

# Über die Leuker Thermalquellen und über den Zusammenhang zwischen dem Unglück im Wassertunnel Brig-Ried mit Thermalquellen im allgemeinen.

Von

HANS ED. FIERZ-DAVID (Zürich).

(Als Manuskript eingegangen am 18. Mai 1942.)

Die Heilquellen des Kurortes Leukerbad sind die wärmsten und auch die ergiebigsten der Schweiz. Sie sind schon oft der Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen. PARACELsus und sein Jünger THURNEYSSER haben sie erwähnt, und man weiss, dass sie schon zur Römerzeit benützt wurden. Unter den neueren Veröffentlichungen über dieses Thema nenne ich jene von GEORG LUNGE, zitiert bei LUGEON, und besonders jene von LUGEON. LUGEON wiederum erwähnt besonders die ausgedehnten Untersuchungen MOUREUX', in denen die Zusammensetzung der Gase von über 50 europäischen Mineralquellen in bezug auf die daraus entweichenden Gase beschrieben wird. LUGEON weist darauf hin, dass die Verhältnisse in Leukerbad wohl ganz ähnlich seien wie jene, welche MOUREUX geschildert hat. Dass das der Fall ist, geht schon aus der quantitativen Gasanalyse hervor, welche LUNGE veröffentlicht hat. Die bis jetzt vorliegenden Untersuchungen befassen sich nun fast immer nur mit einer Frage, etwa mit der geologischen, der chemischen, oder auch nur mit der Frage nach der Zusammensetzung des Quellenwassers oder der Gase. Nie wurde versucht, sämtliche Punkte unter einem einzigen Gesichtspunkte zu diskutieren. Im folgenden möchte ich daher zuerst die Verhältnisse, welche bei Leukerbad vorliegen, einer Prüfung unterziehen und dann auf einen Vorfall zu sprechen kommen, der zufälligerweise wenige Wochen, nachdem ich meine Untersuchungen abgeschlossen hatte, eintrat. Ich meine das bedauerliche Unglück bei Ried-Brig, welchem drei Ingenieure zum Opfer fielen. Ich hatte die Absicht, meine Befunde über die Leukerquelle in ihren Beziehungen zu andern Mineralquellen darzustellen, als ich von dem erwähnten Unglück hörte. Da wurde mir sofort klar, dass hier ganz einfache Verhältnisse vorliegen müssen, die sich verallgemeinern lassen.

Zur Orientierung muss ich einige Daten anführen. Die Thermalquellen von Leukerbad entspringen alle im und bei dem Talboden, welcher am Fusse der Gemmi und der Gizifurke liegt. Auf einer Höhe von rund 1400 m über Meer gibt es über 20 teils heisse, teils kalte Quellen. Die grösste ist die berühmte Quelle St. Laurent, die auf dem grossen Platze entspringt, welcher von den Badehotels gebildet wird. Sie liefert in der Minute rund

1000 Liter Wasser von 53 ° C. Andere, weniger ergiebige Quellen sind jene des Hôtel des Alpes, zirka 60 Minutenliter, 46 ° C, die sogenannte Rossquelle mit ca. 400 Liter in der Minute und 46 °. Diese Quelle ist nicht gefasst. Sie war einst das Bad für Haustiere und wird jetzt als Fussbad benützt. Neben diesen Quellen gibt es wie gesagt noch zahlreiche andere, die nicht näher untersucht werden konnten, da man dort die entweichenden Gase nicht rein fassen kann. Genaueres findet man in der ausgezeichneten Monographie von LUGEON, die ich erwähnt habe.

Über den Ursprung dieser Quellen hat man zahlreiche Vermutungen angestellt, die von LUGEON eingehend diskutiert werden. Hier sei nur gesagt, dass die Vermutung von ALBERT HEIM, dahin gehend, dass die Leukerquellen aus dem auf der Gemmi liegenden Daubensee kommen, nach LUGEON unhaltbar ist. LUGEON kommt nach sorgfältigen geologischen Studien zum Schlusse, dass diese Quellen aus dem Gebiete des Torrenthorns stammen, also aus dem Gebiete, welches an das Lötschental grenzt. Die andere Frage, wohin sich die Wasser des grossen ausflusslosen Daubensees verlaufen, war bis vor kurzem noch immer unabgeklärt. Färbeversuche mit Fluorescein sind vollkommen negativ verlaufen. Weder bei Leuk, noch bei Salgesch, bei Leuk Stadt, wo Quellen aus dem Fels entströmen, konnte eine Färbung wahrgenommen werden. Immerhin möchte ich betonen, dass derartige Versuche, wenn sie negativ verlaufen, keinerlei Schlüsse zulassen. Das leicht zersetzliche Fluorescein (ein Xanthonfarbstoff) kann im Erdinnern bei den hohen Temperaturen, die dort herrschen, zerstört werden. Nur ein positiver Versuch lässt zwingende Schlüsse zu. Seit der Publikation LUGEON's hat aber Prof. COLLET (Genf) den einwandfreien Nachweis erbracht, dass die Gewässer des Daubensees tatsächlich bei Salgesch zutage treten.

Anlässlich eines Aufenthaltes in Leuk im Jahre 1941 habe ich nun die Frage nach der Zusammensetzung der Quellengase aufgenommen. Aus den drei besonders genannten Quellen entweichen, meist stossweise, grössere und kleinere Gasblasen, die seit langer Zeit das Interesse der Chemiker, Geologen und der Kurgäste auf sich gelenkt haben. Besonders bei der frei aus dem Wiesengrund austretenden Rossquelle sind diese Gasblasen charakteristisch. Da, wie erwähnt, nur die Quelle von St. Laurent, jene des Hôtel des Alpes und die Rossquelle eine einwandfreie Fassung dieser Gase ermöglichten, haben wir uns auf diese drei Quellen beschränkt, in der erlaubten Annahme, dass bei den andern Quellen, die zum Teil ganz nahe bei den untersuchten liegen, wohl die gleichen Verhältnisse vorliegen dürften. Bei diesen drei Quellen ist es nun leicht, die Gase so zu fassen, dass kein Fremdgas hineinkommt. Die Probenahme erfolgte in folgender einfacher Weise.

Eine Mineralwasserflasche mit gutem Gummiverschlusse wurde zuerst einige Male sorgfältig mit dem Quellwasser gespült und darauf unter dem Niveau des Quellwassers vollkommen mit dem Wasser gefüllt. Darauf wurde unter Wasser ein grosser Blechtrichter auf die Flasche gesteckt und die Flasche unter Wasser umgekehrt. Es wurde nun so lange zugewartet, bis die

unregelmässig aufsteigenden Gasblasen die Flasche vollkommen gefüllt hatten. Darauf wurde, immer unter Wasser, der Trichter entfernt und die Flasche verschlossen. Je nach der Ergiebigkeit des Gases dauerte eine Füllung einer Literflasche zwischen 5 und 30 Minuten.

### Untersuchung der Gase.

Die mit Gas gefüllten Flaschen wurden im techn.-chem. Laboratorium der Eidg. Technischen Hochschule unter gesättigtem Salzwasser geöffnet, wobei wegen des in Zürich höheren Luftdruckes Salzwasser in die Flasche einströmte. Die gesättigte Salzlösung nimmt keine Kohlensäure auf, falls diese im Quellengase enthalten ist.

Aus der Flasche wurde nun mit einem gebogenem Glasrohr, das ganz mit gesättigtem Salzwasser gefüllt war, eine Gasprobe in eine Messröhre eingezogen und das Gas nach bekannten Methoden analysiert. Der Sauerstoff wurde mit alkalischer Natriumhyposulfitlösung absorbiert ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ), die Kohlensäure mit 50 %iger Kalilauge. Eine weitere Bestimmung anderer Gase, ausser inerten Gasen, war negativ. Die Gase bestehen nur aus sehr viel Stickstoff, praktisch keinem Sauerstoff und sehr wenig Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ). Das Restgas wurde nun auf seinen Gehalt an Edelgasen untersucht. Ich benützte dabei die klassische Methode, die schon CAVENDISH vor über 140 Jahren anwandte. Sie besteht darin, dass man dem zu untersuchenden Stickstoff reinen Sauerstoff zufügt und darauf durch das Gasgemisch so lange elektrische Funken durchschlägt, als noch eine Kontraktion über 20 %iger Kalilauge beobachtet wird. Das Ergebnis war, dass in dem Stickstoff eine beträchtliche Menge von Argon und Spuren von Helium enthalten sind. Die vorhandene Menge Argon ist bedeutend grösser als jene, die in der Luft gefunden wird. Die Analysen belegen das Gesagte.

### Beispiele von Analysen.

**Rossquelle:** Durchschnitt von 5 Analysen.

Temperatur, eigene Messung: 46,0 °.

Kohlensäure: 0,9 %

Sauerstoff: 0,0 %

Stickstoff und Edelgase 99,1 %

**Quelle St. Laurent:** Durchschnitt von 4 Analysen.

Temperatur, eigene Messung: 53 °. Diese ist höher, als sonst angegeben wird, wohl deshalb, weil man die Quelle vor einigen Jahren besser gefasst hat.

Kohlensäure: 0,9 %

Sauerstoff 0,00 % (einmal wurde 0,1 und einmal 0,5 % Sauerstoff gefunden, aber ich bin der Meinung, dass in diesen Fällen Luft hinzugekommen ist).

Stickstoff etc. 99 %.

**Quelle des Hôtel des Alpes: Temperatur, eigene Messung, 47°.**

Kohlensäure: 0,5 %

Sauerstoff: 0,2 %

Stickstoff etc.: 99,3 %

Die gefundenen Zahlen sind so konstant, dass man sagen kann, dass ausser Kohlensäure und Spuren von Sauerstoff die überwiegende Menge der Gase Stickstoff und Edelgase sind.

In 8 Gasproben wurde nun der Gehalt an Edelgasen bestimmt. Alle drei Quellen geben die genau gleichen Resultate.

Es wurde gefunden auf 100 cm<sup>3</sup> Quellengas 1,61 % Argon (Helium etc.). Da die atmosphärische Luft nur rund 0,9 Volumsprozent an Argon enthält, findet sich also das Argon in den Quellengasen in angereicherterem Zustande.

Der Grund dieser unerwarteten Anreicherung wird hier nur gestreift, und es wird weiter unten kurz darüber diskutiert werden. Dagegen war es nun interessant festzustellen, ob neben dem Argon grössere Mengen an andern Edelgasen enthalten seien. Herr Prof. Dr. MIESCHER in Basel hatte die Freundlichkeit, die Proben von Argon genauer zu untersuchen, und ich gebe nachfolgend seinen Befund wieder:

«Das Gas wurde unter Beachtung peinlicher Sauberkeit in ein gut geheiztes Geisslerrohr umgefüllt. Wir finden sehr stark Argon und haben bis jetzt nichts weiteres eindeutig feststellen können. Die Heliumlinien fehlen.»

In einer vorher untersuchten Gasprobe sind neben Spuren von Sauerstoff und Stickstoff, die durch ungenaues Experimentieren in das Gas hineingekommen waren, Andeutungen von Helium beobachtet worden. Die Luft stammte entweder aus der ursprünglichen Gasprobe, die nicht eingeschmolzen war, sondern nur mit Glashahnen verschlossen war, oder es gelangte nachträglich etwas Luft in das Gas, was immer möglich ist.

Es geht aus diesen Befunden hervor, dass das Argon als alleiniger Restbestandteil in dem Quellengas vorhanden ist und dass andere Edelgase wahrscheinlich nur in so geringen Spuren vorhanden sind, dass sie von den Linien des Argons verdeckt werden, resp. von dem Argon ausgelöscht werden. Es kann sich also nur um jene Helium-, Krypton- und Xenonmengen handeln, die sich in der Atmosphäre befinden. Eine Anreicherung dieser Gase hat also nicht stattgefunden. Über die andern Gasanalysen soll hier nur gesagt werden, dass sie nach den bekannten Methoden ausgeführt wurden, so dass es keinen Sinn hat, darauf im Detail einzugehen.

#### Diskussion des Befundes.

Nachdem festgestellt war, dass die Leuker Quellengase praktisch nur aus inerten Gasen (Stickstoff und Edelgasen) bestehen, musste man sich

überlegen, wie man diese unerwartete Zusammensetzung erklären soll. Ich mache darauf aufmerksam, dass auch MOUREUX in seiner erwähnten Mitteilung bei fast allen Quellengasen die genau gleichen Verhältnisse feststellte. In einigen Fällen fand er beträchtliche Mengen an Helium, die, wie er ausführt, unmöglich durch fortlaufende radioaktive Zersetzungen erklärt werden können, da die Mengen an Helium zum Teil so gross sind, dass man neben diesem Gase auch eine starke Radioaktivität erwarten müsste, wenn sich das Helium fortlaufend bildete. MOUREUX stellt sogar fest, dass überraschenderweise gerade die an Helium reichsten Quellengase sich durch eine besonders geringe Radioaktivität auszeichnen. Das vorhandene Helium muss also vor langer Zeit gebildet worden sein, sich im Erdinnern in angereichertem Zustande befinden und zufälligerweise in die Gase hineinkommen. Bei den Leuker Quellen wurde so wenig Helium gefunden, dass man hätte erwarten müssen, dass diese Quellen besonders radioaktiv sein sollten. Das ist nun nicht der Fall. Zwar wird in einer Mitteilung der Kurverwaltung von Leuk angegeben, dass die Leuker Quellen stark radioaktiv seien. Es wird angegeben, dass die Radioaktivität 1,9 Macheinheiten betrage. Ich möchte feststellen, dass eine derartige Radioaktivität gering ist, indem festgestellt wurde, dass andere Quellen bedeutend stärker radioaktiv sind. Ich nenne z. B. Disentis mit 48 ME, Locarno 13—17 ME, Schinznach 4,5 ME. Ich vermute, dass die Bestimmung von Leuk ungenau ist, denn es ist kaum anzunehmen, dass gerade diese Heilquelle eine so niedrige Radioaktivität aufweise. Damit ist selbstverständlich gar nichts über die Radioaktivität des für Packungen verwendeten Fangos ausgesagt, dessen Radioaktivität mir unbekannt ist. Die anerkannte Heilwirkung der Leuker Bäder ist unbestritten, sie braucht hier auch nicht näher diskutiert zu werden, da meine Überlegungen sich nicht auf die Heilwirkung beziehen. Was diese anbelangt, so müssen hier noch ganz andere Faktoren in Betracht gezogen werden, z. B. der sehr hohe Gipsgehalt, die grosse Wärme und dann die glückliche Lage des Kurortes. Der Vollständigkeit halber gebe ich noch die quantitative Analyse der Quelle St. Laurent, die seinerzeit von GEORG LUNGE ausgeführt wurde, dessen Rapport ich erwähnt habe.

### Abgekürzte Elementaranalyse der Leuker Quelle nach

GEORG LUNGE:

1000 cm<sup>3</sup> Wasser enthalten an festen Bestandteilen 1,95 g.

Davon . . . . .	CaSO <sub>4</sub>	(Gips) . . . . .	1,43 g
	CaCO <sub>3</sub>	(Kalziumkarbonat) . . .	0,097 g
	MgSO <sub>4</sub>	(Magnesiumsulfat) . . .	0,27 g
		Zusammen	1,90 g

Daneben finden sich geringe Mengen an andern Verbindungen, wie Eisen, Kalium u. a. m., die nicht ins Gewicht fallen.

Die nächstliegende Frage ist nun die: Weshalb bestehen die Quellengase fast nur aus inerten Gasen? Durch einfache Überlegung kommt man zu folgendem Ergebnis: Das Wasser dieser Quellen stammt ausschliesslich von atmosphärischen Niederschlägen, die auf dem Gebiete des Torrenthorns zu suchen sind. Das Wasser dringt in bedeutende Tiefe des Erdinnern, was aus seiner hohen Temperatur hervorgeht. Beim Durchlaufen der Gesteinsschichten kommt das Wasser mit den verschiedenen Bestandteilen der Erdrinde in innige Berührung, wobei die in dem Wasser gelösten Bestandteile, d. s. Sauerstoff und Kohlensäure, bei der hohen Temperatur mit dem Gestein reagieren. Der Sauerstoff bemächtigt sich des Schwefels, der in grosser Menge in Form von Eisensulfiden und andern Schwermetallsulfiden immer im Gestein vorhanden ist. Die vorhandenen Pyrite ( $\text{FeS}_2$  z. B.) werden von dem Sauerstoff zu Sulfaten oxydiert und der Sauerstoff wird vollständig aufgebraucht. Die Kohlensäure wird ebenfalls absorbiert, indem sich Karbonate bilden. Die gebildeten Salze (Sulfate und Karbonate) gehen in Lösung, wobei die Karbonate zum grössten Teile in Bikarbonate umgesetzt werden, sodass bei Austritt der Quellen praktisch keine Kohlensäure vorhanden ist. Dagegen werden der Stickstoff und die Edelgase (Argon) nicht umgesetzt. Sie sind im Wasser gelöst und entströmen beim Austritt der heissen Gewässer unverändert. Da sich das Regenwasser, welches in das Gestein eingedrungen ist, mit Gasen gesättigt hat und sich die Niederschläge bei niedriger Temperatur gebildet haben, ist eine beträchtliche Menge an Gasen gelöst worden. Ferner muss man annehmen, dass sich das Argon in grösserer Menge gelöst hat, weil es sich rund *v i e r m a l* so leicht als Stickstoff, oder Sauerstoff in Wasser löst. Damit ist allerdings die relativ grosse Menge an Argon nicht völlig erklärt, weil der Partialdruck des Argons so gering ist, dass nicht einzusehen ist, warum sich das Argon so stark angereichert hat. Hier müssen noch andere Faktoren in Betracht gezogen werden, wie z. B. eine Absorption, Diffusion, oder sogar chemische Bindung des Stickstoffes, die hier aber nicht diskutiert werden kann, da die genaueren Unterlagen dazu fehlen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die Quellengase von Leuk in keiner Weise von andern Quellengasen unterscheiden, und dass die Abwesenheit von Sauerstoff ohne weiteres aus den oben erwähnten Überlegungen klargestellt ist.

Dagegen geben nun diese Befunde einen interessanten Hinweis auf analoge Verhältnisse, die aktuell sind. Gerade um die Zeit, als wir die Untersuchung ausführten, ereignete sich bei Brig der schon erwähnte bedauerliche Unglücksfall, der in Zusammenhang mit unsern Befunden gebracht werden kann und über den ich nachfolgend referieren will.

Das Unglück von Ried-Brig (Gantertunnel) 1941/1942.

Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich auf freundliche Mitteilungen von Herrn Dr. med. F. SCHNYDER in Brig, sowie

auf eine Mitteilung der Kriegstechnischen Abteilung der Eidgenossenschaft, Gaslaboratorium in Wimmis (Kt. Bern).

Ich entnehme mit dem Einverständnis der Kriegstechnischen Abteilung und Herrn Dr. F. SCHNYDER's die nötigen Angaben aus deren Rapporten, wofür ich auch an dieser Stelle den verschiedenen Herren meinen besten Dank ausspreche. Ich muss noch des Rapportes von Herrn Prof. Dr. OULIANOFF (Universität Lausanne) erwähnen, dessen Befund von Interesse ist.

Folgendes ist in Kürze der Hergang des Unglückes in Ried-Brig. In der Nähe von Brig existiert ein sogenannter Wassertunnel, wie es deren zahlreiche im Wallis gibt. Er war seinerzeit angelegt worden, um die Kulturen bei Brig mit Wasser zu versorgen. Der Gantertunnel, der die Gemeinden Ried und Thermen mit Wasser versorgen sollte, sah einen gradlinigen Stollen vor, vom Ganterbach ins Gasserloch, mit 4 ‰ Gefälle und Fassung 40 m oberhalb des Frohnbaches (Rapport F. RUCHENSTEIN, Ingenieur, Sitten, vom 24. April 1942). Dieser Wassertunnel stürzte nach einiger Zeit ein, und zwar wurden im Frühjahr 1941 kleine Einstürze beobachtet. Da man diese kleinen Einstürze als ungefährlich betrachtete, wurden keine weiteren Vorkehrungen getroffen. Später erfolgte dann ein grösserer Einsturz, der den Tunnel unterbrach.

Im Dezember ereignete sich der erste Unglücksfall im Gantertunnel. Zwei Arbeiter E. F. und E. R. betreten kurz nach 05.00 Uhr den Tunnel (ich folge dem Rapporte von Herrn Dr. F. SCHNYDER, Brig). Diese Arbeiter hatten die Aufgabe, etwa 250 m vom Südausgange des Tunnels im Innern eine Motorpumpe zu bedienen. Um 08.00 Uhr kamen zwei andere Arbeiter, J. R. und A. H., an die Baustelle am Südausgang des Tunnels. Es fiel ihnen auf, dass der Ventilator nicht im Betrieb war. Sie gingen in den Tunnel hinein. Etwa 30 m vor der Einsturzstelle des Tunnels fanden sie ihre Kameraden, die beide tot waren. Da die beiden später Gekommenen plötzlich Erstickungsanfälle bekamen, liefen sie so rasch als möglich ins Freie, wo sie bewusstlos niederfielen. Als sie wieder zu sich kamen, wurde eine Rettungskolonie organisiert, die die beiden Toten aus dem Tunnel herausbrachte. Die beiden Leichen zeigten eine hellrote Gesichtsfarbe, und es wurde festgestellt, dass die Toten an einer Kohlenoxydvergiftung gestorben waren. Das Kohlenoxyd stammte, nach dem Berichte der Experten, vom vorhergehenden Tage und hatte sich im Tunnel angesammelt. Es stammte von den Auspuffgasen der mit Benzin betriebenen Motoren.

Dieses erste Unglück wurde sofort abgeklärt und bedarf keines weiteren Kommentares. Dagegen ereignete sich kurz darauf ein zweites Unglück, über dessen Gründe man sich vorerst nicht im klaren war.

Am 12. Januar 1942 wurde bekannt, dass sich am Nordende des Ganterstollens drei Todesfälle ereignet hatten, welche die Ingenieure W. H. (von Zürich), M. L. (von Lausanne) und den Bauunternehmer H. G. (von Brig) betrafen. Auch in diesem Falle fand das Unglück im Tunnel statt, die Ver-

unfallten kehrten nicht aus dem Tunnel zurück und wurden später von einer Rettungsmannschaft geborgen.

Aus dem genauen und sehr sorgfältigen Berichte von Herrn Dr. med. F. SCHNYDER entnehme ich nun die uns interessierenden Stellen. Die Ingenieure waren mit Zirkulationsgasmasken (K.-G.-Geräte) ausgerüstet, die vor dem Betreten des Tunnels angepasst worden waren. Der Weg im Tunnel war uneben und eng, und man musste bis an die Knie im Wasser gehen. Die Gasmasken wurden fortlaufend kontrolliert (Sauerstoffdruck!). Einer der Ingenieure (G.) klagte über Atembeschwerden, worauf man den Rückweg antrat.

Nach einiger Zeit stürzte G. vornüber ins Wasser. Er wurde aus dem Wasser gezogen, und einer der Teilnehmer blieb bei ihm, während die andern versuchten, so rasch als möglich ins Freie zu gelangen. Der nachfolgende Teilnehmer fand dann weiter gegen den Stollenausgang einen der Ingenieure, der bewusstlos war, und schon 50 m weiter fand man den dritten der Ingenieure ebenfalls bewusstlos. Bei allen der drei Verunfallten zeigte der Sauerstoff des Apparates noch einen hohen Druck, nämlich rund 30—40 Atmosphären.

Die Überlebenden eilten, als sie sahen, dass sie hier nicht mehr helfen konnten, aus dem Tunnel hinaus und im Freien erholten sie sich rasch. Das Weitere braucht hier nicht näher geschildert zu werden, da es lediglich die Nebenumstände sind, die in dem Rapporte genau geschildert werden. Man konnte die drei Toten nach mehreren Stunden bergen, und die Wiederbelebungsversuche verliefen ergebnislos.

Der medizinische Befund ergab, dass in diesem Falle eine Kohlenoxydvergiftung ausgeschlossen war. Es war Erstickungstod eingetreten. Warum die Gasmasken nicht funktioniert hatten, konnte nicht abgeklärt werden, da alle vollkommen in Ordnung waren. Herr Dr. med. SCHNYDER kommt zum Schlusse, dass, da der Tunnel im Monat August 1941 eingestürzt war, jedenfalls die Luft verändert worden sei, und dass nur eine genaue Luftanalyse Aufklärung bringen könne. Diese Luftanalyse wurde dann von der Kriegstechnischen Abteilung in Wimmis ausgeführt und kam zu folgendem Ergebnis:

#### Luftproben im Wasserstollen Ried-Brig (Ganterstollen).

Probe 1.	750 m ü. M.	Kohlensäure 0,2 %, Sauerstoff 15 %, Stickstoff 84,3 %, Kohlenmonoxyd 0 %, Methan 0,1 %.
Probe 2.	750 m ü. M.	Kohlensäure 0,2 %, Sauerstoff 11,6 %, Stickstoff 88,0 %, andere Gase keine.
Probe 3.	1300 m ü. M.	Kohlensäure 0,3 %, Sauerstoff 12,7 %, Stickstoff 85,9 %, andere Gase keine.
Probe 4.	1300 m ü. M.	Kohlensäure 0,3 %, Sauerstoff 11,5 %, Stickstoff: Rest, andere Gase keine.



Aus diesem Befunde geht einwandfrei hervor, dass es sich bei diesem Unglücksfalle mit Sicherheit um einen gewöhnlichen Erstickungstod handelt, und dass eine Gasvergiftung ausgeschlossen ist. Es darf vermutet werden, dass die Verunglückten, die zum ersten Mal mit einem Zirkulationsgerätes ausgerüstet waren, dieses unrichtig trugen, oder auch, dass sie es wegen der hohen Temperatur, die im Stollen herrschte, zeitweise gelüftet oder ausgezogen hatten. Die Tunnelluft enthielt so wenig Sauerstoff, dass es unter den vorwaltenden Umständen nicht möglich war, darin länger zu atmen. Schon bei einem Sauerstoffgehalt der Luft von 15 %, gegen ca. 20 % normal, treten Erstickungserscheinungen auf.

Die Frage, wieso die Tunnelluft so wenig Sauerstoff enthielt, kann aus dem Berichte von Herrn Prof. Dr. OULIANOFF (Lausanne) ohne weiteres beantwortet werden. (Bericht vom 12. März 1936!) Ferner gibt der Bericht Herrn Prof. Dr. OULIANOFFS vom 25. Februar 1942 einen weiteren Hinweis auf die herrschenden Verhältnisse.

Im Berichte vom Jahre 1936 wird in einem geologischen Gutachten darauf hingewiesen, dass die Gesteinsschichten des Tunnels aus Gneis und Dolomit, sowie aus Gips und sehr wenig Anhydrit bestehen, und dass die in den Tunnel eintretenden Wasser gipshaltig seien. Nun enthält Gneis und Dolomit in den meisten Fällen beträchtliche Mengen an Pyriten, von denen aber der Rapport vom Jahre 1936 nichts erwähnt. Dagegen erfahren wir aus dem späteren Berichte (1942), dass an bestimmten Stellen neben Gips, Quarz und Glimmer Pyrite vorhanden sind. Ferner wurde mir mitgeteilt, dass im Tunnel kleine Quelleneinbrüche vorhanden sind. Nach dem, was bei den Leuker Quellen ausgeführt wurde, ist die Situation vollkommen klar. Der Gantertunnel führt durch ein Gestein, welches befähigt ist, den Sauerstoff der Tunnelluft zu absorbieren. Wenn dazu noch Wassereinbrüche vorhanden sind, die Gase mit sich führen, was sicher scheint, so ist es klar, dass ein Tunnel, der unterbrochen ist, mit der Zeit eine Atmosphäre entwickelt, die sauerstoffarm ist. Es liegen die genau gleichen Verhältnisse vor, die man bei allen Mineralquellengasen findet.

Die im Vorstehenden geschilderten Verhältnisse haben nun eine weitgehende Bedeutung. Aus dem Unglück bei Ried-Brig einerseits und den Untersuchungen der Leuker Quellengase, sowie den Untersuchungen früherer Chemiker, kann man ganz bestimmte Folgerungen ziehen.

Da festgestellt wurde, dass die in Quellen und in Niederschlägen gelöste Luft durch viele Gesteine ganz oder teilweise von ihrem Sauerstoffgehalt befreit wird, muss man bei Tunnels oder Stollen nicht nur auf die geologischen Verhältnisse achten, sondern auch die chemischen Verhältnisse in Betracht ziehen. Wenn beim Durchdringen von Gestein, welches Sauerstoff absorbieren kann (Pyrite etc.), das Wasser sauerstoffarm wird, dann können sich unter bestimmten Bedingungen immer Verhältnisse einstellen, die bewirken, dass die Luft in ungenü-

gend ventilierten Räumen für die Atmung ungeeignet wird. Dabei handelt es sich nicht, wie man meist annahm, um giftige Gase, wie Kohlensäure, oder Kohlenoxyd, sondern es kann durch ungenügende Sauerstoffmengen Erstickungstod eintreten.

Im Falle des Unglückes im Ganterstollen liegt ein besonders interessantes Beispiel dieser Verhältnisse vor. Der Stollen war durch einen Einsturz und durch seine geneigte Lage besonders prädestiniert, eine Atmosphäre zu erzeugen, die gefährlich war.

Darüber hinaus muss darauf hingewiesen werden, dass uns die Geologen wohl von der Absorption der Kohlensäure, die in die Gesteine oder die Gewässer eindringt, berichten (Calziumbikarbonatbildung). Dagegen wird meines Wissens nie darauf hingewiesen, dass durch die Wirkung der reduzierenden Gesteinsbestandteile der Atmosphäre jährlich vielleicht ebensoviel Sauerstoff entzogen wird als Kohlensäure. Es wäre sehr interessant, eine Berechnung über die absoluten Sauerstoffmengen anzustellen, die im Laufe der Zeit als gebundener Sauerstoff der Luft entzogen werden.

Zum Schlusse möchte ich den Herren dipl. ing. chem. WALTER BRUNNER und Dr. WALTER STOCKAR meinen besten Dank dafür aussprechen, dass sie die Quellengase in Leuk für mich gefasst und die Analysen in Zürich ausgeführt haben. Auch den verschiedenen Herren, die mir ihr Material zur Verfügung stellten, sage ich an dieser Stelle meinen besten Dank.

### Benützte Literatur und Akten.

1. MOUREUX: Revue Scientifique, 48, No. 3, Seite 5 ff (1911).
2. LUGEON, MAURICE: Les Sources thermales de Loèche-les Bains, mat. pour la carte géologique de la Suisse, 38. Lieferung, 1912, Bern, bei Franke.
3. Referat von ALBERT HEIM: Dr. de Werra, Notiz über Leuk-Bad, cit. von Lugeon, Seite 3.
4. Mitteilung des Laboratoriums von Wimmis vom 9. März 1942, Dr. TORRICELLI.
5. Dr. med. FIDELIS SCHNYDER, Brig: Bericht über das Unglück im Ganterstollen vom 19. Januar 1942.
6. Bericht von Ingenieur F. RUCHENSTEIN, Sitten, über die Bewässerung in den Gemeinden Ried und Thermen vom 24. April 1942.
7. Tunnel du Brigerberg, 12. März 1936. Prof. Dr. OULIANOFF.
8. Rapport géologique sur les causes de l'éboulement dans le Tunnel de Rosswald (au-dessus de Brig). Bemerkung: Rosswald liegt 1941 m über Meer, zwischen der Fassungsstelle des Gantertunnels und Ried. Der Bericht von Prof. N. OULIANOFF bezeichnet den Gantertunnel mit Rosswaldtunnel.
9. Mündliche Mitteilungen verdanke ich der Firma Locher & Cie. in Zürich, welche mit dem Bau, resp. Ausbau des Ganterstollens beschäftigt ist.
10. Topographischer Atlas der Schweiz, Siegfried-Atlas. Blatt 473 und Blatt 497.