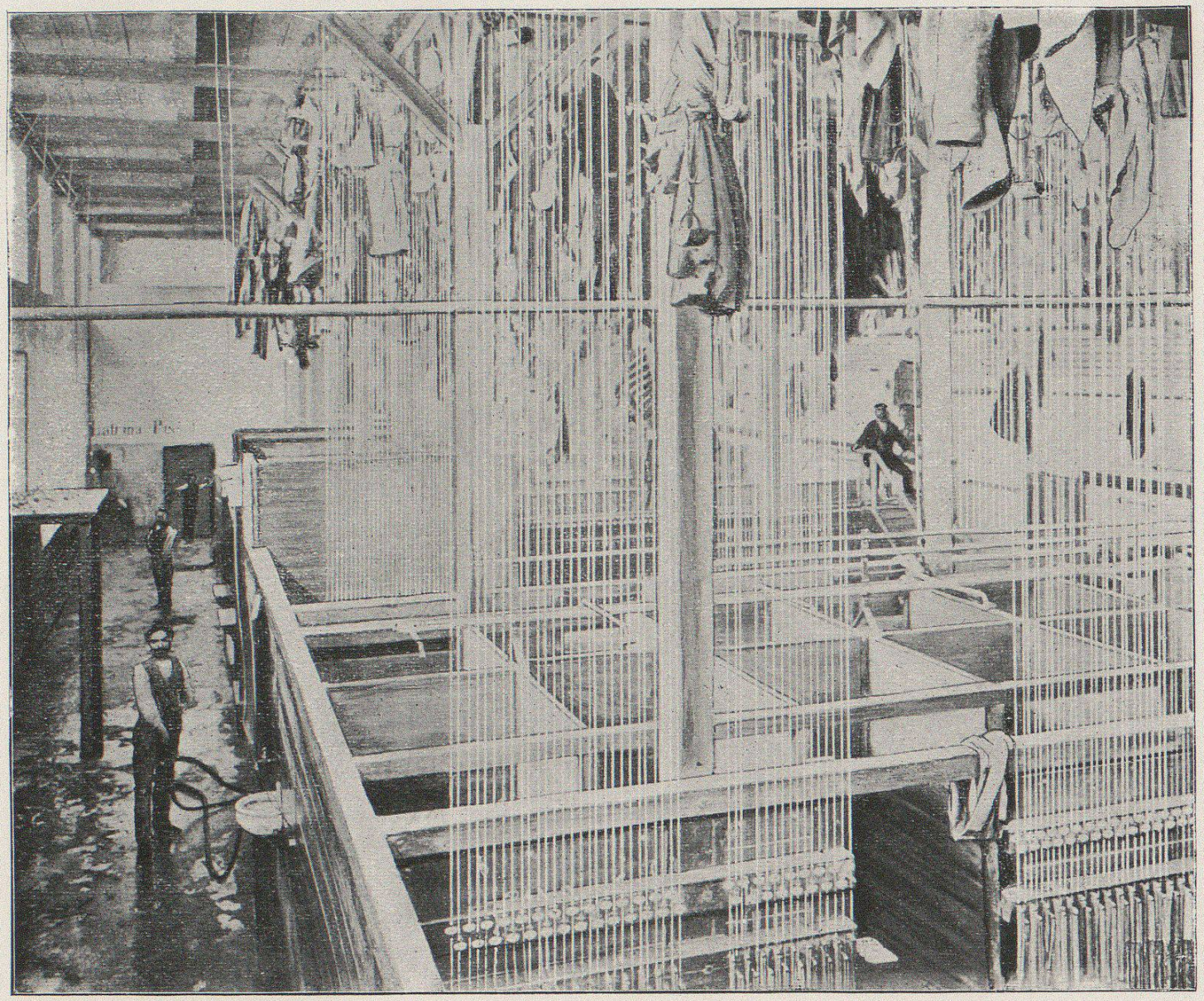
war es, für ein Rohr mit so rohen Wänden den Reibungs-Koeffizienten zu bestimmen, denn der zweite Stollen ist zum grössten Teil einfach aus dem Felsen ausgesprengt ohne weitere Verkleidung. Die entgegenstehende Reibung wird durch einen entsprechenden Kraftaufwand überwunden; man muss der Luft einen gewissen Druck geben. Wir hatten diesen unter Anwendung eines ungünstigen Reibungs-Koeffizienten auf 500 mm Wassersäule angenommen bei einer Luftgeschwindigkeit im Stollen von zirka 4 m per Sekunde. Die Erfahrung hat uns nun gelehrt, dass wir sehr sicher gerechnet haben, indem wir heute bei mehr als 10 Kilometer Stollen mit einem Druck von 270 mm Wassersäule auskommen. Die Luft wird gefördert und der nötige Druck erzeugt durch Zentrifugal-Ventilatoren (Beilage 4). Es sind deren zwei, jeder ist imstande, zirka 30 cbm Luft per Sekunde von 270 mm Druck zu geben, und jeder hat direkten Antrieb durch eine Turbine von 250 HP. Einer hat bis jetzt immer gereicht, der andere dient als Reserve. Damit immer beide betriebsfähig sind, wird alle 24 Stunden abgewechselt. Wenn es nötig gewesen wäre, hätten sie, was man heisst, auf Druck gekuppelt werden können, um den doppelten Druck zu erzeugen. Sie können aber auch auf Quantum gekuppelt werden und geben alsdann zusammen 50 bis 60 cbm Luft per Sekunde.

Von den Ventilatoren weg wird die Luft durch einen Kanal zum Stollen II geführt und wird nun durch diesen nach hinten getrieben. Ein bestimmter Kubikmeter Luft, der in diesem Moment in den Stollen II eintritt, ist in zirka 40 Minuten hinten angelangt. Es ist nun klar, dass wir die Luft nur dann zwingen können, durch den ganzen Stollen zu ziehen, wenn wir unterwegs sämtliche Querstollen zuschliessen, denn sonst geht

die Luft nach einem bekannten Naturgesetz auf dem kürzesten Weg durch Tunnel I wieder ins Freie hinaus. In der Tat sind denn auch sämtliche Querstollen vermauert und haben nur die nötige Oeffnung, um allfälliges Wasser aus Tunnel I nach II durchzulassen. Wir wollen den grossen Teil der Luft zwingen, nicht früher in I überzutreten, als bis zum hintersten Querschlag; denn dort erst hat sie für uns Wert, weil sie nun auswärts ziehend durch die Arbeitsstrecken geht und diese lüftet, um alsdann schon wesentlich verunreinigt durch die Tunnelstation und von dieser aus durch den fertigen Tunnel auszuziehen.

Wo es nötig ist, die Querstollen offen zu lassen wegen des Verkehrs zwischen I und II, sind diese durch möglichst dicht schliessende Holztüren verschlossen, die jeweilen nur aufgemacht werden, wenn ein Transport oder Personen durchgehen. Sofort stürzt sich die Luft natürlich durch diese Oeffnung, und in diesem Moment stockt der Luftstrom zu hinterst; das bringt aber keinen Nachteil, sobald diese Stockungen nicht zu lange dauern. Man hat nun noch darauf zu achten, dass sich in den Baustrecken keine verlorenen Winkel finden, die vom Luftstrom nicht bestrichen werden. Die Lüftung ist so gut, dass selbst starker Dynamitrauch sich in Bälde verzieht und dass der Schrecken aller Minenarbeiter, der Lampenruss, bis zur vollständigen Unschädlichkeit verdünnt wird. Wir dürfen ruhig behaupten, dass wegen Luftmangel und schlechter Luft noch keiner im Tunnel Schaden gelitten hat, eines der Hauptmomente für den ausserordentlich befriedigenden Gesundheitszustand der Tunnelarbeiter am Simplon.

Es ist in dem Gesagten eine Lücke, indem selbstverständlich der grosse Luftzug durch die letzte Traverse



Tafel 17: **Bade- und Kleidertrockenraum.**

von II in I geht und dann nach auswärts zieht. Die Orte kann er nicht lüften. Um auch sie zu lüften, mussten wir hier wieder die alte Ventilationsmethode anwenden mittelst Rohrleitungen; wir erfassen mittelst derselben und Strahlgebläsen die frische Luft, und wir treiben sie zu den Bohrmaschinen, damit jeder Ort genügend frische Luft hat. Wir hatten darauf gerechnet, dass wir mit einem Durchschnitt von ½ cbm per Sekunde für die relativ wenigen Leute leicht auskommen würden, wir haben aber bei den heutigen Temperaturverhältnissen dieses Quantum nicht nur verdoppeln, sondern versechsfachen müssen, denn ohne eine sehr starke Lufterneuerung wäre es einfach unmöglich gewesen, die anstrengende Arbeit der Schutterung dort zu machen. Wir haben auf diese Weise die Luft vor Ort auch heute noch bei den höchsten Temperaturen mit einer Temperatur von 25°, wodurch sie eben zugleich zur Kühlung mitwirkt.

Es ist klar, dass die durch Stollen II einströmende Luft sich auf ihrem Weg in Bezug auf Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt verändert. Was den letztern anbetrifft, so ist eben zu sagen, dass ein grosser Teil des Gesteins feucht ist und zum Teil Wasser führt; auch führt durch II der Wasserablaufkanal. (Taf. 16.) Die Luft, die daran vorbeistreift, wird so viel als gesättigt. In Bezug auf die Temperatur ist zu beachten, dass schon vom 6. Kilometer an auf der Nordseite die Gesteinstemperatur 40° C. erreichte und beim 8. Kilometer bereits 55° C. betrug. Wir hatten aber darauf gerechnet, dass der starke konstante Luftstrom die Stollenwände des Stollens II nach und nach abkühle und haben uns darin nicht getäuscht. Die Abkühlung ist sogar eine sehr merkliche. Wir hatten beispielsweise bei Kilometer 7 eine Anfangstemperatur des Gesteins von 48°. Das war im April 1902.

Im März 1903 war die Gesteinstemperatur auf 28 ° hinunter gebracht. Es kommen dabei auch die Unterschiede der Aussentemperatur der Luft im Winter und Sommer in Betracht. Immerhin lehrt die Erfahrung, dass diese ihre Wirkung nur in beschränktem Mass ausüben, und dass ungefähr bei Kilometer 8 im Winter und Sommer die einziehende Luft dieselbe Temperatur hat. Sie käme uns heute bei Kilometer 10 mit 27 ° an, wenn nicht das heisse Wasser die Temperatur erhöhte.

Lange Zeit, dass heisst bis zum Frühling 1902, also während 3½ Jahren hat der blosse Luftzug genügt, um in den Arbeitsstellen erträgliche Temperaturen zu haben. Als aber die Lufttemperatur in denselben 27 ° überstieg, war ein Nachlassen der Leistungsfähigkeit der Arbeiter zu bemerken. Es war höchste Zeit, dass wir mit einem weitern Sukkurs, mit der *Kühlung* mittelst kalten Wassers, zu Hülfe kommen konnten. Da wir angenommen hatten, dass die Temperatur des Gesteins erheblich höher steigen könnte, als geschätzt wurde — nämlich 40 bis Maximum 42 Grade —, hatten wir uns entschlossen, die Kühlung viel stärker zu machen als ursprünglich in Aussicht genommen war. Wir hatten die Einrichtungen verdoppelt; anstatt 40 Liter per Sekunde können 80 Liter kalten Wassers in den Berg hineingepumpt werden und wir können sagen, dass wir heute keinen Liter zu viel haben. Da das Kühlwasser bei seiner Verwendungsstelle keinen grossen Druck braucht, bedienen wir uns zu seiner Förderung der sogenannten Hochdruck-Zentrifugalpumpen, deren zwei hintereinander geschaltet sind, um gemeinsam einen Druck von bis zu 40 Atmosphären zu erzeugen. Die Zentrifugalpumpen sind direkt durch Turbinen angetrieben, machen zirka 1100 Touren per Minute, absorbieren jede zirka 250 Pferdekräfte und liefern das bereits



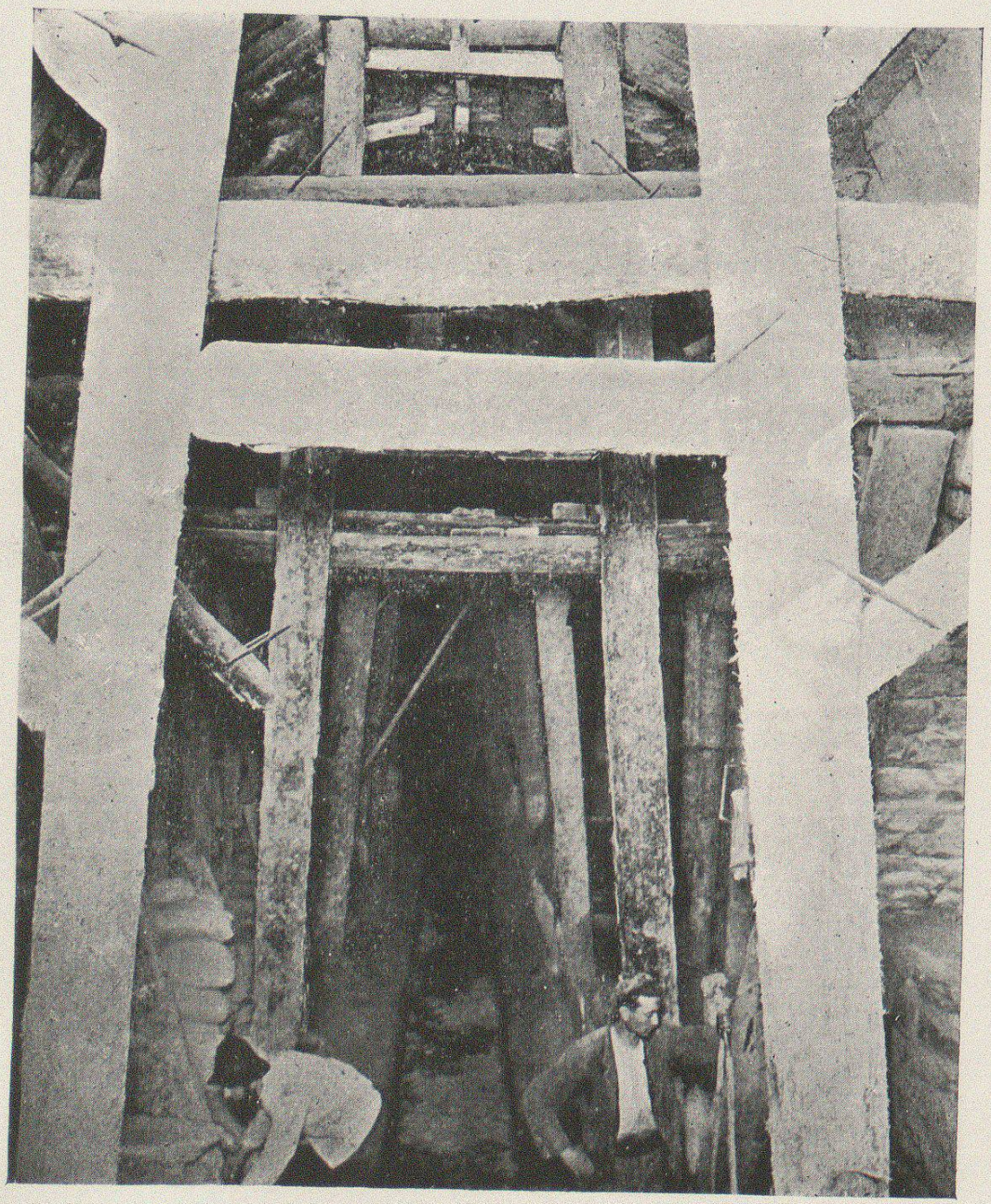
Tafel 18: **Einbau im Firststollen.**

genannte Quantum von bis zu 80 Litern per Sekunde. Die Kühlwasserleitung hat 250 mm Lichtweite, die Geschwindigkeit des Wassers ist also eine ziemlich hohe, weshalb denn auch die Reibungsverluste relativ gross sind. Auf Kosten der Kraft ist hier an den Kosten gespart worden. Je nach dem Mass der Abzapfung ist der Enddruck 10 bis 15 Atmosphären, also noch reichlich, um eine gründliche Zerstäubung des Wassers zu Stande zu bringen. Eine solche ist natürlich notwendig, wenn der Wärmeaustausch intensiv sein soll, und darauf müssen wir ausgehen.

Bevor ich aber davon weiter spreche, will ich noch etwas von der *Leitung* sagen. Hauptbedingung für einen guten Effekt der ganzen Kühlwasser-Einrichtung ist eine sorgfältige Isolierung der jetzt 10 km langen Leitung gegen die im Stollen II herrschende Wärme. Es ist klar, dass das Wasser in dieser Leitung, wenn nicht isoliert, auf seinem Weg die Wärme der Stollenluft respektive des umgebenden Gesteins angenommen hätte. Es handelt sich für die Kühlung darum, ein möglichst grosses Temperaturgefälle herzustellen. Als bestes Isoliermittel fanden wir die sogenannte Blätterkohle, zerkleinerte Holzkohle, die in einer Schicht von 50 mm Dicke um das Rohr gelegt ist und durch einen Blechmantel gehalten wird. Anstatt einer Erwärmung von 1° per Kilometer Leitung, auf die wir ursprünglich glaubten rechnen zu müssen, beträgt die Erwärmung per Kilometer nicht einmal ½°, so dass sich das Wasser auf dem ganzen Weg nicht einmal um 5° erwärmt; das heisst, im Sommer haben wir am Ende der isolierten Leitung Wasser von zirka 15°, im Winter sogar Wasser von 5 bis 6°.

Die Verwendung dieses Wassers ist nun die folgende:

An einer Stelle des Stollens I, an der kein Wagenverkehr stattfindet, liegt am Boden ein Röhrensystem mit einigen Dutzend nach oben gerichteten Streudüsen. Das Wasser, das unter dem nötigen Druck austritt, wird fein zerstäubt und dieser Wasserstaub füllt das ganze Profil des Stollens aus. Die Luft muss gezwungener Massen diese Strecke passieren und giebt nun ihre Wärme an das Wasser ab; ihre Temperatur sinkt beispielsweise von 28 bis 15° und die so erfrischte Luft zieht durch die Arbeitsstrecken. Es findet aber noch etwas anderes statt, was mindestens so wichtig ist: Durch die Abkühlung wird ein Teil der Feuchtigkeit aus der Luft herausgefällt. Die noch in ihr enthaltene Feuchtigkeit entspricht der niederen Temperatur; erwärmt sich also die Luft wieder — und das tritt an den warmen Stollen- und Tunnelwänden ein — so wird die Luft relativ trocken. Sie wird sich zwar nach und nach wieder sättigen, aber gänzlich erst, nachdem sie die Arbeitsstrecke passiert hat. Wir haben also nicht nur kühle, sondern, was fast noch wichtiger, trockene Luft, welche die Verdunstung auf der Haut des Arbeiters ermöglicht und diesen dadurch frisch erhält. Damit allfällig mechanisch mitgerissenes Wasser die Feuchtigkeit nicht in schädlicher Weise erhöht, passiert die Luft unmittelbar nach den Brausen ein Labyrinth von Blechstreifen, einen sogenannten Wasserabscheider. Das Fazit entspricht vollständig unsern Erwartungen. Die dem Gestein entströmende Wärme ist dadurch besiegt, und wir haben die Verhältnisse in der Hand, allerdings dank dem Aufwand einer grossen Kraft. Ich bemerke noch, dass auch die Hochdruck-Wasserleitungen für den Bohrbetrieb isoliert sind und somit ebenfalls kühles Wasser liefern.



Tafel 19: **Holzeinbau Tunnel I.**

Aber auch auf andere Art wird das kühle Wasser verwendet. Es ist klar, dass die heisseste Partie des Tunnels der Vortriebstollen ist. Dort hat das Gebirge noch die ursprüngliche Wärme, eine Abkühlung hat noch nicht stattfinden können. Dort war auch in der Tat die Hitze am drückendsten. Es wird ihr dadurch begegnet, dass auf jener Strecke sowohl die Stollenwände, als das Luftrohr mit kaltem Wasser berieselt werden, und dadurch ist ein sehr erträglicher Zustand geschaffen. — Es giebt nur noch einen Feind, den wir schwer bewältigen können, es ist dies das *warme* Wasser, das wir seit einigen Monaten auf Nord- und Südseite, namentlich auf der ersteren getroffen haben. Darauf komme ich später noch zu sprechen.

Ich habe nun die Mittel auseinander gesetzt, die man braucht, um einen Tunnel wie den Simplon zu bauen: Vor allem braucht es einen grossen Kraftaufwand, um die mechanische Bohrung, welche eines der gewaltsamsten technischen Vorgehen verkörpert, zu betreiben. In zweiter Linie braucht es einen grossen Kraftaufwand für die nie unterbrochene Zuführung frischer Luft zu den Arbeitsstellen, für die Ventilation; in dritter Linie braucht es Kraft, um das Kühlwasser in die Tiefe des Berges zu treiben. Ventilation und Kühlung sollen den Arbeitern im Innern des Berges nicht nur das Leben ermöglichen und die Gesundheit erhalten, sondern die volle Entfaltung ihrer Arbeitskraft gestatten, denn diese sind das köstlichste Gut, was im Tunnel zur Verwendung kommt, und dieses Gut darf am wenigsten vergeudet werden. Es braucht aber auch Kraft für die vielen Strahlapparate, für eine grosse Anzahl Pumpen im Innern des Tunnels, die das Wasser jeweilen da entfernen sollen, wo es die Arbeit stört; es braucht Kraft,

die in komprimierte Luft umgesetzt wird, um die Transporte im Innern des Tunnels auszuführen; es braucht Kraft für das elektrische Licht, das nachts die Installationen draussen erhellt. Wenn wir uns alles das vergegenwärtigen, wird es uns nicht mehr wundern, dass zirka 2400 Pferdekräfte Tag und Nacht, jahraus, jahrein von den Turbinen, die alles das betreiben, abgegeben werden müssen. Der moderne Tunnelbau ist ein typisches Beispiel dafür, wie der Mensch die Naturkräfte in seinen Dienst spannen muss, um grosse Werke der Zivilisation auszuführen und im Betrieb zu halten.

Ich habe erklärt, dass die am Simplon zur Anwendung gekommene Baumethode im wesentlichen das Ziel hat, dem Tunnelarbeiter seine Arbeit zu erleichtern, ihm seine Leistungsfähigkeit zu erhalten. Dazu müssen nun, abgesehen von dem bereits Ausgeführten, noch eine Reihe anderer Dinge mithelfen. Erstens eine nicht zu lange Arbeitszeit. Dieselbe beträgt acht Stunden netto. Der Tag ist in drei sogenannte Schichten eingeteilt, deren erste morgens um 6 Uhr, deren zweite mittags 2 Uhr, und deren dritte abends 10 Uhr beginnt. Zweitens soll der Arbeiter auf dem Weg zur Arbeit sich nicht unnötig ermüden. Die Arbeiter werden deshalb seit Jahren in Extra-Eisenbahnzügen mittelst Extrawagen von der Installation zu den Arbeitsstrecken gefahren und ebenso hinaus; sie haben nur einen kurzen Weg zu Fuss zu machen. Drittens, damit die Arbeiter sich beim Hinausfahren in ihren oft nassen Kleidern und erhitzt, wie sie sind, während der schlechten Jahreszeit nicht erkälten, sind draussen Vorkehrungen getroffen zum Umkleiden und zum Baden oder blossen Waschen, wie es der einzelne wünscht (Taf. 17). Da werden die nassen Arbeitskleider abgelegt und die trockenen Aus-



Tafel 20: **Wassereinbruch auf der Südseite**



Tafel 21: **Hölzerner Einbau an der Druckstelle.**

gangskleider angezogen. Diese Einrichtung hat sich sehr gut bewährt und trägt wohl wesentlich bei zu dem durchaus günstigen Gesundheitszustand. Dank einer peinlichen Reinlichkeit im Tunnel und der starken Lüftung ist es uns auch gelungen, den furchtbarsten Feind der Minenarbeiter, die Wurmkrankheit, die am Gotthard so grosse Verheerungen angerichtet hat, und die gerade in jetziger Zeit in Westphalen in den Bergwerken stark grassiert, durchaus ferne zu halten. Wir machen alljährlich die Erfahrung, dass mit dem Eintreten der rauhern Jahreszeit sich alles zur Arbeit im Tunnel drängen will und dieser wegen der Gleichmässigkeit und dem Schutz vor den Unbilden der Witterung der Vorzug vor der Arbeit draussen gegeben wird.

Ich muss nun noch mit einigen Worten auf diejenigen Dinge zu sprechen kommen, die beim Bau des Simplon-Tunnels für die Bauunternehmung die grössten *Überraschungen* und *ungeahnte Schwierigkeiten* gebracht haben, zum Teil in geradezu verhängnisvoller Weise. Da sind es in erster Linie die *geologischen Verhältnisse* (Beilage 2), die sich in Wirklichkeit wesentlich anders gestaltet haben, als wie sie vorausgesagt wurden und zwar grossen Teils zu Ungunsten der Unternehmung. Es bezieht sich dies namentlich auf die Südseite und da wiederum namentlich auf die Art der Schichtung. Anstatt möglichst steil einfallenden Gebirges haben uns die horizontalen Schichtungen von Anfang bis heute verfolgt, die nicht nur die mechanische Bohrung und damit den Stollenfortschritt erschweren, sondern namentlich beim Ausbau dadurch grosse Kosten verursachen, dass das Gebirge nicht in sich hält, sondern durchweg eingebaut, das heisst gestützt werden muss (Taf. 18 und 19). In geologischer Beziehung war das Tracé des Tunnels

übereinstimmend von den Geologen als günstig geschildert, aber wie sehr das wirkliche Bild von dem, das man sich ausgemalt hatte, abweicht, davon gibt der Vergleich der beiden Profile den besten Beweis. In Beilage 2 oben ist das sog. offizielle Profil dargestellt, unten das Profil, das der offizielle Geologe, Herr Professor Schardt, auf Grund der Erfahrungen und Erhebungen gemacht hat. Erkennt man nun, so frage ich, im neuen Profil das alte?

Was ich in St. Gallen über diesen Punkt gesagt habe, würde ich, nachdem ich am letzten Sonntag Herrn Professor Schardt gehört habe, heute etwas anders, etwas freundlicher sagen. Sie haben gehört, wie die Geologen heute anerkennen, dass sie sich getäuscht haben, gründlich getäuscht haben. Da gilt der Satz: „Eingestandene Sünde ist halb verziehene Sünde". Dass Bitterkeit in uns aufkam, muss uns zu Gute gehalten werden, es sind uns gar zu arge Enttäuschungen bereitet worden. Darüber geht der Streit nicht, dass die Geologen nicht im Stande sind, uns die genaue Wahrheit zu sagen, sondern darüber, dass sie zu einer Zeit, wo ihre Theorien so sehr im Fluss waren, wie sie jetzt hier zugeben, Aussprüche getan haben, die, wie sie gesagt waren, vom Laien als bare Münze genommen werden mussten, ein Gefühl der Sicherheit erwecken mussten, das tatsächlich nicht gerechtfertigt war. Eine Wissenschaft, die solchen Methamorphosen ausgesetzt ist, tut, glaube ich, gut daran, etwas vorsichtig aufzutreten, sonst riskiert sie, dass der Praktiker nach und nach allen Glauben verliert. Wenn wir dazu beigetragen haben, andern, die uns nachfolgen, ähnliche Enttäuschungen zu ersparen, so soll es uns freuen. Im Grunde ist es vielleicht gut, dass man die Wahrheit nicht gekannt hat, denn sonst wäre wohl



Tafel 22: **Erster eiserner Einbau an der Druckstelle.**

das Werk heute noch nicht begonnen, da niemand den Mut gehabt hätte, daran zu gehen.

Wir sehen aus den Profilen, dass wir ausser den ersten Kilometern der Nordseite zirka bis zum fünften Kilometer und ausser dem ersten Kilometer auf der Südseite wenig so gefunden haben, wie die Geologie vorausgesehen hat. Und noch eins, heute das Verhängnisvollste. Im Zentrum des früheren Profils sehen wir ausschliesslich Monte Leone-Gneis; wie ganz anders sieht es nun aus in der heissen Partie. Nur *eine* Kalkschicht geht in diesem früheren Profil in die Tiefe hinunter, und das war für uns ein Hauptpunkt, der uns hoffen liess, dass kein Wasser auftreten würde. Nach dem neuen Profil dagegen kommt der Kalk sehr häufig vor, und der hat uns zuerst die unheimlichen Quantitäten von kaltem Wasser gebracht und in den heissen Partien heisses Wasser, den grössten Feind, den wir antreffen konnten. Alles das heisst, dass für den Praktiker die geologischen Voraussagungen wenig Wert haben zur Beurteilung der zu erwartenden Schwierigkeiten.

Die zweite grosse und für die Unternehmung sehr unangenehme Ueberraschung waren die *Wassereinbrüche* bei Kilometer 4 bis 4.4 der Südseite (Tafel 20). Man hatte uns versichert, dass Wasser überhaupt nicht viel vorkommen werde, und dass, wenn es der Fall wäre, es im Norden kommen werde, bei der Einsattelung am Gantertal am 5. km; aber dort haben wir kein Wasser angetroffen. Wo wir es am allerwenigsten erwarteten, da sind die unheimlichen Quantitäten gekommen, aus den grossen Quellen, wovon einige bis 150 Liter per Sekunde im Sommer führten. Man hat sich den Kopf zerbrochen, wo dieses Wasser eigentlich herkomme; man hat uns anfangs versichert von Seite der Fachleute,

dass es bald auslaufen werde; wir haben diesen Aussagen aber nie getraut und haben Recht behalten. Es läuft heute noch wie im Oktober 1901, nur im Winter etwas schwächer, 800 Liter ungefähr, im Sommer dagegen bis 1200 Liter in der Sekunde.

Die dritte verhängnisvolle Ueberraschung, auf die wir nicht gefasst waren, war die *Druckstelle* auf der Südseite (Taf. 21, 22 und 23); die ist gekommen unmittelbar nach jenen Wasserpartien, die sich einen halben Kilometer lang erstrecken. Unter Druckstelle versteht man ein Gebirge, das bis zu einem gewissen Grade plastisch ist, ohne jegliche Festigkeit; man muss die Erscheinung zurückführen wahrscheinlich auf die enormen Reibungen und den Druck, die bei Gebirgsverschiebungen stattgefunden haben und solche Zertrümmerungen zur Folge hatten. Die Druckstelle, die wir passiert haben, hat eine derartige Pression ausgeübt, dass wir mit allen bis dahin bekannten Mitteln nicht Herr derselben wurden. Wir haben mit den stärksten Holzbalken eingebaut; die sind uns zerbrochen worden wie Zündhölzchen, und wir haben schliesslich nichts anderes gewusst, als eine Art Panzer zu bilden durch Anwenduug von Doppel-T-Balken von 40 cm, d. h. dem stärksten Profil. Es stehen nun auf 44 Meter Länge solche Balken einer neben dem andern. Der Druck war so, dass er viele von diesen T-Balken durchscheert hat. Wir haben für die 44 Meter 6 Monate gebraucht, was einem täglichen Fortschritt von 25 cm entspricht, während wir $5^1/_2$ m per Tag machen sollten. Es war fast wie Hohn, dass wir gleich nach Ueberwindung der Druckstelle im Mai 1902 die berühmte Woche mit 63 m machten. Aber solche Lichtblicke, solche Wochen waren selten auf der Südseite des Simplon. Nachdem wir mit dem Stollen durch waren,



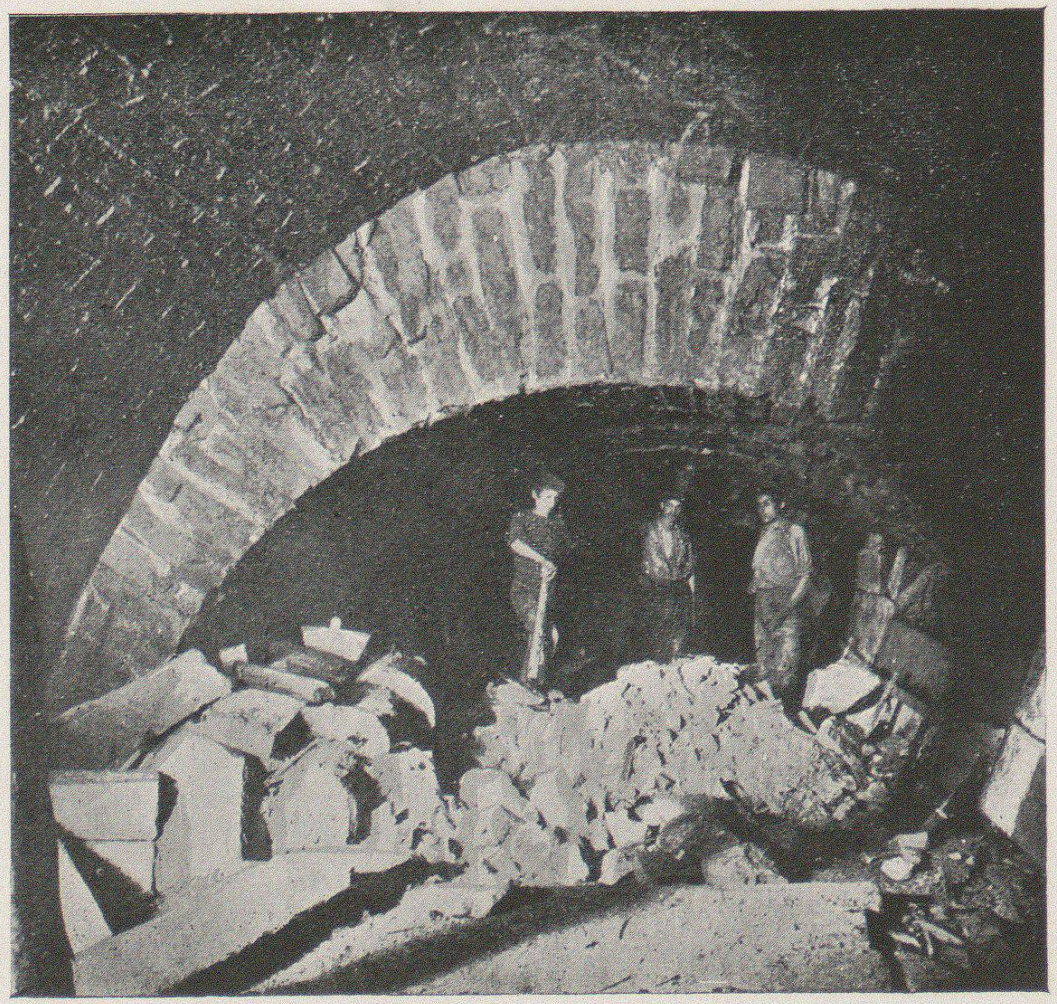
Tafel 23: **Eiserner Einbau an der Druckstelle.**

war der Ausbau dieser Druckstelle eine ausserordentliche Aufgabe. Sohlengewölbe von 2 m, Widerlager von 1,80 m und Gewölbe von 1,6 m haben wir eingebaut und zwei Jahre gebraucht, um diese Stelle zu sichern; man ist mit der äussersten Vorsicht vorgegangen. Bekanntlich begegnete man auch am Gotthard einer Druckstelle, die aber an sich viel weniger gefährlich war, und nur gefährlich wurde, weil zuerst zu wenig stark gemauert wurde. Die Folge davon war, dass das Gebirge nachrutschte. Man muss verhindern, dass auch nur ein einziger Kubikmeter Gebirge nachkommen kann, weil sonst kein Halten mehr ist. Jedenfalls ist anzunehmen, dass, wenn man nicht mit ausserordentlicher Vorsicht vorgegangen wäre, diese Druckpartie mit Mauerwerk kaum hätte gehalten werden können. (Taf. 24.)

Die vierte grosse Überraschung war die *Temperatur* auf der Nordseite, die wir im Frühling 1902 antrafen und die, wie wir bereits gesagt, anstatt auf 42° im Maximum sich auf 55° steigerte. Wir haben sie glücklicherweise überwinden können, weil unsere Kühleinrichtung stark genug war, und wir können sagen, dass wir relativ dieser Schwierigkeit am besten gewachsen waren. Wir haben es erreicht, dass wir auch im Sommer (im Sommer haben wir eben weniger kühles Wasser) immer, wenn auch nicht 25° Temperatur, so doch selten 27° auf den Arbeitsstellen hatten, und so kann man sagen, dass die Arbeiter unter diesen ausserordentlichen Erscheinungen kaum gelitten haben. Der penibelste Moment war der, als wir gemäss der unheimlichen Steigerung annehmen mussten, dass die Temperatur noch viel höher anwachsen werde, dass wir bis 65° erreichen könnten, entsprechend der gesteigerten Gebirgsüberlagerung; denn, wenn wir letztere in Betracht zogen,

wie sie war im Moment, da wir 55° hatten, mussten noch höher kommende Überlagerungen auf die schon angegebene Temperatur weisen, und es war überhaupt die Frage, ob es gelingen werde, diese Temperatur zu bewältigen, ob es nicht nötig sei, den Tunnelbetrieb für ein halbes oder ganzes Jahr einzustellen, um den nötigen Kühlbetrieb einzurichten. Im Sommer 1902 hat man diese Frage studiert, und wir haben ganz genaue Versuche nach verschiedenen Methoden gemacht und haben feststellen können, dass wir, wenn die Temperatur auf 65° stiege, anstatt 3 Millionen Kalorien zirka 7 Millionen Wärmeeinheiten per Stunde abführen müssten. Es war alles vorbereitet, um dieser grossen Schwierigkeit zu begegnen, als die Temperatur nach und nach zu sinken anfing; warum, das wird, abgesehen von den geologischen Fragen, eines der zu lösenden Probleme bleiben. Während im Süden eine Abkühlung des Gebirges durch Wasser stattgefunden hat, vermuten wir, dass auf der Nordseite umgekehrt eine Erhitzung des Gebirges durch solches eingetreten ist, so dass wir eine Art Wasserheizung auf der Nordseite hätten.

Die fünfte grosse Überraschung und die allerschlimmste bildete das *heisse Wasser*. Nach den ursprünglichen geologischen Annahmen durften wir, wie oben gesagt, hoffen, in den heissen Partien kein oder wenig Wasser zu bekommen. Wir haben solches aber auf der Südseite im Monat August 1903 für kurze Dauer und im Monat Dezember auf der Nordseite bleibend erhalten. Es sind hier nicht weniger als 70 Sekundenliter 48-gradiges Wasser angeschlagen worden, was eine schädliche Kalorienmenge von 6 Millionen ausmacht (Taf. 25). Es ist ein Wunder, dass wir mit unsern Kühleinrichtungen durchgekommen, und es ist nur dem Umstand



Tafel 24: **Hülfsgewölbe in der Druckpartie.**



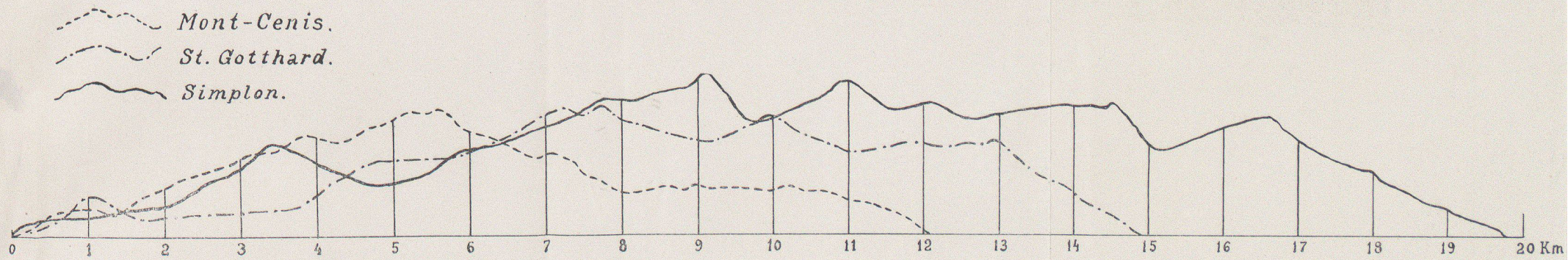
Tafel 25: **Temperaturmessung des heissen Wassers a. d. Nordseite.**

zu verdanken, dass wir im Winter standen, wo wir ein besonders kühles Wasser haben, während unsere Rechnung selbstverständlich für den ungünstigsten Fall, für die Sommertemperatur, gemacht worden war. Dieses heisse Wasser hat uns einen Zustand geschaffen, der geradezu unsagbar ist, schwer zu ertragen für die Leute, die in demselben arbeiten müssen; da ist der Punkt gekommen, wo wir mit dem besten Willen schwere Verhältnisse den Leuten nicht mehr ersparen können. Es ist möglich geworden, den mit heissem Wasser angefüllten Stollen auszupumpen und, nachdem dies geschehen war, wurden die nötigen Vorrichtungen getroffen, um durch Zuführung von Kühlwasser die Arbeit im Stollen zu ermöglichen und einem weitern Ersaufen desselben vorzubeugen. Eine grössere Anzahl Zentrifugalpumpen mit Turbinen samt den benötigten Druck-, Saug- und Förderleitungen wurden eingebaut. Damit waren wir aber noch nicht gesichert im Falle eines weiteren grössern Einbruches von warmem Wasser, der eventuell so gross werden konnte, dass, der dadurch in den Tunnel eingeführten Wärme wegen, der Ausbau im ganzen Tunnel zur Unmöglichkeit würde. Es wurden deshalb sogen. Dammtüren, wie sie im Bergbau oft zur Anwendung kommen, in beide Stollen eingebaut zum Zweck, den hinteren Teil des Vortriebstollens gänzlich abzuschliessen, falls die gefürchteten neuen Heisswasser-Einbrüche sich einstellen sollten. Nachdem alle diese Vorbereitungen unter unendlichen Mühsalen fertig gestellt waren, wurde am 20. März der mechanische Vortrieb wieder aufgenommen und kamen wir wieder in normalen Gang, sodass bis zirka Mitte Mai 250 m aufgefahren waren. Dann stellten sich wieder warme Quellen ein, die in wenigen Tagen sich derart vermehrten, dass am 18. Mai der Vortrieb definitiv aufgegeben und die Damm-

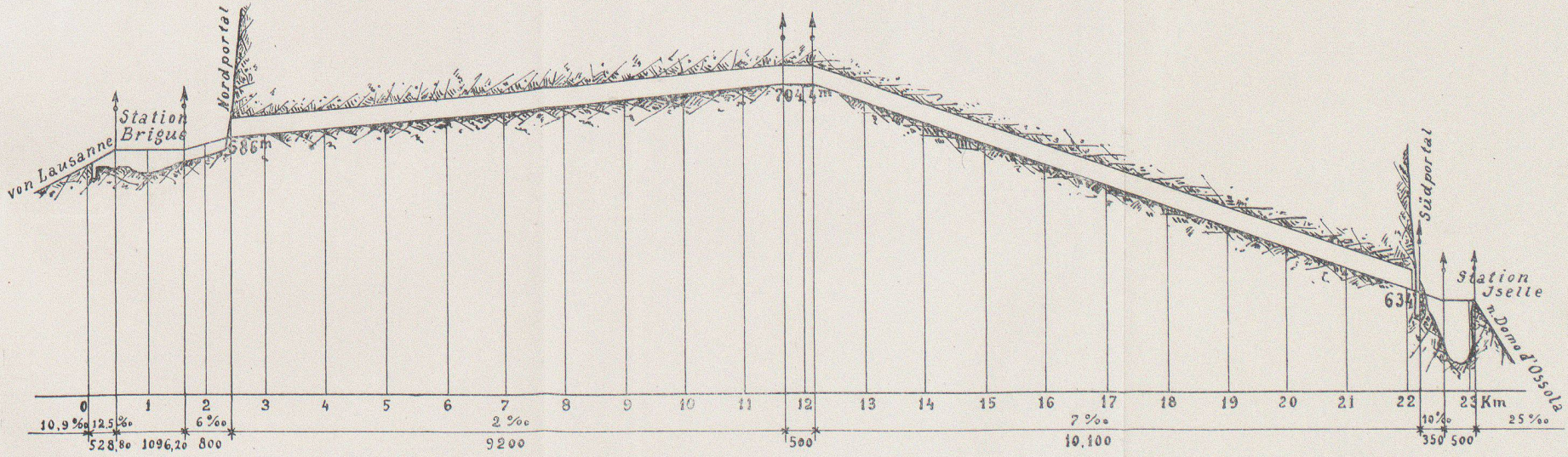
türen einige Tage später geschlossen werden mussten. Es blieb uns nichts anderes übrig, als den Rest der noch ungebohrten Strecke der Südseite zu überlassen.

Es ist klar, dass alle diese zum grössten Teil unerwarteten Schwierigkeiten die Arbeiten derart verzögert haben, dass der ursprünglich in Aussicht genommene Vollendungstermin, Mai 1904, nicht eingehalten werden kann. Die Südseite ist um mehr als zwei Kilometer im Rückstand geblieben. Dass der von uns eingegangene Termin nicht einem unerlaubten Optimismus entsprungen ist, mag die Tatsache beweisen, dass wir von der Nordseite die Mitte des Tunnels bereits am 13. September 1903, also zwei Monate vor dem Zeitpunkt erreicht haben, den wir als Durchschlag in Aussicht genommen hatten. Der Termin ist uns nun verlängert worden bis 30. April 1905.

Glücklicherweise hatten sich die Gesteinsverhältnisse auf der Südseite unterdessen auch etwas günstiger gestaltet, sodass namhafte Fortschritte erreicht wurden. Die Strecke, die jetzt noch zu durchbohren bleibt, betrug am Sonntag, den 31. Juli 431 m. Seit zirka 14 Tagen vernehmen die Pumpenwächter bei den Dammtüren der Nordseite die Sprengschüsse von der Südseite in der Form des Geräusches, den ein Hammerschlag auf Fels erzeugt und wenn die Arbeiten nun ungestört weiter geführt werden können, so hoffen wir, den Durchschlag der beiden Stollen im Monat Oktober feiern zu können.

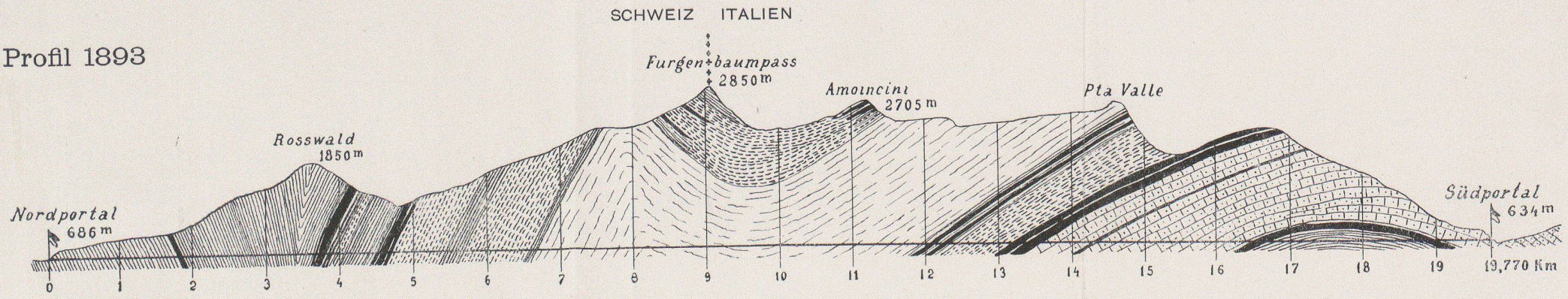


Längen-Profil.

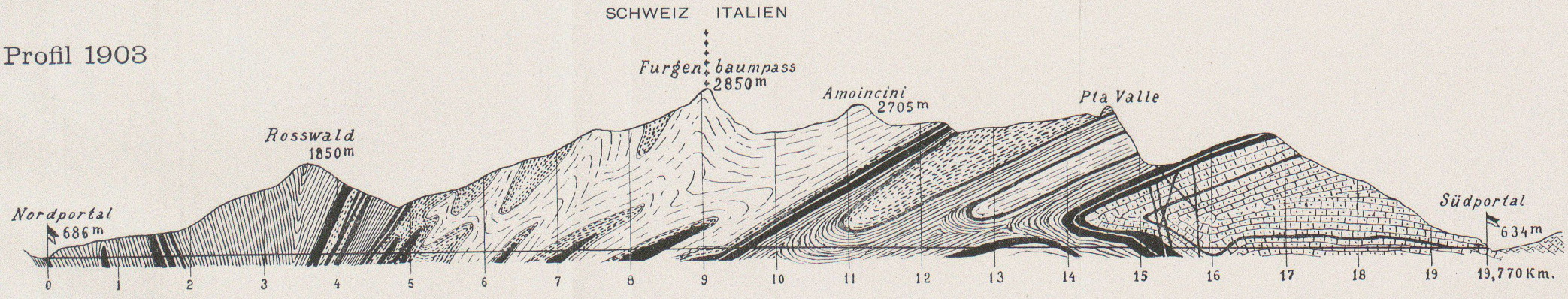


Beilage 2.

Profil 1893

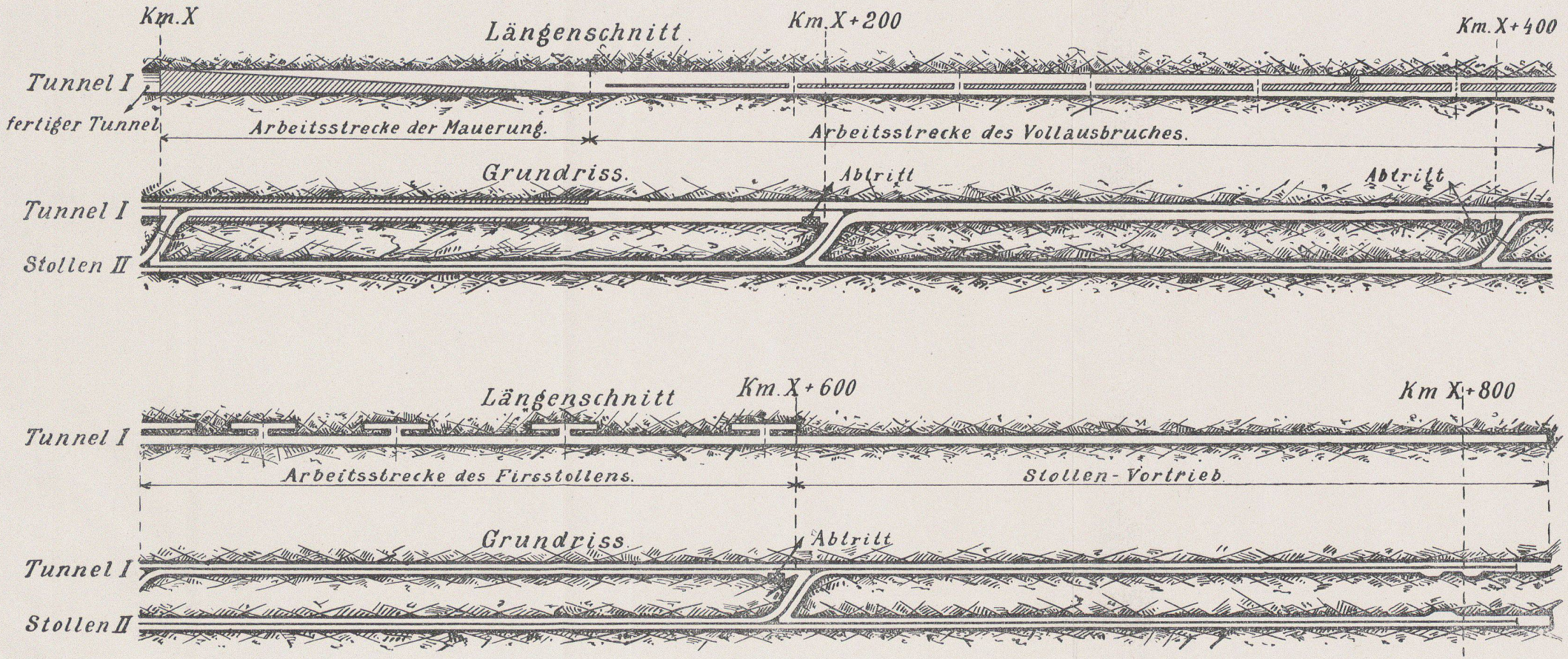


Profil 1903

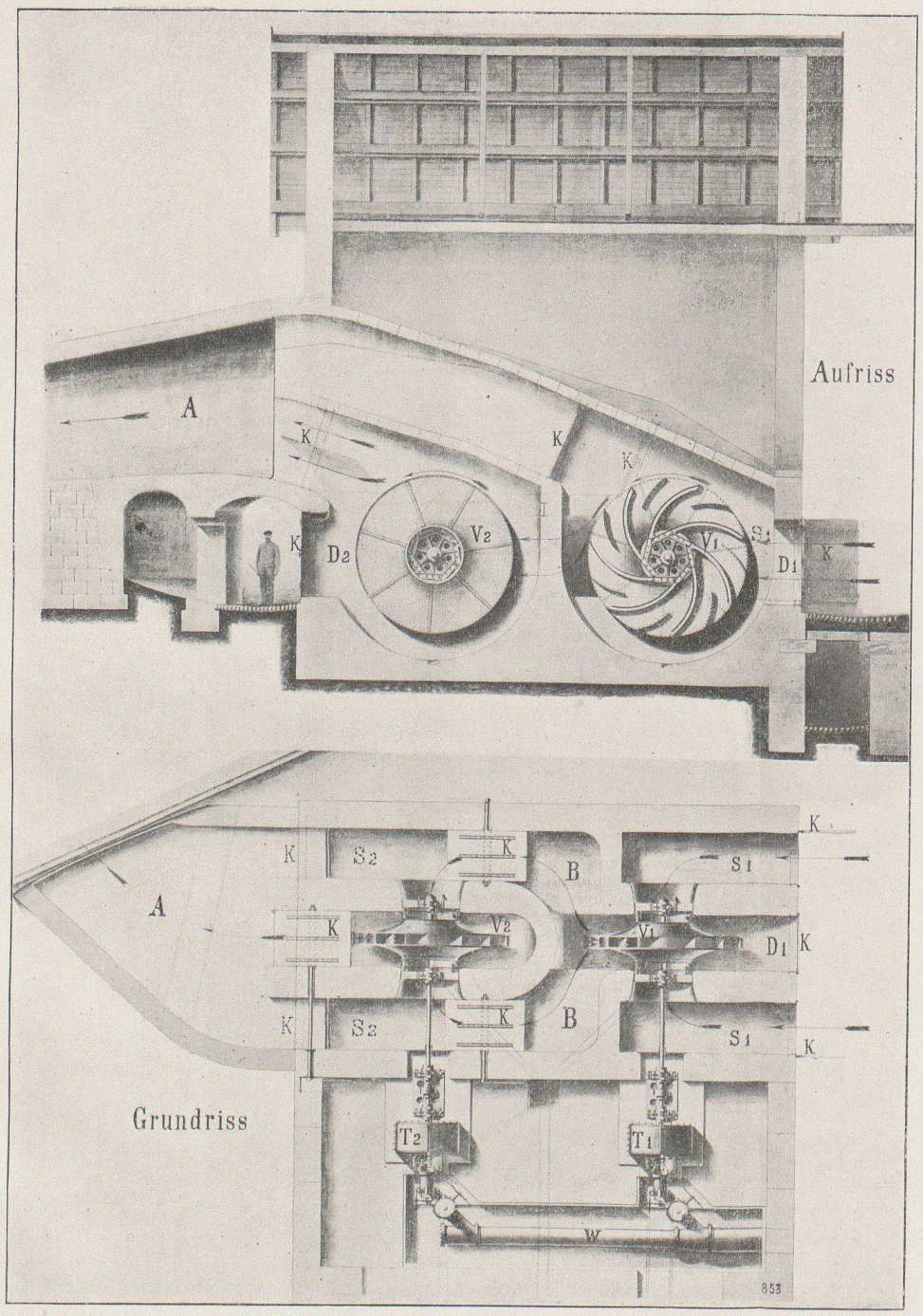


Glanz- und Kalkschiefer Glimmer-Schiefer Gneiss und Gneiss-Schiefer Antigorio-Gneiss Gyps und Kalk.

Arbeits-Vorgang im Tunnel.



Zentrifugalventilator.



Ventilations-Anlage.

V 1 + V 2 = Ventilatoren.
T 1 + T 2 = Turbinen.
W = Druckwasserleitung.
S 1 + S 2 = Saugluftkanäle.
D 1 + D 2 = Druckluftkanäle.
B = Verbindungskanal zwischen Ventilator 1 + 2.
A = Ventilationskanal in den Tunnel.
K = Regulierungsklappen.

Diese zwei Ventilatoren können einzeln oder hintereinander auf Druck oder nebeneinander auf Quantum gekuppelt laufen.

Leistungen per Ventilator:

Tourenzahl per Minute = 350.
Luftmenge per Sekunde = 25 m³.
Druck = 250 mm Wassersäule.
Kraftbedarf zirka 140 HP.

Nachtrag.

Bis zur Drucklegung sind neue Schwierigkeiten entstanden, indem am 6. September 1904 auf der Südseite, als die Distanz zwischen den Örtern Nord und Süd noch zirka 250 m betrug, eine warme Quelle von zirka 100 Sekundenliter und 46° Temperatur angeschlagen wurde. Die dadurch bewirkte Störung der Arbeiten war derart, dass der Vortrieb erst im November wieder aufgenommen werden konnte.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse des Simplondurchstichs.

Von Prof. Dr. H. SCHARDT.

Die Durchbohrung des Simplonmassivs mittels eines beinahe 20 km langen Doppelstollens,*) hat natürlich eine Anzahl interessanter und wichtiger Beobachtungen zu Tage gefördert, welche, wie es zu erwarten war, mit den Voraussichten entweder ganz gut stimmten oder dieselben ergänzten oder berichtigten. Ueber die Resultate dieser, nun seit sechs Jahren fortgesetzten Forschungen zu berichten, ist meine heutige Aufgabe. Es kann dies aber nur kurz und bündig geschehen, um so übersichtlicher wird indessen meine Darstellung sein. Sie wird von den definitiven Schlussfolgerungen nur mehr wenig abweichen, indem über die noch zu durchbohrende Strecke von weniger als 600 m keine Ungewissheit mehr besteht. Dieselbe muss zum Teil aus kalkführenden Granatglimmerschiefern (auf der Südseite) und zum Teil aus kristallinen Glimmerkalken (auf der Nordseite) bestehen. Wo der Uebergang zwischen diesen beiden Gesteinsarten ist, kann natürlich nicht bestimmt gesagt werden. Während der ganzen Dauer des Tunnelbaues wurden folgende Beobachtungen gemacht:

1. Geologische Detailaufnahmen an der Oberfläche, behufs Erstellung einer geologischen Karte 1 : 25000,

*) Meereshöhe des Nordportals 686 m; Südportal 643 m Kulminationspunkt 705 m.

welche sich auf einige Kilometer nordöstlich und südwestlich von der Tunnelaxe erstreckt.

2. Geologische Aufnahmen im Richtstollen 1 : 100 mit Entnahme von Handstücken alle 10 Meter und bei jedem Gesteinswechsel. Diese Sammlung beträgt nun nahezu 2500 Nummern.

   Aus diesen Aufnahmen soll dann das definitive geologische Profil konstruiert werden.

3. Hydrologische Beobachtungen über die Wasserzuflüsse, mit genauer Bestimmung der Temperatur, der chemischen Eigenschaften und Schätzung der anfänglichen und definitiven Wassermengen.

4. Thermische Beobachtungen zur Konstruktion eines geothermischen Profils.

I. Die Geologie des Simplonmassivs.

Die ältesten Berichte über die geologischen Verhältnisse des Simplongebirges verdanken wir *Bernhard Studer*. Die dahinbezüglichen Arbeiten datieren aus den Jahren 1846 und 1851.*) Das beigegebene Profil (Figur 1) zeigt, wie Studer die Struktur dieses Gebirgsteiles auffasste. Allerdings ist den dolomitischen Kalken viel zu grosse Ausdehnung beigemessen, hingegen ist ganz richtig dargestellt die Aufeinanderfolge von grauen Schiefern (Glanzschiefer), Gips und Dolomit, den Gneiss überlagernd.

Das schon 1853 aufgetauchte Projekt eines Simplondurchstiches hat mehrere Arbeiten des für die Erforschung des Wallis so hochverdienten Geologen und Bergingenieurs

*) *B. Studer.* Mémoire géologique sur la masse des Montagnes entre la route du Simplon et celle du St-Gothard. *Mém. soc. geol. France* 1846. — Die Geologie der Schweiz. Bern und Zürich 1851. T. I. p. 223.

*Heinrich Gerlach**) veranlasst. Neben dem am tiefsten gelegenen 18,500 m langen Basistunnel handelte es sich damals um drei weitere Hochtunnel, welche zwischen 1200 und 1400 m über Meer gelegen, die verschiedenen Taleinschnitte der beiden Abdachungen verbinden sollten, mit einer Länge von 9—10 km. Leider sind die Manuskript gebliebenen Gutachten Gerlachs nur zum Teil erhalten geblieben; die Profile fehlen ganz. Nur die Arbeit über die penninischen Alpen**) enthält ein geologisches Profil, welches sich auf ein um mehr als 6 km nordostwärts von der Tunnelrichtung gelegenes Gebiet bezieht. Es durchquert den Pizzo Cervendone und den Cistella-Alta. (Figur 2.) Das Tracé dieses Profils liegt dem Studerschen ziemlich nahe und gestattet somit eine Vergleichung der geologischen Auffassung der dargestellten Gebirgsstruktur. Am meisten fällt auf die Ueberlagerung der ganzen Antigoriogneissmasse auf den sog. ältern metamorphen Schiefern, grauen kalkführenden Glimmerschiefern, welche wir heutzutage als den Glanzschiefern gleichalterig betrachten. Gerlach sah darin eine ältere Formation; daher obige Bezeichnung. Die Ueberlagerung des Antigoriogneisses ist tatsächlich sichtbar, ja handgreiflich im Antigoriotal zwischen Pomat und Foppiano, ebenso zwischen Crodo und Goglio im Deverotal. Gerlach bezeichnet diese Sachlage als eine *Ueberschiebung von ungefähr 10 Kilometer.* Im Gebiete des Simplontunnels vermutete Gerlach diese Lagerungsform nicht und spricht auf die positivste Weise von einem „Gneissgewölbe" zwischen Iselle und Gondo, obschon die Ueberlagerung

*) *H. Gerlach.* Geologische Karte der Schweiz. Bl. XVII und XVIII, 1865.

**) Die penninischen Alpen. *N. Denksch. d. schweiz. naturf. Gesellsch.* XXIII. 1869. Abgedruckt in den *Beiträgen zur geol. Karte der Schweiz.* Lief. XXVII. 1883. Profil 1.

des Antigoriogneisses über den Schiefern bei Varzo deutlich zu beobachten und ebenso aus seiner geologischen Karte ersichtlich ist. Dass Gerlach die „älteren kristallinen Schiefer“ nicht von vornherein mit den grauen Glanzschiefern des Rhonetales in Verbindung setzte, beruht wohl auf der grossen petrographischen Verschiedenheit dieser beiden Gebilde und dem Vorhandensein einer nördlichen Gneissmasse zwischen diesen beiden Schieferkomplexen, der Monte-Leone-Gneisse, welche von diesen kristallinen Kalkschiefern unterteuft wird; dennoch sagt Gerlach zum Schlusse buchstäblich . . . „nun, dann könnte man selbst annehmen, dass die Glanzschiefer von Binnen sich um den östlichen Ausläufer des Gneisses der Binnentalkette,*) um das Ofenhorn herum nach Devero und Diveglia zögen, und sich auf die wunderbarste Weise in und unter die Gneissgebilde von Antigorio verzweigten — eine Annahme, welche vorläufig weit weniger Wahrscheinlichkeit für sich hat als die erstere.“

Seit Gerlach sind während 10 Jahren keine weitern Forschungen im Simplongebiet gemacht worden. Sein plötzlicher Tod am 8. September 1871 hat der Wissenschaft einen Forscher entrissen, welcher gewiss den klarsten und weitgehendsten Einblick in die geologischen Verhältnisse der Walliser Alpen gewonnen hatte.

Neuere Forschungen begannen erst Ende der siebziger Jahre. Sie bezweckten die geologische Darstellung verschiedener Tunnelprofile, meist Basistunnel. Die Expertise, welche 1877 von den Herren *E. Renevier,***)

*) unser Monte-Leone-Gneiss.

**) *E. Renevier.* Structure géologique du massif du Simplon. Bull. soc. vaud. sc. nat. XV. 1878. *Heim, Lory, Taramelli* et *Renevier.* Etude géologique sur le projet du tunnel coudé traversant le massif du Simplon. *Bull. soc. vaud. sc. nat.* XIX. 1883.

A. Heim und *Ch. Lory* ausgeführt wurde, führte zur Aufstellung zweier Profile in der Richtung der damals ins Auge gefassten zwei Tunneltracés. Alle Schichtenglieder sind in normaler Aufeinanderfolge, vom Antigoriogneiss, als ältestes Gebilde, bis zu den Glanzschiefern, ein grosses Gewölbe bildend, angenommen, dessen Kernteil eben der Antigoriogneiss darstellt. Die unter letzterem vorhandenen Kalkglimmerschiefer sind nicht ausgeschieden. (Siehe Figur 3.) Die Wiederholungen von Kalk- und Dolomiteinlagerungen mit Kalkglimmerschiefern, mitten in den Monte-Leone-Gneissen sind als sehr auffällige Tatsache hervorgehoben, und der Berichterstatter, Prof. Renevier, neigt sehr zur Annahme, dass diese wiederholten Einlagerungen wohl durch Falten in ausgewalzter Form zu erklären seien. Der grosse, fast 6000 m mächtige Gneiss- und Glimmerschiefer-Komplex ist sonst kaum erklärlich. Desgleichen wird die grosse Mächtigkeit der Glanzschieferzone längs des Rhonetales durch Falten erklärt.

Eine 1882 stattgehabte neue Expertise durch dieselben Geologen, zu welchen noch Prof. *T. Taramelli* gesellt wurde, brachte ein weiteres, dem soeben erwähnten ziemlich ähnliches Profil (Figur 4), welches indess verschiedene ergänzende Beobachtungen aufweist. So wird der unter dem Antigoriogneiss vorhandene Kalkglimmerschiefer als ältestes Glied des grossen Simplongewölbes dargestellt, obschon das Vorhandensein von mehreren liegenden Falten innerhalb der gewölbartig gebogenen Schichtenserie immer als möglich angedeutet wird. Dass eine solche Falte auf dem Südabsturz des Monte-Leone tatsächlich sichtbar ist, wird ganz besonders hervorgehoben. Dass nicht weniger als sieben Kalk- und Kalkglimmerschiefer-Einlagerungen vorhanden seien, deutet sehr zu gunsten dieser Möglichkeit. Die mächtige Gruppe der kristallinen

Schiefer wird ebenfalls zergliedert in eigentliche Gneisse, dem Sellagneiss des St. Gotthard ähnlich, in Granatglimmerschiefer, Chloritschiefer, Amphibolite und Amphibolschiefer etc.

Nach Fusion der Comp. S.-O.-S. mit J.-B.-L. und der erfolgten Gründung der J.-S.-Bahngesellschaft sollte das Simplonunternehmen fast unmittelbar ernstlich in Angriff genommen werden. Das vorgeschlagene Tracé war sehr ähnlich dem geradlinigen Tracé von 1882. Die geologischen Untersuchungen wurden mir anvertraut, sie sollten hauptsächlich zur Ergänzung der früheren Aufnahmen und Beurteilung verschiedener vorgeschlagener Varianten dienen. Das Gutachten mit der beigelegten geologischen Karte blieb Manuskript; nur die Zusammenstellung der auf der Tunnelaxe mutmasslich vorkommenden Gesteinsarten wurde publiziert,*) nebst einer schlecht gelungenen und unvollständigen Vergrösserung des geologischen Profils. Letzteres wurde sodann als offizielles Belegstück dem definitiven Projekt**) und dem Konzessionsgesuch***) für den erst 1898 in Angriff genommenen Tunnel beigegeben, obschon dieses definitive Tracé von dem früher 1890 begutachteten etwas verschieden liegt. (Figur 5.)

Inzwischen haben aber die geologischen Kenntnisse verschiedene Fortschritte gemacht, von welchen das sogenannte offizielle Profil noch nichts aufweist. Letzteres schliesst sich eng den Annahmen der Experten von

---

*) *J. Dumur.* Traversée du Simplon. Rapport sur les Etudes 1890—91. *Berne,* Imprimerie Stämpfli & Cie. 1891.

**) Simplontunnel. Projekt 1893. Buchdruckerei Gebhardt, Roesch & Schatzmann. Bern 1894.

***) Recueil des pièces officielles relatives au percement du Simplon. Imprimerie Roesch & Schatzmann. *Berne 1902.*

1877 und 1882 an. Die krystallinen Schiefer sind von der Monte-Leone-Gneissmasse getrennt und vom tektonischen Standpunkte aus nimmt dasselbe eine offene Synklinalfalte im nördlichen Teile der Monte-Leone-Gruppe an, in welcher Falte weiter westlich die Kalkglimmerschiefer des Kaltwasserpasses lagern. Die Kalkglimmerschiefer unter dem Antigoriogneiss sind noch als Kernmasse des Simplonmassivs aufgefasst. Eine neue Expertise kurz vor Inangriffnahme des Tunnels wäre deshalb wohl wünschenswert gewesen; denn, wie gesagt, von 1890 bis 1898 sind wichtige neue Beobachtungen gemacht worden, worüber das anno 1894 bei Gelegenheit des internationalen Geologen-Kongresses publizierte „Livret-guide géologique de la Suisse“ Aufschluss giebt.*) So wurde definitiv festgestellt: *1. Dass die unter dem Antigoriogneiss vorkommenden Kalkglimmerschiefer, sowie alle Kalk- und Schiefer-Einlagerungen im Gneiss in metamorpher Form das stratigraphische Aequivalent der Glanzschiefer des Rhonetales sind,* welche durch die Belemmitenfunde bis in nächster Nähe von Brig als jurassisch nachgewiesen sind. *2. Dass die Überschiebung beziehungsweise Überfaltung, welche Gerlach zwischen Devero- und Antigorio-Tal beobachtete, im westlichen Teil des Simplonmassivs, wo der Tunnel zu liegen käme, auch vorhanden sein müsse;* dass also der Antigoriogneiss kein wirkliches Gewölbe, sondern nur eine gewölbeartig gebogene, liegende Antiklinale oder Schuppe darstellt. Ja sogar unter den vom Antigoriogneiss überdeckten Marmorn und Kalkglimmerschiefern kommt noch einmal Gneiss, womit der sichere Beweis der Überfaltung gegeben ist. Desgleichen sind die Kalk- und Kalkschiefer-Einlagerungen im Gneiss als

*) Livret-guide géologique de la Suisse 1894, Lausanne, Librairie Payot. Siehe die Beiträge von *C. Schmidt, H. Schardt, H. Golliez.*

Falten zu deuten. Diese Auffassung geht aus dem Profil Figur 6 hervor. Der geologischen Sektion der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft wurden bei der Jahresversammlung in Zermatt, 1895, durch Professor *C. Schmidt**) nicht weniger als 10 Profile durch das Simplongebiet vorgelegt. Die Ueberfaltung des Antigoriogneisses über die liegenden Kalkglimmerschiefer und Kalke ist zum Teil in Uebereinstimmung mit der Gerlachschen Auffassung auch angenommen und zwar bis in die Gegend von Iselle; von da an westwärts, z. B. bei Gondo aber nicht mehr. Die Kalkschiefer des mittleren Teiles, von Triasgesteinen eingeschlossen, sind als mehr oder weniger gequetschte Mulden zwischen Gneissantiklinalen dargestellt, welche selber wieder an der Oberfläche einer grossen, tiefgehenden, flachen Gneissantiklinale aufsitzen.

Das grosse Werk *Traversos***) (1895) enthält ein zu dem Tracé des Simplontunnels etwas schief verlaufendes Profil. Dasselbe (Figur 7) hat indess für uns ein gewisses Interesse, indem der Antigoriogneiss wieder als normal über den unteren Kalkglimmerschiefern liegend dargestellt ist, welche selber wieder einen tiefer liegenden Gneisskern umschliessen. Die Glanzschiefer des Rhonetales sind in zwei Stufen getrennt, deren eine jurassisch, die andere triassisch sei. Die kristallinen Schiefer sind ebenfalls in zwei Horizonte geschieden: Glimmerschiefer mit Kalklagen und Schiefergneisse, welche einem gneissartigen Kalkschiefer auflagern. Daraus ist ersichtlich, dass auch nach langem eingehendem Studium die so deut-

---

*) *C. Schmidt.* Géologie du massif du Simplon. *Arch. sc. phys. et nat.*, Genève. T. XXXIV, 1895. Die Profiltafel ist nicht in den Handel gekommen.

**) *St. Traverso:* Geologia del Ossola. *Genova.* Tip. di Aug. Ciminago 1895.

liche und mehrerorts hervorgehobene Lagerung des Antigoriogneisses ganz verkannt werden kann. In dieser Hinsicht ist es interessant, die nun folgende Umwälzung der Ansichten ins Auge zu fassen.

Als im Jahr 1898 die Arbeiten am Simplontunnel begonnen wurden, erkannte die mit der Einleitung zu den geologischen und wissenschaftlichen Beobachtungen betraute Kommission, dass allerdings die seit der letzten Expertise verstrichenen 8 Jahre allerlei Neues gebracht hatten und dass ein neu aufgenommenes Profil von den zuletzt gebrachten, insonderheit von dem sogenannten „offiziellen“ Profil ziemlich abweichen würde. Da nun aber die Aufnahme eines neuen Profils für die Unternehmung selbst in diesem Momente ganz einflusslos sein musste, und höchstens ein wissenschaftliches Interesse haben konnte, so wurde beschlossen, den Durchstich abzuwarten, um dann erst ein definitives, mit den wirklichen Befunden belegtes Profil zu bieten.

Schon mit Anfang der neuen Aufnahmen (1899) drängte sich mir immer mehr die Ueberzeugung auf, dass die Gneisszonen, welche zwischen der Antigoriomasse und den Glanzschiefern des Rhonetales liegen, ebenso wie der Antigoriogneiss von Süden nach Norden überschoben oder überfaltet seien, also, da sie nach Norden einfallen, mit ihrem Stirnrand in den Glanzschiefern stecken müssen, während ihr Wurzelgebiet südlich vom Diveria-Tal zu suchen wäre. Es mussten demgemäss ebensoviele solcher Schuppen oder Falten vorhanden sein, als durch Kalkglimmerschiefer getrennte Gneisszonen unterschieden werden können. In diesem Falle musste der zentrale Teil des Simplonmassivs nicht aus Gneiss, wie ursprünglich angenommen, sondern aus Kalkglimmerschiefern und

Granatglimmerschiefern, zum Teil auch aus Kalk, Dolomit mit Anhydrit bestehen.

Indem ich der Beweisführung dieser Annahme durch den Durchstich entgegensah, wurde im März 1902 durch Professor Dr. C. Schmidt*) in Basel der Tunnelbaugesellschaft Brandt, Brandau & Co. und durch diese an die Eisenbahngesellschaft J.-S. ein neues Simplonprofil eingereicht, nebst einem ausführlichen Gutachten über die Geologie und die Hydrologie dieses Gebirges. In diesem Profil (siehe Figur 8) wird, die Antigoriomasse ausgenommen, der ganze nördliche Teil des Simplons als breite Gneissantiklinale dargestellt, auf welcher mehrere nach Norden oder nach Süden überkippte Falten liegen, mit eingeklemmten Jura- und Trias-Mulden. Die Gneissmasse selber ist in zwei Stufen unterschieden, ein oberer Gneiss (Monte-Leone-Gruppe), hauptsächlich den Monte-Leone-Gneiss und eine ganze Gefolgschaft kristalliner Schiefer umfassend, und ein tieferer Gneiss, dem Antigoriotypus entsprechend, von welchem beinahe 7 km vom Tunnel durchfahren werden sollten. Durch dieses Vorgehen wurde die Kundgebung meiner ganz gründlich abweichenden Anschauung notwendig. Es geschah dies durch die Publikation**) eines Profils 1 : 50,000 nebst begleitendem kurzem historischem und tektonisch-stratigraphischem Text, von welchen dieses Kapitel einen Auszug darstellt. Dieses Profil, welches in Figur 9 dem Schmidt'schen Profil entgegengestellt wird, weicht nicht nur tektonisch von

---

*) *C. Schmidt.* Bemerkungen zum Entwurf eines geologischen Profils durch den Simplon in der Richtung der Tunnelaxe. Ende November 1901. 2. Febr. und 6. März 1902. Als Manuskript verbreitet.

**) *H. Schardt.* Note sur le profil géologique et la tectonique du massif du Simplon, etc. *Eclogae geol. helv. t. VIII 1904.* Als Manuskript verbreitet 1902 und 1903.

letzterem ab, sondern es werden auch stratigraphische Abweichungen bemerkbar. So werden die mächtigen Monte-Leone-Gneisse = Binnentalergneisse, nicht als jüngere Gruppe angesehen, sondern dem Antigoriogneiss als gleichwertig ausgegeben; nur die eigentlichen Glimmerschiefer mit granatführenden Varietäten und Amphiboliten werden als Zwischenglieder zwischen Gneiss und Trias angesehen. Doch zeigt sich auch hierin noch eine neue Auffassung; denn wenn auch das Prinzip dieses Profils durch die nunmehr fast abgeschlossenen Bohrarbeiten als richtig bewiesen worden ist, so bleibt doch noch Verschiedenes, sowohl stratigraphisches wie tektonisches, zu enträtseln übrig, worauf hier nicht im einzelnen eingetreten werden kann. Zwei ziemlich wichtige Punkte möchte ich doch hervorheben: nämlich die krystallinen Schiefer, aus Glimmerschiefern, Granatglimmerschiefern, Chloritschiefern und Amphiboliten oder Amphibolglimmerschiefern bestehend, sind, wenn dieselben sich wirklich zwischen die Trias und den Gneiss einschalten, nur auf der Nordseite in der Wasenhornkette vorhanden und fehlen vollständig am Monte-Leone und auf dem Antigoriogneiss. Einer der hauptsächlichsten Anhaltspunkte für die neue Auffassung der Tektonik des Simplonmassivs ist das Vorhandensein einer liegenden Falte (Synklinale) am Süd-Absturz des Monte-Leone. Der Synklinalkern dieser von Kalkschiefern und Marmor eingefassten Falte besteht gerade aus diesen kristallinen Schiefern mit allen eben aufgezählten Varietäten, welche somit mesozoisch beziehungsweise Trias oder Jura sein müssen. Ist dem überall so, so müssen die Grenzlinien zwischen Mesozoicum und der Gneissbildung verschoben werden, was aber tektonisch nichts verändert. Sicher ist auf jeden Fall schon jetzt, dass die Zone der kristallinen Schiefer zwischen Lago d'Avino

und Vallé zur metamorphen Kalkschieferzone (Jura) zu rechnen ist. Diese etwas abweichende Auffassung, welche noch schlagendere Beweise verlangt, als die bis jetzt erreichten — vielleicht ist schärfere Beweisführung auch unmöglich — hat mich veranlasst, das Profil etwas schematisch mit dieser Neuerung zu konstruieren, was durch Figur 10 geschieht. Darin ist auch eine tektonisch neue Beobachtung eingeführt. Nämlich die schmale Gneisszone des Gantertales verbindet sich ostwärts nicht mit dem oberen Monte-Leone-Gneiss. Sie bildet nicht den Stirnrand der oberen Monte-Leone-Gneissfalte, sondern es ist bloss ein aufgerichteter Teil des Stirnrandes der unteren Falte, über welcher sich die Wasenhornkette erhebt. Die Verbindung beider Gneisse nach unten ist ostwärts vom Gibelhorn deutlich zu ersehen. Dass in westlicher Richtung, im Nesseltal, dieser Gneiss wurzellos erscheint und auf der Tunnelhöhe schmäler ist als an der Oberfläche, kommt daher, dass hier eine Ausquetschung und zum Teil wirkliche Abtrennung durch Rückfaltung stattgefunden hat.

Im allgemeinen sind dieser gewaltigen mechanischen Deformation gemäss im ganzen Simplongebirge die Gesteine bis ins Innerste durchgehend zerknittert und verrutscht, wo nicht tiefgehende metamorphe Umsetzung stattgefunden hat. Die härtesten Gesteine wie der Monte-Leone-Gneiss sind nicht ausgenommen.

Zusammenfassend kann die Entwicklung unserer Kenntnis über die Geologie des Simplonmassivs folgendermassen ausgedrückt werden: Die Ueberlagerung mehrerer liegender Gneissfalten mit eingefalteten Trias und Jurasedimenten wurde infolge der ausgestreckten Form und der nach Norden und Süden fallenden Stirn- und Fussteile der Falten lange Zeit als ein einfaches Gewölbe

angesehen, in welchem die einzelnen Faltenlagen als normale Wechsellagerungen gedeutet wurden. Also bei *einfachem tektonischem Bau* eine *sehr komplizierte stratigraphische Schichtenfolge,* mit mehrmals wiederholtem Wechsel von Gneiss, Kalk, Glimmerschiefern, Kalkschiefern etc. Die Erkenntnis der Zugehörigkeit der Glimmer- und Kalkschiefer zu der mesozoischen Glanzschiefergruppe und der triasischen Unterlagerung derselben, von denen sie eine hochkristalline metamorphe Abänderung darstellen, hat nun gestattet, die *stratigraphische Reihenfolge sehr zu vereinfachen* — indem nur Jura, Trias, eventuell kristalline Schiefer und Gneiss aufeinanderfolgen; *die Tektonik erscheint nun aber als äusserst, ja fast unglaublich kompliziert.* Es darf behauptet werden, dass diese Verwicklungen vor 10 Jahren kaum vermutet, geschweige denn graphisch dargestellt werden konnten. Die Entwicklung unserer Kenntnisse über den Aufbau der Alpen im allgemeinen, die Erkenntnis, die wir im Laufe der letzten Jahre über die ungeheuren Ueberschiebungen und Ueberfaltungen der Sedimentdecke der Nordalpen gewonnen haben, hat erst nachträglich gestattet, ähnliche Störungen auch bei den viel tiefer liegenden Gebilden der Gneissformation zu vermuten. Im Simplongebiet tritt noch ganz besonders der erschwerende Umstand des gewölbeartig ganz normal scheinenden Baues des Gebirges hinzu, sowie der ausgedehnte Metamorphismus, welcher Gleichartiges verschieden gestaltet und Verschiedenes ähnlich macht. Wie trügerisch diese Erscheinungen auf das Auge der geübtesten Geologen einwirken können, beweist das Profil von St. Traverso (1895) und besonders dasjenige C. Schmidt's (1902), welch beide Forscher nach langjährigen Aufnahmen und Forschungen, im engeren und

weiteren Simplongebiet, die wirkliche Sachlage nicht einmal geahnt oder nur zum Teil erkannt haben.

Vergleicht man den geologischen Bau des Simplons mit dem des St. Gotthards, so fällt sofort auf, wie leicht bei letzterem die tiefere Struktur des Gebirgsinnern dargestellt werden konnte. Ueberall ist steile Fächerstruktur, wo der Verlauf der Lager nach unten sich mit nur wenig Zweifel darstellen liess. Deshalb stimmt das vorher von Fritsch konstruierte Profil, einzelne auf subjektiven Anschauungsweisen beruhende Abweichungen ausgenommen, mit dem während des Tunnelbaues durch Stapff aufgenommenen Profil ganz gut überein. Tektonisch ist der Einklang vollständig. Im Simplonprofil war eben das Problem viel schwieriger und offenbar vor Anfang des Tunnelbaues zur Lösung noch nicht reif.

Zum Schlusse dieses Kapitels sei noch hier die Reihenfolge der Schichten aufgezählt, welche am Aufbau des Simplonmassivs beteiligt sind, wie sie nach der neueren Auffassung aufeinderfolgen. Es war dies bei der gedrängten Form einer historischen Darstellung nicht möglich:

Glanzschiefer-Formation (= Bündnerschiefer, Schistes-lustrés), graue Tonschiefer, Kalkschiefer mit körnigen Kalkbänken, Granatphyllite hie und da Grünschiefer, viel Quarz- und Calcitadern. *Jura-Lias.*

Anhydrit (Gips an der Oberfläche) und Dolomit, feinkörnig grau bis kristallin weiss, oft Marmor mit grauen Schiefern, Quarziten und gneissartigen Arkosen. *Trias.*

Sogenannte kristalline Schiefer, Glimmerschiefer, Granatglimmerschiefer (nach Gerlach Casannaschieferartig) mit Amphiboliten, Amphibolschiefer und Amphibol-glimmerschiefer, Chloritschiefer. Bis jetzt als älter als

Trias, als *Palaeozoisch* aufgefasst, sind aber gewiss zum Teil metamorphe Trias- und Jurasedimente.

Schieferiger Monte-Leone-Gneiss und körniger dickbankiger Antigoriogneiss. *Archäisch* (Urgneiss).

II. Die Wasserzuflüsse im Tunnel.

Eine so verwickelte Gebirgsstruktur mit so verschieden beschaffenen Gesteinsarten muss natürlich in hydrologischer Beziehung sehr mannigfaltige Ergebnisse schaffen, wenn man bedenkt, dass auf 20 km Länge das Gebirge zum Teil über 2200 m unter der Oberfläche mit einem Doppelstollen durchfahren wird. Hier kann nur eine kurze Uebersicht über das Beobachtete gebracht werden. In Stollen I, als Richt- und Vorortstollen dienend, deshalb meist 100—150 m weiter vorwärts als der Parallelstollen genannte Stollen II, sind auf der Brigerseite, bis zum km 10,379, 142 verschiedene Wasserzuflüsse beobachtet worden, die vielen feuchten oder nur träufelnden Stellen und Strecken abgerechnet. Der Parallelstollen (II) hat nur 90 Zuflüsse aufgeschlossen bis km 10,130; dieselben sind meist auf Kosten der schon im Stollen I erschlossenen Wasser entstanden. Eine genaue Kontrolle konnte indessen über dieses Verhältnis wegen der Schwierigkeit, genaue Messungen zu veranstalten, nicht geführt werden. Auf der Südseite sind bis zum km 8780 im Stollen I nur 86 Zuflüsse beobachtet worden, in Stollen II bis km 8500 nur 56. Auf dieser Angriffsstrecke haben sich hingegen die gewaltigsten Wassereinbrüche eingestellt.

Von allen Quellen wurde meist durch Abschätzung der *anfängliche* und *spätere Ertrag* bestimmt, da genaue Messungen nur ausnahmsweise möglich waren. Die Temperatur wurde desgleichen zu wiederholten malen

gemessen. Die *chemische Beschaffenheit* des Wassers wurde durch die bequeme und rasche, allerdings nur annähernd genaue *hydrotimetrische Methode* untersucht. Von den bedeutenderen oder durch ihre Eigenschaften interessantren Quellen wurden einige genauere Analysen im chemischen Laboratorium der Station viticole in Lausanne unter Leitung von Professor Chuard ausgeführt.

Die meisten grösseren Wasserzuflüsse stehen mit Spalten und Verwerfungen im Zusammenhang. Schichtenquellen, auf dem Kontakt zweier verschieden durchlässigen Schichten ausfliessend, waren allerdings die häufigsten, aber auch die schwächsten. Es ergiebt sich hieraus, dass der Wasserkreislauf durch die Tiefen der Erdkruste mit der *Zerklüftung der Felsarten* in engstem Zusammenhang steht. Die grössten Zuflüsse entsprangen immer aus löslichem Gestein, wie Kalk, Dolomit, Gips oder Anhydrit. Indessen sind dem zerklüfteten Antigoriogneiss auch sehr starke Quellen entsprungen.

Die *Temperaturen* der unterirdischen Wasserzuflüsse stehen in enger Beziehung zu der Felstemperatur. Schwache Quellläufe waren meist schon bei ihrer Erbohrung etwas abgekühlt, wie der Fels selber, welcher am Vorort durch die starke Ventilation mit kalter Luft und hauptsächlich durch das in den Bohrlöchern zirkulierende kalte Wasser bedeutend abgekühlt war. Später trat noch viel stärkere Abkühlung ein. Quellen mit etwa 10—15 ML.*) und schnellem Abfluss durch eine einzige Oeffnung ergaben meist dieselbe Temperatur wie der Fels oder eine etwas niedrigere. Einige in der Zone der kalten Quellen auf der Südseite einfliessende Quellen bilden allein eine Ausnahme, indem sie 5—6° wärmer

*) ML. = Minutenliter. SL. = Sekundenliter.

sind als der Fels, d. h. sie haben die Temperatur, welche der hier anormal abgekühlte Fels haben sollte. *Sonst sind keine eigentlichen Thermalquellen angetroffen worden.* Das hat seinen Grund darin, dass der Tunnel die tiefere Zone des Gebirges durchschneidet, wo sich die von oben eindringenden Wasser erwärmen, also den Fels abkühlen und somit kühler sein müssen als das Gestein. In einem höher gelegenen Niveau, wo die aus der Tiefe aufsteigenden Wasser sich wieder abkühlen, also den Fels erwärmen, hätten allerdings Thermalquellen auftreten können. Merkwürdig ist, *dass im ganzen Simplongebirge an der Oberfläche keine Thermalquellen bekannt sind.* Es ist somit anzunehmen, dass sich die Temperaturerhöhung der tief einsickernden Wasser beim Aufstieg zur Oberfläche fast vollständig ausgleicht. Wo Wasser in den tiefen, warmen Gebirgsteilen zirkuliert, kühlt dasselbe also den Fels ab. Diese Annahme wird durch die Beobachtung bestärkt, dass die höchste Felstemperatur sich nicht etwa unter der Stelle der höchsten Ueberlagerung einstellte, sondern beinahe einen Kilometer vorher, unterhalb einer wenig steilen Abdachung, wo der Fels (Monte-Leone-Gneiss) ausserordentlich trocken war. Sobald Wasserzuflüsse eintraten, und dies war gerade unter dem Kulminationspunkt der Fall, da sank die Felstemperatur stetig. Unregelmässigkeiten der unterirdischen Wärmezunahme im Gebirgsinnern, soweit sie die Oberflächengestalt nicht erklärt, waren immer mit Wasserzudrang verbunden. Das Quellgebiet auf der Südseite zwischen km 3.800 und 4.420 ist in dieser Hinsicht äusserst demonstrativ. Wir werden noch besonders hierauf zurückkommen.

Die *chemische Beschaffenheit* der verschiedenen Wasserzuflüsse steht in engster Verknüpfung mit dem durch-

flossenen Fels und der in diesem zurückgelegten Strecke. Die Glanzschieferzone hat viel Sickerwasser und stärkere Quellen von 25—35 Härtegraden *) geliefert und zwar meist gipshaltige Quellen mit ziemlichem Eisengehalt. In den Tonschiefern sinkt der Härtegrad auf 4—5 °. In der Nähe und in den Triasschichten (Gips und Anhydrit) steigt die Härte auf 150 ° und mehr. Solche sehr gypshaltige Wasser enthalten oft auch Alkalisulfate und Eisenoxydulkarbonat. Meist ist der Kalkgehalt geringer als bei gipsfreien, gewöhnlichen kalkführenden Quellwassern, wie sie Kalkgebirge liefern. Magnesiasalze sind wenig vertreten. Die Zone der kristallinen Schiefer und des Monte-Leone-Gneiss war nur schwach wasserführend, besonders in der ersten Partie zwischen km 6 und 8, wo die höchste Temperatur erreicht wurde. Hier wurden auch schwache Quellen mit fast vollständig kalk- und magnesiafreiem Wasser erbohrt; der Härtegrad ist 0,5; hingegen sind 0,5 Gramm Alkalikarbonat und -Sulfat vorhanden. Bei Annäherung an die unter den Gneissen hervortretenden Trias- und Juragesteine steigt der Härtegrad sowohl, als der Gehalt an Alkalisalzen und Eisenkarbonat wieder bedeutend, um dann mit neuem Eintritt in den Gneiss wieder zu sinken. In der zentralen Zone der Trias- und Juragesteine mit Kalk und kristallinen Kalkschiefern, in welch letzteren der Zusammenstoss des von Nord und Süd vordringenden Stollens stattfinden wird, sind ausschliesslich äusserst gipshaltige Quellen mit starkem Eisengehalt aufgetreten. Sogar die sehr ergiebigen Quellen (150 Sekundenliter), welche die Nordseite zur Einstellung der Vortriebstollen zwang, zeigten anfänglich über 100 Härtegrade, einige sogar 150—170 °. Später sank hingegen

*) Hier sind französiche Härtegrade gemeint. 1 Grad = 0,01 Gr. $CaCO_3$; 0,014 $CaSO_4$; 0,088 N_9CO_3 etc. per Liter.

der Gipsgehalt auf 60—70 Härtegrade. Der starke Gipsgehalt dieser Quellen kann nur durch die Zersetzung des in diesen Schiefern sehr verbreiteten Pyrits erklärt werden. Derselbe erzeugt schwefelsaures Eisenoxydul, welches mit dem den Kalkschiefern entnommenen Kalkkarbonat schwefelsauren Kalk und doppelt kohlensaures Eisenoxydul bildet. Damit erklärt sich auch der starke Eisengehalt aller dieser Gipswasser. Desgleichen bilden sich aus kohlensauren Alkalisalzen, durch Zersetzung des Feldspates entstanden, mit schwefelsaurem Eisenoxydul schwefelsaure Alkalien und Eisenkarbonat. Dieser Prozess der Gipsbildung aus doppelter Umsetzung von schwefelsaurem Eisenoxydul und Kalkkarbonat erklärt zugleich den schwachen Gehalt an letzterer Verbindung, weil diese ja eben zu Gips umgesetzt wird.

Die meisten der Quellen, mit Ausnahme der kalten Quellen der Südseite und einiger der warmen Quellen der zentralen Zone, welche aus dem Kalk austreten, hatten anfänglich einen viel stärkeren Erguss und sind nach und nach zurückgegangen. Einige sind sogar nach gewaltigem Austreten fast ganz verschwunden. Die Mehrzahl hingegen haben nach etlicher Zeit einen fast konstanten Ertrag angenommen. Bei vielen hat zugleich die Temperatur bedeutend abgenommen, was nur zum Teil der Abkühlung des Felsens zuzuschreiben ist; zugleich ist dann der Härtegrad auch gesunken (warme Quellen der zentralen Zone). Die Erklärung ergiebt sich aus dem Umstand, dass bei der Anbohrung die sehr verzweigten Spalten bis an die ursprünglichen oberirdischen Quellen voll Wasser standen; daher auch der grosse Druck. Das Wasser zirkulierte nur langsam durch die Tiefe des Gebirges und konnte sich in Genüge erwärmen und mit Mineralsubstanzen sättigen. Nachher sank der Wasser-

spiegel und der Zufluss konzentrierte sich auf einen einzelnen, voll fliessenden Lauf, wodurch das Wasser der Möglichkeit, sich zu erwärmen und Mineralsubstanzen aufzunehmen, entrückt wurde. Die Druckabnahme bei diesem Vorgang erklärt auch die Volumenveränderung. Die Grösse der Spalten, ihre klaffenden Oeffnungen und die Korrosionsformen an deren Wandungen, welche oftmals mit schönen Calcitkristallen bedeckt waren, sind Beweise, dass das Wasser *schon vor der Anbohrung* in diesen tiefen Räumen zirkulierte, d. h. von oben hinunterfloss und dann nach Erwärmung nach der Oberfläche einem oberirdischen Quell zufloss. Da der Aufstieg kaum schneller als das Heruntersickern stattfand zum Teil in ganz nahe gelegenen Spalten, so konnte ganz gut ein so vollständiger Temperaturausgleich stattfinden, dass die oberflächliche Quelle tatsächlich des thermalen Charakters vollständig entbehrte, denn, wie gesagt, sind im ganzen Gebiet nirgends Thermalquellen bekannt gewesen. Nach Abzapfung eines solchen Quellenreservoirs d. h. Spaltensystems, entleerte sich der gesammte Wasservorrat; der ganze Kreislauf wurde gestört, bis dass sich zwischen den von oben kommenden Zuflüssen und dem nun unterirdischen Abfluss wieder ein stabiles Verhältnis einstellte. In dieser Beziehung sind die grossen Wassereinbrüche, auf welche der Südangriff stiess, von bedeutendem Interesse. Die Untersuchung ihres Auftretens, die Veränderungen, welche an ihnen seither stattfanden und die Bestimmung ihrer Herkunft haben uns einen tiefen Einblick gestattet in ein bis jetzt noch sehr dunkel gebliebenes Feld. Deshalb seien hier die gemachten Beobachtungen kurz geschildert.

Die grossen Wassereinbrüche bei km 3800—4421 des Südangriffs.

Diese dem Kalk und der nächstgelegenen Zone des zerklüfteten Antigoriogneiss entspringenden unterirdischen Wassermengen traten gar nicht unerwartet auf, indem auf der Uebergangszone von Antigoriogneiss und Kalk Wasserzuflüsse vorausgesehen waren. Unerwartet war aber, dass der Gesteinswechsel schon beim km 4.325—30 stattfand, statt erst zwischen km 5.500 bis 6.000. Dieser Umstand kommt daher, dass die Umbiegung des Kalkes um die Antigoriogneisszunge nicht unter dem Niveau des Tunnels, wie angenommen, sondern über demselben stattfindet und zwar in Folge einer merkwürdigen Verbiegung, welche unmöglich vorausgesehen werden konnte, so dass der Tunnel den Kalk nicht über dem Gneiss mit Nordfallen, sondern unter demselben mit Südfallen antraf. (Vergleiche Figur 9 und 6.) Das Resultat musste aber dasselbe sein: Wasserzuflüsse.

Nachdem der Tunnel während mehr als 3800 m fast keine Infiltrationen traf und nur ganz trockenen, zwar oft sehr zerklüfteten Antigoriogneiss, traten von km 3.830 an beständig mehr oder weniger starke Wasserzuflüsse ein; zugleich sank die Felstemperatur mit dem Fortschritt in abnormaler Weise, statt gleich zu bleiben oder auch nur wenig zu sinken, wie die nur flache Einsenkung von Vallé es vermuten liess. So stiess man beim km 4.325 auf den Kalk und mit diesem auf immer grössere Wassermengen, welche besonders beim km 4.400 ihren Höhepunkt erreichten, mit einem Vollerguss von 1150 SL. Es wurden in beiden Stollen je 35 Quellflüsse beobachtet, der Hauptguss dringt jedoch auf kaum 70 m Länge im Stollen II, zwischen den Punkten 4.350 und 4421 ein, nachdem doch der Stollen I zuerst die

wasserführenden Spalten angefahren hatte. Von diesen Quellen fällt die geringste Zahl, aber mit der Hauptwassermenge, auf die letzten 100 m im Kalk. Um die voraussichtlichen Veränderungen festzustellen, wurden 30 der wichtigsten und charakteristischsten ausgewählt und allmonatlich auf Gipsgehalt und Temperatur geprüft und, so gut es ging, deren Erguss gemessen oder geschätzt. Der Gesamtertrag wurde ebenfalls allmonatlich im Abzugskanal durch genaue Messungen bestimmt. Diese Untersuchungen ergaben vorerst folgende Klassifikation der Quellen:

I. Warme Quellen. Sehr gips- und eisenhaltig, 5 bis 7° wärmer als die jetzige Felstemperatur. Seit der Anbohrung sind diese Quellen um 2—3° wärmer geworden; der Ertrag der stärksten hat bedeutend abgenommen (um $^2/_3$) und der ursprüngliche Härtegrad hat sich verdoppelt. Sie sind lokalisiert in dem Antigoriogneiss ganz am Anfang des Quellengebietes und auf den Stollen II (westliche Gebirgsseite).

II. Isotherme Quellen. Zum Teil gar wenig oder nur mittelmässig gips- und eisenhaltig; die Temperatur ist der des Felsens ziemlich gleich. Schwacher Ertrag (höchstens 20 SL. alle zusammen). Die meisten haben seit der Anbohrung bedeutend abgenommen. Anfänglich waren alle gipshaltig. Sie entspringen ausschliesslich dem Antigoriogneiss in beiden Stollen, aber häuptsächlich im Stollen I (östliche Gebirgsseite).

III. Kalte Quellen. Sehr gipshaltig und wenig eisenführend mit starkem Erguss aus klaffenden Spalten, etwa das 15–20fache aller anderen Quellen zusammen. Anfänglich hatten alle fast dieselbe Temperatur (18—19°) und denselben Härtegrad (40—50°, welcher hierauf zunahm). Drei Hauptgruppen sind zu unterscheiden bezüglich ihres Verhaltens (siehe Figur 11):

A. Quellen mit beständig *tieferer Temperatur als der Fels* (9,5—12 °); Erguss fast gleich; Temperatur fast unveränderlich. Härtegrad mit der Jahreszeit wechselnd.

B. Quellen, deren Temperatur, Härtegrad und Volumen mit der Jahreszeit wechseln, sie sind im Sommer stärker, kälter und gipsärmer als im Winter.

C. Durch Mischung obiger total verschiedenen Quellenläufe, welche in nächster Nähe von einander austreten können, entsteht eine dritte Gruppe, welche die Mehrzahl der grossen Quellen umfasst und deren Eigenschaften ein Mittelding zwischen A und B darstellen.

Die Quelläufe von B sind die stärksten und scheinen von Nordwest zu kommen, während die Quellen A hauptsächlich auf der Ostseite beider Stollen oder gar von unten nach oben auf der Sohle aufstossen.

Der Anfang der wasserführenden Zone fand im Antigoriogneiss statt, mit dem Auftreten einer Glimmerschiefereinlagerung, welche von Süd nach Nord aufsteigend die Umbiegung des Antigoriogneisses und das baldige Auftreten des Kalkes vorandeutete. Die grossen Wasserzuflüsse im Kalk stellten sich vor einer mit zerriebenem Kalk und Glimmerschiefer gefüllten fast senkrecht stehenden Verwerfungsspalte ein. Mit dem Auftreten dieser druckhaften, fast 40 m mächtigen Reibungszone hörte auch der Wasserzudrang auf. Zwischen dieser Spalte und der Glimmerschieferzone im Antigoriogneiss, welche sich an der Oberfläche zwischen Chiusure und Agro vorfindet, stand also das unterirdische Wasser unter anfänglich ausserordentlichem Druck, als ein Bohrloch im Stollen I, am 30. September 1901, beim km 4.400 die erste stark wasserführende Spalte anzapfte.

Ausser den beiden parallelen Vortriebstollen wurden in der wasserführenden Zone noch fünf Querschläge angelegt, von welchen zwei im Kalk noch weitere Wasserzuflüsse anbohrten. Der Querschlag XXI A schuf eine ungeheure, etwa 200 SL. ertragende kalte Quelle. Dieselbe wurde später gefasst und ergab bei vollständigem Abschluss 7 Atmosphären Druck, während die anderen grossen Quellen zunahmen, zum Beweis der gegenseitigen Verbindung der wasserführenden Spalten. Der Querschlag XXI B verfolgte die Spalte, aus welcher der stärkste Wasserstrahl durch ein Bohrloch entströmte. Am merkwürdigsten sind die Ergebnisse des Querschlags XIX. Derselbe wurde ganz am Anfang der wasserführenden Zone (km 3.860) getrieben, wo kurz vorher beim Kilometer 3.891 der Vorortstollen I eine grosse aus einer Verwerfungsspalte von der Decke herunterstürzende Quelle erbohrt hatte (anfänglicher Ertrag 10,000 ML.). Dieser Querschlag XIX durchschnitt dieselbe Verwerfung in sehr schiefer Richtung, etwas rückwärts von dieser Quelle. Dadurch wurden zwei neue Quellen erschlossen. Eine kältere und weniger gipshaltige als Nr. 11, die Quelle 8 und eine wärmere und mehr mit Gips gesättigte, die Quelle 9. Infolgedessen nahm die Quelle 11 zusehends ab. Sie ist heute auf wenige Minutenliter reduziert, nicht $^1/_{100}$ von ihrem früheren Erguss. Diese Erscheinung hat eine wichtige Bedeutung. Alle drei Quellen entstammen derselben Spalte. Die zuerst angefahrene Quelle 11 fiel als gewaltiger Sturz von der Decke am rechten Stoss. Quelle 8 fällt ebenfalls von der Decke, während 9 von unten nach oben am Kontakt von Gneiss und Glimmerschiefer aufstösst.

Das Wasser der drei Quellen floss vor dem Durchstich des Querschlags XIX als Quelle 11 aus. Da sich

nun diese Wassermenge nachträglich als von zwei ganz verschiedenen Seiten herkommend und verschieden beschaffen herausstellt, so ist anzunehmen, dass vor der durch Querschlag XIX bewerkstelligten Trennung, die beiden Läufe trotz ihrer Verschiedenheit kommunizieren konnten. *Dieselbe Spalte diente also zugleich,* natürlich an verschiedenen Stellen, sowohl für *absteigende als für aufsteigende Wasseradern,* welche wiederum in Querverbindung stehen mussten. Daraus erfolgt, dass aus verschieden beschaffenen unterirdischen Wassern nicht geschlossen werden darf, dass sie in gegenseitig ganz abgeschlossenen Kanälen fliessen müssen. Die aus dem Antigoriogneiss entspringenden isothermen Quellen sind auch abwechslungsweise sehr gipshaltig oder fast gipsfrei und abwechselnd wärmer oder kälter; zwischen hinein findet sich wieder hie und da eine warme Eisengipsquelle. Diese Quellen waren alle anfangs gleich gipshaltig und gleich temperiert; erst nachträglich fand die Differenziation bezüglich Gipsgehalt statt, während alle etwas kälter wurden, zugleich mit dem Fels selber. Die seither ganz verschieden gewordenen Wasser müssen also ursprünglich unter einem ausgleichenden Einfluss gestanden haben, welcher nur der Druck des bis oben in den Spalten gestauten Wassers der grossen Quellen war, wodurch letzteres in den zerklüfteten Antigoriogneiss auf mehr als 600 m ausstrahlen konnte. Als die grossen Quellen angezapft wurden, fiel der ausgleichende Einfluss weg und die Quellen differenzierten sich und nahmen demgemäss an Volumen ab; viele versiegten sogar vollständig. Ebenso sicher ist, dass die grossen, im Kalk austretenden Quellen unter sich durch Längs- und Querspalten in Verbindung stehen und sich gegenseitig influenzieren; die beiden reinen Typen A und B sind die

Minderheit. Dass trotz der zahlreichen Verbindungen zwischen solchen Kanälen, doch ganz verschieden beschaffene und temperierte Wasserläufe bestehen können, ist gewiss viel weniger befremdend, als das Vorhandensein auf- und absteigender, verschieden warmer Strömungen in Seen und im Ozean.

Die grossen Wassereinbrüche zwischen km 4.353 und 4.421 hatten ursprünglich, wie der Fels selber, ungefähr 18—19°. Ganz genau konnte die Temperatur nicht ermittelt werden. Seither ist der Fels in der Nähe der Quellen selber auf 15° gesunken. Die kälteste der Quellen (Gruppe III A) auf 9,5°; die wärmsten (Gruppe III B) erreichen am Ende des Winters 18°, also nahezu den ursprünglichen Wärmegrad; bei der Schneeschmelze sinken sie auf 13°. Die Temperaturveränderungen stellen sich zugleich mit dem Wechsel des Gipsgehaltes und des Volumens ein. Seit Erbohrung dieser Quellen im Tunnel hat sich jeweilen von Mai bis Juli eine Periode der Zunahme bis 1200 SL. im Maximum des Gesamtertrages ergeben, während von August bis April eine Periode allmähliger Abnahme statthat, bis etwa 650 bis 700 SL. Während des Anwachsens der Quellen im Sommer *nimmt der Gipsgehalt ab* und die *Temperatur sinkt;* während der Abnahme des Volumens vom August an bis Frühjahr ist es umgekehrt; der Gipsgehalt besonders steigt fast aufs Doppelte, sogar bei den vom Temperaturwechsel wenig betroffenen Quellen. Die jeweiligen atmosphärischen Niederschläge haben keinen Teil an diesen Veränderungen. Dieselben bilden eine *einzige,* jährlich nur einmal auf- und absteigende Kurve, was doch sonst bei den meisten Quellen, bei den sogen. Vaucluse-Quellen (Kalkquellen), besonders ganz anders sich zu verhalten pflegt. Diese können in 24

Stunden in Folge eines Gewitters aufs 100fache anschwellen. Dieser Sachverhalt verlangt aufgeklärt zu werden. Diese kalten Quellen entspringen an einer Stelle des Gebirgsinnern, wo die Felstemperatur etwa 35—37 ° *sein sollte.* Ihre niedrige Temperatur kann nur durch sehr schnelles Zufliessen aus oberen kalten Teilen des Gebirges erklärt werden. Anfänglich nahm ich die Möglichkeit, ja die Wahrscheinlichkeit an, dass sich bald eine definitive Abnahme einstellen würde nach Entleerung des weitverzweigten Spaltensystems. Doch das damals angenommene Einzugsgebiet war zu gering. Spätere Aufnahmen und die bei Alpien und Nembro versiegten oder reduzierten Quellen haben gezeigt, dass sich dieses Gebiet, dem Ausgehenden der Kalkzone an der Oberfläche entlang, bis 7½ km westwärts und 4—5 km ostwärts vom Tunnel erstreckt und zum mindesten 12 Quadratkilometer Oberfläche hat. Der vom Boden aufgenommene Teil der jährlichen Niederschlagsmenge entspricht einem mittleren Abfluss von 600 SL., das Uebrige mögen unbekannte Quellen liefern und, was recht nahe liegen musste, unterirdische Abflüsse des Cairascabaches. Dieser durchquert etwa 2½ bis 3 km ostwärts vom Tunnel, 700—400 m über denselben, an zwei Stellen das vom Tunnel angeschnittene Kalklager. (Siehe Figur 12 und 13.) Einmal bei Nembro (1300 m), wo eine Quellgruppe schon im November 1891 versiegte, und dann bei Gebbo (1100 m), woselbst zwei mächtige Quellgruppen mit einem sichtbaren Ertrag von 200 SL. und einem wahrscheinlichen Ertrag von 400 SL. entspringen. Der Voraussicht nach hätten diese Quellen auch versiegen sollen; dies fand aber bis jetzt nicht statt. Obschon, diesem Umstande nach zu urteilen, ein grosser Wasserentzug von der Cairasca kaum zu erwarten war, musste durch Färbungsversuche

mit 14 – 25 kg Fluorescëin Gewissheit geschaffen werden. Drei Versuche wurden gemacht.

Der erste Versuch mit 14 kg Farbstoff zeigte, dass bei mittlerem Wasserstand des Baches *eine geringe Menge* desselben (etwa $^1/_{40}$, ungefähr 36 SL.) dem Tunnel zufloss. Die Färbung wurde nach 11—14 Tagen dort sichtbar; bei der kalten Quelle 34 früher als bei den wärmeren. Bei ganz geringem Wasserstand ergaben 25 kg Fluorescëin, nicht die geringste Reaktion, auch nicht mit dem empfindlichsten Fluorescop beobachtet. Ein dritter Versuch, auch mit 25 kg, ergab hingegen wieder das überraschende Resultat, dass bei Hochwasser nach kaum 40 Stunden die Färbung *bei allen Quellen* der ganzen wasserführenden Zone (die warmen Quellen ausgenommen) sichtbar wurde und nachher noch zu wiederholten Malen bis zum 12. und 14. Tage nach der Versenkung der Farbe wieder erschien. Das letzte Erscheinen der Färbung fand also am gleichen Zeitpunkt statt, wie die nur einmal beobachtete beim ersten Experiment. Sie erschien hingegen viel früher. Eine bedeutsame Beobachtung ist ausserdem noch die Tatsache, *dass jedesmal die Quellen von Gebbo mitreagierten.* Es ist somit der Beweis geschaffen, dass einerseits eine Verbindung zwischen dem Cairascabach und den dem Tunnel zufliessenden Wassern besteht und andererseits zwischen jenem Bach und den Quellen von Gebbo, möglicherweise auch zwischen letzteren und den Quellen des Tunnels; letzteres in dem Sinne, dass derselbe Quellstrom, welcher von der Cairasca gespiesen wird, zum Teil jene Quellen bildet und zum Teil in den Tunnel überfliesst. Bei Niederwasserstand fände letzteres nicht statt, wodurch das negative Resultat des 2. Versuchs erklärt würde. Oder man müsste annehmen, dass bei Niederwasser die Cairasca in einem

ganz wasserdichten Bett fliesst, während bei Hoch- und Mittelwasser ihr Wasser über absorbierenden Boden fliesst, was zwar möglich, aber viel schwerer begreiflich ist.

Der dritte Versuch hat ganz besondere Wichtigkeit, indem er zeigt, dass alle die nunmehr ganz verschiedenen Quellen des Tunnels auch jetzt noch unter dem Einfluss der kalten Zuflüsse stehen, ob gipshaltig oder nicht. Dadurch wird auch bewiesen, dass alle diese Quelläufe mit einander in Verbindung stehen, so verschieden und so weit sie auch von einander entfernt sein mögen. Er zeigt ferner, dass *vor der Anbohrung* des Quellnetzes alle Spalten, Risse und Höhlen sowohl im Kalk als im Gneiss *bis an die Oberfläche* mit Wasser angefüllt gewesen sein müssen, wenigstens bis zu den *tiefsten der versiegten Quellen* bei Nembro (1300 m), also etwa 650 m über dem Tunnel; daher der gewaltige Druck, obwohl derselbe durch die Reibung bedeutend vermindert sein musste. Beidseitig von der Ausflusstelle der Quelle von Nembro dehnt sich das Einzugsgebiet aus, besonders gegen Westen, wo Quellen bei Alpien und bei der alten Kaserne versiegten oder sich verminderten. Von dieser Richtung her musste also ein Abfluss gegen die versiegten Hauptquellen von Nembro stattfinden. Der gewöhnlichen Vorstellung gemäss sollte aber diese durch Gravitation verursachte Strömung weit *über dem Tunnel* wegfliessen, das war auch der Fall. Aber ausser dem oberflächlichen, der Schwere folgenden Lauf, gehorchen unterirdische Wasser *einem weitern Einflusse,* nämlich der Erosionstätigkeit durch Auflösung der Gesteine, welche es dem Wasser erlaubt, *sich immer tiefer* ins Gebirge einzugraben durch Erweiterung der Kapillarspalten, welche bald zu Wasserläufen sich erweitern.

In der Tat ist es als unumstössliche Tatsache an-

zunehmen, dass in der Nähe des wasserführenden Teils des Gebirges zwischen km 3 und 6 des Südangriffs die Temperatur, schon vor Anbohrung der Quellen eine anormal niedrige war, beim km 4.400 das Minimum von 19 °, später 15 erreichend, wo doch normaler Weise 35—37 ° Wärme hätte herrschen sollen. *Diese Abkühlung kann nur durch die Wasserzirkulation erzeugt worden sein.* Lange, ja wohl seit Jahrtausenden zirkulierte hier das Wasser, von der Oberfläche absteigend, dann wieder aufsteigend, unterhalb des obern Quellaufes d. h. sich von diesem abzweigend und absteigend, um nachher von unten herauf wieder in denselben zurückzufliessen. *Die bewegende Kraft dazu wird von der Erdwärme geliefert.* Das einsickernde Wasser erwärmt sich beim Absinken; es löst Mineralsubstanzen auf und steigt dann, dank der Wärme wieder auf, sich nach und nach wieder abkühlend. Die so verbrauchte Wärme hat eben das Wärmedefizit in dem Quellgebiet verursacht. Gewiss sind die so eingesenkten Wasserläufe noch tiefer als das Niveau des Tunnels eingedrungen, das beweisen die warmen Quellen der Gruppe A, welche zum mindesten von 200 m unterhalb des Tunnels aufsteigen müssen. — Diese Erscheinung, welche durch die weit geöffneten und korrodierten Spalten, die sandigen und lehmigen Lösungsrückstände, welche massenhaft mit dem Wasser in den Tunnel geschleppt werden, erwiesen ist, ist uns aufs klarste durch diese Quellen-Erbohrung im Simplontunnel demonstriert worden. Sie erklärt uns, warum grosse Quellen aus der Tiefe aufsteigen können, während doch ihr Ueberlauf nie tiefer gewesen sein kann: *Das Wasser selber hat sich in die Tiefe eingegraben,* durch Auflösung der Mineralsubstanz längs der vorhandenen Kapillarspalten und -Risse, und daraus erfolgte thermische Zirkulation. Der Mechanismus

ist ganz mit dem eines Thermosyphon zu vergleichen, mit dem Unterschied, dass sich das Wasser am oberen Quellauf erneut, denn sonst würde mit der Sättigung des Lösungsmittels die unterirdische Erosion von selbst aufhören. *So aber ist ihre Tätigkeit fast unbegrenzt* — sie hört nur mit dem Fehlen von Spalten, mit dem löslichen Gestein oder zu hoher Temperatur auf.

Es wurde schon bemerkt, dass die warmen Quellen sich seit ihrer Anbohrung erwärmt und vermindert haben, während ihr Gipsgehalt zugenommen hat. Diese Erscheinung hat denselben Grund wie die periodische Erwärmung und Gipsgehaltzunahme der kalten Quellen im Winter: Langsamere Zirkulation, hier erzeugt durch Abzug der kalten Quellen und Druckabnahme. Andererseits sind die kalten Quellen, wenigstens die der Gruppe III A, bedeutend kälter geworden, was auf sehr schnellen Zufluss, wahrscheinlich in vollfliessenden Spalten, d. h. unter Druck, zurückzuführen ist. Die Gruppe III B hingegen scheint ihr Wasser auf Umwegen zu erhalten, darauf beruht auch ihre Volumen- und Temperaturveränderlichkeit, welche bei der andern Gruppe nicht stattfindet. Ausserdem ist das interessante Faktum hervorzuheben, dass sich der Fels um die Eintrittstelle der grossen kalten Quellen um 4 ° abgekühlt hat. In Folge der Abkühlung der Quellen im allgemeinen, hat sich der Fels auch um etwas weniger in der ganzen Quellenzone gekühlt, beim Kilometer 4.400 aber besonders intensiv. Die Erklärung liegt darin, dass gegen diesen Punkt die kälter gewordenen Hauptquelläufe nun zusammenfliessen. Andere, entferntere, vorher durch die Wasserzirkulation gekühlte Gebiete, haben sich in Folge Abzugs des Wassers hingegen erwärmen können.

Zu erklären bleibt uns noch, warum diese grossen

Quellen nur *eine jährliche Variationskurve* aufweisen und nicht, den atmosphärischen Niederschlägen folgend, häufig zu- und abnehmen. Der zugleich eintretende Temperaturwechsel und die Gipsgehaltschwankungen zeugen ebenfalls für die Annahme, dass es sich hier um eine nur einmal jährlich stattfindende Kühlung und Verdünnung des unterirdischen Wassers handelt, durch einen einmaligen grossen Zufluss. Der immer noch bedeutende Druck an mehreren der Quellen zeigt, dass die Quelläufe nicht frei zum Tunnel abfliessen, sondern dass sie durch gestaute Wasser gespiesen werden, auf welche momentane Regengüsse wirkungslos sind. Da nun das Sammelgebiet dieser Quellen zum grössten Teil über 2000 m Meereshöhe liegt, wo von Oktober an fast nur Schnee fällt und wo der Schnee vom Mai an schnell schmilzt und im Juli vollständig weg ist, so erklärt sich der Vorgang leicht. Bei der Schneeschmelze füllt die grosse Wassermenge die unterirdischen Kanäle wieder, verdünnt das Wasser und kühlt dasselbe. Die *Druckzunahme* ist also die Ursache des stärkeren Abflusses. Ein Regenguss, selbst anhaltender Regen, ist nicht imstande eine genügende Druckzunahme zu erzeugen, um den Abfluss merklich zu vermehren. Bis jetzt hat sich also die unterirdisch gestaute Wassermenge *nie vollständig entleert;* so viel ist sicher, dass das Mittel der Zuflüsse so stark ist, dass eine vollständige Entleerung noch nicht stattfinden konnte und vielleicht nie stattfinden wird. (Siehe Figur 11.)

Eine wichtige Tatsache hat sich noch feststellen lassen, das ist die gewaltige *unterirdische Erosion,* welche durch die kalten Gipsquellen erzeugt wird. Der schwach vertretene Eisengehalt beweist, dass dieser Gips nicht auf Zersetzung von Pyrit zurückzuführen ist, wie derjenige der warmen Gipsquellen. Hier handelt es sich um

Auslaugung von Gips- und Anhydrit-Lagern. Ein Erguss von etwa 1000 SL. im Mittel annehmend, mit etwa 1 g Gips per Liter, ergiebt für die aus dem Tunnel ausfliessenden Wasser ein jährliches Gipsquantum von mehr als 30,000 Tonnen, also etwa 10,000 Kubikmeter Gips (schwefelsaurer Kalk), welcher dem Gebirg entnommen wird. Für die Quellen von Gebbo mit dem mutmasslichen Ertrag von 400 SL beläuft sich das dem Gebirge entführte Gipsquantum auf 12,000 Tonnen, also etwa 4000 Kubikmeter. Rings um die Austrittstelle dieser Quellen, talauf und -abwärts, links und rechts sind die Talgehänge, aus Antigoriogneiss bestehend, abgesunken und tief zerrüttert, in ausgedehnte Trümmerfelder verwandelt, infolge Einstürzen der im Laufe der Jahrhunderte entstandenen unterirdischen Hohlräume. Heute ist die Erosion durch die Ableitung bedeutender Quellläufe gegen den Tunnel zu, durch Gipslager hindurch, noch verstärkt; sie wird erst ihren Abschluss finden, wenn letztere durch Auslaugung erschöpft sein werden.

III. Die Felstemperatur.

Bekanntlich erheben sich unter Gebirgen die geothermischen Flächen mehr oder weniger parallel der Oberflächenformen, indem sich aber dieselben je tiefer je mehr verflachen, so dass in einer gewissen Tiefe von diesem *geothermischen Relief* nichts mehr bemerkbar ist. Diese Verflachung kommt zustande durch Zusammendrängen der geothermischen Grade d. h. Verminderung der geothermischen Tiefenstufe unter Tälern und Auseinandergehen derselben unter Bergspitzen. Statt einer geothermischen Tiefenstufe von 32 m, wie sie unter Flachland ermittelt wurde, finden sich unter Tälern

Werte von 20—25 m und unter Bergrücken je nach deren Breite 40—70 m, ja sogar oft noch mehr.

Demgemäss wurden am Simplontunnel bedeutende Temperaturerhöhungen im Innern des Gebirges erwartet. Theoretische Konstruktion konnte allein zu deren *ungefähren* Vorausbestimmung führen, ausgehend von der mittleren Bodentemperatur verschiedener Stellen am Oberflächenprofil, welche ebenfalls nur theoretisch nach dem — eben auch nicht ausnahmlosen Gesetz — der Temperaturabnahme mit der Erhöhung bestimmt werden können. Mit Zuhilfenahme der möglichst annähernden Werte der geothermischen Tiefenstufe unter Bergrücken und Tälern, je nach der Form derselben, wird nun der Verlauf der Temperaturkurven im Innern des Gebirges ermittelt. Wie unsicher diese Methode ist, liegt auf der Hand. Deshalb schwankten die Angaben der verschiedenen Ingenieure und Geologen, welche sich mit diesem Problem befassten, sowohl in Bezug auf die höchste Temperatur, als auf die Stelle wo diese Temperatur eintreten sollte. So sagte schon Stapff, der Ingenieur-Geolog vom Gotthard, anno 1878, dass die vermutlich höchste Temperatur im Innern des Simplon auf der Höhe von Brig 47° C. sein werde und riet, den Tunnel 500 m höher anzulegen. Dieser Annahme widersprach Lommel, damaliger Direktor der Simplon-Compagnie, mit der Behauptung, dass auf gleicher Höhe im Simplon ungefähr dieselben Temperaturverhältnisse wie am Gotthard, also 30—35° herrschen sollten. Nach E. Stockalper, früherem Oberingenieur am Nordportal des Gotthardtunnel, sollte der gebrochene Simplontunnel (Projekt 1882) bei einer Ueberhöhung von 2050 m unter dem Furggenbaumgrat 36° erreichen; das jetzige Projekt hätte unter denselben Annahmen etwa 2 Grade mehr, also 38°, ergeben. Zu

demselben Resultat gelangt Heim, indem er für den geradlinigen Tunnel (Projekt 1882) 38—39 ° angiebt. Ein 1895 durch das technische Personal der J.-S.-Bahn aufgestelltes Profil ergab ebenfalls 38—39 °. Hingegen gelangte im Jahr 1900 Herr Ingenieur de Coulon durch Vergleich mit den Ergebnissen am Gotthard für das jetzige Simplonprojekt zur Annahme einer Maximaltemperatur von 43 °.

Die geothermische Aufgabe, welche während des Tunneldurchstichs verfolgt werden sollte, bestand in der Aufstellung eines so genau wie möglich den Tatsachen entsprechenden geothermischen Längenprofils des Tunnels (Querprofil der Gebirgskette). Dazu sollten folgende Grundlagen dienen:

1. *Fortlaufende Temperatur-Beobachtungen des Felsens im Tunnel* alle 100 m auf dem ersten Kilometer von Nord und Süd, dann alle 200 m auf der Zwischenstrecke, so nahe wie möglich am Vorort. Die Thermometer wurden in 1 m 50 cm tiefen Bohrlöchern, auf dem östlichen Stoss des Stollen I aufgestellt. Weitere Beobachtungen ergaben die nachträgliche sehr schnelle Abkühlung des Felsens.

2. *Beobachtungen der Bodentemperatur dem Oberflächenprofil entlang* durch Ablesung von 1 m tief im Boden liegenden Thermometern, mindestens einmal monatlich, zur Bestimmung der mittleren Bodentemperatur. — Die leicht zugänglichen Thermometer wurden in kürzeren Zeiträumen beobachtet. Die Hochstationen, zwischen 1800 und 2700 m gelegen, welche im Winter unzugänglich sind, wurden mit Minima-Thermometer versehen und so die tiefste Wintertemperatur gefunden. Der Zeitpunkt dieses

Standes ist durch ein am Simplonhospiz bei 2000 Meter aufgestelltes Thermometer gegeben, wodurch die Temperaturkurve konstruiert und die fehlenden Beobachtungen interpoliert werden können. Es wurden so 14 Stationen aufgestellt, die im Simplonhospiz nicht mitgerechnet.

Aus diesen Beobachtungen ergab sich nun, dass die höchste Temperatur im Gebirgsinnern *nicht* unter dem höchsten Gebirgskamme, sondern *nordwärts desselben*, unter der Abdachung gegen das Gantertal zu, sich vorfindet. Das Ueberraschendste war weiterhin der Umstand, dass diese höchste Temperatur, nicht nur die von den Technikern wie von den Geologen allgemein angenommene Temperatur von 38—43° überstieg, sondern sogar die allgemein als übertrieben qualifizierte Zahl Stapffs noch um voll 7° überholte. Dank der thermischen Beobachtungen längs des oberflächlichen Profils, kann die teilweise Erklärung dieser Anomalie gegeben werden. Aus den Ergebnissen derselben kann jetzt schon entnommen werden, dass auf der Nordabdachung der Wasenhornkette, oberhalb des Gantertals, die Bodentemperatur bis 5° höher ist, als normalerweise angenommen werden konnte. Die geothermischen Kurven sind also hier um 200—250 Meter gehoben. Dazu gesellt sich noch der Umstand, dass hier die Schichten fast parallel der Oberfläche einfallen. Quer zur Richtung der Schichten empfindet aber die Wärmeleitung den grössten Widerstand, also muss hier die Abkühlung am schwächsten sein und die Erdwärme kann um so näher an die Oberfläche treten. Weiterhin war auf der ganzen Strecke unterhalb dieser Abdachung der Fels ausserordentlich trocken. Durch letztere Eigenschaft wird nicht nur die Wärmeleitung noch mehr vermindert, sondern das Fehlen von Wasserzirkulation

lässt die Erdwärme in ihrer vollen Wirkung auftreten ohne jeglichen Entzug derselben. Die Zusammenwirkung dieser drei Umstände: *Höhere Oberflächentemperatur, schlechte Wärmeleitung quer zur Schichtung* und *Trockenheit des Gebirges* hat also die ausserordentlich hohe Temperatur nördlich vom Wasenhorngrat erzeugt. Ob wohl das Wort „ausserordentlich" hier am Platze ist, ist wohl nicht entschieden. Denn durch die erwähnten Einflüsse könnte höchstens motiviert werden, dass unter vorwaltenden Umständen diese Temperatur nur die *höchst mögliche* ist, während am St. Gotthard bei fast durchweg senkrechter Schichtenstellung und gleichmässiger Wasserführung wohl die möglichst niedrigen Temperaturen beobachtet wurden.

Eine weitere höchst interessante Tatsache ist mit dem Einfluss der unterirdischen Wasserzirkulation in unlängbarem Zusammenhang. Es ist dies die *Herabdrückung der Geoisothermen* auf dem Verlauf der gegen den Tunnel zuströmenden Wasseradern unterhalb des Tales von Vallé. Das Zusammenfallen der Einsattelung der Isothermen mit dieser Talsenke ist rein zufällig. Nicht die Taleinsenkung ist es, von welcher aus die Wasser zufliessen, sondern dieselben sind an die Kalkschicht und den Verlauf einiger Hauptspalten gebunden. Die Einsattelung der Temperaturkurven hätte ebenso gut unter einem Bergrücken stattfinden können. Die Figur 14 zeigt die provisorische Konstruktion des geothermischen Profils, soweit es die Beobachtungen am Ende Dezember 1903 erstellen liessen. Die Beobachtungen dem Oberflächenprofil entlang sind seither vollständiger geworden und werden nach Abschluss des Baues genauere Mittelzahlen ergeben. Der damals noch unerforschte mittlere Teil ist nun fast erschlossen. Dennoch

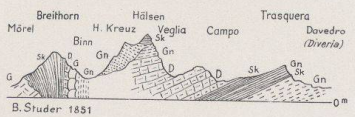


Fig. 1. Geologisches Profil des Simplonmassivs nach Studer · 1851
Sk Graue Schiefer (Glanzschiefer) · *D* Dolomit und Marmor · *G* Gips · *Gn* Gneiss

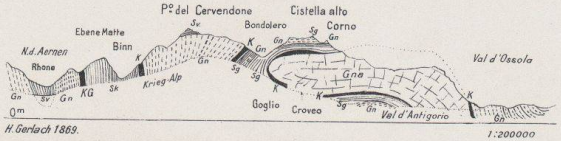


Fig. 2. Geologisches Profil etwas östlich vom Simplonmassiv, nach Gerlach · 1869
Sk Graue Schiefer (Glanzschiefer) · *Sv* Chloritschiefer · *K* Dolomit und Marmor · *KG* Dolomit und Gips
Sg Aeltere metamorphe Schiefer (metamorphe Glanzschiefer) · *Gn* Gneiss · *Gna* Antigoriogneiss

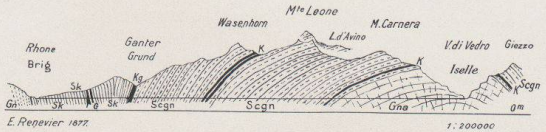


Fig. 3. Geologisches Profil des Simplontunnels · Projekt 1877 · nach E. Renevier
Sk Glanzschiefer · *K* Kalk, Marmor, Dolomit · *G* Gips · *Scgn* Kristalline Schiefer, Schieferiger Gneiss
Gna Antigoriogneiss

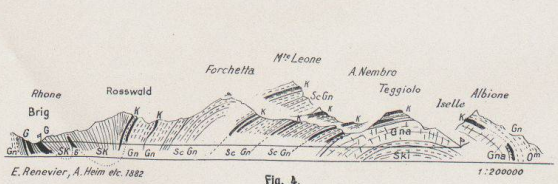


Fig. 4.
Geologisches Profil des Simplontunnels · Projekt 1882 · nach E. Renevier, Heim, Lory und Taramelli.
Sk Glanzschiefer · *K* Kalk, Marmor, Dolomit · *G* Gips · *Sc Gn* Kristalline Schiefer, Schieferiger Gneiss
Gna Antigoriogneiss · *Ski* Untere Glimmerschiefer (metamorphe Glanzschiefer)

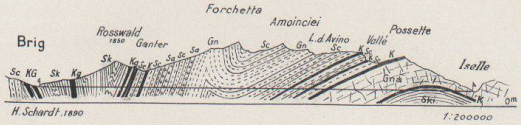


Fig. 5. Geologisches Profil des Simplontunnels · Projekt 1890
Sk Glanzschiefer · *K* Kalk, Dolomit, Marmor · *G* Gips mit Dolomit · *Sc* Kristalline Schiefer
Sa Amphibolschiefer · *Gn* Gneiss · *Gna* Antigoriogneiss · *Ski* Untere Glimmerschiefer

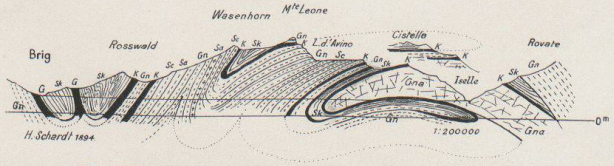


Fig. 6. Geologisches Profil des Simplonmassivs, nach H. Schardt · 1893
Sk Glanzschiefer · *K* Kalk, Dolomit, Marmor · *G* Gips mit Dolomit · *Sc* Kristalline Schiefer
Sa Amphibolschiefer · *Gn* Gneiss · *Gna* Antigoriogneiss

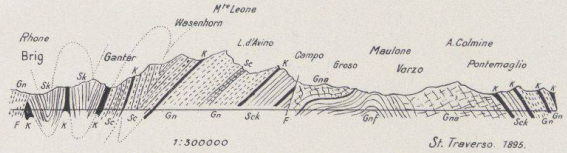


Fig. 7. Geologisches Profil des Simplonmassivs nach St. Traverso · 1895
Sk Glanzschiefer, Trias u. Jura · *K* Kalk, Dolomit und Gips · *Sc* Glimmerschiefer · *Sa* Amphibolit
Sck Kalkglimmerschiefer · *Gn* Gneiss · *Gna* Antigoriogneiss · *Gnf* «Gneiss feuilleté» (blättriger Gneiss)
F Verwerfungen

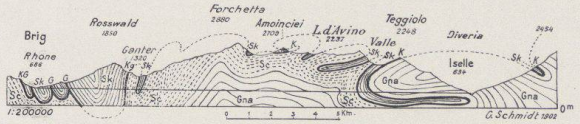
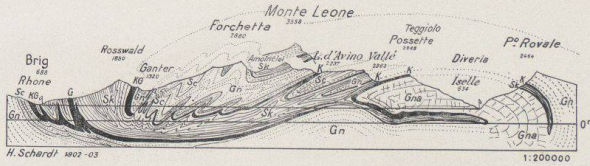


Fig. 8. Geologisches Profil des Simplontunnels, nach E. Schmidt · 1902
Sk Glanzschiefer, Jura · *G* u. *K* Gips und Kalk, Dolomit, Trias · *Sc* Kristalline Schiefer · *Gna* Gneiss (Antigoriotypus)



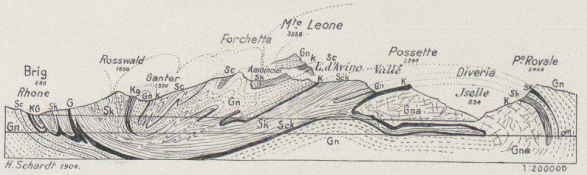


Fig. 9 u. 10. Geologische Profile des Simplontunnels nach H. Schardt · 1902-03 u. Variante 1904
Sk Glanzschiefer · *Sck* u. *Sc* Kristalline Schiefer, kalkhaltig · *K* u. *G* Kalk (Dolomit) u. Gips · *Gn* Monte Leone-Gneiss
Gna Antigoriogneiss

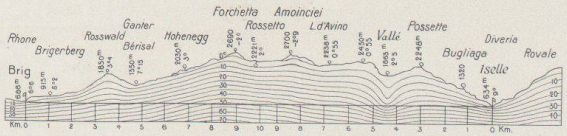


Fig. 14. Geothermisches Profil des Simplontunnels (provisorisch)

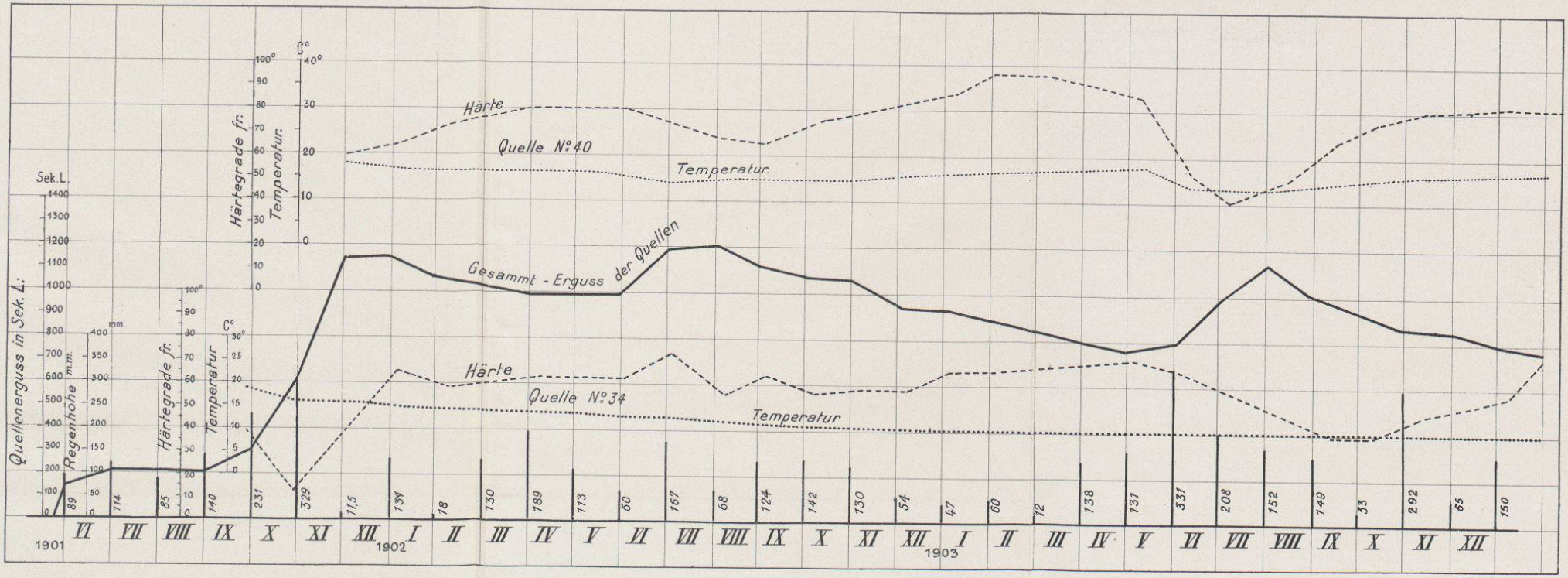
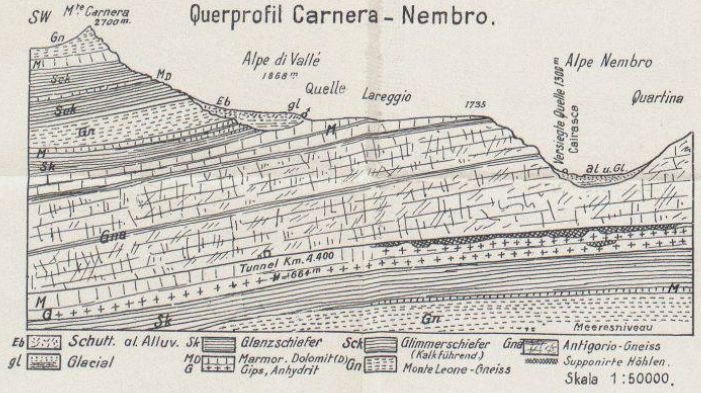


Fig. 11. Schwankungen des Gesamtergusses der kalten Quellen von Iselle zwischen km 3.860 u. 4.421, im Vergleich zur Regenmenge und der Temperatur- und Härte-Abänderungen

Die monatliche Regenmenge in Millimetern ist durch die dicken vertikalen Striche angegeben, wobei der Strich zu der rechts davon stehenden Monatszahl gehört · 1 mm = 10 mm Regenhöhe



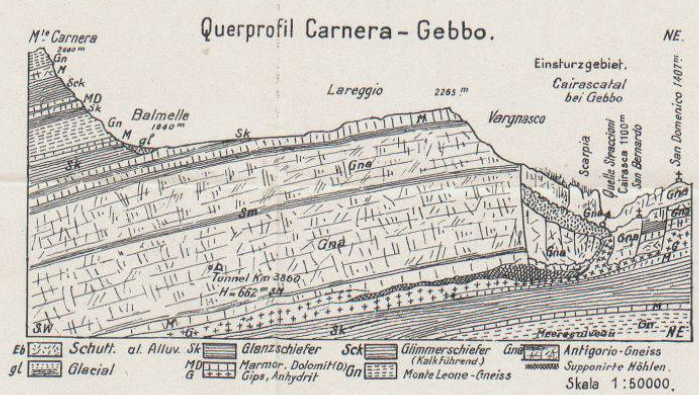


Fig. 12 u. 13. Querprofile durch die wasserführende Zone zwischen km 3.860 und 4.421 des südlichen Angriffs (Iselle)

Nachsatz.

Nachdem obiges Thema in der ersten Hauptsitzung als Vortrag behandelt worden war, hat Herr Ed. Sulzer-Ziegler, Mitglied der Baugesellschaft für den Simplontunnel, nach der zweiten Hauptsitzung als Schlussvortrag den Tunnelbau von technischer Seite beleuchtet, was gewiss recht passend scheinen durfte. Mein Vortrag hätte nun Herrn Sulzer-Ziegler Veranlassung geben können, die geologischen und hydrologischen Fragen nur von rein sachlicher Seite aus zu erwähnen. Indessen hat er sich zu Auslassungen verleiten lassen, deren Unrichtigkeit und Uebertreibung dem Sachkundigen allerdings auffallen müssen, welche aber dazu geeignet sind, dem Ansehen der Wissenschaft und deren Vertretern in einem weitern Kreise zu schaden. Es war nicht möglich, an jener Sitzung selber dem so Sprechenden Widerlegung zu bieten, und so blieben diese Angriffe bis jetzt ohne Antwort, sogar nachdem sie mit allerlei Entstellungen und Verschärfungen in den Tageszeitungen herumgekreist sind. Durch Beschluss des Zentralkomitees der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft ist es ebenfalls als statutengemäss unzulässig bezeichnet worden, an dieser Stelle auf diese Angriffe zu entgegnen, weil das an der Sitzung selber nicht geschehen sei. Ich muss mich deshalb damit begnügen, hier auf die in den *Eclogae Geologicae Helvetiae*, Band VIII, Nr. 4, erscheinende *Antwort auf die Angriffe des Herrn Sulzer-Ziegler*, verfasst von Professor A. Heim im Auftrag der geologischen Simplonkommission, zu verweisen. Wohl wird auch vorliegende Arbeit ebenfalls dazu dienen, den Leser in richtigem Sinne zu belehren.

Dr. *H. Schardt*, Prof.

Zum Vortrag von Dr. H. Schardt,

Ueber die wissenschaftlichen Ergebnisse des Simplondurchstichs.

Gedruckt in den „Verhandlungen der Jahresversammlung der Schweiz. naturforschenden Gesellschaft 1904 in Winterthur".

Nebenstehender Nachsatz zu diesem Vortrage wurde vom Zentralkomitee der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft gestrichen und durch eine anodine Anmerkung ersetzt.

Derselbe bezweckte, in den Akten unserer Gesellschaft doch wenigstens einen bescheidenen Protest gegen die ungerechtfertigten Angriffe des Herrn Sulzer-Ziegler vorzubringen, da nun einmal in dieser Schrift auf dieselben nicht erwidert werden konnte.

Indem ich den Mitgliedern der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft den Nachsatz, den ich gewünscht hatte, nun auf privatem Wege zur Kenntnis bringe, ersuche ich, denselben bei Seite 211 der gedruckten Verhandlungen der Jahresversammlung von 1904 in Winterthur einlegen zu wollen.

ist dieses Bild als vorläufige Darstellung der Publikation wert. Es ist die Reduktion des 1 : 25000 konstruierten provisorischen Originals. Es ist daraus ersichtlich, wie schnell sich gegen die Tiefe zu der Einfluss von Einsenkungen an der Oberfläche ausgleicht, besonders wenn solche, wie das Gantertal, auf einer Abdachung eingeschnitten sind d. h. ein Tal mit ungleich hohen Gehängen darstellen. Auf der Höhe des Tunnels hat dieses Tal nur eine Verlangsamung der Temperaturzunahme mit dem Fortschritt der Bohrung erzeugt. Noch weniger Einfluss hatte die Auronasenke, trotz der dortigen Gletscherbedeckung. Das Plateau des Lago d'Avino hat eine lang anhaltende Temperaturgleichheit zur Folge. Erst von km 7 an, unter dem Grat des Amoincici, Ausläufer des Monte-Leone nach Osten, fing die Felstemperatur von Süd nach Nord ganz allmählich an zu steigen.

Die eingetragene Temperatursenke auf der kalten Quellenzone ist die nunmehrige, wo die Temperatur beim km 4.400 15° ist. Vor Anbohrung der Quellen war wohl die Sachlage etwas verschieden, da damals an dieser Stelle 18—19° herrschten, vielleicht mehr. Noch jetzt ist infolge des Temperaturwechsels der Quellen dieses Gebiet schwachen thermischen Schwankungen ausgesetzt. Ohne den Kaltwasserzufluss unterhalb der Talsenke von Vallé wären die Einbuchtungen der Temperaturkurven kaum bis zum Tunnel hinab fühlbar gewesen, ebenso wenig wie dies unter dem Gantertal der Fall war.

Aus diesen Tatsachen geht hervor, dass die Wärmeverteilung im Innern von Gebirgen nicht allein von der Tiefe d. h. von der Masse des überlagernden Gebirges abhängt. Allgemeine Untersuchungen über die Wärmezunahme gegen das Erdinnere zu haben eine beträchtliche Anzahl von Einflüssen festgestellt, welche dem Gesetz

störend entgegentreten. Bei Gebirgen sind es in erster Linie die *Wasserzuflüsse* und die *Schichtenstellung.* Sollte wiederum für einen grossen transalpinen Tunnel eine Prognose bezüglich der Wärmeverteilung gestellt werden, so wird man sich nicht allein mit Höhen und Tiefen, mit den Massenberechnungen und deren durchschnittlichen Wärmeleitung begnügen dürfen, oder nur ein Überklatschen des Gotthardprofils vornehmen, sondern man wird vorerst die Bodentemperaturen am oberflächlichen Profil bestimmen, was allein gestattet, den Schluss der konvexen Kurven nach oben richtig zu zeichnen. Man wird weiterhin die Schichtenstellung und die dadurch bedingte Wärmeleitung und dann noch, soweit als ersichtlich, den Verlauf der unterirdischen Wasserzirkulation in Rechnung ziehen. So wird es vielleicht möglich sein, zum voraus ein annähernd genaues Bild zu schaffen. Bis jetzt war für eine solche Aufgabe zu wenig Grundlage zur Erreichung eines befriedigenden Resultates vorhanden. Erst vor wenigen Jahren ist z. B. gezeigt worden, wie anormal hoch die Waldgrenze im Südwallis hinaufsteigt und um wie höher als früher angenommen, hier die Bodentemperatur sein muss.

Weitere Ausführungen über die in den vorstehend abgedruckten Vorträgen der Herren Ed. Sulzer-Ziegler und Professor Schardt behandelten Fragen findet man unter dem Titel

Ueber die geologische Voraussicht beim Simplontunnel

in den Eclogae Geologicae Helvetiae Vol. VIII, Nr. 4, November 1904.

Diese Publikation bezieht sich vorzugsweise auf den Vortrag des Herrn Sulzer, über welchen an der Jahresversammlung in Winterthur keine Diskussion eröffnet werden konnte, da er den Schluss der Verhandlungen bildete.

Das Z.-K. der S. N. G.

Das Kesslerloch bei Thayngen und die dortigen postglacialen Ablagerungen.

(Vorläufige Mitteilung.)

Von J. MEISTER, Schaffhausen.

Die bis heute zur Veröffentlichung gelangten Untersuchungen über die prähistorische Station „Kesslerloch" haben bekanntlich bereits einen sehr ansehnlichen Umfang erreicht und durch die Resultate derselben ist die prähistorische Wissenschaft ganz wesentlich gefördert worden.

Wenn ich mir nun gestatte, dieses Thema auch vor Ihnen zur Sprache zu bringen, so veranlassen mich dazu meine Erhebungen über die Lehmablagerungen bei Thayngen und im untern Bibertale, die ich im Auftrage der schweizerischen geotechnischen Kommission vorgenommen habe, sowie meine Beobachtungen bei der gegenwärtig in Durchführung begriffenen Korrektion des untern Biberlaufes, vor allem aber die letzten Ausgrabungen beim Kesslerloch, welche in den Jahren 1902 und 1903 die historisch-antiquarische und die naturforschende Gesellschaft in Schaffhausen unter der Leitung von Herrn Dr. Heierli gemeinsam ausführen liessen. Auf Einzelheiten über den Gang dieser neuesten Ausgrabungen werde ich nicht eingehen, darüber wird Herr Dr. Heierli an anderer Stelle referieren; ich will nur in aller Kürze die Verumständungen skizzieren, welche den

Anstoss zur Anhandnahme dieser abschliessenden, noch sehr umfassenden Arbeiten gegeben haben.

Als im Jahre 1874 Herr Merk, damals Reallehrer in Thayngen, nunmehr Rektor der höhern Töchterschule in Basel, der Entdecker der Station, seine Ausgrabungen unterbrach, wusste er und wussten alle andern, die sich um die Sache interessierten, dass die Untersuchung nicht beendigt sei. Sie war nicht beendigt in der Höhle selbst und ebensowenig vor dem nordöstlichen Eingange in dieselbe; vor dem südöstlichen Eingange war sie nicht einmal in Angriff genommen. Die naturforschende Gesellschaft Schaffhausen hatte sich nun zwar längst die Aufgabe gestellt, die noch fehlenden Arbeiten auszuführen und zwar in erster Linie diejenigen am nordöstlichen Eingang zur Höhle. Sie brauchte sich aber mit der Realisierung des Vorhabens nicht zu beeilen, weil sie wusste, dass ohne das Verfügungsrecht über die nördlich angrenzende Wiese dieser letzte, ganz besonders wichtige Teil der Untersuchung nicht vorgenommen werde könne und dass Herr Ständerat Müller, der Besitzer dieser Wiese, nur dann seine Einwilligung für die Vornahme von Grabungen erteilen werde, wenn das Gesuch hierfür von einer Gesellschaft, am liebsten einer kantonalen, ausgehe, und wenn die Fundgegenstände unmittelbar in das Eigentum von einheimischen öffentlichen Sammlungen gelangen. Unter diesen sichernden Bedingungen hätten vermutlich die schaffhauserischen Gesellschaften die Lösung der Aufgabe noch weiter hinausgeschoben, wenn ihnen unterdessen nicht mitgeteilt worden wäre, im Landesmuseum bestehe die Absicht, die Erlaubnis für die Fortsetzung dieser Grabungen zu erwerben. Herr Ständerat Müller hätte zweifellos dem Landesmuseum seine Wiese zur Verfügung gestellt, sofern er hätte annehmen müssen, es sei in

Schaffhausen wenig Geneigtheit für die Uebernahme dieser Arbeiten vorhanden, und deshalb taten jetzt die bereits genannten Gesellschaften die nötigen Schritte, um die Grabungen so rasch als möglich an Hand zu nehmen. Im Oktober 1902 wurden sie begonnen und erreichten Oktober 1903 nach zirka 15 wöchentlicher Arbeit ihren Abschluss.

Als wesentliche Teile der zu lösenden Aufgabe betrachtete man also einmal die genaue Feststellung der Grenzen und der Beschaffenheit des die prähistorischen Fundgegenstände führenden Materiales vor dem nordöstlichen Eingang der Höhle und dann war der Schuttmantel am südöstlichen Eingang vollständig zu durchsuchen.

Ich habe hauptsächlich von den Arbeiten am nordöstlichen Eingange zu reden. Sie wurden hier von vorneherein ausserordentlich erschwert durch das Vorhandensein eines ziemlich reichlichen Grundwasserlaufes, und schon Merk hat aus diesem Grunde die Grabungen nach der Tiefe nicht fortgesetzt, ebenso Dr. Nüesch. Nur durch ununterbrochenes Pumpen war es möglich, die Arbeitsstelle genügend wasserfrei zu halten, und somit war dann auch das Herausheben und die Untersuchung des schweren, zähen Lehmes ganz unvergleichlich schwieriger als das Arbeiten in trockenem Materiale. Zudem zeigte sich bald. dass die Verbreitung der dem Tallehm beigemengten Einschlüsse nach der Tiefe ging, während sie in horizontaler Richtung nur wenig weit reichte. Heim hatte also 1874 schon ganz richtig erkannt, dass derjenige Teil des Lehmes, welcher die Funde enthält, ungefähr die Form eines Schuttkegels besitzt, und zwar nahm die Tiefe, bis zu der die Einschlüsse reichten, gegen Südosten rasch zu. Bei 4,0 m unter dem nur wenig wechselnden Grundwasserspiegel hörte die Beimengung von Fund-

gegenständen auf. Mit diesem Betrage sind die früheren Tiefenangaben (2 m bei Heim, 3,6 m bei Nüesch) nicht vergleichbar, da sich die Abstände der verschiedenen Nullpunkte nicht feststellen lassen. Jedenfalls wäre nach dem den letzten Ausgrabungen zugrunde gelegten Nivellement eine Tiefe von 3,6 m ohne Anwendung von Pumpen nie zu erreichen gewesen.

Die Differenz zwischen den extremen Grundwasserständen ist nämlich beim Kesslerloch nicht gross; sie beträgt nur wenige Dezimeter. Das Grundwasser stammt aus dem mittleren Bibertal; unterhalb Bibern tritt es in den glacialen Kies ein und gelangt so in den fluviatilen Kies der Talsohle. Der letztere ist nur verhältnismässig wenig mächtig; kann also nie die ganze Menge des andringenden Wassers führen. Deshalb entsteht am südlichen Rande des Lehmlagers im Tale im sog. „Speck“ ein Ueberlauf in Form von nie versiegenden Quellen. Aus diesem Ueberlauf geht das Bächlein des Fulachtales hervor. Es ist so konstant, dass in dem ausserordentlich trockenen Spätjahr 1899 die Behörden allen Ernstes die Frage untersuchen liessen, ob dieses Wasser nicht als Trinkwasser für Schaffhausen gewonnen werden solle. Als man sie aber von der Provenienz des Wassers überzeugt hatte, verzichteten sie natürlich auf dasselbe. Wenn also am Rande des Lehmlagers der Ueberlauf nie aufhört, so kann selbstverständlich auch ein Rückgang des den Kies durchsetzenden Grundwassers nie beträchtlich sein, sein Niveau schwankt nur um denjenigen Betrag, welchen der wechselnde Druck bedingt, den die Wassermenge der Biber ausübt.

Um den Wasserspiegel tief genug halten zu können, wurde auf zirka 2 m von der Arbeitsstelle entfernt ein bis in das Liegende des Lehmes reichender Pump-

schacht von quadratischem Querschnitt abgeteuft und durch einen Schlitz mit der Arbeitsstelle verbunden. Auf diese Weise hatte man zugleich auch Gelegenheit, an vollständig fundfreier Stelle die Zusammensetzung der unversehrten Aufschwemmung bis gegen die Kiesunterlage kennen zu lernen. Man fand so 1) zirka 0,8 m mächtiges, im Laufe der Zeit von den Besitzern der Wiese aufgeschüttetes Material, 2) zirka 3 m in der Farbe etwas wechselnden Lehm, der oben mit mehr locker-torfiger Struktur einsetzt, dann aber fett und kompakt bleibt und erst in seinem Liegenden sandige Beschaffenheit annimmt. Genau dieselbe Zusammensetzung bei etwas stärkerer Färbung einzelner Lager zeigt das die Funde führende Material. Man kommt daher zu der Ueberzeugung, dass dieses letztere kein selbständiges Gebilde darstellt, sondern durchaus nur eine Randpartie des in der ganzen Talsohle aufgeschwemmten Lehmes ausmacht, der von der Höhle aus während seiner Ablagerung die heutigen Fundgegenstände aufnahm. Ein zeitlicher Unterschied in der Entstehung des fundführenden Lehmes und des übrigen Lagers besteht absolut nicht. Es ist also unrichtig, wenn von Dr. Nüesch gesagt wird, jener ruhe auf einem Lehmlager, auf dem sich torfähnliche, schwarze Ablagerungen zeigten von bedeutender Mächtigkeit, welche sich in ihren obern Lagen erst nach der Besiedelung des Kesslerloches gebildet haben müssen.

Von der ganzen Aufschüttung im obern Fulachtale bestand nur der fluviatile Kies, der das Grundwasser führt, überdeckt von wenig lakustrem Lehm und nun folgte die Besiedelung der Höhle, so dass der palaeolithische Mensch am Kesslerloch zunächst an einem langsam fliessenden Wasser wohnte, in welchem eine gleichmässige

Lehmablagerung von statten ging. Damit wäre also wenigstens für eine der verschiedenen Schaffhauser prähistorischen Stationen ein direkter Zusammenhang mit einem geologischen Vorgange der Eiszeit konstatiert.

Mit dieser Tatsache steht man aber für eine Beurteilung des relativen Alters der Station vor einer nicht unbedeutenden Schwierigkeit. Es hat nämlich den Anschein, als führe die nächste Konsequenz jetzt zu der Annahme, dieses Erlöschen des alten Biberlaufes im Fulachtale und seine Ablenkung nach dem heutigen untern Bibertale gehören den ersten Rückzugsphasen des Gletschers an und man gelange so für die Einwanderung des Menschen in eine Zeit, da Klima, sowie Pflanzen- und Tierwelt seine Existenz noch kaum ermöglichten. Diese Schwierigkeit fällt allerdings dahin, wenn man mit Dr. Nüesch annimmt, die prähistorischen Funde liegen auf einer abgeschlossenen Talaufschüttung. So ist man unabhängig von dieser letztern und kann, ganz wie beim Schweizersbild, den Beginn der prähistorischen Station im Kesslerloch in die postglacialen Stadien da einfügen, wo Klima, Tierwelt und Artefakte dies am ratsamsten erscheinen lassen. Penck hat dies bekanntlich bereits getan. Die letzten Grabungen verschaffen uns nun aber auch den bisher fehlenden Einblick in die geologischen Vorgänge von der Zeit der ersten Rückzugsstadien bis zur Besiedelung des Kesslerloches.

Man muss eben jetzt mit der Tatsache rechnen, dass der die Funde einschliessende Lehm bis fast auf 3 m Höhe mit dem Tallehm einheitlich zusammenhängt. Von hier zieht sich die Ablagerung dann bald in lockertorfiger bald in mehr kompakter Modifikation taleinwärts und dehnt sich nach Osten auf immer breitere Fläche aus bis ins Gebiet der Ziegelfabrik. Ueberall bildet sie das

Hangende eines fluviatilen Kieses, aus dem die Fabrik einen grossen Teil ihres Wasserbedarfes deckt, wie sie übrigens auch durch einen Brunnen beim Kesslerloch die Kalkbrennerei Jahr aus Jahr ein mit Wasser versorgt. Nun erstreckt sich dasselbe Profil aber auch mit nahezu gleich starkem Gefälle über Biethingen ins heutige untere Bibertal hinein, wie das bei den Arbeiten der Biberkorrektion namentlich bei Ramsen beobachtet werden konnte. Weiter oben im Tale ist die Lehmschicht mächtiger, so dass sie für das Bachbett nicht mehr vollständig durchschnitten werden musste, der Kies also nicht mehr zum Vorschein kam. Hier konnte seine Anwesenheit nur durch Bohrungen festgestellt werden. Während aber das Fulachtal längst abgeschlossen ist und sowohl der kleine Ueberlauf im „Speck", als auch die zeitweise hochgehende Biber hier längst keine Aenderung mehr hervorgerufen haben, so ist der Bach in seiner heutigen Richtung beständig bestrebt, sein in engen Serpentinen angelegtes Bett zu verbreitern und zu vertiefen.

Für unsere weitern Schlüsse ist vor allem massgebend, dass, wie aus dem eben gesagten hervorgeht, die heutige Biber nicht in der anstehenden Molasse fliesst, sondern in eine junge, lakustro-fluviatile Ablagerung einschneidet. Auch hier liegt also, wie im Fulachtal, ein verbautes und erloschenes Tal vor, das allerdings nachträglich wieder aktiv geworden ist. Die Stauung, welche das Erlöschen verursachte, muss im Gebiet der Bibermündung erfolgt sein und wurde zweifellos durch den Gletscher hervorgerufen. Dieser hatte auf seinem Rückzuge bereits das Gebiet des Untersees erreicht, machte aber von hier aus wieder einen Vorstoss bis in den Staffelwald und an die östlich davon gelegenen Ausläufer des Schienenberges. Während der so enstandenen Stauung

hat die Biber ihren Weg wieder durch das alte Fulachtal eingeschlagen und dieses 3 bis 6 m unter die heutige Talsohle eingeschnitten. Endlich nahm der Gletscher seinen Rückzug wieder auf, um jetzt endgültig aus dem Bodenseegebiete zu verschwinden. Rhein und Biber durchschnitten unterhalb Stein das ihren Abschluss hemmende Gletschermaterial, und allmählich gestalteten sich die Gefällsverhältnisse wieder so, dass die Biber für immer in ihre jetzige Richtung zurückkehrte. Die heute im Fulachtale vorhandene Aufschüttung in der Talsohle ist demnach das Werk der hier zum zweiten Male erlöschenden Biber. Schon während der Ablagerung des Kieses und einer wenig mächtigen Lehmschicht hatte der Gletscher die Bodenseegegend verlassen und zog sich weiter talaufwärts zurück. Im Vorlande wurden die klimatischen Verhältnisse entsprechend günstiger, der Boden überzog sich wieder mit einer Pflanzendecke, eine manigfache Tierwelt wanderte wieder ein und jetzt trat auch der Mensch auf. Bei Thayngen benutzte er die einerseits vom steilen Felsen, anderseits vom Wasser geschützte Höhle und war hier Zeuge, wie die Sohle des Gewässers sich stetig hob und das Wasser sich mehr und mehr verlief. Hier setzen also die ersten Anfänge unserer ältern Steinzeit ein.

Eine andere naheliegende Aufgabe wird darin bestehen, dass man die eben dargestellte Reihe von Erscheinungen vergleicht mit denjenigen mehr oder weniger selbständigen Abschnitten, in welche bis jetzt das Rückzugsphänomen der letzten Vergletscherung hat aufgelöst werden können, nämlich mit den von Penck und Brückner in ihrem Werk: „Die Alpen im Eiszeitalter“ aufgestellten Rückzugsstadien.

Ohne Zweifel war der Gletscher schon im Rückzug

und starken Schwinden begriffen, als die Kies- und Sandmassen aufgeschüttet wurden, welche die zwischen Jura und Molasse gelegene und vom Dorfe Thayngen sich nach dem obern Bibertale erstreckende Terrasse zusammensetzen.

Das weitere gleichmässige Schwinden des Eises verlegte das Gletscherende in die untere Bodenseegegend und in diese Zeit fällt die erste Ablenkung der Biber aus dem Fulachtale ins heutige untere Bibertal. Ein Vorstoss des Gletschers bis ins Gebiet der Bibermündung verursachte eine Stauung im untern Bibertale und den nochmaligen Eintritt der Biber ins Fulachtal. *Diese Vorgänge möchte ich der Zeit der Laufenschwankung* zuteilen, welche ja mit der Aufschüttung des innern Kranzes der Jung-Endmoränen endigt, und zu diesem würde ich also auch die Moränen am Staffelwald etc. rechnen.

Der neue Gletscherrückzug, der die Bodenseegegend endgiltig vom Eise befreite, der neue Uebergang der Biber aus ihrer peripherischen Richtung im Fulachtal in die centripetale nach dem Bodenseebecken hin, die jüngsten Aufschüttungen im Fulachtale und die erste Ansiedelung des Menschen im Kesslerloch würden dann *in die Zeit des Achenrückzuges* fallen. Wie weit diese Ansiedelung in die Zeit des Achenvorstosses und des Bühlstadiums hineinreichte, wird sich im Gebiete des Kesslerloches kaum aus geologischen, mit der Eiszeit in Verbindung stehenden Tatsachen ermitteln lassen. Dazu bedarf es der Untersuchungen über die Klimaänderungen und den durch sie bedingten Verlauf der Verwitterungserscheinungen unter Berücksichtigung der in den prähistorischen Stationen gefundenen tierischen und kulturhistorischen Reste.

Das alpine Florenelement der Lägern und die Reliktenfrage.

Von Dr. M. RIKLI (Zürich).

Die Gebirgsmauer der Lägern hält sich in ihrer höchsten mittleren Partie, zwischen Burghorn und Hochwacht, fast genau auf der Höhenquote von 860 m; der höchste Punkt das Burghorn hat nur 863 m und die Lägernhochwacht sogar nur 859 m. Mit diesen bescheidenen Erhebungen ragt dieser östlichste Ausläufer des Faltenjura kaum recht in die montane Region hinein. Bei der von den Alpen ziemlich entfernten Lage (Bachtel 45 km, Schnebelhorn und Rigi je 50 km) wären demnach Alpenpflanzen kaum zu erwarten. Tatsächlich sind aber im Lägerngebiet 14 Arten vorhanden, die nach ihrer Hauptverbreitung als alpin bezeichnet werden dürfen.

Es sind:

Arctostaphylos uva ursi	Gentiana verna
Alnus viridis	Valeriana montana
Rhododendron ferrugineum	Adenostyles alpina
Ribes alpinum	Thesium alpinum
Rosa alpina	Rumex scutatus
Arabis alpina	Coeloglossum viride
Saxifraga aizoon	Botrychium lunaria.

In der Literatur werden diese Pflanzen wiederholt als Glazialrelikte gedeutet. Auf Grund der in den letzten Jahren vorgenommenen eingehenden Durchforschung der Lägern, kann die Frage einer erneuten kritischen Be-

sprechung unterworfen werden und zwar nach vier Richtungen.

I. Höhenverbreitung und Standortsbedürfnisse der alpinen Florenelemente der Lägern.

In Bezug auf die vertikale Verbreitung der aufgeführten 14 Arten ist zunächst hervorzuheben, dass keine einzige im vollen Sinne des Wortes als „alpin" zu bezeichnen ist d. h. in den Alpen ausschliesslich oder doch vorzugsweise der baumlosen Gebirgsregion angehört. Die 4 Sträucher unserer Liste: Alnus viridis, Rhododendron ferrugineum, Ribes alpinum und Rosa alpina sind in ihrer Hauptverbreitung an den subalpinen Bergwald gebunden, indem sie einen wichtigen Bestandteil des Unterholzes bilden. Wenn sie auch, wie die Grünerle und die Alpenrose, vielfach noch weit über die letzten Pioniere des Baumwuchses ansteigen, so bleibt die Frage doch immerhin noch offen, ob die jetzige, obere Alpenerlen- und Alpenrosengrenze nicht doch möglicherweise der ehemaligen Waldgrenze entspricht (Schröter, Eblin).

Die übrigen zehn Arten gehören folgenden Standorten an:

a) *Begleitpflanzen der Unterflora des Bergwaldes:*
Adenostyles alpina und Valeriana montana.

b) *Hauptsächlich Felsen und Geröllpflanzen sind:*

Saxifraga aizoon	Rumex scutatus
Arabis alpina	Valeriana montana

Sämtliche vorwiegend montan.

c) *Weidepflanzen* — doch alle bereits schon in der subalpinen Region von 1200—1600 m weit verbreitet:

Gentiana verna	Thesium alpinum
Coeloglossum viride	Botrychium lunaria.

d) Sonnig-steinige Abhänge mit humösem Boden. Arctostaphylos uva ursi; die einzige Art, die in der Schweiz vorwiegend an die höhere Alpenzone gebunden ist.

II. Verbreitung dieser alpinen Florenelemente auf der Lägern.

Infolge der ausserordentlich steilen Aufrichtung der oberen Teile des Lägerngewölbes vermag sich die Verwitterungserde längs dem Grat nicht anzusammeln; die Schichten fallen nach Süden sehr steil ab, an einzelnen Stellen in Winkeln bis zu 40°. Diese Steilheit der Gehänge, verbunden mit der harten, stark erwärmungsfähigen Beschaffenheit des Kalksteins, den verhältnismässig geringen Niederschlägen (kaum 100 cm im Jahr) und der Tatsache, dass das spärliche Wasser sogleich abfliessen muss und daher der Pflanzenwelt kaum zu gute kommt, sind alles Momente, welche mit den Lebensbedingungen, die das Alpenklima liefert, sehr wenig übereinstimmen. Dazu kommen noch zwei weitere für diesen Florenbestandteil ungünstige Momente. In den Alpen ist im Sommer, besonders während der ersten heissen Nachmittagstunden, Bewölkung und Nebelbildung eine sehr häufige Erscheinung; dadurch wird die starke Insolation gemildert und die Verdunstung verzögert. An der Lägern ist gerade das umgekehrte der Fall. Während des Sommers ist die Vegetation auf dem Grate oft tage-, ja selbst wochenlang der intensivsten Besonnung ausgesetzt, die Luft ist über den Felsen in beständig zitternder Bewegung, die Gewächse machen dann in ihrem oft halbverwelkten Zustand einen sehr bedauerlichen Eindruck. Endlich vermag auch der Schnee im Winter nicht lange liegen zu bleiben.

Während im Tale die Nebel wallen, ragt der Rücken des Berges wie eine Insel aus dem umgebenden Nebelmeer empor; bei windstillem, klarem Wetter herrscht da oben im Januar und Februar oft schon eine beinahe sommerliche Wärme. Schon Mitte Februar sind die Sesleriabestände der steilen Kalkfelsen der Südseite, z. B. an der Pfeifenrütifluh, bereits in voller Blüte, indessen an den Felsen der Nordseite noch keine Blütentriebe zu sehen sind und die Stöcke noch von den vorjährigen abgestorbenen Blättern umgeben werden. Nachts aber sind die Pflanzen infolge des mangelnden Schneeschutzes Frost- und Vertrocknungsgefahr schonungslos ausgesetzt.

Vergegenwärtigen wir uns all' diese Verhältnisse, so werden wir wohl zugeben müssen, dass gerade der höchste Teil der Lägern, der Lägerngrat, *für Alpenpflanzen ausserordentlich ungünstige Lebensbedingungen* bietet. Der Grat beherbergt denn auch eine *ausgesprochen xerotherme Flora*: Der *Heidewald* und die *Felsfluren oder Garides* sind Formationstypen, die geradezu an mediterrane Verhältnisse erinnern.

Vom üppigen humusreichen Bergwald der unteren Region mit seiner reichen montanen Begleitflora steigen wir gegen den Grat und die Pflanzenwelt nimmt in ihrem Gesamtcharakter mehr und mehr südliches, statt ein alpin-nordisches Gepräge an. Von den 14 aufgeführten Arten hat sich nur Thesium alpinum und Arctostaphylos uva ursi dieser Vergesellschaftung angeschlossen; die Bärentraube ist diejenige Art unter den alpinen Bestandteilen der Lägernflora, die wohl die weitgehendsten xerophilen Anpassungen zeigt.

Wenn somit das alpine Florenelement der Lägern den eigentlichen Grat und die steilen Gehänge der Südseite meidet, so hat sich dagegen der Hauptkontingent

dieser Florula an den *Felsen der Nordseite* unmittelbar unter dem Grat und in den sich hier der ganzen Länge des Berges entlang ziehenden oberen Bergwald angesiedelt. Der Boden ist reicher an Humus, der Schnee bleibt länger liegen, das Gehölz gewährt der Unterflora, wie auch den an den Felsen angesiedelten Pflanzen einigen Schutz gegen die starke austrocknende Insolation. Das Gestein ist zudem stellenweise mit einem zusammenhängenden Rasen von Sesleria coerulea bedeckt. Hier, an den nackten Felsen, zum Teil auch im Sesleriarasen oder im Unterholz des Bergwaldes finden wir den grössten Teil der „Alpenpflanzen" des Lägerngebietes. Es sind Arabis alpina, Saxifraga aizoon (vereinzelt auch noch an den Felsen der Südseite), Rumex scutatus (nur bei Baden), Valeriana montana (gegen die Kantonsgrenze in der Nähe des Burghorn); im angrenzenden Bergwald stehen Rosa alpina, Ribes alpinum, letztere jedoch nur in der Umgebung der Burgruine Alt-Lägern; massenhaft endlich Adenostyles alpina. Diese sieben Arten wagen sich nur ganz vereinzelt bis auf den Grat oder sogar bis in den Wald der Südseite und zwar jeweilen nur da, wo der Wald höher und der Boden durch dichteres Unterholz gegen die starke Besonnung besser geschützt ist.

Zwei Arten: Coeloglossum viride und Botrychium lunaria, gehören hauptsächlich den feuchten Bergwiesen der Nordseite, von 600—750 m an. Die letzten drei Arten endlich: Alnus viridis, Rhododendron ferrugineum und Gentiana verna haben an der eigentlichen Lägern gar keine Standorte. Ihr Vorkommen beschränkt sich auf einzelne zum Teil weit auseinander liegende Stationen der Vorhügelzone und der umgebenden Talschaften. *Alnus viridis* hat an den Molassevorbergen südlich der Lägern drei Stationen, alle drei liegen in nördlicher

Exposition: Bietschären, an der Ostseite des Pfaffenbühl bei Würenlos; Kellenberg bei Otelfingen und am Schwenkelberg ob Dielsdorf. Weitere Standorte sind: Bachsertal, Schneisingen, Weiacherberg; alle nördlich vom Wehntal. *Rhododendron ferrugineum* ist auf einen einzigen Standort im Rüterenwald bei Schneisingen beschränkt; derselbe liegt eigentlich schon ausserhalb unseres Gebietes und *Gentiana verna* findet sich in mehreren Stationen in den Sumpfwiesen vom Furttal, zwischen Adlikon und Buchs und bei den Heidenlöchern, auf der Südseite des Schwenkelbergs.

III.

Allgemeine Verbreitungsverhältnisse der einzelnen Arten mit besonderer Berücksichtigung der Nachbargebiete.

Wenn wir nach der Herkunft dieser alpinen Florula der Lägern fragen, so sind zwei Möglichkeiten in Erwägung zu ziehen: Handelt es sich um:

a) Ausstrahlungen der jurassischen Flora oder um

b) Wirkliche Glazialrelikte, d. h. um Pflanzen, welche beim Rückzug der letzten Vergletscherung dem Eise nicht genügend rasch gefolgt, von der Rückzugslinie und damit von ihrem jetzigen Hauptareal abgeschnitten wurden, sich nun bis in unsere Zeit, an einzelnen isolierten Stationen als Zeugen der Glazialperiode erhalten haben.

Eine eingehendere Darstellung der allgemeinen Verbreitungsverhältnisse der 14 in Frage kommenden Arten würde über den Rahmen dieser kleinen vorläufigen Mitteilung hinausgehen, es kann sich hier nur darum handeln, das Hauptresultat festzustellen. Auf Grund der vorhandenen Literatur und eines sorgfältigen Vergleichs der Verbreitungsverhältnisse, komme ich nun zu folgendem Ergebnis:

1. *Die Hauptmasse der alpinen Florula der Lägern ist unbedingt auf jurassische Einwanderung zurückzuführen.* Als sicher jurassisch sind anzusprechen:

Ribes alpinum	Adenostyles alpina
Rosa alpina	Thesium alpinum
Arabis alpina	Rumex scutatus
Saxifraga aizoon	Coeloglossum viride
Valeriana montana	Botrychium lunaria;

denn diese zehn Arten sind im Jura verbreitet und besitzen durch den ganzen nördlichen Faltenjura von Solothurn, Basel und Aargau zahlreiche Standorte, sodass noch heute die vollständige Kontinuität mit der jurassischen Flora vorhanden ist. In Bezug auf Gentiana verna möchte ich mich vorläufig eines abschliessenden Urteils enthalten. Die Pflanze verhält sich einerseits wie die vorhergehenden, anderseits aber besitzt sie zahlreiche zerstreute Stationen im Glazialgelände des schweizerischen Mittellandes, ein Verhalten, das entschieden zur Vorsicht mahnt und den Gedanken an einen Relikt weckt.

2. *Nach ihrem Vorkommen, wie auch nach ihren pflanzengeographischen Beziehungen sind dagegen wohl als Glazialrelikte zu deuten:*

Rhododendron ferrugineum Alnus viridis
Arctostaphylos uva ursi.

Die ersten beiden Arten gehören den Moränenlandschaften der die Lägern umgebenden Gelände an. In Bezug auf die Beurteilung der *Alpenrosenkolonie* von Schneisingen verweise ich nur auf C. Schröters Pflanzenleben der Alpen (1904), woselbst auf Seite 120 die Frage eingehend erörtert wird.

Die *Grünerle* fehlt dem eigentlichen Jura ganz, dagegen besitzt sie zahlreiche zerstreute Standorte im Mittel-

land, die vom alpinen Hauptareal losgelöst sind. Da dieselben auf glazialen Bildungen stocken und fast stets in schattigen, feuchten, nach Norden gerichteten und auch im Sommer verhältnismässig kühlen Orten anzutreffen sind, so sind wir wohl berechtigt, sie als Glazialrelikte aufzufassen, umsomehr als die Lage dieser Standorte eine rezente Einwanderung durch Wassertransport ausschliesst. Dr. O. Nägeli ist zu ähnlichen Ergebnissen für das Vorkommen der Alpenerle in der Flora Nord-Zürichs gekommen. Was endlich die *Bärentraube* anbetrifft, so findet sich dieselbe im südlichen Jura ziemlich häufig; die nächsten jurassischen Standorte liegen aber am Weissenstein und an der Ravellenfluh, bis zur Lägern ist dies immerhin ein Sprung von beinahe 50 km, die nächsten östlichen Fundorte sind am Irchel und Stammheimerberg; dem Zürcher Oberland fehlt die Pflanze und selbst in den St. Galler und Appenzeller Alpen ist sie nicht häufig.

IV. Giebt es in der Fauna der Lägern analoge alpine Kolonien, und wie sind dieselben zu deuten?

Zunächst muss auch hier betont werden, dass die Lägern vielmehr durch zahlreiche xerothermische Tiere, als durch alpine Faunenelemente ausgezeichnet ist. An alpinen Ursprung könnte man etwa beim *Apollo,* bei *Carabus auronitens* und endlich bei einer *Chrysomelide* denken. *Prof. Dr. O. Stoll* schrieb mir unter dem 13. April 1903: „Der Apollo ist sicher über den Jura gekommen, er fliegt auch noch auf den Höhgauvulkanen, während er z. B. Albis und Uetliberg völlig fehlt.“ Da er ein schlechter Fliegner ist, ist dagegen eine direkte Einwanderung aus den Alpen heute ausgeschlossen. Carabus auronitens wird seit O. Heer als Glazialrelikt betrachtet; er kommt auf den Bergen des Mittellandes, in den tieferen Alpen-

gegenden, im Jura etc. vor, und sein Verbreitungsareal reicht von den Pyrenäen bis ins Banat; er bewohnt auch das deutsche Mittelgebirge bis in die Ardennen. Was soll man aber mit solchen Formen machen? Sind sie Relikte? oder handelt es sich bei ihrem sporadischen Vorkommen in der Ebene um künstlich durch die menschliche Wald- und Feldkultur geschaffene, aus früher allgemeinerer Verbreitung herauspräparierten Verbreitungsinseln. Und Carabus auronitens ist, weil eine auffallende Form, noch relativ durchsichtig; viel schwieriger liegt die Sache bei den kleineren, unscheinbaren Tieren. Hier muss jeder einzelne Fall geprüft werden. Aehnlich äusserten sich auch auf meine Anfragen Prof. Dr. C. Keller und Prof. Standfuss.

Pflanzen- und Tiergeographie führen also zum gleichen Ergebnis: *Die Hauptmasse der sog. alpinen Elemente der Lägern ist entschieden jurassischen Ursprungs;* die wenigen, als Glazialrelikte anzusprechenden Formen sind fast ausschliesslich auf die die Lägern im Glazialgelände umgebenden Vorhügel beschränkt.

Die Alpenpflanzen des Zürcheroberlandes.

Von GUSTAV HEGI.

Vor einigen Jahren veröffentlichte ich als Frucht eines mehrjährigen Studiums im Bulletin de l'Herbier Boissier eine floristische und pflanzengeographische Studie meiner frühern Heimat, des Zürcheroberlandes*). Besondere Aufmerksamkeit widmete ich darin den zahlreichen alpinen Vertretern, welche schon seit vielen Jahren — schon zur Zeit Heers und Köllikers — das Interesse der Botaniker in Anspruch genommen haben. Meine Untersuchungen über die Herkunft, Einwanderung und Verbreitung dieser alpinen Pflanzen — ich nannte sie kurzweg Glazialpflanzen — führten mich damals zu den folgenden Schlüssen:

„Während der Diluvialzeit ist unser Gebiet (oberes Tösstal und angrenzende Gebiete der Kantone St. Gallen und Thurgau) in seinem südlichen und mittleren Teile von einer arktisch-alpinen Flora besiedelt worden. Die Einwanderung erfolgte von Süden her, von der Churfirsten-Speergruppe. Nur in jenen Gebieten hat sich die Glazialflora bis heute erhalten, welche niemals vom Gletschereise überdeckt waren. Nach Norden und Westen (Hörnli und südliche Bachtelkette) hin ist im Gebiete eine starke Abnahme, sowohl in der Arten- als auch in der

*) *Hegi, Gustav.* Das obere Tösstal und die angrenzenden Gebiete floristisch und pflanzengeographisch dargestellt. Mitteilungen aus dem botanischen Museum der Universität Zürich. Genève 1902.

Individuenzahl zu konstatieren. Die ursprüngliche Grenzlinie zwischen Eismantel und unvergletschertem Areal haben nur wenige Exemplare überschritten und zwar zeigen dann die Standortsverhältnisse, dass eine sekundäre Besiedelung durch Uebertragung von Samen durch das fliessende Wasser oder durch den Luftstrom möglich war. Nicht alle, auf den ersten Blick als alpine Typen erscheinenden Pflanzen, sind kurzweg als Glazialpflanzen anzusprechen. Eine Expansion der Glazialpflanzen in der Jetztzeit erfolgt nicht.“

Gegen diese Ergebnisse hat Herr Dr. med. *Otto Nägeli* im letzten, achten Jahresbericht (1901—1903) der zürcherischen botanischen Gesellschaft verschiedene Einwände erhoben. Auch eine Bemerkung von Herrn Professor *Schröter* in seinem neuesten prächtigen Werke „Das Pflanzenleben der Alpen“ (pag. 120) veranlasst mich, in dieser Frage nochmals das Wort zu ergreifen.

Zunächst sei mir gestattet, zur Einleitung einige wenige orientierende Erklärungen voranzuschicken. Das für die alpinen Pflanzen in Betracht kommende Gebiet erstreckt sich von der Einsattelung des Rickenpasses über die bis 1300 m ansteigenden Höhen der Toggenburger Berge „Tweralp und Kreuzegg“ zur zürcherischen Schnebelhorngruppe. Weiter umfasst das untersuchte Gebiet die Hörnlikette nördlich bis zur Hörnligruppe und die Bachtelkette bis etwas südlich von Bauma. Die ganz beträchtlichen Bergstöcke bestehen fast durchwegs aus bunter miocaener Nagelfluh. Nur in untergeordneter Weise erscheinen daneben noch Sandsteine, Mergel, Süsswasserkalke und geringe Kohleneinschlüsse, sowie Ablagerungen aus der Gletscherzeit (doch zum grössten Teil nur erratische Blöcke), welche von dem Säntisgletscher einerseits und dem Linthgletscher in Ver-

einigung mit dem Wallenseearm des Rheingletschers anderseits herstammen. Durch genaue Feststellung der erratischen Blöcke, besonders in vertikaler Richtung, kam ich zu dem Resultate, dass diese letztern eine gewisse Höhenzone niemals überschreiten, oder mit andern Worten, dass verschiedene Berggipfel und ganze zusammenhängende Bergrücken niemals vom diluvialen Gletschereise überdacht worden sind, sondern inselartig — Nunatakker nennen sie viele Geologen — aus dem Gletschermantel herausragten. Die angenommene obere Grenze des Gletschereises, die natürlich nicht unbedingt überall die gleiche sein musste, verlief im südlichen Teil des Gebietes bei zirka 1000 m, im nördlichen und westlichen (im Gebiete des Bachtel, Allmann und des Hörnli) entsprechend der grösseren Oberflächenausdehnung des Gletschereises beim Ausbruche aus den Alpentälern (Linthebene) ungefähr bei 970 m, während die höchsten Kuppen des Zürcheroberlandes gegenwärtig bis gegen 1300 m ansteigen. Allerdings wissen wir noch nicht genau, welcher von den vier Glazialzeiten diese Erratiker angehören. Wir werden aber wohl am richtigsten gehen, wenn wir die obersten erratischen Blöcke der grössten, mit ihren Ablagerungen auch in horizontaler Richtung am weitesten nach Norden reichenden *Riss*glazialzeit zusprechen. (Die Rissglazialzeit entspricht nach den frühern Anschauungen der zweiten Gletscherzeit.)

Analoge Erscheinungen erwähnt auch *Penck* in dem bekannten Werke von *Penck* und *Brückner,* die „Alpen im Eiszeitalter", aus dem Allgäu und aus dem Appenzellerlande, wo ebenso einzelne Molassekuppen mutmasslich immer eisfrei geblieben sind. Darauf hin deutet auch die charakteristische Gestalt dieser Berggipfel gegenüber den plumpen, ungegliederten Rücken oder zuge-

rundeten Plateaus der vom Eise einst bedeckten Molassegebieten.

Fragen wir uns nun weiter, wie sich die *Schneegrenze* in der letzten Eiszeit (Würmvergletscherung) verhalten hat! Für den Sihlgletscher wird dieselbe für die Zeit, wo er seine Endmoräne bei Einsiedeln aufbaute, bei zirka 1320 m angegeben, also zirka 1130 m tiefer als die heutige Schneegrenze verläuft. Penck und Brückner geben allerdings im allgemeinen die Schneegrenze für die Würmeiszeit bei 1240 m an, doch lassen sie dieselbe schon bei der letzten Rückzugsmoräne der Würmeiszeit auf 1320 m ansteigen. Für die nächstfolgende Zeit der Aachenschwankung, in welche Periode die Bildung der Uznacher Schieferkohlen fällt, wird die Schneegrenze wiederum um 100 bis 150 m höher angegeben, verläuft also zwischen 1400 und 1450 m. Später, in den nachfolgenden postglazialen Gletschervorstössen, im Bühl-, Gschnitz- und Daunstadium, steigt die Schneegrenze stetig, bis sie schliesslich nur noch 300 m unter der heutigen Schneegrenze zurückbleibt. Soviel dürfen wir wohl mit Bestimmtheit annehmen, dass gegen den Schluss der letzten Vergletscherung (Würmeiszeit) und auch nachher die Berggipfel des Zürcheroberlandes sowohl *eisfrei* wie *schneefrei* gewesen sind und so also gewiss auch im Stande waren, eine arktisch-alpine Flora zu beherbergen. Vergessen dürfen wir dabei auch nicht, dass wir die obere Höhengrenze des diluvialen Eismantels wohl für die grösste Vergletscherung, für die Risseiszeit, anzunehmen haben. Während der Würmeiszeit und in den darauf folgenden Vorstössen dürfte deshalb der Eismantel, wie dies auch aus dem Steigen der Schneegrenze hervorgeht, lange nicht mehr diese Höhenzone (1000—970 m) erreicht haben, so dass dann gegen

den Schluss der Würmeiszeit die Festlandsinseln im Eismeere an Mächtigkeit zunehmen konnten. — Ob sich nun auf diesen glazialen Inseln, die sich stellenweise sicher 300 m *über* dem höchsten Stande des Eises befanden und zudem *unter* der Schneegrenze lagen, eine Florula entwickeln und erhalten konnte, soll kurz diskutiert werden.

Verschiedene Beobachtungen von mit Vegetation besetzten Felseninseln im Bereiche der Alpengletscher, der Nunatakker auf Grönland u. s. w. scheinen allerdings dafürzusprechen. Vergessen dürfen wir dabei aber nicht den grossen Unterschied zwischen Einzelgletscher und grossem Inlandeise. Wichtig ist allerdings, dass man auf den Moränen des Eliasgletschers in Alaska sogar eine Waldvegetation entwickelt vorgefunden hat. Bekannt ist ferner auch, dass gegenwärtig in der Nähe unserer Alpengletscher, wo die mittlere Jahrestemperatur gewiss nicht viel höher anzusetzen ist als in den eisfreien Gebieten des Zürcheroberlandes gegen den Schluss der letzten Eiszeit eine reiche Alpenflora entwickelt ist, welche aber nicht etwa aus nivalen Arten zusammengesetzt ist, sondern allgemein verbreitete alpine Matten- und Felsenpflanzen, zum Teil sogar montane Typen und vereinzelte Vertreter der Ebenenflora zu sich zählt. So beobachtete ich wenige hundert Meter unterhalb des Fornogletschers im Oberengadin bei Piancanino in zirka 2000 m Höhe, welche Stelle meistens von einem frischen, kühlen Winde durchzogen wird, die folgenden Arten: Juniperus nana, Avena Scheuchzeri, Deschampsia caespitosa und flexuosa. Phleum alpinum, Carex sempervirens, Veratrum album, Salix Helvetica, Chenopodium bonus Henricus, Rumex scutatus, Alnus viridis, Trollius Europaeus, Aconitum lycoctonum und napellus, Silene inflata,

Biscutella laevigata, Sempervivum montanum, Parnassia palustris, Saxifraga rotundifolia und aizoides, Rosa alpina, Trifolium alpinum, Phaca alpina, Geranium silvaticum, Empetrum nigrum, Astrantia minor, Laserpitium panax, Chaerophyllum Villarsii, Vaccinium uliginosum, Rhododendron ferrugineum, Gentiana lutea, punctata und compacta, Thymus serpyllum, Lonicera alpigena, Campanula Scheuchzeri, Adenostyles albifrons, Homogyne alpina, Achillea millefolium und moschata, Arnica montana, Senecio doronicum, Solidago alpestris, Leucanthemum alpinum, Antennaria dioica, Crepis blattarioides, Leontodon autumnalis, Cirsium spinosissimum u. s. w. Einer ähnlichen Flora begegnete ich zum Teil neben, zum Teil wenig unterhalb des prächtigen „mer de glace“ im Chamounix; es fanden sich nämlich daselbst vor: Agrostis rupestris, Deschampsia caespitosa, Dianthus silvestris, Silene rupestris, Saponaria ocymoides, Potentilla grandiflora, Lotus corniculatus, Anthyllis vulneraria, Saxifraga aspera und aizoides, Laserpitium panax, Chaerophyllum Villarsii, Astrantia minor, Epilobium Fleischeri, Rhododendron ferrugineum, Gentiana purpurea und campestris f. Islandica, Campanula barbata und Scheuchzeri, Leontodon hispidus, Crepis aurea, Hieracium staticefolium und intubaceum u. s. w. Besonders hervorheben möchte ich noch, dass auch bei „chapeau“ bei zirka 1800 m das xerotherme Stachys recta festgestellt wurde. Es darf deshalb wohl angenommen werden, dass gegen den Ausgang der letzten Vergletscherung (Würmeiszeit) die klimatischen Verhältnisse auf den Kuppen des Zürcheroberlandes derartig waren, dass sie eine alpine Flora aufkommen lassen konnten, vielleicht eine *Zwergstrauch*vegetation, gebildet von verschiedenen Salixarten (Salix retusa, reticulata, Waldsteiniana), eine *Felsen*vegetation,

zusammengesetzt etwa aus Carex sempervirens, firma und ferruginea, Kernera saxatilis, Potentilla caulescens, Alchimilla alpina, Dryas octopetala, Sedum atratum, Saxifraga aizoides und aizoon, Rhododendron hirsutum, Primula auricula, Veronica fruticans (= saxatilis), Globularia cordifolia, Hieracium villosum u. s. w. oder schliesslich eine alpine *Matten*flora mit Selaginella selaginoides, Poa alpina, Crocus vernus, Nigritella, Gymnadenia albida, Ranunculus montanus, Potentilla aurea, Sieversia montana, Soldanella alpina, Gentiana vulgaris und latifolia, Bartschia alpina, Globularia nudicaulis, Crepis aurea usw. Es sind dies sämtlich Arten, welche noch heute zum Teil bestandbildend, zum Teil mehr vereinzelt auf den Höhen des Zürcheroberlandes vorkommen.

Kurz hervorheben möchte ich noch, dass auch *Gradmann* *) die zahlreichen Felsen- und Mattenpflanzen der schwäbischen Alb, welche ebenfalls formationsbildend auftreten — ich erinnere an die Felsenpflanzen Cystopteris montana, Draba aizoides, Kernera saxatilis, Saxifraga aizoon, Athamanta Cretensis, Androsaces lacteum, Campanula pusilla und Hieracium Jacquini, sowie an die Mattenpflanzen Orchis globosus, Polygonum viviparum, Ranunculus montanus, Anemone narcissiflora und Pedicularis foliosa — als glaziale Reliktpflanzen auffasst und deren Einwanderung in die letzte Glazialzeit verlegt, wobei vor allem die *Abwesenheit* des Waldes diesen alpinen Pflanzen das Fortkommen erleichtert haben soll. Gradmann ist überhaupt der Ansicht, dass das beinahe gänzliche Fehlen von Alpenpflanzen im fränkischen Jura und die auffallende Armut im nördlichen Teile des

*) *Gradmann,* Rob. Das Pflanzenleben der schwäbischen Alb. Tübingen 1900. Bd. I, p. 270.

Schwarzwaldes auf Rechnung des Waldes während der letzten Eiszeit zu setzen sei.

In meiner frühern Arbeit über die Flora des Zürcheroberlandes habe ich weiter nachzuweisen gesucht, dass die Alpenpflanzen aus der Churfirsten-Speergruppe über die nördlichen Ausläufer des Speers und die Einsattelung des Rickens eingewandert sind, da sämtliche alpine Arten des oberen Tössgebietes in dieser Kette — und zwar in reichlicher Verbreitung — vorhanden sind. Nebenbei möge noch bemerkt werden, dass in beiden Gebieten die kalkliebenden Spezies bei weitem überwiegen. Im Sinne von Herrn Prof. *Schröter* wären daher die Alpenpflanzen des Zürcheroberlandes als „zentrifugale glaziale Reliktvorposten" aufzufassen.

Ferner habe ich hervorgehoben, dass das Verbreitungsgebiet der Glazialpflanzen im Zürcheroberlande mit den nicht vergletscherten, schneefreien Gebieten sich ziemlich genau deckt, was Dr. Nägeli direkt in Abrede zu stellen sucht. Es ist nicht unmöglich, dass daran zum Teil verschiedene mehr subalpine Arten Schuld sind, die ihre Hauptverbreitung innerhalb des Koniferengürtels haben und die ich wegen der Identität ihrer Verbreitungsareale im Zürcheroberlande mit der eisfreien Zone unrichtigerweise den übrigen, echt alpinen Spezies gleichstellte. Durch genaue Feststellung der Verbreitung dieser subalpinen Arten und durch zahlreiche eigene Beobachtungen in den Alpengebieten von Bayern und Tirol, im Böhmerwald, Harz u. s. w. bin ich aber zu der Einsicht gekommen, dass diese mehr montanen oder subalpinen Arten besser von den alpinen getrennt werden. Es zählen dazu: Scolopendrium vulgare Sm., Asplenum viride Huds., Botrychium lunaria Sw., Lycopodium selago L. und L. annotium L., Nardus stricta L., Veratrum album L. Polygonatum verti-

cillatum All., Aconitum napellus L., Lunaria rediviva L., Ribes alpinum L., Geranium silvaticum L., Circaea alpina L. u. s. w. Nach Abzug dieser Arten bleibt uns immerhin eine beträchtliche Zahl von typischen alpinen Spezies (zirka 65) übrig, die in der *Hauptmasse, vor allem auch in der Individuenzahl,* über der angenommenen oberen Grenze des Eisgürtels liegen. Dass sekundär durch das fliessende Wasser oder durch den Wind verschiedene Individuengruppen in die Täler hinabgelangen konnten, habe ich bereits früher hervorgehoben. Niemals aber beträgt die Entfernung von dem eisfreien Areale mehr als einige Kilometer und immer werden dann nur vereinzelte Exemplare angetroffen.

Gegen die Identität der eisfreien Zone mit dem heutigen Verbreitungsareale der Alpenpflanzen spricht nach Nägeli das Vorkommen verschiedener Arten am Batzberg bei Wald und am Bachtel. Der erstere ist vereist gewesen, so dass es sich also hier um Neuansiedelungen handeln muss, während am Bachtel die allerdings (gegenüber der Kreuzegg- und Schnebelhorngruppe) nur spärlich vertretenen und sporadisch — nicht in Formationen — erscheinenden Spezies heute meistens unter der angenommenen oberen Grenze des Gletschereises liegen.

Was zunächst den Batzberg anbetrifft, so kommen nach Abzug der drei mehr subalpinen Arten (Scolopendrium, Lycopodium annotinum und Veratrum album) nur noch 5 alpine Arten in Betracht, von denen Sedum atratum und Globularia nudicaulis nur aus dem Herbarium bekannt sind, während Hieracium aurantiacum nur einmal aufgefunden wurde und meines Erachtens nicht gänzlich ausser dem Verdachte von zufälliger Verschleppung steht. Erica carnea ist keine eigentliche

Alpenpflanze in pflanzengeographischem Sinne und wird neuerdings mit Berechtigung dem xerothermen Florenelemente zugesprochen. Die Standorte der beiden noch übrig bleibenden Arten (Saxifraga rotundifolia und Adenostyles alpina) sind mir nicht näher bekannt; eine sekundäre Einwanderung wird aber sehr nahe liegen. — Auf die wenigen Arten, die am Bachtel auftreten, dürfen wir jedenfalls nicht allzu hohes Gewicht legen. Einerseits sind die am höchsten gelegenen Erratiker wohl der dritten, grössten Gletscherzeit (Risseiszeit) zuzuschreiben, während andrerseits auch nicht gänzlich ausgeschlossen ist, dass die alpinen Pflanzen einst im eisfreien Areale des Bachtel eine grössere Verbreitung als gegenwärtig besessen haben können.

Herr Dr. Nägeli ist ferner der Ansicht, dass die Bestandteile im Pflanzenteppich der Zürcheroberländerberge aus der Zeit der „Rückwanderung“ der Gletscher stammen, dass ausserdem Neuansiedelung in relativ neuerer Zeit viel an Wahrscheinlichkeit habe. Gegen diese Ansichten sei es mir gestattet, einige Bemerkungen zu machen.

Gegen die Einwanderung zur Zeit der Rückwanderung der Gletscher (wohl am Schlusse der Würmeiszeit) spricht meines Erachtens vor allem die *heutige Verteilung* der alpinen Pflanzen. Diese nehmen nämlich successive von Süden, von der Tweralp-Kreuzegggruppe, die der Churfirstengruppe am nächsten liegt, nach Norden bis zum Hörnli und nach Westen bis zur Allmannkette an Arten- und Individuenzahl ab. Trotzdem das st. gall. Kreuzegggebiet noch lange nicht so genau durchforscht ist wie die Zürcheroberländerberge, so sind doch eine Reihe von Alpinen bekannt, welche nur diesem Gebiete zukommen und weiter nördlich davon, schon in der Schnebelhorn-

gruppe gänzlich fehlen, so z. B. Crocus vernus, Salix Waldsteiniana und reticulata, Sieversia montana, Sorbus chamaemespilus, Veronica aphylla und fruticulosa und Cirsium spinosissimum. Das spricht sicherlich für eine zentrifugale Einwanderung aus der Churfirsten-Speergruppe nach Norden. Würde der umgekehrte Weg eingeschlagen worden sein, wie dies wohl für zahlreiche heute auf der bayerischen Hochebene südlich von München vorkommenden Alpenpflanzen, sowie für solche in der Moränenlandschaft der nordöstlichen Schweiz zutrifft, so müsste die Zahl der Alpinen im Gebiete des Bachtel und des Hörnli nicht so verschwindend klein sein. Auch wäre uns gar nicht verständlich, warum die Höhenzüge der Allmannkette nördlich von Bauma und der Hörnlikette nördlich von Sternenberg, sowie die Abhänge dieser beiden Ketten und die Talsohle der Töss, welche mit ihren Wiesenmooren, feuchten Waldschluchten, Bachalluvionen u. s. w. gewiss ebenso günstige Standorte für Alpenpflanzen darbieten wie die oberbayrische Hochebene, beim Rückzuge der Glazialflora so gänzlich vernachlässigt worden wären. Ueberhaupt ist die Zahl der glazialen Reliktpflanzen in der nordöstlichen schweizerischen Hochebene eine recht geringe. Man ist zwar immer gerne geneigt, dies auf Kosten von ungünstigen oder wenig geeigneten Standorten zu setzen. Warum sollen aber in der äusserst trockenen Garchingerheide bei München die Tausende von Exemplaren von Gentiana acaulis, Carex sempervirens, Selaginella Helvetica etc. im Vereine mit verschiedenen typisch pontischen, zum Teil äusserst xerophytisch gebauten Vertretern, wie Carex humilis, Adonis vernalis, Anemone patens und pulsatilla, Potentilla cinerea und rupestris, Rhamnus saxatilis, Linum tenuifolium, Veronica spicata, Scabiosa canescens, Scorzonera pur-

purea etc. besser gedeihen können als etwa auf den Wiesenmooren von Nordzürich oder des Kantons Thurgau.

Dr. Nägeli ist ferner der Ansicht, dass Neuansiedler stark ins Gewicht fallen. Er stützt sich dabei auf einige wenige Vorkommnisse von Alpenpflanzen, die erst in neuerer Zeit zum ersten Male beobachtet worden sein sollen. So hat Herr Lehrer Benz einmal am Batzberg bei Wald in drei Exemplaren Hieracium aurantiacum gesammelt, dessen Samen der Wind aus den Alpen hergeweht haben soll. Dem gegenüber sind mir aus der Literatur und aus eigener Beobachtung gegen 20 Fälle bekannt, wo diese Pflanze, welche sehr häufig in Gärten als Zierpflanze gezogen wird, als sicher verwildert und als Gartenflüchtling aufzufassen ist, da sie daselbst auf viele Meilen weit nirgends spontan vorkommt. Ob Hieracium aurantiacum allerdings im Zürcheroberlande oder in dessen Umgebung als Zierpflanze gehalten wird, ist mir nicht näher bekannt. Arabis alpina ist weiter ein sehr unbeständiger Gast. Man hat in botanischen Gärten (z. B. im Münchener Alpengarten auf dem Schachen) recht oft Gelegenheit, diese Art ähnlich wie Linaria alpina, Kernera saxatilis, Viscaria alpina, Senecio nebrodensis, Leontopodium alpinum u. s. w. ganz plötzlich an Stellen auftreten zu sehen, wo man sie zuvor noch nie beobachtet hatte. Es wäre also wohl auch denkbar, dass die wenigen Pflanzen auf der Egg bei Hinwil von andern in der Umgegend befindlichen, jedoch noch nicht bekannten Standorten herstammen könnten. Ich glaube nämlich, diese Art vor zirka 14 Jahren ebenfalls einmal auf der Hirzegg nördlich vom Schnebelhorn beobachtet zu haben. Trotz eifrigem Suchen in den folgenden Jahren konnte ich sie aber nie mehr auffinden.

Gegen recente Einwanderung spricht meiner Ansicht

nach das Vorkommen dieser Alpenpflanzen in *Formationen,* was auch Gradmann für die glazialen Reliktpflanzen der schwäbischen Alb ganz besonders hervorhebt. Die Alpenweiden der Kreuzegg sind in reichlichem Besitze einer alpinen Mattenflora. Im Frühjahr hat man Gelegenheit, diese Matten mit milchweissen Crocusblüten dicht bedeckt zu sehen, welche auf viele Tausende von Exemplaren schliessen lassen. An den gleichen Stellen erscheinen im Sommer in ähnlicher Reihenfolge wie auf den Weiden und Matten der Alpen Ranunculus montanus, Potentilla aurea, Trifolium badium u. s. w. Eine andere charakteristische Vegetation (Felsenflora) treffen wir am östlichen Abhange der Schindlenbergerhöhe. Die steile, steinige und feuchte Halde, wo der Schnee lange, oft bis gegen den Juni liegen bleibt, bringt uns Dryas octopetala, in Unmenge Ranunculus alpestris, Hieracium villosum, Salixretusa, Carex ferruginea, Rhododendron hirsutum, Primula auricula, Globularia cordifolia etc.

Würde überhaupt diesen alpinen Pflanzen, von denen viele, worauf bereits schon Heer hingewiesen hat, gar keine besondere Verbreitungsausrüstungen ihrer Früchte oder Samen besitzen (z. B. Crocus vernus, die Saxifragen, Primula auricula, Soldanella alpina, Gentiana vulgaris und latifolia), ein so grosses Expansions- und Migrationsvermögen, wie Nägeli annimmt, zukommen, so könnten wir gar nicht verstehen, warum nicht allmählich die Abhänge unter zirka 1000 m, sowie die Talsohle des obern Tösstales in den Besitz von alpinen Arten kommen sollten, zumal in diesen tiefer liegenden Gebieten (innerhalb der Gemeinden Fischenthal, Bauma, Wald, Goldingen etc.) ebenso günstige Standorte vorhanden sind wie in der höhern Zone. Niemals oder nur höchst selten sehen

wir aber diesen Fall eingetreten. Aus welchem Grunde hören ferner die Alpenpflanzen nördlich vom Hörnli fast urplötzlich auf, während die Höhen und tiefen Schluchten von Sternenberg, Sitzberg, Au u. s. w. sicherlich passende Standorte für sie in Menge bieten könnten? Auch müssten wir fast alljährlich neue vereinzelte Standorte von Alpinen konstatieren können. Wie mir aber durch mehrjährige genaue Beobachtung von einzelnen Standorten bekannt ist, ist bei verschiedenen Arten (z. B. Nigritella, Mulgedium) eine neuerdings erfolgte grössere Verbreitung nicht erfolgt. Im Gegenteil sind mir eine Reihe von Fällen bekannt, wo ohne menschlichen Einfluss im Laufe einiger Jahre Standorte verschwunden sind. — Auch die verschiedenen Sträucher, wie Alnus viridis, Rhododendron hirsutum und ferrugineum u. s. w. könnten wir uns doch kaum jemals als recente Einwanderer vorstellen. Interessant ist auch, dass Alnus viridis im Zürcheroberlande meistens auf der feuchteren Nordseite (Hirzegg, Dürrspitz) und nicht auf der den Alpen zugekehrten Südseite vorkommt.

Durch diese Ausführungen hoffe ich, den Nachweis erbracht zu haben, dass die Alpenpflanzen des Zürcheroberlandes und der angrenzenden Gebiete des Kantons St. Gallen ganz gut als Einwanderer gegen den Schluss der letzten Eiszeit betrachtet werden *können*. Die Einwanderung derselben erfolgte zentrifugal, von der Churfirsten-Speergruppe aus und ist sicherlich nicht dem Rückzuge der letzten Vergletscherung zuzuschreiben. Neuansiedler spielen jedenfalls keine sehr grosse Rolle und bedürfen vor allem noch weiterer Beobachtung.

Die Dunkellage der Chlorophyllkörner.

Von Dr. G. Senn, Privatdozent in Basel.

Dass die Chlorophyllkörner innerhalb der Pflanzenzelle nicht an einen festen Platz gebunden sind, wurde von *Böhm* (1856) entdeckt. Zugleich stellte er fest, dass die Verlagerungen derselben durch intensives Sonnenlicht und durch längere Verdunkelung hervorgerufen werden.

Nach zahlreichen Publikationen über dasselbe Thema erschien im Jahre 1880 *Stahls* schöne Arbeit, in welcher unter anderem ein deutlicher Unterschied zwischen der Dunkellage und der bei intensiver Belichtung angenommenen Chlorophyllkörnerverteilung konstatiert wurde. Stahl untersuchte hauptsächlich die Abhängigkeit der Lageveränderung von Richtung und Intensität der Lichtstrahlen.

Auch nach Stahl erschienen noch zahlreiche Arbeiten über dieses Thema. Unsere Kenntnisse wurden durch dieselben allerdings in mancher Hinsicht erweitert, aber nicht vertieft.

Besonders blieb die Ursache unaufgekärt, welche die Chlorophyllkörner veranlasst, im Dunkeln die im Licht

Anmerkung: Die Publikation dieses Vortrages, den ich am 1. August in der Sitzung der Schweiz. botan. Gesellschaft in Winterthur hielt, betrachte ich als vorläufige Mitteilung eines Teiles von Untersuchungen, die ich baldmöglichst in extenso zu veröffentlichen gedenke.

eingenommene Lage zu verlassen und sich an bestimmte andere Stellen der Zelle hinzubegeben, wobei ja eine richtende Wirkung des Lichtes völlig ausgeschlossen ist.

Herr Geh.-Rat Pfeffer machte mich auf diese und verwandte Fragen aufmerksam, und ich begann dieselben zu studieren.

Als günstigstes Objekt für die Feststellung der Ursache einer bestimmten Anordnung der Chlorophyllkörner im Dunkeln benützte ich die Blätter des Laubmooses *Funaria hygrometrica,* in dessen zu einer einzigen Schicht verbundenen Zellen die Chlorophyllkornverlagerung sich relativ rasch und leicht sichtbar vollzieht.

Dass auch bei Funaria die Anordnung der Chlorophyllkörner im Dunkeln mit derjenigen im intensiven Lichte nicht übereinstimmt, geht besonders deutlich aus dem Verhalten der Randzellen hervor. (Figur I, II, III.) Im Dunkeln wird die ganze freie Kante derselben von Chlorophyllkörnern entblösst, während sie bei Besonnung (in der Richtung senkrecht zur Blattfläche) von den Chlorophyllkörnern aufgesucht wird. Dieselben können dort den Sonnenstrahlen ebenso gut ihre Kante darbieten, wie an den mit dem Lichteinfall ebenfalls parallelen Fugenwänden.

Es ist auffallend, dass im Dunkeln nur diejenigen Wände von den Chlorophyllkörnern aufgesucht werden, welche an die Wände benachbarter Zellen stossen, die sog. *Fugenwände,* während die an Luft grenzenden freien *Aussenwände* verlassen werden.

Wie ich eben hervorgehoben habe, kommt dieser physiologisch-anatomische Unterschied bei direkter Besonnung nicht in Betracht.

Um die *Wirkungsweise der Fugenwände* herauszufinden, versuchte ich auf Anraten von Herrn Geh.-Rat

Pfeffer, eine Aussenwand künstlich in eine Fugenwand umzuwandeln.

Ich bewerkstelligte dies durch *Aufkleben abgeschnittener Funariablätter auf eben erstarrende 10 prozentige Gelatine.* Nach zweistündiger Verdunkelung waren alle Chlorophyllkörner von der freien Aussenwand auf die Fugenwände gerückt, die der Gelatine anliegenden waren jedoch liegen geblieben, gerade wie an einer natürlichen Fugenwand. (Figur IV.)

Bei Besonnung und längerer diffuser Belichtung solcher auf Gelatine aufgeklebter Blätter zeigt sich aber wieder ein auffallender Unterschied gegenüber der Dunkellage: die Chlorophyllkörner bleiben nicht an der Gelatineseite liegen, sondern verlassen dieselbe und gehen auf die Fugenwände und die noch freie Aussenwand über, was gerade bei Besonnung am wenigsten zu erwarten war. (Figur V.)

Worauf beruht nun dieser auffallende Unterschied in der Reaktion der Chlorophyllkörner aufgeklebter Blätter bei Verdunkelung und bei Belichtung? Es muss irgend eine spezifische Wirkung der Gelatine ausschlaggebend sein, die chemischer oder physikalischer Natur sein kann. In physikalischer Beziehung kommt möglicher Weise der Wassergehalt der Gelatine in Betracht. Entsprechende Versuche zeigten aber, dass das einseitige Anliegen an einen wasserhaltigen Körper nicht ausreicht, um eine solche Chloroplastenverteilung hervorzurufen.

Es musste also irgend eine chemische Wirkung im Spiele sein. Statt die Blätter der Wirkung der Gelatine auszusetzen, wurden sie einseitig von verschiedenen chemischen Körpern, zunächst von Gasen bespült.

Zu diesem Zwecke wandte ich folgende *Methode* an:

In dünne Glimmerplättchen von Deckglasgrösse wurden kleine Fensterchen geschnitten, die etwas kleiner waren als ein Funariablatt (zirka $^1/_2$ mm^2). Auf den Rand dieses Fensterchens brachte ich etwas zehnprozentige Gelatine und klebte ein Funariablatt über dasselbe und zwar so, dass die Zellen der Blattmitte beiderseits vollständig frei lagen und auch von Gelatine nicht überzogen waren. (Figur VI.) Es wurde dadurch möglich, beide Blattflächen, resp. Zellaussenseiten vollständig von einander zu isolieren und mit verschiedenen chemischen Stoffen zu behandeln, indem diese Glimmerplättchen mit Funariablättern zwischen zwei Glaskammern mit je zwei Zuleitungsröhren geklebt wurden. Durch letztere konnten je nach Bedarf verschiedene Gase oder Flüssigkeiten zugeführt werden, welche die Chlorophyllkörner der beiden Zellaussenwände vollständig gesondert beeinflussten. (Figur VII.)

Bei den ersten Versuchen experimentierte ich mit Wasserstoff, kohlensäurehaltiger und kohlensäurefreier Luft. Ich liess jeweilen die Gase zuerst bei diffuser Belichtung während $^1/_2$ bis 1 Stunde einwirken und vollzog dann einen Beleuchtungswechsel: Verdunkelung oder Besonnung. Nach 1 bis 2 Stunden hatte gut arbeitendes Material reagiert. Die Glimmerplättchen wurden dann herausgebrochen und in Jod-Jodkaliumlösung samt den Blättchen untersucht.

Bei der Einwirkung von Wasserstoff einer- und Luft anderseits erhielt ich keine klaren und konstanten Resultate.

Anders war es dagegen bei *kohlensäurehaltiger Luft* einer- und *kohlensäurefreier Luft* andrerseits. Ob ich in der beschriebenen Weise präparierte Blätter besonnte oder verdunkelte, immer blieben die Chlorophyllkörner

an der von der kohlensäurehaltigen Luft bespülten Seite auf der Aussenwand liegen, während sie von der kohlensäurefreien Seite auf die Fugenwände auswanderten. (Figur VIII.)

Dabei waren aber die in Folge der Kohlensäure-Wirkung auf der einen Aussenwand liegen bleibenden Chlorophyllkörner nicht etwa anästhesiert: Der Versuch gelang in derselben Weise, wenn er mit Blättern angestellt wurde, in denen die Chlorophyllkörner in Folge vorheriger Verdunkelung durchgehends auf den Fugenwänden lagen. Hier wanderten die Chlorophyllkörner nach der von Kohlensäure bespülten Aussenwand hinüber.

Das Gelingen dieser Versuche ist allerdings nur bei grosser Empfindlichkeit des Materiales, dann aber ausnahmslos zu erwarten.

Es wurde somit eine deutliche *Anziehung der Chlorophyllkörner durch die Kohlensäure konstatiert, eine positive Chemotaxis*, wie sie auch bei grünen Algenschwärmern von Frank (1904 Botan. Zeitung pag. 177) im Anschluss an meine Versuche nachgewiesen worden ist.

Verwerten wir diese Tatsache bei der Erklärung der *Wirkungsweise der Gelatine* auf die Chloroplastenverlagerung bei Funaria, so ergiebt sich, dass die Gelatine bei Belichtung wie ein an Kohlensäure armer, bei Verdunkelung wie ein an Kohlensäure reicher Körper wirkt.

Dass dies eine spezifische Eigenschaft der Gelatine sei, ist nicht anzunehmen, viel eher wird man zu der Vermutung veranlasst, dass die Funariablätter selbst an diesem auffallenden Verhalten der Gelatine schuld seien. Bei der assimilatorischen Tätigkeit der Blätter, die die Kohlensäure konsumiert, ist das Fortwandern der Chlorophyllkörner von der Gelatine im Lichte darauf zurück-

zuführen, dass der darin enthaltene Kohlensäurevorrat aufgezehrt und offenbar nicht ebenso rasch ersetzt wird.

Bei Verdunkelung wird im Gegenteil der Kohlensäuregehalt der Gelatine bei völligem Mangel der Assimilation durch die Atmung des Blattes erhöht: die Chlorophyllkörner bleiben auf der Gelatineseite liegen.

Dabei muss aber eine verschiedene Diffusionsgeschwindigkeit der Kohlensäure und des Sauerstoffs durch die Gelatine angenommen werden: die Kohlensäure muss langsamer durch die Gelatine diffundieren als der Sauerstoff. Die bei der Assimilation verbrauchte Kohlensäure wird daher nicht so rasch aus der Luft ersetzt, dass der Kohlensäuregehalt der Gelatine stets konstant bleibt, und die bei der Atmung ausgeschiedene Kohlensäure wird nicht ebenso rasch durch die Gelatine fortgeleitet, wie der zur Atmung nötige Sauerstoff zugeleitet wird.

So weit war ich in meinen Ueberlegungen gediehen, als ich eine Arbeit von *Aug. Hagenbach* (1898, Annalen der Physik und Chemie p. 673 ff.) über Diffusion von Gasen durch wasserhaltige Gelatine in die Hände bekam. Hagenbach hat auf physikalischem Wege nachgewiesen, dass der Sauerstoff 7 mal rascher durch 20 prozentige Gelatine diffundiere als die andern Gase, speziell auch als die Kohlensäure.

Was ich also auf Grund meiner Versuche mit Funaria schloss, war vorher auf physikalischem Wege nachgewiesen worden.

Die Vermutung lag nun nahe, dass die ganze Chloroplastenverlagerung auch bei *unaufgeklebten Blättern von Funaria* auf der positiven Chemotaxis der Chlorophyllkörner gegenüber Kohlensäure beruhe, dass sie somit durch *Selbstregulation* innerhalb der Zelle zustande komme.

Ich stellte mir den Vorgang folgendermassen vor: Im

Dunkeln kann die bei der Atmung gebildete Kohlensäure an den freien Aussenwänden rascher hinausdiffundieren als an den Fugenwänden. An letzteren findet sich daher ein grösseres Quantum von Kohlensäure, welches von den Chlorophyllkörnern aufgesucht, während die an Kohlensäure ärmere Aussenseite verlassen wird.

Im diffusen Lichte zehren die Chlorophyllkörner die bei der Atmung erzeugte Kohlensäure fortwährend auf, sie kann sich also in der Zelle nirgends anhäufen, während an die Aussenwände durch die Luftströmungen, wenn auch geringe, so doch stets neue Mengen von Kohlensäure herangeführt werden. Die Chlorophyllkörner wandern wieder der Stelle mit höherem Kohlensäuregehalt zu, treten somit auf die Aussenwände über. Im gleichen Sinne wirkt in diffusem Lichte die von Stahl festgegestellte transversale Phototaxis der Chlorophyllkörner, die den diffusen Lichtstrahlen ihre Breitseite zuzukehren bestrebt sind.

Bei Besonnung kommt unter normalen Verhältnissen die Chemotaxis bei Funaria nicht in Betracht: die Chloroplasten stellen sich parallel zum Strahleneinfall.

Die vorgetragene Theorie über das Zustandekommen der Dunkellage der Chlorophyllkörner infolge von positiver Chemotaxis gegenüber Kohlensäure wird aber durch einen einfachen Versuch über die *Wirkung der rotgelben Spektralhälfte* umgestossen. In derselben ist bekanntlich die Kohlensäureassimilation am stärksten, eine Kohlensäureanhäufung kann also an den Fugenwänden ebensowenig eintreten, als im weissen Lichte. Trotzdem wandern die Chloroplasten im Kaliumbichromat-Licht auf die Fugenwände hinüber.

Obwohl allerdings die Blätter in der freien Natur nie den rotgelben Strahlen allein exponiert werden, reicht

die positive Chemotaxis der Chlorophyllkörner der Kohlensäure gegenüber nicht aus, um die Dunkellage der Chloroplasten zu erklären.

Durch einen Zufall wurde ich auf die richtige Fährte geführt. Funariarasen, welche innerhalb zwei Stunden auf Verdunkelung reagierten, waren gegen Dunkelheit unempfindlich geworden, als ich sie mit 0,1 prozentiger *Knop'scher Nährlösung* begossen hatte.

Eine Schädigung der Blätter war ausgeschlossen; im Gegenteil sahen die Kulturen viel üppiger aus als die nur mit Wasser begossenen. Durch die reichliche Zufuhr waren aber die notwendigen Bodensalze im ganzen Zellsaftraum in relativ grosser Menge vorhanden, es existierte also keine genügende Differenz in der Menge der wirksamen Stoffe an den verschiedenen Stellen der Zelle, vielleicht war auch die Reizbarkeit der Chloroplasten durch die reichliche Zufuhr der reizenden Stoffe herabgesetzt.

Bei schwacher Zufuhr derselben werden sie dagegen im Zellsaftraum in sehr geringer Menge vorhanden sein, in grösster Menge noch an den Fugenwänden, durch die ja allein der Stofftransport geschieht.

Wenn daher eine chemotaktische Reizbarkeit der Chloroplasten durch die Bodensalze festgestellt werden kann, sind wir berechtigt, auf Grund der erwähnten Beobachtungen die Dunkellage der Chloroplasten auf positive Chemotaxis gewissen Bodensalzen und der Kohlensäure gegenüber zurückzuführen.

Eine solche chemotaktische Reizbarkeit habe ich mit Hilfe der eingangs beschriebenen Methode tatsächlich festgestellt. Statt dass ich durch die Glaskammern Gase durchsog oder durchpresste, liess ich vermittelst einer Hebervorrichtung einerseits eine Salzlösung, andrerseits

destilliertes Wasser vorbeifliessen, und zwar etwa 1 Liter pro Stunde.

Die chemische Untersuchung der vorbeigeflossenen, getrennt aufgefangenen Lösungen ergab, dass bei guter Versuchsanstellung die beiden Flüssigkeiten durch das auf dem Glimmerplättchen aufgeklebte Funariablatt vollständig getrennt wurden, eine Mischung der Flüssigkeiten und demzufolge eine Trübung der Versuchsresultate ausgeschlossen war.

Positive Chemotaxis zeigten die Chloroplasten gegenüber:

Knopscher Nährlösung 0,25—0,5 %

$MgSO_4$	0,25 und 0,45 %	sehr deutlich
Na_2SO_4	0,266 %	
H_2SO_4	0,005 %	
$NaHSO_4$	0,1125 %	
$KHSO_4$	0,1275 %	

Negativ chemotaktisch, abstossend wirkten:

KNO_3	0,25 %
$NaNO_3$	0,25 %
KH_2PO_4	0,25 %
H_3PO_4	0,05 %

Von organischen Stoffen habe ich erst folgende geprüft:
Rohrzucker 1,28 % ist indifferent,
Sauerkleesalz 0,12 % wirkt abstossend,
Aepfelsäure 0,025 und 0,0125 % wirkt anziehend. Sie ist bekanntlich der Stoff, welcher die Spermatozoiden der Farne in die Archegoniumöffnung hineinlockt.

Obwohl die Liste der untersuchten Substanzen noch klein ist, so geht doch daraus hervor, dass die Chloroplasten von Funaria durch gewisse Bodensalze, besonders Sulfate, chemotaktisch reizbar sind, wodurch die Dunkel-

lage der Chloroplasten an den Fugenwänden auch im roten Lichte erklärt wird, ebenso wie auch die Häufung der Chlorophyllkörner um den Kern, die *Systrophe,* welche bei zahlreichen einzelligen Pflanzen vorkommt. (*Striatella, Eremosphaera.)*

Dass die chemotaktisch reizbaren Chlorophyllkörner in der Dunkelheit gerade den Kern aufsuchen, ist bei seinem Gehalt an verschiedenen physiologisch wichtigen Stoffen nicht auffallend. Sobald die Wirkung des Lichtreizes, welcher die transversale Phototaxis hervorruft, aufhört, übt der (offenbar schwächere) chemotaktische Reiz des Kernes seine Wirkung aus.

Ausgesprochen chemotaktische Bewegungen der Chlorophyllkörner sind übrigens schon von *Nordhausen* (1899 Pringsh. Jahrbuch p. 44, Anm.) bei *Mnium*-Arten beobachtet worden. Liess er die Blätter allmählich durch *Botrytis cinerea* infizieren, so waren die Chloroplasten der Zelle, welche von einem Pilzfaden angegriffen wurde, in kurzer Zeit nach der von der Angriffsstelle des Pilzes abgelegenen Zellpartie weggewandert, offenbar chemotaktisch abgestossen von den vom Pilz ausgeschiedenen Giften.

Nach meinen Untersuchungen ist also die Dunkellage der Chlorophyllkörner durch eine ungleiche Verteilung der auf dieselben chemotaktisch wirksamen Stoffe zu erklären, während die Lage im Licht, sei es diffus oder intensiv, von Qualität, Intensität und Richtung der Strahlen abhängig ist.

Ueber die Frage, ob die Verlagerung der Chloroplasten nur passiv ist und durch das Plasma vollzogen wird oder ob sie auf einer aktiven Bewegung der Chlorophyllkörner innerhalb des sie einschliessenden Plasmas beruht, habe ich ebenfalls Versuche angestellt.

Ohne auf Einzelheiten einzugehen, kann ich schon jetzt mitteilen, dass die Bewegung in einem Kriechen an der äusseren, vielleicht auch inneren ruhenden Hautschicht des Plasmaschlauches besteht, und dass diese Kriechbewegung von der Plasmaströmung (Zirkulation) normaler Weise unabhängig ist, ja derselben häufig entgegenarbeitet.

Zahlreiche Beobachtungen deuten auch darauf hin, dass nicht das plasmatische Stroma der Chloroplasten selbst die Bewegung vollzieht, sondern dass es pseudopodienartig sich ausstreckende und kontrahierende Plasmastränge sind, welche die Chlorophyllkörner bewegen und welche aus der jeden Chloroplasten umhüllenden Plasmaschicht ausgestülpt werden können.

Die Plasmastränge sind an fixiertem und gefärbtem Materiale, oft aber auch in lebenden Zellen, z. B. bei Funaria sehr deutlich zu sehen.

Demnach führen die Chlorophyllkörner innerhalb der Pflanzenzelle ein sehr individuelles Leben, worauf schon *Schimper* (Bot. Zeitg. 1883, p. 112) hingewiesen hat. Ob seine Idee von der ursprünglich symbiontischen Natur der Chloroplasten durch meine Untersuchungen berührt, eventuell gestützt wird, diese Frage möchte ich vorläufig noch offen lassen.

Funaria Blattrand · Vergrösserung 340



Fig. I. Aus diffusem Licht

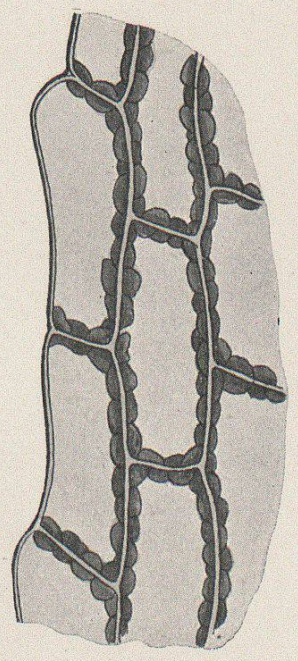


Fig. II. Verdunkelt

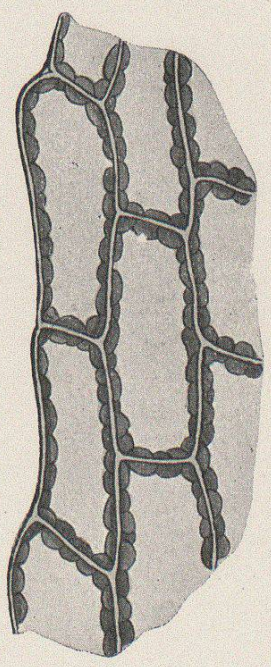


Fig. III. Besonnt

Funaria Blattrand im Querschnitt
auf 10prozentiger Gelatine aufgeklebt · Vergrösserung 340

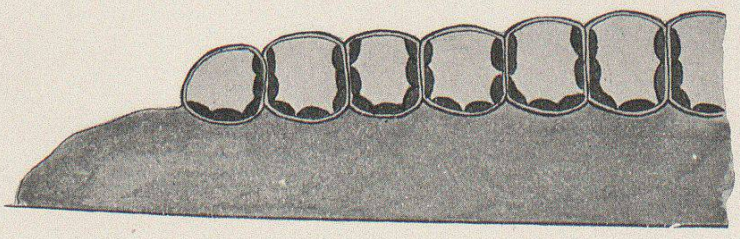


Fig. IV. Verdunkelt

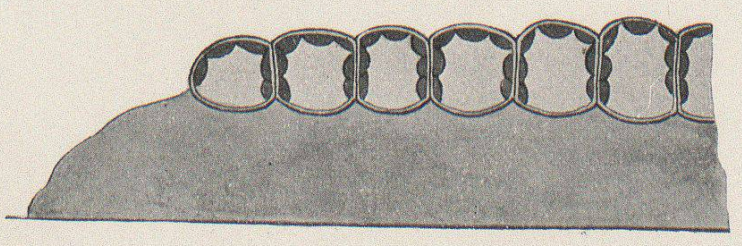


Fig. V. Längere Zeit belichtet, resp. besonnt

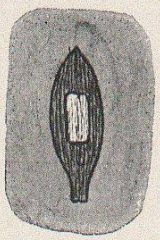


Fig. VI. Mittlerer Teil eines Glimmerplättchens
mit einem über das Fensterchen geklebten Funariablatt
zirka doppelte natürl. Grösse

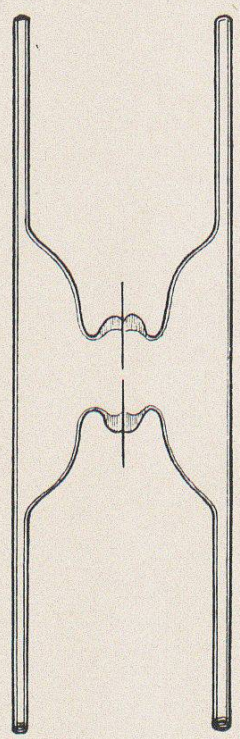


Fig. VII. 2 Glaskammern mit Zuleitungsröhrchen
dazwischen Glimmerplättchen mit Fenster. Optischer Längsschnitt $^2/_3$ der natürl. Grösse

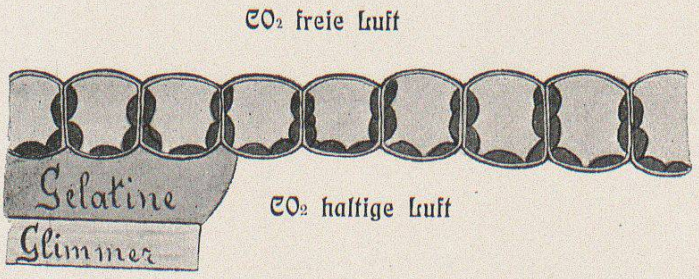


Fig. VIII.
Querschnitt durch ein Funariablatt
das über ein Glimmerfenster geklebt und auf der einen Seite mit CO_2 freier, auf der andern Seite mit CO_2 haltiger Luft bespühlt worden war · Vergrösserung 340