

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: 58 (1875)

Rubrik: Vorträge

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: 02.05.2026

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

B.

Vorträge.



Leere Seite
Blank page
Page vide

I.

Les travaux mécaniques pour le percement du Tunnel du Gothard.

Note communiquée par le professeur **D. Colladon**, Ingenieur-Conseil de l'Entreprise, à la Société Helvétique des Sciences Naturelles, réunie à Andermatt le 13 Septembre 1875.

§. I. Système adopté pour le percement.

Le tunnel du St. Gothard n'a de précédent comparable que le souterrain du Mont-Cenis, achevé en 1871, et celui de Hoosac aux Etats-Unis, terminé en 1874.

La galerie du Mont-Cenis, longue de 12,233 mètres, entreprise par d'éminents ingénieurs aux frais du Gouvernement sarde, et pour laquelle aucune dépense utile n'a été épargnée, a exigé *treize ans et demi* pour son achèvement.

Au Mont Hoosac, où la longueur totale est 7634 mètres, le progrès moyen, même dans les dernières années, a été inférieur à celui réalisé au Mont-Cenis.¹⁾

Le tunnel du St. Gothard, percé dans une roche plus dure et long de 14,920 mètres, s'exécute aux frais d'une Entreprise Suisse et, d'après les traités, il doit être complété en *huit* années, ou au maximum en *neuf* années.

En tenant compte de l'excès de longueur et du peu de temps accordé, ce percement devrait donc marcher deux fois plus vite que celui du Mont-Cenis.

Cette galerie du St. Gothard pourra-t-elle être achevée en huit ou neuf années? telle est la question capitale qui préoccupe à bon droit le monde industriel.

¹⁾ Pour le tunnel Hoosac, la dépense par mètre courant s'est élevée à plus de 6100 francs.

Cette question principale *du temps* se relie au mode d'exécution et à quelques principes techniques sur lesquels les ingénieurs sont loin d'être d'accord.

Un tunnel à double voie, comme celui du Fréjus, ou du Gothard, exige une excavation de 8 m. de largeur et 6 m. de hauteur, sans compter la place pour les maçonneries.

On n'attaque pas immédiatement cette grande section, mais seulement une petite galerie dite d'avancement, ou *de direction*, ayant environ 2 m. 40 de hauteur sur 2 m. 60 de largeur, laquelle doit toujours devancer d'environ 200 à 250 mètres les travaux d'agrandissement.

Cette petite galerie se perce au moyen de machines mues par l'air comprimé, lequel produit à la fois la puissance et l'aération, selon le procédé proposé dès 1852 pour le percement du Mont-Cenis par M. Colladon.

Les appareils perceurs nommés perforatrices, imaginés par Bartlett en 1855, modifiés et améliorés par le célèbre Sommeiller en 1857, se sont beaucoup multipliés et perfectionnés, et on compte aujourd'hui 20 ou 25 systèmes différents de ces appareils.

La petite galerie d'avancement, ou de *direction*, doit-elle être percée dans *le bas* ou dans *le haut* de la grande section? les deux méthodes ont leurs partisans plus ou moins exclusifs.

Le souterrain du Mont-Cenis a été commencé par le bas; le tunnel américain du Hoosac a été percé par les deux systèmes; M. Favre a préféré percer le souterrain du St. Gothard par le haut; en outre il emploie la perforation mécanique, soit pour avancer la galerie de direction, soit pour d'autres attaques à des étages inférieurs. La vitesse avec laquelle les travaux progressent démontre, à ce qu'il semble, la bonté de sa méthode.

On perce donc au Gothard une première galerie d'avancement large et haute d'environ deux mètres et demi, ou ayant une section de six à sept mètres carrés.

Comme le tunnel entier sera voûté, il faut excaver en plus la place des maçonneries, ensorte que la galerie d'avancement a son toit à 6 m. 50 ou 7 m. au-dessus de la base future des voies de fer.

On comprend que, dans un travail de percement avec emploi de poudre, ou de dynamite, les nombreux chantiers où la roche est excavée par explosion ne peuvent être trop rapprochés sous peine de perpétuels dangers pour les sous-ingénieurs et les ouvriers.

On excave donc par parties séparées et placées aux distances nécessaires pour la sécurité des hommes et des appareils.

Le fond de la galerie d'avancement s'appelle *front de taille*, ou *la tête*. A 200 ou 250 mètres en arrière du front de taille, on abat à droite et à gauche les segments où sera placée la voûte; ces deux attaques s'appellent les *abattages*.

A 200 ou 300 mètres en arrière des abattages, s'ouvre un fossé appelé *cunette du strosse* qui descend jusqu'au sol du tunnel, c'est à dire à un niveau inférieur de 4 ou 5 mètres au sol de la galerie d'avancement; sa largeur est environ 3 mètres.

En arrière de la tête de la cunette, on excave les parties latérales qui s'appellent *strosse*, et quand le strosse est excavé, on a la section entière ouverte et on achève les maçonneries.

Les abattages et la galerie d'avancement ont leur petit chemin de fer spécial; on établit une seconde voie de fer au sol de la cunette.

De nombreux wagons circulent incessamment sur ces chemins de fer, amenant des outils, des provisions, des matériaux, et emmenant les déblais pour les transporter à distance au dehors.

Un axiome incontesté jusqu' à ce jour, c'est que *plus la galerie d'avancement progresse vite, plus on pourra achever rapidement l'ensemble du tunnel*.

En effet, au front de taille, la roche encaissée de toutes parts résiste davantage à l'explosion, et surtout on ne peut accumuler là que peu de perforatrices et peu d'hommes, tandis, que pour élargir, on peut mettre plus de machines et incomparablement plus d'ouvriers.

Les progrès réalisés au front de taille par M. Favre et ses ingénieurs peuvent, sans aucune exagération, être taxés de *merveilleux*, surtout si on les compare à ce qui a été fait jusqu'ici dans des rochers de nature analogue.

Cet avancement progressera-t-il encore? on est bien en droit de le croire puisqu'au Mont-Cenis la marche progressive de la petite galerie a continué jusqu'à la fin. Pour les dernières années 1868, 1869, 1870, le front de taille avait avancé de 1320, 1431, 1635 mètres.

De ce dernier chiffre nous déduisons le nombre de 409 mètres comme étant, pour la galerie du Fréjus, l'avancement maximum pour *un trimestre* pendant les treize années du percement.

Au Mont-Hoosac (Massachusset) malgré l'emploi de la nitroglycérine et des perforatrices à action plus rapide que celles du Mont-Cenis, les avancements *trimestriels* des dernières années ont été pour l'ensemble des deux têtes additionnées: 207 mètres en 1870, 238 mètres en 1871, 237 mètres en 1872.

Voici maintenant les chiffres d'avancements des cinq derniers trimestres au Gothard:

	Göschenen	Airolo	Ensemble
	Mètres.	Mètres.	Mètres.
Du 1 ^r Juillet au 1 ^r Octobre 1874 . . .	321.60	174.10	495.70
Du 1 ^r Octobre 1874 au 1 ^r Janvier 1875	283.60	243.30	526.90
Du 1 ^r Janvier au 1 ^r Avril 1875 . . .	267.90	289.10	557.00
Du 1 ^r Avril au 1 ^r Juillet 1875 . . .	312.10	344.20	656.30
Du 1 ^r Juillet au 1 ^r Octobre 1875 . . .	360.90	326.20	687.10

Quelques ingénieurs avaient annoncé que M. Favre, entravé par la dureté excessive des roches et par une quantité d'eau bien supérieure à celle rencontrée au Frejus et au Mont-Hoosac, ne pourrait en aucun cas dépasser une moyenne de 3 m. par jour et par front de taille, soit 550 mètres au *maximum* et en tout par trimestre. Dans les trois derniers trimestres ce *maximum* s'est changé en *minimum*. Les deux derniers ont donné 3 m. 60 et 3 m. 80 d'avancement moyen quotidien à chaque tête.

Dans cette période il y a eu des jours perdus, soit pour vérification de direction par la Compagnie, soit par la grève momentanée de Göschenen.

Malgré cet éminent succès, la malveillance ne s'est pas tue. On prédit de nouveau que le tunnel ne sera pas achevé en huit ans, le Cube total extrait étant insuffisant, etc., etc.

Remarquons d'abord que ce n'est pas *huit ans*, mais *neuf ans* qui sont concédés par les traités, *avec d'énormes amendes il est vrai*; mais cette limite n'en est que plus respectable pour tout homme sensé, et certes, quand un entrepreneur fait gagner à une Compagnie 15 millions, il a droit à tous les égards et à une extrême bienveillance de la part de ceux qui représentent cette Compagnie, et de tous les hommes du métier, en face surtout d'un succès qui est déjà un grand honneur pour la Suisse.

Il est évident que les progrès, dans des travaux sans précédents et où toutes les difficultés semblent accumulées, doivent s'acheter par des essais, des études et des améliorations successives, et que la totalité de ces progrès ne s'improvise pas en quelques mois ni même en une seule année. Les travaux du Mont-Cenis, où la dépense comptait peu et où le kilomètre d'avancement était payé le double qu'au Gothard, l'ont bien prouvé puisque, jusqu'aux dernières années du percement, les ingénieurs et entrepreneurs du

Fréjus ont obtenu des améliorations, soit aux machines, soit dans l'organisation des travaux.

M. Favre a dû se préoccuper, *avant tout*, de faire progresser le front de taille. En trois années il a réussi au delà de toute espérance, grâce à son activité, à son énergie, à son esprit ingénieux et à d'énormes sacrifices.

Aujourd'hui on lui conteste que les élargissements puissent également progresser. Espérons que, sur ce chapitre aussi, quand les améliorations en cours et celles projetées auront eu le temps de se compléter, l'expérience prouvera que les chicanes faites à l'habile entrepreneur étaient prématurées et injustes.

§. II. Dérivations, Moteurs, Compresseurs.

Les éléments de progrès dans le percement de très-longes tunnels reposent essentiellement sur l'emploi des machines et d'une force motrice considérable.

Cette force se transmet par l'air comprimé qui actionne les perforatrices et aère en même temps les profondeurs du tunnel.

Pour obtenir cette puissance, il faut des chutes d'eau, des moteurs et des appareils de compression. C'est donc des dérivations et des moteurs que nous parlerons en premier, puis des compresseurs d'air, et enfin des machines que cet air met en mouvement.

Chutes d'eau et moteurs.

Du côté Sud du tunnel, on peut utiliser le Tessin, ou la Tremola; ce dernier torrent, qui descend du lac Sella, au-dessus de l'hospice, a une eau moins troublée et une pente de 20 pour 100, avantages qui devaient le faire préférer.

D'après des jaugeages antérieurs, on calculait que son volume d'eau minimum serait de trois ou quatre cents litres

par seconde; pour utiliser le mieux possible ce faible volume, il fallait obtenir un maximum de chute; en conséquence, la hauteur de charge du réservoir supérieur aux turbines a été portée à 180 mètres, ou 18 atmosphères.

La dérivation présentait un ensemble de difficultés en apparence insurmontables; ce torrent très encaissé coule dans une gorge où d'énormes avalanches encombrant son lit à peu près chaque hiver. Il est cependant indispensable de pouvoir visiter à volonté le barrage et la prise d'eau, aussi bien que les canaux de dérivation et le réservoir.

M. Favre a eu l'idée ingénieuse de transporter la prise d'eau en un point très élevé, où la Tremola est accessible toute l'année; de là, par une canalisation de 1000 mètres, il verse cette eau dans le lit d'un torrent secondaire, le Chiasso, plus éloigné des chutes d'avalanches.

Le réservoir-dépotoir, qui doit retenir les corps flottants et les graviers, est à côté du lit du Chiasso, sous l'abri d'un rocher isolé.

De ce réservoir, placé à 180 m. plus haut que les moteurs hydrauliques, l'eau épurée descend par une conduite, de 0 m. 62 de diamètre et 841 m. de longueur, formée de tubes en fer très-résistants, jusqu'au bâtiment des moteurs et des compresseurs situé à côté des ateliers.

La chute de 180 m. est, comme nous l'avons dit, un maximum pour les roues hydrauliques d'une force notable; les exemples en sont fort rares et elle suppose une grande perfection dans les détails d'exécution.

La commande des quatre turbines, dites *roues tangentielles*, a été confiée à la célèbre maison Escher, Wyss et Cie. de Zurich.

Ces turbines sont à axe vertical; elles ont 1 m. 20 de diamètre, 100 aubes et font 350 tours environ par minute.

Elles sont fondues d'une seule pièce avec leurs aubes, et *en bronze*; sous ces pressions excessives, le bronze dure

bien plus longtemps que le fer, la fonte de fer, et l'acier ; le choc de l'eau, sous 18 atmosphères, attaquerait et percerait ces trois derniers métaux au bout de quelques mois de service.

Chacune de ces quatre turbines commande, par un seul engrenage, un arbre moteur horizontal, et tous ces arbres sont placés sur une même ligne et peuvent s'entr'aider ; il en résulte une grande sécurité pour la régularité du pouvoir moteur.

Le jeu de ces appareils a été des plus satisfaisants et une seule chose a fait quelquefois défaut, c'est le volume d'eau de la Tremola dans les jours de froid excessif, ou de grande sécheresse. Ce volume s'est abaissé pendant de courts intervalles à moins de 100 litres par seconde.

L'action des perforatrices et la ventilation ne devant chômer un seul jour, M. Favre s'est décidé en 1874 à obtenir du cours du Tessin un supplément de puissance motrice.

Ce torrent en amont d'Airolo semble défier toute dérivation durable ; sa pente est faible, et il coule entre des bords escarpés entièrement composés de roches éboulantes le long desquelles, pour surcroît de danger, glissent chaque hiver des avalanches de neiges et de rochers.

On a cependant entrepris ce périlleux travail et il a réussi. Le canal de dérivation peut débiter un mètre cube par seconde ; il est en très-grande partie suspendu aux flancs de rochers presque à pic et traverse deux ponts aqueducs élevés de 25 à 30 mètres au-dessus des torrents Albinasca et Tremola.

Le projet d'élever l'eau du Tessin, par une canalisation longue de sept kilomètres, jusqu'au réservoir de la Tremola, présentait des difficultés insurmontables. En conséquence, on s'est borné à créer un canal de trois kilomètres et un second réservoir placé à 90 mètres seulement au-dessus des roues tangentielles.

Il y a donc à Airolo deux dérivations et deux réservoirs dépotoirs situés à deux hauteurs de chute, dont l'une est double de l'autre.

Pour deux chutes aussi différentes correspondant à des vitesses dans le rapport de deux à trois, il était convenable de recourir à deux variétés de turbines. Cette importante addition a été réalisée, d'une manière rationnelle et remarquablement heureuse, en plaçant, sur chaque arbre des roues tangentielles, une seconde turbine de dimension différente calculée pour cette chute de l'eau du Tessin.

Ces quatre nouvelles turbines du système Girard ont chacune leur prise d'eau et leur vanne spéciales; elles ont été construites et mises en place par la maison Escher, Wyss et Cie.

Cette addition réalise un ensemble très-facile à régler et assure une marche régulière pendant toute l'année.

L'eau de la Tremola, moins chargée de débris et de graviers, est toujours préférée; mais, dès que son débit est au-dessous du volume nécessaire, on ne la fait agir que sur un nombre restreint de roues tangentielles et l'eau du Tessin actionne les moteurs complémentaires. En outre, si la conduite de 18 atmosphères avait une rupture ou une interruption de service quelconque, la conduite du Tessin pourrait y suppléer.

Ce second travail de canalisation, si éminemment remarquable par sa hardiesse et sa judicieuse exécution, a pleinement atteint son but. Son résultat essentiel est de régulariser et d'accroître en même temps la force motrice à l'embouchure sud du tunnel; on peut maintenant disposer, aux ateliers d'Airolo, d'une puissance égale ou supérieure à mille chevaux.

Du côté de Göschenen, la vallée est aussi exposée aux avalanches de pierres et de neiges; mais celles-ci, moins fréquentes et moins fortes, durent peu et n'ont

d'autre inconvénient sérieux que d'empâter l'eau de la Reuss, et de la transformer pour un ou deux jours en boue neigeuse qui obstrue les grillages et les conduites et occasionne des arrêts que rien ne peut empêcher.

La Reuss, en dessous d'Andermatt, ne s'abaisse presque jamais à moins d'un mètre cube par seconde; sa pente d'environ 10 pour 100 a permis de préparer une chute utile de 85 mètres en plaçant le barrage à 926 mètres environ en amont de la bouche du tunnel.

Ce barrage et sa prise d'eau ont pu s'effectuer d'une manière remarquablement heureuse par suite de l'habileté de M. Favre à tirer parti des circonstances locales du lit du torrent.

A 130 mètres en aval du barrage, un réservoir dépotoir contenant 100 mètres cubes, divisé en cinq compartiments et trois chambres, sert à faire le départ des sables et graviers et à retenir les corps flottants.

La dernière chambre donne issue à l'eau par une conduite en tôle, ayant 0 m. 85 de diamètre, longue de 800 mètres, qui descend jusqu'au bâtiment des quatre turbines et leur répartit un volume total d'environ douze cents litres par seconde.

Ces quatre turbines sont du système Girard à axe horizontal; leur diamètre est de 2 m. 40; leur vitesse normale 160 tours.

Elles ont été livrées par la maison B. Roy et Cie., qui est très-réputée pour la construction des turbines.

Compresseurs d'air.

Le rapport trimestriel No. 5 du Conseil fédéral, publié en 1873, contient des détails sur les compresseurs d'air du Mont-Cenis, et sur leurs effets comparés à ceux des pompes à air adoptées pour le Gothard. Il rappelle que, «dès l'année 1852, M. Colladon avait proposé, dans un

mémoire détaillé remis au Gouvernement sarde, l'emploi de l'air comprimé pour être substitué aux cables et pour transmettre la force dans le tunnel». Ce mémoire contenait :

« 1. Les résultats de nombreuses expériences qu'il avait faites, en 1850, 1851 et 1852, sur la résistance de l'air et du gaz dans des tuyaux de différents diamètres, et sur les modifications essentielles résultant de ces expériences pour les coefficients de résistance selon les diamètres.

« 2. Des calculs d'application au tunnel du Mont-Cenis.

« 3. Quelques détails pratiques sur les pompes à comprimer l'air, sur la transmission de la force, sur son emmagasinement, sur l'air comprimé utilisé pour les injections d'eau, et sur les moyens de recueillir le travail au fond du tunnel pour mettre en mouvement les outils perceurs.»

« Dans ce mémoire, M. Colladon proposait d'utiliser les chutes d'eau au moyen de turbines; il indiquait la possibilité de rafraîchir les pompes comprimantes par une enveloppe d'eau, ou par une injection intérieure, et il parlait aussi des pompes à piston liquide.»

« Ces projets, présentés en 1852 pour le percement du Mont-Cenis, mais qui n'y avaient trouvé qu'une application partielle, principalement par l'emploi de l'air comprimé remplaçant les transmissions par cables, se trouvent maintenant réalisés en entier pour l'exécution du tunnel du St-Gothard.»

MM. Sommeiller, Grandis et Grattoni, préoccupés de l'idée de faire progresser les trains sur les plans inclinés par l'impulsion de l'air, avaient pris en 1853 un brevet pour un bélier destiné à comprimer l'air. Ces essais avaient été abandonnés lorsque, en 1857, le Gouvernement sarde se décida à entreprendre la percée du Mont-Cenis, et en confia l'exécution à MM. Sommeiller, Grandis et Grattoni, dont le bélier paraissait alors la machine la plus avantageuse pour obtenir pratiquement de l'air comprimé.

En conséquence, 20 béliers compresseurs furent commandés pour être distribués près des deux bouches du tunnel. Leur coût total dépassait deux millions.

Les résultats pratiques furent si peu favorables que ces machines restèrent sans emploi à Modane et ne furent utilisées que pendant trois années à Bardonnèche. On leur substitua alors des pompes à double cylindre de grandes dimensions, renfermant un volume total de $2\frac{1}{2}$ mètres cubes d'eau servant de piston liquide pour la compression de l'air. Ces pompes furent considérées à cette époque comme une précieuse amélioration.

Un rapport officiel des trois ingénieurs, publié en 1863, constate qu'elles donnaient, avec la même force hydraulique, trois fois plus d'air que les béliers, et qu'elles coûtaient un tiers de moins. ¹⁾

Il était facile de prévoir que des pompes à mouvement alternatif, dont le piston doit mettre en jeu une masse de liquide aussi considérable, ne sont pas susceptibles d'oscillations rapides. C'est ce que l'expérience a confirmé pour tous les appareils de compression construits sur ce système. Dès que la vitesse dépasse une limite assez restreinte, une augmentation du travail moteur ne produit presque aucun effet utile quant à la quantité du volume d'air obtenu.

A Bardonnèche ainsi qu'à Modane, on avait dû limiter à *huit* le nombre des révolutions des manivelles qui faisaient agir les bielles des pistons. Par compensation les pompes employées devaient avoir des dimensions excessives.

Au Gothard, comme dans les pays de montagnes, les moteurs hydrauliques les plus convenables à utiliser sont les turbines à révolutions rapides associées à de hautes chutes.

S'il avait fallu appliquer, à Göschenen et à Airolo, pour la compression de l'air, des engins semblables à ceux qui ont fonctionné au Mont-Cenis, on aurait dû interposer, entre les

¹⁾ Relazione della Direzione tecnica, Avril 1873 — p. 92.

turbines et les pompes, de nombreux et puissants engrenages pour réduire convenablement la vitesse, d'où seraient résultés une perte de travail, des chances d'accidents, de volumineux appareils de transmission, et surtout un grand excès de dépense.

L'emploi des turbines nécessitait celui de pompes de compression à mouvements rapides, mais il fallait prévenir en même temps le réchauffement de l'air qui aurait entraîné une perte très-notable de l'effet utile.

Le professeur Colladon s'était fait breveter, en 1871, pour un système nouveau de pompes de compression d'air, lequel permet de comprimer même à sec, par une action très-rapide, l'air ou les gaz, et d'annuler en même temps les effets nuisibles du réchauffement. Une pompe de ce système avait été établie, en 1871, pour le compte du chemin de fer de la Haute-Italie; cette pompe, destinée à la compression du gaz d'éclairage sous de hautes pressions pour l'éclairage des trains de nuit, avait marché sans arrêt pendant près d'une année à la vitesse moyenne d'environ 200 coups utiles par minute.

Ce résultat s'obtient par une double combinaison qui refroidit simultanément l'enveloppe de la pompe et ses pièces mobiles; le refroidissement s'achève par une très-petite quantité d'eau injectée à l'état pulvérulent. Le piston et sa tige prolongée à l'arrière du cylindre sont creux; leur intérieur est constamment refroidi par un filet d'eau fraîche amené par un tube placé dans l'axe de la partie creuse de la tige. Cette eau circule dans la cavité du piston et ressort par l'espace compris entre le tube injecteur et les parois de la tige. Ce refroidissement suffit pour les gaz que l'on veut comprimer à sec ¹⁾.

¹⁾ Cette disposition est employée dans les pompes construites par la Société Genevoise pour la Compagnie des Chemins de fer de la Haute-Italie, et pour le Gouvernement belge pour la compression du gaz riche destiné à éclairer les trains de nuit.

Pour les pompes d'un grand volume le refroidissement est complété par de petits injecteurs qui mélangent à l'air de l'eau pulvérulente.

Des pompes de ce système, mises à l'essai, dans les ateliers de la Société genevoise de Construction, en présence de l'entrepreneur M. Favre, lui firent connaître la possibilité d'obtenir, avec leur emploi, de grands volumes d'air, sous des pressions de 8 ou 9 atmosphères, sans réchauffement nuisible.

Les turbines d'Airolo, fortes de 200 chevaux chacune, devaient faire 350 révolutions par minute. M. Colladon proposa d'établir des pompes faisant 80 révolutions dans le même temps, et pouvant être actionnées par les roues tangentielles avec l'interposition d'un seul engrenage.

Afin d'égaliser la résistance et de supprimer l'emploi des volants, il conseilla d'accoupler ces pompes par groupes de trois, placées parallèlement sur un même bâtis, et de les actionner par un arbre à trois manivelles.

Ce plan fut adopté par l'Entreprise. MM. Escher, Wyss et Cie. furent chargés des transmissions, et la Société Genevoise de Construction de la fourniture de cinq groupes de trois compresseurs chacun pour le côté d'Airolo.

Ces cinq groupes sont placés, avec les turbines motrices, dans une chambre qui n'a que 35 mètres de longueur sur 8 m. 50 de largeur. Chaque turbine peut commander indifféremment l'un ou l'autre des groupes voisins, ou les faire marcher simultanément ¹⁾.

Quatre de ces groupes, marchant ensemble, peuvent refouler par heure dans le tunnel près de mille mètres cubes d'air, à la tension de 7 ou 8 atmosphères, lesquels,

¹⁾ Conformément aux conditions posées par l'ingénieur-conseil, tous les organes injecteurs sont en nombre double et les diverses pièces des 5 groupes doivent pouvoir s'échanger mutuellement. Il en résulte qu'une même pièce de rechange peut servir indifféremment à l'une ou à l'autre des quinze pompes d'Airolo.

avant de se répandre dans le souterrain, peuvent transmettre dans les parties où se fait l'excavation mécanique la puissance de quelques centaines de chevaux. Ce volume, en se détendant, fournit, pour l'aération du tunnel, un volume d'environ huit mille mètres cubes sous la pression de l'atmosphère.

La disposition adoptée pour les compresseurs d'air à Göschenen, ne diffère que dans quelques détails secondaires de celle d'Airolo. Les pompes y sont disposées d'une manière analogue; elles forment aussi cinq groupes dont chacun est composé de trois compresseurs. Les arbres moteurs à trois manivelles, qui commandent ces groupes, ont une vitesse moyenne de 60 tours par minute. Cette différence de vitesse, comparativement à celle des appareils d'Airolo, est compensée par une augmentation du volume des pompes¹⁾.

Les compresseurs de Göschenen ont été fournis par MM. B. Roy et Cie.; ils sont construits d'après le système Colladon, et ne diffèrent que par quelques détails dans le mode d'injection des compresseurs que la Société Genevoise a fourni pour Airolo.

Dans chacune des deux stations, l'air comprimé est recueilli dans des cylindres en tôle servant de réservoirs. De là, il est transporté, par un tube continu de 0 m. 20 de diamètre, jusqu'à l'extrémité de la cunette. Cet air est ensuite conduit aux abattages et à l'extrémité de la galerie de direction, au moyen de tubes en fer battu de 0 m. 14, puis de 0 m. 10 de diamètre. C'est sur ces conduites que l'on établit des prises d'air pour le jeu des perforatrices au moyen de tubes en caoutchouc de 0 m. 05 de diamètre.

¹⁾ Les pompes d'Airolo ont 0 m. 46 de diamètre et 0 m. 45 de course; celles de Göschenen 0 m. 42 de diamètre et 0 m. 65 de course. Ces différences sont motivées par l'inégalité de vitesse de rotation des turbines.

Outre ces prises d'air, il existe, en plusieurs points de la conduite principale, des robinets d'aérage pour revivifier l'air dans le voisinage des chantiers de travail à l'intérieur du souterrain.

Les pompes du système Colladon fonctionnent au Gothard depuis plus de deux ans, et leur emploi démontre d'une manière irrécusable la possibilité de comprimer de grands volumes d'air, sans piston hydraulique, jusqu'à des tensions de 8 atmosphères, ou plus, par des pompes à mouvement rapide, et d'obtenir cet air comprimé à des températures qui ne dépassent que de 12 à 15⁰ centigrades celle de l'air aspiré.

On a établi à Bardonnèche, pour la fourniture d'air comprimé, sept roues à augets; chacune d'elles est accouplée à quatre grands cylindres à piston d'eau. Pour loger ces roues et leurs pompes, on a dû construire sept bâtiments distincts, ayant chacun une surface de 300 mètres carrés.

Ces sept roues hydrauliques et les vingt-huit cylindres compresseurs peuvent fournir, par heure, 570 mètres cubes d'air sous la pression de six atmosphères effectives. Cet air, par sa détente, donne pour l'aération environ 4000 mètres cubes à la pression atmosphérique.

Au Gothard, quatre turbines actionnant douze pompes de petit volume à grande vitesse, produisent 1000 mètres cubes par heure à la tension de sept atmosphères effectives, et cet air, en se détendant dans les profondeurs du tunnel, fournit 8000 mètres cubes à la pression de l'atmosphère.

Ces turbines et leurs compresseurs sont largement logés dans un seul bâtiment qui n'a que 350 mètres carrés de surface.

En résumé, les pompes à grande vitesse du système Colladon, actionnées par 4 turbines, peuvent donner au Gothard deux fois plus de puissance en air comprimé que les appareils installés au Mont-Cenis, avec une dépense

environ trois fois moindre et dans un emplacement 5 ou 6 fois plus réduit ¹⁾).

Quant aux béliers installés anciennement au Mont-Cenis, il faudrait quatre-vingt de ces appareils pour équivaloir à quatre turbines et douze pompes comme celles du Gothard.

Aération du Tunnel.

Le nombre moyen des ouvriers qui travaillent d'un côté du tunnel, en même temps est de quatre cents.

Chacun est, en général, pourvu d'une lampe et chaque lampe exige un renouvellement d'air égal à celui nécessaire pour un ouvrier. En moyenne, il faut treize mètres cubes d'air frais par heure pour un ouvrier et sa lampe, soit cinq mille deux cents mètres cubes par heure pour quatre cents ouvriers et leur éclairage.

La quantité moyenne de dynamite consommée par 24 heures, à chaque bouche du souterrain, est estimée à 300 kilogrammes, soit en moyenne à 12¹/₂ kilogrammes par heure. Il convient, pour un bon aérage, de donner cent mètres cubes d'air à la suite de chaque explosion d'un kilogramme de dynamite, ce qui correspond à une moyenne de 1250 mètres cubes par heure.

Il s'agit donc d'introduire de chaque côté du tunnel et par heure, *six mille quatre cent cinquante mètres cubes* d'air à une atmosphère.

¹⁾ Au mois de Novembre 1872, MM. Roy et Cie., qui ne connaissaient encore que les pompes du système belge, et qui pétitionnaient pour établir des moteurs à Göschenen, avaient présenté un devis d'après lequel chaque groupe de pompes à piston hydraulique, actionné par une turbine et fournissant par minute 4 mètres cubes à la tension de 8 atmosphères, était estimé à 176.000 francs. Ces constructeurs, par l'adoption du système Colladon, ont pu réduire leur devis à 72.000 fr. pour le même volume d'air obtenu à la même pression et dans le même temps. Ces deux devis comparatifs sont datés du 9 Décembre 1872.

Nous avons vu qu'à Airolo comme à Göschenen, les turbines actionnant quatre groupes chassent dans le souterrain l'équivalent de *huit mille mètres cubes* sous la pression atmosphérique.

Ce volume serait plus que suffisant si l'air frais expulsait à mesure l'air partiellement vicié. Cet effet se produit d'une manière satisfaisante dans la galerie de direction et aux abattages; mais, à mesure que les excavations s'élargissent, il se produit des remous et l'air vicié reste en arrière, dans les cavités ou sous la voûte, tandis que l'air frais s'échappe en partie au dehors.

Afin de remédier à cette expulsion imparfaite, l'entrepreneur s'est décidé à placer, à chaque bout du tunnel, un puissant système d'aspiration qui se prolonge jusqu'aux extrémités de la voûte, par un tube continu de 1 m. 30 de diamètre suspendu sous l'intrados.

Cet appareil est composé de deux cloches conjuguées, suspendues aux extrémités d'un balancier, et qui reçoivent un mouvement alternatif d'ascension et de descente par le jeu de deux machines à colonne d'eau. Chaque cloche plonge dans une cuve annulaire pleine d'eau; la partie centrale de cette cuve est fermée par un diaphragme immobile muni de soupapes, et le fond de chaque cloche est aussi pourvu de clapets qui s'ouvrent en dehors. A chaque ascension, il se fait une aspiration dans toute la longueur du tube suspendu à la voûte et, quand la cloche redescend, l'air aspiré se dégage dans l'atmosphère ¹⁾.

Les deux cloches pourront, par dix oscillations doubles du balancier, aspirer 500 mètres cubes par minute ou trente mille par heure.

¹⁾ MM. Pauwels et Du Bochet avaient établi, en 1825, un système d'aspiration à cloches conjuguées dans une des usines à gaz de Paris pour soutirer le gaz des cornues.

Cet air, aspiré à quelques centaines de mètres du fond du tunnel, doit être remplacé; il le sera en partie par les 8000 mètres fournis par les pompes, tandis que 22.000 mètres cubes, par heure, devront arriver du dehors par la grande section déjà achevée du tunnel.

Avec ce puissant aérage, l'intérieur du souterrain du Gothard sera certainement mieux aéré que ne le sont la majorité des travaux de mines.

Les Perforatrices.

Les travaux du Gothard ont donné naissance à des perforatrices nouvelles et à des améliorations importantes dans la construction de ces utiles appareils.

La première perforatrice rationnelle destinée à percer des trous dans la roche dure, par l'emploi de l'air comprimé, a été construite en 1855 par l'ingénieur anglais Th. Bartlett, représentant de M. Brassey, entrepreneur du Chemin de fer Victor-Emmanuel.

Cette machine remarquable fut essayée, en Mars 1857, à la Coscia, en présence de la Commission nommée en vue du tunnel du Mont-Cenis.

M. Sommeiller assistait à ces expériences, et la rapide action de cette machine le mit sur la voie d'une perforatrice nouvelle, pour laquelle il se fit breveter, et qui a été employée, exclusivement à toute autre, au percement du tunnel des Alpes Cottiennes.

Lors du traité international pour le chemin de fer du Gothard, le Gouvernement italien avait mis comme condition de sa subvention, le rachat par le Gouvernement suisse, ou par la Compagnie exécutrice, de tout l'ancien matériel qui avait servi au percement du Fréjus. Ce rachat a été une des charges imposées à l'entrepreneur M. Favre, à l'époque de la signature de son traité. Il s'est vu contraint d'acheter pour son entreprise une centaine de perforatrices du système Sommeiller.

Ce système n'est plus usité; des perfectionnements et des idées nouvelles ont surgi et ont amené de nombreuses transformations; on compte aujourd'hui plus de vingt appareils différents pour la perforation des trous de mines dans les roches dures.

Tous ces appareils ont des pièces essentielles analogues et se composent généralement :

1. D'un *cylindre principal* pour la percussion.
2. D'un *piston perceur* dont la tige se prolonge et sert de *porte-outil*, parce qu'on fixe à son extrémité le *ciseau*, *burin*, ou *fleuret*, destiné à percer les trous dans le rocher.
3. D'un *tiroir*, ou *robinet distributeur*, dont le mouvement de va-et-vient dirige alternativement l'air comprimé à l'avant ou à l'arrière du piston.
4. D'organes destinés, soit à faire tourner le piston, sa tige porte-outil et le ciseau perceur, soit à faire avancer le cylindre et ses annexes vers le front de taille pendant le progrès de l'outil.
5. D'un *support*, *chassis*, ou *cadre rigide*, formé ordinairement de deux barres, ou *longerons*, le long desquelles le cylindre et ses annexes peuvent glisser pour se rapprocher du trou en percement. Ce cadre, ou support, destiné à être placé sur un *affût*, doit pouvoir s'incliner en différents sens selon la direction des trous que l'on veut percer.

Le ciseau perceur doit avoir un mouvement rapide et puissant de va-et-vient; il doit aussi tourner autour de son axe pour ne pas s'engager, *se coincer*, pendant le percement et faire un trou droit et régulier. Le piston et la tige porte-outil doivent évidemment participer aux mêmes mouvements. Enfin, le cylindre et ses principales annexes doivent avancer, soit à la main, soit automatiquement, vers le front de taille pendant le percement.

La main du mineur qui travaille avec une barre à mine réalise d'une manière admirablement simple ces trois mouvements indispensables, mais la force musculaire d'un homme devient insuffisante quand le percement doit être rapide. Il faut alors recourir à l'emploi des machines, et à celui de l'air comprimé, dans le cas surtout où on veut agir dans les profondeurs d'un souterrain.

A côté de la réalisation des trois mouvements ci-dessus, il existe d'autres éléments de comparaison qui déterminent l'entrepreneur dans le choix d'une perforatrice, tels que : la dépense d'air comprimé pour un certain effet produit, la bonne exécution de l'appareil et le choix des matériaux employés à sa construction, le capital d'achat, les frais d'entretien, la manutention plus ou moins facile pour les ouvriers mineurs, le poids de l'appareil, ses dimensions en longueur et largeur, la profondeur des trous que l'on peut obtenir en une opération sans changer l'outil-perceur.

L'entreprise du Gothard a essayé, soit à Genève, soit aux abords du tunnel, plusieurs modèles de perforatrices. A la suite de ces essais, elle s'est limitée à l'emploi de 3 ou 4 modèles qui ont chacun leurs avantages spéciaux ; la variété de ces systèmes ne nuit en aucune manière à la rapidité d'exécution du travail, car l'entreprise exige des constructeurs que chaque perforatrice puisse s'adapter immédiatement aux affûts principaux sur lesquels on doit en placer un certain nombre pour les faire travailler en commun ; elle exige de plus que leur mode d'emploi soit assez facile et simple pour que tout mineur puisse les faire agir après un très-court apprentissage.

M. Favre a ainsi maintenu le champ libre pour des perfectionnements utiles, tout en évitant les difficultés qui pouvaient provenir de la variété des appareils. L'expérience démontre que ce mode de faire est préférable à celui qui avait prévalu aux travaux du Mont-Cenis.

Aussitôt après la signature du contrat, l'entrepreneur s'était décidé à faire en Belgique l'achat de deux compresseurs à vapeur provisoires qui furent placés aux extrémités Nord et Sud du tunnel. Il traita en même temps avec les constructeurs Dubois et François pour la livraison d'un nombre restreint de perforatrices de leur système.

Ces perforatrices ont des points de ressemblance avec celles du Mont-Cenis, mais elles en diffèrent par plusieurs organes essentiels.

La machine inventée par Sommeiller est composée à l'imitation de celle de Bartlett, de deux appareils distincts : un très-petit moteur à air comprimé avec volant à rotation continue, et une perforatrice proprement dite. C'est par l'intermédiaire de ce petit moteur que Sommeiller faisait mouvoir le tiroir distributeur et obtenait la rotation du piston percuteur et la progression du cylindre du côté du rocher.

L'appareil de MM. Dubois et François est plus simple que celui de Sommeiller et dépense moins d'air comprimé à égalité d'effet. Ces constructeurs ont supprimé le petit moteur à air comprimé. Le tiroir distributeur reçoit son mouvement de va-et-vient, par l'action alternative de l'air comprimé qui le pousse en deux sens différents à l'aide de deux petits pistons inégaux, et par l'intervention de la tige porte-outil qui, à chaque retour, ouvre une soupape et détermine l'avancement du tiroir.

La rotation du piston et de l'outil percuteur s'obtient par l'action alternative, sur un levier à deux bras L , de deux petits pistons placés aux côtés du cylindre et soulevés tour à tour par l'impulsion de l'air comprimé qui agit sur les deux faces du grand piston percuteur.

Le mouvement oscillatoire du levier L produit la rotation du porte-outil au moyen d'une roue à rochet, qui commande le porte-outil, et d'un cliquet dont le mouvement est lié à celui du levier L .

L'avancement régulier du système, à mesure que le trou s'approfondit, est commandé par une grosse vis parallèle au cylindre que l'on meut à la main.

Peu de temps après la mise en activité de ces perforatrices, un autre système plus nouveau obtint un grand succès en Angleterre. A la suite de quelques essais faits en Suisse M. Favre se décida à commander un certain nombre de ces appareils à l'inventeur américain M. Mac-Kean, en posant cependant certaines conditions que celui-ci devait remplir pour que ces machines fussent acceptées.

Ce système de perforatrices anglo-américaines diffère totalement de ceux que nous venons de décrire. La rotation du piston, de sa tige et de l'outil-perceur s'obtient par le va-et-vient du piston, au moyen de deux roues R et R^1 à dents hélicoïdales très-inclinées. L'une de ces roues R est fixée sur la tige du piston; l'autre R^1 , qui engraine avec R , est fixée sur un petit arbre spécial a ; ce second arbre porte en outre une roue à rochet r .

La roue hélicoïdale R participe au va-et-vient du piston; la pression de sa denture contre celle de la seconde roue R^1 tendrait à imprimer à celle-ci et à son arbre a un mouvement rotatif oscillatoire en deux sens opposés. Mais la roue à rochet r et son cliquet ne permettent la rotation de la roue R^1 que dans une seule direction. Il en résulte qu'à chaque retour du piston percuteur, la réaction des dents hélicoïdale de R^1 contre celles de R oblige cette roue R à tourner d'un certain angle sur son axe en entraînant la rotation du piston percuteur et celle du ciseau.

Le tiroir de la machine Mac-Kean est cylindrique et le mécanisme qui le fait mouvoir est plus simple que dans les appareils Sommeiller et Dubois.

M. Mac-Kean a conservé, pour l'avancement du cylindre et de ses accessoires, l'emploi d'une vis parallèle au cylindre

moteur. Il a de plus utilisé ce mouvement rotatif alternatif de l'arbre du tiroir pour obtenir un avancement automatique au moyen de la vis à laquelle est adaptée une roue à rochet qu'un cliquet fait tourner d'une ou deux dents à chaque mouvement rotatif du tiroir.

La vitesse de perforation obtenue avec cet appareil dépasse notablement celle que donnent les machines précédemment décrites. Dans les expériences faites en Suisse on a pu obtenir, avec une pression de 4 à 5 atmosphères, un avancement normal de 0 m. 10 à 0 m. 12 par minute dans un bloc de granit d'une grande dureté.

L'appareil entier a moins de longueur et occupe moins de volume que la perforatrice Sommeiller ou celle de Dubois et François. Son poids est aussi moindre, ce qui rend son transport et sa mise en place faciles. Des machines de ce système, fixées sur de petits affûts spéciaux, ont rendu d'utiles services pour les travaux d'élargissement du tunnel.

Les premiers appareils Mac-Kean reçus au Gothard s'adaptaient mal aux grands affûts employés à la galerie de direction, aux abattages et à la cunette. Dans l'année 1875, l'inventeur a surmonté ces difficultés et l'entrepreneur du tunnel s'est décidé à lui faire une nouvelle commande de 60 de ces appareils pour les faire fonctionner du côté d'Airolo.

Un troisième système donne aussi de bons résultats au Gothard; il a été imaginé en 1874 par M. Ferroux, ancien chef d'atelier à Modane.

M. Ferroux a repris, pour sa perforatrice, l'emploi d'une petite machine distincte; abandonnant le mécanisme compliqué qui met en jeu le tiroir distributeur de Sommeiller, il l'a remplacé par un excentrique auquel le petit moteur à air transmet un mouvement direct de rotation. Le mécanisme pour la rotation de l'outil sur son axe est à peu près le même que dans l'appareil Sommeiller.

Le mode d'avancement progressif de l'appareil percuteur, à mesure que le trou de mine devient plus profond, constitue la partie essentiellement ingénieuse et nouvelle de la perforatrice brevetée de M. Ferroux.

Le cylindre percuteur se prolonge à l'arrière par une tige creuse *T*. Cette tige *T* a deux fonctions: 1) elle sert de conduit à l'air comprimé pour l'introduire dans la chambre du tiroir distributeur, et 2) elle pousse constamment vers le front de taille le cylindre percuteur, par l'action de l'air comprimé qui presse sur un second piston fixé à l'extrémité de la tige *T*. Ce second piston *P* est renfermé dans un second cylindre placé à l'arrière du cylindre percuteur.

L'appareil percuteur tend donc sans cesse à avancer vers le front de taille, mais il est retenu par un cliquet qui engraine sur une cremaillère que portent les longerons; le porte-outil est muni d'un bourrelet qui dégage ce cliquet et permet l'avancement chaque fois que le ciseau a besoin d'avancer. Pour éviter le recul du cylindre percuteur par l'effet du choc, M. Ferroux a placé dans la tige *T* deux petits pistons perpendiculaires aux parois de cette tige et qui, par la pression de l'air comprimé, font arrêt contre les longerons.

Ces machines, employées depuis dix-huit mois au front de taille à Göschenen, sont préférables à celles de Dubois et François pour la facilité de manœuvre et la vitesse d'avancement; elles ont cependant deux inconvénients: la longueur totale et le poids de l'appareil sont augmentés par l'adjonction d'un second cylindre, et la dépense d'air est plus considérable que pour les autres perforatrices à cause de l'emploi du petit moteur secondaire.

Monsieur Turrettini, l'intelligent directeur des ateliers de la Société Genevoise de Construction, a inventé une perforatrice entièrement nouvelle par la disposition de ses organes et par leur mode d'action.

Cet appareil breveté a son piston composé de deux parties qui se séparent un peu avant le choc du ciseau et donnent au coup plus d'élasticité. C'est le choc même du burin qui détermine le changement de distribution et le retour du porte-outil; on évite ainsi le grave inconvénient, qui existe dans la plupart des perforatrices, d'un choc imparfait résultant d'un changement anticipé de la distribution.

La rotation du piston et de l'outil-perceur, ainsi que le jeu du tiroir, sont obtenus par des combinaisons ingénieuses dont l'expérience a démontré l'efficacité ainsi que la modération des frais d'entretien.

Enfin, l'avancement progressif automatique du cylindre percuteur le long des longerons, et au besoin son recul, s'obtiennent par un procédé entièrement nouveau. C'est en utilisant le principe de la réaction de l'air comprimé, que l'inventeur obtient à volonté l'un ou l'autre de ces effets par le seul jeu d'un robinet. Un levier actionné par cet air comprimé donne à l'appareil, dans chaque position, la stabilité voulue pour résister au choc.

Les mécanismes pour l'avancement automatique du cylindre percuteur sur les longerons, ont été l'écueil de la plupart des appareils inventés depuis le percement du Mont-Cenis.

Les uns donnent un avancement qui n'est pas proportionnel aux progrès de l'outil-perceur; les autres utilisent des pièces délicates exposées à de fréquentes réparations.

Le mouvement automatique imaginé par M. Turrettini laisse bien peu à désirer; il suit exactement les progrès du ciseau et le mécanisme qui le produit agit sans choc et présente une remarquable simplicité.

Si l'appareil, muni de son burin, est reculé sur ses longerons jusqu'à une distance quelconque du front de taille, au moment où on ouvre le robinet de l'air comprimé, le cylindre percuteur avance rapidement de lui-même jusqu'à

ce que le ciseau atteigne le rocher et, à partir de ce moment, il continue à cheminer en avant d'une quantité exactement égale au progrès de l'outil perceur.

Cette machine de peu de volume a moins de longueur et pèse moins que les perforatrices Dubois et François, ou Ferroux. Sa consommation d'air est aussi diminuée pour un même travail d'approfondissement. Elle est sans doute destinée à un succès d'avenir, puisqu'elle a pu lutter dès les premiers essais avec les meilleurs modèles.

Des perforatrices de ce nouveau système, mises en action au Gothard pendant l'été de 1875, ont travaillé concurremment avec les trois systèmes précédemment décrits, et le bon résultat de ces essais a décidé l'entrepreneur à commander à la Société Genevoise de Construction trente-deux autres perforatrices du système Turrettini livrables à bref délai ¹⁾.

Les trous percés mécaniquement ont en général une profondeur de 1 m. 10. Le nombre de ceux que l'on perce au front de taille de la galerie d'avancement, dont la surface égale six, à six et demi, mètres carrés, varie avec la nature et la dureté de la pierre; il est généralement compris entre seize et vingt-six.

Quand les trous sont percés, on recule l'affût à 60 ou 80 mètres; on charge les trous à la dynamite, et on les

¹⁾ L'avancement automatique a une haute importance pour la perforation mécanique, surtout lorsqu'elle s'opère dans des espaces restreints comme aux fronts de taille d'un souterrain. Ainsi, au Gothard, les grands affûts pour la perforation portent six ou sept perforatrices pour chacune desquelles il faut trois ouvriers employés au transport et au changement des fleurets, au maintien de leur direction, à l'arroisement des trous, à préparer une nouvelle attaque, etc.

Un bon avancement automatique économise l'emploi d'autres ouvriers destinés à opérer à la main l'avancement des cylindres percuteurs, et cet avancement n'en est que mieux réglé.

fait explosionner en deux ou trois temps successifs. L'enlèvement des déblais se fait à la main ou au panier, et on les met dans de petits wagons qui les transportent au-dessus de la cunette. Là on vide, au moyen de couloirs, ces petits wagons dans de plus grands qui stationnent au bas de la cunette; une locomotive à air comprimé emmène ensuite dix ou douze voitures chargées jusqu'au dehors du tunnel, à l'endroit où se versent les déblais.

Locomotives à air comprimé.

Les travaux de transports occupent, à chaque extrémité du tunnel, deux locomotives à air comprimé. L'une, ancienne, est formée d'une locomotive ordinaire de la force de douze chevaux, alimentée d'air comprimé par un réservoir cylindrique du volume de seize mètres cubes, portés sur deux trucs attelés à la locomotive; ce réservoir s'alimente par une prise d'air sur la conduite principale d'air comprimé. L'autre locomotive, d'un emploi récent, a été fabriquée au Creusot; elle n'a pas de tender et se compose d'un réservoir de sept mètres cubes pouvant résister à 14 atmosphères. A ce réservoir sont fixés deux cylindres moteurs qui marchent à une pression moyenne de 5 atmosphères. La distribution d'air comprimé est réglée par un appareil automatique inventé par M. Ribourt, ingénieur employé au Gothard et ancien élève de l'Ecole Centrale. Ce mécanisme remplit parfaitement son but.

Pour obtenir une provision régulière d'air comprimé à 14 atmosphères, M. Favre a fait établir des réservoirs spéciaux et a commandé, en 1875, à la Société Genevoise de Construction, huit compresseurs du système Colladon pouvant comprimer chacun, sans réchauffement valable, douze mètres cubes d'air atmosphérique par minute et les porter à la pression de 14 atmosphères. Quatre de ces appareils fonctionnent à Airolo et quatre à Göschenen. Ils sont

établis dans la chambre où se trouvent réunis les quatre moteurs hydrauliques et les cinq groupes de compresseurs, et ils sont actionnés par les arbres moteurs de ces quatre turbines.

Conclusions.

Avant de terminer cette description abrégée des nombreux et puissants appareils établis au Gothard et des travaux en cours d'exécution, je dois rendre un légitime hommage à l'intelligence, à l'activité et à l'énergie de l'éminent entrepreneur, ainsi qu'au zèle de ceux qui le secondent.

Quand on se reporte à la fin de l'année 1872, où tout était obstacles, difficultés impossibles à prévoir ou à prévenir, à l'accumulation des devoirs et des choses à combiner et à accomplir, on ne peut qu'admirer cet état présent réalisé en moins de trois années.

Les difficultés locales et physiques au Gothard ont été exceptionnellement graves; celles pour les dérivations des torrents et la création des forces motrices en sont un exemple. Ce n'est qu'en voyant ces hardis travaux, surtout en hiver, les falaises presque à pic de rochers qui se délitent exposées aux éboulis de rocs et à de fréquentes avalanches, qu'on peut se rendre un juste compte des obstacles presque insurmontables pour les canalisations du côté Sud.

Aux difficultés du climat, de la localité, se sont ajoutés, dans le souterrain d'Airolo, des incidents de force majeure d'une excessive gravité, ceux occasionnés par la nature variable du terrain à percer, les nombreuses failles d'où sortaient du limon et des graviers qui affluaient subitement dans la galerie, mais surtout par des infiltrations dont le volume et la violence sont reconnues un fait extraordinaire.

Les cataractes sortant de la voûte et des flancs de la partie Sud du tunnel, qui n'a que $\frac{1}{1000}$ de pente, ont

transformé pendant près de dix-huit mois le souterrain d'avancement, les abattages et la cunette en une rivière au fond de laquelle il fallait chercher les déblais, poser et maintenir la voie, et travailler aux percements inférieures.

Deux ou trois citations feront apprécier la grandeur de cet obstacle.

Au Mont-Cenis le maximum des infiltrations à l'une et l'autre bouche, n'a pas dépassé *un* litre par seconde.

Au Mont-Hoosac, d'après les rapports officiels, on a considéré comme un grave obstacle qui a notablement nui à la rapidité d'exécution et augmenté la dépense, un volume d'infiltration de *dix-huit* litres par seconde ¹⁾.

Dans le premier rapport publié par la Direction et l'Administration de la Compagnie du Chemin de fer du Gothard (page 44), en parlant des infiltrations du sud du tunnel qui s'élevaient à cette époque de *quinze à trente* litres par seconde, l'honorable rapporteur appelle cet afflux » un petit torrent et un débit d'eau de proportion extraordinaire.»

Ce petit torrent est devenu plus tard une rivière jaugant *deux cents à deux cent trente* litres par seconde, *huit cent mille litres par heure*, dans une galerie ayant moins de sept mètres carrés!

Que d'énergie n'a-t-il pas fallu pour lutter plus d'une année contre un pareil obstacle et avancer cependant de deux mètres par jour.

Tous ces obstacles physiques n'ont pas été les seuls qui ont gêné l'entrepreneur et ralenti l'exécution. Il y en a eu d'autres moins connus du public et bien étrangers aux devoirs et aux occupations prévues de M. Favre.

¹⁾ Rapports annuels du Président de l'Etat du Massachusset au Sénat, sur les travaux du Chemin de fer Troy et Greenfield et le tunnel Hoosac, 1872, 1873, 1874.

Cet entrepreneur aurait dû pouvoir commencer ses travaux de percement à la fin d'Août 1872; tout ce qui concernait l'exécution des abords jusqu'à chaque seuil du tunnel ne le concernait nullement; on devait lui livrer l'espace et le champ entièrement libres jusqu'à ce seuil et sur la section entière de chaque bouche.

L'ingénieur chef de la Compagnie avait mal prévu les difficultés de ces abords. Du côté d'Airolo, ils n'ont été prêts que peu avant la fin de septembre; à Göschenen, ils ne l'étaient pas même d'une manière complète à la fin de décembre. M. Favre, que tant d'autres études et préoccupations absorbaient, a été contraint par les exigences de l'ingénieur chef de prendre en mains l'achèvement de ces travaux.

A côté de cette tâche ajoutée à tant d'autres, l'entrepreneur s'est trouvé tout à coup entravé par des obstacles encore plus étrangers à ses travaux et à ses habitudes. Des difficultés diplomatiques ont surgi en novembre, à l'occasion de la livraison du matériel du Mont-Cenis, dont l'acquisition et les frais avaient été imposés à M. Favre.

Pendant près de deux mois, il a été tenu en suspens sans qu'il put entrevoir ce qu'il pourrait acquérir, le terme de l'enlèvement et celui des transports. Pendant ces temps d'incertitude, il a dû faire de nombreux voyages, s'occuper de missions qui l'éloignaient de ses travaux et l'empêchaient de diriger les installations au Gothard.

De ces deux circonstances: *retard des abords, retard de livraisons au Mont-Cenis*, est résultée pour lui la perte des mois d'automne les plus favorables et, comme la seconde moitié de l'hiver a été signalée par une abondance de neige inconnue depuis un demi-siècle, les travaux de l'entrepreneur et la majorité de ses transports ont été retardés jusqu'en mai 1873.

Ces circonstances réunies, en aggravant les conditions déjà trop sévères qu'impose le traité d'exécution, donnent

droit à l'entrepreneur de réclamer une bienveillance toute spéciale de la part de tous les intéressés et lui concilieront l'intérêt général.

Le Gouvernement italien s'est fait doublement honneur dans les travaux de percement du Fréjus, par l'entreprise en elle-même et par les égards exceptionnels qu'il a eu pour ceux qui en dirigeaient l'exécution comme ingénieurs ou entrepreneurs.

Le Gouvernement égyptien et les souscripteurs du Canal de Suez ont imité ce noble exemple envers M. de Lesseps.

Il en sera de même pour les travaux du tunnel du Gothard. La grandeur de la tâche et les efforts accomplis ne peuvent que concilier à l'entreprise la bienveillance du public et surtout celle des Gouvernements intéressés.

II.

Beobachtungen über die Gesteins-, Wasser- und Temperatur-Verhältnisse des Gotthardtunnels in den Jahren 1872—1875

von

Dr. Stapff, Chef der geolog.-mont. Abtheilung bei der
Central-Bauleitung der Gotthardbahn.

Das gesammelte geologische Material hat noch nicht erschöpfend bearbeitet werden können, theils aus Mangel an Zeit, theils weil die Lagerungsverhältnisse in der Profilebene des Tunnels von der Art sind, dass eine unbefangene und systematische Bearbeitung des Materiales überhaupt erst denkbar ist, wenn die Tunnelarbeiten so weit fortgeschritten sind dass die Schichtenkomplexe südlich und nördlich von Altekirche unter sich und mit jenen südlich vom Gotthardmassiv verglichen werden können. Durch die Liberalität der Gotthardbahn-Gesellschaft und das lebhafte Interesse, welches deren Verwaltung, Direktion und technische Oberleitung an den Fortschritten der Wissenschaft nehmen, ist es möglich geworden beim Betrieb des Gotthardtunnels wissenschaftliche Beobachtungen systematisch anzustellen und nebst Belegstücken der wissenschaftlichen Welt zur beliebigen weiteren Bearbeitung zugänglich zu halten.

A.

Gesteins-Verhältnisse.

1. Nordseite des Gotthardtunnels.

Augenblicklich liessen sich nur die geologischen Beobachtungen in der mit dem *nördlichen* Tunnelort bisher durch-

fahrenen Gebirgszone zu einer systematischen Darstellung bringen; denn diese Gebirgszone stellt ein in sich abgeschlossenes Ganzes dar; sie ist die zum Finsteraarhornmassiv gehörige *Gneissgranitpartie*, welche durch das Ursernthal vom eigentlichen Gotthardmassiv topographisch und geologisch getrennt wird.

In dieser Zone durchfuhr der Tunnel zwischen 0 à 2000 m. vom Portal *Gneissgranit* (Alpengranit) und *grauen Gneiss*, beide mit Einlagerungen von *Eurit* und *Glimmerschiefer*. Die petrographischen Eigenschaften der genannten Gesteine sind in den Monatsberichten des eidgenössischen Inspektors der Gotthardbauten vielfach geschildert worden, ebenso in den Tabellen, welche sammt geologischen Durchschnitten durch die Quartalsberichte des Bundesrathes veröffentlicht werden.

Hinsichtlich der Lagerungsverhältnisse genannter Gesteine aber ist anzuführen, dass der *Alpengranit* von 0 bis 1100 m., der *graue Gneiss* mit Zwischenlagen des vorigen von 1100 bis 1537 m., *Alpengranit* mit deutlicher *Gneissstruktur* von 1537 bis 2000 m. sich erstreckte, wo eine 10 m. dicke *Contactschicht* die Finsteraarhorngesteine von den Urserngesteinen trennt. In den *Schöllenen*, wo das geologische Tunnelprofil vielorts zu seiner halben Tiefe natürlich aufgeschlossen ist, lassen sich diese Gesteinswechsel auch am Tage wahrnehmen.

Die in der Regel undeutliche *Parallelstruktur* des Gneissgranites und die sehr deutliche des Gneisses verlief überhaupt *N70 E* — *81 SE*, doch mit Abweichungen, welche z. B. zwischen 80 und 160, 450 und 480, 620 und 650, 878 und 1030, 1467 und 1550 m. eine Art Fächerstellung im Horizontalplan hervorbringen. An manchen dieser Punkte wird das Einfallen mitunter *nördlich*, und die Schichten sind *gefältelt*. Ausser der Parallelstruktur und wirklichen Schieferung ist vielfach noch eine *sekundäre* oder *falsche* Schie-

ferung wahrnehmbar, hervorgebracht durch mit *häutigem Glimmer überzogene*, dicht auf einander folgende *Klüfte*, meist $W 45 \text{ à } 60 E \vdash SE$, seltener $N 37 \text{ à } 61 W \vdash SW$ verlaufend. Diese falsche Schieferung lässt sich auch am Tage wahrnehmen, sowohl in den Schöllenen, als im Tunnelportal. Sie scheint übrigens eine in den Alpen nicht ungewöhnliche Erscheinung zu sein, lässt sich z. B. vielfach zwischen *Göschenen* und *Amsteg*, am deutlichsten aber vielleicht am *Monte Piottino* (Alte Platifer, Plattenberg) zwischen *Airolo* und *Faido* wahrnehmen. Die Parallelstruktur des häufig feingefalteten Gneisses verläuft an letzterem Ort überhaupt fast EW mit steilem Einfallen in N ; die viel deutlichere falsche Schieferung, welche jene Plattenabsonderung veranlasst, der der Berg seinen Namen verdankt, verläuft dagegen NW mit Einfallen in SW , d. h. völlig konkordant der Schichtung der *auf* dem Piottinogneiss aufliegenden Straten von Glimmerschiefergneiss, Glimmerschiefer, Quarzit, dolomitischem Kalk.

Sämmtliche auf der Nordseite des Gotthardtunnels wahrgenommenen Einlagerungen von *Glimmerschiefer* sind *gangartige* Bildungen, wie ihre *Discordanz* zu den umgebenden Gesteinsschichten, öfters wahrgenommene *Vertrümmerung* und gegenseitiges *Durchsetzen* beweist. Die Glimmerschiefergänge umschliessen oft *schollenartige Partien* des *Nebengesteins*, namentlich nahe ihrem Hangenden. In den Schöllenen verrieth die oft gewundene Form der sich häufig verzweigenden Runsen gleichfalls die Gangnatur des Glimmerschiefers, in welchen die Runsen eingeschnitten sind. Im Tunnel zeigten sich die Glimmerschiefergänge besonders *vor und in* der Zone des grauen Gneisses entwickelt. Südwärts von demselben verschwinden sie fast völlig.

Die sogenannten *Eurite* sind gleichfalls ohne Ausnahme *Gangbildungen*. Man kann *gewöhnlichen dicht gemengten Eurit*, *graugebänderten*, *felsitischen* (der Grundmasse vieler Felsit-

porphyre gleichend), *grobspäthigen* unterscheiden. Letzteres Gestein wird doch nur wegen analoger Lagerungsverhältnisse zu den eigentlichen Euriten gerechnet.

Diese Eurite gehören 2, wo nicht 3 Bildungsperioden an. Der gewöhnliche feinkörnige bildet Streifen im Gneissgranit, welche dessen Parallelstruktur der Hauptsache nach folgen; der gebänderte folgt theils der Parallelstruktur des ungebundenen Gesteines, theils schneidet er unter sehr verschiedenen Winkeln durch. Hierher gehören auch die meisten Eurite, welche Sohlbänder der Glimmerschiefergänge bilden oder in letztere eingeflochten sind. 4 à 6 m. mächtig tritt Eurit bei 1223 und 1348 m. auf. Sehr entwickelt sind Euritgänge bei 517 à 670, 930 à 950, 990 à 1000, 1090 à 1160, 1200 m., vielfach unter sich und mit dem Nebengestein verflochten bei 1410 und 1420 m. Ausser den schon erwähnten *NE*- und *NW*-Klüften, welche das Gestein häufig verplatten und seine falsche Schieferung veranlassen, sind zunächst Klüfte hervorzuheben, welche die Parallelstruktur spitzwinklig schneiden und jene Plattenabsonderung veranlassen, welche sich z. B. an der Teufelsbrücke so deutlich wahrnehmen lässt und welche man bald als Schieferung bald als Schichtung gedeutet hat. Diesen Klüften folgen häufig die erst erwähnten Eurite. *NE*- und *NW*-Klüfte, meist südlich, selten nördlich einfallend, waren nicht selten mit *Chlorit*, zwischen 1650 und 2000 m. mit *Eisenoxyd*, zwischen 1780 und 1800 m. auch ganz dünn mit *Kaolin* überzogen. *Schwebende Klüfte* sind von grossem Interesse, weil *nur* in Erweiterungen der denselben häufig folgenden *Fettquarzgänge* Krystalldrüsen vorgekommen sind. Diese Drüsen führen *Bergkrystalle*, *Adular*, *Kalkspath*, *Flussspath*, *Apatit*. Die Bergkrystalle sind oft zerbrochen, wieder verkittet und in pulverigen *Chlorit* eingebettet. Die Drüsen sind fast immer von sogenanntem *Drusengestein* umgeben, d. h. Gneissgranit, dessen schwarzer Glimmer durch Chlorit

verdrängt ist, welcher seine Parallelstruktur eingebüsst hat, lose und porös geworden ist. Es enthält mitunter *Flusspath* und *Kalkspath* und so viele lose miteinander verwachsene *Adularkrystalle*, dass er durch selbige ein zuckerkörniges Aussehen annimmt.

Altersfolge der genannten Gesteine:

- a. *Grauer Gneiss*, schollenartig im *Alpengranit* (ob identisch mit dem grauen Gneiss von 1100 bis 1537 m.?).
- b. *Alpengranit* und *grauer Gneiss* (ob letzterer nur glimmerreiche Strukturvarietät des ersteren?).
- c. *Aelteste Euritgänge*; sie folgen fast der Parallelstruktur des Gneissgranites. *Glimmerschiefergänge* und *Eurite* mit ihnen verwachsen.
- d. *Jüngere Euritgänge*.
- e. *Schwebende Quarzgänge* mit *Krystalldrusen* (und umgebendes *Drusengestein*).

Folgende Verwerfungen dienen theils als Beleg für diese Successionsreihe, theils beweisen sie die aufeinander folgenden Bewegungen im Gebirge, welche die verschiedenen Klüfte veranlassten:

- 1690 m.: 37 W | 62 NE-Klüfte setzen gegen 59 W | 72 SW-Klüfte ab.
 730m.: 57 W | 36 SW-Klüfte verwerfen 75 E | 70 N à 89 S Euritgang.
 1140 und
 1145 m.: 62 W | 85 SW-Klüfte „ 40 W | 30 SW Euritgang.
ibid. 40 W | 30 SW Eurite „ 67 W | 77 SW Eurite,
 925 m.: 74 W | 86 SW *Glimmerschiefer* schneidet 84 E | 55 SE Eurit d.
 811 m.: 75 W | 61 SW-Klüfte verwerfen 87 W | 80 à 90 S *Glschiefer*.
 884 m.: 63 E | 54 SW-Klüfte „ 64 NW | 80 S „
 806 m.: 31 E | 42 SE-Klüfte „ 87 NW | 80 u. 90 S „

Zur Feststellung des *Verhältnisses*, in welchem die skizzirten Gebirgsschichten zu einander stehen, scheint besonders erforderlich, dass selbige mikroskopisch und chemisch analysirt werden. In letzterer Beziehung scheint namentlich wünschenswerth durch Bauschanalysen festzustellen:

1. Das Verhältniss des *Alpengranites* zum *grauen Gneiss* und zu den im Gneissgranit eingeschlossenen *Schollen* von grauem Gneiss.

2. Das Verhältniss des *Glimmerschiefers* zum *grauen Gneiss*, und des im Glimmerschiefer vorherrschenden *grauen Glimmers* zu dem grauen Glimmer, welcher die falsche Schieferung veranlasst, sowie zum schwarzen Eisenglimmer im Gneissgranit.

3. Verhältniss des *Drusengesteines* zum gewöhnlichen Gneissgranit, sowie des *Chlorites* im Drusengestein zum *Eisenglimmer* im *Gneissgranit*.

Ursernthal. Die Grenze zwischen den hierher gehörigen Gesteinen und den beschriebenen, zum Finsteraarhornmassiv gehörigen befindet sich an Oberfläche unmittelbar *S* vom Urnerloch und korrespondirt genau mit der bei 2000 m. vom Tunnel durchfahrenen.

Die bisher durchfahrenen Ursernthalgesteine sind:

- a. *Contactgesteine*: glimmerreicher dünnschieferiger Gneiss, noch vom Typus des Finsteraarhorngneissgranites, durchflochten von *Quarz* und *Euritgängen*.
- b. *Ursernneiss*, dünnschieferiger glimmerreicher oft gestreifter Gneiss, in welchem der Feldspath oft als dichter Felsit ausgeschieden ist; sandkornähnliche Knoten auf dem Hauptbruch. Geht durch abnehmenden Feldspathgehalt in *Quarzitschiefer* über.
- c. *Graugrüner chloritischer Schiefer* und *Gneiss*, mit viel *Schwefelkies*.
- d. *Gneiss*, vom Typus des Finsteraarhorngneisses, und vielleicht Verzweigungen von diesem bildend.

Die *Schieferungsrichtung* dieser Gesteine im Tunnel entspricht genau der am Tage wahrnehmbaren. Von grösseren *Schichtenstörungen* kann also keine Rede sein; kleinere solche sind dagegen angedeutet durch vielfache *Biegungen*, *Knickungen*, *Harnische*, *letztige Zersetzung* mancher Schichten,

besonders im Urserngneiss und Quarzitschiefer, z. B. bei 2331 m., 2180 m. Die *Streichrichtung überhaupt N56 E. Einfallen* erst *S* bei 2000 à 2118 m. : 90° (81 à 90 *N*; 81 à 90 *S*); bei 2120 à 2160 m. : 88 *N*; bei 2217 à 2330 m. : 82 *S*. In der Kalkzone wird selbiges wieder *N* werden, und erst *hinter dieser* beginnt das *südliche Einfallen* der zum Gotthardfächer gehörigen Schichten.

Ueberhaupt lassen sich im Ursernthal 3 *Syn-* und *Antiklinallinien* wahrnehmen, welche doch keine Bruchlinien zu sein scheinen.

Die *Grenze* zwischen den *Schiefergesteinen* und der *Kalkzone* fällt bei *Altekirche* steil in *S*, bei *Ruestili* (linkes Reussufer) dagegen in *N*, bildet also eine windschiefe Fläche, welche aber — von ihrer schwachen Biegung abgesehen — ohne Zeichen von Verwerfung — die *Andermatter Ebene* durchsetzt. In der Tunnelprofilebene wird diese Grenzfläche steil in Nord einfallen. Nach dem bei *Altekirche* wahrnehmbaren und genau eingemessenen Profil (*allgemeine* Richtung der Schichten daselbst: 52½ *E* † 82 *S*) hat man *im Tunnel* zu gewärtigen:

- a. *Gneiss* bis 2578 m.
- b. *Glimmerschiefergneiss* bis 2609 m. (Quellenschicht).
- c. *Schwarzgraue dünne Schiefer (Glanzschiefer)* bis 2626 m.
- d. *Kalkglimmerschiefer* bis 2634 m.
- e. *Quarzitschiefer* (an der Oberfläche sandsteinähnlich) bis 2639 m.
- f. *Kalkglimmerschiefer* (an der Oberfläche zersetzt) bis 2647 m.
- g. *Cipollin*, zirka 35 m. mächtig. Südwärts von demselben repetiren sich die genannten Schichten in umgekehrter Ordnung. Es tritt zu selbigen aber vielleicht noch *Rauhkalk*, welcher nahe der Oberalpstrasse an einem Punkt zu Tage tritt, bei *Altekirche* aber fehlt.

Die südwärts von der Kalkzone folgenden *Sericitschiefer* (mit schwarzen und grünen Schiefen) entsprechen petrographisch, wenigstens am Tage, den bis jetzt im Tunnel aufgeschlossenen Urserngneissen, graugrünen Schiefen etc. Hierdurch sowohl als durch die Repetition der Schichten *N* und *S* vom Altekircher Cipollin wird die Existenz der Ursernschichtenmulde sehr wahrscheinlich.

Am *Ruestili* (linkes Reussufer) ist die Folge der (im allgemeinen *N*58 *E* † 63 *N* gerichteten) Schichten folgende:

- a. Glimmerschiefergneiss.
- b. 0,3 m. schwarzgrauer, zersetzter Schiefer (Glanzschiefer).
- c. Dunkelgrauer Kalk, theils fein krystallkörnig mit vielen weissen Kalkadern, theils dünnstiefriq, theils in Mergelschiefer übergehend. Derselbe scheint einer weniger durchgreifenden Metamorphose unterlegen zu haben, als die entsprechenden Schichten bei Altekirche.

Da bisher sämtliche in der Profilebene des Tunnels am Tage eingemessenen Gesteinsschichten auch im Tunnel aufgeschlossen worden sind, so scheint à priori die Annahme, dass dies mit der Ursernkalkzone *nicht* der Fall sein werde, unwahrscheinlich. Man kennt diese Schichten an der Furka in 2436 m. Meereshöhe; wenn sie also zur Andermatter Ebene zirka 1000 Meter tief herabreichen, warum sollten sie nicht noch 300 m. tiefer zum Tunnel sich erstrecken?¹⁾ Es gibt allerdings Gründe für eine andere Anschauungsweise. Die Sandsteine (Quarzite), welche die Kalkzonen sowohl des Tessin- als Rhone-Reussthales treu begleiten, zeigen sich immer da am meisten entwickelt, wo diese Zonen sehr zusammengedrückt und gehoben sind, z. B. in den Zusammenschnürungen des Nuffenen, der Furka, am

¹⁾ In der That wurde am 7. Oktober im Göschener Tunnelort Kalk angefahren.

Lago Ritom und oberhalb Altekirche, wo die Kalkzone (ostwärts) sich bald auskeilt. Sandstein- (Quarzit-)bildungen dürfen aber wohl im allgemeinen mehr als Strand, denn als Tiefseebildungen aufgefasst werden; wo sie sich relativ sehr entwickelt finden, hat man also Ursache die Nähe eines ehemaligen Strandes zu vermuthen. Ein solcher Strand *E* von Altekirche würde einem Busen angehört haben, dessen Längenschnitt ungefähr die Form einer halben Ellipse haben möchte. Denkt man sich die im Busen abgelagerten Schichten zu einer Mulde zusammengepresst, so würde deren Längenschnitt immer noch jenem des ursprünglichen Busens conform sein; desshalb wäre ja *denkbar*, dass der Tunnel unter dem *E*-Zipfel der Mulde hinlaufen könnte, ohne in diese einzuschneiden. Meinen Theils glaube aber, dass der Tunnel bei 2626 m. Kalkglimmerschiefer anschneiden wird.

2. Südseite des Gotthardtunnels.

Mit dem Voreinschnitt und den ersten 37 m. des südlichen Tunnelrichtortes wurden wechselnde dünne Schichten von *Sand*, *Kies*, *Grus* und *Torf* durchfahren, welche sich offenbar auf dem Boden und am *Strand eines ehemaligen See's* abgelagert haben. Die Grenzlinie dieses See's ist durch eine Reihe von Strandterrassen gekennzeichnet, die sich auf beiden Ufern des Tessin zum Canariathal und dieses aufwärts verfolgen lassen. Der See hat seinen Abfluss durch die Einmündung bei *Madrano* gehabt (zirka 1150 m. ü. M.) und entleerte sich bei successivem Einschneiden der zirka 50 m. tieferen Schlucht von *Stalvedro*. Unterhalb derselben befand sich ein zweiter See, verrathen durch die deutliche Strandterrasse, auf welcher in 1050 m. Meereshöhe die Kirche von *Prato* steht; dieser zweite See entleerte sich durch Einsägen der Schlucht von *Dazio grande* durch den *Monte Piottino*.

Das Material zu den Strandterrassen bei *Airolo*, deren eine durch den Tunnel aufgeschlossen wurde, lieferte eine Moräne, welche unmittelbar vor dem Tunnelportal dem Tessinthale entlang verläuft und theils aus *Gotthardgesteins-Fragmenten*, hauptsächlich aber aus Gesteinen des *Bedretto-thales* besteht, wie namentlich Gerölle des am *Piz Pesciora* anstehenden Granites mit *röthlichem* Quarz verrathen.

In dem Voreinschnitt zum definitiven Tunnel traf man zirka 3 m. unter Oberfläche auf eine von organischen Substanzen *dunkel gefärbte Sandschicht*, in welcher eine Menge behauener Holzspäne, Kohlen, Knochen von Ziege, Schaf und Schwein, Haselnusschalen, zerschlagene Bergkrystalle, Lederfetzen, Ueberbleibsel eines Holzgefässes, ein kleines Stück eines aus Tremolit gedrehten Gefässes etc. gefunden wurden — alle diese Gegenstände mehr und weniger mit *Vivianit* überzogen. Man glaubte fast eine »Culturschicht« vor sich zu haben, als Ruinen von einer Esse und ein Schleifstein ganz moderner Form das verhältnissmässig junge Alter der Schicht verriethen. Dieselbe dürfte der Miststätte eines ehemaligen Stalles am nächsten stehen. Nach einer Sage soll in der Nähe des Tunnelleinganges das ehemalige *Airolo* gestanden, durch einen Schuttstrom des *Ri di Jenni* aber verwüstet worden sein.

Zwischen 37 m. und 83 m. durchfuhr der Tunnel *dolomitische Kalke* und zwar die nördlichsten Schichten jener Zone, welche sich vom *Nufenenpass* das *Tessinthal* abwärts zieht, in der Nähe von *Airolo* aber in 3 Zweige vertheilt, deren einer das *Canariathal* aufwärts streicht, während der zweite zwischen *Fongio* und *Pianalto* nach dem *Lago Ritom* läuft, der dritte über *Nauti*, *Fiesso*, *Prato* nach *Cornorn*.

Die durch den Tunnel aufgeschlossenen Schichten bestanden aus *zuckerkörnigem, weissem, häufig roth geflecktem Dolomit*, aus *gelblichgrauem, zellulosem Rauhkalk*, beide

voll weisser *Glimmer-* und *grünlicher Talkblättchen*, denen sie ihre oft ausgezeichnete Parallelstruktur verdanken.

Der zuckerkörnige Dolomit besitzt wenig Zusammenhalt und zerfällt in Wasser oft zu Sand. Untergeordnet trat *krystallinischer dolomitischer Kalk* bei 82 m. in einer meterdicken Bank auf, *dolomitische Asche* bei ca. 67 m. und eine theils geschichtete theils ungeschichtete *Breccie* aus *Dolomit* und *Glimmerschiefer* nahe der Grenze der Kalkzone.

Durch das Vorkommen dieser Breccie scheint erwiesen, dass die Dolomitschichten *jünger* sind als die umgebenden Glimmerschiefer. Zwei dünne Schichten von *Quarzit* mit zwischenliegendem *Glimmerschiefer*, bei 85,6 und 90,4 m., sollten noch der Reihe der wahrscheinlich metamorphosirten Sedimentschichten zugefügt werden, da *Quarzit-* (und *Sandstein-*)einlagerungen fast nirgends fehlende Begleiter der Kalk- etc. -Schichten nördlich und südlich vom Gotthard sind. Wir finden sie z. B. am *Nufenen*, im *Gotthardtunnel*, am *Lago Ritom*, bei *Prato*, anderseits am *Lungisgrat*, *Furka*, bei *Realp*, *Altekirche*. Diese Quarzite des Tunnels enthalten ein wenig *Dolomit* und *Anhydrit* eingesprengt, wovon letzterem sie wohl die Eigenschaft verdanken im Wasser zu Sand zu zerfallen. Als Bänke ausgeschieden sind Anhydrit oder Gyps im Tunnel nicht vorgekommen, und es will scheinen, als ob die in der Gegend so häufig auftretenden Gyps- und Anhydritmassen stockförmige Einlagerungen seien, welchen bis jetzt noch keine gewisse Stellung in den umgebenden Dolomitschichten hat zugetheilt werden können.

Von 83—1141 m. erstreckten sich *graue Glimmerschiefer*, anfangs *silbergrau*, *lose*, *fast frei von Granaten*, mit nur sparsamen *schwarzen Glimmerblättchen*, später charakterisirt durch zahlreiche, bis nussgrosse Granaten, neben welchen sich auch häufig *Hornblendestrahlen* einfanden, gewöhnlich aber zu schwarzem Glimmer zersetzt. Die Glimmerschiefer

umschlossen einzelne Einlagerungen von *Amfibolgestein* und viele solche von *Quarzitschiefer* und *Quarzitglimmerschiefer*, enthielten bei 220—225, 235, 277, 288, 304, 437—444, 620, 650—807 u. a. P. Adern und Streifen von *krystalinischem Kalk*. Die betreffenden kalkhaltigen Schichten hat man als *Kalkglimmerschiefer* ausgeschieden, da ihr Auftreten vielleicht dereinst den Schlüssel zur Identificirung der Schichten auf beiden Seiten des Tessinthales abgeben könnte. Diese Kalkglimmerschiefer sind jenen des rechten Tessinthalganges allerdings nicht völlig gleich, sind namentlich viel ärmer an Kalk, welcher in denselben auch weniger in Lamellen parallel der Schieferung als in Form von Adern vorkommt; und einige derselben sind offenbar nur Umwandlungsprodukte von Hornblendegesteinen, der früher s. g. *Hemithrène* am nächsten verwandt. Auffällig aber ist das häufige Zusammenkommen (im Tunnel) dieser *Kalkglimmerschiefer* mit *dunkelgrauen, dichten, oft phyllitischen Glimmerschiefern*, welche durch kleine *Granaten* auf dem Hauptbruch oft knotig erscheinen und auch dadurch den *Knotenschiefern* des Nufenen gleichen (700 à 800 m.) Es wurde beobachtet, dass am Nufenen zweierlei Knotenschiefer vorkommen. Bei den einen sind die Knoten *Granaten*, bei den anderen Wülste und hagelgrosse Körner eines zeolithartigen Minerals; *nur die Letzteren* führen am Nufenen Belemniten.

Zwischen 1141 und 2010 m. waren die vorherrschenden Gesteine *graugrüne chlorithaltige Glimmerschiefer*, aussen durch graugrüne quarzige Grundmasse und gewöhnlich durch zahlreiche Schuppen von *braunem Glimmer* charakterisirt, aber fast frei von Granaten. Diese Schiefer umschlossen Einlagerungen von *Hornblendegestein*, von *Quarzitschiefer* (gewöhnlich sehr reich an *Schwefelkies*, daher an Oberfläche rostig verwittert — Sasso rosso) und von *Quarzitglimmerschiefer*, mit *häutigem, silbergrauem, oft roth ange-*

laufenem Glimmer neben schuppigem braunem, am Tag oft von gneissähnlichem Aussehen. An vielen Stellen wurden auch die graugrünen Schiefer durch *Kalkadern kalkglimmerschieferähnlich*, und bei 1810, 1830 u. a. P. umschlossen sie Schichten der schon oben erwähnten *dunkelgrauen Knotenschiefer*.

Von 2010 à 2200 m. stellten sich wieder *Amfibolgranatglimmerschiefer* und *Amfibolgesteine* ein. *Feldspath* als Gesteinsbestandtheil ist nur ausnahmsweise und in geringer Menge vorgekommen, z. B. im *Quarzit* bei 600 m. und in den graulichgrünen Schiefen von 1141 m. ab.

Disthen und *Staurolith* ist zwar vorgekommen (631, 180 und 186), aber immer nur spurenweise, *Disthen* (*Cyanit*) bei 180 und 186 in Quarzgängen eingewachsen, so dass das Vorkommen von *Staurolithschiefern* im Tunnel nicht konstatiert werden konnte. Aufmerksamkeit verdienen noch *scheinbare Gerölle im Glimmerschiefer* und *Hornblendegestein* bei 390 à 400 m.

Lagerungsverhältnisse. Die mittlere *Schieferungsrichtung* der hier aufgezählten Gesteine war im Tunnel *N 46 E* † *64 NW*; Einfallen in Profilebene erst 56° , später 58° ; am Tage hingegen *N 38 E* † *52 NW*; Einfallen in Profilebene bis 1300 m. 41° , später steiler, bis 60° . Hierdurch ist eine *Schichtdrehung* angedeutet, welche doch mit der *Gotthardfächerstellung* an und für sich *nicht identisch ist* und offenbar der *Schwerkraft* ihren Ursprung verdankt. Die wesentliche *Verklüftung* *N 78 W* à *77 E* † *30 à 60 S* und *NNW* † *90 W* erklärt den Vorgang dieser Drehung vollständig. Aus zahlreichen beobachteten Verwerfungen folgt nämlich, dass ein durch *NNW*-Klüfte begrenzter Streif irgend welcher Schicht durch aufeinander folgende *EW* † *S*-Klüfte quer zerschnitten worden und stückweise an denselben Klüften abgerutscht ist. Da die *EW* † *S*-Klüfte den Streif aber nicht völlig

rechtwinkelig durchschneiden, so musste mit Abrutschung der einzelnen Schichtenstücke auch eine seitliche Verrückung derselben verknüpft sein, welche leicht erklärlich macht, dass das *Streichen* eines gegebenen Schichtenstreifens am Tage *mehr* nördlich als im Tunnel.

Den *EW*—*S*-Klüften entsprechen zahlreiche schmale Gänge von *Quarz*, seltener von *Kalkspath*, vereinzelt von *Pegmatit*. Jünger als dieselben (welche übrigens nachmals wieder aufgerissen wurden) sind offenbar die *NNW*-Klüfte, welchen mitunter *Kalkspathtrümmer* parallel verlaufen. Am merkwürdigsten ist ein hierher gehöriger Gang, gefüllt mit *Kalkspath*, *kleinen Quarzkrystallen*, einem *grünen dichten Ganggestein* mit vielen *Schwefelkieskrystallen* (z. Th. zu *Brauneisenstein* zersetzt). In demselben, welcher in *N 3 à 4 W*—*79 à 86 W* verläuft, fand sich zwischen 495 und 500 m. eine *natürliche* Legirung von *c. 35 Ag 65 Au* in dünnen Blechen und Zacken.

Der besprochenen Verklüftung und den vielfachen mit ihr verknüpften Bewegungen verdanken *zahlreiche Spalten* ihren Ursprung, welche von grosser technischer Bedeutung sind, weil durch sie Tagewässer massenhaft in den Tunnel getreten sind und vielorts eine *lettige Zersetzung* des Gesteins eingeleitet haben, welche namentlich die ersten 260 m., dann zwischen 680 und 720, 750 und 770, 1800 und 1810, 2200 m. den Tunnelbau erschwerten.

Geologische Hauptaufgaben scheinen:

1) Ermittlung, ob vielfach sich wiederholende, petrographisch identische Schichten von z. B. *Granat-Glimmerschiefer*, *Quarzit*, *Amfibolgestein* nicht auch geotektonisch identisch sind, d. h., ob ihre Repetition Folge von Fältelung sei.

2) Feststellung, ob die von 1141 m. ab auftretenden *graugrünen Chloritglimmerschiefer* und *Quarzitglimmerschiefer* sich nicht mit jenem *N* von Altekirche identificiren lassen.

3) Beweisführung, dass die *Kalkglimmerschiefer* und *dunkelgrauen dichten Knotenschiefer* des Tunnels den ähnlichen Gesteinen am rechten Tessinthalgehänge zwischen Nufenen und Prato entsprechen.

B.

Wasserzuflüsse.

Gruben, welche unter Meer, Seen und Flüssen arbeiten (Newcastle on Tyne, Cornwallis, Hellgote bei Newyork etc.), haben längst bewiesen, dass oberflächliche Wasseransammlungen an und für sich durchaus nicht unterirdische Arbeiten gefährden. Für den Tunnel hat man also à priori nichts zu fürchten, weil er unter dem *Lago di Sella*, oder dem in Zeitungen vielbesprochenen « *unterirdischen See von Andermatt* » hinläuft. Erst wenn *wasserdurchlässige Schichten*, welche sich am Tage meist als *Quellschichten* verrathen, von unterirdischen Bauen angeschnitten werden, hat man in letzteren Wasserzuflüsse zu gewärtigen, um so grössere, je grösser die *Permeabilität*, das *Wassersammlungsgebiet* fraglicher Schichten und die auf letzteres fallende *Regenmenge* ist.

Die Quellschichten bestehen theils aus an und für sich porösen Gesteinen, wie z. B. *Sand*, *verwitterten Sandsteinen*, *Rauhkalken*, theils aus sehr *zerklüfteten Gesteinen*; theils bilden sie die *Grenzscheiden* zweier verschiedener Schichten. Auf der *Göschener Tunnelseite* hätte man als Quellschichten die *Glimmerschiefergänge* zu fürchten gehabt, in welche an der Oberfläche tiefe Schluchten eingerissen sind. Dieselben besitzen aber sämmtlich nur ein geringes Wassersammlungsgebiet, welches ausserdem so steil nach dem Reussthal hinabstürzt, dass die Regenwässer rasch ablaufen. Daher ist erklärlich, dass diese Glimmerschiefergänge dem Tunnel wohl *Tropf*, aber *keine bedeutenderen Wasserzuflüsse* brachten. Nur im grossen und hinteren Teufelsthal sind mir nahe der Tunnelstrecke Göschenen-Urnerloch permanente Quellen

bekannt, welche aus *NNW* gerichteten Klüften entspringen. In der That stellten sich auch die schon im *Junirapport pr. 1874* vorausgesagten Wasserzuflüsse bei Unterfahung des Winkels zwischen grossem Teufelsthal und Reussthal im Oktober 1874 ein, waren aber auf *starken Tropf* beschränkt, welcher erst bei Erweiterung des Tunnels, besonders auf linker Seite, zu *Regen* zunahm (1495 m. v. P.).

Fast alle *Krystalldrusen* der Göschener Tunnelseite waren beim Oeffnen mit Wasser gefüllt, lieferten aber nach der Entleerung nur noch Wassertropfen.

Die trotz viermaliger Reussunterfahung im Göschener Tunnelort herrschende allgemeine Trockenheit liefert einen guten indirekten Beweis dafür, dass das Reussthal *kein Spaltenthal* sein kann. Es ist durch Gletscher, später Wasser erodirt; beide aber wirkten in den *am meisten zerklüfteten* Zonen des vorliegenden Gneissgranitgebietes, und ihre Richtung wurde ausserdem durch eingelagerte weichere Gesteinschichten (Glimmerschiefergänge, grauer Gneiss von Teufelsthälern zu Gallerie) bestimmt.

Nach Eintritt des Tunnels unter das Ursernthal nahmen die Wasserzuflüsse zu und wurden namentlich bemerklich an jenen Punkten, wo die am Tage wahrnehmbaren kleinen Quellschichten (im Sommer fast trocken) durchschnitten wurden. Diese Quellschichten verriethen sich im Tunnel sofort, nicht nur durch Wassertropf und Regen, welchen sie brachten, sondern auch durch *letttige Zersetzung des Gesteines* (2200, 2330 etc.). Eigentlich *zu fürchten* sind hier nur die *Quellschichten nächstvor* und *hinter* der *Altekircher-Kalkzone*; die Mitte der ersteren, welche starke permanente Quellen liefert (von einer derselben wird Bellevue versorgt), ist im Tunnel bei ca. 2590 m. v. P. zu gewärtigen.

Airolöseite. Hier waren à priori starke Wasserzuflüsse in dem Gebiet des *dolomitischen Rauhkalkes* zu gewärtigen,

ferner in den Zonen, welche durch die früher beschriebene Verklüftung am meisten zerrissen und zerspalten sind und welche sich an der Oberfläche als *wasserreiche Quellschichten* dokumentiren. Die Erscheinung der Wasserzuflüsse im südlichen Tunnelort war eine ganz regelmässige, durch Schichtung und Verklüftung bedingte. Aus der eigentlichen Wasserschicht (*gen NW einfallend*) flossen schon lange vor ihrem Anschneiden dem Tunnel durch *Süd einfallende* Querklüfte Wasser zu, welche meist erst in der Sohle, dann Ortsmitte, endlich Firste erschienen, beim ersten Anbohren oft starke Strahlen unter 1,6 und 3 m. *effektivem* hydrostatischen Druck bildeten, später aber als *Sohlenquellen, Ulm-wasser, Tropf* und *Regen* aus First weniger stark gepresst hervortraten. Die Zuflüsse aus einer solchen Wasserkluft nahmen oft ab, hörten zum Theil auf, als eine nächstfolgende Wasserspalte angeschnitten wurde, und fast sämtliche schon durchfahrene Wasserspalten hörten zu fliessen auf, als die *eigentlichen Wasserschichten*, aus denen die Hauptwässer kamen, mit dem Tunnel durchfahren wurden. So geschah es beim Durchfahren von der Quellschicht 500 à 509 m. mit den rückwärts fliessenden Kluftwässern, weniger durchgreifend beim Durchfahren der Quellschicht 810 à 840 m., welcher die vom Tunnel gezapften oberen Ortsbrunnenquellen entstammten.

Die beiden, eben erwähnten, Quellschichten liegen in einem schwer auseinander zu haltenden Wassergebiet, welches durch die *Quarzitschicht* Nr. 68 (im Tunnel bei 935 m. beginnend) gegen Nord natürlich begrenzt ist.

Aus der Lage der äussersten in diesem Gebiet versiegten Quellen folgt, dass die Ebene, welche den Wasserzufluss nach dem Tunnel begrenzt, *E* von demselben $13^{\circ} 55'$, *W* von ihm aber $31^{\circ} 45'$ einfällt; dass die Nordgrenze des Dreiecks, welches (*auf Horizontalplan projecirt*) sämtliche versiegte Quellen umschliesst, *N* $51^{\circ} 25'$ *E* die Estgrenze

vom Tunnelportal aus $33^{\circ} 44'$, die Westgrenze dagegen $59^{\circ} 2'$ (gegen die Tunnelaxe) divergirt. In Folge der Unebenheit des Bodens bildet das Gebiet der versiegten Quellen eine unregelmässige Figur mit $650,000 \square\text{M.}$ *Flächeninhalt.* Das aus diesem Gebiet dem Tunnel zufließende *Wasserquantum* ist bis 227 Litres pr. Sekunde gestiegen, betrug also viel mehr als durch gleichzeitige atmosphärische Niederschläge auf das gleiche Gebiet zugeführt wurde.

Das Plus entstammte theils in den Gesteinsspalten *aufgespeicherten Wässern*, theils dem Umstand, dass das *Wassersammelgebiet* der gezapften Quellen ein viel grösseres ist als die Fläche, auf welcher diese Quellen entspringen. Bei Annahme einer mittleren Regenmenge in Airolo von monatlich $R = 92,4 \text{ Litres}$ pr. Quadrat-Meter lässt sich das *Tunnelabflussquantum* (für die ersten 950 m. v. P.) empirisch durch $q = 0,047 L^{1,283}$ ausdrücken ($L = \text{Länge von Portal}$), bei einer monatlichen Regenmenge, welche die mittlere um ΔR über- oder untersteigt, aber durch

$$q = (0,053 \pm 0,000034 \Delta R) L^{1,283},$$

wozu doch anzumerken, dass erst 8 à 14 Tage *nach* Beginn einer Regenperiode vergrösserte Zuflüsse im Tunnel merkbar wurden. Bei einem Maximal-Niederschlag von 477,2 Litres pr. Monat pr. $\square\text{M.}$ (also $\Delta = 348,8$) würde mithin der Gesamtabfluss 25% über dem mittleren, bei völliger Trockniss ($\Delta = -92,4$) aber 6% unter dem mittleren betragen, vorausgesetzt dass der Perimeter des fertigen Tunnels nicht grösser wäre als jener des Richtstollens.

Die Area des *Wassersammelgebietes* der versiegten Quellen ist (wenn $Q = \text{Abflussquantum pr. Monat}$)

$$F = \frac{Q}{R} = 1338,8 L^{1,283} = 8,900,000 \square\text{M.},$$

falls für Q der nach obiger Formel *berechnete* Werth eingesetzt wird. Setzt man hingegen den für $L = 950 \text{ m.}$ *wirklich beobachteten* ein, so wird $F = 6,400,000 \square\text{M.}$

Diese Fläche deckt sämtliche bis zur Gneissgrenze noch vorliegende Quellgebiete, wesshalb auch, trotz vor Ort hinzukommender neuer Zuflüsse, keine merklich grösseren Abflüsse zu gewärtigen sind, sobald die aufgespeicherten Wasser erst abgeflossen sind, und so lange das Tunnelrichtort nicht erweitert ist.

Ein zweites Quellgebiet, nördlich von dem eben behandelten, streckt sich von *Sola di Sassorosso* durch *Sola grande di Stuci* nach *Cima del Bosco*.

Die betreffenden Schichten wurden im Mai d. J. zwischen 1800 und 1810 m. (No. 88) als *sehr zersetzte, lettig aufgelöste dunkelgraue Glimmerschiefer* durchfahren, waren aber *trocken*. Durch weite offene Spalten scheint diese Quellenschicht schon im November 1874 zwischen 1220 und 1250 m., wo gegenwärtig die meist concentrirten Wasserzuflüsse des Tunnels hervortreten, sich entleert zu haben.

Ein drittes grosses Quellgebiet erstreckt sich im *Grasso del fondo*, unmittelbar unter *Cima della misura*. Es wird vom Tunnel zwischen 2450 und 2650 m. durchfahren werden. Ein kleiner Quellstrich, nahe *Grasso di Dentro* zwischen dem 2ten und 3ten Quellgebiet gelegen, entleert sich gegenwärtig durch Spalten in den Tunnel.

In der *letzten* Zeit ist eine bedeutende, bis auf 348 Litres pr. Sekunde steigende Wassermenge dem Tunnel entflossen. Die Zunahme muss theils dem erweiterten Tunnelquerschnitt, theils aber den bedeutenden atmosphärischen Niederschlägen der vergangenen Monate zugeschrieben werden. Dass die Zunahme mehr rückwärts liegenden Zuflüssen, als solchen vor Ort entstammt, beweist die Temperatur der Abzugswässer vor Portal, welche von 11,0 auf 10^o,8 *sank*, als der Abfluss von 280 Litres (Juni) auf 348 Litres (Juli) *sich vermehrte*.

C.

Temperatur-Verhältnisse.

Im Gotthardtunnel wurden fortlaufende Beobachtungen über *Gesteins-, Luft- und Wassertemperaturen* angestellt.

Verfahren.

Die *Gesteinstemperaturen* wurden durch Thermometer ermittelt, die in bis 1 m. tiefe Bohrlöcher luftdicht verkittet waren. Die Thermometer blieben ungestört stecken, bis die Ablesung an dem aus dem Loch hervorragenden, graduirten Röhrenende konstant blieb. Die Ablesung wurde corrigirt: hinsichtlich des verschobenen Nullpunktes des Gesteinsthermometers; hinsichtlich dessen Neigung; hinsichtlich des Einflusses der verschiedenen Temperaturen, welche auf das Quecksilber in dem aus dem Loch hervorragenden und im Bohrloch versenkten Röhrenstückes einwirken. Zu vergleichenden Versuchen wurde auch ein von Prof. Everets entliehenes Maximumthermometer nach *W. Thomson's* Construction im Bohrloch hermetisch eingeschlossen, erst nach 8 und 14 Tagen wieder herausgenommen und abgelesen.

Da das oftmalige Zerschlagen der langen und theuren Gesteinsthermometer diese Versuche umständlich und theuer machte, Thomson's Maximalthermometer ohne vorherige Abkühlung aber unrichtige Resultate ergeben, so sollen in Zukunft kleine Thermometer verwendet werden, welche in einer Messinghülse mit Talg auf dem Boden des hermetisch verschlossenen Bohrloches verbleiben werden, so dass sie die Temperatur des umgebenden Gesteins annehmen können, während die Talghülle während des Ablesens den Einfluss der äusseren Temperatur verzögert.

Die Wassertemperaturen lassen sich mit gewöhnlichen korrekten Thermometern ohne Weitläufigkeit mit grosser Sicherheit ermitteln. *Die Bestimmung der Lufttemperaturen* vor Ort erfordert immer viel Geduld und Zeit, da Lampen,

Arbeiter, Explosionen, ausströmende Luft zu störend auf diese Beobachtungen einwirken. Nach und nach hat man sich doch daran gewöhnt diese Beobachtungen immer auf gleiche Weise anzustellen, so dass sie brauchbare Mittelresultate ergeben. Anfangs zeigte an gleichem Punkt vor Ort das Thermometer beim Schuttern bis 6° höher als während des Bohrens. Diese Differenz ist während Verlängerung des Richtstollens allmählig auf 2 à 3° herabgegangen — lediglich in Folge der durch die längeren Luftleitungen herbeigeführten Reduktion der Luftspannung, in Folge dessen die aus den Bohrmaschinen strömende Luft weniger erkaltet.

Versuche vor Ort, Metall- Minimi- und Maximi-Thermometer von *Hermann und Pfister* anzuwenden, schlugen fehl, da die Lufterschütterung beim Abschiessen der Minen noch auf 100 à 200 m. Entfernung von Ort die wirksame Metallfeder dieser Thermometer in sehr merkliche Oscillation versetzte.

Gesteinstemperatur-Beobachtungen.

Um die Tiefe zu ermitteln, in welcher die Aenderung der Gesteinstemperatur (seit Aufschliessen des Beobachtungspunktes) noch $= 0$ angenommen werden könne, wurde im Göschener Tunnelort bei 800 m. vom Portal in 1118 m. Meereshöhe 532 m. vertikaler, 405 m. kürzester Tiefe unter Oberfläche ein Gesteinsthermometer erst 1 m. tief, später $0,4$ m. tief eingekittet. Es zeigte im ersteren Fall $17^{\circ},85$, im letzteren $18^{\circ},15$ (nach Vornahme aller Correkturen), während die mittlere Temperatur der umgebenden Luft $20^{\circ},48$ betrug. Da am Beobachtungspunkt seit 7 Monaten keine Arbeit stattgefunden hatte, so schien zu folgen, dass in genannter Zeit bei einer Differenz der Gesteinstemperatur und Lufttemperatur von $20^{\circ},48 - 18^{\circ},15 = 2^{\circ},33$ C. die Temperatur des Gesteins zu $0,4$ m. Tiefe um $18^{\circ},15 - 17^{\circ},85 = 0^{\circ},3$ *zugenommen* habe.

Ein widersprechendes Resultat aber ergaben Versuche bei 1443 m. vom Portal in 1121 m. Meereshöhe, zirka 210 m. unter Thalsohle. Drei neben einander eingekittete Thermometer zeigten:

in $\frac{1}{3}$ m. Tiefe	17,040	}	bei erneuerten Versuchen mit	170,32	
» $\frac{2}{3}$ » »	170,53			andern Thermometern aber	170,37
» 1 » »	180,15				180,17.

Die Temperatur der umgebenden Luft betrug im Mittel 20°,14 C.; seit der letzten Arbeit am Beobachtungspunkt waren 4 Monate verstrichen.

Der Widerspruch zwischen beiden Resultaten erklärt sich *vielleicht* zum Theil daraus, dass Erwärmung des Gesteines durch die letzten Sprengschüsse zu 1 m. Tiefe stattgefunden und seit 4 Monaten keine entsprechende Abkühlung wieder eingetreten war.

Uebrigens ergaben diese Versuche, dass die Gesteinsthermometer 3 à 4 Tage nach der Einkittung ihren Stand nicht mehr änderten, *ferner* — und dies ist das *wesentlichste Resultat* — dass die ermittelten *Gesteinstemperaturen* fast genau *übereinstimmen* mit den 13 à 6 Monate früher in gleicher Portalentfernung, aber unmittelbar vor Ort bestimmten *mittleren Lufttemperaturen*.

Bei 800 m.	war die Lufttemperatur vor Ort . . .	170,80
» » » » »	Gesteinstemperatur (1 m. tief)	170,85
» 1443 m.	» » Lufttemperatur vor Ort . . .	170,29
	(40 à 20 m. hinter Ort	180,35)
» » » » »	Gesteinstemperatur (1 m. tief)	180,16.

Bis zahlreichere direkte Gesteins-Temperaturmessungen gemacht worden, darf man also die *vor Ort* ermittelten Lufttemperaturen als den Gesteinstemperaturen entsprechend ansehen, auch annehmen, dass für den Gang der mittleren Lufttemperaturen ermittelte empirische Gesetze zugleich den Gang der Gesteinstemperaturen ausdrücken.

Lufttemperatur-Beobachtungen.

Auf *Tab. 1* sind die Beobachtungen der Lufttemperaturen im Göschener Tunnel zusammengestellt und zwar bis 930 m. vom Portal, jedesmal die *Mittel* sämtlicher Beobachtungen *während eines Monats*, von da ab aber die *Mittel* sämtlicher Beobachtungen von 100 zu 100 m. Die direkten Beobachtungen, welche diesen Mittelwerthen zu Grunde liegen, finden sich sowohl in den Monatsberichten des Bundesrathes, als den gedruckten geologischen Profilen und Tabellen längst veröffentlicht. Einem nach *Dufour's* Curvenkarte in 1/50000 konstruirten Längenprofil des Tunnels sind die in der zweiten Columne zusammengestellten *mittleren Höhen* des überliegenden Gebirges entnommen.

Man hat aus diesen Daten (und der in der ersten Columne stehenden mittleren Portalentfernung) für die ersten zirka 1000 m. des Göschener Tunnelortes nach bekannter Methode versuchsweise die Formel

$$T^0 = 6^0,82 + 0,04 H - 0,01 L$$

$$T^0 = 6^0,82 + 0,02509 H$$

$$T^0 = 6,82 + 0,299 4645 H^{0,596192}$$

hergeleitet.

In diesen Formeln bedeutet 6^{0,82} die (bekannte) mittlere Jahrestemperatur zu Göschenen, *H* die mittlere vertikale Höhe des überliegenden Gebirges, *L* die mittlere Entfernung vom Portal (beide in Metern), *T* die gesuchte Lufttemperatur in Celsius. Da bis zu zirka 800 m. vom Portal das Gebirge ziemlich gleichmässig ansteigt, so lässt sich für diese Strecke *H* als Funktion von *L* ausdrücken; deshalb sind auch die Formeln 1 und 2 in Wirklichkeit identisch, so lange das Verhältniss zwischen *H* und *L* kein anderes wird, als es für die ersten 800 m. des Tunnels war. Für grössere Tunnellängen aber wird dies Verhältniss wesentlich anders, und deshalb führt bei solchen die Formel 1

auch zu absurden Resultaten. Verglichen mit den Resultaten der letzten Formel sind die in Rechnung eingeführten Beobachtungsdaten mit einem mittleren Fehler $1^{\circ},36$, einem wahrscheinlichen $0^{\circ},91$ behaftet. Da das nach der Dufourkarte konstruierte Längenprofil zu wenig genau ist, so können die Differenzen nicht sehr auffallen; eben so wenig, dass die in den nächstfolgenden 1500 m. des Göschener Tunnels angestellten Temperatur-Beobachtungen mit den nach der Formel berechneten nicht gut übereinstimmen.

Bei 100 à 200 m. vom Portal wurde im Richtort der Einfluss der *äusseren* Lufttemperatur unmerkbar; nach Erweiterung des Tunnels ist ein solcher dagegen noch bei 800 m. vom Portal wahrnehmbar.

Durchweg ist die Lufttemperatur im Tunnel nach erfolgter Erweiterung etc. des Richtstollens um 2 à 3^o über die unmittelbar vor Ort beobachtete gestiegen.

Diese Bearbeitung der Göschener Lufttemperatur-Beobachtungen ist wegen Mangels an einem direkt erhobenen Längenprofil der Göschener Tunnelseite noch sehr unvollkommen. Vergleicht man aber die Beobachtungsergebnisse direkt miteinander, so ergibt sich, dass die Zunahme der Lufttemperatur vor Ort der Zunahme der überliegenden Gebirgshöhe nicht proportional wachsen kann. Unter der *Andermatter Ebene* herrschte bei zirka 300 m. Gebirgstiefe z. B. $21^{\circ},49$, unter dem *höchsten Punkt der Schöllenenpassage*, bei zirka 511 m. Gebirgstiefe, aber $18^{\circ},86$.

Die Schöllenenpassage führt allerdings unter so coupirtem Terrain hin, dass *vertikaler* und *kürzester* Abstand von demselben Tunnelpunkt zu Oberfläche um Hunderte von Metern differiren können.

Die in der *Airolotunnelseite* zwischen 0 und 2180 m. vom Portal angestellten Lufttemperatur-Beobachtungen finden sich auf Tab. 3 zusammengestellt, und zwar immer die

Temperatur-Beobachtungen im Gotthardtunnel. Göschenen 0-2450m v. P.

Entfernung von Portal + 105 L.	Eingeführte Höhe des oberliegenden Gubingess; vertikal gemessen: H.	Temperatur in C.						Festst.-temperatur.	Wasser-temperatur.	Anmerkungen.
		Temperatur vor Portal: t.	Beobachtete Lufttemperatur: T.	Berechnet nach $T = 60,82 + 0,02509 H$	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.	Berechnet nach $t = 60,82 + 0,2995 H - 0,506$	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.			
10,5	14	1,2	1,8	7,17	-5,37	8,26	-6,46			Von Berechnung der Formel ausgeschlossen.
110,5	60	1,2	9,1	8,33	+0,77	10,25	-1,15			
210,5	130	1,2	14,3	10,08	+4,22	12,29	+2,01			
227,5	148	19,0	15,0	10,53	+4,47	12,71	+2,29			
320,5	182	12,0	20,5	11,39	+9,11	13,51	+6,99			Von Berechnung der Formel ausgeschlossen.
384,0	235	13,3	16,1	12,72	+3,38	14,59	+1,51		bei 335 m. 130,8.	
456,5	283	7,0	15,0	13,92	+1,08	15,50	-0,50		bei 332 m. 140.	Aus diesen Beobachtungen wurden die Formeln
536	357	2,3	15,3	15,78	-0,48	16,78	-1,48			$T = 60,82 + 0,04H - 0,01 L$
571	395	-1,0	16,6	16,73	-0,13	17,40	-0,80			$T = 60,82 + 0,2509 H$
680	485	-1,0	19,6	18,99	+0,61	18,81	+0,79			$T = 60,82 + 0,2994645 H - 0,306102$ hergeleitet.
750	520	3,0	18,8	19,87	-1,07	19,33	-0,53			Nach letztern sind die Beobachtungen mit einem
790	529	4,25	17,8	20,09	-2,29	19,45	-1,65			<i>mittleren Fehler</i>
860	523	6,6	18,68	19,94	-1,26	19,35	-0,67		bei 800 m. 18,97	$f = 1036$, einem <i>wahrscheinlichen Fehler</i>
930	500	10,07	19,4	19,37	+0,03	18,99	+0,41		0,4 m. ff. 17,935	$f = 0991$ behaftet.
à 1000	.	20,9	19,06						1 m. ff.	Die in Berechnung gezogenen Beobachtungen sind nach Monaten gruppirt.
à 1100	.	15,78	19,14							Die Höhen der Dufourkarte in $1/50000$ entnommen, nach der im ersten Quartalsbericht des Bundesrathes mitgetheilten Situation der Tunnellinie. Die Längen bis 930 ^m rechnen von Tunnelmündung, d. h. 10 ^m von Portal.
à 1200	.	17,50	18,8							60,82 ist die mittlere Jahrestemperatur zu Göschenen nach den Beobachtungen im <i>ehemaligen</i> Bursengebäude.
à 1300	.	20,7	18,15							
à 1400	.	11,42	17,60							
à 1500	.	8,4	17,73						bei 1443 m. 17,035	
à 1600	286	1,9	18,90						0,33 m. ff. 17,045	bei 1400 m. "
à 1700	308	3,7	20,0						0,66 m. ff. 19,015	1500 m.
à 1800	270	-1,35	21,11						1 m. ff. 20,5 m.	17,01
à 1900	299	3,38	19,62						20,5 m. n. 0,66.	später 16,62
à 2000	311	7,8	20,12							
à 2100	312	14,57	20,51							
à 2200	312	19,4	21,62							
à 2300	306	16,97	21,17							
à 2400	306	16,95	21,69							

Leere Seite
Blank page
Page vide

Beobachtungen über Wassertemperaturen im Gotthardtunnel Airolo: 0-2180^m v. P.

Entfernung vom Portal.	Vertikale Höhe des überliegenden Gebirges: H.	Kürzester Abstand zu Oberfläche: N.	Temperatur 10 C.					Anmerkungen.
			Beobachtet.	Berechnet nach $t = 7,9735 + 0,0043542 H + 0,00000503 N^2$	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.	Berechnet nach $t = 7,9213 + 0,0115 N + 0,00000096 N^2$	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.	
à 100	19,3	19,0	8,42	7,83	-0,59	7,43	-0,99	Von Berechnung der Formel ausgeschlossen.
à 200	49,9	45,5	8,00	7,99	-0,01	7,74	-0,26	
à 300	90,5	78,3	8,30	8,22	-0,08	8,12	-0,18	
à 400	131,4	117,6	8,80	8,46	-0,34	8,58	-0,22	
à 500	169,5	153,9	8,79	8,70	-0,09	9,01	+0,22	Aus diesen Beobachtungen wurde die Formel $t = 7,9735 + 0,0043542 H + 0,00000503 N^2$ hergeleitet. Mittlerer Fehler der (in Berechnung der Formel gezogenen) Beobachtungen $f = 0,042$; wahrscheinlicher Fehler $f = 0,028$.
à 600	214,4	191,6	8,75	9,01	+0,26	9,45	+0,70	
à 700	285,9	238,3	8,77	9,53	+0,76	10	+1,23	
à 800	361,2	286,0	10,63	10,14	-0,49	10,58	-0,05	
à 900	434,1	341,4	10,37	10,79	+0,42	11,26	+0,89	
à 1000	508,7	404,9	11,38	11,51	+0,13	12,03	+0,65	
à 1100	606,9	465,4	13,30	12,53	-0,77	12,78	-0,52	
à 1200	690,9	522,5	13,35	13,49	+0,14	13,50	+0,15	
à 1300	776,3	581,3	14,88	14,53	-0,35	14,24	-0,64	
à 1400	862,8	642,9	15,25	15,67	+0,42	15,02	-0,23	
à 1500	936,3	706,6	—	—	—	—	—	Aus sämtlichen Beobachtungen wurde die Formel $t = 7,9213 + 0,011499 N + 0,00000096054 N^2$ hergeleitet. Mittlerer Fehler der (in Berechnung der Formel gezogenen) Beobachtungen $f = 0,058$; wahrscheinlicher Fehler $f = 0,039$.
à 1600	963,7	774,2	17,4	17,05	-0,35	16,72	-0,68	
à 1700	996,3	843,6	18,6	17,53	-1,07	17,63	-0,97	
à 1800	1024,0	902,2	18,7	18,02	-0,68	18,40	-0,30	
à 1900	1058,3	967,6	19,0	18,47	-0,53	19,28	+0,28	
à 2000	1119,0	1028,4	19,8	19,42	-0,38	20,30	+0,50	
à 2100	1186,3	1064,6	20,05	20,53	+0,48	20,59	+0,54	
à 2180	?	1089,8	20,50	—	—	20,93	+0,43	

Leere Seite
Blank page
Page vide

Beobachtungen über Lufttemperaturen im Gotthardtunnel Airolo: 0-2180^m v. P.

Entfernung vom Portal.	Vertikale Höhe des über Tunnelsohle liegenden Gebirges: H.	Kürzester Abstand von Tunnelsohle an Oberfläche: N.	Temperatur in C.					Anmerkungen.
			Beobachtet.	Berechnet nach Formel $t = 7,9814 + 0,0206172 H - 0,000010405 H^2$	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.	Berechnet nach Formel $T = 8,935 + 0,020727 N - 0,00000787 N^2$	Differenz zwischen Berechnung und Beobachtung.	
à 100	19,3	19,0	11,5	8,18	—	8,75	—	Diese Beobachtungen sind von Berechnung der Formeln ausgeschlossen.
à 200	49,9	45,5	13,43	8,83	—	9,30	—	
à 300	90,5	78,3	15,00	9,70	—	9,98	—	
à 400	131,4	117,6	13,13	10,40	—	10,80	—	
à 500	169,5	153,9	11,03	11,01	-0,02	11,39	+0,36	
à 600	214,4	191,6	11,53	11,76	+0,23	12,08	+0,55	
à 700	285,9	238,3	13,03	12,86	-0,17	12,90	-0,13	
à 800	361,2	286,0	14,08	13,90	-0,18	13,71	-0,37	
à 900	434,1	341,4	14,84	14,80	-0,04	14,59	-0,25	
à 1000	508,7	404,9	15,04	15,59	+0,55	15,54	+0,50	
à 1100	606,9	465,4	17,18	16,49	-0,69	16,39	-0,89	
à 1200	690,9	523,5	16,97	17,09	+0,12	17,14	+0,17	
à 1300	776,3	581,3	17,38	17,55	+0,17	17,86	+0,48	
à 1400	862,8	642,9	17,63	17,86	+0,23	18,54	+0,91	
à 1500	936,3	706,6	18,21	18,00	-0,21	19,20	+0,99	
à 1600	963,7	774,2	20,45	18,01	-2,44	19,81	-0,64	
à 1700	996,3	843,6	20,84	18,02	-2,82	20,38	-0,46	
à 1800	1024,0	902,2	20,64	18,00	-2,64	20,79	+0,15	
à 1900	1058,3	967,6	21,78	17,97	-3,81	21,18	-0,60	
à 2000	1119,0	1028,4	21,38	17,84	-3,54	21,49	+0,11	
à 2100	1186,3	1064,6	20,95	17,62	-3,33	21,64	+0,69	
à 2180	?	1089,8	21,27	—	—	21,74	+0,47	

Aus diesen Beobachtungen wurde die Formel $T = 7,9814 + 0,0206172 H - 0,000010405 H^2$ hergeleitet. *Mittlerer Fehler* der (in Berechnung dieser Formel gezogenen) Beobachtungen: $f = 0,911$; *wahrscheinlicher Fehler* $f = 0,907$. *Mittlerer Fehler sämtlicher* Beobachtungen von 500 zu 2100^m vergl. mit den berechneten Werthen: $f = 1,094$; *wahrscheinlicher Fehler* $f = 1,029$.

Aus sämtlichen Beobachtungen wurde die Formel $T = 8,935 + 0,020727 N - 0,00000787 N^2$ hergeleitet. *Mittlerer Fehler* der (in Berechnung dieser Formel gezogenen) Beobachtungen: $f = 0,957$; *wahrscheinlicher Fehler* $f = 0,938$.

Leere Seite
Blank page
Page vide

Mittelzahlen der Einzelbeobachtungen (siehe Monatsbericht des Bundesrathes und gedruckte geologische Profile) von 100 zu 100 m.; die Beobachtungen bis zu 400 m. vom Portal wurden als offenbar unrichtig von der Berechnung empirischer Formeln ausgeschlossen. Mit Benützung eines *richtigen* (direkt erhobenen) *Längenprofils* wurde aus den Beobachtungen zwischen 400 und 1500 m. vom Portal (170 à 936 m. vertikale Höhe H) die Formel $T = 7^{\circ},814 + 0,0206 H - 0,0000104 H^2$ hergeleitet, nach welcher die in Berechnung der Formel eingegangenen Beobachtungsergebnisse mit einem *mittlerem Fehler* $0^{\circ},11$, einem *wahrscheinlichen* $0^{\circ},07$ behaftet sind. Diese Formel führt zu einem *Maximalwerth* von $18^{\circ},03$ für $H = 990,7$ m.; bei grösseren Höhen des überliegenden Gebirges würde nach derselben die Lufttemperatur vor Ort wieder *abnehmen*. Aus den Beobachtungen zwischen 400 und 2180 m. vom Portal (154 — 1090 m. kürzeste Abstände N zu Oberfläche) wurde die Formel $T = 8^{\circ},35 + 0,0207 N - 0,00000787 N^2$ entwickelt, nach welcher der *mittlere* Beobachtungsfehler $0^{\circ},57$, der *wahrscheinliche* $0^{\circ},38$.

Dieselbe ergibt einen *Maximalwerth* von $22^{\circ},1$ für $N = 1316,4$ m.

Beide Gleichungen lassen sich durch *concave Curven* darstellen. Auf den Umstand, dass diese Wendepunkt besitzen, ist kein grosses Gewicht zu legen, da sich aus den gleichen Beobachtungen mit Leichtigkeit auch *asymptotische Temperaturcurven* herleiten lassen, denen die Beobachtungen gut entsprechen, und welche ausdrücken, dass die *Lufttemperaturen vor Ort für geringere Höhen des überliegenden Gebirges rascher zunehmen als für grössere, und dass nach Ueberschreitung einer gewissen Gebirgshöhe die Lufttemperaturzunahmen für noch grössere Höhen überhaupt nur noch äusserst langsam wachsen*. Die oben erwähnten Göschener Beobachtungen führen im Grunde genommen zu gleichem Resultat.

Wassertemperatur-Beobachtungen.

Zur Anstellung solcher war in der *Göschener* Tunnelseite nur wenig Gelegenheit, desto mehr in der *Airoloser*. Da *Sohlenquellen* nie hervorsprangen, sondern stets ohne merkliche Pression aus den Felsspalten traten, so ist man zur Annahme berechtigt, dass die Wässer, deren Temperatur ermittelt wurde, *nicht* aus Tiefen *unter* dem Richtstollenniveau hervorgepresst wurden, sondern in Spalten *über* dem Tunnel aufgespeichert waren.

A priori lässt sich also voraussetzen, dass die Temperatur dieser Wässer in einer gewissen Relation zur Gebirgshöhe über Tunnel stehen muss.

Aus den *unter* Tunnelniveau aufgespeicherten Spaltenwässern kann nur in Folge von *Strömungen*, veranlasst durch höhere Temperatur in grösserer Tiefe, *ein Theil* in den Tunnel treten, welcher wärmer ist als die an gleichem Ort von oben zusitzenden Wässer.

Alle Wasserzuflüsse hatten bei ihrem ersten Erscheinen etwas *höhere* Temperatur als später. Die Quellen zu Göschenen zwischen 1490 und 1500 m. besaßen z. B. $17^{\circ},1$ bei ihrem ersten Einströmen (November 1874); gegenwärtig haben sie nur noch $16^{\circ},2$.

Die Zuflüsse zu Airolo, zwischen 780 und 820 m., erkalteten binnen 14 Tagen von $10^{\circ},52$ auf $9^{\circ},75$.

Diese Abnahme dürfte wohl hauptsächlich dem Umstand zuzuschreiben sein, dass die erstgezapften Wässer *aufgespeicherte* waren, die nachfolgenden aber *Fliesswasser*, welche auf ihrem Weg von Oberfläche zu Tunnel eine Temperatur annahmen, die sich jener der aufgespeicherten Wässer um so mehr nähert, je geringer das fließende Wasserquantum, je umfangreicher das durchflossene Spaltensystem, je grösser die Höhe, aus welcher die Wässer herabsinken. Es erklärt sich hieraus, dass die Temperatur der Tunnelabflusswässer

von 11,0 auf 10^o,8 sank, als nach starkem Regen das Abflussquantum von 280 (Juni) auf 340 Litres per Sekunde (Juli) stieg.

Aus den *Airoloser Wassertemperatur - Beobachtungen* (siehe Tab. 2) zwischen 100 und 1400 m. vom Portal (50 à 863 m. Höhe des überliegenden Gebirges) wurde die Formel $t = 7^{\circ},735 + 0,00485 H + 0,00000503 H^2$ hergeleitet, wozu nach die in Rechnung gezogenen Beobachtungen mit einem *mittleren Fehler* 0^o,42, einem *wahrscheinlichen* 0^o,28 behaftet sind. Für die Scheitelstrecke des Tunnels ($H = 1700$ m.) ergibt diese Formel eine Wassertemperatur $t = 30^{\circ},52$.

Die Beobachtungen zwischen 100 und 2180 m. vom Portal (kürzeste Entfernungen N zu Oberfläche 46 à 1090 m.) ergeben die Formel $t = 7^{\circ},213 + 0,0115 N + 0,00000096 N^2$, nach welcher die in Rechnung gezogenen Beobachtungsergebnisse mit dem *mittleren Fehler* 0^o,58, dem *wahrscheinlichen* 0^o,39 behaftet sind.

Für die Scheitelstrecke des Tunnels ($N = 1560$ m.) folgt aus dieser Formel $t = 27^{\circ},49$.

Aus der Grösse der resp. mittleren Fehler folgt, dass die Wassertemperaturen *genauer* durch Funktionen ausgedrückt werden, in welche die *vertikale Höhe* des überliegenden Gebirges (d. i. die *hydrostatische Druckhöhe*) eingeht, als durch Formeln, welche den *kürzesten Abstand* von Beobachtungspunkt zu Oberfläche als Urvariable enthalten.

In *beiden Fällen* lassen sich übrigens die Formeln durch *convexe Curven* darstellen, nach welchen die *Temperaturzunahmen für geringere Höhen langsamer als für grössere erfolgen*.

Résumé.

In den 4 berechneten Formeln ist die erste Constante nahe dieselbe (7^o,814; 8^o,35; 7^o,735; 7^o,213) und ein *Mittel* 7^o,778.

Der Natur der Sache nach sollte selbige die *mittlere Jahrestemperatur* bei *Airolo* in einer *mittleren Meereshöhe* von zirka

$$1152 + \frac{(170 + 936 + 140 + 1045 + 50 + 863 + 25 + 1045)}{8} =$$

$= 1152 + 532 = 1684$ m. ausdrücken. Die beobachtete *mittlere Jahrestemperatur* von *Airolo* ist noch unbekannt.

Aus dem Umstand, dass die Zunahme der *Wassertemperaturen* einen *anderen Gang* nimmt als jene der *Luft- (Gesteins-)Temperaturen*, scheint zu folgen, dass die *Wassertemperaturen* überhaupt nicht lediglich von der *Temperatur des durchströmten Gesteins* abhängen können. Und wenn die *Temperatur des Gesteins* und jene des *Wassers* aus derselben Ursache mit zunehmender Tiefe zunehmen, so können wir diese Ursache wenigstens nicht mehr *unbedingt* in der angenommenen hohen *Temperatur des Erdinnern* suchen.

Es scheint vielmehr, als ob — caeteris paribus — noch andere Faktoren die bisher beobachteten *Temperaturzunahmen* nach dem *Erdinnern* bedingten, und es liegt am nächsten zur Hand hier an die *Temperaturänderungen* zu denken, welche bei *Druckveränderungen* in *Aggregationen* von *Moleculen* statthaben, wie solche durch Herrn *G. Hansemann* theoretisch und experimentell nachgewiesen worden sind.

III.

Les Seiches, ¹⁾

Vagues d'oscillation fixe des lacs

par

Dr. **F. A. Forel**, professeur à l'Académie de Lausanne.

De tous temps les habitants de Genève ont connu le phénomène suivant auquel ils ont donné le nom de *seiche*: dans certaines circonstances le niveau du lac s'élève lentement, pendant vingt ou trente minutes, d'une hauteur variable, de quelques centimètres ou de quelques décimètres, puis il s'abaisse, lentement aussi, d'une quantité à peu près égale, puis il s'élève de nouveau, pour s'abaisser encore et ainsi de suite. L'on dirait de vagues gigantesques, prodigieusement faibles et prodigieusement lentes; l'on dirait de marées en miniature à périodes singulièrement rapides.

Observées par Jallabert, Bertrand, H. B. de Saussure, les seiches ont fait au commencement de notre siècle le sujet d'une étude très intéressante et très instructive de Vaucher de Genève; cet auteur a constaté les relations qui existent entre la grandeur des seiches et les mouve-

¹⁾ Littérature: *J. P. E. Vaucher*. Mémoire sur les seiches du lac de Genève, composé de 1803 à 1804. Mém. de la Soc. de Physique de Genève, t. VI. p. 35.

F. A. Forel. Première étude sur les seiches du lac Léman. Lausanne 1873. — Deuxième étude. Lausanne 1875, librairie Rouge et Dubois. — Bull. Soc. vaudoise Sc. nat. t. XII, p. 213; t. XIII, p. 510. Arch. des sc. phys. et nat. Genève. Janvier 1874 et Août 1875.

ments du baromètre, et je formulerai en ces termes ce que l'on peut appeler la loi de Vaucher :

L'amplitude des seiches est très faible lorsque l'atmosphère est en repos ; les seiches sont d'autant plus fortes que la pression atmosphérique est plus variable ; les seiches sont les plus fortes quand le baromètre est en baisse.

Vaucher a reconnu l'existence des seiches dans les lacs de Genève, de Neuchâtel, de Zurich, de Constance, d'Annecy et de Lugano ; moi-même je les ai constatées dans tous les lacs où je les ai recherchées. C'est donc un phénomène général et non spécial au lac Léman, ou à la rade de Genève ; phénomène général, il mérite d'être étudié, et ses lois doivent être établies.

Avant tout essayons de décrire le phénomène. ¹⁾

Nous pouvons considérer les seiches à deux points de vue, celui de l'amplitude et celui de la durée.

A. Au point de vue de l'amplitude, c'est-à-dire de la hauteur de dénivellation de l'eau, l'amplitude des seiches est fort variable et cela dans les conditions suivantes :

1) Dans la même station et le même jour, les seiches qui se suivent sont assez semblables ; la hauteur de la dénivellation varie légèrement d'une seiche à l'autre, mais on peut dire que d'une manière générale ces vagues sont assez égales. Lorsque les seiches sont faibles, l'on ne voit pas apparaître une seule seiche isolée énorme ; lorsque les seiches sont fortes, toutes les seiches qui se succèdent ont une amplitude relativement considérable.

¹⁾ Précisons le sens des mots :

J'appelle *seiche* le mouvement complet d'élévation et d'abaissement de l'eau, la vague pendant laquelle le niveau de l'eau s'élève d'abord puis s'abaisse ensuite au-dessus et au-dessous du niveau moyen.

J'appelle *seiche haute* la moitié de la seiche pendant laquelle l'eau est au-dessus du niveau moyen, *seiche basse* la moitié pendant laquelle elle est au-dessous.

2) Dans la même station, mais à des jours différents, il y a des différences qui peuvent être énormes dans l'amplitude des seiches. Je citerai les extrêmes connus.

A Genève les seiches sont le plus souvent assez faibles pour n'être pas visibles sans instruments particuliers; disons que leur amplitude minimale n'atteint pas le millimètre. Dans cette même station l'histoire a noté d'une autre part les seiches extraordinaires suivantes :

H. B. de Saussure a mesuré le 3 Août 1763 des seiches de 1 m. 48.

Fatio de Duillier cite les seiches du 16 Septembre 1600 comme ayant atteint 1 m. 62.

Enfin les 2 et 3 Octobre 1841, les seiches observées par Vénié ont dépassé une amplitude de 2 m. 15.

L'amplitude des seiches varierait donc à Genève ¹⁾ d'un jour à l'autre de 0,0 à 2 m. 15.

3) Dans deux stations différentes du même lac l'amplitude des seiches est fort différente. C'est ainsi que si nous évaluons à quelques décimètres l'amplitude des belles seiches que l'on peut observer à Genève, c'est par centimètres seulement qu'il faudra apprécier les mêmes seiches à Morges. Je crois pouvoir dire que l'amplitude dans les diverses stations est soumise aux règles suivantes :

L'amplitude des seiches est plus forte aux extrémités des lacs qu'au milieu de leur longueur; elle est plus forte dans les stations situées au fond de longs golfes dont les côtes se rapprochent insensiblement, que dans celles qui sont situées sur une côte droite ou sur un cap; elle est plus forte dans les lacs ou parties de lac où l'eau est peu profonde.

¹⁾ Genève est la station où les seiches atteignent la plus haute amplitude connue; cela tient probablement à la configuration du lac et des côtes.

4) Dans des lacs différents, d'après mon expérience je crois pouvoir établir que les seiches sont d'autant plus fortes que le lac est plus grand.

B. Au point de vue de la *durée*. Nous appelons durée de la seiche le temps, mesuré en secondes, nécessaire pour ramener l'eau au niveau moyen après qu'elle se sera élevée au-dessus et abaissée au-dessous de ce niveau. Cette durée varie de la manière suivante:

1) Dans la même station et le même jour. La durée des seiches qui se succèdent est loin d'être égale. C'est ce dont je donnerai une idée en citant deux observations de seiches. La première montrera le rythme des seiches à Morges et donnera un exemple de ces irrégularités; la seconde est l'observation où j'ai eu les seiches les plus régulières que j'ai jusqu'à présent rencontrées; elle donnera une idée de la régularité de ce mouvement.

Obs. XXI. Morges (lac Léman) 5 Octobre 1873:

<i>seiche haute</i>	105	secondes,	<i>seiche basse</i>	175	secondes
»	415	»	»	305	»
»	385	»	»	395	»
»	230	»	»	835	»
»	230	»	»	490	»
»	295	»	»	290	» etc.

Obs. LXXXI. Weesen (lac de Wallenstadt) 18 Sept. 1874:

<i>seiche haute</i>	405	secondes,	<i>seiche basse</i>	365	secondes
»	535	»	»	455	»
»	355	»	»	425	»
»	415	»	»	540	»
»	400	»	»	460	»

2) Dans la même station d'un jour à l'autre. La durée moyenne des seiches ne varie pas; elle oscille autour d'un chiffre moyen qui peut être déterminé par un nombre suffisant d'observations.

C'est ainsi qu'à Morges j'ai établi, d'après 132 observations différentes, la durée moyenne de la demi-seiche (seiche haute ou seiche basse) à 315 ± 9 secondes; l'erreur à craindre est comme on le voit relativement peu considérable, et nous pouvons dire qu'il y a un rythme véritable et toujours constant pour les seiches de cette station.

3) Dans le même lac et d'une station à l'autre il peut y avoir des différences considérables dans la durée des seiches.

C'est ainsi que sur le lac Léman la durée des seiches est à Morges de 630 secondes et à Veytaux de 1783, sur le lac de Neuchâtel, à Yverdon elle est de 2840 secondes et à St-Aubin de 264.

4) Dans des lacs différents la durée des seiches est très différente, ainsi que nous le verrons plus loin.

Cette rapide description faite, cherchons à comprendre la nature intime du phénomène.

Vaucher, après avoir reconnu les relations des mouvements du baromètre avec l'intensité des seiches, a indiqué la véritable cause de ces oscillations. Il admettait que l'atmosphère pesant d'une manière inégale, par suite de ses variations de pression, sur les différentes régions du lac, l'eau était refoulée en certains points et soulevée en d'autres. « Supposez, » dit-il, « des nuages répandus inégalement dans l'air, et dont quelques-uns interceptent au lac les rayons solaires, il résultera des refroidissements irréguliers dans ces colonnes, et par conséquent des densités inégales; elles pèseront donc inégalement sur la surface du lac; le liquide inégalement pressé et forcé de se mettre en équilibre s'abaissera d'un côté et s'élèvera de l'autre; on aura donc des alternatives de hausse et de baisse, qui feront qu'à proprement parler, les eaux du lac, indépendamment de toute agitation de l'air, ne seront jamais absolument de niveau. »

Les études que j'ai faites depuis quelques années sur le rythme des seiches me permettent de compléter cette théorie de Vaucher en la corrigeant un peu.

Vaucher admettait qu'une variation de la pression atmosphérique sur un point limité du lac amène une dénivellation de l'eau qui s'élève ou s'abaisse en ce point tandis qu'elle s'abaisse ou s'élève en sens inverse dans les autres régions du lac où la pression n'a pas varié. Je n'hésite pas à me ranger à cette opinion.

Mais l'auteur genevois semble avoir admis en outre que chaque dénivellation de l'eau, chaque mouvement de chaque seiche correspond à une variation déterminée de la pression barométrique; que chaque fois que l'eau s'élève à Genève, c'est à la suite d'une diminution de la pression à Genève ou d'une augmentation de la pression sur une autre région du lac; si l'eau vient ensuite à s'abaisser c'est qu'il y a eu variation de la pression en sens inverse. Si je ne me trompe pas en attribuant à Vaucher cette opinion, il ne tenait pas compte d'un fait qu'il avait pourtant reconnu, à savoir du rythme des seiches, du fait que dans la même station la durée des seiches est toujours la même. Si chaque mouvement de dénivellation de l'eau avait pour cause une variation dans un sens ou dans l'autre, de la pression atmosphérique, il n'y aurait aucune raison de la régularité du rythme des seiches. Cette régularité serait absolument inexplicable.

Je me sépare donc de Vaucher sur ce point, et je crois devoir compléter sa théorie de la manière suivante:

Je suppose que l'eau des lacs peut être soumise aux mouvements d'oscillation fixe que je désignerai sous le nom de vague de balancement. De même que dans une cuvette pleine d'eau je puis déterminer un mouvement de balancement de l'eau d'un côté à l'autre du vase, soit en agitant l'eau elle-même, soit en imprimant une secousse aux parois

du bassin, de même je crois pouvoir démontrer que l'eau des lacs peut subir ces mouvements d'oscillation fixe ou vagues de balancement chaque fois que l'équilibre a été détruit. Toute rupture de l'état d'équilibre du niveau de l'eau est suivi par une succession de vagues de balancement que nous appelons des seiches.

Si j'étudie dans un petit bassin à expériences les lois de l'oscillation de balancement, je puis les résumer dans les trois formules suivantes :

I. Dans les mêmes conditions de longueur et de profondeur de l'eau, la durée de la vague d'oscillation fixe est toujours la même, quelle que soit l'amplitude du mouvement.

II. Dans les mêmes conditions de profondeur, la durée augmente à mesure que la longueur du bassin augmente.

III. Dans les mêmes conditions de longueur du bassin, la durée augmente à mesure que la profondeur de l'eau diminue.

Les seiches sont les vagues de balancement des lacs. Je le prouve de deux manières :

A. Directement. L'essence de la vague de balancement est que l'eau s'élève à l'une des extrémités du bassin tandis qu'elle s'abaisse à l'autre, et vice-versà ; autrement dit que aux deux extrémités du bassin les mouvements de dénivellation de l'eau sont simultanés et opposés dans leur direction. Nous avons constaté ce fait pour les seiches des lacs ; en observant en même temps les mouvements de l'eau aux deux extrémités du lac de Neuchâtel, mon ami M. G. Rey à Yverdon et moi-même à Préfargier, nous avons dans deux expériences différentes, et sur 8 demi-seiches reconnu la simultanité et l'opposition dans les mouvements, que veut la théorie.

B. Indirectement : Les seiches des lacs suivent les lois de l'oscillation de balancement telles que je viens de les formuler.

Conformément à la première loi le rythme des seiches est toujours le même quelle que soit l'amplitude de l'oscillation; c'est ce que montrent surtout les longues séries d'observations que j'ai faites à Morges.

D'après les II^e et III^e lois la durée des seiches doit augmenter avec la plus grande longueur des lacs, et diminuer avec leur plus grande profondeur. C'est ce qui a lieu en réalité, et ce que prouvent quelques observations, malheureusement en trop petit nombre, recueillies sur différents lacs suisses. Je les résume dans le tableau suivant.

Lac	Longueur. kilomètres	Profondeur. mètres	Durée moyenne de la seiche. secondes
de Bret	1,1	14	64
de Joux	9,0	25	744 (?)
de Morat	9,2	48	572
de Brienz	13,7	261	574
de Wallenstadt	15,5	114	871
de Thun	17,5	217	882
de Neuchâtel	38,2	135	2840
de Constance	64,8	276	3594

D'après ce tableau l'on voit que la durée des seiches est en général d'autant plus grande que le lac est plus long, et que les irrégularités de la série se rapportent à des lacs dont la profondeur est relativement faible.

Je n'ai pas fait entrer dans ce tableau le lac Léman. Sa forme de croissant rend assez difficile l'interprétation de ses seiches, pour que, malgré le grand nombre d'observations que je possède, je me tienne à son sujet dans une réserve prudente.

Si dans un bassin rectangulaire je détermine des vagues de balancement, je puis en obtenir dans deux directions opposées, et avec des rythmes correspondant aux dimensions de la section suivant laquelle l'eau oscille. Ces vagues

longitudinales et transversales, je les retrouve dans les seiches des lacs.

Toutes les seiches dont j'ai jusqu'à présent parlé et dont je viens de donner le tableau, sont, d'après la position des stations d'observation, des seiches longitudinales.

Quant aux seiches transversales, établies suivant le petit diamètre des lacs, je les ai constatées de la manière suivante :

A Morges nos seiches de 630 secondes ne correspondent point du tout par leur durée avec les dimensions en longueur du lac Léman, le plus grand des lacs de la Suisse. Au contraire cette durée étant intermédiaire à celle des seiches longitudinales des lacs de Brienz et de Wallenstadt se rapporte parfaitement à la largeur du lac de Léman, 13,8 kilomètres, intermédiaire aussi à la longueur de 13,7 et 15,5 kilomètres de ces deux lacs. D'une autre part j'ai observé ces mêmes seiches de 630 secondes à Evian sur la côte savoyarde opposée à celle de Morges. Enfin j'ai répété avec M. G. Rey l'expérience simultanée qui nous avait si bien réussi pour les seiches longitudinales du lac de Neuchâtel, et nous avons constaté, une fois au moins avec une grande évidence, la simultanéité et l'opposition dans les mouvements des seiches à Evian et à Morges.

J'ai reconnu aussi l'existence des seiches transversales du lac de Neuchâtel à St-Aubin (264 secondes) et de celles du lac de Constance à Romanshorn (640 secondes).

A l'aide d'un appareil excessivement sensible que j'ai appelé Plémyramètre, et qui me permet de reconnaître les plus faibles dénivellations de l'eau, même celles qui n'atteignent pas le millimètre, j'ai constaté l'existence constante ou à peu près constante des seiches. Pendant plus de 113 heures d'observation, se divisant en 81 expériences différentes, dans 25 stations appartenant à 10 lacs suisses,

toutes les fois que j'ai mis en jeu mon appareil, partout et toujours j'ai constaté l'existence d'un mouvement rythmique que je devais attribuer aux seiches. L'amplitude de ce mouvement est très variable, mais son existence est la règle, son absence, si même elle a lieu, l'exception.

Je dois cependant ajouter que ces seiches ne sont pas toujours faciles à observer; souvent elles sont excessivement faibles (dans les petits lacs surtout), souvent l'observation en est troublée par les vagues du vent, et sur nos lacs suisses par les vagues des bateaux à vapeur.

Quelques mots encore sur les causes des seiches.

1) Les seiches ordinaires je les attribue aux variations de la pression atmosphérique; une augmentation ou une diminution plus ou moins rapide de la pression sur une région limitée du lac donne la première impulsion au mouvement d'oscillation ou de balancement qui peut se continuer ensuite pendant des heures durant. — Pour donner une idée de temps pendant lequel une impulsion de ce genre peut prolonger son effet, je dirai que j'ai vu dans le port de Morges des vagues de balancement déterminées par le passage d'un bateau à vapeur devant l'entrée du port, et que j'ai pu constater et suivre la persistance de ce mouvement d'oscillation jusque deux heures après le passage du bateau.

2) Les très fortes seiches, celles que j'ai citées au commencement de ce discours, les seiches historiques de Genève de 1,50 à 2 mètres d'amplitude, je crois devoir les attribuer à des secousses de tremblements de terre. Elles diffèrent tellement par leurs dimensions des seiches ordinaires, que je dois leur chercher une cause extraordinaire; or l'analogie est évidente entre ces très-fortes seiches et beaucoup de ras de marée accompagnant les tremblements de terre. Du reste il est évident que le tremblement de

terre si la secousse a lieu dans une direction convenable et avec un rythme déterminé doit produire sur l'eau des lacs les mêmes vagues de balancement que je vois s'établir dans ma cuvette lorsque je secoue convenablement le vase.

3) Dans des lacs très petits où l'on ne saurait attendre des seiches causées par la variation de pression barométrique, j'ai vu des mouvements de balancement de l'eau déterminés par l'action inégale des bouffées de vent frappant la surface de l'eau (lac de Bret, port de Morges).

En résumé :

Nous reconnaissons dans les lacs l'existence de mouvements rythmiques d'élévation et d'abaissement du niveau de l'eau. Ces oscillations n'ont point de rapport avec les mouvements des astres, ce ne sont donc pas des marées; leur durée est en rapport avec les dimensions mêmes du lac où on les observe, ce sont donc des vagues d'oscillation fixe.

Ces vagues de balancement s'établissent suivant les deux diamètres principaux des lacs à formes régulières; dans les lacs à contours et à relief plus accidentés, ces mouvements se compliquent notablement et perdent leur régularité.

En attendant que la mécanique nous ait donné la formule des seiches en fonction de la longueur et de la profondeur des lacs, c'est le rôle de l'observation de nous les faire connaître expérimentalement; la géographie physique a le devoir de nous renseigner sur le rythme exact des seiches de chaque lac. C'est pour demander aux naturalistes suisses les observations nécessaires à l'étude de ce chapitre de l'histoire de la nature que je me suis permis d'introduire ce sujet devant notre société.

Si vous suivez ma demande et si vous voulez bien étudier avec moi ces mouvements, vous trouverez dans cette

recherche un grand charme. Quand je vois l'eau s'élever et s'abaisser sur la grève de mon jardin, je suis en présence non pas d'une simple vague qui agite l'eau dans le golfe de Morges, mais j'observe une des manifestations d'un phénomène bien autrement important. C'est toute l'eau du lac qui oscille dans un même mouvement général de balancement, c'est une impulsion gigantesque qui dans le même instant fait mouvoir toute la masse liquide du Léman, dans toute sa longueur, dans toute sa largeur, dans toute sa profondeur. Et si je considère la grandeur des lacs où j'ai constaté ces oscillations, les lacs de Neuchâtel, de Constance, le lac Léman, si j'admets comme probable qu'on le constatera de même, quand on voudra l'étudier dans des bassins d'eau encore bien plus étendus, je dois reconnaître dans le phénomène des seiches le mouvement oscillatoire le plus considérable et le plus grandiose peut-être que l'homme puisse étudier à la surface de notre globe.

IV.

Ueber die Verheerungen der Wanderheuschrecke

(*Pachytylus migratorius* Fieb.)

im ostschweizerischen Rheingebiete

von

Professor **Chr. G. Brügger** in Chur.

Ende Juni laufenden Jahres, kurz vor Schluss des Schulkurses mitten im grössten Arbeitsgedränge, wie es diese heissen Tage für den Lehrer der Naturgeschichte und Geographie (dessen Zeit zwischen fortlaufenden Unterrichtsstunden, durch Maturitätsprüfungen am Gymnasium und Schullehrerseminar, Schlussberichte über die Sammlungen, häufige Lehrer-Conferenzen, Zeugnissabgabe für mehr als 300 Schüler, öffentliche Schlussprüfungen aller Klassen etc. in Anspruch genommen wird) alljährlich mit sich bringen, wurde Referent durch ein, vom 27. Juni datirtes Schreiben des Gemeindevorstandes von *Fläsch*¹⁾ überrascht, nachfolgenden Inhaltes: »Hiesige Gemeinde ist von einer *bis dato hier unbekannt* Heuschreckengattung geplagt, die sich in den Gemeindegütern in Schaaren von Tausenden und abermal Tausenden eingenistet hat und sich mit grosser Vorliebe in Kornfeldern aufhält. Der bis dato ergangene Schaden ist enorm und die Verbreitung und Vermehrung des Insektes von Tag zu Tag grösser, so dass die Folgen noch gar nicht abzusehen sind. Ich übersandte Ihnen durch

¹⁾ Diese im Bündner-Rheinthale, an der Nordgrenze des Kantons, 532 m. ü. M. gelegene Gemeinde zählt 465 Einwohner.

Herrn Forstadjunkten S. in einem Trückchen 5 dieser Exemplare zur gefälligen Ansicht. Mit heutigem möchte Sie ersuchen, als Fachmann uns doch gütigst Ihre Ansicht mitzutheilen, *welche Mittel mit Erfolg gegen* das weitere Umsichgreifen *angewendet* werden könnten, indem man hier bereit ist, das Mögliche zu thun, um weiteren Schaden abzuwenden. In Erwartung u. s. w. Namens der Gemeinde Fläsch: Th. Marugg, Präsident.« — In Folge eines Missverständnisses wurden aber die per Gelegenheit (statt per Post) eingesandten Exemplare des Insekts an die unrichtige Adresse abgegeben, in Spiritus gelegt und kamen dem Referenten aus dritter Hand erst nach 3 Tagen flüchtig zu Gesicht. Es waren etwa zolllange bräunliche Thiere mit noch stummelhaften Flügelansätzen und kurzen Fühlern, also wahrscheinlich vorgerücktere Larven oder Nymphen einer grösseren Art aus der Gruppe der *Feldheuschrecken* (Acridii), übrigens auch dem Referenten bisher noch nie vorgekommene, auf solcher Entwicklungsstufe (wie man weiss) der Gattung nach schwer, der Art nach kaum zu bestimmende Gestalten. Doch wiesen die fast senkrecht abfallende, zwischen den schwarzen Glotzaugen stark vorspringende (gewölbte) Stirn, mit den im Dreieck stehenden 3 glänzenden Punktaugen, und die Form des scharf gekielten Halsschildes entschieden auf die artenreichen Verwandtschaften von *Oedipoda Latr.*, *Acridium (Geoffr.) Burm.*, *Pachytylus Fieb.*, während das massenhafte Auftreten und die auffallende Vorliebe des Insektes für Getreidefelder in dem Referenten sofort den Gedanken an die Wanderheuschrecken wachriefen.

Dieser letzteren Annahme stand indessen ein sehr gewichtiges Bedenken entgegen in dem Umstande, dass nämlich das Vorkommen von Wanderheuschrecken *bisher noch nirgends* im Bündner Rheinthale und überhaupt im ganzen Rheingebiete bis zum Bodensee hinab (soviel bekannt) konstatirt worden war. Weder in der reichen, der

Bündner Kantonsschule angehörenden Insektensammlung von J. Rud. Am Stein (1777 bis 1862), welche gerade die Fauna des Bündner Rheinthaales, insbesondere der sogenannten »Herrschaft« (wozu auch Fläsch gehört), am vollständigsten enthält und in dem Zeitraum von 1820 bis 62 angelegt worden ist, noch in dem Verzeichnisse »rhätischer Orthopteren,« das ein ausgezeichnete Kenner derselben, Herr E. Frey-Gessner im Jahre 1865 publizirt hat (X. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens, pag. 30 bis 38), findet sich irgend eine Spur von der ächten Wanderheuschrecke.

Nun ist es doch gewiss höchst unwahrscheinlich, dass gerade eine so grosse und auffällige Art jenen ausgezeichneten Entomologen entgangen sein sollte, zumal denselben (namentlich dem in Malans wohnhaften Am Stein) jeweilen auch von Andern gemachte Funde und Entdeckungen zugebracht und bekannt wurden. — Aber könnte das Insekt nicht auch erst in jüngster Zeit in diese Gegend eingewandert sein? In Masse jedenfalls nicht, ohne sich längst bemerklich gemacht und weit über die engen Grenzen von Fläsch und der übrigen »Herrschaft« sich ausgebreitet zu haben, wovon jedoch zur Zeit noch Nichts verlautete. In Graubünden war ein, freilich nur vereinzelt Vorkommen von Wanderheuschrecken (und zwar sowohl *Acrid. tataricum* als *A. [Pachytylus] migratorium*) bisher mit Sicherheit einzig in dem transalpinen, seiner Natur nach schon mehr zum Tessin hinneigenden, untern Misoxer-Thale, also nach der Südwestgrenze des Kantons, nachgewiesen worden; und nun sollte das Insekt plötzlich und in grosser Masse am entgegengesetzten Ende, im nördlichsten Winkel des Bündner Rheinthaales auftauchen?! —

Um diesen Zweifeln ein Ende zu machen, womöglich durch Auffinden vollkommen entwickelter (beflügelter) Individuen des fraglichen Insekts, und um über die neue Erscheinung

und die ganze Sachlage ein richtiges Urtheil zu gewinnen, war ein Augenschein an Ort und Stelle durchaus angezeigt. Hiezu auch vom Vorstande von Fläsch und vom Präsidium der kantonalen landwirthschaftlichen Commission eingeladen, konnte Referent jedoch wegen überhäufte Beruftsarbeiten nicht vor 1. Juli abkommen. An diesem Tage Nachmittags 1 Uhr wurde die Excursion angetreten; mit Benutzung der Eisenbahn bis Maienfeld, wo Referent am Bahnhofe durch einen Abgeordneten empfangen wurde, war man bald nach 2 Uhr in Fälsch und schritt, unter Begleitung des Gemeinde-Vorstandes, nun sofort zur Besichtigung und Untersuchung der verheerten Felder. Dieselben liegen auf dem sogenannten »Fläscher-Ried,« einer früher bis und mit 1868 den häufigen Ueberschwemmungen des Rheines ausgesetzten Alluvial-Ebene, welche etwa 30 bis 40 m. tiefer als das Dorf gelegen in nordwestlicher Richtung von demselben zwischen Fluss und Berglehne sich ausdehnt und in der Gegend des ehemaligen »Fläscherbades«,¹⁾ wo der Rhein unmittelbar an die Felsabstürze des »Fläscherberges« herantritt, ihr nördliches Ende erreicht. Der Länge nach von einem tiefen und breiten Entwässerungs-Kanal mitten durchschnitten, wurde nach der grossen Ueberschwemmung von 1868 der, zwischen diesem Graben und dem hauptsächlich von Schwarzpappeln (»Alberen«) und Weisserlen licht bewaldeten Rheinufer (»Auen«) gelegene Theil, grossentheils kultivirt, in Ackerfeld verwandelt, dieses in »Bürger-Löser« abgetheilt und mit Getreide, Kartoffeln und Hanf bepflanzt. Der übrige noch mehr oder weniger sumpfige Theil hat

¹⁾ Dasselbe blühte während 3 Jahrhunderten; noch im Jahre 1650 neu aufgebaut und wiederholt (1658, 1669) monographisch beschrieben, bestand die Anstalt noch bis Anfang des vorigen Jahrhunderts. Vom berühmten Fläscherwein, den Scheuchzer „pro primitiis vini Rhenani“ erklärte, gehörte der beste dem Besitzer des Bades.

noch den ursprünglichen »Wiesenmoor«-Charakter der Rhein-»Rieder« bewahrt, und liefert in seiner, vorherrschend aus »sauren« Gräsern, Seggen, Binsen, Schilf und einigen rauhen oder bitteren Sumpfkrautern bestehenden Florula nur eine geringe Waide, und vorzüglich Streu.

Hier hausten nun die Heuschrecken und zwar mit grosser Vorliebe, wenn auch nicht ausschliesslich, im Ackerlande, während die schönen Baumgärten und Gemüsegärten in der näheren Umgebung des Dorfes, sowie auch die längs der Berglehne weithin sich dehnenden (ein renommirtes »Gewächs« liefernden) Weinberge, annoch davon verschont blieben. Kaum aus den Dorfgassen heraus, stiess man, auf der zwischen den Baumgärten rheinwärts hinabführenden Strasse, auf die hüpfenden Vorposten des gefrässigen Insekts, mit jedem Schritte vorwärts gegen das »Ried« wuchs ihre Zahl, und nun am südöstlichen Rande der Ebene angelangt, stand Referent mitten im dichten Gewimmel der braunen Heerschaaren, die weithin die Fläche bedeckten, so dass jeder Fusstritt deren Dutzende bedecken und in den weichen Boden drücken musste, freilich ohne dem zählebigen Insekt immer absolut verderblich zu sein. Es war die oben beschriebene Larvenform, aber in vielerlei Abstufungen der Farbe und Grösse, bei einer von 1 bis 3 centim. wechselnden Länge von vorherrschend brauner, bald mehr in's Schwarze, bald mehr in's Grüne spielender Färbung, offenbar verschiedene Altersstufen und Spielarten einer und derselben Species darstellend. Bald gelang es auch, einzelne völlig entwickelte Individuen in den Aeckern aufzuspüren und — da sie sich bereits mehr fliegend als hüpfend fortbewegten — nicht ohne Mühe zu erhaschen, womit die Artfrage auf den ersten Blick definitiv zu erledigen war. Es war in der That die *ächte Wanderheuschrecke* (*Acridium* s. *Oedipoda* s. *Pachytylus migratorius* der Autoren), eine in der Schweiz, ausser den transalpinen Thälern, bisher

bloss im untern Rhonethal als ansässig bekannte Art.¹⁾ Diese Erklärung gab Referent auch sofort an den anwesenden Gemeinde-Vorstand ab, zugleich auf die Grösse der Gefahr hinweisend, welche ein durchaus rasches und energisches Einschreiten erheische.

Es war ein heisser Sommertag (das C.-Thermometer zeigte noch 3^h 30' p. m. eine Luftwärme von 29^o im Schatten der »Bad«-Grotte, während das Wasser der darin entspringenden Quelle bloss 11^o wies), und bei solchem Wetter — erklärten die Fläscher — seien die Heuschrecken besonders munter und gefrässig. Referent hatte es diesfalls also gut getroffen. Während einer mehrstündigen Begehung des ganzen zwischen Dorf und »Bad« gelegenen Gebietes konnte er sich bald überzeugen, dass weitaus der grösste und gefrässigste Theil des Heuschreckenheeres, das eigentliche gros de l'armée, welches sich auf das Culturland im südlicheren breiteren Theile des Ebene geworfen und dort im entschiedenen Vorrücken nach Süden — in der Richtung gegen Maienfeld — begriffen war, sich dermalen noch in jenem obgedachten vorgerückteren Larven- oder Puppen-Stadium befinde, nach beendigter dritter oder vierter Häutung, womit die kurzen Flügelansätze hervortreten, der Appetit und die Wanderlust gewaltig zunehmen. In spätestens 2 bis 3 Wochen stand diesen die fünfte (letzte) Häutung bevor,

¹⁾ Die zahlreichen Zeitungsnachrichten über das diesjährige massenhafte Auftreten derselben in der Westschweiz und in Deutschland etc. tauchten erst einige Wochen später auf, nachdem *zuerst* die *Bündner Blätter* („Bündner Tagbl.“ Nr. 158 und „Fr. Rhätier“) vom 9. Juli an wiederholt auf das Fläscher Vorkommniß hingewiesen hatten. Vergl. „N. Zürcher Ztg.“ vom 20. und 21. Juli, „Berner Tagesp.“ vom 24., „Seeländ. B.“ vom 27., „Allgem. Ztg.“ vom 28., „Köln. Ztg.“ vom 29. und Schweiz. Volksfr.“ vom 30. Juli. Der „Deutsche Reichsanzeiger“ brachte erst im August die offizielle Mittheilung über den Einfall eines Heuschrechenschwarmes in die Mark Brandenburg.

wobei die fertigen Flügel erscheinen und jetzt erst das nun reife Thier befähigen, sich zum Fluge zu erheben, dessen Richtung der gerade herrschende Wind bestimmen soll. Dieser weht aber im ganzen Rheinthale bis weit über Chur hinauf an schönen Sommertagen bekanntlich sehr vorherrschend und anhaltend aus nördlicher Richtung (vom Bodensee her) und er musste alsdann die Heuschreckenzüge — die nur bei heiterem Wetter und Sonnenschein erfolgen — direkt gegen die Hauptstadt und das Innere des Kantons Graubünden lenken. Dann konnte diese, annoch auf das kleine Gebiet einer Grenzgemeinde lokalisirte Plage, allmählig zur *Landesplage* heranwachsen. Noch waren indess nur sehr vereinzelt beflügelte Individuen zu bemerken und ihr Flug — wie er es beim frisch gehäuteten Insekt zu sein pflegt — noch ein matter; noch war es also möglich, den grimmen Feind zu packen, auf's Haupt zu schlagen und zu vernichten. Im Larvenzustand noch die Brut zu zerstören — darauf kam es jetzt vor Allem an.

Bereits hatte Fläsch einige Mannschaft aufgeboten und war diese eben damit beschäftigt, den vom Referenten schon früher ertheilten Rath: »der Thiere soviel als möglich todt zu schlagen«, praktisch auszuführen. Da standen die Männer im Kreis und schlugen mit Dreschflegeln tapfer darauf los auf die dunkle Brut, während Andere, unterstützt von der Dorfjugend, immer neue Opfer in den verhängnissvollen Kreis jagten. Doch musste sich Referent bald überzeugen, dass dieses Verfahren im Hinblick auf die furchtbare Menge der Insekten keineswegs genüge; viele der Thiere entsprangen unversehrt, andere wurden bloss in den weichen Boden gedrückt und erholten sich bald wieder, und nur ein kleiner Theil wurde wirklich erschlagen. Es musste das Vernichtungswerk in weit grösserem Massstabe und weit planmässiger unternommen werden.

Referent empfahl vor Allem ein System von ungefähr 2' tiefen und ebenso breiten Gräben mit Fallgruben aufzu-

werfen, in welche die Thiere hineingetrieben, getödtet und dann mit Erde zugedeckt werden sollen. Sodann sollten rasch einige Hundert Hühner herbeigeschafft und auf dem »Ried« einquartiert werden, um dem Reste der Wanderheuschrecken den Garaus zu machen, zugleich aber auch um unter den kleineren einheimischen Feldheuschreckenarten (wie *Chorthippus* s. *Stenobothrus variabilis*, *viridulus*, *pratensis*, *rufipes*, *lineatus* etc.) tüchtig aufzuräumen, da diese ebenfalls in sehr grosser Individuenzahl hier (wie übrigens vielfach anderwärts, z. B. bei Chur, im Ober-Engadin) sich vorfanden, aber von jenen scharf getrennt mehr im nördlichen Theile des »Riedes,« wo sie mit dem geringeren Futter der sauren Wiesen und Waiden sich begnügten.

Der durch die Heuschrecken nur im Culturlande der »Gemeinde-Löser« bis dato (1. Juli) verursachte Schaden wurde vom Vorstande in Gegenwart des Referenten annähernd auf 6000 Fr. geschätzt. Am meisten hatten die Getreidefelder gelitten; sie boten ganz das Aussehen von Stoppelfeldern, halbdürre entblätterte Halme, oben geknickt oder abgefressen, der Boden mit halbzernagten Aehren bedeckt. Während die zärteren Rispen des Hafers von den gefräßigen Larven leicht bewältigt wurden und daher fast gänzlich verschwunden waren, boten die härteren Weizen- und Roggenähren mehr Widerstand, sie hingen umgeknickt am halbdurchfressenen Halme oder lagen abgebissen und halbzernagt am Boden. Mais, Kartoffel und Hanf waren von ihrem Zahne verschont geblieben, obwohl sich die Larvenschaaren auch in diesen Culturen verbreiteten, an manchem saftigen Hanfstengel Duzende der braunen Gesellen herumkletterten oder oben auf dem grünen Blätterdache in ihren sammtscharzen goldbesäumten Jacken paradirten und sich sonnten. Es ist dies um so auffallender, da selbst rauhe wildwachsende Gräser und Halbgräser, ja (später und anderwärts) sogar harter Schilf (*Phragmites*), nicht verschmäht

wurden, wie manche ganz kahl gefressene und dicht mit den Excrementen der Wanderheuschrecken bedeckte Stellen des unkultivirten Riedbodens bewiesen. Indessen blieben auch da die bitteren Kräuter der schönen blauen Lungenblume (*Gentiana Pneumonanthe*) und des officinellen Tausendguldenkrauts (*Erythraea Centaurium Pers.*), sowie ferner Flohkraut (*Pulicaria dysenterica Gärtn.*), Baldrian (*Valeriana angustifolia Tsch.*) u. a. häufige Riedkräuter unangetastet.

Eine entschiedene Vorliebe für Grasfutter konnte Referent auch an den längere Zeit (1. Juli bis 10. August) in Gefangenschaft gehaltenen Larven und geflügelten Individuen der Wanderheuschrecke, die er sich deshalb von Fläsch aufgehoben hatte, konstatiren. Unter dem gereichten Futter wurden grüne Weizen- und Haferhalme Allem vorgezogen, dann aber auch gemeine wildwachsende Gräser, wie Quecke und Knäuelgras, Fennich (*Setaria viridis*), Schwingel (*Festuca elatior*), Rispengras (*Poa trivialis*), Lolch (*Lolium perenne und italicum*), ja selbst angeblich giftiger Taumellolch (*L. temulentum*) durchaus nicht verschmäht, im Nothfalle endlich auch mit gemeinem Löwenzahn (*Leontodon*) und Pfaffenröhrlein (*Taraxacum*), Pippau (*Crepis biennis*), Kornrade (*Agrostema Githago*), Kälberkropf (*Chaerophyllum silvestre*), wilder Möhre, selbst krankem Weinrebenlaub etc. vorlieb genommen. Selbst Fälle von Cannibalismus kamen unter diesen Gefangenen vor, wobei es vor Allem auf die saftigen Keulen der Sprungbeine abgesehen schien und Larven oder sonst schwächere matte Individuen als Opfer fielen. (Mit einer einzigen gefangenen Larve gelang die Erhaltung bis zur letzten Häutung und vollkommenen Entwicklung der Flügel, alle andern gingen vorher zu Grunde).

Noch denselben Abend kehrte Referent mit dem vorletzten Zuge nach Chur zurück. Die gesammelten Exemplare der Wanderheuschrecke in verschiedenen Entwicklungsstadien dienten Tags darauf zur Vorweisung in den natur-

geschichtlichen Unterrichtsstunden an der Kantonsschule und blieben dort auch während der öffentlichen Schlussprüfungen (4. bis 7. Juli) zur Besichtigung aufgestellt. Am Abend des 8. Juli brachte dann Referent eine kurze mit Demonstration verbundene Mittheilung über diesen Gegenstand in einer gemeinsamen Sitzung der »Naturforschenden Gesellschaft Graubündens« und der »Sektion Rhaetia« des S. A. C. vor.

*

*

*

Inzwischen hatte die Gemeinde Fläsch die ihr vom Referenten empfohlenen Vertilgungsarbeiten rasch und energisch in Angriff genommen. Es wurden zahlreiche Gräben, besonders am Süd- und Ostrande des »Riedes,« gezogen, dann die Heuschrecken schaarenweise hineingetrieben, erschlagen und mit Erde zugedeckt. Die Nachbargemeinden Maienfeld und Jenins leisteten Beistand, indem diese ein Contingent Treibjäger, jene die ganze Schuljugend als Hilfstuppe sandte. Früh des Morgens ging die Treibjagd schlechter und ebenso des Abends, am besten von 9 Uhr bis Nachmittags, denn um diese Zeit waren die Insekten lebhafter und beweglicher. Auf diese Weise wurde eine sehr grosse Zahl Larven getödtet und sodann bezog man aus dem Vorarlbergischen nach und nach über 400 Hühner (à 1 Fr. 20 Cts. per Stück, franko Station Maienfeld), denen man noch eine Anzahl einheimischer beigeesellte, welche auf die Heuschreckenwaide geführt wurden und wacker manövrirten. Schon am 9. Juli konnte der Vorstand von Fläsch an den Referenten folgendes berichten: »Ihre Anordnungen haben wir befolgt und nicht ohne Erfolg, denn viele Tausende ja Millionen solcher Insekten sind in den aufgeworfenen Gräben vertilgt worden. Die Masse hat sich *ganz entschieden bedeutend verringert*. Dagegen ist die Witterung gegenwärtig nicht günstig, weil sowohl bei regnerischem als auch bei windigem Wetter die Thiere sich schlecht treiben lassen. Auch wird die Zahl der geflügelten immer grösser. Die

bestellten Hühner sind theilweise angelangt und thun auch das ihrige.« — Spätere mündliche Berichte lauteten noch günstiger und gingen, durch Vermittlung von Fälsch, theilweise in Bündner Blätter («Fr. Rhätier» Nr. 172 vom 26. Juli) über. Indessen dauerte jener, dem Vertilgungskrieg ungünstige, nasskalte Witterungscharakter noch längere Zeit fort. —

Aus diesen und anderen Gründen musste ein zweiter Besuch des Kampfplatzes durch Referenten bis zum 20. Juli verschoben werden. An diesem Tage hatte sich das Wetter aufgehellt; Referent fuhr mit dem Morgenzug nach Ragatz und ging von da über den Rheindamm nach Fläsch, um sich vom dortigen Stande der Dinge zu überzeugen. Es schien wieder eine warme Julisonne über den Gefilden des Rheinthales, während an den ferneren Gebirgen im Norden und Westen dann und wann Strichregen vorbeizogen. Aber trotz des günstigen Wanderwetters waren heute weit und breit keine Wanderheuschrecken zu sehen: weder in den Feldern nächst der Station Ragatz, noch auf dem Rheinsande und -Damme von da bis Fläsch irgendwelche Spuren, ja selbst hier, auf dem klassischen Boden der Gemeinde-Löser, war jetzt Alles still. Statt des Gewimmels und Geschwirres der braunen «Grashüpfer», deren Leichen jetzt die Erde deckte, ertönte vom Hintergrunde des Feldes herüber heller Hahn-ruf und fröhliches Gegacker; denn dort bivouakirten die gefiederten Occupationstruppen in 3 Corps vertheilt, welche nach allen Richtungen ihre Wachtposten ausgestellt hatten. Da plauderte und krächte man, scharrte im Sande herum oder stand mit den Beinen im Schlamm und ass Würmer, Schnecken, Larven, Heuschrecken und andere Delikatessen, oder hielt Siesta im schattigen Lagerzelt. Wehe dem versprengten Wanderheuschreck aus fernen Steppen, der im Bereiche der Lager sich erblicken liess! Das Hühnervolk ist wachsam und jeder Posten thut seine Pflicht. Und Wachsamkeit

that noth; denn dort hinter jenem tiefen Wassergraben im Osten, von zwiefachem Wall gedeckt, lauerte im Schilfröhricht verborgen der verwegene Feind, die Trümmer des geschlagenen und halb aufgeriebenen Heuschreckenheeres, die in jenen abgeschlossenen Winkel des «Riedes» sich zurückgezogen hatten, und jetzt dort im Kauen von früher verachteter rauher Binsen- und Schilfkost neue Kräfte zu sammeln suchten. Jeden Augenblick konnte Noth oder angeborner Wandertrieb diese leicht bewegliche Horde zu irgend einem verzweifelten Handstreich, zu neuen Streifzügen und Ueberfällen treiben. —

Ueber das endliche Schicksal dieser traurigen Ueberbleibsel des einstigen furchtbaren Heuschreckenheeres gibt der vom 12. September datirte Schlussbericht des Fläscher Gemeindevorstandes an den Referenten Auskunft:

»Die *Wanderheuschrecke* — heisst es dort u. a. — hat sich jetzt fast ganz verloren, d. h. nach allen Richtungen zerstreut. Am Ehmd und überhaupt an den Nachfrüchten wurde *gar nichts mehr geschadet*. Die kantonale landwirthschaftliche Commission gab mit Bewilligung des Kl. Rathes 100 Fr. als Beitrag für angewendete Vertilgungsmassregeln. Die Hühner haben wir jetzt grösstentheils nach Ragatz verkauft. Von 420 angekauften blieben uns noch 170 Stück übrig, der Rest ist durch Füchse, Hunde, Raubvögel etc. zu Grunde gegangen. Die aufgeworfenen Gräben will man bis nächsten Frühling offen lassen, um selbige nöthigenfalls wieder gebrauchen zu können. Die Hühner thaten ohne Zweifel gute Dienste und würden noch bessere thun, wenn man sie schon beim Erscheinen der Larven im Frühjahr ankaufen und auf den Posten stellen würde!« —

* * *

Auf seine wiederholten Fragen nach der muthmasslichen Herkunft und dem ersten Auftauchen der vorher dort unbekanntem kornfressenden Heuschrecken erhielt Referent von

den Fläschern stets die nachfolgende Auskunft: Bereits im Vorjahre (1874) seien einzelne dieser Thiere — wie man sich jetzt wohl erinnere — da und dort auf ihren Fluren gesehen, aber da sie noch keinen merklichen Schaden thaten, nicht weiter beachtet worden. Im Laufe dieses Frühjahres (etwa im Mai) hätten sich ihre Larven im nördlichen (uncultivirten) Winkel des »Riedes«, in der Gegend des »Bades«, ganz nahe am Rhein zuerst in Masse gezeigt und sich alsdann, allmählig an Zahl, Grösse und Gefrässigkeit zunehmend, über die ganze Ebene bis in die Gemeindegüter ausgebreitet. Woher diese fremden Gäste gekommen sein mochten, wusste man nicht, denn in der ganzen Nachbarschaft war von einem dermaligen oder früheren Auftreten derselben damals (1. Juli) noch nichts bekannt. Da die Larven nicht überwintern und noch keine Wanderungen in grosse Entfernungen auszuführen vermögen, so beweist schon ihr diesjähriges massenhaftes Erscheinen sowie ihre ungleichen Altersstufen, dass *allerspätstens* im Herbst 1874 die Besiedlung der Fläscher Flur durch eine *grössere* Anzahl Wanderheuschrecken erfolgt sein müsse. Dazu war die trocken-warme Witterung des schönen Herbstes 1874 allerdings ebenso günstig, als der ungefrorene, von einer hohen Schneeschicht geschützte, Erdboden des darauf folgenden Winters und die (seit April) rasch steigende und anhaltend hohe Frühlingswärme von 1875 — alles Momente, welche für die Fortpflanzung, die Ueberwinterung der Eier und die Entwickluug der Brut nicht förderlicher gedacht werden könnten. Aber eine plötzliche Masseneinwanderung — die millionenfache Brut von 1875 setzte allermindestens einen in die Zehntausende zählenden Zug voraus — könnte doch nicht unbemerkt erfolgt sein, da solche Wanderungen ja nur am Tage und bei warmem Sonnenschein ausgeführt werden, und der gesteigerte Appetit der Wanderthiere beim ersten Halt des niederstürzenden Schwarmes die ärgsten

Verwüstungen in der Pflanzenwelt anrichten musste. Vielmehr deutet Alles darauf hin — und obige Aussagen der Fläscher stimmen auch dazu — dass die Einwanderung (wenn von einer solchen überhaupt die Rede sein kann und man es hier nicht mit einer schon lange Zeit einheimischen oder eingebürgerten Art zu thun hat, wogegen denn doch zuviele Thatsachen sprechen) ganz allmählig und successive, vielleicht von verschiedenen Seiten und in verschiedenen Jahren, erfolgt sei. Für eine mindestens 10jährige Anwesenheit dieser Art im Churer Rheinthale gelang es endlich dem Referenten einen direkten Beweis aufzufinden. Das Naturalienkabinet zu Chur besitzt nämlich eine kleine Anzahl in Spiritus aufbewahrter Orthopteren, darunter auch ein mit verschiedenen Arten gefülltes Glas, mit einer von Professor Theobald's Hand geschriebenen Etiquette versehen, welche unter der Ueberschrift «Heuschrecken» wohl den Fundort «Rheinufer bei *Felsberg*» und den Jahrgang «1866» bezeichnet, nicht aber die nähere Bestimmung der Arten enthält. Als nun Referent, angeregt durch die in Fläsch gemachten Beobachtungen, den Inhalt dieses Gefässes näher untersuchte, fanden sich darunter 3 wohlerhaltene Exemplare der ächten Wanderheuschrecke (*Pachytylus migrator.*) in völlig entwickeltem (beflügelten) Zustande, wovon 2 Weibchen. Damit ist das vereinzelte Vorkommen dieser Art, wenigstens für *einen* Punkt des Bündner Rheinthaales, bereits *vor* den grossen Ueberschwemmungen des Jahres 1868 unwiderleglich documentirt. Was aber für diesen einen Punkt und das Jahr 1866 erwiesen ist, das kann wohl unbedenklich auch für mehrere Lokalitäten und bereits frühere Jahrgänge als möglich und sogar wahrscheinlich angenommen werden. Und dann ist nicht zu übersehen, dass in den, durch die im letzten Decennium in erschreckender Weise sich häufenden Rheinüberschwemmungen und Dammdurchbrüche, namentlich im mittleren und unteren

Stromgebiete, neu entstandenen grossen Sand- und Griesflächen eine Menge, für die Vermehrung und Entwicklung dieser Brut äusserst günstiger Lokalitäten geschaffen wurde, und zwar gerade in Gegenden, wo früher ausgedehnte Sümpfe diese, gegen Feuchtigkeit (namentlich auch im Winter, im Eizustande) äussert empfindlichen Steppenthiere ferngehalten hatten. Hierin dürfte auch, wie Referent glaubt, ein deutlicher Fingerzeig liegen, nach welcher Seite hin weitere Nachforschungen über Richtung, Ort und Zeit der ersten Einwanderung stattzufinden hätten. Vom südlichen Russland und den Donaufürstenthümern über Ungarn und Oesterreich zieht sich der Donau entlang eine bekannte Heerstrasse der Wanderheuschrecken nach Süddeutschland, bis in's südwestliche Bayern, wo sie noch im vorigen Jahrhundert (1748, 1749), wie schon früher mehrmals (z. B. a. 1333 bis 1339) verheerend auftraten, von wo aus sie auch damals schon einmal ihren Weg in die Ostschweiz fanden (a. 1338 im August und September bis an den Zürichsee und in's Glarnerland, ebenso 1354), «seit der Zeit aber hier nicht mehr erschienen» (O. Heer im «Gemälde d. Schweiz», VII. Bd. Ct. Glarus, S. 208). —

Als kleinen Beitrag zur Aufklärung der oben angedeuteten Fragen, auf welche Referent hier nicht weiter eintreten kann, lässt derselbe noch seine im Laufe dieses Sommers gesammelten Beobachtungen über *weitere Vorkommnisse der Wanderheuschrecke im ostschweizerischen Rheingebiete* folgen, woraus sich ein ziemlich vollständiges Bild ihrer diessjährigen Verbreitung in den Kantonen *Graubünden* und *St. Gallen*, sowie im angrenzenden Fürstenthum *Lichtenstein*, ergeben dürfte.

Im *Bündnerischen* Rheingebiete blieb das Auftreten derselben im *Larvenzustande* allerdings einzig auf die Gemeinde Fläsch beschränkt, auch sind an keinem anderen Orte irgend welche merkliche Beschädigungen durch Wan-

derheuschrecken vorgekommen. Noch im Juli durchsuchte Referent die Rheinufer bei Felsberg, Chur und Zizers vergeblich nach Spuren derselben. Erst mit Anfang August scheinen die ersten *beflügelten* Marodeurs die Landquart überschritten zu haben; in den Tagen vom 5.—9. trieben sich einzelne Individuen bereits in den Gassen und auf öffentlichen Plätzen der Stadt *Chur* herum und drangen sogar Abends mehrfach durch die offenen Fenster in Parterre-Wohnungen ein (z. B. im Café «Calanda», zur «Veltlinerhalle» am Kornplatz), wo sie natürlich alsbald abgefasst und noch lebend dem Referenten zugestellt wurden. Solches ereignete sich am 10. Abends auch in *Thusis* («zur Post»), wo Referent den folgenden Tag seine Nachforschungen im Flussgebiete des Hinterrheins begann (sie erstreckten sich über Domleschg, Heinzenberg, Schams, Rheinwald und das Seitenthal Safien und dauerten bis zum 25. August), während Hr. Ingenieur Albricci gleichzeitig die ersten Individuen aus dem Vorder-*rheinthal* einbrachte, die er auf der Ebene Pardella am rechten Rheinufer zwischen *Ruis* und Tavanasa (am 11. Aug.) abgefasst hatte. So wurden ferner, im Laufe des August und September, vereinzelte (beflügelte) Exemplare beobachtet: in der «*Herrschaft*» (bei Jenins und Malans); im *Vorder-Prätigäu* (bei Grüşch und Jenatz); im Kreise der 5 *Dörfer* (bei Igis, Landquart, Felsenbach, Zizers, Untervatz und Haldenstein); in der Umgebung von *Chur* (Fürstwald, Mittenberg, Bizockel) und im *Schalfik* (Erosa 1892 m.) vereinzelt sogar bis an die Alpenregion hinan; endlich im Kreise *Ilanz* (Gruob) bei Carrêra, Vallendas und Kästris, hier auf dem sog. Kästrisersand, zwischen der Rheinbrücke und dem Dorfe, sogar in weit grösserer Zahl als an irgend einem der übrigen südlich der Landquart gelegenen Punkte. In Tavetsch, Disentis, Safien, Rheinwald, Schams, Churwalden, Valzeina konnte Referent während kürzeren oder längeren Aufenthaltes keine Spuren entdecken. Im Ganzen

hat sich das Insekt somit an die *Ebenen-Region* (bis 850 m.) gehalten — welche nur bei Chur und in Erosa von einzelnen Individuen merklich überschritten wurde —, und hat es sich hier mit grosser Vorliebe, wenn auch nicht ausschliesslich, auf den schilfbewachsenen, häufig überschwemmten Sandflächen längs des Rheins und seiner bedeutenderen Zuflüsse (Landquart, Hinterrhein, Vorderrhein) niedergelassen.

Dass diese Einwanderer nicht von Fläsch ausgehen konnten, ergibt sich aus dem Obstehenden wohl von selbst. Gegen eine solche Annahme sprechen die Zeit der Ausbreitung südlich der Landquart (1 Monat nach der Vernichtung der Hauptmasse auf dem Felde von Fläsch), gleichwie die immerhin beträchtliche Individuenzahl (auf 1 Punkt concentrirt genug, um die ganze Gemeinde Fläsch zu überschwemmen, während doch daselbst am 20. Juli nur mehr ein kleiner schilfbewachsener Winkel des «Riedes» von den Ueberbleibseln besetzt war), sowie die vorherrschende Färbung der meisten vom Referenten gesammelten oder gesehenen Exemplare (einer grünen Varietät angehörig, die in Fläsch selten, um so häufiger und als vorherrschend an den im Nachfolgenden genannten Lokalitäten erscheint). Woher die geflügelten Schaaren gekommen sein möchten, welche im Laufe des August und September sich über das Innere des Kantons Graubünden ausbreiteten, dürfte aus den nachfolgenden Thatsachen leicht zu enträthseln sein.

Kurze Zeit nach dem 1. Juli tauchten Zeitungsnachrichten auf, welche das Auftreten der Heuschreckenplage (freilich ohne nähere Bezeichnung) auch im Bezirk Werdenberg des St. Gallischen Rheinthaales meldeten. Um dieses Vorkommen und eine allfällig weitere Verbreitung der Wanderheuschrecke zu studiren, ging Referent am 20. Juli, nach Besichtigung des Fläschergebietes, über die Luziensteig in's Fürstenthum Lichtenstein, das er bis Schan (an der Bahn von Buchs nach Feldkirch) durchwanderte, über-

setzte dann am 21. an 3 Stellen den Rhein bei Buchs, Sevelen und Trübbach, und fuhr desselben Abends noch per Eisenbahn nach Chur zurück. Folgendes sind die Ergebnisse der vom Referenten auf dieser Rund-Tour gesammelten Beobachtungen und Erkundigungen.

Auf dem rechten Rheinufer im *Lichtensteinischen* zeigte sich ein reichliches Vorkommen von *Pachytylus migratorius* einzig im «*Balzerser-Ried*», wo an einer dicht mit Schilfröhricht bewachsenen Stelle nahe am Rheindamm, etwa $\frac{1}{2}$ Std. nördlich vom Dorf Balzers und der Trübbacher Rheinbrücke, noch viele *Larven* und eine Menge geflügelter Individuen (der grünen Varietät) des Insekts sich ausschliesslich im Schilf aufhielten, ohne die etwas entfernten Maisfelder zu belästigen. Nach der Aussage des dortigen Lehrers (Hr. Hasler) sollen Thiere dieser Art früher allda nicht bemerkt worden sein. Längs der ganzen Uferlinie von Vaduz bis Schan fanden sich, trotz eifrigen Suchens, zwei einzige, offenbar vom jenseitigen Ufer verirrte Exemplare (darunter 1 Larve), in einiger Entfernung vom Rheinufer landeinwärts aber durchaus keinerlei Spuren. Einige von weitem verdächtig aussehende Weizenfelder bei Vaduz, zu denen Referent von seinem zuvorkommenden Wirthe (Hr. Rheinberger) in Gesellschaft einiger freundlichen Lichtensteiner Herren (worunter ein Arzt Dr. Sch., ein Fabrikdirektor, ein Beamter) geleitet wurde, erwiesen sich in der Nähe besehen einfach als rostkrank. Von einem anderweitigen Auftreten der Heuschrecken auf Lichtensteinischem und Vorarlbergischem Boden war auch diesen Herren, deren Interesse für den Gegenstand durch Zeitungsnachrichten aus der Schweiz wachgerufen worden, Nichts bekannt geworden, ausser einer kurzen Notiz, welche ein Vorarlberger Blatt vor 8—14 Tagen gebracht und wornach damals die Getreidefelder der Gemeinde *Bratz* im Klosterthal (2 Std. hinter Bludenz) durch Heuschreckenfrass gelitten hätten. —

Ganz anders sah es auf dem linken Rheinufer im *St. Gallischen* Bezirk Werdenberg aus. Dort erwiesen sich die ausgedehnten «Auen» und «Rieder», sammt anstossenden Feldern, auf Gebiet der grossen Gemeinden *Buchs* (mit 2200 Einw.) und *Sevelen* (mit 1500 Einw.) völlig überschwemmt von den Schaaren der ächten Wanderheuschrecke in allen Entwicklungsstadien, doch waren darunter mehr geflügelte als Larven und vorherrschend die grüne Varietät. Bei der Station *Buchs* umschwärmten ihre Vorposten die Bahnhofgebäulichkeiten; dort, auf der Sandfläche gegen den Rhein hin, hatte sich im Mai noch das Gros der Heuschrecken (Larven) -Armee herumgetrieben, dann allmählig, in *südlicher* Richtung vorrückend, das Gebiet von *Sevelen* überfluthet, und jetzt (21. Juli) stand es schon eine gute $\frac{1}{2}$ Stunde südlich von letzterer Ortschaft unterhalb *Wartau* am Rheine nahe den Grenzmarken von *Azmoos* und *Trübbach*. Das Gewimmel der hüpfenden und fliegenden Kerfe war bei der Rheinbrücke von *Sevelen* kaum geringer als vor 3 Wochen bei *Fläsch*, und als Referent dort, mitten im Schwarme stehend, einen *Seveler* Burschen nach der Ausdehnung des Heuschreckenheeres befragte, antwortete dieser — indem er mit dem Finger gerade nach Süden zeigte — «det oba isch all's schwarz, det flügen'sch' gad wie d'Vögel». — Von irgendwelchen Anordnungen zur Verminderung oder Vertilgung der Heuschrecken konnte Referent aber durchaus nichts bemerken, weder bei *Sevelen* noch bei *Buchs*. Und es befand sich also das Gros der Armee damals schon in kaum $1\frac{1}{2}$ stündiger Entfernung von *Fläsch*, in allgemeinem Vorücken nach Süden d. h. in der Richtung nach *Graubünden* begriffen! — —

V.

Ueber das Auftreten der Wanderheuschrecke am Ufer des Bielersee's,

von

Albert Müller in Basel.

Angeregt und zugleich misstrauisch gemacht durch Zeitungsnachrichten, wonach zwischen Vinelz und Lüscherz auf dem Strandboden nächst der Budlei, einem Gute des Herrn Landolt in Neuenstadt, in zirka 5 Tagen bei 15 Jucharten schön stehenden Hafers total abgeweidet worden seien, begab ich mich in den ersten Tagen des August 1875 über Erlach in die genannte Gegend und durchwanderte theils in Begleit von lokalen Führern, theils allein die heimgesuchten Gemeinden des Amtsbezirks Erlach, namentlich die Strandgegenden zwischen Vinelz und Lüscherz. Bei meiner Ankunft war das Gros de l'armée des gefrässigen Insekts bereits zernichtet. Schon am 19. Juli war die gesammte Schuljugend und die erwachsene Bevölkerung des Bezirks damit beschäftigt gewesen, in gemeinschaftlichem Treiben gegen den See zu der Plage Meister zu werden. Es soll dabei vorgekommen sein, dass sich die geflügelten Schaaren bis an den Wasserrand treiben liessen, worauf sie sich in gemeinschaftlichen Flüge erhoben und über die Köpfe der Treiber hinweg das Weite suchten. Was erreicht werden konnte, wurde in mit Petroleum getränkten, schnell aufblodernden Strohfeuern theils erstickt und verbrannt, theils aber auch zertreten und in Gruben eingescharrt. Ich mache darauf aufmerksam, dass wo bei mit Eiern angefüllten Weibchen nicht der Tod durch Feuer oder siedendes Wasser vorangegangen, das oberflächliche Zertreten und nachherige Einscharren der Körper keinerlei Garantie gegen die even-

tuelle Entwicklung der unverletzten Eier darbierte, wesshalb es angezeigt ist, auch sämtliche getödtete Heuschrecken dem Feuer zu übergeben. Des Weitern ist es unbedingt wichtig, bei etwaigem künftigem Auftreten der Heuschrecken dieselben zu vernichten, ehe sie flügge geworden, am Allerbesten gleich nach dem Auskriechen aus den Eiern.

Ich habe die zwischen Vinelz und Lüscherz in Mehrzahl eigenhändig gesammelten Stücke der Schrecke untersucht. Es ist der ächte *Pachytylus migratorius*, und zwar ist die Mehrheit der Exemplare an Ort und Stelle ausgekommen, da sich die Art in allen möglichen Entwicklungsstadien vorgefunden hat. Ich bin überzeugt, dass die grossartige Massenentwicklung der Art eine Folge der Tieferlegung des Bielersee's ist. Diese allerdings im Ganzen und Grossen nützliche Operation hat am Rande des See's ausgedehnte, sandige, kahle Flächen entblösst, die in Folge ihres Unkultivirtseins zuerst den Heuschrecken die besten und in Folge ihrer Isolation und Insolation die günstigsten Brutstellen dargeboten haben, wo erstere ungestört dem Geschäft des Eierlegens in dem weichen Boden obliegen konnten. Die hernach eingetretene stellenweise Urbarmachung des neugeschaffenen Areals hat dann der Ausbreitung, daher dem Nahrungsbedürfniss der neu angesiedelten Heuschrecken-Kolonieen noch Vorschub geleistet. Gänzliche Befreiung von der Plage ist bloss durch schnellmöglichste dichte Cultivation der ganzen gewonnenen Fläche und durch Einführung der Wechselwirthschaft herbeizuführen. Das Brachlegen einzelner Felder auf dem ehemaligen Seeboden ist möglichst zu vermeiden, denn jedes trockene Jahr wird auch in Zukunft wieder die massenhafte Entwicklung der Thiere möglich machen. Ich habe mich durch eingehende Besichtigung der rudera cultivirter und wilder Pflanzen überzeugt, dass die Berichte der Presse keineswegs übertrieben waren. Ausgedehnte Haferfelder waren

kahl abgefressen. Auf einer Juchart von Rebenstecklingen war alles Blattwerk, ja sogar die noch geschlossenen Augknospen gänzlich verschwunden.

Auf einem nahezu schnittreifen Kornfelde lagen die abgerissenen Aehren in Menge herum oder hingen geknickt an den halbdurchgenagten Halmen. Ich machte die Beobachtung, dass die Heuschrecken mit Vorliebe die saftreiche Stelle zwischen Halm und Aehre zum Durchnagen ausgewählt hatten. Gerste, Erbsen, Kartoffelkraut wurden keineswegs verschmäht, ja sogar der Hanf wurde angetastet. Am noch grünen Mais assen die Heuschrecken den Stengel sammt den Blättern. Die Stengel wurden nahe beim Boden durchgebissen und solche von weniger als Daumensdicke gänzlich consumirt. Bei den zähern ältern Blättern der Maispflanze blieben bloss die holzigeren Längsrippen verschont, so dass solche angefressene Blätter, wo in Menge bei einander, der geschädigten Pflanze ein besenartiges Aussehen verliehen.

Die wilde Vegetation dem See entlang hatte nicht minder gelitten. Die Binsen waren massenhaft geschält, ihr grünes Integument abgefressen; weiss gebleicht standen die Bestände da, als ob ein weissengender Hauch über sie ergangen. Am Schilfrohr waren die zarteren Theile, daher die Endsprossen und weicheren Theile der Blätter sämmtlich weggefressen, in langen dreizinkigen Gabeln starrten die verschonten Längsrippen der letztern gen Himmel, die spärliche niedrige Vegetation war bis zur Wurzel abgeäst.

Bei solchen Symptomen eines Insektenfrasses ist es allerdings nicht zu verwundern, wenn einzelne Kantonsregierungen, obschon vergeblich, beim Bund auf gemeinsames Vorgehen in dieser Sache drangen. Es ist Sache der Vertreter der angewandten Entomologie, auch ihrerseits dafür zu wirken, dass nicht erst (wie bei *Phylloxera vastatrix*) der Bund sich um Insektenschäden kümmert, wenn es zu spät dazu ist! —
