Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 10 (1908-1909)

Heft: 4

Artikel: Versuche über primäre und sekundäre Beeinflussung der normalen geothermischen Tiefenstufe und über die Temperaturen im Albula-, Arlberg-, Simplon-, Ricken-, Tauern- und Bosrucktunnel

Autor: Königsberger, J. / Thoma, E. / Gölz, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-156871

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: 07.01.2026

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

ren Teil vorausgesagt waren, etc. Niemals haben wir die Irrtümer abgestritten. Stets haben wir anerkannt, dass die Voruntersuchungen ganz ungenügend waren ; wir haben unbedingt anerkannt, dass das Profil tektonisch sich ganz anders als vermutet herausgestellt hat und dass die Temperaturverhältnisse sich wesentlich anders ergeben haben, etc. Den masslosen Angriffen gegenüber die Irrtümer in der Prognose in ihrer Begreiflichkeit und in ihrem Verhältnis zu den seitherigen Fortschritten unserer Wissenschaft darzustellen, das sind wahrlich keine « Beschönigungsversuche » gegen die C. SCHMIDT « Protest zu erheben » braucht.

Versuche über primäre und sekundäre Beeinflussung der normalen geothermischen Tiefenstufe

und über die Temperaturen im Albula-, Arlberg-, Simplon-, Ricken-, Tauern- und Bosrucktunnel.

Von J. KÖNIGSBERGER

unter Mitwirkung von E. THOMA und H. GÖLZ.

Mit einer Tafel.

Dass die Temperaturzunahme in der Tiefe nicht an allen Orten der Erdoberfläche dieselbe ist, kann im wesentlichen auf *drei* primäre Ursachen zurückgeführt werden [1], nämlich *auf die Gestalt der Oberfläche* (Berge, Täler, Wassermassen in Seen oder Meer), *auf wärmeproduzierende Einlagerungen* und *auf vulkanische Magmen* (jungeruptive Gesteine). Versucht man die Grösse dieser Einflüsse zu berechnen, was sich z. B. für die Gestalt der Oberfläche ganz gut erreichen lässt, so bemerkt man, dass wie zu erwarten Beobachtung und Rechnung nicht überall vollkommen stimmen, dass manchmal auch grössere Unterschiede vorhanden sind, und dass noch weitere sekundäre Ursachen berücksichtigt werden müssen. Man kann

[1] Vergl. J. KÖNIGSBERGER und E. THOMA. *Eclogæ* IX, S. 133, 1906. J. KÖNIGSBERGER, *Zentralbl. für Min.* 1907, S. 673. *Compte rendu.* Congrès inter. géol. Mexiko, 1906, S. 1127. Es sei noch erwähnt, dass auch E. KAYSER (*Lehrbuch der Geologie*, I, S. 59, 1906) auf ähnlichem Standpunkt wie der Verfasser steht.

hierbei an folgende denken: 1. Verschiedene Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Gesteine; 2. Verschiedenheit der Wärmeleitung je nach der Richtung im geschichteten oder geschieferten Gestein; 3. Wärmeproduktion radioaktiver Substanzen; 4. Fliessendes Wasser.

Wie sich alle diese verschiedenen Einflüsse geltend machen, lässt sich durch Rechnungen und Experimente ziemlich weitgehend prüfen[1].

Um in den alpinen Tunnels die Temperatur zu berechnen, muss man hauptsächlich die Gestalt der Oberfläche berücksichtigen, wie loc. cit. auseinandergesetzt wurde. Welche Gesteine sich an der Oberfläche befinden, ist dabei ganz gleichgültig. Es genügt vollkommen die Kenntnis der Oberfläche, wie sie durch eine gute topographische Karte oder durch ein Relief gegeben ist. Wärmeproduzierende Einlagerungen und vulkanische Magmen jungeruptiver Gesteine, die wie der eine von uns nachgewiesen sehr erheblich die geothermische Tiefenstufe verändern können, kommen für die Alpen kaum in Betracht. Es fehlen ja in den alpinen Massiven[2] Kohlen, Petroleum, ausgedehnte Erzlagerstätten, deren Oxydation grössere Wärmemengen produzieren könnte. Die Wärme, welche durch allmählige Hydratation des Anhydrits und Oxydation des Pyrits im nicht künstlich gestörten Gebirge erzeugt wird, ist gering, hauptsächlich deshalb, weil dieser Vorgang im Innern äusserst langsam vor sich geht, wie die frischen Pyritkrystalle in den Dolomitgesteinen unweit von der Oberfläche und eben so das Vorhandensein von Anhydrit schon wenige Centimeter unter der Oberfläche beweisen. Ausbrüche vulkanischer Magmen in der jüngern Tertiärzeit sind erst weiter von den alpinen Massiven mit Sicherheit zu konstatieren. Ein eigentlicher vulkanischer Herd existiert im ganzen Alpengebiet nicht mehr.

Die in allen grösseren Tunnels beobachtete Tatsache, dass die Tiefenstufe unter den Tälern kleiner als unter den Bergen ist, und dass dieser Unterschied von der Steilheit der Berge

[1] Ob diese Untersuchungen als geologische bezeichnet werden sollen, oder als physikalische oder geophysikalische, dürfte für die Sache gleichgültig sein. Notwendig scheint mir nur in *erster Linie* die gründliche Kenntnis der zugrunde liegenden physikalischen Gesetze. Ohne diese ist eine Diskussion der diesbezüglichen Fragen gerade so wertvoll wie etwa eine Erörterung der Geologie des Jura von seiten eines Geophysikers, der keine paläontologischen Kenntnisse besitzt.

[2] Dagegen trat in dem voralpinen *Rickentunnel* ganz unerwartet in grossen Mengen Grubengas auf, durch dessen Oxydation die Temperatur erheblich gesteigert worden, wie später diskutiert werden soll.

in genau zu berechnender Weise abhängt, ergibt sich aus der von E. THOMA und vom Verfasser aufgestellten Theorie und ist durch die im folgenden gegebene Vergleichung von Theorie und Beobachtung bestätigt worden.

Man wird also den primären Beeinflussungen der geothermischen Tiefenstufe bei Berechnungen der Tunneltemperaturen in den Alpen genügend Rechnung tragen, wenn man lediglich die Gestalt der Oberfläche berücksichtigt.

Um die *Grösse der sekundären Einflüsse* zu ermitteln, müssen Experimente, Theorie und direkte Beobachtungen zu Hülfe genommen werden. Ueber die ersten drei vermuteten sekundären Ursachen kann schon das Experiment im Laboratorium genügenden Aufschluss geben. Die Wärmeproduktion durch *radioaktive* Substanzen muss zwar, wie die Messungen von ELSTER und GEITEL, STRUTT, VON DEM BORNE u. a. gezeigt haben, auch in den Graniten und Gneissen der Alpen statthaben, aber dieselbe ist so schwach, dass sich, wie der eine von uns gezeigt hat[1], zwar wohl die ganze oder sicher ein erheblicher Teil der Wärmeströmung und der geothermischen Tiefenstufe dadurch erklären liesse, aber dass hierzu die Wärmeproduktion in der gesamten Gesteinsmasse bis zu 100 Km. Tiefe herangezogen werden muss. Der mehr oder minder grosse Radiumgehalt des den Tunnel überlagernden Gesteines ist hierbei ganz ohne Einfluss. Daher ist selbst in den Bergwerken von Joachimsthal, aus dessen Erzgängen das Radium gewonnen wurde, die geothermische Tiefenstufe nach den Beobachtungen von H. MACHE und ST. MEYER normal.

Ein sehr grosser Einfluss auf die geothermische Tiefenstufe wurde von vielen Seiten[2] der *verschiedenen Wärmeleitungsfähigkeit der Gesteine* zugeschrieben. Theorie und Experiment erlauben anzugeben, wie gross derselbe etwa ist. Zunächst zeigt die Theorie[3], dass kleinere Einlagerungen, deren Breite parallel oder senkrecht zur Tunnelaxe kleiner als etwa $^1/_5$ der Tunnellänge ist, durchaus nicht mit dem vollen Unterschied ihrer Wärmeleitung gegen die der Hauptgesteinsmasse in Rechnung zu setzen sind, sondern nur mit einem Bruchteil, der von der Grösse der Einlagerung abhängt. Das Experiment zeigt aber weiter, dass die Unterschiede der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Gesteine nicht die Grösse erreichen, wie viele Geologen angenommen haben. Die Methoden zur Messung der absoluten Wärmeleitfähigkeit von schlechten

[1] *Phys. Zeitschr.* VII, 297. 1906.
[2] Vergl. z. B. C. SCHMIDT, Rektoratsprogr. loc. cit. S. 10 u. 86.
[3] Vergl. *Eclogæ*, loc. cit.

Leitern sind sehr schwierig, die systematischen Fehler recht gross. Wenn es daher nicht auf die absoluten Werte, sondern nur auf Vergleichswerte ankommt wie in der Geothermik, wird man *relative* Messungen, die viel leichter und genauer sind, unbedingt vorziehen. Wie der eine von uns dargelegt hat[1], kann man aus den bis jetzt vorliegenden absoluten Messungen je nach Wunsch die Folgerung ziehen, dass Marmor zehnmal besser oder zehnmal schlechter als Granit leitet, und auf die Art mühelos alles beweisen. Deshalb war es notwendig, genaue relative Messungen über die Wärmeleitfähigkeit anzustellen. Hierzu eignet sich am besten die Methode von W. Voigt[2], bei welcher der Unterschied der Wärmeleitfähigkeit direkt durch die Gestalt der Schmelzkurven auf einer aus den zwei Gesteinen zusammengesetzten Platte ersichtlich wird. Indem abwechselnd von den vier Seiten der rechteckigen Platte erwärmt wird, erhält man sehr zuverlässige Werte. Da man die Gesteine beliebig kombinieren kann, bekommt man mehr Gleichungen und Beobachtungen als Unbekannte und hat daher auch noch eine Kontrolle für die Richtigkeit. Hr. H. Gölz hat auf meine Veranlassung zahlreiche derartige Messungen durchgeführt und recht gute, auf etwa $\pm$ 3 % übereinstimmende Werte erhalten. Es sei hier aus seiner noch nicht publizierten Untersuchung ein kurzer Auszug gegeben. Alle Zahlen sind auf das Wärmeleitungsvermögen eines Glases als Einheit bezogen, dessen absolutes Wärmeleitungsvermögen nach Th. M. Focke[3] $k = 2{,}60 \,.\, 10^{-3}$ (gr. cm. sec.) ist, und das wir dem Glaswerk von Schott u. Gen. in Jena verdanken.

Trocken.

Leitfähigkeiten parallel der Schieferung oder Schichtung.

1. *Antigoriogneiss I* Gondo, Simplon, { feldspatreich . = 2,12
   biotitreich . = 2,60
2. *Antigoriogneiss*[4], granitisch, Simplontunnel 3500 M. v. SP . . . . . = 1,95
3. *Aaregranit*, aplitisch (Göschenen, Kirche) . . . . = 1,55
4. *Paragneiss* im Antigoriogneiss, Simplontunnel 225 M. v. SP . . . . . = 1,80

[1] *Zentralbl. für Min.* 1907. S. 200.
[2] W. Voigt, *Wied. Ann. Phys.* 64. 1898. S. 95.
[3] Th. M. Focke, *Wied. Ann.* 67. 1899, S. 132.
[4] Die aus dem Simplontunnel stammenden Gesteine verdanken wir Herrn Prof. C. Schmidt.

5. *Valgrandegneiss*, hornblendeführend, Simplontunnel 6552 M. v. NP . . . . . = 1,65
6. *Rofnaporphyr* von Prolarn bei Andeer, felsitisch . = 2,10
7. *Rofnaporphyr* von Bärenburg mit grossem Feldspat = 2,10
8. *Phyllit*, metamorph., Clintonitschiefer, Simplontunnel 450 M. v. NP . . . . . = 2,60
9. *Granatschiefer* von Iselle aus Simplontunnel . . . = 2,50
10. *Plattenschiefer* von Elm . . . . . = 2,20
11. *Phyllit*, kalkhaltig, Jura, Simplontunnel 9361 M. v. SP = 2,80
12. *Troskalk* (Tithon) von Vättis . . . . . = 1,85
13. *Pontiskalk* (Trias), Vex südl. Sitten . . . . . = 1,90
14. *Marmor*, Simplontunnel aus Trias, 4325 M. v. SP . = 2,00
15. *Kalkphyllit*, Simplontunnel 3400 M. v. NP . . . = 1,80
16. *Obsidian* von Lipari Monte Pelato (glas) . . . . = 0,74
17. *Andesit* vom Pico di Orizaba Mexico, zahlreiche Einsprenglinge, mikrolithenreiche Grundmasse . . . = 1,18
18. *Quarz*, Mittelwert der Axe . . . . . = 2,40

Bergfeucht, mit geringem Wassergehalt, der aber genügt die kapillaren Risse auszufüllen, leiten Granite, Gneisse etc. um etwa 10 % besser. Dagegen ist auf die parallel zur Schieferung sehr kompakten Schiefer und auch auf die Kalke ein Wassergehalt ohne Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit der Schieferung. Ebensowenig dringt merklich Wasser in Obsidian oder Andesit ein.

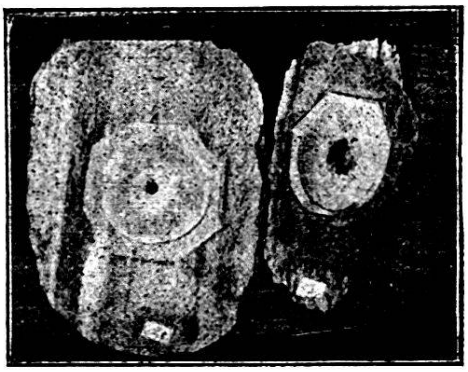
Man sieht, *feuchter, normaler Granit, Gneiss und Kalk haben dasselbe Wärmeleitungsvermögen. Alle Kalke und Marmore haben praktisch gleiche Wärmeleitung.* Biotitarme, feldspatreiche Granite haben etwas schlechtere Wärmeleitung. Die Schiefer haben *parallel der Schieferung durchweg bessere Wärmeleitung* als *eruptive* oder *sedimentäre Gesteine gleicher Zusammensetzung, die keine Schieferung erfahren haben.*

Die Ergussgesteine haben je nach der Menge der Glasmasse eine Wärmeleitung, die sich derjenigen der gleich zusammengesetzten künstlichen Gläser nähert.

Aus diesen Zahlen lässt sich für die Alpen die Folgerung ziehen, dass die *verschiedene Wärmeleitfähigkeit der Gesteine ein Faktor von untergeordneter Bedeutung ist. Ob Kalk, Granit oder Gneiss das Gestein bildet, ist ganz gleichgültig, nur unter ausgedehnten Schiefermassen wird bei gleicher Lagerung die Tiefenstufe etwas grösser sein als bei Gneissen. Unter feuchten Gesteinen wird sie etwas um etwa 4—8 Prozent kleiner sein als unter trockenen.*

Als weiterer sekundärer Einfluss kommt die *Schichtstellung der Gesteine* in Betracht. Die Wärmeleitfähigkeit ist

parallel und senkrecht zur Schieferung und Schichtung verschieden. Da die Schichtung viel weniger Discontinuitätsflächen besitzt als die Schieferung, oder anders ausgedrückt, viel weniger Schichtungsebenen auf 1 M. Gestein fallen als Schieferungsebenen, und da die Anzahl gerichteter Hohlräume bei der Schichtung seltener als bei der Schieferung ist, so ist der Unterschied im Wärmeleitungsvermögen bei der Schieferung viel grösser. Das Gesetz von JANNETAZ ist also leicht begreiflich. Auf der beistehenden Figur sieht man die fast kreisrunde Ellipse auf einem ausgesprochen parallel stuierten aber nicht stark mechanisch geschieferten Gestein, *Maigelsgneiss*[1], und die sehr flache Ellipse auf dem geschieferten *Granatglimmerschiefer* vom Simplontunnel. Da aber Wasser die Hohlräume ausfüllen kann, so ist der Unterschied in trockenen Gesteinen grösser als in feuchten. Herr GÖLZ hat auf meine Veranlassung die im wesentlichen von DE SÉNARMONT angegebene Methode angewandt. Wachs-Elaidinsäure ist der Ueberzug der Platte. Die Platte ist senkrecht zur Schieferung etwa 5 Mm. dünn geschnitten und wird in der Mitte durchbohrt; eine aussen 3 Mm. weite genau passende Silberröhre wird durchgesteckt, und durch diese werden die heissen Gase des Bunsenbrenners mehr oder weniger rasch durchgesaugt. Dies Verfahren ist dem von SÉNARMONT vorzuziehen. Die Ellipsen *mittlerer* Grösse geben die richtigen Resultate.



I

1. *Antigoriogneiss I* (vergl. oben Nr. 1) $K_{\parallel} : K_{\perp}$	= 1,44	(trocken)
	= 1,39	(feucht)
2. *Maigelsgneiss* (Anfang Unteralptal) . . .	= 1,36	(trocken)
	= 1,34	(feucht)
3. *Sellagneiss* (P. Prevot, Gotthard)	= 1,30	(trocken)
	= 1,20	(feucht)

II

Phyllit, kalkhaltig (vergl. Nr. 11)	= 1,11	(trocken)
	= 1,01	(feucht)
Kalkphyllit (vergl. Nr. 15)	= 1,13	(trocken)
	= 1,10	(feucht)

[1] Man kann also nicht sagen, dass etwa alle « krystallinen Schiefer » besonders grosse Unterschiede zeigen.

III

4. *Granatführender Schiefer* (vergl. Nr. 9)	= 2,79 (trocken)
	= 2,32 (feucht)
5. *Plattenschiefer* (vergl. Nr. 10) . . .	= 1,93 (trocken)
	= 1,78 (feucht)

Ferner seien noch folgende Beobachtungen von trocknen Gesteinen von JANNETAZ[1], P. THELEN[2], F. A. SCHULTZE[3], A. BADIOR[4] zur Ergänzung angeführt.

I. *Gneiss* (Montanvert)	= 1,21 (Jannetaz)
Gneiss (Mer de glace)	= 1,23-1,45 (Jann.)
Gneiss (Poudingue de Valossine) . . .	= 1,12 (Jannetaz)
Kalkstein (Bonneville)	= 1,06 (Jannetaz)
Buntsandstein (Marburg)	= 1,03 (Badior)
Gneiss (v. Anzasca)	= 1,13-1,2 (Jann.)
Gneiss (Splügenpass)	= 1,2 (Jannetaz)
II. *Hornblendeschiefer* (Ontario Canada) Rainy River	= 1,2 (Thelen) (Mittelwert)
Quarzitschiefer (Laurdal, Telemarken) .	= 1,2 (Thelen)
Kalkphyllit (Mont Lachat, Savoye) . .	= 1,31 (Jannetaz)
III. *Glimmerschiefer* (Fort Wrangel) . .	= 1,80 (Thelen)
Glaukophanschiefer (Berkeley) . . .	= 1,75 (Thelen)
Tonschiefer (England)	= 1,95 (Schultze)
Karbonschiefer (Motivon, H. Savoye) .	= 1,8 (Jannetaz)
Glimmerschiefer (Vernayaz)	= 1,41 (Jannetaz)
Quarzglimmerschiefer (Saint-Gervais) .	= 1,5 (Jannetaz)
Gneissglimmerschiefer (Calasca) . .	= 1,63 (Jannetaz)

Die Zahlen zeigen, dass die Schichtstellung unter Umständen einen nicht unerheblichen Einfluss auf die geothermische Tiefenstufe haben kann. Wie der Verfasser gezeigt hat[5], variiert die normale geothermische Tiefenstufe zwischen 27 M. und 37 M. p. 1°. Aus den dort gegebenen Daten und diesen Versuchen ergibt sich folgendes: Für Granite, Kalksteine, viele Tonschiefer, Mergel, etc. ist die normale Tiefenstufe auf 33—34 M. p. 1° zu veranschlagen, für steilstehende Gneisse, Protogine etc., Schiefer jeder Art auf 35—37 M., für ganz flachliegende, trockene Gneisse auf 28—29 M., für ebensolche Phyllite auf 30—31 M., für Glimmerschiefer, dynamometa-

[1] E. JANNETAZ, *Bull. soc. géol. France* (3) IV, S. 116. 1876; (3) III, S. 499. 1875. *Compte rendu congrès géol. intern.* I. Paris, 1878.
[2] P. THELEN, *Californ. Univ. Public.* IV, S. 201. 1906. Berkeley.
[3] F. A. SCHULTZE. *Nat. Ges. Marburg.* 1907.
[4] A. BADIOR, *Inaug. Diss.*, 1908, p. 57.
[5] Vergl. loc. cit.

morphe Tonschiefer etc. auf 24—27 M., für feuchte Gesteine um etwa 8 % grösser[1]. Für Schichten, die unter etwa 45° gegen die Horizontale einfallen, ist für trockene Gneisse die Tiefenstufe 30 M., für Phyllite etwa 32 M., für Glimmerschiefer etwa 28—29 M., für feuchte Gesteine um etwa 5 % mehr. Wir haben also dadurch ziemlich genaue Anhaltspunkte zur Beurteilung der Tiefenstufe, wenn die geognostisch-petrographischen Verhältnisse der Gegend bekannt sind. Im allgemeinen nehmen die Glimmerschiefer, metamorphosierte Tonschiefer nur kleinen Raum gegenüber den Gneissen, Graniten Phylliten, Kalken und den gewöhnlichen Sedimenten ein; man wird daher als normale Tiefenstufen nur solche von 28—37 M. gelten lassen, was ja durch die Messungsergebnisse in nahezu ebener Gegend, in chemisch unveränderlichen nicht jungeruptiven Gesteinen bestätigt wird. *Man sieht auch, dass für die Temperaturprognose verlangt werden muss, dass die geologische Prognose zwischen Gneissen und Glimmerschiefern unterscheidet.* Weiss man zunächst über die geologischen Verhältnisse wenig und ist kein tieferes 50 oder 100 M. tiefes Bohrloch in der Gegend in ebener Lage gebohrt, so wird man für einigermassen flachliegende nicht ganz trockene Schichten etwa 30—33 M. p. 1° als mögliche normale Tiefenstufe annehmen und der Rechnung zu Grunde legen.

Alb. Heim hat zwischen Gebirgsleitfähigkeit und Gesteinsleitfähigkeit unterschieden. Gewiss werden Klüfte und Risse im Gestein die Wärmeleitung herabsetzen, aber wie schon der geringe Einfluss der Schichtung auf das Wärmeleitvermögen zeigt, wird das nicht sehr in Betracht kommen, weil solche Klüfte verhältnismässig selten sind.

Weit schwerer als die sekundären Einflüsse 1—3 lässt sich die *Wirkung des rasch fliessenden Wassers* theoretisch oder experimentell angeben. Wasser, das von oben kommt, wird kühlend, solches das von unten von weiterher empordringt, erwärmend wirken. Die Erfahrung hat, wie C. Schmidt[2] zuerst hervorgehoben hat, gezeigt, dass in den alpinen Tunnels auch die warmen Quellen kühlend wirken, weil fast stets dort das Wasser von oben nach unten fliesst und selbst bei mässigem Rückfluss das von oben hinunter gelangte Wasser noch kälter als die Tunnelwände ist. Wie stark die abkühlende Wirkung auf die Tunneltemperatur ist, hängt von vielen

[1] Von frischen, glasigen Ergussgesteinen, die in den Alpen kaum zu finden, ist hier abgesehen.

[2] C. Schmidt, Rektoratsprogramm, loc. cit., S. 102.

Umständen ab. Der Tunnelhohlraum saugt[1] aus grossen Entfernungen das Wasser in sich; dies wird die Felswandungen bespülen; je nach der Schnelligkeit der Strömung und der Wassermenge kann die Temperaturerniedrigung sehr verschieden sein und sich auf mehr oder minder grosse Entfernungen erstrecken. Eine weitere Wirkung beruht auf der Durchtränkung des Gesteines und der dadurch hervorgerufenen Verbesserung der Wärmeleitung und Verringerung der Tiefenstufe, was in den vorhergehenden Abschnitten besprochen wurde. Je rascher das Wasser fliesst, je grösser die Menge in einer kleinen Tunnelstrecke, um so stärker die Abkühlung. Im Bosrucktunnel führte das Wasser sogar Wurzelfasern mit sich und aus einer Tunnelstrecke von insgesammt 4780 M. Länge ergiessen sich 2200 Sekl., während z. B. im Gotthardtunnel auf 12,000 M. nur 300—400 Sekl., und im Simplontunnel auf 19,729 M. 1300 Sekl. Man sieht also, dass im Bosrucktunnel ganz anormale Verhältnisse in Bezug auf Wasserzufluss vorliegen. Während im Gotthardtunnel das Wasser nur ganz lokal eine geringe Wirkung hat, während im Simplon doch nur einzelne Strecken erheblicher beeinflusst werden, ist die Temperatur im Bosrucktunnel lediglich durch das Wasser bestimmt. *Eine exakte Temperaturprognose im Tunnel wird sich also auf die angenäherte Kenntnis der zufliessenden Wassermengen stützen müssen.* Bis jetzt pflegen die *geologischen Gutachten* darüber nur unvollständig Auskunft zu geben. Man beschränkt sich meist darauf anzugeben, dass an den Grenzen zwischen Kalken und krystallinen Schiefern und in Kalken grössere Wassermengen zu erwarten sind, dass flachliegende Gneisse und Glimmerschiefer meist trocken sind. Dazu kommt noch die Ungewissheit über Fortsetzung und Lage der aussen beobachteten Kalkbänder in das Innere des Gebirges. Doch scheint uns dass bei *sorgfältiger Vergleichung der jährlichen Niederschlagsmengen mit der Wassermenge der Quellen oder Bäche und der Feuchtigkeit des Bodens eine annähernde Schätzung der in Tunnels zu erwartenden Wassermenge zwar schwierig aber wohl möglich wäre.*

Um die hier und früher auseinandergesetzten Theorien und Zahlen auf die Temperaturberechnung im Tunnel anwenden zu können, ist noch die *Kenntnis der Bodentemperaturen in verschiedenen Höhen nötig.* Bisher lagen für grössere Höhen

[1] Wie man sich leicht klar machen kann, besteht eine *richtige Saugwirkung des Tunnels* noch weit stärker wie in einem luftleeren Raum, da die Druckdifferenzen grösser sind. Es scheint das bisher wenig beachtet worden zu sein.

nur ganz wenig exakte Beobachtungen vor, die wegen ihrer geringen Zahl kein Urteil über ihre allgemeine Verwendbarkeit zuliessen. Direkte sorgfältige Beobachtungen der Bodentemperaturen selbst sind kostspielig oder sehr zeitraubend. Glücklicherweise war ich dank dem Entgegenkommen der Regierung des Kantons Graubünden in der Lage am Splügen Messungen in 1000 bis 2500 M. in Bohrlöchern von 11 M. Tiefe, wodurch die jährliche Schwankung sehr klein wird, anzustellen, deren vorläufige Ergebnisse hier mitgeteilt werden; auch haben Herrn E. Thoma und ich von der Grossh. badischen Regierung unterstützt, bei Freiburg i. B. von 200 bis 1500 M. Beobachtungen in Bohrlöchern von 2—3 M. Tiefe durchgeführt; ausserdem hat Herr Leier in Wildtal sehr genaue Messungen angestellt, die aber hier noch nicht verwertet sind. Dadurch ist es jetzt möglich bis zur Schneegrenze hin die Bodentemperaturen in ihrer Abhängigkeit von der Höhe und in ihrem Zusammenhang mit der Lufttemperatur auf 0,5° genau anzugeben. Wie die sorgfältigen Untersuchungen von von F. Kerner von Marilaun[1] gezeigt haben, ist die Bodentemperatur bei stärker Neigung des Gehänges sehr wesentlich von der Exposition gegen die Sonne abhängig, so dass z. B. im Gschnitzthal in den Tiroler Zentralalpen in 1340 M. Höhe die Differenz zwischen der kältesten (N) Exposition und der wärmsten (SW) 3,2° im Jahresmittel beträgt[2]. Ost- und Nordwest-Exposition geben etwa dieselben Worte wie ebene Lage. Wird das vernachlässigt, wie vielleicht z. B. bei den Temperaturmessungen am Simplon geschehen ist, so kann man zwar an sich ganz richtige aber trotzdem durchaus unbrauchbare Werte der Bodentemperatur erhalten. Will man die Bodentemperatur eines nicht in der Ebene gelegenen Ortes kennen, so muss man die Exposition wählen, die der mittleren Gehängelage seines Bodens entspricht. Für Bodentemperaturen, die zu Tempelprognosen verwendet werden, liegt die Sache wieder anders; hier muss man, wie leicht verständlich, die Exposition wählen, die der mittleren Lage des ganzen Gehänges entspricht. Am Splügen z. B. musste bei Andeer schwach geneigte Nordexposition, bei Inner-Ferrera etwas stärker geneigte Nordexposition, bei A. Emet sich schwach geneigte Nord-

[1] F. Kerner v. Marilaun, *Sitzungsb.*, Wien, Ak. mat. nat. II, 100, S. 1, 1891.

[2] Der Unterschied zwischen Nord- und Südlage ist überall in den Alpen wahrnehmbar. So ist z. B. am Gotthard (Pusmeda 2600 M.) der Boden auf der Nordseite in 80 Cm. Tiefe auch im Spätsommer gefroren, dagegen etwa 300 M. entfernt in gleicher Höhe aber in Südlage nicht; dort findet das Gefrieren erst etwa 150 M. höher statt.

exposition, am Passo di Lago nero ebene Lage, bei Campodolcino schwach geneigte Südexposition ausgesucht werden. Im folgenden ist eine Auswahl der besten bisher vorliegenden Zahlen für praktisch gleiche geographische Längen und Breiten angegeben. Viele Zahlen, die F. M. STAPFF angibt, werden aus rasch fliessenden Quellen genommen, geben daher eine zu hohe Bodentemperatur. Die Temperaturen, die längs der Simplontrace gemessen wurden, zeigen, wenn man der von BIADEGHO gegebenen Tabelle folgt, eine *bisher noch nie beobachtete* Erscheinung, nämlich, dass die *Bodentemperaturen* um *1° bis 3° niedriger* sind als die entsprechenden Lufttemperaturen. Zum Teil ist das den bei BIADEGHO falsch berechneten Lufttemperaturen zuzuschreiben, zum Teil aber dürften die Bodentemperaturen unrichtig sein, oder in aussergewöhnlichen Expositionen gemessen sein, denn einzelne, wie die bei Berisal, bei Rafz, bei Hohenegg beobachteten, unterscheiden sich so erheblich (um 3°) von den sonst in gleicher Höhe beobachteten, dass sie nicht verwertbar sind.

Man kann aus diesen Zahlen ziemlich sichere Schlüsse über die Bodentemperatur[1] auf dem nichtbewaldeten unter etwa 20° geneigten, bei 3000 M. eben gedachten Nordhang[2] der West- und Zentralalpen ziehen. Die Differenz gegen die Lufttemperatur wächst von etwa + 1° bei 300 M. Höhe, auf + 1,3° bei 1000 M., auf etwa + 1,6° bei 1500 M., auf etwa + 1,9° bei 2000 M. und dürfte bei 2500 M. + 2,5° betragen. Die aus den Quellen von F. KERNER VON MARILAUN bestimmte Temperatur am Nordhang der Alpen ist um einige Zehntel höher als die entsprechende in den Westalpen. Zum kleinern Teil mag das auf die geographische Länge, hauptsächlich aber auf die stets etwas höhere Wärme der Quellen zurückzuführen sein; dieselbe Erscheinung finden wir bei den von STAPF aus den Quelltemperaturen berechneten Bodentemperaturen. Für die im folgenden durchgeführten Berechnungen sind folgende Mittelwerte für Nord- und Südseite der zentralen Kämme mit entsprechend wechselnder Exposition zugrunde gelegt: 500 M. (Nordseite) = 8,9°; 1000 M. (Nordseite) = 7,2°, (Südseite) = 8,8°; 1500 M. (Nordseite) = 5,1°, (Südseite) = 6,1°; 2000 M. (Nordseite) = 3,0°, (Südseite) = 3,7°; 2500 M. (Nordseite) = 0,8°, (Südseite) = 1,0°; 2670 M. = 0°.

[1] Vergl. loc. cit.

[2] Für den Südhang und den südlichen Teil der Alpen liegen Daten vor, die F. KERNER VON MARILAUN aus Beobachtungen an Quellen abgeleitet hat.

Seehöhe, M.	150	300	35	355	905
Ort	Hagenau	Immental	Neumath	Neumath	Melkerei
Literatur	Schubert[1]	Königsberger u. Thoma	Schubert	Schubert	Schubert[1]
Boden	10,3°	9,2° (Wald)	9,2° (Feld)	8,2° (Wald)	7,1° (Feld)
Luft[2]	9,2°	9,1°	8,3°	8,3°	5,8°
Differenz	+ 0,1°	+ 0,1°	+ 0,9°	+ 0,1°	+ 1,3°

Seehöhe, M.	915	1025	1050	1050	1000
Ort	Brigerberg	Andeer	Bärental	Compodoltino	Zentral Tirol.-Alpen
Literatur	Schardt[3], Schmidt[3], Biadegho[3]	Königsberger	Königsberger u. Thoma	Königsberger	F. Korner[4]
Boden	8,4°	7,8° (Feld)	6,5° (Feld)	8,8° (Feld)	7,71°
Luft	?	9,2°	5.5°	7,5°	—
Differenz	?	+ 1,4°	+ 1,0°	+ 1,3°	—

Seehöhe, M.	1316	1340	1350	1431	—
Ort	Bugaglia Bugliaga	Valeggio Airolo	Feldberg	Andermatter Wiese	—
Literatur	Schardt, Schmidt, Biadegho	Stapff	Königsberger u. Thoma	Stapff	—
Boden	6,1°	6,54° (Feld)	5,8° (Feld)	4,82° (Feld)	—
Luft	—	4,68°	—	3,28°	—
Differenz	—	+ 1,86°	—	+ 1,54°	—

Seehöhe, M.	1500	1510	1770	1850	—
Ort	Central Tirol.-Alpen	Inner-Ferrera	Sassa Rosso	Rosswald	—
Literatur	F. Kerner v. Marilaun	Königsberger	Stapff	Schardt, Schmidt, Biadegho	—
Boden	5,51°	5,2° (lichter Wald)	4,42° (Feld)	3,8°	—
Luft	—	3,1°	1,72	—	—
Differenz	—	+ 2,1°	+ 2,70	—	—

Seehöhe, M.	2008	2030	2080	2100	1490
Ort	Simplon-hospiz	Hohenegg	A. Emet	Zentral Tirol.-Alpen	Passodi Lago nero
Literatur	Biadegho	Schardt u. Schmidt	Königsberger	F. Kerner	Königsberger
Boden	3,16° (Feld)	3,5° (Feld)	2,9° (Feld)	2,85°	0,8° (Feld)
Luft	2,52°	—	0,5°	—	—
Differenz	+ 0,6°	—	+ 1,9°	—	—

[1] J. Schubert, *Jährlicher Gang von Luft- und Bodentemperatur.* — Berlin, Springer, 1900.

[2] Die Lufttemperatur ist, um die Vergleichung mit den alpinen meteorologischen Stationen zu ermöglichen, stets für « Feld » angegeben.

[3] H. Schardt, *Bullet. tech. de la Suisse rom.*, 1905. — C. Schmidt, *Rektoratsprogramm*, loc. cit. — G. B. Biadegho, *I grandi trafori alpini.* Milano, Hœpli, 1906.

[4] F. Kerner von Marilaun, *Meteorolog. Zeitschr.*, April 1905.

Berechnung von Tunneltemperaturen und Vergleichung mit der Erfahrung.

Die vorhergehenden Experimente und Beobachtungen erlauben jetzt auch die sekundären Einflüsse ohne Willkür in Rechnung zu setzen und es seien daher einige Anwendungen gemacht.

Albulatunnel[1].

Der Albulatunnel ist 5866 M. lang. Das nach der Karte 1 : 50,000 entworfene Reliefprofil setzt sich aus einem sehr flachen Berg von 100 M. Höhe, der als Ebene anzusehen ist, und einem von 650 M. Höhe (Meereshöhe des Berges weniger der des Tales) und 3500 M. Länge zusammen. Das ergibt corrigiert auf die Isotherme von 5^0 für $\frac{D}{\pi b} = \frac{590}{3500} = 0{,}168$. Aus einer von uns angefertigten Tafel der Wellenkurve entnehmen wir als hierzu gehörigen mittleren Gradienten im Scheitelpunkt 0,0205 (Grad p. M.) oder 49 M. p. 1^0. Hierbei ist, da die Bergmasse im wesentlichen aus z. T. gneissartigen Albulagranit besteht, gemäss den Darlegungen von S. 513 eine Tiefenstufe von *35 M.* als *normal* angenommen. Da die Bodentemperatur in 2550 M. gemäss S. 517 auf $+ 0{,}7^0$ zu veranschlagen ist, so ergibt sich für die Temperatur im Tunnel unter dem Scheitel 2300 M. v. SP 1823 M. ü. M. = *15,5*^{0}. Tarnuzzer gibt als « Maximum der Gesteinswärme im Albulatunnel *zirka 15*^{0} ». *Die Uebereinstimmung ist sehr gut*, was zu erwarten war, da in der grossen Granitmasse nur *wenig Wasser*, etwa 100 Sekl., *auftritt*.

Arlbergtunnel.

Der Arlbergtunnel ist 10,249 M. lang[2]. Das nach der Karte 1 : 75,000 entworfene Reliefprofil[3] setzt sich aus einem auf die Isotherme 5^0 korrigierten Wellenberg von 660 M. Höhe und 10,249 M. Länge zusammen. Daraus berechnet sich $\frac{D}{b\pi}$ zu 0,0647. Für den Scheitelpunkt in etwa 5100 M. Abstand

[1] Chr. Tarnuzzer, *Geolog. Verhältn. des Albulatunnels*. Chur, 1904.

[2] Die Angaben sind dem Buch von G. B. Biadegho (loc. cit.) S. 338 entnommen.

[3] Die Breite des Reliefprofils richtet sich nach der Ueberlastung; es muss der Streifen auf beiden Seiten der Tunneltrace so breit sein wie die Höhe des überlagernden Gebirges.

vom Ostportal ergibt sich aus unserer Wellenlinientafel der Gradient gleich = 0,0230° p. M. = 43,5 M. p. 1°, falls ein Gradient von 35 M. p. 1° als normal angenommen wird. Der normale Gradient von 35 M. entspricht der Wechsellagerung von Gneissen, Glimmerschiefern in der im Arlberg vorkommenden Lagerung mit 60—65° Fallen[1]. Da die Temperatur in 2018 M. etwa = 3° ist, so ergibt sich *19,5°* als Temperatur im Scheitel, *gefunden wurde 18,5°*. Die Uebereinstimmung ist befriedigend, demgemäss waren auch die Wassermengen nur gering, unter 50 Sekl.

Simplontunnel[2].

Der Simplontunnel ist 19,732 M. lang. Da recht genaue Temperaturmessungen vorliegen, wurde die Berechnung eingehend durchgeführt. Aus der Karte wurde die mittlere Höhe eines Streifens von je 2 Km. Breite zu beiden Seiten der Tunneltrace ermittelt. Diese Werte sind auf Tafel I durch die aus Kreuzen bestehende «Relieflinie» verbunden. Ausserdem wurden die Höhen eines Streifens von je 500 M. Breite als « mittlere Profillinie » aufgetragen. Das übliche Verfahren, nur die zufällig senkrecht über der Tunneltrace befindlichen Höhen zu berücksichtigen, eine genaue Profillinie zu zeichnen und daraus die in Betracht kommende Ueberlastung zu entnehmen, ist nicht geeignet. Man braucht nur eine hohe schmale Felsmauer oder einen Turm gerade über der Tunneltrace sich zu denken und wird schon ohne Rechnung sich sagen können, dass dies nicht auf die Temperatur in 1000 M. Tiefe von Einfluss sein kann. Zu der Relieflinie in der Mitte bezw. der Profillinie am Anfang des Tunnels und entsprechenden Mittelwerten dazwischen wurde mit Hilfe der S. 517 gegebenen Bodentemperaturen und einer angenäherten Tiefenstufe von 40 M. p. 1° die Isotherme von 5° als schwarz ausgezogene Linie eingezeichnet. Dann wurde diese in Hauptwellenlinien und Partialberge und -täler zerlegt. Daraus ergaben sich dann in bekannter Weise die Isothermen, wobei *als normaler Gradient* = 0,033 also *30 M. p. 1°* angenommen wurde; denn der Simplon besteht — wir folgen darin der vorzüglichen Darstellung von C. Schmidt — in der Nordhälfte aus ziemlich flachliegenden trockenen Gneissen und Schiefern, für die $K_{11} : K_1$ etwa 1,3 (vergl. S. 512) anzunehmen ist, also für etwa 30° Fal-

[1] H. von Foullon, *Jahresber. k. k. geol. Reichsanstalt.* Bd. XXXV, 1888, S. 47.

[2] Literatur, vergl. S. 517 Anm. 3.

len und Angrenzen an die besser leitenden wassergetränkten Phyllitmassen etwa 30 M. p. 1°. Etwas kleiner (Grenzwirkung) ist der normale Gradient in den steilstehenden Schichten zwischen 3 bis 5 Km. vom NP und in den besser leitenden bergfeuchten Phylliten 10,3 und 5,0 Km. vom SP nämlich normal nach den Versuchen S. 510 etwa 33 M. p. 1°. Hierbei findet natürlich kein plötzlicher Sprung der Isothermen sondern ein kontinuierlicher Uebergang statt. Die diesbezüglichen aus dem normalen Gradient für die betreffende Oberflächenform abgeleiteten Kurven — es sind nur die 40° und 50° Kurven angegeben, bei Km. 3—6 die 20° und 30° Kurven — sind gestrichelt. Die Uebereinstimmung ist im allgemeinen recht befriedigend; kleinere Unterschiede, die bis zu 3° gehen können, sind allerdings vorhanden. Nur an *einer* Strecke ist ein gewaltiger *Unterschied zwischen Theorie und Beobachtung*, nämlich unter Valle, wo 1000 Sekl. herunterströmen. Diese Wassermenge kühlt auf über 3 Km. nach beiden Seiten und zwar in der Nähe um mehr als 15°. Eine schwächere aber doch recht merkliche Abkühlung um 3°—5° bewirken auch die 300 Sekl. bei 9,6 Km. vom SP, wie C. SCHMIDT (loc. cit.) unseres Erachtens mit Recht hervorhebt. Die Formel für die Wirkung des Wassers ist S. 523 gegeben. Wird diese angewandt, dann stimmen die so unter Berücksichtigung aller Einflüsse berechneten Temperaturen im ganzen Tunnelverlauf mit den beobachteten.

Die verschiedene Schichtstellung macht sich also am Simplon, wie auseinandergesetzt, geltend, aber nur in geringerem Masse; Die Differenz zwischen den ausgezogenen und gestrichelten Linien gibt den Einfluss der Schichtstellung an. Die noch übrig bleibenden Unterschiede zwischen beobachteter und berechneter Temperatur sind dem fliessenden Wasser zuzuschreiben und nach der Formel S. 523 zu berechnen; nur für die übrigens geringe positive Differenz bei 8 Km. 53° berechnet statt 55° (nach H. SCHARDT 54°) beobachtet möchten wir keine Erklärung versuchen. Es ist uns auch nicht bekannt, ob diese Temperatur gleich im Vortrieb oder erst nach länger andauernder Arbeit gemessen wurde. Die im ganzen kleinen Tiefenstufen, die als normal zu Grunde gelegt wurden, sprechen dafür, dass flachliegende Schichten sich noch in grössere Tiefen unterhalb des Tunnels (bis 500 M. und mehr) fortsetzen.

Rickentunnel.

Der Rickentunnel[1] ist 8604 M. lang. Die Höhe des Berges ergibt sich aus der Relieflinie zu etwa 470 M. Eine Korrektion auf Isothermen ergibt 410 M. $\frac{D}{\pi b} = \frac{410}{8604} = 0{,}047$. Da die Schichten, nach dem geolog. Profil von C. SCHMIDT zu urteilen, im Mittel unter etwa 45° einfallen und aus schlechtleitenden trocknen Sandsteinen bestehen, ist als normale Tiefenstufe etwa 28 M. p. 1° anzunehmen. Dies würde für 4000 M. v. NP etwa 35 M. und für 3300 M. v. SP etwa 34 M. ergeben. Da die mittlere Ueberlastung bei 4000 M. v. NP etwa 450 M. beträgt, und der Meereshöhe von 960 M. eine Bodentemperatur von 7,2° entspricht, so *berechnet* sich die Temperatur im Tunnel dort $\frac{450}{35} + 7{,}2° = 20{,}1°$, *gefunden wurden 19°*. Bei 3300 M. v. SP ist die mittlere Ueberlastung von 530 M. grösser als der Wellenlinie entspricht; ein sekundärer Wellenberg ist darübergelagert. Als Temperatur *berechnet sich 22,0°, gefunden 23,4°*. Demnach ist die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung zufriedenstellend. Die Wärmeleitfähigkeit von Ebnater- und Bildhauserstein ist demnach, wie auch aus den vorhergehenden Experimenten zu ersehen, gleich. Interessant ist wie das später eintretende unvorhergesehene Ausströmen und *Brennen des Grubengas gewaltig die Temperatur gesteigert hat.* Die Felstemperatur stieg bei 4100 M. von 19° auf 35° trotz Ventilation. Das ist ein Beweis für die Ansicht, die der Verfasser theoretisch begründet hat, dass verhältnismässig geringe Produktion von Wärmemengen genügt die Temperatur in der Tiefe beträchtlich zu erhöhen, im umgekehrten Fall auch ziemlich geringe Kältemengen zur Abkühlung.

Tauerntunnel.

Der Tauerntunnel ist 8505 M. lang. Die nach der Karte entworfene Relieflinie besteht aus einem Berg von 1325 M. Höhe und 8505 M. Länge. Wir reduzieren zuerst auf die Isotherme von 5°; diese Bodentemperatur in 1200 M. ist etwa 6,7°, in 2550 M. etwa 0,5°. Wir erhalten so einen Wellenberg von 1020 M. Höhe und 8505 M. Länge; das gibt $\frac{D}{b\pi} = 0{,}120$. Da das

[1] Literatur: *Monatsbulletin der Generaldirektion der Schweizerischen Bundesbahnen*, und C. SCHMIDT, *Geolog. Begutachtung des Rickentunnels, Wattwil-Kaltbrunn.* Bern 1902.

Massiv[1] aus gutleitendem Granitgneiss besteht, muss die Tiefenstufe von 37 M. p. 1° als normal angenommen werden. Aus unserer Wellenlinientafel folgt dann für den Gradient zwischen 4000 M. und 5000 M. vom NP = 57 M. p. 1°. Dieses ergibt als *Maximaltemperatur berechnet 26,7°, beobachtet wurden 23,9°*, also eine Differenz von 2,8°. Die beobachteten Wassermengen waren gering. Das rasche Ansteigen in der Nähe der Portale und die langsame Zunahme in der Mitte, das F. Becke besonders hervorhebt, folgt ohne weiters aus unserer Theorie, wie früher dargelegt. Die geringe Differenz von = 2,8° zwischen Beobachtung und Berechnung möchten wir nicht Zufälligkeiten zuschreiben; ein Unterschied in demselben Sinne — 1° ist auch am Arlbergtunnel vorhanden. Vermutlich ist in den ganzen Ostalpen wegen der grösseren Verbreitung granitischer Massen und steilgestellter Schichten die Tiefenstufe im Durchschnitt etwa 4 % kleiner als unter gleichen Verhältnissen in den Westalpen. Andererseits scheint mir das auch besonders gegen jungtertiäres Alter des Tauerngranits zu sprechen.

Bosrucktunnel[2].

Der Bosrucktunnel ist 4770 M. lang. Die nach der Karte gezeichnete Relieflinie gibt zwei Wellenberge, von denen der Hauptberg 900 M. hoch und 4000 M. lang ist. Korrigiert auf die Isotherme von 5° ergibt das $\frac{D}{\pi b} = 0{,}195$. Da der Bosruck aus gutleitendem Kalk besteht, so ist als normale Tiefenstufe 28 M. p. 1° anzunehmen. Aus unserer Tafel folgt für den Gradienten im Scheitel 0,180. Da die Bodentemperatur in 1800 M. Höhe = 4,7° ist, so ergibt sich in der Tunnelmitte 726 M. ü. M. als Temperatur *20 5°, gefunden* wurden aber dort *9°*. Die Erklärung für dies Versagen der Theorie beim Bosrucktunnel ist durch die äusserst grossen Wassermassen gegeben, die dem Tunnel entströmen. *Es sind 2200 Sekl., also weit mehr als in dem 4 mal so langen Simplontunnel.* Daher ist es nicht verwunderlich, dass hier allein das Wasser die Temperatur im Tunnel, durch das es fliesst, bestimmt. Wenn z. B. der Sellasee in den Gotthardtunnel abfliesen würde, so

[1] Literatur: vergl. F. Becke, *Wien. Anz.*, 1902—1907, dort die Messungen der Temperatur von K. Imhof. Für die Südseite konnte der Verfasser die Daten leider nicht erfahren und hat daher auf eine ausführliche Durchrechnung vorläufig verzichtet.

[2] O. Geyer, *Denkschr.* Wien. Ak. math.-nat. Kl. 82. 13. Juni 1907.

wäre dann die Theorie dort auch nicht anwendbar. *Doch sind das eben Ausnahmefälle.* Die Wirkung des fliessenden Wassers im l. Km. Abstand lässt sich, wie hier ohne Begründung mitgeteilt sei, *durch folgende Formel* angenähert darstellen :

$$T_W = T_0 \cdot 0{,}86^{\frac{sl}{300}\left(\frac{5}{a_1+1}+\frac{5}{a_2+1}\right)\cdot\frac{1}{(l+1)}\,1{,}5}.$$

Die Tiefenstufe T_W bei M.-Sekl. = ist gleich der berechneten $T_0 \times 0{,}86$ hoch der Anzahl M.-Sekl., dividiert durch 300, dieser Exponent wird noch multipliziert mit der Summe der Quotienten 5 durch Abstand in Kilometern a_1 und a_2 von Wasserquelle im Tunnel zu den Portalen 1 und 2, er wird dividiert durch den Abstand in Kilometern, den der Punkt von der Quelle hat, vermehrt um 1, zur Potenz 1,5. Die Formel gibt auf Simplon und Bosruck etc. angewendet durchaus befriedigende Resultate.

Zusammenfassung.

Die von den Verfassern gegebene Theorie der Temperaturzunahme unter Bergen und Tälern gestattet, wie im vorhergehenden gezeigt, die Temperaturen im Gotthard-, Mont Cenis-[1], *im Albula-, Arlberg-, Simplon-, Tauern- und Rickentunnel* mit einem Fehler von *weniger* als 3° zu berechnen.

Für die Temperatur ist in *erster Linie die Gestalt der Oberfläche* massgebend.

Die verschiedene Wärmeleitfähigkeit der Gesteine ist *nebensächlich*, wie experimentell mit der Methode von W. Voigt nachgewiesen wurde.

Die Schichtstellung der Gesteine ist *je nach ihrer Beschaffenheit sekundär von Einfluss*, wie experimentell aus Messungen nach der modifizierten Methode von de Sénarmont folgt.

Es konnten daraus die *genauen Werte* der normalen Tiefenstufe für bestimmtes Einfallen der Hauptgesteinsklassen abgeleitet werden. Kleinere Einlagerungen von weniger als 1 Km. Durchmesser sind ohne Einfluss. Es sind *exakte Werte* der *Bodentemperaturen* bis 2600 M. Höhe durch Zusammenstellung der Messungen von Stapff, F. Kerner von Marilaun, Schubert und zahlreicher eigener Beobachtungen am Splügen, Feldberg, etc., abgeleitet worden. *Fliessendes Wasser vermindert die Tunneltemperaturen* etwa in der Weise, dass

[1] Vergl. *Eclogae*, 1906, S. 133.

je 300 Sekl. des Gradienten auf 2 Km. im Umkreis um 15 % herabsetzen, in grösseren Entfernungen entsprechend weniger. Die Wirkung des Wassers lässt sich durch eine Formel ausdrücken (vergl. S. 523), in welcher die Sekundenliterzahl und der Abstand der Quelle vom Portal vorkommt.

Für die Prognose von Tunneltemperaturen lassen sich aus diesen Darlegungen folgende Schlüsse ziehen:

Zuerst wird nach der Karte ein *Relief* angefertigt; dessen *Breite* muss gleich der *doppelten Ueberlastung* sein. Aus diesem Relief wird der mittlere Wert der Höhe längs der Tunneltrace abgeleitet und diese Kurve dann mit Hilfe der bekannten *Bodentemperaturen* auf die *Isotherme von 5°* reduziert. Als normale Tiefenstufe wird, wenn der *geologische Bau des Massivs ganz unsicher ist, 32 M. p. 1° zu Grunde gelegt;* der Fehler kann dann bei *50°* nicht mehr als *5°* betragen. Ist dann einigermassen sicher bekannt, ob die *Schichten* im wesentlichen auf grössere Strecken *flach* oder *steil gestellt* sind, so wird man die Tiefenstufe auf *29—30* bei *flacher*, auf *33—34 M.* bei *steiler Schichtstellung* ansetzen; dadurch ist dann der Fehler, falls nicht aussergewöhnlich grosse Wassermengen da sind, auf *3° herabgedrückt.* Da aber das Wasser nur kühlend wirkt, wird die Temperatur jedenfalls *nicht höher* als die berechnete sein, was für die Praxis wesentlich ist.

Sind die *Wassermengen auf 300 Sekl.* und *der Ort, wo sie in den Tunnel eintreten auf 1 Km.* bekannt, so lässt sich auch *ihr Einfluss genau in Rechnung* setzen. Da wie dargelegt es jetzt möglich ist, *die Temperaturen sehr genau uud mit grosser Sicherheit vorauszuberechnen*, so kann andererseits die *exakte Beobachtung der Felstemperatur am Vortrieb sofort Aufschluss darüber geben*, ob *in der Nähe* grössere *Wassermengen zirkulieren* und somit ob bei *weiterem Vordringen* ein *Einbruch grösserer Wassermassen* bevorsteht, und das scheint uns *praktisch von Bedeutung* zu sein.

Von der *geologischen* Prognose wird also, um für die Temperatur-Prognose möglichste Genauigkeit zu erreichen, folgendes verlangt werden müssen:

1. Angabe der Schichtstellung auf 20° genau.

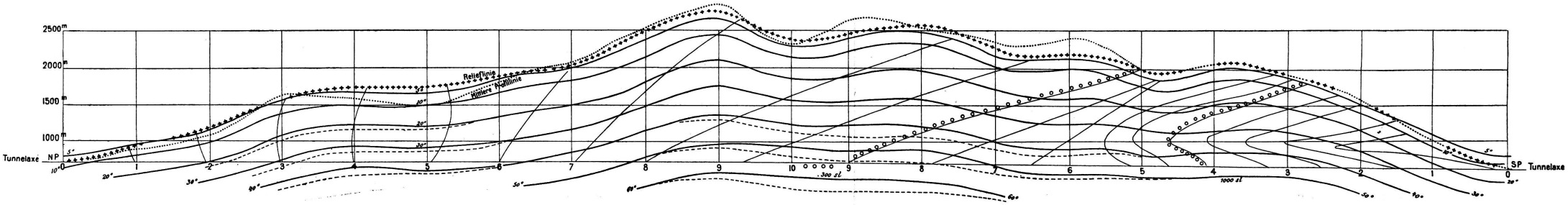
2. Angabe der Gesteine nach der Einteilung in die drei Klassen:

a) Gesteine *ohne ausgesprochene Schichtung* oder *Schieferung* wie *Granite*, *Kalkstein*, etc.

b) Mit Schichtung oder schwacher Schieferung, *Gneisse*, *Hornblendeschiefer*, *Kalkphyllite*, etc.

J. Königsberger.

Geothermisches Profil des Simplon-Tunnels.



Erläuterungen zur Zeichnung.

Die ausgezogenen Linien sind die (unter Verwendung eines normalen Gradienten für ebene Oberfläche [0,033° p. M.] berechneten) Isothermen von 5°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°. Die gestrichelten Linien geben die Isothermen von 40°, 50°, 60°, wenn man die Korrektionen für Schichtstellung (die Schichtstellung ist durch ausgezogene Linien für jeden Km. angedeutet; hiebei ist das neuste Profil von C. Schmidt zu Grunde gelegt) und Feuchtigkeit des Gesteines berücksichtigt. Die Isothermen unter Berücksichtigung der Formel für fliessendes Wasser (Sekl.) *sind nicht eingezeichnet.* Die aus + bestehende Linie entspricht der aus einem Relief von 8 Km. Breite gewonnenen mittleren Höhe des Simplon. Die Profillinie gibt die mittlere Höhe des Streifens von 1 Km. Breite direkt über dem Tunnel. Um die Zeichnung übersichtlich zu gestalten, sind die aus den Isothermen sofort zu ermittelnden Temperaturen im Tunnel nicht auf der Zeichnung in Zahlen eingetragen, sondern auf der untenstehenden Tabelle gegeben.

c) *Glimmerschiefer* (Granat-, Quarzglimmerschiefer etc.). Das *geologische Alter der Gesteine ist ganz gleichgültig;* dagegen die *rein strukturelle Unterscheidung* zwischen *Granitgneiss* und *Glimmerschiefer wesentlich.*

3. Soweit möglich Angabe der Wassermengen auf 300 Sekl. und deren Eintritt in den Tunnel auf 1 Km. genau.

Anhang zur Tafel 10.

Temperaturen im Simplontunnel.

Km.	Beob.	Berechnet ohne Korrektionen, nur Oberfläche berücksichtigt.	Berechnet mit Korrektionen für Schichtstellung und Feuchtigkeit.	Korrektionen und Formel für fliessendes Wasser.
NP				
1	16	15	14	14
2	22	21	20	20
3	27	32	28	28
4	31	37	34	34
5	35	36	33	33
6	41	39	39	39
7	47	44	44	44
8	55	52	53	53
9	52	55	54	52
10	48	55	52	47
SP				
9	46	54	51	45
8	39	53	50	42
7	39	48	45	42
6	38	46	44	37
5	26	45	44	25
4	25	45	45	26
3	32	45	43	34
2	34	36	36	35
1	25	23	24	24