

B

80

DE CARL SCHMIDT
PROFESSOR
S-BASEL

cat

C. Schmidl.

Dr. MAX REINHARD
PROFESSOR
-BASEL-

(Gutachten über den Zustand und den Ausbau
des Simplontunnels)

1906 75,
C. Schmidl
Fr. Lusser
R. Moser.

Untersuchungen über die Standfestigkeit der
Gesteine im Simplontunnel.

1907.

03 S.

7

PB

1615



63/1683

Médiathèque VS Mediathek



1010791667

PB 1615,A

Gutachten

über den

Dr. MAX REINHARD
PROFESSOR
BASIL

Zustand und den Ausbau des Simplontunnels.

Die Generaldirektion der S. B. B. hat in ihrem Schreiben vom 19. Mai 1906 den unterzeichneten Experten die nachstehenden drei Fragen zur Beantwortung vorgelegt:

1. « Kann mit dem Ausbau des Parallelstollens des Simplontunnels ohne wesentlichen Nachteil für denselben und ohne dass der Tunnel I Schaden leidet, noch zugewartet werden und event. wie lange, oder ist es aus bautechnischen oder geologischen Gründen notwendig, den Ausbau des II. Tunnels sofort an die Hand zu nehmen? »
2. « Sind beim Ausbau des Tunnels II besondere Massnahmen nötig zur Sicherung des Tunnels I und event. welche? »
3. « Sind beim Ausbau des Tunnels II Aenderungen gegenüber dem beim Tunnel I angewendeten Profile notwendig oder wünschenswert? »

Bevor die Experten an die Beantwortung dieser Fragen herantreten konnten, hielten sie es nach einem vorläufigen Augenschein, der am 24./25. Juni 1906 stattfand, für durchaus notwendig, eine genauere Untersuchung des Tunnels in Bezug auf dessen **geologische** und **bautechnische** Verhältnisse vorzunehmen und es hat Herr Prof. Dr. Schmidt die Untersuchung der ersteren und Herr Ingr. Lusser diejenige der letzteren übernommen.

Der Zustand des Tunnels I ist hienach z. Z. ein durchaus befriedigender und ist es namentlich die Ausmauerung, deren Ausführung als eine gute zu bezeichnen ist, immerhin mit dem Beifügen, dass nach Ansicht der Experten die zur Anwendung gekommenen Mauerwerksdimensionen im allgemeinen als etwas schwache zu bezeichnen sind, indem nur ausnahmsweise Profiltypen mit stärkeren Mauerwerksdimensionen zur Anwendung kamen und man sich allzusehr auf die Anwendung der Type 2 mit einer Mauerstärke von nur 35 cm in den Widerlagern und im Gewölbe beschränkt hat, wie aus der nachfolgenden Zusammenstellung der ausgeführten Typen genugsam hervorgehen wird:

Type	Südseite		Nordseite		Zusammen		Stärke		
	m	m	m	m	m	m	Gewölbe cm	Widerlager cm	Sohlengewölbe cm
2	6543,4		9272,4		15815,8		35	35	—
2 a.	—		45,4		45,4		35	—	—
2 b.	—		50,1		50,1		35	—	—
2 c.	1070,0		697,0		1767,0		35	35	40
2 d.	750,0		—		750,0		35	60	60
zus. Type 2		8363,4		10064,9		18428,3			

Type	Südseite		Nordseite		Zusammen		Stärke		
	m	m	m	m	m	m	Gewölbe cm	Widerlager cm	Sohlgewölbe cm
	Uebertrag	8363,4		10064,9		18428,3			
3	—		4,0		4,0		50	—	—
3 a.	—		58,4		58,4		50	—	—
3 b.	220,0		—		220,0		50	50	50
3 d.	490,0		—		490,0		55	65	60
3 c.	240,0		—		240,0		70	65	50
zus. Type 3		950,0		62,4		1012,4			
Spez. Profile		85,6		275,3		360,9			
Total		9399,0		10402,6		19801,6			

Es sind denn auch wohl **infolge der etwas zu schwach gewählten Profile** eine erhebliche Zahl von Ringen (auf der Nordseite sind es 110 und auf der Südseite 69), teils früher rekonstruiert, teils bei der Uebernahme als mangelhaft befunden worden und sind auch heute noch viele Ringe vorhanden, die zerdrückte Steine aufzuweisen haben. Etwas bedenklich erscheint auch die Tatsache, dass auf der Nordseite bei Ausführung der Gewölbe vielfach **Kunststein** zur Anwendung kam, der nach den uns gemachten Mitteilungen nur eine Druckfestigkeit von 90—140 kg per cm² erreicht hat. Das ist ausserordentlich wenig, da granitartige Gesteine, wie sie beidseits des Tunnels in ausgezeichnete Qualität zur Verfügung standen, Druckfestigkeiten von 1400—1800 kg aufweisen.

Zu erwähnen ist ferner, dass an vielen Stellen eine wenn auch **kleine Verengung des Profils** stattgefunden hat, sodass die vorgeschriebene Lichtweite von 5 m nicht mehr überall vollständig vorhanden ist. In 10 Strecken von 10 bis 80 m Länge, namentlich im Gebiete des Lebendungeis und der Kalkphyllite ist ein solches Zusammengehen der Widerlager um 10 bis 24 cm konstatiert worden. Erfreulicherweise hat dagegen in der eigentlichen Druckpartie der Südseite, km 4,450—490 wohl infolge der überaus starken Mauerwerksdimensionen keinerlei Bewegung mehr wahrgenommen werden können.

Ungefähr in der Mitte des Tunnels, bzw. zwischen den Profilen km 8,8632—9,390 der Nordseite, auf eine Länge von 526,8 m sind **beide Tunnel vollständig ausgebaut** und, um das Kreuzen von Zügen zu ermöglichen, wurde eine **Ausweiche** erstellt. Beim Ausbau des Parallelstollens zum Tunnel II, der etwas später erfolgte, ist nun der bereits früher erstellte Tunnel I in mehrfacher Weise beeinflusst und nicht unerheblich beschädigt worden. Eine Menge von Rekonstruktionen namentlich des westlichen Widerlagers, des First- und teilweise auch des Sohlengewölbes sind notwendig geworden, sodass von der ganzen Länge von 526,8 m nur 207,4 m mehr oder weniger intakt geblieben sind oder doch nur einzelne zerdrückte Steine aufweisen.

Als befriedigend ist der Stand der **Gewölbeüberhöhungen** zu bezeichnen, da die Gewölbe beinahe durchwegs noch zu hoch liegen, ihre ursprüngliche Ueberhöhung also grösstenteils bis zu 35 cm beibehalten haben und nur wenige Ringe zu finden sind, bei denen der Gewölbescheitel um einige cm (Max. 8) zu tief ist.

Das **Einziehen von Sohlengewölben** hat etwas sparsam und vielfach erst nachträglich, als sich Auftrieb bemerkbar machte, stattgefunden. Auf der Nordseite sind Sohlengewölbe auf eine Länge von 1111,8 m und auf der Südseite auf eine solche von 2809,6 m oder zusammen auf eine Länge von 3921,4 m eingezogen, mit Gewölbestärken von 0,3—0,7 m und in der eigentlichen Druckpartie bis zu 2,2 m. Meist jedoch ist Profil 2 mit 0,4 m starken Gewölben zur Anwendung gekommen und mit Ausnahme der eigentlichen Druckpartie, wo das Sohlengewölbe aus Bruchsteinen, und einer Partie von km 8,9517—8,9953, wo dasselbe aus Quadern erstellt wurde, ist für alle diese Sohlengewölbe nur Beton verwendet worden. Wie später noch gezeigt werden wird, ist dieser Stand der Dinge kein sehr befriedigender, so dass ohne Zweifel später noch weitere Teile des Tunnels I mit Sohlengewölben versehen werden müssen.

Zu einigem Bedenken geben endlich noch 7 Ringe im Lebendungeis und 11 in den Kalkphylliten sowie einzelne Ringe der Nordseite von km 4,016—4,079 Anlass, die eine Menge (10—75) **zerdrückter Steine** aufweisen und ist es nicht unwahrscheinlich, dass hier schon nach wenigen Jahren eine Auswechslung wird erfolgen müssen.

Ist daher der Zustand des Tunnels I im grossen und ganzen als ein guter zu bezeichnen, so sind doch verschiedene Anzeichen und Vorkommnisse vorhanden, die zur Vorsicht mahnen und es vor allem als durchaus dringend nötig erscheinen lassen, dass alle Vorgänge im Tunnel stets aufs eingehendste beobachtet und überwacht werden, damit unter Umständen rechtzeitig und bevor es zu spät ist, eingegriffen und das Nötige zur Sicherung getan werden kann. Besonders wenn die Zerstörung einzelner Ringe weiter fortschreiten oder ein Auftrieb der Sohle, wie er jetzt im Parallelstollen in auffallender Weise stattfindet, sich auch im Haupttunnel bemerkbar machen sollte, müsste unverzüglich zur Rekonstruktion und zum Einziehen von Sohlengewölben geschritten werden. Wenn einzelne Ringe zu sehr geschwächt sind, so werden nach Erfahrung leicht noch weitere anstossende Partien in Mitleidenschaft gezogen und es darf daher in solchen Fällen nicht allzulange gezögert werden.

Der Parallelstollen für den Tunnel II, dessen Axe nur 17 m von derjenigen des Tunnel I entfernt ist und der als sog. Ventilationsstollen gleichzeitig mit diesem zur Ausführung kam, ist grösstenteils unverkleidet geblieben, nordseits auf eine Länge von 8201 und südseits auf eine solche von 5537 m. In den übrigen Strecken ist die Verkleidung oder Ausmauerung meist nicht eine vollständige und umfasst nur einzelne Widerlager oder nur das Gewölbe, sodass eine vollständige Ausmauerung nördlich nur auf eine Länge von 1100 und südlich auf eine solche von 3192 m stattgefunden hat. Der auf eine Länge von zusammen 13738 m unverkleidet gebliebene Stollen hat in der verhältnismässig kurzen Zeit, seit er verlassen worden ist, schon stark gelitten und weist derartige Beschädigungen auf, dass er sich nicht länger selbst überlassen werden darf. Es lassen sich hiebei im wesentlichen drei Zonen verschiedenartiger Standfestigkeit des Gesteins unterscheiden.

Die erste Zone umfasst die den Portalen zunächst liegenden Partien, von km 0—7,250 nördlich und 0—1,600 südlich, mit wenigen oder nur lokalen Ablösungen, sodass sie bis auf weiteres und mit Ausnahme der lokalen Partien in Gyps, Anhydrit etc. auch fernerhin unverkleidet bleiben können.

Die zweite Zone bilden die nächst anschliessenden Partien, von km 7,250—8,150 nördlich und 1,600—5,350 südlich, mit stärkeren, hauptsächlich schalenförmigen Ablösungen an der Decke und an den Seitenwänden, die weiter fortschreiten und schliesslich sogar den Tunnel I gefährden können, wenn ihnen nicht bald Einhalt getan wird.

Die dritte Zone endlich befindet sich im innersten Teil des Tunnels und umfasst die Strecken km 8,150 — bis zur Durchschlagstelle bei 10,376 nördlich und 5,350 — zur gleichen Stelle 9,353 südlich. Die Erscheinungen sind ähnliche wie in der vorigen Zone, nur dass hier nahezu auf der ganzen Länge mit Ausnahme einer Mittelpartie noch Hebungen der Sohle hinzukommen. Es ist dieser Sohlenauftrieb vielfach so stark, dass er zur Zerstörung des Kanals geführt hat. Diese Erscheinungen sind die bedenklichsten von allen, da sie weiter fortschreitend den zwischen den beiden Tunnel liegenden Kern mit einbeziehen und damit den Tunnel I gefährden können.

Nach dem geologischen Gutachten und der dortigen Zusammenstellung ergibt sich nun folgendes:

	I. Zone standfest	II. Zone brechend	III. Zone treibend	zusammen
Nordseite	km 6,7	2,7	1,0	10,4
Südseite	» 1,9	3,9	3,5	9,4
Zusammen	km 8,6	6,6	4,5	19,8

Die geologische Gesteinsfolge im Parallelstollen und die Standfestigkeit ist nach dem gleichen Gutachten kurz folgende:

	km ab Nordportal	m	m	Gesteinsbeschaffenheit
I. Bedrettomulde	0—4,090			
Tonige Kalkschiefer	0—0,683	683		standfest
Gyps-Anhydrit	0,683—0,723	40		unsicher, doch trocken
Kalkschiefer	0,723—1,244	521		standfest
Marmor-Anhydrit	1,244—1,538	294		leicht brüchig
Uebertrag			1538	

	km ab Nordportal	m	m	Gesteinsbeschaffenheit
Uebertrag			1538	
Clintonphyllite	1,538 — 1,690	152		standfest
Graue Kalkphyllite	1,690 — 3,850	2160		»
Dolomit-Kalk	3,850 — 3,920	70		teilweise zerdrückt
Eistengneiss	3,920 — 4,000	80		standfest
Kalkschiefer-Phyllite	4,000 — 4,090	90		Cohäsion gering
Zusammen			4090	
II. Gantergneiss	4,090 — 4,418		328	standfest
III. Gantermulde (I)	4,418 — 4,435		17	»
IV. Berisalgneiss	4,435 — 7,254			
Granitglimmerschiefer	4,435 — 5,409	974		»
Muscovitgneiss	5,409 — 5,709	300		»
Biotitgneiss	5,709 — 5,990	281		»
Augengneiss	5,990 — 6,090	100		brüchig
Glimmerschiefer etc.	6,090 — 7,254	1164		standfest, z. T. brüchig
Zusammen			2819	
V. Gantermulde (II)	7,254 — 7,260	6		standfest
VI. Gantermulde Leonegneiss	7,260 — 8,153	893		Ablösungen
VII. Monte Carneramulde	8,153 — 8,163	10		bereits gewölbt
VIII. Valgrandegneiss	8,163 — 9,408	1245		brüchig, Auftrieb
IX. Vegliamulde	9,408 — 12,867			
Dolomit. Anhydrit	9,408 — 9,463	55		Nicht auf Dauer haltbar
Glimmerschiefer	9,463 — 9,514	51		» » » »
Körniger Anhydrit	9,514 — 9,583	69		» » » »
Glimmerschiefer Anhydrit	9,583 — 9,593	10		» » » »
Anhydrit massig	9,593 — 9,634	41		» » » »
Kryst. Kalk Dolomit	9,634 — 9,653	19		» » » »
Serecitschiefer Anhydrit	9,653 — 9,686	33		» » » »
Marmor	9,686 — 9,688	2		» » » »
Kalkphyllite	9,688 — 10,630	942		Ablösungen, z. T. standfest
Kalkphyllite	10,630 — 12,867	2237		treibend
Zusammen			3459	
X. Lebendungneiss	12,867 — 14,420		1553	brüchig, treibend
XI. Teggiolomulde	14,420 — 15,404			
Kalkschiefer	14,420 — 14,784	364		brüchig
Triasgesteine versch.	14,784 — 15,404	620		»
Zusammen			984	
XII. Antigoriogneiss	15,404 — 19,769		4365	bis 18169 brüchig, dann
Total	0 — 19,769		19769	standfest

Gestützt auf diese Vorbemerkungen, den geologischen und bautechnischen Spezialbericht samt Beilagen, kann nun in die Beantwortung der gestellten, zu Anfang bereits wörtlich angeführten Fragen eingetreten werden.

Antwort auf Frage I.

Nach Ansicht der Experten kann nicht der geringste Zweifel bestehen, dass der Parallelstollen sofort gesichert werden muss und sich nicht länger selbst überlassen werden darf, wenn grössere Schädigungen des Stollens und sogar mit der Zeit des bereits im Betrieb befindlichen Tunnels I vermieden werden wollen. Wird den Bewegungen, die jetzt im Parallelstollen und zum Teil auch noch im Tunnel I vorhanden sind, nicht bald Einhalt getan, so ist zu befürchten, dass sie weiter um sich greifen, vorerst den festen Kern zwischen den beiden Tunneln und mit der Zeit unbedingt auch noch den Tunnel I gefährden werden. Namentlich in der dritten Zone auf der Strecke km 8,150 ab Nordportal bis 5,350 ab Südportal, wo Sohlauftrieb stattfindet, sollte ohne Verzug sobald

immer möglich eingegriffen werden. In zweiter Linie, aber ebenfalls dringlich, ist die Verbaueung der Strecke km 1,600—4,369 südseits mit starken seitlichen Schalenablösungen, weil sie weiter fortschreiten und zum Teil das Profil schon erheblich überschritten haben, sodass, wenn ihnen nicht begegnet wird, der ohnehin nicht zu starke Kern zwischen den beiden Tunneln noch mehr geschwächt werden würde.

Eine wechselseitige Einwirkung der beiden Paralleltunnel aufeinander kann nach den bisherigen Erfahrungen bei Ausführung derselben in der Ausweichestelle der Mitte nicht mehr bezweifelt oder bestritten werden, nachdem infolge des Baues von Tunnel II mehr als $\frac{3}{5}$ der entsprechenden Tunnellänge I wieder rekonstruiert werden musste. Es ist dies ein Nachteil des **Zweitunnelsystems**, der nicht vorauszusehen war, in Zukunft aber, wenn je dieses System wieder zur Anwendung kommen würde, unbedingt dazu führen müsste, die Entfernung der beiden Tunnel erheblich grösser zu nehmen.

Eine Frage, die nicht gestellt, aber doch offenbar hier zu behandeln und wenn möglich zu entscheiden ist, ist die, ob nicht statt der Sicherung des Parallelstollens der **sofortige Ausbau** desselben zum Tunnel II vorzuziehen sein würde. Diese Frage betrifft zwar mehr das finanzielle Gebiet und könnte rechnerisch leicht gelöst werden, wenn der Zeitpunkt bekannt wäre, an welchem gemäss der mit Italien abgeschlossenen Uebereinkunft der Ausbau des Tunnels II begonnen werden muss, indem den Ausgaben für die Sicherung des Stollens nur die Mehrzinsen für den früheren Beginn des Ausbaues von Tunnel II gegenüber zu stellen wären. Die Sicherung des Parallelstollens erfordert aber nach der bei den Akten befindlichen Berechnung des Herrn Lusser eine Summe von Fr. 2,500,000, von der nur der kleinere Teil oder nur etwa $\frac{1}{5}$ später wieder nützlich sein würde, während für den Ausbau des Tunnels II zuzüglich Oberbau, Verzinsung, Bauleitung etc. mindestens die 10fache Summe oder 25 Millionen in Aussicht zu nehmen sein würden.

Neben finanziellen Erwägungen sind es aber auch noch andere, die in Betracht kommen und überlegt sein wollen.

Vor allem spricht der Umstand, dass der Bestand des Tunnels I im Hinblick auf die bereits erwähnten Erscheinungen nicht für lange Zeiten gesichert erscheint und dass bei dem etwas engen Profil ein Umbau während des Betriebes mit Schwierigkeiten verbunden sein würde, für sofortige Ausführung des Tunnels II.

Ohne Zweifel ist es auch von grosser Bedeutung und in jeder Beziehung von gutem Einfluss, wenn das Gebirge möglichst bald zur Ruhe kommt; auch aus diesem Grunde ist die Erstellung in einem Zug unbedingt vorzuziehen, denn es würde bei zweimaligem Bau, zuerst des Stollens und dann des Tunnels, das zum Teil jetzt schon prekäre Gebirge offenbar weit mehr leiden, als wenn alles in einem Male erledigt wird.

Der **Hauptgrund** aber, der für die **sofortige Anhandnahme** und die Ausführung des Tunnels II spricht und schwer in die Wagschale fällt, ist der, dass bei längerem Zuwarten die **frühere Unternehmung, Brandt, Brandau & Comp., nicht mehr haftbar sein und es später kaum mehr möglich sein würde, sie zu den alten Bedingungen zu gewinnen**. Diese Unternehmung ist aber infolge ihrer reichen, beim Bau des ersten Tunnels gemachten Erfahrungen nicht nur die geeignetste, sondern es werden bei der Besorgung des Baues durch sie noch eine Menge anderer Schwierigkeiten in Bezug auf Garantie und Beschädigung der bereits ausgeführten Arbeiten im Tunnel I beseitigt, die nach den bisherigen Erfahrungen kaum vollständig zu vermeiden sein werden, die aber bei Vergabung an eine andere Unternehmung oder bei Ausführung der Arbeiten in Regie zweifellos zu vielen Streitigkeiten Anlass geben würden. Es ist sogar wahrscheinlich, dass jeder andere Unternehmer alle Verantwortlichkeit für den Bestand des Tunnel I beim Ausbau des Tunnels II ablehnen wird.

Bei diesem Entscheide ist sodann noch die für die **Vollendung des zweiten Tunnels erforderliche Zeit** in Betracht zu ziehen, die nach dem mit der Unternehmung abgeschlossenen Nachtragsvertrag vom 9. Oktober 1903 auf 4 Jahre angesetzt ist, mit Ausschluss von Beschotterung und Oberbau. Diese Frist ist jedoch als eine unter allen Umständen viel zu kurze zu bezeichnen und es darf angenommen werden, dass zuzüglich der Beschotterung und des Oberbaues, sowie der elektrischen Einrichtung etc. mindestens 7 Jahre erforderlich sein werden. Der Bau des Tunnels II wird unter den vorliegenden Verhältnissen und mit

Rücksicht darauf, dass der Betrieb des Tunnel I in keinem Falle gestört werden darf, viel mehr Vorsicht und daher auch Zeit erfordern als früher vorausgesetzt werden konnte.

Auch die Frage der **Ventilation** ist keineswegs eine ganz einfache und wird noch viel zu denken geben, da, wenn nicht eine noch längere Zeit in Anspruch genommen werden will, an beiden Tunnelmündungen zugleich gearbeitet werden muss und somit beide Arbeitsstellen mit frischer Luft versorgt werden müssen. Da es nicht angehen wird, die frische Luft durch die Stollen einzublasen und alsdann die schlechte durch den Haupttunnel abzuleiten, so müssen für die Luftzufuhr entweder besondere Leitungen, wie es gewöhnlich geschieht, erstellt oder es muss die gute frische Luft durch den Tunnel I eingeführt werden. Es müsste somit mit Rücksicht auf den Betrieb in der Mitte des Tunnels eine bewegliche Wand erstellt und damit die beidseits in den Haupttunnel eingeblasene Luft genötigt werden, den Rückweg durch den Paralleltunnel zu nehmen und dadurch dessen Ventilation zu bewirken. Die Luft nur von einer Seite in den Parallelstollen einzublasen, z. B. von Nord nach Süd, geht nicht an, da die eine Arbeitsstelle zu wenig frische Luft erhalten würde. Zudem müsste, da die Ausweiche nicht ausser Dienst gesetzt werden kann, auf die Länge derselben ein besonderer dritter Stollen erstellt werden, was abgesehen von den Kosten bei den Erscheinungen und dem Verhalten des Gebirges bei zwei Stollen keineswegs als ratsam erschiene.

Der **sofortige Ausbau des Parallelstollens** ist, um es nochmals zu wiederholen, nach Ansicht der Experten **dringlich**, doch würden sie in Erwägung aller Verhältnisse **dem sofortigen Ausbau des Tunnels II den Vorzug geben** und zur einfachen Sicherung des Stollens nur dann raten können, wenn die Erstellung des zweiten Tunnels in nächster Zeit überhaupt nicht in Frage kommen kann.

Antwort auf Frage 2.

Die bei Ausführung der beiden Stollen, namentlich aber bei derjenigen der beiden Tunnel der Ausweiche gemachten Erfahrungen haben gezeigt, dass die Entfernung von 17 m zwischen den beiden Tunneln eine viel zu geringe ist, um eine gegenseitige Einwirkung auszuschliessen. Wenn schon in dem Gebirge der Ausweichstelle, wo der Valgrandgneiss brüchig und treibend war, die Ausführung des Tunnels II weitgehende Rekonstruktionen des Tunnels I herbeigeführt hat, so ist für die weit gefährlicheren Partien der Südseite viel schlimmeres zu befürchten und ist deshalb grösste Vorsicht geboten.

Als Massregeln, die in solchen Partien geeignet sein würden, die Einwirkung auf den Tunnel I zu verhindern oder wenigstens ganz erheblich zu mildern, ist vor allem die **Vermeidung von starken Schüssen und Minen** zu erwähnen, da mit Sicherheit darauf zu rechnen ist, dass bei Anwendung schwacher und leichter Schüsse die Erschütterung und damit auch allfällige Bewegungen des Gebirges weit weniger zu erwarten sind.

Handelt es sich nur um die **Sicherung des Stollens allein** und nicht um den Ausbau des Tunnels II, so ist die **Ausführung des östlichen Widerlagers am dringendsten** und zwar gleich in definitiver Form, damit später hier nicht nochmals eingegriffen und das Gebirge mehr als notwendig gelockert werden muss. Ebenso wird es sich empfehlen den Kanal und event. das Sohlengewölbe gleich mit zu berücksichtigen und auch diese in ihrer definitiven Gestalt zur Ausführung zu bringen.

Auf der Südseite wird es ganz wesentlich zur Erleichterung und Förderung der Arbeiten beitragen, wenn dabei das **heisse Wasser, sofern nötig in besonderen Röhren, durch den Tunnel I abgeleitet wird**, nicht nur würde, wenn kein oder nur wenig Wasser vorhanden ist, die Arbeit wesentlich erleichtert, sondern es würde durch die Beseitigung des heissen Wassers auch Hitze und Dunst gemildert und dadurch die Leistungsfähigkeit der Arbeiter ganz erheblich gesteigert.

Bezüglich einer ausgiebigen Ventilation, die ebenfalls dazu gehört, wird auf das bereits bei Beantwortung der vorigen Frage Gesagte verwiesen.

Beim sofortigen Ausbau des Parallelstollens zum Tunnel II ist es ausserdem von besonderer Wichtigkeit, nie zu grosse zusammenhängende Partien auszubrechen und unvermauert stehen zu lassen, da mit der Ausdehnung die Gefahr ganz ausserordentlich zunimmt. Es ist ein Fundamentalgrundsatz des Tunnelbaues, in druckhaftem und treibendem

Gebirge **möglichst kleine Angriffsflächen** zu schaffen und was frei gelegt wird, möglichst bald wieder zu sichern und zu vermauern. Es wird, da der Sohlstollen bereits vorhanden ist, hier leicht sein, die Angriffsstellen so zu disponieren, wie es dieser wichtigste Satz des Tunnelbaues verlangt.

Aus ganz gleichen oder ähnlichen Erwägungen wird, sobald die Erweiterung der First erfolgt ist, auch **das Gewölbe einzuziehen und zu verspannen sein**, womit die Decke sofort gesichert und jede Seitenbewegung verhindert werden kann.

Sollten trotz aller dieser Vorsichtsmassregeln im Tunnel I dennoch Bewegungen auftreten, so wäre denselben durch **Einziehen eiserner Lehrbögen und entsprechender Holzverschalung** sofort zu begegnen, bevor es zu eigentlichen Zerstörungen kommt und in gleichem oder ähnlich beschaffenem Gestein müsste in der Folge diese Sicherung vorgenommen werden, bevor mit den Erweiterungsarbeiten im Tunnel II begonnen wird.

Antwort auf Frage 3.

Das bisher beim Simplontunnel zur Anwendung gekommene **Lichttraumprofil** mit 5 m grösster Weite zwischen den Widerlagern und 5,6 m grösster Höhe über Schwellenoberkante ist für einen Alpentunnel dieser Länge ein äusserst beschränktes und es sollte daher für den Tunnel II ein etwas grösseres Profil gewählt und die Weite um 20 oder noch besser um 40 cm grösser gemacht werden. Auch ist die Form des Profiles und namentlich diejenige der Widerlager als keine ganz richtige zu bezeichnen und es würden letztere statt gerade besser gekrümmt zur Ausführung gebracht, da Gewölbe einem seitlichen Druck oder Schub sicherer zu widerstehen vermögen, als gerade Widerlager, die erfahrungsgemäss leicht eingedrückt werden.

Ebenso halten die Experten die beim Tunnel I zur Ausführung gekommenen **Mauerwerksdimensionen zum Teil nicht für genügend**. Während jetzt beim Tunnel I beinahe durchwegs, auch in den inneren, vielfach druckhaften Partien, das schwächste Profil mit nur 35 cm Widerlager und Gewölbestärke angewandt wurde, sollte diese Type beim Tunnel II höchstens in der äusseren Zone I und auch in dieser nur da zugelassen werden, wo das Gebirge durchaus standfest ist, nicht aber in Partien, die sich im Gyps, Anhydrit oder in Gebieten befinden, die aus lokalen Gründen eine stärkere Ausmauerung erheischen. In der zweiten und noch mehr in der dritten Zone, im Inneren des Berges mit hoher Ueberlagerung, grosser Spannung oder hohem Druck, sollten aus Gründen, wie sie bereits an anderer Stelle angeführt wurden, durchwegs **kräftigere Profile** und in der dritten Zone dazu meist solche **mit Sohlengewölben** zur Anwendung kommen.

Die **Verwendung von Kunststeinen** mit einer Druckfestigkeit von angeblich nur 90—140 kg per m² gegenüber einer solchen von 1400—1800, wie sie den beidseits des Tunnels zur Verfügung stehenden Graniten zukommen wird, sollte ausgeschlossen oder höchstens in der ersten Zone in ganz solidem und standfestem Gestein, wo es sich wirklich nur um eine leichte Verkleidung handelt, gestattet werden. Aus ganz ähnlichen Gründen sollte auch die **Verwendung des Betons zu den Sohlengewölben** möglichst beschränkt werden, da die Druckfestigkeit eines solchen im Tunnel zubereiteten Betons eher noch eine geringere sein wird, als diejenige der im Freien sorgfältiger zubereitete Kunststeine.

Im Bedingnisheft ist die ausschliessliche Verwendung von schwer hydraulischem Kalk vorgesehen, während, wenigstens in **druckhaften und nassen Partien, Portlandzement** vorgeschrieben werden sollte.

Basel, Zug und Zürich, den 12. Dezember 1906.

Die Experten:

sig. Prof. Dr. C. Schmidt.
Fr. Lusser, Ingr.
Dr. Rob. Moser, Ingr.

34

überreicht vom Verfasser

Schmidt

Untersuchungen
über die
Standfestigkeit der Gesteine
im
Simplontunnel

Gutachten

abgegeben

an die Generaldirektion der Schweizerischen Bundesbahnen

von

Prof. C. Schmidt in Basel.

(Mit 3 Tafeln und 22 Textfiguren.)



Bern.
Buchdruckerei Böhler & Co.
1907.

Bibl. cant. VS Kantonsbibl.



1010056939

PB 1615,B

PB 1615, B

Erster Teil.

Bericht über die geologische Untersuchung des Parallelstollens im Simplon.

	Seite
I. Einleitung	5
II. Geologisches Profil des Simplon längs der Tunnelaxe (Kilometrierung des Richtstollens)	9
III. Gesteinsfolge im Parallelstollen (Kilometrierung ab Konventionsportalen)	12
IV. Standfestigkeit der Gesteine im Simplontunnel	21
V. Zusammenfassung	32

Zweiter Teil.

Bemerkungen über „Brüchiges Gebirge“, sowie über „Tunnelbau und Gebirgsdruck“ im allgemeinen.

I. Bergschläge in Tunnel und Bergwerken etc.	37
Tunnel (p. 37). Erzbergwerke (p. 41). Kohlengruben (p. 43). Steinbrüche (p. 47). Desquamation (p. 48).	
II. Die Gesteinsdeformationen im Simplontunnel	49
III. Über Plastizität der Gesteine durch Druck	60



Taf. I. Die Figuren 1, 3 und 4 dienen zur allgemeinen geologischen Orientierung. Figur 1 bringt die Stellung der autochthonen, nordwärts gerichteten Staufalten des Simplongebietes im tektonischen System der Schweizeralpen zur Darstellung. Figur 4 ist eine schematische Reproduktion der von uns im Masstab 1:50,000 und 1:25,000 aufgenommenen geologischen Karten. Figur 3 erläutert in drei Querprofilen den Bau des Gebirges zwischen Ofenhorn und Mte. Leone. Figur 2 illustriert den Gesteinswechsel im Tunnel und bringt auf Grund der Aufnahmen im Masstab 1:1000 den Zustand des Gebirges im Parallelstollen zur Darstellung.

Taf. II soll in den Figuren 1—3 die Entwicklung der geologischen Erkenntnis des Baues des Gebirges längs der Tunnelaxe zur Darstellung bringen. Fig. 4 zeigt das Schema der nach unserer Auffassung herrschenden Tektonik des Simplonmassivs.

Taf. III gibt das geologische Profil längs der Axe von Tunnel I mit der auf den *Richtstollen* bezüglichen Stationierung, im Masstab 1:50,000.



Erster Teil.

Bericht

über die

geologische Untersuchung des Parallelstollens im Simplon.

I. Einleitung.

Im Mai 1906 sind von der Generaldirektion der Schweizerischen Bundesbahnen den Herren Oberingenieur Dr. R. Moser in Zürich, Ingenieur Fr. Lusser in Zug und Professor C. Schmidt in Basel folgende drei Fragen zur Begutachtung vorgelegt worden:

1. Kann mit dem Ausbau des Parallelstollens am Simplon, ohne wesentlichen Nachteil für denselben und ohne dass der Tunnel I Schaden leidet, noch zugewartet werden und eventuell wie lange, oder ist es aus bautechnischen oder geologischen Gründen notwendig, den Ausbau des Tunnels II sofort an Hand zu nehmen?

2. Sind beim Ausbau des Tunnels II besondere Massnahmen nötig zur Sicherung des Tunnel I und eventuell welche?

3. Sind beim Ausbau des Tunnels II Änderungen gegenüber dem beim Tunnel I angewendeten Profil notwendig oder wünschenswert?

Um die geologische Grundlage zur Beantwortung dieser Fragen bezüglich Ausbau des Parallelstollens im Simplon zu gewinnen, erschien es in erster Linie notwendig, ein möglichst detailliertes geologisches Profil durch den ganzen Stollen zu besitzen.

Die Aufnahme des Profiles auf der 19,769 m langen Strecke konnte in verhältnismässig kurzer Zeit durchgeführt werden, da in den 31 vorliegenden „Rapports trimestriels au Conseil fédéral suisse sur l'état des travaux du percement du Simplon, 31 Décembre 1898 au 30 Juin 1906“ jeweilen „Renseignements géologiques“ enthalten sind und da ich einerseits seit 1892 im Auftrage der schweiz. geologischen Kommission das Gebiet des Simplon geologisch untersuche und ander-

seits privatim seit Beginn des Tunnelbaues nach Möglichkeit häufig die geologischen Daten im Tunnel gesammelt habe. In der Zeit vom 19. bis 28. Juli habe ich die noch zugänglichen Partien des Parallelstollens von neuem untersucht.*)

Der Bau des Tunnels und gleichzeitig die von uns durchgeführte Detailaufnahme des Gebietes haben eine vorher kaum geahnte Komplikation des Gebirgsbaues offenbart. Die Auffassung des Gebirgsbaues, wie sie aus der geologischen Deutung der durchfahrenen Gesteinskomplexe in Verbindung mit den Beobachtungen an der Oberfläche resultiert, ist für die vorliegenden praktischen Fragen von grundlegender Bedeutung. Ich muss trotzdem hier darauf verzichten, über das Resultat der geologischen Untersuchungen im Tunnelgebiet eingehend zu berichten und mich im wesentlichen darauf beschränken, die *Gesteinsfolge im Tunnel* kurz zu beschreiben. Ich verweise auf unsere anderorts veröffentlichten Untersuchungen und bemerke, dass das uns übersandte geologische Tunnelprofil, datiert „Lausanne, September 1905“, in wesentlichen Punkten *von uns nicht als richtig anerkannt werden kann*.

Wie die geologische Kartenskizze (Taf. I Fig. 4) zeigt, ist die stratigraphische Gliederung der Gesteine des Simplongebietes in grossen Zügen relativ einfach. Wir haben ein System intensiv gefalteter, konkordant über einanderliegender, parallelstruierter Gesteine vor uns, die wir vom ältesten bis zum jüngsten folgendermassen gliedern:

1. Präcarbonische (archaische) Gneisse und Glimmerschiefer.
2. Carbon.
3. Marmor, Gips und Anhydrit, Quarzit usw. der Triasformation.
4. Kalkschiefer der Juraformation mit Ophiolithen (Bündnerschiefer).

Das Gebiet gehört zur Zone der *inneralpinen mesozoischen Sedimente* (Zone des Briançonnais, Zone von Piemont, zentrale Zone der Alpen).

Gegenüber den ältern Darstellungen erscheinen heute die mesozoischen Sedimente in bedeutend grösserer Verbreitung. Fast durchweg sind dieselben in kristalliner Fazies entwickelt und die Unterscheidung von kristallinen Schieferen, die einerseits dem Mesozoikum angehören, andererseits prätriadisch sind, ist oft nur schwer durchzuführen. Die Einschaltung des Kalk- und Giphshorizontes der Trias ermöglicht die stratigraphische Gliederung (vgl. Taf. III).

Ich möchte hier nur kurz daran erinnern, dass man bis zum Jahre 1894 in der Gebirgsmasse des Simplon ein regelmässig gebautes Gewölbe, bestehend aus altkristallinen Gesteinen, erblickt hat — die ältern Darlegungen von H. Gerlach waren unberücksichtigt geblieben. Das Profil Fig. 1 Taf. II entspricht noch dieser Anschauung. Dass aber auch südlich der Bündnerschieferzone des Rhonetales Einfaltungen und Überfaltungen von Bündnerschiefern in Gneissen sich finden, zeigten dann die Profile, die H. Golliez, H. Schardt und ich selbst im Jahre 1894 und 1895 gegeben haben (vgl. Taf. II Fig. 2). Die weitem Untersuchungen haben es erwiesen, dass die Komplikation im Gebirgsbau noch viel grösser ist, als wir angenommen hatten. Die von mir zuerst begründete neue Grundanschauung hinsichtlich der stratigraphischen Auffassung der Gesteine des Simplon hat sich aber als durchaus richtig erwiesen.

*) Als Beilage III A und III B wurde dem Gutachten ein geologisches Detailprofil des ganzen Tunnels (Parallelstollen) beigegeben. Diese Originalzeichnung liegt bei den Akten. Fig. 2 der Tafel I mag zum Verständnis der hier gegebenen Darlegungen als Ersatz dafür gelten. Ebenso gilt Fig. 4 Tafel I als Ersatz für die dem Gutachten als Beilage IV beigegebene geologische Karte des Tunnelgebietes im Massstab 1:25,000.

Es ist unmöglich, ohne die geologische Detailkarte und die Profilerie die Struktur der Berge vom Gotthard zum Simplon in befriedigender Weise zu erläutern. Im Norden des Gebietes treffen wir auf Teile der sog. Zentralmassive des Finsteraarhorns und des Gotthard, die westwärts in ihrer Streichrichtung zur Tiefe sinken. Südlich des Gotthardmassivs und, westwärts von Fiesch, südlich des Aarmassivs, finden wir in den Bergen auf der Südseite des Rhonetales mächtig entwickelte mesozoische Schiefer, die wir der Bedrettomulde (b) zurechnen. In der ganzen Zone von Vals in Graubünden weg, über Olivone, Airolo, durch das Bedrettotal, über den Nufenenpass, durch das Binnental und weiter westwärts bis zur Simplonstrasse und bis ins Rhonetal bei Visp grenzen die Schiefer der Bedrettomulde in konkordanter Lagerung mit Trias im Liegenden südwärts an altkristalline Gesteine, die wir bezeichnen von Ost nach West als: Adulagneisse, Tessinergneisse, Lebendungneiss, Ofenhorn-Gantergneiss, Berisal-St. Bernhardgneiss. In den Gebieten südlich des Südrandes der Bedrettomulde sind nun in weit grösserer Ausdehnung und in viel komplizierterer Form, als man früher annahm, durch das ganze Gebirge mesozoische und altkristalline Gesteine innig miteinander verflochten. An den steilen Berghängen, in den tiefen Tälern stossen wir zwischen den im allgemeinen flach liegenden Gneissen immer wieder auf Zonen von triadischen Kalken und jurassischen Schiefen. Diese Zonen wiederholen sich oft mehrfach übereinander; eine bestimmte Zone können wir auf viele Kilometer Länge durch das Gebirge verfolgen. Bei einer Durchquerung des Gebirges von Brig aus über Berisal, Wasenhorn, Alpe Veglia, Pizzo Teggiolo, Varzo und den Pizzo Rovale bis ins Val Bognanco z. B. werden folgende 22 Zonen mesozoischer Schiefer- und archaischer Gneisse durchquert (vgl. Taf. I Fig. 4 und Taf. III): 1. Bedrettoschiefer, 2. Eistengneiss, 3. Eistenmulde, 4. Gantergneiss, 5. Gantermulde, 6. Berisalgneisse, 7. Schiefer am Südabhang des Wasenhorns und in der Ostwand des Monte Leone, 8. Monte Leone-Gneisse über dem Lago d'Avino und auf dem Gipfel des Monte Leone, 9. Schiefer und Marmor am Lago d'Avino und Monte Carnera, 10. Valgrande-Gneiss, 11. Kalkschiefer am Nordabhang von Vallé, 12. Lebendungneiss, 13. Schiefer und Marmor von Vallé-Pizzo Teggiolo, 14. Antigoriogneiss, 15. Schiefer von Varzo-Val Cairasca, 16. Antigoriogneiss, 17. Unteres Schieferband am Nordabhang der Rovalekette, 18. Dünnschiefrige Gneisse, 19. Oberes Schieferband am Nordabhang der Rovalekette, 20. Weisse, zweiglimmerige Gneisse des Rovalekammes, 21. Kalke und Schiefer von San Bernardo, 22. Gneisse bis ins Val Bognanco.

Auf den Höhen über dem Tunnel zwischen Brig und Iselle finden wir somit sechs verschiedenartige Gneissmassen, die übereinanderliegend nach Nordwesten flach einfallen und je von einander getrennt sind durch eine Lage von Bündnerschiefern. Diese Lagen von Bündnerschiefern sind als Mulden aufzufassen, denn eine jede derselben ist sowohl gegen den hangenden als auch gegen den liegenden Gneisskomplex von typischen Triasgesteinen in mehr oder weniger kontinuierlichem Zuge begleitet.

Entsprechend der hier gegebenen stratigraphischen Deutung der Gesteine des Simplons, musste in erster Linie die bis zum Jahre 1894 geltende Theorie des „Simplongewölbes“ verlassen werden (vgl. Taf. II Fig. 1), denn wenn auch im Gebirge zwischen Simplon und Tessental unverkennbar im ganzen die Schichten kuppel- oder domartig gelagert erscheinen, so finden wir doch nirgends von oben nach unten eine normale Schichtfolge vom jüngern zum ältern. Die Einschaltungen von Bündnerschiefern zwischen den Gneissen suchte man erst zu erklären durch von oben eindringende Mulden jüngerer Gesteine zwischen aus der Tiefe an Ort

und Stelle aufgewölbte ältere Glimmerschiefer und Gneisse. *Das Substrat im Berginnern sollte überall der Gneiss bilden* (vgl. Taf. II Fig. 2). — Wie die hier beigegebenen Profile zeigen (Taf. I Fig. 1 und 3, Taf. II Fig. 3 und 4, Taf. III) musste auch diese Anschauung verlassen werden. Wir erblicken heute im Bau des Simplongebirges ein System von liegenden, im Süden aufsteigenden, nordwärts sich senkenden Gewölben. Die Gewölbekerne bestehen aus verschiedenartigen Gneissen. Die Mulden enthalten Bündnerschiefer. Entsprechend den nordwärts vordringenden Gneiss-Gewölbekernen, erscheinen die Schiefermulden nach Süden ausgezogen. Bis auf 20 km Länge erscheinen so die Gneisse über die Schiefer der liegenden Mulde überschoben.

Jede Schiefermulde muss mit der höher liegenden Mulde einerseits, mit der tiefer liegenden andererseits in Verbindung treten je an einer nordwärts gerichteten Gewölbebiegung, welche eine Gneissantiklinale als Gewölbekern umfasst. So verbindet sich z. B. der auf Antigoriogneiss liegende Triasmarmor des Teggiolopfels mit dem unter Antigoriogneiss auftauchenden Marmor im Tunnel bei 4325 m ab Südportal, d. h. die Teggiolomulde (IV) vereinigt sich mit der Varzo-Bacenomulde (V) den nordwärts gerichteten Gewölbekern des Antigoriogneisses (E) umfassend. (Vgl. Taf. II Fig. 3, 4, 5 und Taf. III.)

Wie die geologische Übersichtskarte (Taf. I Fig. 4) zeigt, verschmelzen östlich des Ofenhorns die Bündnerschiefer der Bedrettomulde mit denjenigen der Veglia-Devero-Mulde und unter der Masse der Ofenhorngneisse verbinden sich die Schiefer des Binnentales mit denjenigen von Devero. Westwärts, gegen den Simplontunnel zu, senken sich die tektonischen Elemente des Gebirges. Die drei Profile der Fig. 3 Taf. I zeigen, wie so bis in die Region des Tunnels die Gneisse, die über den Schiefen zwischen Binnental und Devero liegen, immer tiefer sich einbohren; die Verbindung zwischen den Schiefen von Veglia und denjenigen von Rosswald vollzieht sich in einer Tiefe von ca. 1000 m unter Meeresniveau unterhalb des 6. bis 7. km des Tunnels ab NP. und aus dieser Tiefe steigen südwärts empor jene *mesozoischen Schiefer, die auf 3,5 km Länge den Kern des vom Tunnel durchfahrenen Gebirgsmasse bilden*, da wo man nicht die jüngsten, sondern die ältesten Gebirgsformationen zu treffen erwartet hatte.



II. Geologisches Profil des Simplon längs der Tunnelaxe.

Nach Taf. III wäre die Gesteinsfolge im Simplontunnel folgendermassen zu präzisieren (*Kilometrierung des Richtstollens*).

1. Km 0—4,08 ab NP.

Kalkphyllite mit triadischem Marmor und Gipseinlagerungen zwischen km 0,67 und 0,715 und km 1,23 und 1,530. Zwischen km 3,843 und 3,913 erscheint im Liegenden der Kalkschiefer Triasmarmor mit Anhydrit, dann zwischen km 3,913 und 3,993 eine schmale Gneissantiklinale (*Eistengneiss-E*) und von km 3,993 bis km 4,08 finden wir eine Kalkschiefersynklinale mit Marmor beiderseits (*Eistenmulde-c*). Bedretto-Mulde (4080 m)

2. Km 4,08—4,410 ab NP.

Quarzreiche, graue, grobbankige *Muscovitgneisse*. Antiklinal gestelltes aufgestautes Ende der Antiklinale des Leone-Ofenhorn-Gneisses. Ganter-Gneiss (I) (330 m)

3. Km 4,410—4,426 ab NP.

Kalkschiefer mit schmaler Marmorgrenzbank Ganter-Mulde (I) (16 m)

4. Km 4,426—7,246 ab NP.

Granatführende serizitische *Glimmerschiefer*, *Hornblendeschiefer*, zweiglimmerige *Augengneisse*, *Biotitgneisse* etc. Berisal-Gneiss (2820 m)

5. Km 7,246—7,254 ab NP.

Kalkschiefer und Marmor mit *Anhydrit* Ganter-Mulde (II) (8 m)

6. Km 7,254—8,145 ab NP.

Dickbankige, helle *Muscovitgneisse*. Ganter-Monte-Leone-Gneiss (II) (891 m)

7. Km 8,145—8,155 ab NP.

Zerquetschte Lager von *Marmor*, *Anhydritsekretionen*. Monte-Carnera-Mulde (10 m)

8. Km 8,155—9,4 ab NP.

Hornblende- und granatführende, serizitische *Gneisse*. Valgrande-Gneiss (1245 m)

9. Km 9,4—12,859 ab NP. oder Km 10,329—6,87 ab SP.

Marmor, grobspäthiger Anhydrit, Glimmerschiefer mit Anhydrit etc. bilden zwischen Km 9,4—9,68 die *Trias* auf der Grenze zwischen Valgrande-Gneiss und Kalkphylliten. — Von km 9,68 ab NP. bis km 12,609 ab NP. auf zirka 3 km Länge fanden sich flachliegende, grobkrySTALLINE, hellgraue, glimmerige Kalkschiefer, z. T. granat-

haltige Hornfelse (Bündnerschiefer). — Von km 7,12 bis 6,87 ab SP. bilden grobkristalline, glimmerreiche Marmore die *Trias* auf der Grenze gegen den liegenden Lebendun-Gneiss. Veglia-Mulde (3459 m)

10. Km 12,859—14,403 ab NP. oder km 6,87—5,326 ab SP.

Biotitreiche, dünnbankige *Gneisse*, reich an Quarzlagen und Knollen und konglomeratartigen Einlagerungen . . . Lebendun-Gneiss (1544 m)

11. Km 14,403—15,404 ab NP. oder Km 5,326—4,325 ab SP.

Bündnerschiefer erscheinen ohne trennende *Trias* über dem Lebendun-Gneiss und erstrecken sich, flach südfallend, bis km 4,946 ab SP. Die *Trias* im Hangenden der Bündnerschiefer ist jedoch sehr mächtig, sie hält auf 621 m Länge an. In ihr findet sich zwischen km 4,795 und 4,613 eine Masse von körnigem, phlogopithaltigem *Anhydrit*, ferner Anhydrit führende *Glimmerschiefer* (km 4,5 bis 4,46 ab SP.), dann die berühmte *Druckpartie*, bestehend aus kaolinigem Glimmerkalk (km 4,46—4,42 ab SP.) und endlich der die Vaclusequellen liefernde *Marmor* zwischen km 4,42 und 4,325 ab SP. Teggiolo-Mulde (1001 m)

12. Km 15,404—19,729 ab NP oder Km 4,325 bis Km 0 ab SP.

Dickbankiger, zweiglimmeriger Gneiss mit basischen oder mit aplitischen Einlagerungen Antigorio-Gneiss (4325 m)

Bei km 4,325 ab Südportal wird der südliche Grenzarmor der Teggiolo-Mulde von Antigorio-Gneiss überschoben. Die wichtige Stelle ist auf beistehender Figur 1 zur Darstellung gebracht.

NW

SE



Fig. 1. Phot. H. Suhle, Ing.
Kontakt von Antigorio-Gneiss mit Triasarmor bei 4325 m ab SP am Rechten Stoss von Stollen I.

Wie das Schema der Fig. 4, Taf. II zeigt, erhalten wir nach unsern geologischen Aufnahmen für die Region des italienisch-schweizerischen Grenzkammes auf eine Breite von zirka 25 km in der Richtung von Nord nach Süd ungefähr folgendes Profil, das bei vollständiger Erhaltung aller Bestandteile eine Mächtigkeit von 8000 bis 9000 m erreichen muss:

1. Bündnerschiefer der Bedrettomulde, der Gantermulde, der Magenhornmulde und des allgemeinen Hangenden der Gneisse.
2. Granatglimmerschiefer, Serizit- und Biotitgneisse, Amphibolite, zweiglimmerige Augengneisse: *Berisal-Gneisse* (1800 m mächtig) Gneiss A
3. Bündnerschiefer der *Ganter-Monte-Leone-Hüllehorn-Mulde* Mulde I
4. Zweiglimmergneisse, Biotitgneisse, Hornblendegneisse, Serpentin: *Monte-Leone-Ofenhorn-Gneiss* (1000 m mächtig) Gneiss B
5. Bündnerschiefer der *Monte-Carnera-Pizzo del Rovale-Mulde* Mulde II
6. Granat- und Hornblende-Gneiss: *Pizzo Valgrande-Gneiss* (200 m mächtig) Gneiss C
7. Bündnerschiefer der *Veglia-Devero-Mulde* Mulde III
8. Dünnschichtige, zweiglimmerige Gneisse mit Konglomeraten (?): *Lebudun-Gneiss* (400 m mächtig) Gneiss D
9. Bündnerschiefer der *Teggiolo-Mulde* Mulde IV
10. Dickbankige, homogene Zweiglimmergneisse: *Antigoriogneiss* (1600 m mächtig) Gneiss E
11. Bündnerschiefer der *Varzo-Baceno-Mulde* Mulde V
12. Granitischer Gneiss: *Verampioagneiss* Gneiss F

Bemerkenswert ist es, dass im Tunnel drei Quellregionen zutage getreten sind. Die einbrechenden Wasser sind Oberflächenwasser (Wildwasser, sog. Vadose Quellen, keine Thermen), deren Ertrag in direkter Beziehung steht zum Verhalten der Niederschläge im Gebirge. Die drei Quellregionen sind folgende (Kilometrierung des Richtstollens). — (Vgl. Taf. III.)

I. Quellen aus Antigoriogneiss (3820—3900 m ab SP.).

Temp.: 22—32°. — Erguss: ca. 30 sl. — Mineral. Gehalt = 0,8 bis 1,3 gr. Ca SO⁴ pro Liter.

II. Quellen aus Teggiolokalk (4355—4420 m ab SP.).

Temp.: 10—14°. — Erguss: 625 bis 1200 sl. — Mineral. Gehalt = 0,8 bis 1,3 gr. Ca SO⁴ pro Liter.

III. Quellen aus Kalkschiefern im Dach der Vegliamulde.

(9100—9659 m ab SP. — 10,070—10,926 m ab NP.) Temp.: 28°—50°. — Erguss: ca. 300 sl. — Mineral. Gehalt = 1,6 gr. Ca SO⁴ und 0,2 gr. Mg SO⁴ pro Liter.

III. Gesteinsfolge im Parallelstollen.

An der Hand der nicht gedruckten Beilagen III A und B (Profil 1:1000) gebe ich hiermit die Beschreibung der Gesteinsfolge im Parallelstollen. (Kilometrierung im Tunnel II ab Konventionalportalen.) Ich verweise auf Fig. 2 Taf. I.

1. Bedretto-Mulde. (b)

Km 0—4,090 ab NP. (4090 m).

Die Beobachtungen an der Oberfläche lassen mit ziemlicher Sicherheit die Natur der hier im Tunnel auftretenden Gesteine erkennen. (Vgl. Taf. III c, Taf. I Fig. 4.) Es herrschen *steilstehende* Kalkphyllite der Juraformation, die mit geringen Abweichungen normal zur Tunnelaxe streichen. Zwischen den jurassischen Kalkschiefern finden wir Triasgesteine und eine Gneisslamelle eingelagert.

Wir erhalten folgendes Profil:

- Km 0—0,683.* Dünnschichtige, schwarze, tonige Kalkschiefer mit Sprödglimmer. (Chloritoid, Clintonit.) Zahlreiche Quarzsekretionen.
- Km 0,683—0,723.* Gips und Anhydrit mit Dolomit und Marmor an den beiden Rändern, begleitet von serizitischen Schiefern.
- Km 0,723—1,244.* Schwarze, sprödglimmerführende Kalkschiefer, gelegentlich mit Granat und Zoisit, mit lokalen Quarzsekretionen.
- Km 1,244—1,538.* Triasantiklinale mit Schiefersynklinale:
 - 1244—1250 m. Marmor.
 - 1250—1450 m. Stark gefalteter und gepresster Anhydrit mit untergeordneten Lagen von kalkigen und serizitischen Schiefern.
 - 1450—1510 m. Schiefer mit Sprödglimmer (Synklinale).
 - 1510—1538 m. Anhydrit.
- Km 1,538—1,690.* Dünnschichtige Clintonitphyllite mit quarzigen Sekretionen.
- Km 1,690—3,850.* Graue, bankige Kalkphyllite, mit reichlichen gewundenen Quarzadern.
- Km 3,850—3,920.* Weisse dolomitische Kalke, dünn-schichtig, stark klüftig, zum Teil zertrümmert, mit Lagen von serizitischen Schiefern und mit Gips und Anhydrit zwischen 3870 und 3880 m. Bei 3900 m findet sich eine ein Meter mächtige Einlagerung von Gneiss.
- Km 3,920—4000.* Dünnbankige, muskovitreiche Gneisse. (*Eistengneiss*). (*E*)
- Km 4000—4,090.* Kalkschiefer und Phyllite mit 10—20 m mächtigen, bankigen Dolomiten an ihrer Grenze gegen Norden und gegen Süden. (*Eistenmulde*). (*e*)

2. Gantergneiss I. (G I)

Km 4,090—4,418 ab NP. (328 m).

Die als „Gantergneisse“ bezeichneten Gneisse bilden eine schmale, in der Tunnelaxe zusammengepresste Antiklinale (vgl. Taf. III). Die Gneisse sind identisch den sog. Eistengneissen (km 3,92—4). Es sind meist graue, vorherrschend

muscovitführende, quarzreiche Körnelgneisse, die gelegentlich zu Augengneissen sich entwickeln. Sie sind meist grobbankig, enthalten jedoch auch schiefrige Zonen. Die Streichrichtung der steil aufgerichteten Schichten verläuft normal zur Tunnelrichtung.

3. Gantermulde (I). (*g I*)

Km 4,418—4,435 ab NP. (17 m).

An den Gantergneiss grenzen südwärts direkt dünnplattige, graue, oft grobkrystalline etwas serizitische Kalkschiefer in saigerer Stellung, quer zur Tunnelrichtung streichend. — Die Trias an der südlichen Grenze dieser Kalkschiefer ist durch eine zerquetschte, nur einige Dezimeter mächtige Bank von weissem, grobkrystallinen Kalk markiert.

4. Berisalgneisse. (*B*)

Km 4,435—7,254 ab NP. (2819 m).

Die Berisalgneisse, die an der Oberfläche die 6 km breite Zone von Berisal bis zum Amoincei einnehmen, stellen in ihrer Gesamtheit den Typus jungarchaischer krystalliner Schiefer dar. Es sind vorherrschend granatführende Glimmerschiefer, Biotitserizitschiefer, dünnbankige Muscovitgneisse, schiefrige Biotitgneisse mit in ihrer Mächtigkeit wechselnden, zonenartig sich einlagernden Hornblendeschiefern. Etwas fremdartig erscheint eine ca. 100 m mächtige Zone grobbankiger Zweiglimmergneisse. Nur die wesentlichen Amphibolitlagen und die Zweiglimmergneisse lassen sich besonders ausscheiden. Der ganze Komplex der sog. Berisalgneisse lässt sich etwa folgendermassen gliedern, obwohl scharfe Grenzen meist nicht vorhanden sind.

1. *Km 4,435—5,409.* Granatglimmerschiefer, Biotitserizitschiefer, Hornblendeschiefer bei 4510, 4600, 4630, 4800—4900 m. Muscovitgneisse bei 5000 m. — Die krystallinen Schiefer lassen durch Behandeln mit Salzsäure fast durchweg einen geringen Kalkgehalt erkennen, ferner fanden sich nach Rapp. trim. Nr. 10 zwischen 4574 und 4590 m. Calzit- und Gipsführende Geoden. Ferner erwähnt H. Schardt bei km 4,945 eine Marmorbank.
2. *Km 5,409—5,709.* Vorherrschend dünnbankige Muscovitgneisse mit schiefrigen Biotitgneissen wechselnd. Mehrere (ca. 7) Lagen von Hornblendeschiefern.
3. *Km 5,709—5,990.* Dünnschichtige Biotitgneisse und Granatglimmerschiefer, mit Amphiboliten bei 5730, 5760 und 5815 m.
4. *Km 5,990—6,090.* Zweiglimmerige, dickbankige Augengneisse.
5. *Km 6,090—7,254.* Dünnschiefrige, serizitische Glimmerschiefer, Biotitgneisse, Granatglimmerschiefer mit mächtigen Lagen von Amphiboliten.

Der Wechsel der Gesteinstypen offenbarte sich auch im Fortschritt der Bohrung, indem in den schiefrigen Zonen 1, 3 und 5 im Mittel 6,5 m täglich, während in den beiden gneissigen Zonen 2 und 4 im Mittel nur 6 m täglicher Fortschritt im Stollen erreicht wurde.

Bezüglich der Schichtstellung im ganzen Komplex der sog. Berisalgneisse ist zu erwähnen, dass die Schichten bis zu km 6,1 saiger stehen, meist 70—80° gegen

Nordwesten einfallen. Zwischen km 6,1 und 6,6 legen sie sich schon flacher und fallen 60—40° gegen Nordwesten und endlich im südlichen Teil der Berisalschiefer bis 7254 m liegen die Schichten meist flach gewellt 20—40° gegen Nordwesten einfallend. Das Streichen ist durchweg senkrecht zur Tunnelaxe verlaufend.

5. Gantermulde II. (*g II*)

Km 7,254—7,260 ab NP. (6 m).

Zwischen chloritischem, granathaltigen Gneiss im Hangenden und hellem grobbankigen, zweiglimmerigen Gneiss im Liegenden, die beide ca. 30° nach NW. einfallen, findet sich eine schmale, verdrückte Einlagerung von kalkigem Schiefer und von grobkörnigem weissem Marmor, der mit Anhydrit vermischt ist. Diese Einlagerung ist als eine stark verdrückte mesozoische Mulde zu deuten, die einerseits an der Ostwand des Monte Leone und am Amoincei zutage tritt und andererseits nordwärts unter dem Tunnelniveau mit der Gantermulde I bei Berisal sich verbindet (Vgl. Taf. III).

Bemerkenswert ist es, dass die aus den Berisalschiefern austretenden Quellwasser bis km 7,216 keinen schwefelsauren Kalk enthalten, während eine kleine Quelle, die im Liegenden der Gantermulde II bei 7300 m entspringt, sehr gypsreich ist.

6. Ganter-Monte Leone-Gneiss II. (*G II*)

Km 7,260—8,153 ab NP. (893 m).

Die zwischen km 7,260 und 8,153 herrschenden Gneisse sind in ihrer Gesamtheit zu identifizieren mit den Gesteinen, die wir oberflächlich am Passo Fnè, auf der Spitze des Mte. Leone. an der Felswand ob dem Lago d'Avino, weiter östlich auf der Höhe des Ritterpasses, am Mte. Moro usw. finden. Gegen Norden verbinden sich diese Gneisse unter dem Tunnelniveau mit dem Gantergneiss I und mit dem Eistengneiss (vgl. Taf. III). — Die Gneisse zwischen 7260 und 8153 m sind mehr oder weniger dickbankig, grünglimmerig, zum Teil zweiglimmerig und feldspathreich. Stellenweise werden diese Gneisse oft aplitisch. Biotitreiche Einlagerungen sind mehr vereinzelt, Amphibolite hingegen fehlen; gelegentlich enthalten die Gneisse kleine Granaten, so bei 7885 und 7940 m.

Besonders bemerkenswert ist es, dass in einer Entfernung von ca. 250 m bergwärts von der Anhydrit und Marmoreinlagerung der Gantermulde II, zwischen 7490 und 7510 m, im hellen, grünglimmerigen Gneiss Einlagerungen von grob-späthigem und krystallisiertem *Anhydrit* sich finden. Lagen von Quarz, grobblät-terigem Biotit und Muscovit mit Dolomit und violetter Anhydrit verlaufen konkordant mit den Gneissstraten und lassen sich auf mehrere Meter Länge in einer Mächtigkeit von je ca. 15 m verfolgen. Gelegentlich schwellen die Lagen zu Linsen an, ganz grobspätiger Anhydrit sammelt sich zu grössern Knauern, die von Biotit-faser umsäumt werden. Im Liegenden der Gantermulde II sind bei 7300 m Infiltrationen von Gipswasser beobachtet worden und wir deuten somit die besprochenen Anhydrit-Einlagerungen im Gantergneiss II als Ausscheidungen aus Bergwassern, die der anhydritführenden Gantermulde II entstammen. (Vgl. Taf. III.)

Die Gantergneisse II streichen im ganzen senkrecht zur Tunnelaxe und bis 7970 m ungefähr zeigen sie einförmiges Einfallen gegen NW. mit 20—30°. Innerhalb der letzten 150 m der Gneisse konstatiert man mehrere Biegungen und Sekundärfaltungen im Gneiss.

7. Monte Carneramulde. (c)

Km 8,153—8,163 ab NP. (10 m).

Ähnlich wie bei 7254/60 m finden wir auch bei 8153/63 m eine verdrückte Kalklage, die zwei verschiedenartige Gneisskomplexe trennt. Marmorlagen, glimmerige Kalkschiefer und quarzige Linsen, das Ganze stark verdrückt und klüftig, von Wasseradern durchzogen, stellen auf 10 m Länge die „Monte Carnera-Mulde“ dar.

Südwärts streicht dieselbe am Lago d'Avino zutage, wo ein mächtiges Band von Triasgesteinen, begleitet von Granathornfelsen unter die weissen Monte Leonegneisse einschiesst und die sog. Valgrandegneisse überlagert (vgl. Taf. III und Taf. I Fig. 5. In den die verdrückte Monte Carnera-Mulde unterlagernden Gneissen, den sog. Valgrandegneissen treten ebenfalls Ca S O⁴-reiche Quelladern zutage, bei 8490 m z. B., und die Gneisse enthalten anhydritführende Drusen bei 8470 m z. B.

8. Valgrandegneiss. (g)

Km 8,163—9,408 ab NP. (1245 m).

Die als Valgrandegneiss bezeichneten Gesteine kontrastieren ebenso sehr mit den hellen, grobkörnigen Ganter-Monte-Leone-Gneissen als mit den manigfachen Typen der sog. Berisalgneisse. Die Valgrandegneisse sind im allgemeinen dünnbankig, feinkörnig, flaserig und meist zweiglimmerig. Fast alle Typen derselben enthalten Granat. Hellere und dunklere Varietäten wechseln miteinander. Reichlich vorhandener serizitischer oder paragonitischer Glimmer bedingt die Herausbildung seidenglänzender, schiefriger Typen, in denen sich oft chenopoditische Hornblende einstellt (namentlich bei 9100 m ca.) Zweiglimmerige, mehr grobbankige Gneisse, die an Monte Leone-Gneisse erinnern, finden sich namentlich zwischen 8540 et 8770 m. Die Valgrandegneisse, die an der Oberfläche den Berghang südwärts des Lago d'Avino bilden, streichen im Tunnel im allgemeinen senkrecht zur Axe desselben und fallen mit 20—50° gegen Nordwesten. Häufig sind sie stark gefaltet und oft ausserordentlich brüchig. Man beobachtet ost-weststreichende, saigere Querklüfte, bei 8490, 8520 und 8800 m z. B., die mit chloritischer Masse oder mit Gneissbreccien gefüllt sind; ferner sind SO.-NW. streichende Klufsysteme vorhanden, namentlich zwischen 8600 und 9700 m.

9. Vegliamulde. (V)

Km 9,408—12,867 ab NP. oder km 10,361—6,902 ab SP. (3459 m).

Die zentrale Zone von flachliegenden Kalkphylliten, die wir als „Vegliamulde“ bezeichnen, ist beiderseits von Gesteinen der Trias eingesäumt, die nordwärts im Liegenden des Valgrandegneisses, südwärts im Hangenden des Lebendungneisses auftreten. Bei 9408 m erscheinen zuerst Gesteine, die wir zweifellos der Trias zuweisen können und die bis 9688 m herrschen. Es besteht diese im Tunnel auf 280 m Länge durchfahrene Triaszone aus manigfachen Gesteinen, unter denen dass massenhafte Auftreten von Anhydrit besonders bemerkenswert ist. Die ganze Serie von Triasgesteinen lässt sich etwa folgendermassen übersichtlich gruppieren:

1. 9408—9463 m körniger, weisser Dolomit mit Phlogopit, Pyrit, Kupferkies, Bleiglanz usw. Lagen von grobspäthigem Anhydrit mit Quarz und Sericit bei 9426, 9440 und 9450 m;
2. 9463—9514 m grobblättrige Glimmerschiefer mit Anhydrit, vereinzelte Lagen von Dolomit. Quarz- und Anhydritknauer bei 9480—9490 m;

3. 9514—9583 m körniger Anhydrit mit braunem und grünem Glimmer. Einlagerungen von Dolomit. Drusen mit Anhydritkristallen bei 9548, 9568 und 9581 m;
4. 9583—9593 m Anhydritführende Glimmerschiefer wie Nr. 2;
5. 9593—9634 m massiger Anhydrit mit Dolomitlagen, Glimmerschiefer mit Anhydrit bei 9620 m;
6. 9634—9653 m dunkle kristalline Kalke und weisse zuckerkörnige Dolomite.
7. 9653—9686 m Serizitschiefer mit Phlogopit und Anhydrit wie Nr. 2 und 4. Granathornfelse bei 9672—9676 m;
8. 9686—9688 m Marmor.

Das Einfallen der Triasschichten beträgt durchweg zirka 40° N.-W. und die Streichrichtung ist noch immer normal zur Tunnelaxe.

Bemerkenswert ist es, dass die im wesentlichen der Trias entstammenden heissen Quellen auch hier nicht aus der Trias selbst austreten, sondern erst im Liegenden derselben sich finden in Bündnerschiefern bis auf eine Entfernung von zirka 1000 m südwärts von der liegenden Triasgrenze (vgl. Taf. III).

Von 9688 m ab NP bis 12614 m ab NP oder bis 7155 m ab SP. d. h. auf nahezu 3 km Länge herrschen flachliegende, kristalline, glimmerige hellgraue Kalkschiefer, die zur Juraformation gehören. Die petrographische Ausbildung derselben ist recht einförmig. In den nördlichen 100 m dieser Kalkphyllite, d. h. in der Region des Durchschlages und in Südtunnel nordwärts der heissen Quellen bei 4190 m sind diese „Bündnerschiefer“ vorzugsweise als bankige, graue, kristalline Kalke mit reichlichen gewundenen Quarzlagen entwickelt. Ausser dieser marmorigen Varietät sind besonders auffallend granatreiche schwarze, sehr zähe, knotige Gesteine, die wir als „Hornfelse“ bezeichnen können. Solche Granathornfelse erscheinen im Nordtunnel bei 9765 bis 9790 m ab NP., im Südtunnel (Parallelstellen) beobachtete ich sie namentlich bei 7200—7240, 7380—7440, 7740—8100, 8400—8460 und 9040—9130 m ab SP.

In ihrer ganzen Ausdehnung liegen die Kalkphyllite flach und fallen gegen Nordwesten ein. Im allgemeinen legen die Schiefer sich etwas flacher von Norden gegen Süden von 25°—10° gegen Nordwesten. Wellungen der Schichtlagen sind naturgemäss häufig. Die Streichrichtung, die bei der wellig flachen Lagerung weniger scharf zum Ausdruck kommt, ist im allgemeinen noch normal zur Tunnelaxe gerichtet.

In der Region der heissen Quellen sind ostweststreichende, saigere, oft klaffende Klüfte häufig. (Taf. I Fig. 2.)

Gegen ihre südliche Grenze bei 7150 m ab SP. werden die Kalkschiefer marmorartig und es entwickeln sich Marmore, die wir zur Trias rechnen, die südwärts die Grenze der Vegliamulde gegen den „Lebungneiss“ bildet, auf der Strecke von 7155 bis 6902 m ab SP.

10. Lebungneiss. (L)

Km 12,867—14,420 m ab NP. oder km 6,902—5,349 m ab SP. (1553 m).

Unter der Trias bei 6902 m ab SP. erscheinen auf 40 m Länge dünn-schichtige, biotitreiche Gneisse, die bei 6830 m eine 1 m mächtige Marmorbank (Trias?) enthalten; von hier bis 5349 m ab SP. finden sich meist biotit-reiche, dünnbankige Gneisse, die durchweg reich am Quarzlagen und Knollen sind; an einzelnen Stellen werden die Gneisse aplitisch. Charakteristisch für die

Lebungneisse sind Einlagerungen in denselben, die an Konglomerate erinnern. Diese, meist elliptischen Einschlüsse werden oft mehrere Dezimeter lang, sie häufen sich lagenweise. Das Gestein derselben ist als Aplit zu bezeichnen. Manchmal sind diese geröllähnlichen Bildungen von Glimmerfaser umsäumt, manchmal verschmelzen sie mit dem Nebengestein. Diese auf $1\frac{1}{2}$ km Länge herrschenden Gneisse scheinen im Tunnel ein flaches Gewölbe zu bilden. Von ihrer Nordgrenze bei 6900 m bis gegen 5700 m etwa ab SP. zeigen die Lebungneisse noch das normale Einfallen gegen NW. mit $10-20^{\circ}$. Dann stellen sich manigfache Wellungen ein und von 5500 m ab SP. weg fallen die Schichten mit 10° gegen Südosten.

Während wir von zirka km 7 ab NP. fortwährend flaches nordwestliches Einfallen aller Schichten finden, stellt sich somit in den Lebungneissen bei km 14,2 ab NP. zum ersten Male dauernd Einfallen gegen Südosten ein. Die breitgequetschte Gewölbebiegung der Lebungneissantiklinale stellt die Axe des Pseudogewölbes des Simplon dar (vgl. Taf. II, Fig. 4, und Taf. III).

9. Teggiolomulde. (t)

Km 14,420—14,404 m ab NP. oder km 5,349—4,365 m ab SP (984 m).

Die mesozoischen Gesteine dieser im Tunnel zirka 1000 m langen Zone zeigen eine markante Asymmetrie, indem vom Lebungneiss weg südwärts bis auf 4985 m ab SP. Kalkschiefer sich fanden (auf 364 m Länge), während von da bis zum Antigoriogneiss bei 4365 m ab SP. (auf 620 m Länge) ausschliesslich Triasgesteine angetroffen worden sind. Die Grenzen zwischen den von Nord nach Süd aufeinanderfolgenden Zonen: Lebungneiss, Bündnerschiefer der Teggiolomulde, Trias der Teggiolomulde und Antigoriogneiss sind je ganz scharfe.

Die Gesteine zwischen 5349 und 4985 m ab SP. sind die bekannten grauen glimmerigen Kalkschiefer (Bündnerschiefer), die in reichlicher Masse von Calzit- und Quarzschnüren durchzogen sind. Granathornfelse treten auf 5300 und 5320 m, ferner zwischen 5000 und 5100 m ab SP. Im Hangenden des Lebungneisses fallen die Kalkschiefer $10-20^{\circ}$ nach Südosten, bei 5200 m bilden sie eine Mulde und steigen gegen Südosten an bis zirka 5000 m ab SP., wo sie im Liegenden der Trias in scharfem Knick stark gefältelt steil gegen Südosten abbiegen.

Sehr mannigfaltig ist die auf 620 m Länge anhaltende Trias zusammengesetzt. Bei 4985 m liegt dieselbe den Bündnerschiefern auf und bei 4365 m unterteuft sie den Antigoriogneiss. Im ganzen zeigen sich viele Analogien mit der Trias, welche im Liegenden der Valgrandegneisse zwischen 9408 und 9688 m ab NP. durchfahren worden ist. Wir unterscheiden etwa folgende Unterabteilungen der Trias:

1. Den gefältelten steil gegen Südosten abbiegenden Kalkschiefern bei 4985 m ab SP. schmiegt sich eine zirka 5 m mächtige Lage von bankigem kristallinem Kalk an.

2. Zwischen 4980 m und 4840 m ab SP. legen sich in flachen Wellen glimmer und quarzreiche, hellgraue Kalke, die sehr häufig CaSO_4 -haltig sind und Lagen von körnigem Anhydrit und Anhydritglimmerschiefer enthalten.

3. Zwischen 4840 und 4680 m ab SP. herrscht fast ununterbrochen in flach gegen Südosten einfallenden Bänken ein weisser phlogopithaltiger Anhydrit-Dolomitfels, in welchem im Mai 1902 während einer Woche 63 m gebohrt worden sind.

4. Von 4680 m bis 4540 m ab SP. erscheinen wieder dieselben quarzreichen, hochkristallinen Kalke, wie zwischen 4980 und 4840 m (Nr. 2), die in ihrer Ausbildung ausserordentlich mannigfaltig sind. In den Kalken finden sich gneissartige Einlagerungen, ferner Blöcke und Brocken von granitischen Gesteinen. Lagen von Anhydritglimmerschiefer wurden bei 4645 m, 4630 m und bei 4560 m beobachtet. Während diese Kalke bei 4680 m noch mit zirka 30° im Hangenden des Anhydrites normal gegen Südosten einfallen, stellen sie sich allmählich steiler, in intensiven Torsionen fallen sie zum Teil steil gegen Nordwesten ein, erlangen aber bei 4540 m wieder steiles Südostfallen.

5. Auf zirka 40 m Länge von 4540—4500 m ab SP. durchquert der Parallelstollen steil gestellte, gefaltete, anhydritreiche Glimmerschiefer. Diese merkwürdigen Gesteine enthalten einen paragonitischen und einen biotitischen grünen Glimmer, Strahlstein, Calzit, Quarz und mittelkörnigen violetten Anhydrit.

6. Die Gesteine der berüchtigten 42 m langen Druckpartie, von 4458 bis 4500 m im Parallelstollen, sind kaum gipshaltig. Es sind teils glimmer- und kalkreiche Schiefer, die saigere Schichtstellung erkennen liessen zwischen 4500 und 4487 m und zwischen 4480 und 4475 m; teils ein ungeschichtetes, wasserdurchtränktes, plastisches Gemenge von Kalk, Glimmer und Kaolin (Glimmerkalk) zwischen 4485 und 4480 m und zwischen 4475 und 4458 m. Zwischen dem Glimmerkalk und dem Glimmerschiefer stellte sich bei 4486 m eine verdrückte Kalkbank ein.

Eine von Dr. F. Hinden ausgeführte Analyse einer lufttrockenen Durchschnittsprobe des Glimmerkalkes bei 4452 m im Stollen I ergab folgendes Resultat:

Si O ²	15,95 %
Ti O ²	0,37
Al ² O ³	7,90
Fe ² O ³	0,65
Fe O	3,48
Mg O	7,36
Ca O	32,65
Na ² O	0,59
K ² O	0,75
Mn O	—
S O ³	—
P ² O ⁵	0,26
C O ²	24,65
H ² O	5,01
	99,62 %

Hieraus berechnet sich folgende mineralogische Zusammensetzung des Gesteines:

Kalk (Ca C O ³)	56,76 %
Apatit (3 Ca O. P ² O ⁵)	0,54
Biotit (K ² H Al ³ Si ³ O ¹² + 3 Mg ² Si O ⁴)	22,04
Muscovit (H K ² Al ³ Si ³ O ¹²)	6,15
Kaolin (H ⁴ Al ² Si ² O ⁹)	11,39
Hygroskop. Wasser (H ² O)	3,12
	100 %

Der südlichste Teil der Trias der Teggiolomulde besteht auf 93 m Länge im Parallelstollen aus gebanktem, zum Teil phlogopitführenden Marmor. Auf die Länge von zirka 60 m zwischen 4458 und 4395 m ab SP. ist der Marmor, der als Ganzes mit zirka 40° nach Südosten einfällt, in sich gefaltet und stösst an einer Rutschfläche (Verwerfung) an dem plastischen Glimmerkalk bei 4458 m ab. Auf dieser zirka 60 m langen Strecke sind in beiden Stollen zahlreiche kalte Quellen zutage getreten, die den Überlauf von zwei gesonderten Karstbächen darstellen dürften. Der N 60° E streichende Marmor ist auf dieser Strecke von wasserführenden Klüften durchzogen, die N 80° W streichen und mit $60-70^{\circ}$ nach Nordwesten einfallen.

Von zirka 4395 bis 4365 m sind die Marmore trocken und fallen zirka 35° gegen Südosten ein. Bei 4357 m ab SP. des Stollens I, bei 4365 m ab SP. des Stollens II sehen wir den Marmor konkordant überlagert von Gneiss. Beide Gesteine sind fest miteinander verbunden und zwischen beide schiebt sich eine dünne Lage von Quarz ein. Marmor und Gneiss sind überhaupt in der Kontaktregion etwas verquarzt. Da Gneiss und Marmor N 60° E streichen, bildet die Streichrichtung mit der Tunnelaxe einen Winkel von 110° , und dementsprechend wurde der Marmor im Parallelstollen etwa 5 m weiter bergwärts getroffen als im Tunnel I.

Die Zone von Bündnerschiefer und Trias zwischen 4365 und 5350 m ab SP. gehört, wie die geologischen Profile, die seit 1893 entworfen worden sind, es zeigen, zum Mittelschenkel des nordwärts übergelegten Antigoriogneissgewölbes. Die im Tunnel aufgeschlossene Partie des Teggiolomarmors liegt nahe unter der mannigfache Stauungen zeigenden Gewölbebiegung. (Vgl. Taf. III.)

10. Antigoriogneiss. (A)

Km 15,404—19,769 m ab NP. oder km 4,365—0 ab SP. (4365 m).

Der Antigoriogneiss ist ein grobbankiger, zweiglimmeriger Gneiss, der mit dem Tessinergneiss identisch ist. Die Gneissmasse erreicht eine sehr grosse Mächtigkeit und ist ausgezeichnet durch homogene Ausbildung des Gesteines. Gelegentlich entwickeln sich Augengneisse; da und dort wird der Gneiss aplitisch; in Form von Linsen und Lagern stellen sich basische, namentlich biotitreiche Einlagerungen ein.

In der Region von 4365—4100 m ab SP. verläuft der Stollen noch typisch querschlägig, die Gneissbänke fallen mit 50° , 20° , 15° gegen SE; saiger stehende, teils O—W, teils SSO—NNW verlaufende Klüfte durchsetzen dieselben. Auf solchen Klüften treten zwischen 5900 und 4500 m ab SP. im Parallelstollen die Quellen der Gruppe I zutage. Bei der Traverse XIX (3900 m ab SP.) stellt sich eine biotitische Zone auf zirka 20 m Länge ein, die flach gegen Südosten einfällt. Anscheinend dieselbe Einlagerung finden wir wieder bei 3580 m, hier aber mit den Gneissen flach nach Nordwesten einfallend. — Die Beobachtung an der Oberfläche, von Trasquera bis Iselle zeigt deutlich, dass die Masse des Antigoriogneisses flach gegen Südwesten sich senkt. Dementsprechend finden wir denn auch im Tunnel bei km 3,5 eine allmählich sich vollziehende Torsion in der Streichrichtung des Gneisses, das südöstliche Einfallen geht in südwestliches über. Auf der ganzen Strecke bis km 3,5 vom Südportal verläuft der Stollen *söhlig*, d. h. im Streichen der Schichten des Antigoriogneisses und nicht mehr querschlägig, wie im ganzen übrigen Teil des Tunnels. Die Gneissplatten fallen im allgemeinen $8-15^{\circ}$ gegen Südwesten; wellenförmige Biegungen sind naturgemäss. Die Schichten fallen vom rechten (östlichen) Stoss zum linken (westlichen) ab. In der nach Art der Lagerung

und petrographischen Ausbildung höchst einförmigen Gneissmasse ist bemerkenswert das Auftreten von Quetschzonen, verbunden mit Kaolinisierung des Gneisses zwischen 2580—2760 m zirka ab SP., die Quetschklüfte sind mit kaolinigem Besteg besetzt. N 15° W streichende saigere Klüfte trifft man bei km 1,5. Bemerkenswert ist eine O—W streichende saigere Kluft mit gelatinöser Kieselsäure und mikroskopischen Quarzkriställchen bei 315 m ab SP. Die bei 105° während zwei Stunden getrocknete Füllmasse der Kluft besteht nach der Berechnung der chemischen Analyse aus folgenden Bestandteilen:

Quarz	57,5 %
Amorphe Kieselsäure	11
Calciumcarbonate	13
Magnesiumcarbonat	6
Tonerde und Eisenhydroxyde	12,5



IV. Die Standfestigkeit der Gesteine im Simplon-Tunnel.

Die Erfahrungen während und nach dem Bau der beiden Stollen haben gezeigt, dass die verschiedenen Partien des Tunnels hinsichtlich der Standfestigkeit der Gesteine charakteristische Verschiedenheiten zeigen, die in engster Beziehung stehen zur petrographischen Natur und zur Art der Lagerung der durchfahrenen Gesteine. Die gefährlichen Stellen werden ohne weiteres dadurch markiert, dass hier der Parallelstollen ebenfalls gewölbt worden ist. Hinsichtlich der Beurteilung dieser vollständig vermauerten Stellen müssen wir uns auf geologische Beobachtungen berufen, die während des Baues gemacht worden sind.

An der Hand des Detailprofils i. M. 1 : 1000 gebe ich hiermit eine Beschreibung der Gesteinsdeformationen im Parallelstollen. (Vgl. Taf. I. Fig. 2.)

1. Bedrettomulde.

Km 0—4,09 ab NP. (4090 m).

Der Parallelstollen ist auf dieser 4090 m langen Strecke auf 3295 m ohne Gewölbe geblieben, d. h. nur 785 m ca. sind gewölbt, wovon noch ca. 300 m zu Beginn der Gallerie für uns nicht in Betracht kommen, da betriebstechnische Gründe hier den Ausbau erheischen. Es mussten also im ganzen von 4090 m nur ca. 500 m versichert werden.

Die steilstehenden, quer zur Tunnelaxe streichenden Kalkphyllite besitzen, obwohl sie an der Oberfläche, am Berghang, leicht verwittern, tatsächlich im Tunnel eine vorzügliche Standfestigkeit, sodass hier die Belassung des Parallelstollens im Status quo keinerlei Gefahr in sich schliesst, trotz der Gebirgsüberlastung, die bis 1200 m erreicht. Besondere Beachtung erheischen die den Schiefen eingelagerten Zonen von Trias und etwa auch die denselben benachbarten Schiefer.

Die *erste* Zone von Gips und Anhydrit bei 700 m war vollständig trocken und deshalb ist der Anhydrit, in vertikalen Bänken stehend, unverändert geblieben. — Vor der *zweiten* Triaszone (1244—1538 m), die derjenigen von „Lauenen“ entspricht, stellten sich auf ca. 150 m Länge schwarze, quarzfreie, blätterige Tonschiefer ein, die in vielfachen Fältelungen sich flach legen und von einer Unzahl von Gleitflächen mit Rutschharnischen durchzogen sind. Hier war das Gebirge sehr brüchig und erforderte Einbau. Im Gegensatz hiezu erweist sich die ganze Anhydrit- und Marmorzone mit der Synclinalen von Clintonitschiefern vorläufig als standfest. Der Anhydrit selbst ist ganz trocken, schwache Wasserinfiltrationen finden sich nur in den Clintonitschiefern zwischen 1450 und 1510 m. — Nach der Kalkschieferzone bis 3850 m erscheint eine *dritte* 70 m mächtige Triaszone (3850—3920 m), vor deren Eintreffen zwischen 3710 und 3750 m wasserführende, stark zerknitterte Tonschiefer mit Einlagerungen von weichen serizitischen Schiefen kräftigen Einbau erforderten. Innerhalb der Triaszone selbst waren die Marmore zwischen 3900 und 3910 m vollständig in sich zertrümmert, in Haufwerk aufgelöst und von Wasser durchtränkt; die anhydritführenden Partien waren relativ standfest. — Die *vierte* Triaszone (4000—4090 m), von der dritten durch die standfesten „Eistengneisse“ (3920—4000 m) getrennt, entspricht der „Eistenmulde“ und enthält zwischen zwei standfesten Marmorbändern graue, glimmerige Kalkphyllite, die wenig Kohäsion zeigten und grösstenteils Handbohrung sowie Holzeinbau erforderten.

Der Stollen II ist auf dieser Strecke gewölbt worden. Gegenwärtig ist dies Gewölbe in der Firste zerdrückt und ebenso zeigt der Kanal Zerdrückungen.

Da die Anhydrite in der Bedrettomulde bei und unmittelbar nach der Bohrung gute Standfestigkeit zeigten, ist der Parallelstollen in denselben unvermauert geblieben. Es ist jedoch zweifellos, dass unter dem Einfluss der feuchten Tunnelatmosphäre der Anhydrit sich verändern wird und einmal begonnen, wird die Hydratisierung und damit verbundene Blähung des Anhydrites rasch weiter schreiten. Wir müssen es deshalb empfehlen, auf alle Fälle, die Anhydritpartien eventuell da, wo noch gar keine Blähungen bis heute sich zeigen, nur mit einer leichten, aber luftdichtenden Verkleidung zu versehen. Besondere Aufmerksamkeit erfordern die stark drückenden Schiefer der Eistenmulde. Im Tunnel I finden sich auf dieser Strecke Gewölbeschlusssteine zerdrückt, die Widerlager sind bis 22 cm zu eng und das Gewölbe zeigt eine Überhöhung bis zu 35 cm.

2. Gantergneiss.

Km 4,090—4,418 m ab NP. (328 m).

Die steilstehenden Gantergneisse, normal zur Tunnelaxe streichend, zeigten bei 4300 m starke Schieferung, Ruschelung und Wasserinfiltration; im übrigen sind sie durch gute Standfestigkeit ausgezeichnet.

3. Gantermulde I.

Km 4,418—4,435 m ab NP. (17 m).

Die eng zusammengepressten, stark verquarzten Kalkschiefer der Gantermulde, mit der Marmorbank an ihrem Südrande, müssen in ihrer südlichen Hälfte gewölbt werden.

4. Berisalgneisse.

Km 4,435—7,254 m ab NP. (2819 m).

Auf der 1555 m langen Strecke bis ca. km 6 zeigten die mannigfaltigen, meist steil nach NW. einfallenden krystallinen Schiefer keine nennenswerten Ablösungen auf längere Strecken. Die grobbankigen Zweiglimmergneisse von 5990 bis 6090 m sind zwar ohne Gewölbe standfest und intakt in der Firste, an beiden Ulmen jedoch zeigen sich jene schaligen Absprengungen, wie wir dieselben späterhin namentlich im Antigoriogneiss antreffen. — In den gegen Süden zu immer flacher sich legenden Glimmerschiefern, Biotitgneissen und Amphiboliten bis 7,254 ist der meist ungewölbte Parallelstollen im allgemeinen intakt geblieben. Bei 6200 bis 6300 m ist die Firste schlecht und bei 7013/14 m fand sich eine weiche chloritische Zwischenschicht, die eingebaut werden musste, zwischen 7100 und 7250 m zeigen sich in den flachliegenden Gneissen und Glimmerschiefern da und dort Firstablösungen.

5. Gantermulde II.

Km 7,254—7,260 ab NP. (6 m).

Die schmale Einlagerung von anhydrithaltigem Marmor bedingt keinerlei Änderung in der Standfestigkeit des Gebirges.

6. Ganter-Monte-Leonegneiss II.

Km 7,260—8,153 ab NP. (893 m).

Die ganze Strecke dieser Gneisse ist mit Ausnahme von ca. 20 m am Südeude ungewölbt geblieben. Von 7500 m werden ab die Gneisse ausgeprägt grobbankig und legen sich immer flacher. Auf der ganzen Strecke, namentlich zwischen 7650

und 7850 m stellen sich bei vorwiegend intakt gebliebenem Dach an den Ulmen die charakteristischen schaligen Ablösungen ein, die zu spitzwinkligem Ausbrechen der Gesteinsmassen an der Achsel des Gewölbes führen. (Vgl. Fig. 2.) — Im allgemeinen sind die Ablösungen am westlichen Stoss häufiger. Bei 8020 bis 8040 m ist der Leonegneiss brecciös zertrümmert und hier ist Dacheinbruch vorhanden. Auf die ganze Länge im Ganter-Leonegneiss muss der Parallelstollen ganz oder wenigstens an den Widerlagern ausgemauert werden.

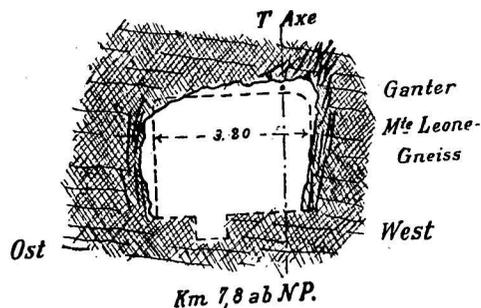


Fig. 2.

7. Monte Carnera-Mulde.

Km 8,153—8,163 ab NP. (10 m).

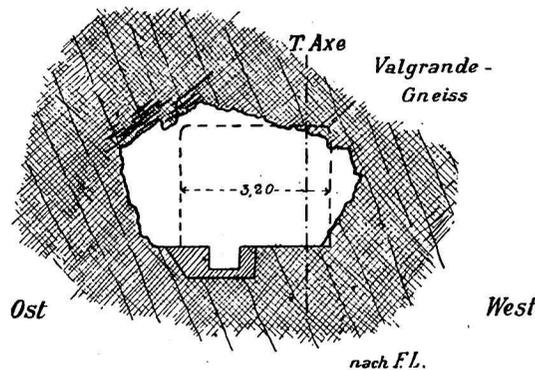
Die nur 10 m lange Strecke, die der Monte Carnera-Mulde zufällt, ist im Parallelstollen gewölbt worden, zugleich mit dem darauffolgenden Gebiet des Valgrandegneisses.

8. Valgrandegneiss.

Km 8,163—9,408 ab NP. (1245 m).

Bezüglich Mangel an Standfestigkeit ist die dem Valgrandegneiss zufallende Strecke die schwierigste des ganzen Nordtunnel, 750 m der 1245 m langen Strecke sind im Parallelstollen gewölbt und 280 m mussten Sohlengewölbe erhalten. — Während die Mittelpartie des Valgrandegneisses zwischen km 8,3 und km 8,8, wo grösstenteils grobbankige Zweiglimmergneisse auftreten, sich als relativ standfest erweist und nur Sprengschalen an den Ulmen und im Dach zeigt, boten die ersten 150 m und die letzten 650 m grössere Schwierigkeiten. Nur an verhältnismässig wenig Stellen war hier zwar das Gestein so weich und kleinbrüchig, dass die mechanische Bohrung suspendiert werden musste, wohl aber stellten sich in dem eröffneten Stollen Deformationen ein, sodass auf längere Strecken starker Holzeinbau nötig war (8189—8199 m und 8934—9000 m). Firste und Ulmen brachen ein, das Gestein ist von mit Rutschharnischen besetzten Rutschelflächen durchzogen und zerteilt sich in einbrechende Blöcke. Das mit Kunststeinen ausgeführte Gewölbe im Parallelstollen musste stellenweise (z. B. 8197—8210 m) mittelst Quadern rekonstruiert werden. Neben einem Zusammengehen der Ulmen machte sich Sohlenaufrieb bemerkbar; der Kanal im Parallelstollen musste auf der ganzen Strecke von 8153—8295 m rekonstruiert werden; im Bereich der mit 2 ‰ gegen Süden ansteigenden Ausweiche wurde die Sohle auf längeren Strecken so stark in die Höhe getrieben, dass das Wasser nicht frei nach Norden abfloss, sondern zu Sümpfen sich ansammelte und herausgepumpt werden musste (Vgl. C. Pressel, Schweiz. Bauzeitung Bd. XLVII, No. 22). — Über die Strecke von 8,183—8,295 zwischen Traverse

42 und 43 schreibt *S. Rothpletz* (Schweiz. Bauzeitung Bd. XLVIII, No 6), dass hier das Gebirge aus scheinbar hartem Gestein bestand, das auch als solches geschossen werden musste. Schon im Sohlenstollen zeigte sich stellenweise starker Druck, sodass auf eine Strecke von 12 m verstärkter Sohleneinbau aus Holz und Eisen eingebracht werden musste. Der Druck zeigte sich als ein allseitiger, namentlich wurde auch starker Auftrieb der Sohle festgestellt. Bei den Ausweiterungsarbeiten nahm dieser Druck noch zu, was an den vielen zerdrückten Kappen, Ständern, Längshölzern und Brustschwellen zutage trat. Die ersten angegriffenen Ringe brachen sämtlich im Gewölbe, das aus vollkantigen Moellons von 60–70 cm Stärke erstellt war und mussten teilweise erneuert werden. Dieser Bruch des Gewölbes ist wohl dem nachträglichen Einbau des Sohlengewölbes zuzuschreiben gewesen. Ebenfalls nach *S. Rothpletz* zeigten sich ähnliche Verhältnisse in einem Teil der zentralen Ausweiche, nur in noch weit erhöhterem Masse, namentlich war dort der Sohlenauftrieb ein weit stärkerer. Diese Druckerscheinungen traten entweder



Km 2,6 ab NP.

Fig. 3.

unmittelbar nach dem Durchfahren des Sohlenstollens auf oder aber wenige Zeit später.

Gegenwärtig ist das gemauerte Gewölbe im Parallelstollen bei 8200 m wieder beschädigt. Die nicht vermaurerten Partien innerhalb des Valgrandegneisses zeigen folgende Deformationen des Gesteines:

Dacheinbrüche bei 8430 bis 8345 m, unregelmässige Ausbrüche von Blöcken, namentlich in der Achsel des Stollens bei 8580–8650 m (vgl. Fig. 3). Zerfallen in Blöcke an den Ulmen bei 8800 m, Dacheinbrüche bei 9395 m.

Unzweifelhaft ist der Valgrandegneiss auch in Zukunft für den Tunnel eine gefährliche Partie. Die vermauerte Strecke im Parallelstollen ist genau zu überwachen, und die Ausmauerung der noch freien Strecken auf die ganze Länge ist dringend notwendig. In dem fertig ausgebauten Tunnel beider Stollen finden sich Risse in den Widerlagern und Gewölbsteine sind gebrochen bei 8900 und bei 9200–9300 m.

9. Vegliamulde.

Km 9,408–12,867 m ab NP. oder km 10,361–6,902 m ab SP. (3459 m).

Hinsichtlich der Standfestigkeit haben wir auch auf dieser langen Strecke zu unterscheiden von Norden nach Süden.

1. Anhydritführende Trias (9408—9688 m ab NP.).
2. Kalkphyllite (9688 m ab NP. bis 7155 m ab SP.).
3. Anhydritfreie Trias (7155 bis 6902 m ab SP.).

1. Die ganze anhydritführende Trias (9408—9688 m ab NP.) ist im Parallelstollen unvermauert geblieben. Während in den Marmoren Stösse und Dach des Stollens meist unversehrt sind, erscheinen die anhydritführenden Partien auf die Dauer gefährdet. Der massige Anhydrit zeigt an den Stössen Blähungserscheinungen, Ablösungen 2—3 dm dicker Platten parallel der Stollenwand, Absprengen dünner Platten, seltener Zerklüftung und Ablösung von Blöcken im Dach. Die plattigen Anhydritglimmerschiefer sind namentlich im Dach gefährlich, grosse Platten und Blöcke lösen sich los.

Unbedingt darf die ganze Triaspartie nicht länger der feuchten Tunnelatmosphäre ausgesetzt bleiben, die Verkleidung ist dringend nötig, wobei die bereits gelockerte Oberfläche abgetrieben werden muss, sodass die Mauerung satt an den gesunden Fels angelegt werden kann.

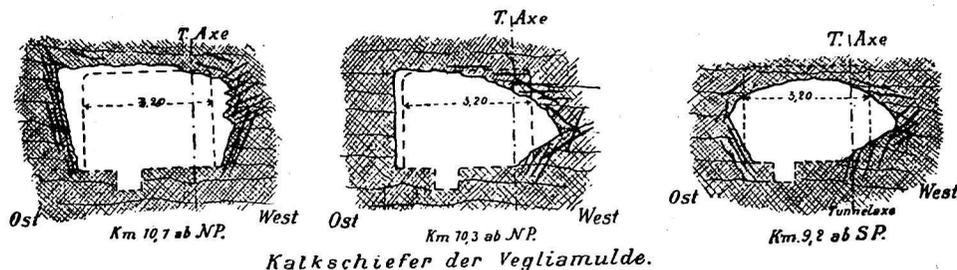


Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

2. a) Bis zur Traverse 45 der Südseite, d. h. von 9680 bis 10630 m ab NP. ist der Parallelstollen in den marmorigen Kalkschiefern nur auf kurze Strecken gewölbt. Auf dieser, ca. 1 km langen Strecke beobachten wir jene Art der Gesteinsdeformation, die in schaligen Absprengungen an den Ulmen besteht. Die Figuren 4, 5 und 6 veranschaulichen diese Art der Gesteinsbrüche, die wir in ähnlicher Weise schon bei den Zweiglimmergneissen der „Berisalgneisse“ und bei den „Monte Leonegneissen“ fanden. Dacheinbrüche wurden in untergeordnetem Masse beobachtet, jedoch treten fast durchweg plattenförmige Ablösungen an den Stössen auf, vielleicht etwas intensiver am westlichen Stoss. Diese an den Rändern oft papierdünnen, in der Mitte bis 15 cm dicken Sprengschalen werden bis 4 m² gross; sie verlaufen immer senkrecht zur Schichtung und durchschneiden ganz glatt den dichten glimmerigen Kalk, die Calcit- und die Quarzsekretionen. Die Ablösung bleibt in den tiefern Teilen des Stosses etwas zurück, schreitet gegen die Achsel bergwärts vor und indem hier durch Kreuzung verschiedener Sprungsysteme eine Art Druckschieferung entsteht, bilden sich spitzwinklige Ausbrüche.

Diese Ablösungen werden mit der Zeit an Intensität verlieren, aber wohl im ungemauerten Stollen nie ganz aufhören, nur durch Ausmauern des Stollens können sie zum Stillstand gebracht werden. Dass das Gestein in dieser zentralen Region des Gebirges, 2000 m unter der Oberfläche, nicht einem Druck ausgesetzt ist, der mit einem „hydrostatischen“ direkt verglichen werden kann, beweist un-

widerleglich die Tatsache, dass hier saiger stehende, offene bis 50 cm breite, persistente Klüfte sich finden, deren Wandungen im Laufe der Jahrhunderte mit Calcitkrusten ausgekleidet worden sind. — Zerdrückte Gewölbesteine, Zusammengehen der Widerlager im Tunnel I sind auf dieser Strecke nicht beobachtet worden.

b) Die in flachliegenden Kalkphylliten und Hornfelsen getriebene Strecke von 9,140—7,150 m ab SP. (ca. 2 km) ist nur auf ca. 300 m nicht gewölbt und zwar musste durchweg Sohlengewölbe eingebaut werden. Nur bei km 8,35 ab SP. war das Gestein standfest und hier stellen sich Bergschläge ein. (Vgl. Fig. 7.) An die schiefrige Natur der oft glimmerreichen Kalke, vor allem aber an die flache Lagerung derselben sind wohl die hier sich zeigenden Felsdeformationen in den beiden Tunnels gebunden. Beim Vortrieb war überall das Dach sehr brüchig, bis vor Ort führender Einbau war notwendig. Daneben aber zeigte das frisch angefahrne Gestein mancherorts namentlich auf der Strecke vor Einbruch der heissen Quellen bei 9140 m ab SP. starke Zerklüftung vorzugsweise in horizontaler Richtung. Die Schichten waren in ellipsoidische, mit Rutschharnischen bekleidete Brocken zerlegt, die aus den Stößen herausgepresst wurden. Ein Zusammengehen der Stöße und Hebungen

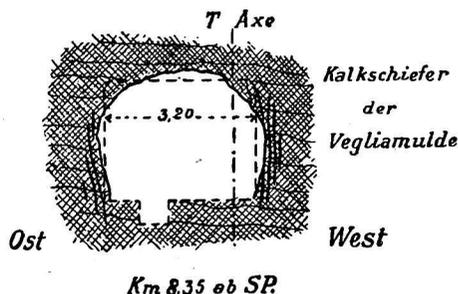


Fig. 7.

in der Sohle machten sich nach kürzerer oder längerer Zeit bemerkbar. Im Tunnel I hat die ganze Strecke Sohlengewölbe in Zementbeton erhalten, im Parallelstollen wurde der Kanal deformiert infolge von Soblenauftrieb. Einige Monate nach Durchfahren der Strecke wurden immer stärkere Bewegungen in der Sohle beobachtet, die Schichten waren in der Sohle gebrochen und an der Bruchstelle aufgepresst worden. Wo man zur Sicherung der Sohle eine Sohlenverkleidung ausgeführt hatte, wurde dieselbe ebenfalls gehoben, das ganze Profil musste ausgemauert werden. Bedeutungsvoll ist die Angabe von Herrn Chefingenieur A. Zoltinger, dass bei jeder Zustandänderung in einem der Tunnel sich die Einflüsse im nebenanliegenden Tunnel geltend machten, wobei namentlich die Ausbruchsarbeiten Bewegungen hervorbrachten. Der Umstand, dass im Parallelstollen im allgemeinen beim Vortrieb stärkere Deformationen beobachtet worden sind, als im Tunnel I ist wohl auf eine Schwächung des Gebirges infolge des vorangehenden Ausbruches im Tunnel I zurückzuführen. Es ist ersichtlich, dass bei der vorhandenen vollständigen Ausmauerung beider Stollen, Deformationen in den Mauerungen vorhanden sind. Die Stellen, wo seit Vollendung des Tunnels der Kanal im Parallelstollen Veränderungen erlitten hat, erstrecken sich auf ca. 800 m Länge. Wir konstatieren Zusammenpressung des Kanales von 0,60 auf 0,48 m lichte Weite und Hebung desselben bis zu 0,1 m. Häufig wird das östliche Widerlagerfundament des Kanales, das nicht durch Widerlagerverkleidung gehalten wird, in die Höhe gedrückt. Die

Stellen, wo im fertigen Tunnelgewölbe Moellons gespalten worden sind und wo die Widerlager bis 16 cm zu eng sind, gehören ebenfalls dem in Rede stehenden Teile der Vegliamulde an.

Es ist wohl zweifellos, dass für die weitere Zukunft des Tunnels die besprochenen Deformationen innerhalb der Kalkschiefer von grösster Bedeutung sind. Die 700 m lange Strecke des Parallelstollens, die in dem 2 km langen südlichen Teile der Vegliamulde noch unverkleidet geblieben ist, muss selbstverständlich ausgemauert werden. Es empfiehlt sich stetige Registrierung der eintretenden Veränderungen in beiden Tunnels. Bei Inangriffnahme des Vollaussbruches im Tunnel II wird die allergrösste Vorsicht geboten sein.

3. Die südliche, anhydritfreie Trias der Vegliamulde (6902—7155 m ab SP.) erwies sich recht günstig. In den marmorigen Kalken stellen sich bei intakt gebliebenem Dache wiederum Schalenablösungen an den Stössen ein (vgl. Fig. 8).

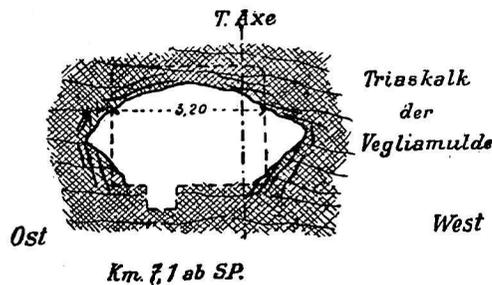


Fig. 8.

10. Lebendungneiss.

Km 12,867—14,420 m ab NP. oder km 6,902—5,349 ab SP.(1553 m).

Von den 1553 auf den Lebendungneiss entfallenden Metern des Parallelstollens mussten ca. 570 m mit Sohlgewölbe versehen werden, ca. 630 m sind gänzlich unverkleidet geblieben. Der Kanal ist stellenweise infolge von Zerdrückungen neu hergestellt worden. Zusammengehen der Stösse und Sohlensauftrieb tritt fast auf die ganze Länge in den flachliegenden, glimmerreichen, dünnschichtigen Lebendungneissen in ähnlicher Weise zutage wie in den Kalkschiefern zwischen 7150 und 9140 m ab SP. Wir finden auch hier Deformation des Kanales (Verengung bis zu 9 cm) im Parallelstollen, ferner im Tunnel I gebrochene Moellons, sowie um bis 15 cm zu enge Widerlager. — Die nicht gewölbte, im ganzen ca. 720 m lange Strecke des im Lebendungneiss liegenden Stollens ist in sehr bedenklichem Zustande; der Parallelstollen muss auf die ganze Länge ausgemauert und mit Sohlengewölbe versehen werden. Im ganzen unvermauerten Teil des Stollens bricht in gewaltigen Platten das Dach ein, sodass schon jetzt Holzeinbau nötig geworden ist. Ausbrechen der Gneisse an den Stössen ist ebenfalls oft zu beobachten.

Die gewölbten Strecken im Lebendungneiss bieten, ebenso wie die entsprechenden Teile in den Kalkschiefern der Vegliamulde keine unmittelbare Gefahr, bedürfen aber ebenfalls stetiger Kontrolle und erheischen ganz besondere Vorsicht beim Ausbau des Paralleltunnels. Die unverkleideten Teile des Lebendungneisses dürfen nicht länger sich selbst überlassen bleiben.

11. Teggiolomulde.

Km 14,420—15,404 m ab NP. oder km 5,349—4,365 ab SP. (984 m).

Die *nördliche* 364 m lange in Kalkschiefern und Hornfelsen verlaufende Strecke des in der Teggiolomulde liegenden Stollens zeigt hinsichtlich Standfestigkeit des Gesteins recht gute Verhältnisse. Ebenso wie in den marmorigen Kalkschiefern bei km 10,3 bis 10,6 ab NP. finden sich saigere, klaffende Klüfte. Die ganze Strecke ist unverkleidet geblieben. Wie überall in grobbankigem harten Gestein, vorzugsweise bei flacher Lagerung, stellen sich auch hier an den Stößen Absprengungen von senkrecht zur Schichtung verlaufenden Schalen ein, bei unversehrt bleibendem Dach (vgl. Fig. 9). Für Sicherung des Parallelstollens dürfte eine Verkleidung der Ulmen an den betreffenden Stellen genügen.

Die *südliche* 620 m in anhydritführender Trias verlaufende Strecke des in der Teggiolomulde liegenden Stollens durchfährt einerseits die berüchtigte 42 m lange Druckpartie, andererseits auf ca. 60 m Länge die Region der kalten Quellen.

Die Marmore in der Quellregion sind ausgezeichnet standfest. In der mit ganz besonderer Sorgfalt in beiden Stollen ausgebauten Druckpartie hat das Mauer-

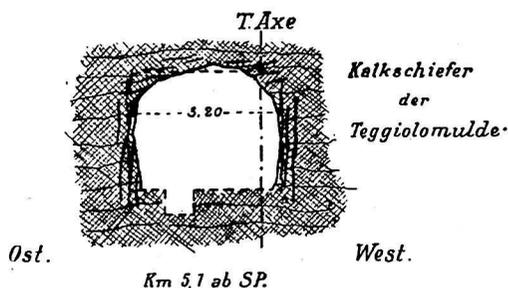


Fig. 9.

werk des Tunnels I zu keinerlei Rekonstruktion Anlass gegeben. Weder hier noch bei dem eisernen Einbau mit Betonfüllung im Parallelstollen liessen die bis jetzt vorgenommenen Messungen die geringsten Formveränderungen nachweisen. — Unmittelbar nördlich der Druckpartie sind jedoch im Gewölbe des Tunnels I 54 Moëllons des Ringes 4500—4510*) gebrochen und mehrfach sind innerhalb der Triaspartie in Tunnel I die Widerlager um einige cm zu enge. Der übrige Teil des Parallelstollens ist nördlich der Druckpartie auf 70 m Länge gewölbt, dann auf 220 m Länge ohne Gewölbe geblieben, dann haben 180 m Sohlgewölbe erhalten und das letzte 18 m lange Teilstück wurde nicht verkleidet. Der heutige Zustand des Stollens zeigt, dass die anhydritreichen Teile nicht länger ohne Verkleidung bleiben können und zwar ist die ganze Strecke mit Sohlgewölbe zu versehen. Der Anhydrit zeigt durchweg Schwellerscheinungen, zwischen ausgemauerten Ulmen bricht das Dach ein, wo die Stösse freiliegen, brechen auch dicke Platten aus und zugleich fällt die Firste ein. Im massigen, trocknen Anhydrit wurde auch die Erscheinung der Bergschläge beobachtet. An den Stößen bildeten sich unter heftigem Knall Abspaltungen. Ein Wegspringen der Sprengschalen trat nicht ein. Niemals ist im Zusammenhang mit den seitlichen Abspaltungen ein Bruch der Decke

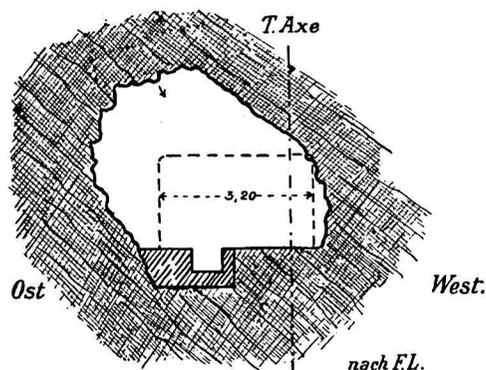
*) Diese 54 Moëllons sind im September 1902 nach Schluss des Gewölbes und bevor das Sohlgewölbe eingezogen war, geborsten. Nach Einziehen des Sohlgewölbes hat sich nichts mehr gerührt d. h. bei der Übergabe des Tunnels (Februar 1906) war diese oberflächliche Beschädigung des Ringes Nr. 451 noch im gleichen Zustande wie 1902.

vorgekommen. Auf der in den quarzigen Kalken gelegenen Strecke (No. 4: 4550 bis 4680 m ab SP.) springen 2—3 dm dicke Schalen an den Stössen ab, während das Dach relativ noch gut hält.

12. Antigoriogneiss.

Km 15,404—19,769 ab NP. oder km 4,365—0 ab SP. (4365 m).

Das Gestein auf der 4365 m langen, im Antigoriogneiss liegenden Strecke kann nach seinem Verhalten in der ganzen Masse, im Gegensatz zu Valgrandegneiss, Lebendogneiss und Kalkschiefer zwischen km 7,15 und 9,14 ab SP. als standfest bezeichnet werden. Zerdrückte Moellons im Gewölbe oder zu enge Widerlager in Tunnel I Verdrückung des Kanales in Parallelstollen, wurden hier nirgends konstatiert. Sohlengewölbe sind weder in Tunnel I noch in Tunnel II irgendwo notwendig geworden. *Intensiver Deformation hingegen sind fast durchweg die Stollenwandungen unterworfen.* Bemerkenswert ist es, dass in dem recht einförmig ausgebildeten Gneiss schiefrige,



Ausbruchnische in biotitreichem Gneiss.

Km 2,6 ab SP.

3 Fig. 10.

basische, zu bemerkenswerter Mächtigkeit entwickelte Einlagerungen sich einstellen. Bei km 4,1 ab SP. hat eine solche diskordant die Gneisslagen durchsetzende Zone Dach-einbrüche und somit Auswölbung des Parallelstollens veranlasst. Bei der Traverse 19 ist eine zweite Zone einer basischen schiefrigen Einlagerung aufgeschlossen, die gegen Südosten einfällt und grösstenteils durch Einwölbung des Stollens versichert worden ist. Wahrscheinlich dieselbe Zone erscheint südwärts wieder auftauchend gegen Nordwesten einfallend, bei 3580 m ab SP.; hier haben im Dach auf 10 m Länge bemerkenswerte Einbrüche stattgefunden (vgl. Fig. 10); die Stelle muss durch Einziehen eines Gewölbes versichert werden. Auf der Strecke km 2,6—2,78 ab SP. musste der Parallelstollen auf im ganzen 100 m Länge gewölbt und der Kanal auf 80 m Länge rekonstruiert werden, da der Gneiss von kaolinisierten Quetschzonen durchsetzt ist.

Auf der Strecke 2350—4200 m ab SP. finden sich fast ohne Unterbruch durch den ganzen Parallelstollen jene schaligen Ablösungen an den Stössen, die den Bestand desselben stellenweise zu bedrohen scheinen. Im Prinzip haben wir dieselbe Erscheinung vor uns, die wir in den grobbankigen Zweiglimmergneissen

der „Berisalgneisse“, in den „Monte Leone-Gneissen“ und in den grobbankigen marmorartigen Bündnerschiefern der „Vegliamulde“ beobachtet haben.

Die durch den Vortrieb oder Ausbruch freigelegte Gesteinsfläche zeigt nach einigen Tagen eine oberflächliche Lockerung, die zum Abspringen von Platten führt. Nur in massigen Bänken auftretende, harte, in gewissem Grade spröde Gesteine zeigen die Erscheinung, vorzugsweise bei flacher Lagerung, wo also ein und dieselbe Gesteinsbank möglichst lange am Stollenstoss aufgeschlossen bleibt. Man beobachtet, wie an den Stössen des Stollens in den Antigoriogneissbänken Sprünge ungefähr parallel der Stollenwand, senkrecht zur Bankung des Gneisses sich herausbilden, längs welchen Gesteinsplatten sich ablösen. Ein leises Knistern zeigt den Beginn der Ablösung an und unter starkem Knall springt explosionsartig eine oft einige quadratmetergrosse und 10–20 cm dicke Platte ab. An den Rändern ist die Platte papierdünn; die Fläche derselben durchschneidet ganz glatt die Gemengteile des Gneisses und durchsetzt ohne Unterbruch aplitische oder basische Ausscheidungen. Das Gestein selbst zeigt nicht die geringsten abnormen Druckerscheinungen, es ist absolut frischer Antigoriogneiss; Quetschzonen und Schalenablösungen schliessen einander direkt aus. Die Stösse, an denen die Ablösungen vor sich gehen, klingen beim Anklopfen stellenweise hohl, die sich lösenden Gesteinsplatten blähen sich bauchig auf (vgl. Fig. 11 u. 12). In der Achsel-

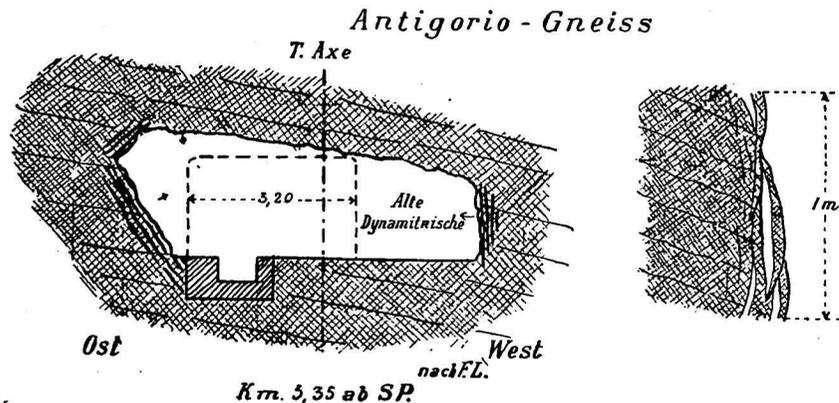


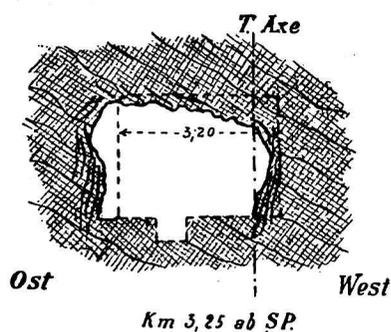
Fig. 12.

Fig. 11.

region, da wo Firste und Stoss zusammengehen, zertrümmern sich die Spalten im Gestein. Es stellen sich hier auch vom Dach her Ablösungen ein und wir erhalten nach oben zu vom Stollenstoss keilförmige Ausbruchsnischen (vgl. Fig. 13 und 14). Im Stollen I beim Vortrieb und ebenso beim Vollaussbruch ist die Erscheinung ebenfalls beobachtet worden, in maximalster Intensität 14 Tage bis 3 Wochen nach dem Anhauen des Felsens, nach 2 Monaten beruhigte sich der Fels etwas; wo aber nicht eingebaut worden war, dauerten die Ablösungen fort. In grösserem Massstabe soll die Erscheinung im Stollen I am östlichen Stoss eingetreten sein, als am westlichen. Im Parallelstollen konstatiert man zurzeit, dass die Ablösungen wohl an beiden Stössen stattfinden, aber auch hier im ganzen intensiver am östlichen Stoss auftreten. Diese in beiden Stollen einseitig stärker sich zeigende Ablösung möchte ich aus dem Einfallen der Gneisse gegen Südwesten erklären; aus den vom Oststoss gegen den Weststoss sich senkenden Schichten wird durch die senkrecht zur Schichtung verlaufenden Klüfte das Gestein am Oststoss leichter ausgebrochen als am Weststoss.

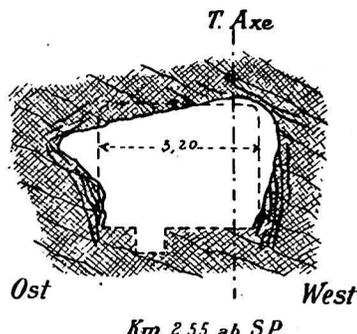
Der heftigste Knall im Antigoriogneiss fand, nach Mitteilung von Prof. C. Pressel in München, statt bei der Traverse 13 (2,8 km ab SP.). Das westliche in Maurung begriffene Widerlager in Tunnel I wurde auf 40 m Länge, teilweise bis zu 25 cm nach der Achse verschoben. In Stollen II entstand eine Kluft, in welcher längere Zeit das ganze Kanalwasser verschwand. Gleichzeitig, ca. 6 Uhr abends, wurde ein Erdbebenstoss über Tage in Nante und Iselle verspürt. Der ausgedehnte Bergschlag war hier hervorgerufen durch das Erdbeben.

Eine ganz zutreffende Erklärung für die Ursache der Erscheinung, die anderwärts als „Bergschlag, Gebirgsstoss etc.“ bezeichnet wird, vermag ich nicht zu geben. Jedenfalls aber ist dieselbe eine Erscheinung, die nur auf die äusserste Zone des frisch angehauenen Felsens beschränkt ist, und in einer stärkeren Ausdehnung der Oberfläche gegenüber dem Kern des Gesteins beruht. Weitere Darlegungen über diese Frage enthält Teil II.



Km 3,25 ab SP.

Fig. 13.



Km 2,55 ab SP.

Fig. 14.

Wie die Erfahrung im Tunnel I und beim Kanal im Parallelstollen gezeigt hat, kann durch satt an den gesunden Fels angelegte Vermauerung diese Oberflächenablösung völlig zum Stillstand gebracht werden. An den Stellen intensiver Loslösungen ist das gelockerte Gestein bis auf den gesunden Fels abzulösen und die Mauerung satt an letztern anzulegen.*)

Die Sprengschalen erscheinen im Parallelstollen kaum mehr oder nur in geringem Masse südwärts von km 2, jedoch wird an einigen Stellen der Antigoriogneiss dünn-schichtig bis schiefrig und hier zeigen sich Dacheinbrüche in den flach liegenden dünnen Platten. Solche Stellen, z. B. bei km 1,6 und 1,8 bis 1,85, müssten, wo das nicht schon in ausreichendem Masse geschehen ist, ausgewölbt werden.

Die ersten 600 m etwa des Südstollens zeigten vorzüglich standfestes Gestein, so dass der Vollausbau hier ohne Zimmerung möglich war. Bei km 0,5 fand sich auf ca. 40 m Länge eine kaolinisierte Zone, die verbaut werden muss.

*) In einem tiefen Gneisssteinbruche in Nordamerika (vgl. Teil II) wurden analoge Sprengschalen beobachtet. Es zeigte sich hier, dass nach Einhauen von senkrecht zur Ablösungsfläche verlaufenden Schlitzen keine Sprengschalen mehr sich bildeten.



V. Zusammenfassung.

Im vorhergehenden sind diejenigen Stellen genau bezeichnet worden, wo der Parallelstollen sich nicht selbst überlassen werden darf, ohne wesentlichen Nachteil für denselben. Die weitere, ebenfalls gelegentlich berührte Frage ist nun die, ob und in welchem Masse und an welchen Stellen die im Parallelstollen beobachteten Störungen auf den von Widerlager zu Widerlager nur 13,8 m entfernten Tunnel I nachteilig sein müssen.

Wir können in dieser Hinsicht hauptsächlich zwei Kategorien von mangelnder Standfestigkeit des Gesteines unterscheiden, wovon die eine peripherischer Natur ist, während die andere tief ins Gebirge hineinsetzt und somit vom Parallelstollen zum Tunnel I sich fortpflanzen muss. Wir betonen besonders, dass nach unserer Untersuchung die Strecken relativ befriedigender Standfestigkeit, ferner diejenigen mangelnder Standfestigkeit in den Stössen und im Dach und endlich diejenigen innerer Gesteins-Bewegung mit Sohlenauftrieb je genau entsprechen bestimmten Gesteinstypen und Lagerungsformen. Es ist unstatthaft von dem Verhalten des Gesteins im Simplontunnel im allgemeinen zu sprechen, total verschiedene Erscheinungen lösen sich ab und vor allem ist eben *infolge dieser Differenzierungen eine durchgehende Relation zwischen mechanischer Gesteinsdeformation und Grösse der Überlagerung (Tiefe des Tunnels unter der Oberfläche) nicht zu erkennen*. Wo das Gestein persistente, offene Klüfte ausweist, wie das gerade an den tiefstliegenden Teilen des Tunnels der Fall ist, ist die Möglichkeit des Vorhandenseins gegendruckloser Punkte erwiesen, von hydrostatischem Druck irgendwelcher Art in der Gesteinsmasse ist hier nichts zu spüren.

Wir klassifizieren die Art der Standfestigkeit der Gesteine im Simplontunnel wie folgt:

I. Relativ befriedigende Standfestigkeit.

Der Parallelstollen kann im ganzen, abgesehen von Stellen lokaler Zerdrückungen, Ruschelungen usw. unverkleidet bleiben.

Nordseite.

1. Kalkschiefer der Bedrettomulde.

Km	0—0,68	
"	0,72—1,25	
"	1,54—3,85 3,52 Km

2. Eistengneiss und Gantergneiss.

Km	3,92—4	
"	4,1—4,42 0,4 Km

3. Gantermulde und Berisalgneisse.

Km	4,42—7,25 2,83 Km
----	-----------	-------------------

Südseite.

4. Südlicher Marmor der Teggiolomulde.

Km 4,36—4,45 0,09 Km

5. Antigoriogneiss.

Km 4—4,35 und Km 0—1,5 1,85 Km

Summe der Nordseite ca. Km 6,75
 „ „ Südseite „ „ 1,94
Km 8,69

II. Brüche an Stössen und im Dach.

Der Parallelstollen muss, soweit das nicht schon geschehen ist, durchweg gemauerte Widerlager, meist auch Einwölbung erhalten. Im Anhydrit ist Sohlenverkleidung ratsam, Sohlengewölbe nur ausnahmsweise notwendig. Die Art der Einbrüche ist dreierlei Natur:

a) Starke Schieferung flach liegender Gesteine bedingt naturgemäss lokal ein Einbrechen der nicht gestützten Firste derart, dass durch Auswölben die Strecke leicht versichert werden kann. Im wesentlichen sind einige kürzere Strecken in den Berisalgneissen und im Antigoriogneiss hier in Betracht zu ziehen, die ich nicht besonders aufführe.

b) In den *Anhydrit-führenden* Partien der Trias hat das Gestein beim Ausbruch infolge seiner Trockenheit sich günstig verhalten. Auch jetzt noch sind an vielen Stellen im Anhydrit Dach und Stösse unversehrt, andererseits aber zeigt doch mancherorts der Anhydrit und die mit ihm verbundenen Gesteine Losschälungen an den Stössen und Abbrechen von Blöcken im Dach. Die Trias der Südseite (km 4,5—5) war zum Teil sehr druckhaft und treibend, so dass auf 230 m Länge Sohlengewölbe eingelegt werden musste.

Nordseite.

		Gewölbt
Km 0,68—0,725 = Erste Trias in Bedrettomulde	Km 0,045	5 m
„ 1,25—1,54 = Zweite „ „ „	„ 0,29	—
„ 3,85—3,92 = Südl. Trias der „	„ 0,07	20 m
„ 4,0 —4,1 = Eistenmulde	„ 0,1	65 m
„ 9,4 —9,7 = Nördl. Trias der Vegliamulde	„ 0,3	—
	Km 0,8	90 m

Südseite.

Km 4,45—5,00: Trias der Teggiolomulde . .	Km 0,55	280 m
Summe der Nordseite	Km 0,8	90 m
Summe der Südseite	„ 0,55	280 m (230 m mit Sohle)
	Km 1,35	370 m

c) Lossprengen von Platten (Bergschläge) an den Stössen in grobbankigem hartem Gestein :

Nordseite.

		Gewölbt
Berisalgneiss.		
Km 5,99—6,09	Km 0,1	—
Ganter Leone-Gneiss II.		
Km 7,25—8,15	Km 0,9	25 m
Valgrandegneiss z. T.		
Km 8,5—8,8	Km 0,3	60 m
Kalke der Vegliamulde.		
Km 9,7—10,382	Km 0,582	30 m
	Km 1,882	115 m

Südseite.

Kalke der Vegliamulde.		
Km 9,15—9,387	Km 0,237	50 m
Südliche Trias der Vegliamulde.		
Km 6,9—7,15	Km 0,25	—
Kalkschiefer und Hornfelse der Teggiolomulde.		
Km 5—5,35	Km 0,35	—
Antigoriogneiss.		
Km 1,5—4	Km 2,5	300 m
	Km 3,337	350 m

Summe der Nordseite	Km 1,88	115 m
Summe der Südseite	„ 3,34	350 „
	Km 5,22	465 m

III. Zusammengehen der Stösse, Dacheinbrüche, Sohlenauftrieb.

Der Parallelstollen muss, soweit das nicht schon geschehen ist, vollständig ausgemauert werden mit kräftigem Sohlgewölbe. Die Bewegung des Gebirges pflanzt sich von einem Stollen zum andern fort.

Nordseite.

		Gewölbt
Eistenmulde.		
Km 4,01—4,08	Km 0,07	70 m
Valgrandegneiss.		
Km 8,15—8,5 und 8,8—9,4	Km 0,95	700 m (290 m mit Sohle)
	Km 1,02	770 m

Südseite.

Kalkschiefer der Vegliamulde.

Km 9,15—7,15 Km 2,00 1730 m (1730 m mit Sohle)

Lebendungsneiss.

Km 6,9—5,35 Km 1,55 820 m (560 m mit Sohle)
Km 3,55 2550 m

Summe der Nordseite Km 1,02 770 m
 Summe der Südseite „ 3,55 2550 „
Km 4,57 3320 m

* * *

In runden Zahlen erhalten wir folgende Uebersichtstabelle:

	I. Standfest	II. Gestein brechend	III. Treibend	Zusammen
Nordseite . .	6,7 Km	2,7 Km	1,0 Km	10,4 Km
Südseite . .	1,9 „	3,9 „	3,5 „	9,3 „
Summa	8,6 Km	6,6 Km	4,5 Km	19,7 Km
	43,65 %	33,5 %	22,8 %	100 %

Im Vergleich mit den bereits ausgeführten Sicherungsarbeiten im Parallelstollen finden wir:

II. Gestein brechend.

A. Nordseite: Km 2,7 gewölbt: Km 0,205
 B. Südseite: „ 3,9 „ „ 0,630
Km 6,6 gewölbt: Km 0,835

Für Auswölbung, teilweise nur für Versicherung der Stösse, kämen somit in brechendem Gestein noch in Betracht:

A. Nordseite: Km 2,5
 B. Südseite: „ 3,27
 In Summa Km 5,77

III. Gestein treibend.

A. Nordseite: Km 1,0 gewölbt: Km 0,770 (290 m mit Sohle).
 B. Südseite: „ 3,5 „ „ 2,550 (2290 m mit Sohle).
 In Summa Km 4,5 gewölbt: Km 3,320

Für noch auszuführende Auswölbung, teilweise mit Sohlstollen, kämen somit in treibendem Gestein in Betracht:

A. Nordseite: Km 0,23
 B. Südseite: „ 1,00
 In Summa Km 1,23

Es wären also von dem ganzen 19,769 km langen *Parallelstollen* noch weiter auszubauen:

Ca. 2,73 km auf der Nordseite (ca. 25 % der Nordseite = 13,8 %)	} der ganzen Tunnellänge
„ 4,27 „ „ „ Südseite (ca. 46 % der Südseite = 21,7 %)	
Ca. 7,00 km im ganzen = 35,5 % der ganzen Tunnellänge.	

Bei Veranschlagung dieser Arbeiten habe ich in erster Linie die Sicherung des Parallelstollens als solchen im Auge für einen längeren Zeitraum und bin der Ansicht, dass durch Ausführung derselben auch jede vom Parallelstollen ausgehende Gefahr für Tunnel I beseitigt wäre. Da wo es sich bei den Sicherungsarbeiten im Parallelstollen nicht nur um geringfügige, lokale Verkleidungen an den Ulmen oder um Stützung der Firse handelt, ist die Verbauung am östlichen Stöss (Kanalseite) wo möglich so auszuführen, dass dieselbe als definitives Widerlager beim Ausbau des Stollens zum Tunnel belassen werden kann.

Da rund ein Viertel des nördlichen, annähernd die Hälfte des südlichen Tunnels, **im Ganzen 7000 m**, neue Sicherungsarbeiten erheischen, könnte von bautechnischem Gesichtspunkte aus die Frage in Betracht gezogen werden, ob nicht an Stelle der ausgedehnten Sicherungsarbeiten für die Erhaltung des Parallelstollens auf der Südseite der sofortige Ausbau des Tunnels II hier an die Hand zu nehmen sei.

Hiermit glaube ich die erste der drei uns vorgelegten Fragen beantwortet zu haben, soweit es in der Kompetenz des Geologen liegt.

Zur Beantwortung von Frage 2 und 3, die rein technischer Natur sind, enthalten obige Darlegungen für den Techniker wohl einiges Material. Ich möchte nur darauf hinweisen, dass bei km 9,00 ab NP. auf zirka 200 m Länge in sehr druckhaftem und zum Teil treibendem Gestein (Valgrandgneiss) beide Tunnel, fertig ausgebaut, nebeneinander herlaufen, so dass bezüglich gegenseitiger Beeinflussung der beiden Tunnels in ungünstigem Gestein hier schon praktische Erfahrungen gemacht werden können. Das Verhalten der Gewölbe bei km 9,00 ab NP. ist durch Präzisionsmessungen zu prüfen.

Basel, den 24. August und 26. Dezember 1906.

sig. Prof. C. Schmidt.

Zweiter Teil.

Bemerkungen

über

Brüchiges Gebirge, sowie über Tunnelbau und Gebirgsdruck im Allgemeinen.

I. Bergschläge in Tunnel und Bergwerken etc.

Das Auftreten „brüchigen Gebirges“ d. h. das Lossprengen von Platten von den Stößen in grobbankigen, homogenen Gesteinen, wie es in beiden Stollen des Simplontunnels auf eine gesamt Länge von beinahe 7 km sich zeigte, ist eine Erscheinung, die mancherorts unter immer gleichbleibenden Modalitäten bei Stollenbauten sich findet, aber trotzdem noch nicht völlig aufgeklärt ist. Die Bergleute bezeichnen diese Erscheinung als: *Bergschlag*, *Gebirgsstoss*, *Gebirgsschlag*, *knallendes Gebirge*, *Pfeilerschüsse* etc. Die englische Bezeichnung ist *bumps* oder *goths*, die französische oder besser wallonische *bendons*.

Bergschläge in
Tunnel

Am vollkommensten ist die Analogie dieser eingehend beschriebenen Erscheinung im Antigoriogneiss des Simplon einerseits, im Zentralgneiss der Tauern des *Tauern隧nels bei Gastein* andererseits.

Der im Bau befindliche *Tauern tunnel* wird $8\frac{1}{2}$ km lang und durchquert das Gebirge in nordsüdlicher Richtung mit einer Abweichung von etwa 10° gegen Osten, auf der Meereshöhe von 1220 m bei einer Maximal-Gesteinsüberlastung von ca. 1600 m. Die geologische Struktur erscheint sehr einfach, indem die ganze Bergmasse aus einer domförmigen Gneisskuppel besteht.*) Der tiefere Teil des Gneisses ist ein Augengneiss, der bis in die letzten Details dem Antigoriogneiss äquivalent ist. Auf der *Nordseite* wurde dieser Zentralgneiss bei km 2,3, auf der Südseite bei km 0,6 angefahren. Der Gneiss liegt im Tunnel flach, deutlich gebankt. Er fällt mit 25 bis 40° gegen WNW. Neben der Bankung zeigen sich zwei vorherrschende Kluftsysteme: Streichen NE., Fallen steil SE. und Streichen NNW. bis N., Fallen steil NE. bis saiger. Das reichliche Auftreten der Klüfte bedingt eine starke Zerquetschung des Gesteines wie es namentlich bei km 2,23—2,25 ab NP. beobachtet worden ist. Bergschläge oder knallendes Gebirge treten erst im Augengneiss auf und zwar nur da, wo derselbe homogen, grobbankig, also nicht zerklüftet ist. Prof. Becke berichtet im Anzeiger der Kk. Akademie der Wissenschaften in Wien (11. Mai 1905 und 11. Januar 1906) darüber folgendes:

„1. *Knallendes Gestein*. Die zwischen diesen Zerklüftungszonen liegenden Partien gesunden, weniger feuchten und gut gebankten Gesteins. haben die Eigen-

*) Vgl. *F. Becke* und *V. Uhlig*. Sitzungsber. d. kaiserl. Ak. d. W. in Wien. Math.-nat. Cl. Bd. CXV. Dechr. 1906.

tümlichkeit, dass an First und Ulmen sich öfter flache Scherben unter lautem Knall ablösen. Sie erreichen bisweilen 2 m² und bis 10 cm Stärke, sind aber meist kleiner, oft nur wenige Millimeter stark. Das Abspringen erfolgt unabhängig von der Flaserung und Klüftung parallel der zufälligen freien Oberfläche. An Stellen, wo solche Scherben noch halb in Zusammenhang standen mit der Unterlage, konnte

ich mich überzeugen, dass es unmöglich war, den Scherben ohne Gewaltanwendung und ohne Verletzung der Ränder in sein Lager zurückzubringen. Solch knallendes Gebirge findet sich nie in den stark zerklüfteten Regionen.

2. *Knallendes Gestein.* An den klüftfreien Stellen erweist sich das Gestein stark gespannt, so dass die Erscheinung des „knallenden Gebirges“ beobachtet wird. In diesen Strecken lösen sich ohne vorangehende Anzeichen unter Knall Platten von der freigelegten Oberfläche, und zwar auf beiden Ulmen und am First des Tunnels los. Kleinere Gesteinsstücke werden mehrere Meter weit geschleudert. Die Platten erreichen aber manchmal Dimensionen von mehreren Kubikmetern. Wiederholt haben solche plötzlich abspringende Platten Verletzungen, leider auch schon drei Todesfälle verursacht. Am 5. Januar 1906, vormittags, löste sich vom First bei Tunnelkilometer 4,045 eine Platte, welche zwei Mann tötete und einen Arbeiter schwer verletzte. Das Abspringen vollzieht sich am häufigsten einige Stunden oder Tage, nachdem die Oberfläche durch den Vortrieb des Stollens freigelegt wurde; an einigen Stellen so häufig, dass Holzeinbaue im Sohlstollen notwendig waren, so Tunnelkilometer 2,810 bis 2,860 und 3,950 bis vor Ort. Bemerkenswert ist, dass Knallstrecken stets im klüftarmen, kompakten Gestein auftreten. Während des Vollaubruches macht sich das Abspringen der Platten in erhöhtem Masse bemerklich, und zwar nach Aussage der Arbeiter immer nur an den der Tunnelachse parallelen Flächen, nie an den quer zur Achse gestellten Stirnwänden. Die Spannungen, welche zum Abspringen der Gesteinsplatten führen, scheinen in diesen vom Sohl- und Firststollen

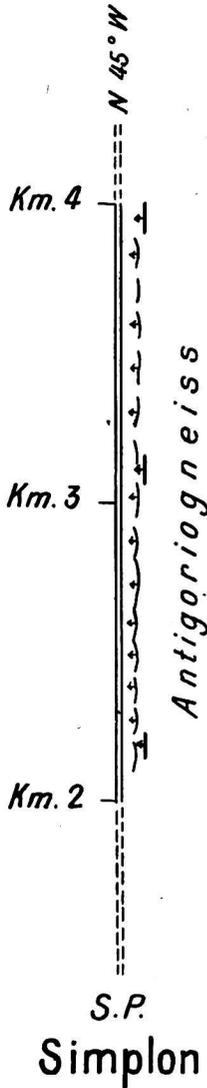


Fig. 15.

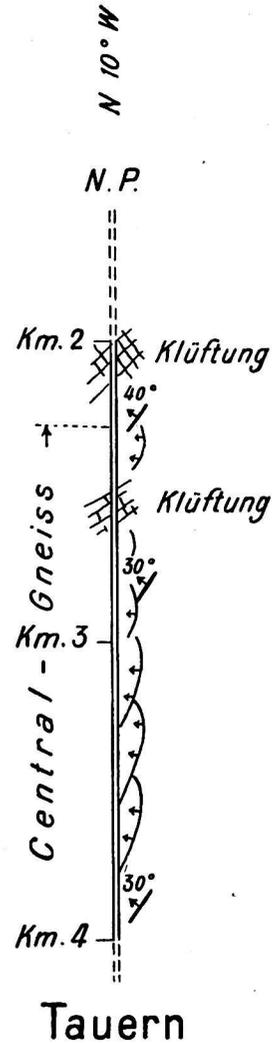


Fig. 15.

durchbrochenen Flächen nicht zu so starker Entwicklung zu kommen, dass die Festigkeit des Gesteins überwunden wird.“ —

Wir erkennen die vollständige Analogie der Erscheinung im Antigoriogneiss des Simplon- und im Zentralgneiss des Tauerntunnels. Eine gewisse Differenz ergibt sich aus der verschiedenen Schichtlage des Gneisses bezüglich Tunnelaxe in den beiden Tunnels (Vgl. Fig. 15). Während der Simplontunnel im Antigoriogneiss ziemlich genau in der Streichrichtung, sölilig, verläuft, und die Fallrichtung des

Gneisses somit senkrecht auf der Tunnelrichtung steht, schneidet der Tauerntunnel im Zentralgneiss dessen Streichrichtung im allgemeinen 20—30° schief, die Fallrichtung steht 70—60° schief zur Tunnelaxe. Da die Ablösungsflächen der Sprengschalen die Tendenz haben einerseits parallel der Angriffsfläche (Stollenwandung) andererseits senkrecht zur Ebene der Parallelstruktur des Gneisses sich zu stellen, so verläuft die Ausbruchzone im Antigoriogneiss des Simplons annähernd parallel der Tunnelaxe, während im Tauerntunnel an den Ulmen absetzende Nischen ausbrechen. Die Gneissprengschalen aus dem Simplontunnel laufen parallel der Streichrichtung, diejenigen des Tauerntunnels schneiden sie schief. Sowohl im Simplon- als auch im Tauerntunnel fallen die Schichten vom östlichen zum westlichen Stoss flach ab. Dadurch ist eine Verschiedenheit im Abblättern auf den beiden Ulmen bedingt, im Antigoriogneiss des Simplontunnels sowohl, als im Zentralgneiss des Tauerntunnels. An der östlichen Ulme, gegen welche die Schichten einfallen, brechen Nischen aus. An der westlichen Ulme, von der die Schichten wegfallen, ist der Ausbruch weniger stark; es lösen sich dünne Platten ab, die bergewärts nach unten gegen die nächste Bankfuge hin dicker werden und den Zusammenhang noch bewahren. (Vgl. Fig. 16.) Diese Beobachtung im Tauerntunnel ist von beson-

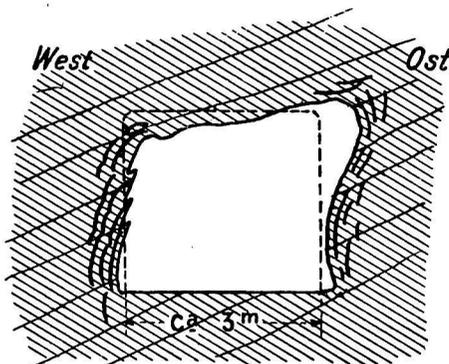


Fig. 16.

derer Bedeutung, deshalb, weil man ungerechtfertigterweise die Ursache des stärkeren Auftretens der Bergschläge am östlichen Ulm des Simplontunnels II hauptsächlich in Vorhandensein des östlich gelegenen Tunnel I hat erblicken wollen. — Auch auf der Südseite des Tauerntunnels trat „knallendes Gebirge“ in dem grob-bankigen, kluftfreien Granitgneiss zwischen km. 1,136 und 1,158 auf.

* * *

Das Auftreten der Sprengschalen ist, wie der Simplontunnel gezeigt hat, keineswegs an den Gneiss gebunden; es tritt auch im kompakten Kalk auf, und so ist tatsächlich knallendes Gebirge auch im festen Kalkstein des *Karwankeintunnels* beobachtet worden. Im *Wocheinertunnel* wurde in einem festen dolomitischen Kalkstein ebenfalls „Knallendes Gebirge“ beobachtet (Zeitschr. f. prakt. Geol. 1906 p. 349). Herrn Ingenieur *Fr. Lusser* verdanke ich folgende mündliche Mitteilung darüber. Bei km 2,9 ab NP des Wocheinertunnels traten im kompakten Kalk bei steilem Einfallen der Schichten auf zirka 20 m Länge besonders beim Vollausbuch Ablösungen von bis 30 cm dicken Sprengschalen auf. Diese Bergschläge traten plötzlich ein und waren mit starken Detonationen verbunden. Im Laufe der Ausweitung

für den Vollaussbruch wurde durch die Bergschläge das Gestein in der Sohle so stark zerklüftet, dass das Stollenwasser versiegte. Eine abnorm starke Ausbolzung war notwendig und nachherige Ausmauerung mit Quadern von 80 cm Stärke und Einziehung eines Sohlengewölbes von 60 cm Stärke in Quadern. An der Ulme war an einer Stelle das Widerlager in 1 m Stärke bis 1,5 m aufgemauert. Da löste sich hinter demselben vom festen Kalk der Ulme eine Sprengschale los, und das ganze Widerlagermauerwerk wurde mit einem der Detonation der stärksten Mine gleichkommenden Knalle in die Strecke hinausgeschleudert. Der hier beschriebene Gebirgsschlag zeigt gewisse Eigentümlichkeiten (steile Schichtstellung, Stoss von der Sohle aus, Wegschlagen des gemauerten Widerlagers an der Ulme). Genauere geologische Daten wären wünschenswert.

Über Bergschläge in den *Tunnels am Gotthard* finde ich eine Angabe bei *Stapff* (Geologische Tabellen und Durchschnitte über den grossen Gotthardtunnel — Spezialbeilage zu den Berichten des Schweizer. Bundesrates). Bergschläge waren häufig im *Pfaffensprungtunnel*, wo massiger Protogin durchbohrt wurde. Für den *Gotthardtunnel* selbst ist es charakteristisch, dass Bergschläge sich einstellten im Protogin des Aarmassivs auf 2 km Länge ab NP. und zwar nach mündlicher Mitteilung von *F. Lusser* weniger beim Stollenvortrieb, als beim Ausbau. Den meist mehr schiefrigen Gesteinen des Gotthardmassivs fehlten dieselben. Sie werden aber besonders erwähnt für die Strecke 4984—94 ab SP. Nach *Stapff* ist dort der Gneiss kompakt und wenig zerklüftet, *löst sich aber in dünnen Schalen ab*. Die Ablösung, die oft mit Knall erfolgt, ist nach *Stapff* *die Folge einer Spannung, welche entweder im Gneiss praexistierte und durch Öffnen eines unterirdischen Hohlraumes in ihrem Gleichgewicht gestört wurde*, oder welche erst durch die Rückwirkung der Dynamitexplosionen erzeugt ist. Dass Bergschläge *nicht* in sehr klüftigem oder deutlich geschiefertem Gestein erfolgen, ist nach *Stapff* dadurch erklärlich, dass in solchem durch die Möglichkeit kleiner Verschiebungen innere Spannungen sich sofort wieder ausgleichen können.

Die Angabe über Bergstösse in einem *amerikanischen Tunnel* enthält *Drinkers* grosses Werk „Tunneling“ usw. New York 1878 (Abschnitt „Breaks and falls in Tunneling“, S. 749 ff.).

„In einem Tunnel der Cincinnati Southern Railroad wurden die Sandsteinschichten der Tunnelsohle plötzlich unter einem Knall, dem ein polterndes (rumbling) Geräusch folgte, aufgesprengt, wobei sich auf dem früher ebenen Boden ein etwa 8—9 Zoll hoher, oben zerrissener Rücken (ridge) bildete. Bei einer Bohrung fand man das Gestein auf mehrere Fuss Tiefe aufgelockert; das Wasser der Seitengräben war ganz verschwunden. Nach einer Mitteilung des Ingenieurs Robert B. Stanton war der Knall ungefähr so stark wie bei der Explosion einer kleinen Mine und die Gewalt, mit welcher die Sandsteinschichten aufsprangen, hinreichend gross, um einige auf dem Boden sitzende Männer aufwärts zu schnellen. Stanton bemerkt ausdrücklich, dass sich das plötzliche Losbrechen des Gesteins durchaus nicht auf die Wirkungen der Sprengschüsse zurückführen lasse, indem dieses Losbrechen auch dann beobachtet wurde, wenn mehrere Tage vorher keine Sprengungen stattgefunden haben.“ Bemerkenswert sind gewisse Besonderheiten dieses Bergschlages (Aufsprengung und Zertrümmerung des Gesteines in der Tunnelsohle), die analog sind denjenigen, welche *F. Lusser* im *Wocheiner-Tunnel* beobachtet hat.

* * *

Es ist von vorneherein zu erwarten, dass in der Bergwerksliteratur über Bergschläge mehrfach berichtet wird. Ich habe einige Daten gesammelt.

**Bergschläge in
Erzbergwerken**

Über Bergschläge in den *Příbramer Bleiglanzgruben* in Böhmen berichten neuerdings *Fr. Mládek* und *H. Stefan* in der Österreich. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen, 8. Juli 1905 und 19. Mai 1906. Eine bis zu 1200 m Tiefe angefahrne Grauwackemulde wird dort von saigern Diabasgängen in 1—30 m Mächtigkeit durchsetzt. Diesen Diabasgängen folgen die Erzgänge, indem sie bald an ihren Saalbändern sich halten, bald in ihrer Mitte parallel ihren Begrenzungsflächen hin-

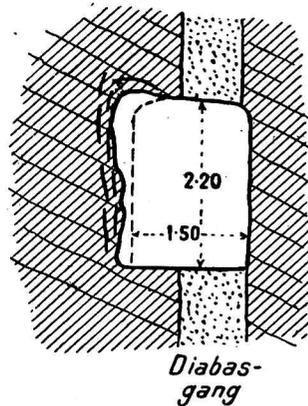


Fig. 17.

ziehen. Bergschläge treten nun auf beim Vortrieb von Feldörtern und Firstenstrassen im festen *Grünstein*. Nach zeitweiser Einstellung der Arbeit auf schlagendem Gesteine pflegt sich dasselbe binnen kurzer Zeit zu beruhigen, sobald dann aber zum Abschrämen der lauten Gesteinsschalen geschritten wird, wiederholt sich häufig wieder das Schlagen. Bei fortschreitender Ausdehnung des Abbaues verschlimmert sich die Lage trotz tadellosestem Versatz, da der Druck des Hangenden auf immer kleinere Gesteinspfeiler sich konzentriert. Aber auch in diesem Falle treten Schläge nur bei fester Gangmasse ein; mildes, zerriebenes Gestein geht ganz allmählich kontinuierlich zu Bruch. Die häufigsten Bergschläge fanden sich in den massigen

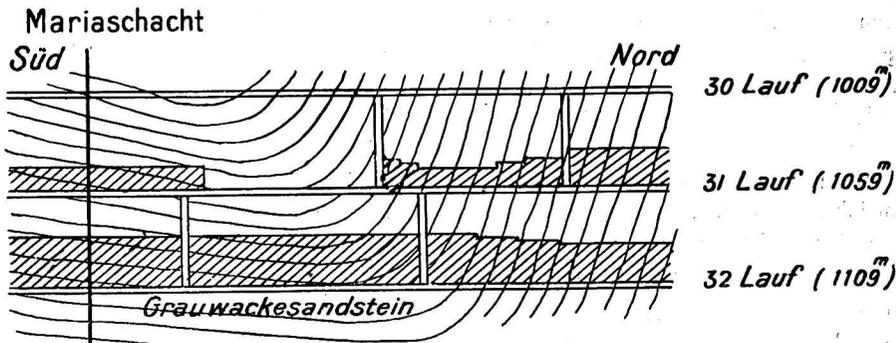


Fig. 18.

Grauwackebänken in der den Adalberti Hauptgang in 1000—1100 m Tiefe abbauenden Maria-Grube und zwar erscheint es mir von Bedeutung, dass die schlagenden Sandsteinschichten alle im flachen, südlichen Flügel sich finden, niemals aber in den zahlreichen Bauen des steilen nördlichen Flügels (vgl. Fig. 17 und 18) — im Simplontunnel sind die steilstehenden Kalke der „Bedrettomulde“ nicht schlagend, während in den gleichen Gesteinen, die in der „Vegliamulde“ flach liegen, sehr häufig Spreng-

schalen auftreten. Ferner wird betont, dass die einzelnen Grauwackenbänke nicht in gleicher Weise schlaggefährlich sind, sondern dass es hauptsächlich harte, dichte, quarzige, keineswegs hingegen milde, tonige sind. Die Gesteinsschalen werden auf einmal mit weithin hörbarem Getöse weggeschleudert und liefern je ungefähr 0,5 m³ Haufwerk. Häufig folgt einem stärkern Schläge an der gleichen Stelle noch eine Reihe schwächerer in verschiedenen Zeitabschnitten, sodass eine solche Firstenstrasse stunden- ja tagelang nur mit der grössten Vorsicht betreten werden kann. Die Ablösungen finden statt parallel den Ulmen, somit bei söhligem Gestein annähernd senkrecht zur Schichtung und genau so wie im Simplon- und Tauern-tunnel schreiten dieselben, den ansteigenden Schichten folgend, am Liegendum, nahe der Streckenfirst besonders, im Nebengestein vorwärts (vgl. Fig. 17).

Nach den Mitteilungen von F. Mládek beobachtet man im Pribramer Bergbauterrain auch Erderschütterungen, die bedingt sind durch das Verhalten der durch fortschreitenden Abbau immer mehr blossgelegten Pfeiler. Durch die weitgehende Entblössung der Gesteinspfeiler im Abbaugelände ist das Gleichgewicht in der innern Spannung des Gesteines viel stärker gestört, als in den tiefern Feld-örtern, wo wir die normalen Bergschläge beobachten. Der beste Bergversatz ver-

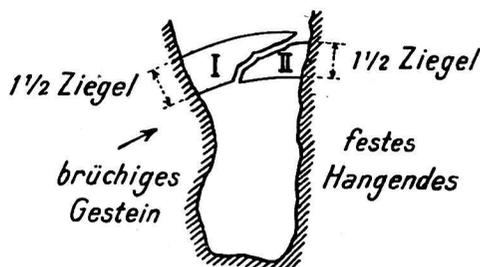


Fig. 19.

mag die Auslösung dieser Spannungsdifferenzen nicht ganz hintanzuhalten. In erster Linie beobachten wir eine „Setzung“ des Pfeilers, wobei das Liegende sich aufbaucht, das Hangende nachbricht. Wirkt der Druck vom Hangenden und Liegenden ziemlich gleichmässig, so werden die Schlusssteine der Streckengewölbe zerquetscht, nimmt dagegen der Gebirgsdruck von einem Ulme überhand, so teilt sich das Streckengewölbe längs eines schiefen Sprunges und die eine Hälfte des Gewölbes wird über die andere geschoben (vgl. Fig. 19). Das feste Gestein des Pfeilers selbst beginnt zu bersten, die Sprünge durchsetzen denselben genau so wie Daubrée (*Etudes synthétiques de Géologie expérimentale* Bd. I. p. 316) es von künstlich gepresster „mastic à mouler“ abbildet. Diese Berstung der Gesteinsmasse des Pfeilers erfolgt unter kanonenschussartigem Knall; das ganze System der Pfeiler kann erschüttert werden und die Erderschütterung pflanzt sich bis zur Erdoberfläche fort, wo sie einen ähnlichen Eindruck macht, als ob man in der Nähe eines schweren, fallenden Dampfhammers stehen würde.

Weitere Nachrichten über „Bergschläge“ in Erzgruben sind folgende (vgl. Bull. Soc. Belge de Géologie. T. XX. 1906. Proc. Verb. p. 56—61): Von den Bleiglanzgängen in *Derbyshire* berichtet *Aubrey Strahan*, dass dieselben in einem eigentümlichen Spannungszustand sich befinden. Abschaltungen der Gangmasse werden von den Bergleuten künstlich hervorgerufen durch Einhauen von Furchen in dieselbe. — In den „*Hillgrove Gold Fields*“ von *Neusüdwaales* sind sehr heftige Bergschläge dem kompakten Schiefergestein eigentümlich, in welchem der Goldquarz

aufsetzt. — In den Goldbergwerken von *Mysox* in Indien sind schlagend sowohl der goldführende Quarz, als die umgebenden metamorphen Schiefer, als auch die in demselben aufsetzenden Diabase.

Die ausführlichsten Beobachtungen über „Bergschläge“ sind aus *Kohlengruben* veröffentlicht worden. Dass die Bergschläge in der relativ weichen Kohle sich etwas anders äussern müssen, als in hartem Granitgneiss, Diabas, Kalkhornfels, dolomitischem Kalk, Grauwackesandstein und Quarzit ist leicht begreiflich. Trotzdem finden wir in beiden Fällen bemerkenswerte Analogien.

**Bergschläge in
Kohlengruben**

Die mir vorliegende Literatur über Bergschläge in Kohlengruben ist im wesentlichen folgende :

1. *R. Sawyer*. Stein- und Kohlenfall-Verunglückungen in Nord-Staffordshire usw., übersetzt von *Leybold*, Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- und Salinenwesen usw., 1900.
2. *K. Baumgartner*. Über Störungen und eigenartige Druckerscheinungen (sog. Pfeilerschüsse oder Kohlenstossexplosionen) in der oberbayrischen tertiären Kohlenmulde auf Grube Hausham. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen, 1900, Nr. 36 und ff.
3. *Geisenheimer*. Stein- und Kohlenfall-Verunglückungen auf den oberschlesischen Steinkohlengruben. Zeitsch. f. d. Berg-, Hütten und Salinenwesen im preuss. Staate, Bd. 51, 1903, p. 115.
4. *Dill*. Die in den letzten Jahren auf Steinkohlengruben des Oberamtsbezirkes Dortmund vorgekommenen Gebirgsstösse und die hierdurch herbeigeführten Unfälle. Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- und Salinenwesen usw., 1903, p. 439.
5. *Krug*. Eigene und fremde Beobachtungen über Gebirgsschläge in Lugau-Oelsnitzer-Gruben. Jahrb. f. d. Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen, 1903.
6. *W. N. Atson*, Report of H. M. Inspector of Mines for the Stafford District for the year 1903 (vgl. Geological Magazine, N. S. Decade 5. Vol. 2 1905).
7. Verhandlungen und Untersuchungen der preussischen Stein- und Kohlenfall-Kommission (Sonderhefte I—VII der Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- und Salinenwesen im preuss. Staate. Berlin, W. Ernst & Sohn, 1901—1906.

Über die Gebirgsstösse in den *westfälischen* Kohlenflötzen bei Dortmund berichtet ausführlich Bergreferendar *Dill*. Dieselben treten wie Figur 20 zeigt, auf:

1. im Flötz *Sonnenschein* der untern Esskohlen auf den Zechen Friedrich der Gr., Viktor, Shamrock, Recklinghausen I bei Herne in 300—400 m Tiefe und auf der Zeche Steingatt bei Hattingen ;
2. im Flötz *Finefrau* der obern Magerkohle auf der Zeche Engelsburg bei Eppendorf in 500 m Tiefe ;
3. im Flötz *Bismark* der Gasflammkohlen auf der Zeche Hugo bei Hugo in W. in 560 m Tiefe ;
4. im Flötz *Röttgersbank* der Fettkohlen auf der Zeche Dannenbaum, Schacht I bei Bochum in 400 m Tiefe.

Als das Gemeinsame bei allen diesen Bergschlägen in den Kohlenflötzen des Ruhrgebietes erkennen wir folgende Umstände: Unter schussartigem Knall und starkem Luftdruck springen die Kohlen von den Stößen ab bis 5 m weit und zerfallen, in die Strecken geworfen, zu Kohlenklein unter kräftiger Entgasung. Das seitliche Hereinbrechen der Kohle geschieht immer plötzlich, ruckweise und ist jeweilen ganz lokal. Der stehengebliebene Kohlenstoss zeigt schalige Ablösungen und Aufklaffungen. Die Stempel werden weggedrückt, umgeworfen und geknickt, aber nicht verbogen. Durchweg finden sich die Gebirgsschläge nur in standfestem Gebirge, im homogenen, 1—3 m mächtigen Flötz und mehrfach wird betont, dass irgendwelcher Druck sich vorher niemals an den Schlagstellen bemerkbar gemacht hätte. Bezeichnend ist folgende Angabe bezüglich Flötz Finefrau: Das Nebengestein ist Sandstein, doch schiebt sich an mehreren Stellen ein bis zu mehreren Metern mächtiger Schieferpacken zwischen das Flötz und das Sandsteinhangende. *An der Stelle des Unfalls war dies jedoch nicht der Fall, der Sandstein war daselbst von ganz ungewöhnlicher Festigkeit.* Durchweg treten die Bergschläge im Ruhrgebiet nur auf, wo die Flötze ein äusserst gesundes und kräftiges Hangende haben. Das Hangende bleibt immer unversehrt, während Aufwölbung des wenig standhaften Liegenden nur in einem Falle gemeldet wird.

Die „Gebirgsstösse“ in der Grube sollen auch über Tage wahrnehmbar sein und wenn sie besonders stark sind, sollen sie sich äussern in Erscheinungen, die denjenigen natürlicher Erdbeben analog sind. Gegenstände geraten ins Schwanken, Risse entstehen in Gebäuden und im Erdboden, und gelegentlich wird ein donnerähnliches Geräusch vernommen. Das oberflächliche Schüttergebiet ist kreisförmig, der zentrale Teil desselben mit maximalster Erschütterung liegt senkrecht über dem Hauptzerstörungsgebiet im Flötz. Cremer und Dill beschreiben Erdstösse vom 2. Juli 1897 und 24. März 1899 und 14. Juli 1899 in der Umgebung von Herne und bringen sie in Be-

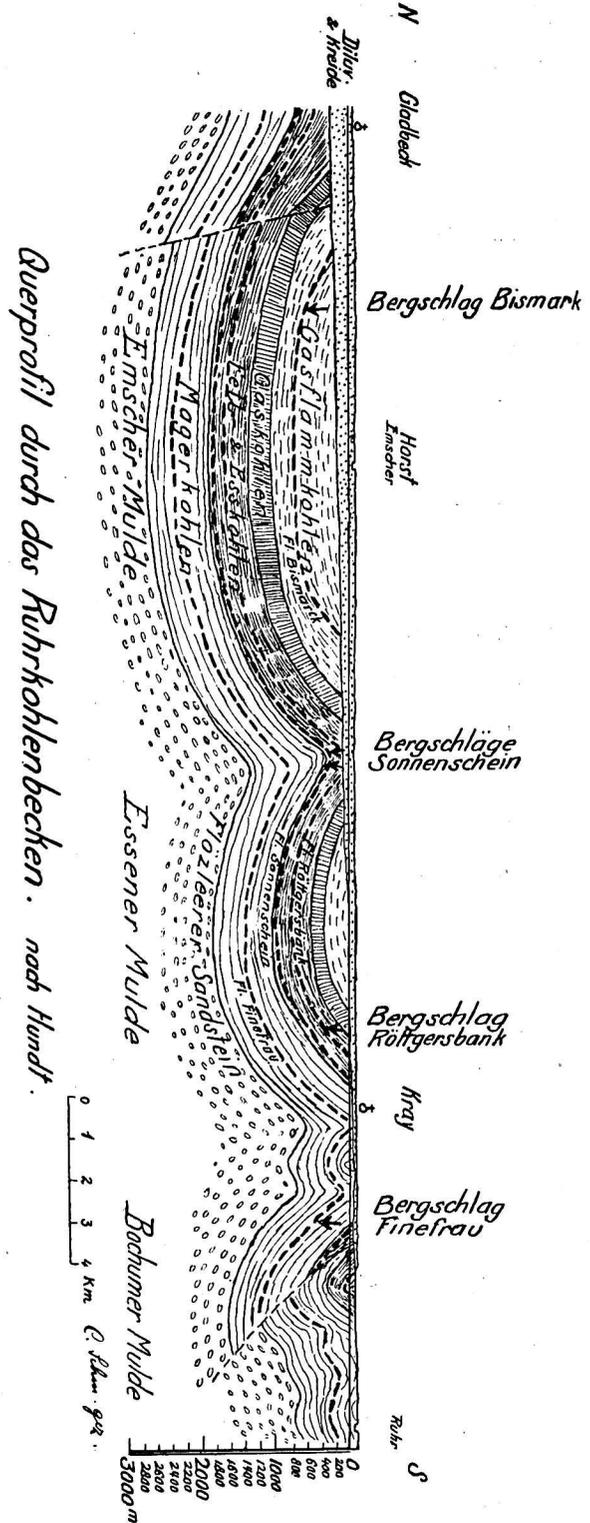


Fig. 20.

ziehung zu „Gebirgsstößen“.) Bemerkenswert ist es, dass die Erderschütterungen auf der Zeche Shamrock am 20. Juli 1897 und am 24. März 1899 in der Grube kaum merklich sich äusserten, im ersten Fall wird ein „Pfeilerzusammenbruch“, im zweiten ein „Zubbruchgehen des Hangenden“ gemeldet. Das kreisförmige Erschütterungsgebiet erreichte am 2. Juli 1897 einen Durchmesser von 3,5 km. Weit bedeutsamer war die ebenfalls vom Abbaufeld des Flötzes Sonnenschein, im Gebiet des Sattels zwischen Emscher- und Essenermulde ausgehende Erderschütterung vom 14. Juli 1899; sie dehnte sich über ein kreisförmiges Gebiet von 13—14 km Radius aus und zeigte alle Erscheinungen eines natürlichen Bebens. In der Grube konstatieren wir die Wirkung einer allgemeinen Gebirgserschütterung. Kohlen und Bergeversatz brechen aus den Stößen in die Strecke, das Hangende bricht ein, das Liegende wölbt sich auf, ein mehrere Meter dicker Mauerklotz berstet, Kohlen, Berge, Zimmerung, Schienen, Schwellen und Förderwagen liegen wirr durcheinander. Es erscheint mir nicht gerechtfertigt, diese Erscheinungen in ihrer Gesamtheit zu den „Bergschlägen“ zu rechnen.

Für diese Art der Zerstörungen im Flötz Sonnenschein mag die von Dr. L. Cremer gegebene Erklärung sehr wohl zu Recht bestehen; eine Analogie mit den Erderschütterungen im Ganggebiet von Příbram ist unverkennbar. Dr. Cremer schätzt den Substanzverlust, den die beiden Sattelflügel unterhalb des Erschütterungsgebietes durch den Abbau erlitten haben, auf mindestens 3—4 % der ganzen Gebirgsmasse. Durch den rings um den Sattel verteilten Abbau ist eine Lockerung in dem ursprünglich festen Verbands der Gesteine des Sattelgewölbes eingetreten, die Widerlager desselben sind geschwächt worden und es erfolgte der Einsturz. In die Diskussion über das Wesen der uns hier beschäftigenden „Bergschläge“ dürfen derartige Einbrüche nicht hineingezogen werden, wie das neuerdings wieder von A. Rzehak geschehen ist (Zeitschr. f. prakt. Geologie, November 1906). Selbstverständlich können im Flötz derartiger, durch ausgedehnten Abbau bedingter Bruchgebiete auch normale Bergschläge sich einstellen.

Als eine besondere Art von Bergschlägen in Kohlenflötzen haben wir auch diejenigen zu betrachten, die mit plötzlichen Gasausbrüchen (*dégagements instantanés*) verbunden sind.

Nach A. Dufranc-Demanet (*Traité d'exploitation des mines de houille*, 2^{me} édition, t. I, p. 81) erklärt sich die Erscheinung dadurch, dass die mit grosser Spannung (15—20 Atm.) die Poren der Kohle erfüllenden Grubengase plötzlich ausbrechen, die Kohlenmassen aus dem Stoss hinausschleudern und Spalten im Stoss aufreissen. In Belgien sollen diese Bergschläge auf das Gebiet der Fettkohlen beschränkt sein und vornehmlich in den stark gefalteten Schichten des südlichen Teiles des Kohlenbeckens, aber niemals in dem regelmässig gelagerten nördlichen Teil des Beckens auftreten. Die *dégagements instantanés* stellen sich besonders häufig ein in der Nähe des Muldentiefsten; bei Flötzanschwellungen oder sonstigen Unregelmässigkeiten in der Lagerung und mit zunehmender Teufe scheinen sie an Häufigkeit und Heftigkeit zuzunehmen. Wohl nicht mit Unrecht werden von *Broockmann* („Die Entwicklung des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenbergbaues in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts“, Bd. VI, 1903, *Wetterwirtschaft*, S. 102) die Kohlenstösse in dem 3 m mächtigen Flötz Röttgersbank der Fettkohlen als *dégagements instantanés* erklärt.

*) In dem Falle, wo im Simplon ein Zusammentreffen von Bergschlag und Erdbeben sich zeigte, ist offenbar das Erdbeben die Primärererscheinung, der Bergschlag wurde durch das Erdbeben ausgelöst.

Der Überblick über die im Ruhrgebiet beobachteten Kohlenstossexplosionen zeigt uns, dass das Wesen derselben weder durch Schwächung des Gebirges infolge des Abbaues noch durch plötzliche Entgasung erklärt werden kann.

Ähnlich wie im Ruhrgebiet stellen Kohlenstösse sich auch in den *oberschlesischen Gruben* ein. Von besonderer Bedeutung erscheint mir auch hier wieder die Konstatierung, dass beim Auffahren von Strecken in unverritztem Felde die plötzlich eintretenden Kohlenstösse sich einstellen nur da, wo das Hangende gut ist und dass dieselben durch eine systematische Zimmerung verhindert werden können. Nach einiger Zeit kann die Zimmerung wieder entfernt werden und nach beendigtem Auffahren können sich derartige Strecken ohne Ausbau lange unverändert halten.

Sehr anschaulich schildert *Fr. Bernhardt* (Verhandl. und Untersuch. d. preuss. Stein- und Kohlenfall-Kommission, pag. 171) den Einfluss der Teufe auf das Verhalten des Flötzes. Beim sukzessiven Tieferlegen der Sohlen von 100 m auf 500 m unter Tags mussten die Strecken immer enger und niedriger getrieben und in immer grösserer Ausdehnung verbaut werden. Überall an den Wandungen des angehauenen Kohls zeigte sich die Kohle in immer grösserer Masse brüchig und schlagend, infolge der stets zunehmenden Spannungsercheinungen.

„Mit dem gewöhnlichen Druck hat die Sache nichts zu tun, denn es lässt sich, wo das Kohl von den Stössen abgedrückt wird, irgend eine Bewegung in den dahinter befindlichen Massen nicht nachweisen. *Das Kohl ist nicht eigentlich weicher, sondern spröder geworden.*“ Bemerkenswert ist es, dass auch hier die Lassenbildung und das Schlagen des Flötzes gerade da am stärksten sind, wo ungestörte Lagerungsverhältnisse herrschen und das Flötz gesund und mächtig entwickelt ist.

Nicht als „Bergschläge“ sind diejenigen in den oberschlesischen Gruben häufig eintretenden Kohlen- und Steinfälle zu registrieren, die in druckhaftem oder in dem von Schlechten durchzogenen Gebirge eintreten.

Im Kohlenbecken von *Kladno in Böhmen* (vgl. die Mineralkohlen Österreichs Wien 1903, p. 222) sind Bergschläge ebenfalls sehr häufig. Auch von hier werden mit erdbebenartigen Erscheinungen verbundene Detonationen von *A. Weithofer* (Verhandl. d. naturforsch. Vereines in Brünn 1904 p. 44) und *A. Rzehak* (Zeitschr. f. prakt. Geologie, November 1906) erwähnt. Die Ursachen der „Detonationen“ sind die durch den dortigen versatzlosen Abbau eines standfesten, 6—11 m mächtigen Flötzes im Gestein ausgelösten Spannungen. Die Erschütterungen scheinen vornehmlich von denjenigen Stellen ausgegangen zu sein, an welchen drei aneinander grenzende Gruben gleichzeitig Abbau geführt haben. Von dem gewöhnlichen Niedergehen eines bis zu gewissem Grade brüchigen Gebirges zufolge der Schwerkraft über abgekohlten Räumen sind die plötzlich eintretenden, von Detonationen und weit sich fortpflanzenden Erderschütterungen begleiteten Druckerscheinungen wohl zu unterscheiden.

* * *

Endlich möchte ich noch auf die Untersuchungen von Bergingenieur *Baumgartner* über „Explosion von Kohlen- und Gebirgsstössen“ in den Tertiärkohlen der Grube Hausham in Oberbayern hinweisen. Es finden sich hier zwei Flötze; das hangende, 0,45—0,7 m mächtige „Kleinkohlflötz“ ist von dem liegenden, 0,7—1,3 m mächtigen „Grosskohlflötz“ durch 6—8 m mächtige Schichten von standfestem Zementmergel und Sandstein getrennt. Die Flötze bilden eine von Ost nach West sich erstreckende Mulde mit überkipptem Südflügel (vgl. *Gümbel*, Geologie von Bayern II, p. 339 ff., ferner *Korschelt*, Geognost. Jahreshfte III, 1890). Der Muldensüdflügel des Ostfeldes ist von vielen Störungen durchsetzt, während im

Nordflügel die Schichten flach, regelmässig gelagert sind. *Explodierende Stösse* finden sich nur im Nordflügel; genau so wie in den Gruben von Pribram und wie im Simplon treten die Bergschläge nur in kompakten, möglichst flachliegenden Gesteinsschichten auf. Die Kohle steht derart unter Druck, dass, sobald der Stoss freigelegt wird, dieselbe, unter Knistern und Krachen, lebhaft stäubend, in grössern und kleinern Platten losspringt. Der dahinter befindliche Kohlenstoss ist anfangs noch fest, bald tritt aber die Lassenbildung auch hier ein, der Stoss beginnt zu „arbeiten“ und lockert sich. Auch in der Haushamermulde äussern die dynamischen Vorgänge im Flötz gelegentlich sich obertags als Erderschütterungen.

In den Kohlenminen des *Stafford-Distriktes* in *England* sind nach *W. N. Atkinson* typische Bergschläge in allen Graden der Intensivität sehr häufig. Es werden dieselben zurückgeführt auf Auslösungen von dem Flötz innewohnenden Spannungen infolge des Anhaues.

* * *

Erscheinungen, die mit den unter Tags eintretenden „Bergschlägen“ gewisse Analogien zeigen, sind auch über Tags in *Steinbrüchen* beobachtet worden. *F. v. Hauer* (Geologie und ihre Anwendung usw. p. 105) macht auf zwei Mitteilungen von *J. Johnston* (Proceedings of the American Association for the advancement of science, eight meeting 1854) und *H. Niles* (Proceedings of the Boston Society of Natural History Vol. XIV. 1870—71) aufmerksam. Weitere Beobachtungen hat *W. H. Niles* späterhin veröffentlicht (Proceedings of the Boston Society of Natural History Vol. XVIII. p. 272. 1876).*)

**Bergschläge in
Steinbrüchen**

In ausgedehnten Steinbrüchen wird am Connecticut River ein kompakter, grobbankiger Sandstein ausgebeutet, der 12—15° ostwärts einfällt. Auf dem Grunde des zirka 30 m tiefen Steinbruches gingen die Wandungen von Gräben, die in Ost-West-Richtung, also senkrecht zum Streichen, in dem Sandstein ausgehauen wurden, um den Betrag von etwa $\frac{3}{4}$ Zoll zusammen und vom Boden des 9 oder 12 Zoll tiefen Kanales wurden unter Knall Gesteinsschalen abgesprengt. — Im Steinbruch in einem homogenen, kluffreien Gneiss bei Springfield, Mass. fallen die 1—2 m mächtigen Gneissbänke gegen Westen, der Abbau geschieht von Westen her parallel dem Streichen der Bänke und genau so wie am östlichen Stoss des Simplontunnels im Antigoriogneiss stellen an der Brust bergwärts, quer zur Fallrichtung, die Bergschläge sich ein. Die Erfahrung lehrte, dass da, wo man senkrecht zur Nord-Süd gerichteten Abbaufäche schmale Schlitze in den Gneiss einhieb, *keine Sprengschalen entstanden*. Die Aussenschicht des angehauenen Felsens dehnt sich stärker aus, als der innere Felskörper und muss deshalb sich loslösen und abspringen; wo aber in den Kern des Felsens senkrecht zur Ausdehnungsrichtung der Aussenschicht Schlitze eingehauen sind, kann der Fels sich ausdehnen, ohne die Schale abzusprengen. Die starke Ausdehnung der Aussenschicht ist auch direkt beobachtet worden. Eine elf Fuss lange und drei Fuss dicke Gneissplatte war vom Anstehenden losgesprengt, hing aber an einem Ende noch mit dem harten Fels zusammen und es konnte konstatiert werden, dass der losgelöste Teil des Felsens gegenüber dem entsprechenden Teil des Anstehenden um $1\frac{1}{2}$ Zoll sich gestreckt hatte.

Neuerdings beschreibt *A. Hankar-Urban* Bergschläge, die er in den Pflastersteinbrüchen im Porphyr von *Quenast* in Belgien beobachtet hat. (Vgl. Note sur des Mouvements spontanés des Roches dans les Carrières. — Bull. d. l. Soc. belge de Géologie usw. T. XIX. 1905.) Der Porphyr ist ganz massig und hat die Druck-

*) Vgl. *Ch. R. Van Hise*. A treatise on Metamorphisme, pag. 597: Strain within elastic limit.

festigkeit von 2344 kg. Er wird in einem 75 m tiefen Steinbruch ausgebeutet, dessen Sohle 40 m unter dem Niveau der Senne liegt. Bergschläge werden an den angebrochenen Wandungen seit 50 Jahren beobachtet und zwar treten dieselben ein auch an Stellen, wo seit 5—6 Monaten nicht mehr gearbeitet worden ist. Auf beistehender Figur 21 sind die Stellen mit A, B, C, D bezeichnet.

Die Erscheinung der Bergschläge (bendons) besteht darin, dass eine Platte des massigen, kompakten Porphyrs von der Wandung sich loslöst, indem sie unter eigentümlichem Knattern in der Mitte sich aufwölbt und explosionsartig abgesprengt wird. Die Länge der abgesprengten Platten beträgt gewöhnlich einige Meter, die Breite einige Dezimeter, die Dicke meist nur einige Centimeter. Die Menge des spontan losgesprengten Gesteines kann mehrere Kubikmeter betragen. Die Sprengschalen werden häufig auch nur aufgerissen ohne loszubrechen und lassen sich dann leicht durch Bearbeiten mit dem Hammer herunterbrechen. Die Entstehung der Bergschläge beruht auch hier auf einer Spannungsauslösung, die eine plötzlich eintretende Ausdehnung der Oberflächenschicht bedingt. *Die Erscheinung ist genau*

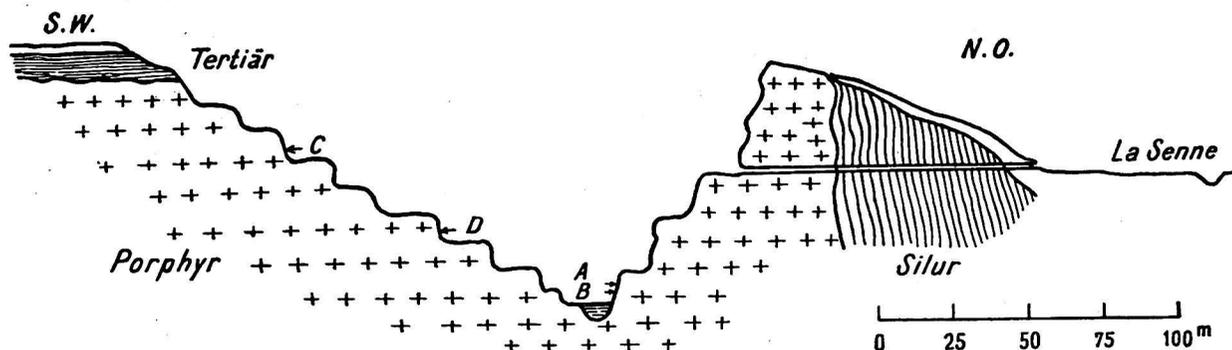


Fig. 21.

dieselbe im Simplontunnel, 2000 m unter der Oberfläche, wie über Tag im Porphyrysteinbruch von Quenast.

Dass in dem den Steinbrüchen entnommenen Gestein latente Spannungen zur Auslösung gelangen, darauf scheint das Vorhandensein einer Art versteckter Spaltbarkeit hinzuweisen, welche z. B. den losen Granitblöcken der Brüche von Baveno und Montorfano, am Lago maggiore, eigentümlich ist. Diese Ebenen leichter Teilbarkeit in dem anscheinend durchaus richtungslos körnigen Granit bezeichnet der Italiener als Filone maestro.

Wenn wir so dazu kommen, die Bergschläge allgemein zurückzuführen auf eine partiell in der Oberflächenschicht von anstehender Gneissmasse sich geltend machende Ausdehnung, so liegt es nahe, zum Vergleich auch die Abschuppung (*Desquamation*) der Felsen in den Wüsten heranzuziehen (vgl. *Walther. Die Denudation in der Wüste* p. 104; das Gesetz der Wüstenbildung p. 28, ferner *Van Hise. A treatise on Metamorphisme* p. 434). Hier sind es die raschen Temperaturschwankungen, bis 50° täglich, die eine differente Ausdehnung der Oberfläche der Gesteine hervorrufen und somit jene schalige Abschuppung an Graniten oder Porphyren bedingen, die ich in gewissem Sinne mit den Sprengschalen an den Stollenwandungen vergleichen möchte, obwohl beiden Erscheinungen *durchaus verschiedene Ursachen* zugrunde liegen.

II. Die Gesteinsdeformationen im Simplontunnel.

Im Simplontunnel konnten wir die Strecken der *Bergschläge* genau abgrenzen gegen diejenigen der Standfestigkeit oder anders gearteter Deformation der Gesteine. Nach meinem detaillierten „Bericht über die geologische Untersuchung des Parallelstollens“ (vgl. Taf. I Fig. 2) haben wir im wesentlichen vier Typen mangelnder Standfestigkeit zu unterscheiden:

1. *Flachgelagerte, dünn-schichtige Gneisse und Glimmerschiefer*: Lokale Einbrüche der Firste (Glockenbildung) in den meist standfesten Berisalgneissen und im Antigoriogneiss bis ca. 1,6 km ab SP.
2. *Anhydritführende Trias*: Blähung und Losbrechen infolge allmählicher Wasseraufnahme bei Luftzutritt (km 1,35 Gesamtlänge). (Anhydrit. A.)
3. *Grobbankige, massige Gneisse; marmorige Bündnerschieferkalke, Triasmarmore*: Bergschläge namentlich an den Ulmen (km 5,5 Gesamtlänge). (Brechendes Gebirge. B.)
4. *Dünn-schichtige, glimmerreiche Gneisse; Kalkphyllite*: Einbrechen resp. Zusammengehen von First und Ulmen verbunden mit Sohlenauftrieb (km 4,5 Gesamtlänge). (Treibendes Gebirge. T.)

Die mangelnde Standfestigkeit der *ersten Kategorie* ist in ihren Ursachen am klarsten offenbar. Es handelt sich um Ablösen von Gneissmassen in der Umgebung des Hohlraumes, also namentlich an der Stollenfirst, und um sukzessiven Nachfall infolge der eigenen Schwere. Abnorme Spannungs- oder Druckerscheinungen treten nicht in Aktion. In dem sich selbst überlassenen Stollen würde die Firste allmählich immer mehr zu Bruch gehen; der Hohlraum vergrößert sich nach oben, es entsteht eine „Glocke“, wie der Bergmannsausdruck lautet. Durch Einziehen des Tunnelgewölbes wird jedes weitere Ablösen naturgemäss aufgehoben. Solche Firsteinbrüche sind beschränkt auf die Gebiete, wo wir flachliegende, schiefrige Gesteine bei relativ geringer Überlastung haben d. h. an einzelnen Stellen im Antigoriogneiss beim Südportal und innerhalb der Serie der „Berisalgneisse“ auf der Nordseite. Es ist zweifellos, dass die Gesteine, die bei geringer Überlastung nur lokale Firsteinbrüche zeigen, bei gleichbleibender Lagerung als „treibend“ sich erweisen würden bei zunehmender Tiefenlage. — Eine Stelle besonderer Art von „Glockenbildung“ treffen wir im Südstollen bei km 3,6 ab SP. in einer ca. 30° nach NW einfallenden, schiefrigen, glimmerreichen Einlagerung im Antigoriogneiss, bei einer Gebirgsüberlastung von ca. 1500 m.

Das Wesen der Deformation der *anhydritführenden Partien* ist ganz vorwiegend bedingt durch die speziellen Eigenschaften des Anhydrites. Die Wasserführung des Gebirges, speziell die Durchfeuchtung des Gesteines ist von grösstem Einfluss bezüglich der Druckhaftigkeit dieser kalkig-dolomitischen, z. T. tonig-sandigen Gesteine, die von Gips bzw. Anhydrit begleitet sind. Es absorbieren diese Gesteine im Berginnern das Wasser rasch und sie werden dadurch besonders druckhaft aber wasserundurchlässig. So drängt in der liegenden Gewölbeumbiegung der Trias des Teggiolo die plastische Zwischenschicht der Druckpartie, die mächtig fließenden Quellbäche südwärts in den Marmor und beschützt die nordwärts liegenden

Anhydritmassen vor der Durchfeuchtung (vgl. Taf. III). Während im Simplon die anhydritführenden Schichten fast durchweg in vorteilhaft trockenem Zustande angetroffen worden sind, waren die analogen Schichten im Kehrtunnel von *Varzo* stark durchfeuchtet. In der „Galleria elicoidale di Varzo“ (vgl. Taf. I Fig. 4) ist die gipsführende Trias unter einer 500—1000 m mächtigen Decke von Antigorio-gneiss in ganz flacher, welliger Lagerung dreimal angefahren worden. (Vgl. A. Stella, *Cenni geologici sulle nuove linee di accesso al Sempione, Relazione sugli studi e lavori eseguiti dal 1897 al 1905. Soc. ital. p. l. Strade Ferrate del Mediterraneo. Roma 1906.*) Dieser Tunnel hat das Gebirge nahe der im Antigorio-gneiss liegenden Muldenumbiegung der Teggiolomulde durchfahren, an einer Stelle, deren Äquivalent im Simplontunnel ca. 200 m unter km 1 ab SP. liegen dürfte (vgl. Taf. II und III). Bemerkenswert ist es, dass die mächtigsten Wasserinfiltrationen jeweilen im Hangenden der gipsführenden, kalkig-dolomitischen Schicht (*strato giallo*) angetroffen worden sind. In der Triasschicht finden wir neben Ca SO⁴-haltigen Gesteinen (bis 47 %) auch gipsfreie, die in ihrer chemischen Zusammensetzung dem druckhaften Glimmerkalk der Druckpartie bei km 4460—4500 m ab SP. im Simplon genau entsprechen. Zirka 500 m vom Südeingang, bei einer Gebirgsüberlastung von ca. 400 m (Zone A—Stella) war dieses rauchwackeartige Gestein der Trias ausserordentlich druckhaft und bereitete dem Tunnelbau die grössten Schwierigkeiten. Die Sohle des Stollens quoll pro Tag um den Betrag von 30 cm.

Die wesentliche Bedingung für das Auftreten der *Bergschläge* (Brechen des Gesteins) einerseits, der *allseitigen Deformation* des Stollens andererseits, erblicke ich in der kombinierten Wirkung der petrographischen Eigentümlichkeit und der Art der Lagerung der Schichten. Steilstehende Schichten, quer zum Streichen durchfahren, sind standfest; nur die stark zerdrückten tonigen Kalkschiefer der „Eistenmulde“ zwischen km 4 und km 4,1 ab NP. mussten auf 41 m Länge von Hand gebohrt werden und erforderten starken Einbau. *Flachliegende*, grobbankige, homogene Gesteine zeigen Bergschläge, *flachliegende*, dünn-schichtige, tonige resp. glimmerreiche Gesteine zeigen Treiben bei einer gewissen Grösse der Überlagerung.

Den Gesteinen, die ich „*brechend*“ nenne, sind „Bergschläge, Gebirgsstoss usw.“ eigentümlich. Das spröde, kompakte, homogene Gestein stand vor Eröffnen des Stollens unter allseitig wirkendem Druck. An der neu angehauenen Stollenwand fehlt den randlichen Teilen der Gegendruck; die Konsistenz des Gesteins verhindert eine Zerteilung dieser Aussenschicht in kleinste Teile und Hineintreiben derselben als bewegliche Masse in den neu geschaffenen Hohlraum. Längs der gegendruckfreien Fläche dehnt sich das Gestein in einer wenig mächtigen Zone über dem festen Kern des Felsens aus und es entstehen die Pfeilerschüsse. — Die Gesteine, die ich „*treibend*“ nenne sind infolge ihrer weniger grossen Konsistenz von Ruscheln und Gleitflächen durchzogen, die Wirkung der Aufhebung des Gegendrucks besteht hier darin, dass die ganze Gesteinsmasse allseitig in den künstlichen Hohlraum hineindrängt, aufgelöst in Trümmer mit Rutschharnischen oder als breiförmige Masse, langsamer oder rascher, je nach der Konsistenz des Gesteines.

Es liegt nahe, die Art der Gesteinsdeformation in tiefliegenden Tunnel in Korrelation zu setzen zu der Mächtigkeit des überlagernden Gebirges. Dass tatsächlich die Grösse der Überlastung ein bedeutsamer Faktor ist für die Art der Resistenz der Gesteine an Ulmen, Sohle und First des Tunnels ist von vorneherein

zweifellos. Die Erfahrungen in allen Tiefbauten und ganz besonders diejenigen, die wir im Simplon erworben haben, zeigen nun aber zur Evidenz, dass für das mechanische Verhalten der Stollenwände in grossen Erdtiefen in weit grösserem Masse, als die Grösse der Gebirgsüberlastung, bestimmend sind die primäre Konsistenz und die Art der Lagerung der Gesteine.

Wollen wir die Einwirkung der Gebirgsüberlastung erkennen, so dürfen wir nur miteinander vergleichen gleichartige Gesteine, gleichartig liegend, in verschiedenen Tiefen unter der Oberfläche. Hierfür haben wir in der 4,3 km langen Strecke, die im Antigoriogneiss der Südseite des Simplontunnels angefahren worden ist, ein sehr lehrreiches Beispiel vor Augen. Wo über dem Triaskalk bei 4,365 ab SP., im Tunnel II., tunnelauswärts der Antigoriogneiss auf ca. 150 m Länge erst noch quer zur Tunnelaxe streicht und 40—50° SE. einfällt, sind keine Bergschläge vorhanden. Von km 4,1 ca. ab SP. nun bis zum Ausgang haben wir durchgehend den grobbankigen Antigoriogneiss flach SW. einfallend. Für diese Strecke ist die Korrelation der Deformation des Gesteines mit der Überlastungsgrösse zu untersuchen. Vom Südportal an bis auf 1,5 km Länge, bei allmählig zunehmender Überlastung bis zu 700 m, finden wir keine Gebirgsstösse; in dünn-schichtigen Gneissvarietäten brechen gelegentlich Platten aus der Firste. Bergschläge stellen sich nun ein auf 2,5 km Länge und zwar in immer grösserer Intensität mit der zunehmenden Überlastung; erst sind sie nur vereinzelt, dann von 2,5 km ab SP. an immer mehr kontinuierlich; unter dem Passo Posette, 1500 m unter der Oberfläche erreichen sie ihr Maximum. Ein zweiter Fall von direkter Korrelation zwischen Überlastungsgrösse und Gesteinsdeformation an der Tunnelwandung, wenn auch weniger evident, offenbart sich im Simplon. Die steilstehenden, grobbankigen Zweiglimmergneisse, bei km 6 ab NP. auf ca. 100 m Länge anstehend, zeigen Bergschläge bei einer Überlastung von 1200 m — die saiger stehenden, zwar nicht identischen aber doch analogen Gantergneisse zwischen km 4,1 und 4,4 ab NP. zeigen bei einer Überlastung von nur 700 m keine Bergschläge; schätzungsweise würden solche hier eintreten bei 1500—2000 m Überlastung. — Eine Analogie zu dem Verhalten des Antigoriogneisses im Simplon finden wir z. B. in den ober-schlesischen Kohlengruben: Obwohl das Kohl an sich in 500 m Tiefe ebenso hart ist, wie in den obern Sohlen, hat doch in diesen Tiefen, eben wegen der Spannung des Kohls, der blosser Hieb der Keilhauen einen grösseren Effekt.

Ausser petrographischer Beschaffenheit, Art der Lagerung und Überlastung ist nun aber für das Verhalten der Gesteine in der Tiefe noch ein weiteres Moment von Bedeutung. Die Bergschläge in sprödem, das Zusammengehen der Stösse und der Sohlenauftrieb in zertrümmerndem oder weichem Gestein haben wir zurückzuführen auf die durch den Anbau hervorgerufene partielle Auslösung innerer Spannungen des vorher unter allseitigem Druck stehenden Gesteines. Man spricht mit Recht von einem „Mechanismus der Gebirgsbildung“. Unter mächtiger Belastung sind die Gesteinsschichten tangential zusammengeschoben und übereinander getürmt worden. Die geologischen Profile zeigen, welches gewaltige Mass in der Region des Simplon diese hier von Süd nach Nord gerichteten Überfaltungen erreicht haben. Die innere Spannung, unter welcher die Gesteine im Berginnern derartig stark gefalteter Gebirgsstöcke stehen, dürfte in ihrer Verteilung in gewissem Grade noch abhängig sein von der Art und Intensität der gebirgsbildenden Dislokationen. An den Gewölbeumbiegungen z. B. muss die innere Spannung eine andere gewesen sein, als an den Gewölbeschenkeln. Hat dieselbe bis heute sich

ausgeglichen oder können wir annehmen, dass bei Anbau des Felsens in der Tiefe des längst zur Ruhe gekommenen Gebirges latente Spannungen sich auslösen, als deren Ursache der einstige faltende Tangentialschub angesehen werden muss? Der faktische Beweis für das Vorhandensein derartiger Energiereste wäre gegeben, wenn *ceteris paribus* (petrographische Natur, Lagerung, Überlastung) tektonisch stärker gestörte Gebiete stärkeren Sohlauftrieb und stärkeres Zusammengehen der Ulme einerseits, energischere Bergschläge andererseits zeigen würden, als relativ normal liegende. Wenn mir auch zur Entscheidung dieser Frage genügendes Beobachtungsmaterial nicht zur Verfügung steht, so scheint es mir doch sicher zu sein, dass für die Beurteilung der Resistenz des Felsens an irgend einem Punkt im Innern des Gebirges die dreifache Kenntnis der Überlagerungsgrösse, der petrographischen Beschaffenheit und der Art der Lagerung des Gesteines unter Umständen nicht genügen, sondern dass in einem vorläufig nicht genauer zu fixierenden Grade auch die Beziehung der zu prüfenden Stelle zum System der tektonischen Störungen im Gebirge in Betracht zu ziehen wäre.

Ganz abgesehen habe ich bis jetzt bei der Darlegung des Wesens der Gesteinsdeformation in Tiefbauen von mehr lokal, aber meist um so verhängnisvoller wirkenden Ursachen. Ich erinnere an die Kohlenstösse in sehr gasreichen Flötzen, an Ein- und Zusammenbrüche von Bauen im Haselgebirge, in Gips und Anhydrit, in Asphalt führenden Schichten usw. Ferner erwähne ich hier das Zusammenbrechen von tiefen Schächten in gasreichen, erdöhlhaltigen Schichten z. B. in Rumänien In Bohrlöchern durch wasser-, öl- und gasreiche, mergelige Schichten in den Petrolgebieten auf den Sundainseln und in Galizien bereiten intensive Verdrückungen der Bohrung schon in geringen Tiefen nur zu oft die grössten Schwierigkeiten, während bei den oberschlesischen Tiefbohrungen auf Kohle, in flachliegenden karbonischen Grauwacken und Kohlenflötzen bei der Diamantkernbohrung bis auf 1513 m (Czerwionka) und 2003 m Tiefe (Paruschowitz V.) *kein die Bohrung störender Bergdruck wahrgenommen worden ist*. Dass die Wandungen des Bohrloches in 1500—2000 m Tiefe standfest waren, während in demselben Gebirge schon bei 500 m Tiefe die Strecken zu Bruch gehen, erklärt sich durch die Tatsache, dass die Bruchchance sehr schnell zunimmt mit der Grösse der entblösten Fläche.

Im Simplon haben wir das Auftreten der sog. *Druckpartie* bei km 4,46—4,5 zurückzuführen auf die Durchträngung einer schmalen Zone durch tief hinabgreifende Tagewässer. In manchen Gebieten wird die Standfestigkeit des Felsens im Berginnern in sehr energischer Weise beeinflusst durch aufsteigende thermale Wasser und Dämpfe aus tiefliegenden Vulkanherden usw.

* * *

In seinem über den Simplontunnelbau abgegebenen Spezialbericht gedenkt Herr Ingenieur Lusser einer sehr bemerkenswerten Studie von Prof. A. Heim, betitelt „Tunnelbau und Gebirgsdruck“. (Vierteljahrsschrift der naturforsch. Gesellschaft in Zürich. L. 1905.) Dieser Aufsatz ist von C. J. Wagner in der Schweiz. Bauzeitung 1905 Nr. 1, 2, 3, 4 besprochen worden. Ich muss hier es darlegen, in wie weit die Untersuchungen im Simplontunnel die Anschauungen von Prof. A. Heim rechtfertigen. Ein Eintreten auf die genannte Publikation von A. Heim ist hier um so eher geboten, als derselbe mehrfach, namentlich auf Seite 18, 19 und 20 seiner Schrift, auch speziell die Verhältnisse im Simplon bespricht.

Zu den pessimistischen Schlüssen, die A. Heim vertritt, gelangt er durch die konsequente Durchführung seiner Theorie über die „latente Plastizität“ der Gesteine. Der allseitig auf die Gesteine wirkende Druck bedingt in erster Linie das Verhalten der Gesteine in der Tiefe; die „Schwerelast des Gebirges setzt sich in einer je nach der Gebirgs- (nicht Gesteins-) Festigkeit ungleichen durchschnittlichen Tiefe in einem allseitigen dem *hydrostatischen* Druck ähnlichen Gebirgsdruck mit Auftrieb um“. Die allgemeine Erscheinung, die allgemein wirkende Ursache verwischt die spezifisch differenten Eigenschaften der Gesteine. „Die Frage ist nicht: welches Gestein ist oder wird druckhaft, welches nicht, denn *alle* werden druckhaft“, — weil eben alle aus dem gleichen Grunde latent plastisch werden — aber doch auch nach der Meinung von A. Heim, nur so, dass *ein bestimmtes* Gestein mit zunehmender Tiefe sukzessive druckhafter wird, dass aber bei gegebener Tiefe *differente* Gesteine verschiedenartig druckhaft sich erweisen. (Vrgl. *Heim* Mechanismus der Gebirgsbildung T. II pag. 90).

Die Widerstandsfähigkeit der Gesteinsmasse gegenüber dem deformierenden Gebirgsdruck resultiert aus der Kombination von drei Bedingungen:

1. Schwerelast des überlagernden Gebirges (Überlastungsgrösse).
2. Rückwirkende Festigkeit des Gesteines (Gesteinsfestigkeit), bestimmt in der Festigkeitsmaschine.
3. Rückwirkende Festigkeit des Gebirges, resultierend aus der Struktur und Art der Lagerung des Gesteines in loco. (Gebirgsfestigkeit).

Meines Wissens führt *A. Heim* im Jahre 1905 in dem Aufsatz: „Tunnelbau und Gebirgsdruck“ zum ersten Mal den Begriff der *Gebirgsfestigkeit* gegenüber oder neben demjenigen der *Gesteinsfestigkeit* ein. Indem ich die Einführung dieses Faktors als einen beachtenswerten Fortschritt anerkenne, möchte ich doch die Eigenschaften der Gesteine, welche eben die Differenz zwischen Gebirgsfestigkeit und Gesteinsfestigkeit bedingen in etwas anderer Weise definieren, als *A. Heim* das getan hat, oder doch wenigstens den Begriff etwas näher beleuchten. Fast jede Felsmasse, so wie sie im Gebirge liegt, zeigt Richtungen verschiedener Kohäsion, die dem Gestein eigentümlich sind. Es kommen in Betracht die Schicht- oder Schieferungsebenen bei den Sedimenten, primäre Absonderungsflächen oder durch Gebirgsbildung entstandene Druckschieferung bei den massigen, eruptiven Gesteinen. Die Art und Weise, wie diese Teilungsflächen die rückwirkende Festigkeit des Gebirges in Tiefbauten bedingen, ist äusserst variabel. Die Schichtstellung ist von grösstem Einfluss; finden wir doch schon in der Festigkeitsmaschine mehrere hundert kg betragende Differenzen je nach dem wir die Druckfestigkeit parallel oder senkrecht zur Schichtung prüfen. Die Gebirgsfestigkeit bestimmen wir empirisch, d. h. wir beobachten bei welcher Tiefe der Gebirgsdruck anfängt grösser zu werden, als die Gebirgsfestigkeit, bei welcher Tiefe sich Deformationen einstellen. Für den Antigoriogneiss im Simplontunnel z. B. nehmen wir die Grenze der Gebirgsfestigkeit da an, wo die Bergschläge die Sicherheit der Ulme gefährden. Bei Annahme von ca. 1000 m Überlagerung und 2,65 spezifischen Gewichts des Antigoriogneisses erhalten wir für *Gebirgsfestigkeit* ca. 250 kg, während die *Gesteinsfestigkeit* mindestens 1000 kg beträgt.*) Würden die Schichten jedoch nicht horizontal liegen, sondern steilstehend, quer zur Tunnelwandung streichend, angefahren werden, so würden wir eine viel grössere Gebirgsfestigkeit, eventuell weit über 1000 kg finden. Die

*) Die Druckfestigkeit des Antigoriogneisses aus dem Rovalesteinbruch bei Iselle wurde, senkrecht auf die Schichten, zu 1700 kg ermittelt.

rückwirkende Festigkeit der Gebirgsmasse ist durchaus nicht immer *geringer* als die rückwirkende Festigkeit des Gesteins. Sie ist bei den steilstehenden Kalkphylliten im Simplon, unter Rosswald, bei 1000 m Überlastung entschieden grösser, als man es nach der Beschaffenheit des Gesteins an der Oberfläche erwarten würde, hat doch *F. M. Stapff* über die zu erwartende Standfestigkeit gerade dieses Terrains sich sehr pessimistisch geäussert (*Zeitschrift für Anatomie und Physiologie* 1879. Physiologische Abteilung pag. 133). — Die Schiefertone der Opalinusschichten im Jura zeigen sehr geringe Druckfestigkeit. Im Weissensteintunnel sind dieselben an drei Stellen auf die Gesamtlänge von 400 m durchfahren worden, bei einer Gebirgsüberlastung von 500 m. Überall haben sie sich in prachtvollster Weise standfest erwiesen. Bei 500 m Überlastung und 2,5 spezifischem Gewicht der Mergel, erhalten wir für die *Gebirgsfestigkeit* mindestens 125 kg, während die *Gesteinsfestigkeit* nicht 20 kg beträgt. Ähnlichen Verhältnissen begegnen wir im Rickentunnel.*)

Indem ich vorläufig die Frage nach der „latenten Plastizität“ nicht berühre, sondern nur allgemein die Druckhaftigkeit der Gesteine in Tiefbauen, so wie wir sie tatsächlich beobachten ins Auge fassen, muss ich gegenüber den Ausführungen von *A. Heim* in erster Linie hervorheben, dass die Relation in der Wirksamkeit der drei die Druckhaftigkeit des Gesteines im Tiefbau bedingenden Faktoren von Fall zu Fall ausserordentlich variabel ist. Der „ungemessene Hauptfaktor“, die *Gebirgsfestigkeit* tritt uns bis zu den grössten bis jetzt erreichten Tiefen in grösster Mannigfaltigkeit der Erscheinung determinierend entgegen. Wir sind aber hier keineswegs auf „Schätzung auf Grundlage unseres Gefühles“ angewiesen, sondern allein auf möglichst ausgreifende und möglichst genaue Beobachtungen in Tiefbauen. Während wir unter Umständen bei gleichartigem, ruhig liegendem Gebirge (vrgl. oben: Flötze in Oberschlesien) tatsächlich in der sukzessive abnehmenden Resistenz schon bei relativ geringer *Tiefenzunahme* (bis 600 m) den Einfluss der Gesteinsüberlastung nachweisen können, lässt sich in andern Fällen nicht die geringste Deformation der Stollenwandungen nachweisen, oder die Deformation tritt ganz unabhängig von der Tiefe ein. In dem Bericht der nach Nordfrankreich und Belgien entsandten Mitglieder der preussischen Stein- und Kohlenfall-Kommission (Heft V pag. 425) heisst es ausdrücklich: „Von der Zunahme des Drucks mit der Teufe konnten sichtbare Beweise nicht erbracht werden.“ Es handelt sich hier um Teufenunterscheide von 200—800 m. Die Kohlen in Oberschlesien, die Kohlen in Belgien und Nordfrankreich mögen wohl annähernd eine gleich grosse Gesteinsfestigkeit haben, die *Gebirgsfestigkeit* steht aber zu der zunehmenden Schwerelast des Gebirges bei den horizontal liegenden Flötzen Schlesiens in ganz anderem Verhältnis als bei den meist steil aufgerichteten, intensiv gefalteten, zusammengepressten Flötzen in Belgien und in Nordfrankreich. — Ich habe z. B. die Stollen der alten Goldbergwerke am Monte Rosa (Pestarena, Alagna) befahren; an den Wandungen der im Gneiss angefahrenen, seit Jahrhunderten verlassen Stollen ist keine Spur von Deformation zu erkennen, obwohl dieselben bis 1600 m tief unter der Oberfläche liegen. Ich bin überzeugt, dass wenn wir alle Tiefbaue der Erde prüfen würden, wir aus den Beobachtungen keine allgemeine direkte Abhängigkeit zwischen Grösse der Überlastung und Intensität der Druckhaftigkeit finden könnten. Nicht weil nicht

*) Nach *A. Heim* (*Mechanismus* I, II, p. 91) sehen wir Stollen in weichen Sandsteinen und Tonschiefern schon 300 m unter der Oberfläche sich schliessen. Der die Opalinuszone im Weissenstein durchführende Tunnel wird nach *A. Heim* auf die Dauer ohne Sohlengewölbe nicht haltbar sein.

allgemein die Druckhaftigkeit mit der Überlastungsgrösse zunimmt, sondern weil eben die beiden andern von Ort zu Ort variierenden Faktoren, die Gesteinsfestigkeit und die Gebirgsfestigkeit, welche die Druckhaftigkeit mitbedingen, bis zu den erreichten Tiefen in allzu dominierender Weise bestimmend sind.

Seit den Zeiten von Athanasius Kircher (geb. 1602) gilt das Gesetz, dass die Erdwärme mit der Tiefe zunehme; die Zunahme der Druckhaftigkeit der Gesteine mit der Tiefe kann in ähnlicher Weise als Postulat gelten. Wir sehen aber und zwar ganz besonders deutlich im Simplon, dass, abgesehen von lokalen Ursachen, wie Wasserführung usw., die Temperaturzunahme nicht nur durch die Überlastungsgrösse, sondern auch durch den Wärmeleitungskoeffizient der stofflich verschiedenartigen Gesteinsmassen einerseits, durch die Schichtstellung derselben andererseits bedingt werden. *) Auch hier haben wir die Wechselwirkung von drei Faktoren: den Wärmeleitungskoeffizient parallelisieren wir mit der Gesteinsfestigkeit, die Schichtstellung mit der Gebirgsfestigkeit. Im allgemeinen ist bei der normalen Wärmezunahme die Überlastungsgrösse in stärkerer Weise der dominierende Faktor, als bei der Zunahme der Druckhaftigkeit.

Wie sehr von seiten der Ingenieure, bei der Beurteilung der Druckhaftigkeit als wesentlicher Faktor für die „Gebirgsfestigkeit“ die Schichtstellung in Betracht gezogen wird, zeigt folgende interessante, den Simplon betreffende Äusserung von *J. C. Wagner*: „Nach den uns Experten vorgelegenen geologischen Gutachten sind wir zu folgendem Schluss gekommen, den ich auch noch heute vollkommen aufrecht halte: „Der vorgesehene Abstand von 17 m zwischen den Achsen der beiden Paralleltunnel ist genügend, da aus den geologischen Aufnahmen hervorgeht, dass die Schichten vorherrschend ein nahezu senkrechtcs Streichen zur Tunnelachse aufweisen. Es kann somit eine ungünstige gegenseitige Beeinflussung der zu schaffenden Hohlräume in der Achsendistanz von 17 m, selbst wenn die Gesteinsverhältnisse ungünstige wären, bei der nötigen Vorsicht im Ausbau derselben nicht stattfinden.“**) — Ich bin überzeugt, dass wenn Herr *J. C. Wagner* die tatsächlich vorhandene Schichtlage innerhalb Valgrandgneiss, Vegliamulde und Lebendungneiss auf den zentral gelegenen 7 km des Tunnels jetzt in Betracht zieht, er sich weniger zuversichtlich hinsichtlich des Genügens des Abstandes von 17 m aussprechen wird.

* * *

Die beiden Haupttypen der Gesteinsdeformation, die wir als Äusserung des Gebirgsdruckes im Simplon unterschieden haben, das treibende und das brechende Gebirge, kennt und erwähnt auch *A. Heim* in seiner Schrift: Tunnelbau und Gebirgsdruck, ohne aber auf deren Differenz besonders Gewicht zu legen.

1. *A. Heim* schreibt: „Es entstehen (daher) überall Kraftkomponenten in der Richtung der Gesteinsfugen selbst, diese überwinden die Reibung allmählich, öffnen die Ablösungsstiche weiter, verschieben die vielfach keilförmigen Gesteinsblöcke und drängen sie tunnelwärts“ (pag. 8). Wir haben es hier zu tun mit durch Gebirgsdruck erzeugten, scherenden Spannungen, Umformung des Gesteines durch

*) Vgl. *Jannetaz*: Bull. soc. geol. 3 sér. t. IV. p. 553. — Compt. rend. Congr. internat. de Geologie à Paris p. 222.

**) Herr Prof. Dr. C. Pressel in München schreibt mir: „Auch ich bin der festen Überzeugung, dass der Abstand von 17 m von Achse zu Achse genügt hätte, wenn wir die Schichten querschlägig und mit einem Einfallen angetroffen hätten, wie es das „offizielle“ geologische Profil angibt.“

Bruch (Mechanismus der Gebirgsbild. T. II pag. 24/25). Diese Umformung setzt vom Tunnelhohlraum allseitig tief ins Gebirge hinein. Die Zertrümmerung des Gesteines kann älter sein, als die Tunnelöffnung; sie ist eine Folge der gebirgsbildenden Dislokation der Gesteine, in ihrer Erscheinungsform bedingt durch deren petrographische Natur. Die ganze Masse drängt kontinuierlich allseitig dem Hohlraum zu; unter dem stetig wirkenden Druck wird das Gestein an den Stössen nicht nur stetig in den Tunnel hineingepresst; die Stösse selbst gehen zusammen; Sohlenauftrieb stellt sich ein. Der Holzeinbau wird verdrückt, und sogar im fertig ausgewölbten Tunnel gehen die Widerlager zusammen.*) — Alle diese Erscheinungen führen wir zurück auf durch Gebirgsdruck erzeugte *Umformung der Gesteine mit Bruch*, die je nach Art und Lagerung des Gesteins und je nach der Grösse der Überlastung für den Bau und den Bestand des Tunnels verhängnisvoll in Wirkung tritt. — Wenn wir auch als in erster Linie bestimmendes Moment für das „Treiben“ der Schichten im Simplon die petrographische Natur und die Schichtlage der betreffenden Gesteine erkennen, so müssen wir doch auch die Korrelation dieser Erscheinung mit der Überlastungsgrösse prüfen. Tatsächlich finden wir eine Koinzidenz zwischen beiden die Gesteinsumformung begünstigenden Momenten im Simplon. Flache Schichtlage und je nach der Gesteinsart „Treiben“ oder „Brechen“ finden wir kontinuierlich in der 7,5 km langen Mittelzone des Tunnels von km 7,3 der Nordseite bis km 5 der Südseite (vgl. Taf. I Fig. 2, Taf. III). Die mittlere Gebirgsüberlastung auf dieser Strecke ist grösser als die nördlich und südlich davon vorhandene und kann auf 1600 m angenommen werden. Die am meisten treibenden Stellen finden sich aber einerseits im Valgrandgneiss bei km 9 ab NP., und bei km 8—8,5 ab SP. je 2200 m unter der Oberfläche. Zwischen diese beiden Gebiete maximalsten Gesteinsdruckes, schiebt sich eine ca. 1000 m lange Strecke nicht treibenden sondern nur brechenden Gesteines, mit persistenten Klüften, ein, die nur 1500 m unter der Oberfläche liegt — entsprechend der Depression des Aurona-Gletschers.

Eine zwar merkliche aber doch nicht sehr markante Differenz in ihrer petrographischen Beschaffenheit zeigen die brechenden Bündnerschiefer bergwärts km 9,15 ab SP. gegenüber denjenigen, die tunnelauswärts auf 2 km Länge treibend sind. Die Orientierung auf der Karte mit Hilfe der geologischen Profile zeigt deutlich, dass auf der treibenden Partie des Valgrandgneisses bei km 9 ab NP. die ganze Masse des italienisch-schweizerischen Grenzkammes lastet, während über den treibenden Bündnerschiefern bei km 8 ab SP. die Masse des Monte Leone liegt, je in ca. 2000 m Mächtigkeit und zwar in beiden Fällen so, dass, wie Taf. III deutlich zeigt, die Punkte grösster Massenerhebung in beiden Fällen je senkrecht zu den gegen NW einfallenden Schichtflächen über den Stellen stärksten Druckes im Tunnel liegen. Ziehen wir fernerhin das geologische Profil nicht nur in der Richtung parallel der Tunnelachse, sondern auch dasjenige senkrecht dazu, von km 8 ab SP. aus z. B., in Betracht, wie es auf Fig. 22 dargestellt ist, so sehen wir, dass

*) Ich möchte es hier besonders bemerken, dass uns keine Angaben über sukzessiv sich entwickelnde Verkürzung des Abstandes der beiden Widerlager im Tunnel I des Simplon zur Verfügung stehen. Es ist aber immerhin von Bedeutung, dass tatsächliches Zukurzsein dieses Abstandes bis zu 24 cm, zugleich mit Verdrückungen von Gewölbesteinen nur da beobachtet wird, wo wir stark treibendes Gebirge finden. Kontrollmessungen der Widerlagerdistanz sind nur, wenigstens bis Ende 1905, auf der 42 m langen Strecke der Druckpartie auf der Südseite (ab 4450 m v. SP.) gemacht worden und hier liessen sich nicht die geringsten Formveränderungen wahrnehmen.

auch hier senkrecht zu den von der druckhaften Region bei km 8 ab SP. gegen SW sich senkenden Schichten, die Gebirgsmasse bis zu 3000 m Mächtigkeit sich auftürmt. — Wie in einer 2000—3000 m dicken Kalotte eingeschlossen, im Druck- und Wärmezentrum liegend, erscheinen die Kalkschiefer im Tunnel bei km 8 ab NP. Trotzdem finden wir keine latente Plastizität der Gesteine und in der Art der Druckhaftigkeit erscheint noch jede petrographische Differenz zum Ausdruck gelangend.

2. Ganz ähnlich wie in seinen ältern Publikationen (Mechanismus T. II pag. 89 und 105, Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft 1880 pag. 269) spricht *A. Heim* auch in seiner neuen Arbeit „Tunnelbau und Gebirgsdruck“ von „Bergschlügen“ überhaupt nicht. Dass er die Erscheinung kennt, entnehmen wir aus folgendem Satz: Es werden abgetrennte Stücke knisternd in den Hohlraum gestossen (pag. 5). Nach der Anschauung von *A. Heim*, die ich hier wiederzugeben versuche, soll da, wo an der Tunnelwand Bergschlag eintritt, in demselben Gestein bergewärts Plastizität durch Druck herrschen, indem das Gestein bruchlos gegen den Hohlraum hin einbiegt. Da das an und für sich spröde Material vor der

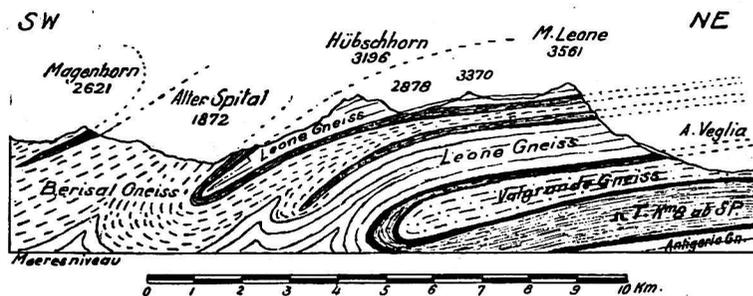


Fig. 22.

Durchörterung unter allseitigem Druck stand, hatte es seine Brüchigkeit verloren; nach der Durchfahrung erweist sich nun aber an der steifen Tunnelwand das Gestein durchaus spröde d. h., eben noch plastisch, wird dasselbe infolge einseitiger Aufhebung des Druckes sofort starr, während der innere Kern des Gebirges, noch allseitig gedrückt, plastisch bleibt. Wie weit bergewärts erstreckt sich diese steife Randzone um den Tunnel, wo beginnt der plastisch gedrückte Kern? Nach *Heim* kann diese Schutzzone nicht allzu dick sein, denn der Hohlraum des Stollens muss ja noch ansaugend auf den plastischen Kern wirken können. — Wäre es möglich, z. B. in ein unter dem Druck von 2000 kg/qcm befindliches, plastisch umgeformtes Stück Steinsalz, eine zylindrische Höhlung zu bohren, so müssten die Wandungen dieser Höhlung Absplittern zeigen, und erst aus dem Innern des Steinsalzkörpers heraus würde das Steinsalz „plastisch nach der Höhlung einbiegen“. *F. Rinne* hat Steinsalz und Sylvin unter allseitigem Druck plastisch umgeformt (Neues Jahrbuch für Mineralogie usw. 1904 Bd. I pag. 114), und bemerkenswert ist die Tatsache, dass die plastische Deformation des Steinsalzes ohne Erzeugung innerer Spannungen sich vollzogen hat; das vollständig wasserhelle, dauernd deformierte Steinsalz zeigt bei optischer Untersuchung zwischen gekreuzten Nicols und unter Anwendung eines Gipsblättchens von Roth I Ordnung keine Spur von anomaler Doppelbrechung. Das supponierte Experiment dürfte schwerlich im Sinne der *Heim'schen* Anschauung ausfallen. — Dafür dass in Tiefbauen irgendwo eine Kombination von spröder Stollenwand und plastischem Gebirgskern sich findet, besitzen wir in der praktischen

Erfahrung nicht die geringsten Anzeichen. Nach allen Wahrnehmungen tritt die Erscheinung der Bergschläge nur ein bei maximalster Sprödigkeit des Gesteines und irgend eine Bewegung der dahinter befindlichen Massen wird ausdrücklich in Abrede gestellt. Schlagen einerseits, Drücken andererseits des Gesteines am Hohlraum schliessen sich aus; niemals wird in schlagendem Gestein kontinuierlicher Sohlenauftrieb beobachtet, auch das Hangende bleibt durchweg unversehrt. — Als Resultat meiner Untersuchung ergibt sich, dass die Erscheinung der Bergschläge durchaus ungezwungen und ohne Widerspruch mit den konstatierten Tatsachen sich erklären lässt, ohne dass im Gebirge Druckgrössen angenommen werden müssen, die auch nur eine Annäherung an latent plastischen Zustand der Gesteine bedingen. Ich muss allerdings davon absehen, den streng physikalisch durchgeführten Beweis zu geben dafür, dass die gegenteilige Anschauung von A. Heim unter keinen Umständen zu Recht bestehen kann. *F. Auerbach* (Annalen der Physik und Chemie 1891 Bd. 43 pag. 61 und 1892, Bd. 45 pag. 272) bespricht ein Verhalten von Flussspath, Kalzit und einer gewissen Glassorte bei hohen Drucken, das für eine Kontinuität des Übergangs zwischen Plastizität und Sprödigkeit sprechen dürfte.

* * *

Wir haben gesehen, dass der Tunnel als künstlicher Eingriff in die innere Mechanik der Gebirgsmasse bedingt einerseits *allseitige Druckhaftigkeit* in relativ duktilen, dünn-schichtigen Gesteinen infolge Umformung mit Bruch, andererseits „*Bergschläge*“ an den Stössen spröder, dickbankiger Gesteine infolge partieller Gleichgewichtsstörung der innern Spannungen des Gesteines. Irgendwelche Erscheinungen, die auf latent plastischen Zustand des Gesteines, auf in demselben herrschenden hydrostatischen Druck hinweisen, wurden tatsächlich nicht beobachtet.

Im Mechanismus der Gebirgsbildung Bd. II, pag. 91, 106 und 107 setzt A. Heim auseinander, dass wenn seine Theorie vom Gebirgsdruck und der mechanischen Umformung der Gesteine richtig sei, in einer gewissen Tiefe keine offenen Spalten im Gebirge mehr möglich seien. Die obere Grenze dieser Tiefe würde liegen in granitartigem Gneiss z. B. bei 2200—2600 m, entsprechend höher für Kalkstein, Sandstein, Tonschiefer usw. Im Gebirge dürfen wir als Betrag der Überlastung nicht einfach die Grat- oder Gipfelhöhe über dem Tunnel annehmen; durch das sogenannte Massennivellement, Zurückführung der pyramidalen Bergformen auf die Höhe eines entsprechenden Gesteinsprismas, erhalten wir den Betrag der durchschnittlichen Belastung. *F. M. Stapff* hat im Gotthardtunnel offene Kristalldrüsen beobachtet bei ca. 5000 m ab SP, unter dem 2715 m hohen Greno di Prosa, entsprechend einer 1550 m dicken mittleren Gebirgsdecke über dem Tunnel, ferner bei 7377 m ab NP, unter 1646 m Gebirgsdecke. Das Gestein ist beiderorts ein glimmerreicher, feinkörniger Gneiss, der nach der Theorie etwa bei 1500—1800 m Überlastung latent plastisch sein sollte. Im Parallelstollen des Simplon sind heute noch saiger stehende, weit ins Gebirge hineinsetzende offene Klüfte sichtbar in den flach NW fallenden, marmorigen Bündnerschiefern bei km 10,1—10,55 ab NP. Die Klüfte setzen von dem einen Stollen in den andern über. Auf ihnen treten die heissen Quellen zutage, sie setzen sich somit durch das ganze Gebirge hindurch fort; andere Klüfte, bis 0,5 m breit klaffend (z. B. km 10,34 ab NP im Parallelstollen) sind trocken und ihre Wandungen sind mit einer Kruste von Kalzitkristallen überkleidet. Ohne das „Massennivellement“ genau durchzuführen, können wir wohl die Dicke der drückenden Gesteinsdecke zu ca. 1800 m annehmen (vgl. Taf. III und Taf. I Fig. 2); von km 8 ab SP nach der Spitze des Monté Leone

gemessen, erhalten wir sogar 3000 m Überlastung (Fig. 22). Nach A. Heim (Mechanismus T. II, pag. 91) müssen wir einen Stollen in Kalkstein unter 1100 bis 1800 m sich schliessen sehen. — Wenn diese Konstatierungen von seit ungezählten Jahrtausenden persistenten Hohlräumen im Gotthard und im Simplon einerseits darauf hinweisen, dass die von A. Heim seinerzeit angenommenen Tiefen für das Eintreten der latenten Plastizität in verschiedenartigen Gesteinen zu gering sind, so beweisen sie andererseits mit absoluter Gewissheit, dass in diesen Tiefen gegendrucklose Punkte tatsächlich vorhanden sind und dass im Gestein hydrostatischer Druck irgendwelcher Art hier nicht sich geltend macht. Wir kommen zu dem Schluss, dass die Existenz des Simplontunnels durch die latente Plastizität der Gesteine in keiner Weise gefährdet ist.



III. Plastizität der Gesteine durch Druck.

Die von *A. Heim* in seinem Werke „Mechanismus der Gebirgsbildung“ im Jahre 1878 dargelegten Anschauungen über Gebirgsdruck haben für die geologische Wissenschaft in hervorragender Weise fruchtbringend gewirkt; sie haben der Forschung neue Wege gewiesen. Das Phänomen der Gebirgsbildung im Grossen wird verständlich gemacht, so wie es dem Autor selbst sich offenbart hat, auf Grund strengster Detailbeobachtung in der Natur. Die nach vielen Seiten hin durchgeführte Verallgemeinerung der Untersuchungsergebnisse über den geologischen Bau der Tödi-Windgällengruppe fusst in unabweisbarer, bestrickender Logik auf einer bestimmten Anschauung über das Verhalten der Gesteine während der Gebirgsbildung. Während die gewissen Schulmeinungen entgegneten Darlegungen von *A. Heim*, bezüglich Bau und Entstehung der Gebirge (Passivität der Eruptivgesteine z. B.) kurze Zeit vorher in dem Werk von *Ed. Suess* über die Entstehung der Alpen (1875), ferner in den viel weniger bekannten Untersuchungen von *H. Magnan* über die Pyrenäen und die Corbieren (Mem. soc. géol. de Fr. 1874) gewisse Vorläufer haben, ist die Vertiefung des Problems bis ins petrographische und mechanische Detail vor *A. Heim* in gewisser Weise durch den Jurageologen *Jules Thurmann* versucht worden. (Vgl. *J. Thurmann*. Essai d'orographie jurassique. Oeuvre posthume 1856). *J. Thurmann* geht von dem Postulat aus, dass die Gesteine zur Zeit ihrer Faltung in einem bestimmten Zustand der Weichheit sich befinden haben müssen. Dieser Zustand der Gesteine nennt er „Pelomorphismus“ und er fragt sich, ob dieser Zustand der Gesteine „n'a fait que se perpétuer depuis l'origine des terrains jusqu'au moment des dislocations, ou si, après avoir cessé, il a pu être ramené par des causes quelconques“. Nach *Thurmann* ist die definitive Soldifikation des Gesteines erst nach der Gebirgsbildung (Faltung) eingetreten. Es ist in der Tat wahrscheinlich, dass gewisse Deformationserscheinungen, wie Stylolithen, ferner plattgedrückte Zephalopodenschalen in der norddeutschen Kreide usw. auf Druckwirkungen in unverfestigten, tonigen oder kalkigen Schichten zurückzuführen sind. (Vgl. *A. Rothpletz* Über eigentümliche Deformation jurassischer Ammoniten durch Drucksuturen und deren Beziehungen zu den Stylolithen. Sitzungsberichte der math.-phys. Kl. d. k. bayr. Akad. d. Wissenschaften 1900, Bd. XXX, Heft 1).

A. Heim legte im „Mechanismus der Gebirgsbildung“ mit überzeugender Klarheit dar, dass die Gesteine bei der Gebirgsbildung die intensivsten Umformungen erfahren haben — durch Bruch und bruchlos — längst nach ihrer Verfestigung und als die „cause quelconque“, die vor allem die bruchlose Umformung ermöglichte, erkennt er die Überführung der Gesteine in „latent plastischen“ Zustand infolge des allseitig wirkenden Gebirgsdruckes.

Die einlässlichen Darlegungen *A. Heims* und die daraus gezogenen Konsequenzen sind sofort der Gegenstand lebhafter Erörterungen geworden. Mannigfache, zum Teil vollbegründete Bedenken gegen die *Heim'sche* Lehre haben namentlich *Stapff*, *Pfaff*, *Gümbel*, *Rothpletz* und andere mehr erhoben (vgl. z. B. *W. Gümbel*. Geognostische Mitteilungen aus den Alpen. Sitzungsber. d. math.-phys. Kl. d. k. bayr. Akad. d. Wissenschaften, 3. Juli 1880, pag. 596—623). Es ist hier nicht der

Ort auf alle die weitem Untersuchungen einzutreten, die seit 1878 über die Frage des Verhaltens der Gesteine unter hohen Drucken angestellt worden sind. Nur auf einige wesentliche Punkte muss ich aufmerksam machen und besonders darauf hindeuten, dass *A. Heim* nicht berechtigt war, unter Hinweis auf die nicht genügende Vertiefung seiner Fachgenossen in die Mechanik der festen Körper, in autoritativer Weise seine Lehren von vor bald 30 Jahren unverändert zu wiederholen und denselben die weitgehendste Bedeutung in Fragen des Tunnelbaues beizumessen. In allen petrographischen und allgemein geologischen Lehrbüchern und Abhandlungen äussern sich heutzutage die Autoren äusserst reserviert über latente Plastizität und bruchlose Faltung der Gesteine in der Tiefe. „Beide Theorien dürften heute kaum mehr viele Anhänger zählen.“

Die „latente Plastizität“ im Sinne von *A. Heim*, war in erster Linie notwendig, um die scheinbare bruchlose Umformung der Gesteine begreiflich zu machen und zwar soll dieser Vorgang ein rein mechanischer sein. Die tausendfältige mikroskopische Untersuchung der im Gebirge am intensivst gepressten Gesteine zeigt durchweg Zermalmung in erster Linie, dann bei Drucksteigerung chemische Auflösung und bei Druckerniedrigung Auskrystallisation der Gemengteile. Neben der Wirkung erhöhten Druckes, tritt diejenige erhöhter Temperatur und lösender Agentien ganz besonders in Wirkung. An Stelle rein mechanischer Vorgänge, treten chemische d. h. es entstehen erst Lösungen und dann Auskrystallisationen, die zur Entstehung neuer Verbindungen führen können. Man hat diese Umwandlungen im Gestein als „Dynamometamorphose“ bezeichnet und wenn wir auch über das Wesen dieser Erscheinung trotz eingehendster Forschungen noch keineswegs genügend aufgeklärt sind, so ist es doch sicher, dass die heutige Petrographie die bruchlose, rein mechanische, latent plastische Umformung der Gesteine nirgends zu finden vermag.

Dass die mechanischen Deduktionen von *A. Heim* theoretisch einwandfrei sind, kann kaum bestritten werden.*) Wir stellen nur in Abrede, dass die Anwendungen derselben auf das Verhalten der aus sehr verschiedenartigen Mineralien bestehenden Gesteine im durchaus nicht homogenen Gebirgskörper so schematisch einfach durchgeführt werden dürfen, wie *A. Heim* das tut. Wie gewisse einfache Substanzen (Mineralien) unter hohem Druck plastisch werden, wissen wir durch Beobachtung in der Natur und durch Experimente. Der Eiskrystall des Gletschers mit einer Druckfestigkeit von 21,72 kg per cm², wird plastisch bei einem Druck von 2—6 Atm. — Versuche über die Plastizität der Metalle bei hohen Drucken hat *H. Trecca* schon im Jahre 1868 angestellt (comptes rendus LXVI, 1868. LXVIII, 1869); nach *F. Kick* (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure Bd. XXXVI, 1892 pag. 919) werden die Metalle prägar und zwar: Blei bei rund 1600 Atm., Aluminium bei rund 11000 Atm., Kupfer bei rund 12000 Atm. und Eisen bei rund 13000 Atm. Druck. — Während *F. Rinne* (Neues Jahrbuch f. Min. 1903 I.) keine Plastizität von *Marmor* (Druckfestigkeit ca. 1200 kg) erhielt bei einem Druck von 1200 kg/qcm, entsprechend einer Gesteinslast von 5000 m Höhe, konnten *F. D. Adams* und *J. T. Nicholson* (Philos. Transact. 1901, 195 A) bei einer Temperatur von 300—400 Grad und einem 124 Tage lang einwirkenden Drucke von 10,652 lbs per sq. inch. = 750 kg/qcm, entsprechend einer Gebirgslast von 3000 m, den *Marmor* plastisch deformieren. Sehr schöne plastische Umformungen des Steinsalzes hat *F. Rinne* (Neues Jahrb. f. Min. 1904 II) bei einem

*) Vgl. nach *Ostwald*. Lehrbuch der allgemeinen Chemie II. 2., Verwandtschaftslehre I, Erster Teil p. 391/92. Leipzig 1896—1902.

Druck von 2000 kg/cm² erzielt.*) *F. Auerbach* (Annal. d. Physik und Chemie Bd. 45 1892) hat auch die Plastizität des *Flussspathes* nachgewiesen gegenüber Druckwirkungen, bei denen Glas und Quarz sich als spröde erweisen. Die Druckversuche an Quarz, Diopsid Feldspath etc. haben bis jetzt nicht zu Plastizität, sondern nur zu Zertrümmerung geführt. Es liegen aber allerdings Beobachtungen vor über das Auftreten von *Quarz* in Gesteinen (Verrucano der Glarneralpen, konglomeratische Sandsteine des schottischen Hochlandes etc.), welche anscheinend nur durch Annahme von homogen plastischer Deformation erklärt werden können, wobei allerdings die Frage berechtigt ist, inwieweit nicht kurzdauernde Lösung und Umkrystallisation, also Plastizität in Gegenwart von Lösung unter hohem Druck bei erhöhter Temperatur in Frage kommen. Nach den berühmten Versuchen von *Spring* (Bull. de l'Acad. d. Belgique — Sciences — 1899 pag. 794) ist Quarz bei einem Druck von 10000 Atm., entsprechend 40 km Überlastung, nicht schweisssbar. — In zusammengesetzten Gesteinen (Gneiss, Granit etc.) ist eine homogene plastische Deformation bei bestimmtem Druck undenkbar, ganz einfach deshalb, weil die verschiedenen Mineralien gegenüber der Pressung ganz verschiedenes Verhalten zeigen. Neuerdings hat *F. Rinne* gezeigt, wie nebeneinander vorkommende, nahverwandte Mineralien, nämlich Steinsalz, Sylvin und Carnallit, ganz verschiedenartigen Grad der Umformung unter allseitig wirkendem Druck zeigen.**)

Die Prüfung des Problemes der Plastizität der Gesteine zufolge des Gebirgsdruckes führt uns zu der Einsicht, dass wenn wir auch annehmen können, dass tatsächlich in gewissen Tiefen der Erdkruste das Gestein unter hydrostatischem Druck allgemein plastisch sich verhält, die von A. Heim supponierten Tiefen viel zu gering sind. Welche Drucke notwendig sind, um spröde Silikate plastisch (schweisssbar) zu machen, wissen wir nicht. Die Experimente von Adams und Nicholson zeigen welche bedeutsame Rolle neben Druck auch der Temperatur zuzuweisen ist. Bei einer mittlern Belastung von 3000 m = ca. 800 Atm. Druck sollen nach A. Heim alle Gesteine plastisch sein. Auf Grund weitgehendster Darlegungen kommt *Van Hise* (A Treatise on Metamorphism pag. 190) zu der Annahme, dass die latente Plastizität (zone of flowage) erst in Tiefen von 10000 bis 12000 m eintrete, *Döller* (Petrogenesis pag. 186) meint sogar, dass die allgemeine Plastizität sämtlicher Gesteinselemente Drucke erfordern müssten, bei erhöhter Temperatur, wie sie kaum durch eine 35 km mächtige Gesteinsschicht hervor gebracht werden könnten.

Abgesehen von physikalischen Überlegungen gibt uns die Prüfung der Frage, bis in welchen Tiefen die Existenz persistenter Hohlräume beobachtet worden ist oder aus geologischen Gründen gefordert werden muss, einen wichtigen Anhaltspunkt zur Prüfung der Frage, bis in welche Tiefen das Gestein rigid ist. Die Tatsache des Vorhandenseins klaffender Klüfte einerseits im Simplon, in Kalkschiefern 3000 m unter der Oberfläche in nächster Nähe einer druckhaften Zone, andererseits im Gotthard in glimmerreichen Gneisen 2700 m unter der Oberfläche, ist von einer fundamentalen Bedeutung, die durch keine Umdeutungen abgeschwächt werden kann. Gegen die Darlegungen von A. Heim (Mechanismus pag. 107 bis 110), dass weder Thermen noch vulkanische Schlote die Existenz leerer klaffender Spalten bis in die Tiefen von unter 2200—2600 m erfordern, ist a priori nicht viel einzu-

*) Plastisches Verhalten des Steinsalzes bei der Schichtfaltung hat *A. v. Koenen* in norddeutschen Salzbergwerken nachgewiesen (Nachr. d. K. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen. Math.-phys. Kl. 1905, Heft I).

**) Vgl. Festschrift *Ad. v. Koenen* p. 369. — Schweizerbart, Stuttgart 1907.

wenden. Leider erhalten wir durch das Studium der *Erzgänge* auch keine bestimmten Anhaltspunkte über ihre maximalste Tiefe. Die drusige, gebänderte oder brecciöse Struktur der Gangfüllung lässt sich nur erklären durch die Annahme einer präexistierenden mehr oder weniger offenen Spalte. Die Tatsachen zeigen nur, dass man auch bei den bis in die maximalste Tiefe von ca. 1500 m angefahrenen Gängen noch nirgends irgendwelche bedeutsame Änderungen ihrer Struktur noch Anzeichen für ihr bevorstehendes Ende in der Tiefe gefunden hat.*) Nach den Berechnungen von *Hoskins* sind offene Spalten möglich bis zu 6520 m Tiefe, mit Wasser gefüllte sogar bis zu 10350 m Tiefe (vgl. U. S. Geol.-Report XVI, Part. I, pag. 859).

Schliesslich ist bei der Diskussion über Gebirgsdruck und dadurch bedingte Plastizität der Gesteine noch ein weiteres Moment in Betracht zu ziehen. Angenommen, dass wir der Hypothese des latent plastischen Zustandes der Gesteine bedürfen, um die Art ihrer Umformung bei der Gebirgsbildung zu erklären, so müssen wir in Betracht ziehen, dass die Gesteine heute nicht mehr unter derselben hohen Belastung sich befinden, wie zur Zeit der Faltung. (Taf. I Fig. 1.) Die Erosion hat diese Belastung um bedeutende Grade vermindert, und es darf nicht ausser acht gelassen werden, dass wir dazu kommen in den Alpen z. B. den Betrag der aberodierten, event. auch mechanisch abgeglittenen Gesteinsdecke eher noch grösser annehmen zu müssen, als das früher der Fall war. Ergänzen wir z. B. im Tunnelgebiet des Simplon (Taf. II, Fig. 3 u. 4) die über dem Gebirge abgetragene, zur Zeit der Faltung vorhandene Gesteinsmasse, so erhalten wir für die Gesteine der Tunnelmitte Überlastungen bis zu 8000 oder 10000 m. Die heute vorhandenen Spalten, seien dieselben offen oder wasserführend, oder mit Erz gefüllt, sind erst aufgerissen nach der Entlastung des Gebirges infolge der Erosion. Der heutige mechanische Zustand des Gesteines im Berginnern entspricht dieser Entlastung, die eben derart ist, dass die Bedingungen für einen latent plastischen Zustand des Gesteines nicht mehr vorhanden sind.

Wenn ich nun auch durch meine speziellen Untersuchungen sowohl, als durch vergleichende Studien zu der Überzeugung gelangt bin, dass in Bergtiefen, die dem Simplontunnel entsprechen, die alles überwindende latente Plastizität von unter hydrostatischem Druck stehenden Gesteinen, nicht existiert, so ist doch unverkennbar, dass die Deformationsformen der Gesteine je nach Art ihrer petrographischen Natur und Lagerung in grössern Tiefen besondern Charakter annehmen.

Ich bin mit *J. C. Wagner* der Meinung, dass in den Tiefen, in denen Bergleute und Ingenieure zu arbeiten haben, wir nicht mit hydrostatischen, sondern mit dynamischen Kräften zu rechnen haben. Die richtigen Konstruktionen, die eine dauernde Erhaltung der geschaffenen Hohlräume ermöglichen, können aber nur dann gefunden werden, wenn bei der unendlichen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen die geologischen Grundbedingungen von Fall zu Fall klar erkannt worden sind, was nur möglich ist bei allseitiger, gründlicher Kenntnis des ganzen Gebirges.

Basel, den 30. Dezember 1906.

sig. Prof. C. Schmidt.

* Vgl. *W. Lindgren*. Ore Deposition and deep Mining. — Econ. Geol. Vol. I. Nr. 1 1905.

Fig. 1.

Schematisches Profil durch die Schweizeralpen.

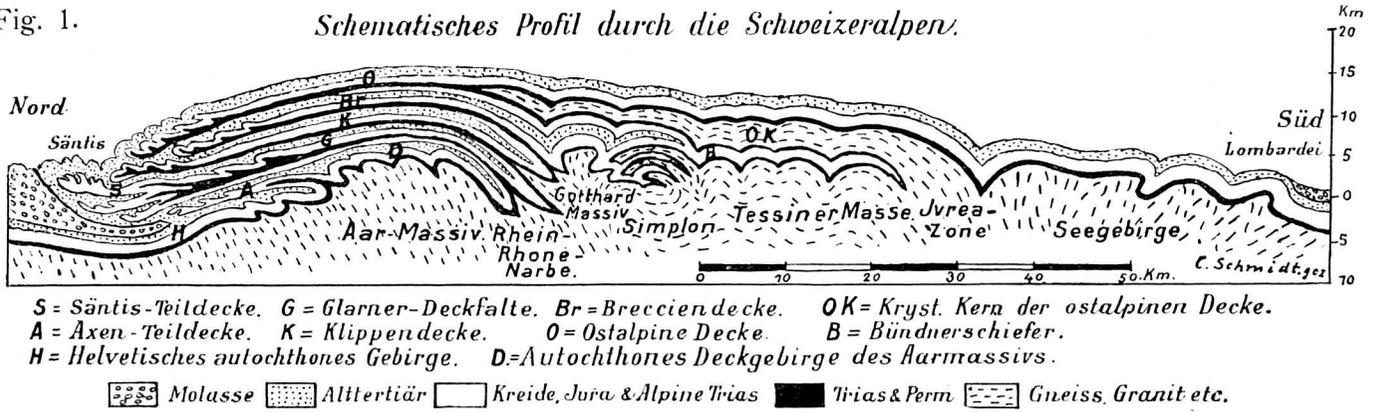
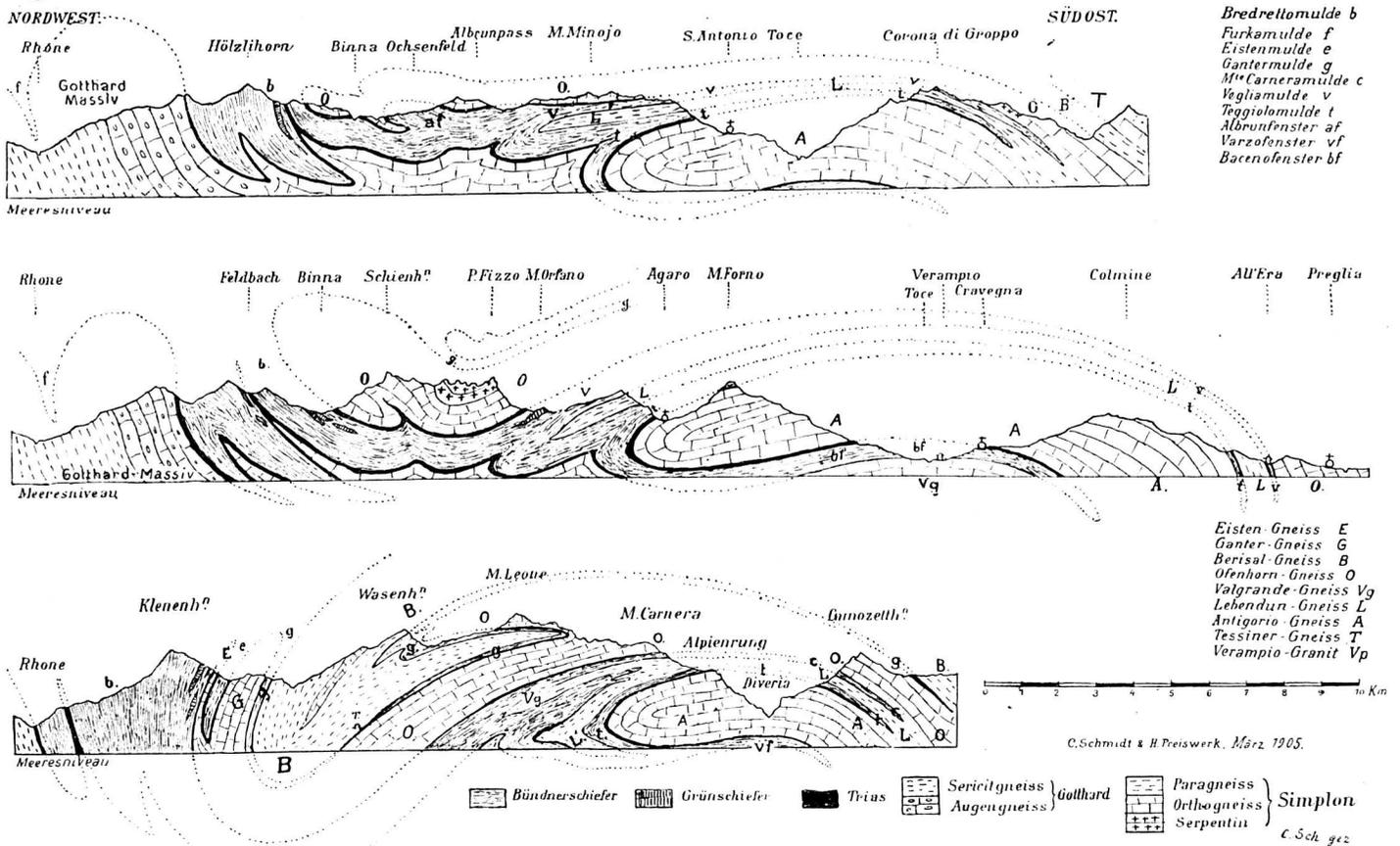
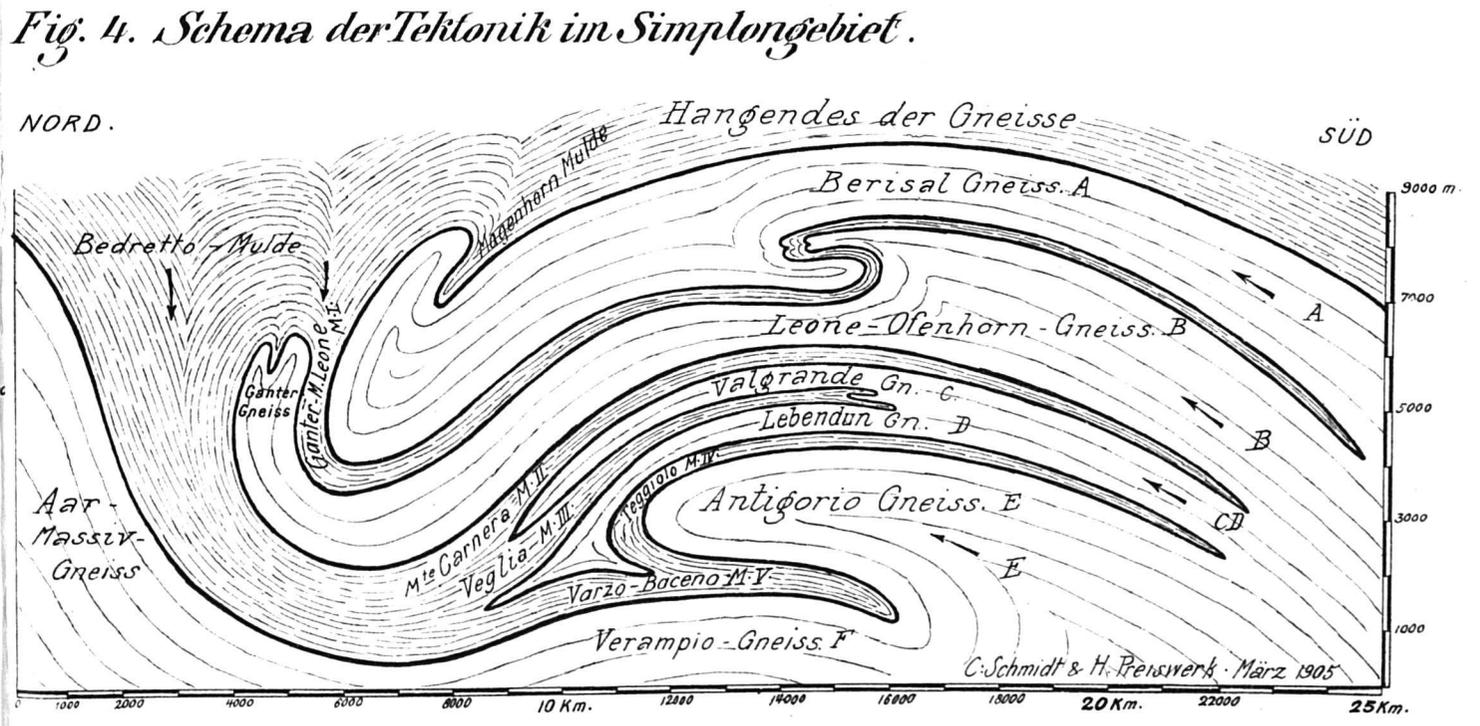
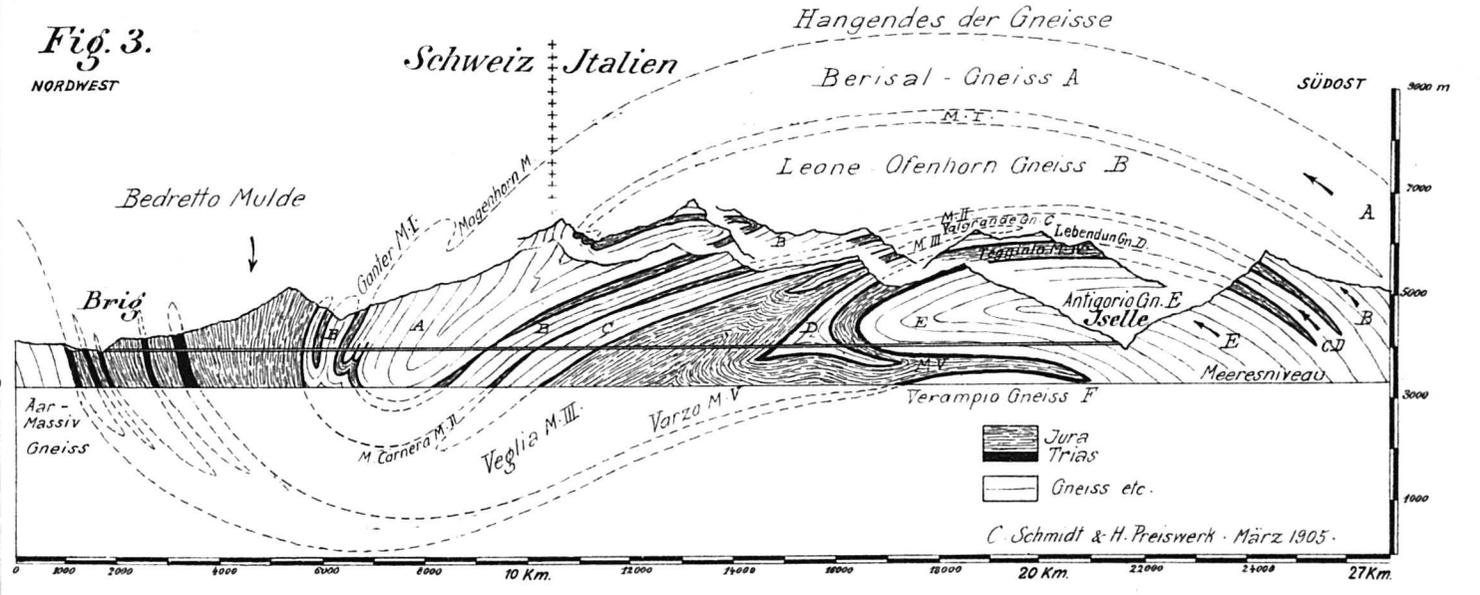
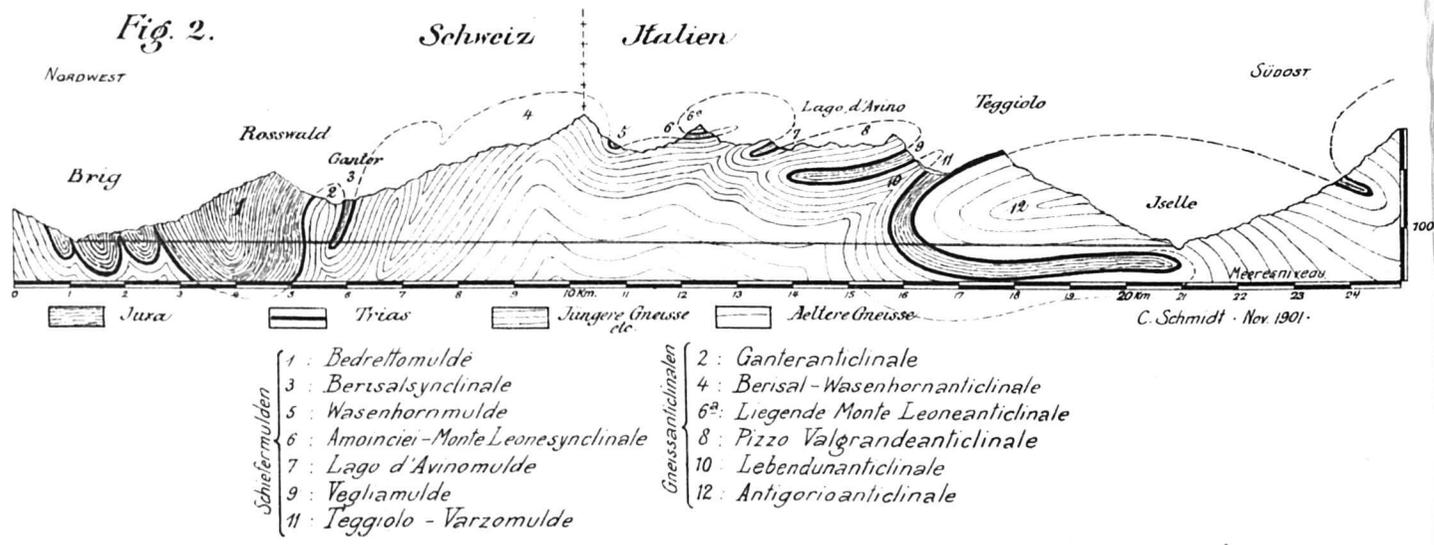
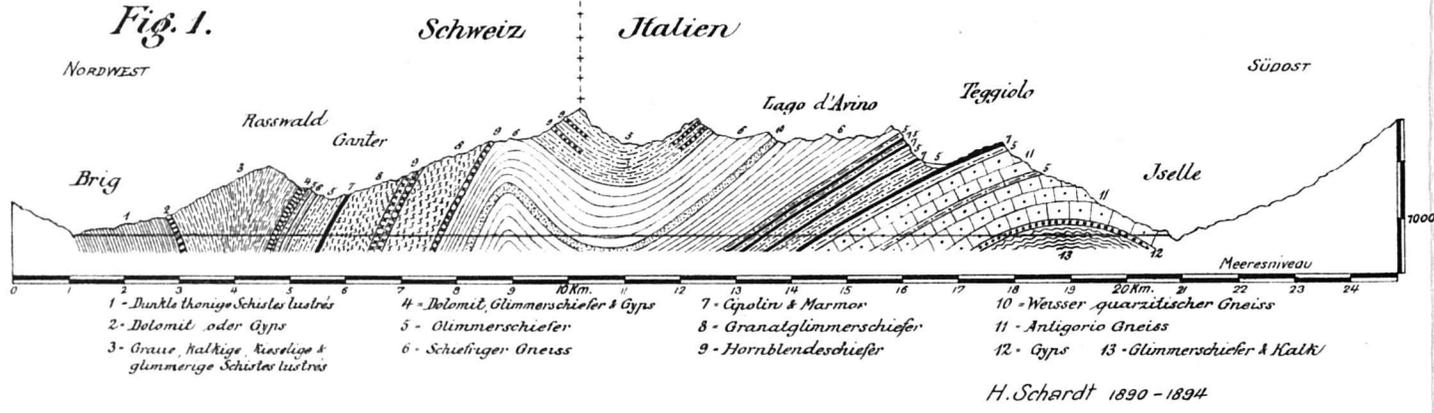


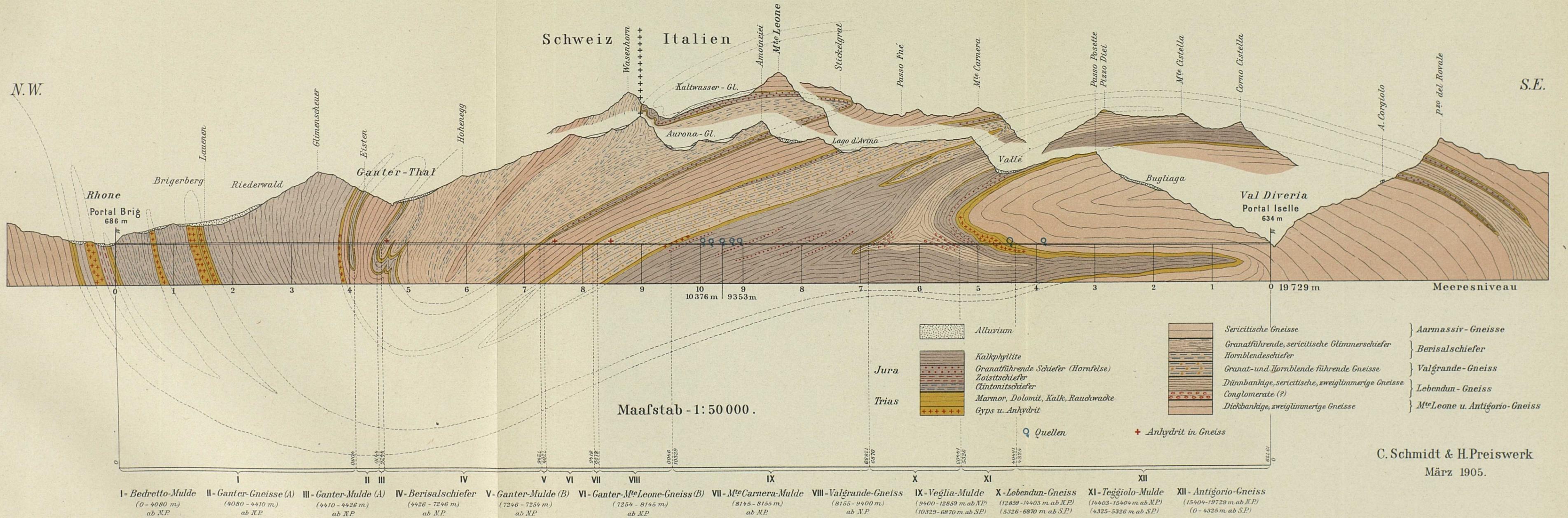
Fig. 3.

Geologische Profile durch das Simplonmassiv.





Geologisches Profil längs der Achse des Simplontunnels.



C. Schmidt & H. Preiswerk
März 1905.

