universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Die Arlbergbahn

Österreich / General-Direction der Österr. Staatsbahnen

Innsbruck, 1896

Anhang

urn:nbn:at:at-ubi:2-8714

Anhang.

Gutachten über die Zusammensetzung der Luft im Arlbergtunnel.

I. Gutachten.

Chemisch-mikroskopisches Laboratorium für medizinische, hygienische und technische Untersuchungen von Dr. M. und Dr. Ad. Jolles.

H. J. Nr. 1908 bis 1912
S. J. Nr. 196 bis 200 c

Wien, den 5. December 1890.

Certificat.

An die hochlöbl.

k. k. Eisenbahn-Betriebsdirection

Innsbruck.

Mit Nachstehendem erlauben wir uns Ihnen das Analysen-Resultat, der uns ddo. 15. October 1890 übermittelten Untersuchung höflichst zu übersenden.

Befund:

Die Abzugsgase, welche aus Feuerungsanlagen entweichen, sind von Fall zu Fall sehr verschieden zusammengesetzt, sowohl was die Art, als auch was die Mengenverhältnisse der vorkommenden Bestandtheile anbelangt.

In den Brennmaterialien der technischen Betriebe ist der Gehalt an Kohlenstoff das Wesentlichste. Bei der Verbrennung desselben bildet sich unter dem Einflusse des athmosphärischen Sauerstoffes besonders Kohlensäueregas, welches gemeinschaftlich mit Stickstoff — dem indifferenten Bestandtheile der Luft — durch die Abzüge entweicht. — Kohlensäuere und Stickstoff sind demnach diejenigen Bestandtheile, welche in erster Linie und in grosser Menge in Abzugsgasen aller Feuerungen enthalten sind.

Zu Kohlensäuere und Stickstoff in den Abzugsgasen gesellt sich in allen Fällen, wo es sich um einfache Heizzwecke handelt, noch unverbrannter Sauerstoff; denn keine derzeit bekannte Feuerungsconstruction ist im Stande, den Sauerstoff der Luft vollständig auszunützen, wenn sie gleichzeitig den technischen Hauptzweck, „eine möglichst vollkommene Verbrennung des Brennmateriales" erfüllen soll.

Brennmaterialien verbrennen aber nur dann lebhaft und vollkommen, wenn sie mit einem Überschuss an Luft, also mit einem Überschuss von Sauerstoff verbrannt werden, welcher Überschuss sich naturgemäss in den abziehenden Feuergasen wieder findet. Alle Brennmaterialien enthalten ferner grössere oder geringere Mengen Feuchtigkeit, welche beim Verbrennen fortgeht, sowie Wasserstoff, welcher beim Heizen zu Wasser verbrennt. — Aus beiden Gründen tritt in allen Feuergasen Wasserdampf auf.

Nun sind alle Bestandtheile genannt, welche die Hauptkörper aller Abzuggase von Feuerungen bilden.

Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäuere und Wasserdampf zusammen bilden in allen Rauchgasen der Welt sicher 95 % deren Volumens, ja in den meisten Fällen steigt diese Zahl auf 98 % des Volumens der Feuergase und noch mehr. — In den Abzugsgasen von Feuerungen kommen aber ausser den genannten Bestandtheilen noch sehr viele andere Gase vor; wir nennen nur Kohlenoxyd, schweflige Säuere,

Ammoniak, Kohlenwasserstoff etc., und da die Summe aller dieser anderen Bestandtheile in keinem Rauchgase 5 % des Volumens, oft aber nur 2 % und weniger ausmacht, so würde es scheinen, dass diesen nebensächlich auftretenden Gasen weiter keine Bedeutung bei der Beurtheilung einer Feuerung zukäme. — Ist schon die Menge dieser Gase im Rauche gering, so entfällt ja auf jedes einzelne derselben nur ein Bruchtheil an Perzenten jenes Volumens. — Allein diese accessorisch auftretenden Gase machen sich überall und in mehr als einer Beziehung unangenehm bemerklich, und eine stete Controle derselben ist nothwendig, um ihre schädlichen Wirkungen zu unterdrücken.

Einfluss der Rauchgase auf die Tunnelluft.

Wenn, wie es beim Bahnbetriebe im Arlbergtunnel der Fall ist, täglich eine grosse Anzahl von Zügen durch denselben verkehrt, in Folge dessen eine grosse Menge Brennmaterial auf Kosten der Tunnelluft verbrannt wird, und die erzeugten Rauchgase wieder in die Tunnelluft zurück entweichen, dann muss die Zusammensetzung der Tunnelluft eine qualitative und quantitative Änderung erfahren, welche in Bezug auf ihre Athmungstauglichkeit nicht gleichgiltig sein kann.

Welcher Art sind nun diese Veränderungen? Inwieweit sind sie schädlich? Inwieweit ist man durch geeignete Auswahl des Brennmateriales und durch zweckentsprechende Regelung des Verbrennungsprozesses im Stande, sie zu beeinflussen?

Diese Fragen drängen sich mit Nothwendigkeit auf. — Doch vor Allem muss erst der schädliche Einfluss erkannt, und dann erst kann an eine Abhilfe gedacht werden.

Darum seien zuerst die Luftveränderungen durch die Hauptbestandtheile der Rauchgase, also durch Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäuere und Wasserdampf in Betracht gezogen.

Einfluss der in grossen Mengen vorkommenden Rauchgasbestandtheile.

Die Wirkung des Wasserdampfes in den Rauchgasen wird sich zu der Wirkung des den Dampfcylindern entströmenden Dampfes addieren. Der gesammte Wasserdampf wird sich in der umgebenden kalten Tunnelluft nicht gasförmig erhalten können, es wird Condensation desselben zu Wasser eintreten, welches als Nebel anfänglich die Tunnelluft erfüllen, schliesslich aber an den Wänden tropfenförmige Verdichtung und endlich Ableitung finden wird. — Ein Theil des Wasserdampfes wird jedoch in der Luft gelöst verbleiben, und zwar, da Wasser stets im Überfluss vorhanden ist, stets so viel, als überhaupt die Luft Wasserdampf aufzunehmen im Stande ist. — Daraus folgt eine für die Charakterisierung der Tunnelluft sehr wichtige Thatsache, dass sie mit Wasserdampf ganz oder, um praktisch zu sprechen, nahezu ganz mit Wasserdampf gesättigt ist.

Dieses für die hygienische Beurtheilung der Tunnelluft wichtige Factum liesse sich empirisch durch in den Tunnel eingebrachte Psychrometer auf der Stelle nachweisen. — In der ganzen folgenden Erörterung über die Rauchgase ist weiter auf den Gehalt an Wasserdampf keine Rücksicht mehr genommen; der Gehalt derselben am Wasser wurde aus dem Grunde, da dessen Bestimmung keine weiteren Ergebnisse liefern konnte, unterlassen und die später folgenden Rauchgas-Analysen derart ausgeführt, dass sie bereits die Zusammensetzung der Gase im wasserfreien Zustande ergeben.

Um nun zu einem Bilde des Einflusses der übrigen hauptsächlichen Rauchgasbestandtheile zu gelangen, ist eine approximative Rechnung nötig. In derselben ist statt wahrscheinlicher 99% Hauptbestandtheile, 100% angenommen, die Wasserbildung bei der Verbrennung des Coaks weiter nicht mehr berücksichtigt, also die glatte Verbrennung der Coaks zu Kohlensäuere vorausgesetzt. Nun kennt man am Betriebsorte den Tagesverbrauch an Coaks, folglich lässt sich daraus unter Berücksichtigung seines Kohlenstoffgehaltes die im Tunnel erzeugte Kohlensäueremenge berechnen.

Die von uns untersuchten Coaks enthielten:

	I.	II.	III.	IV.	V.
Prozent Kohlenstoff	82·49	81·22	81·22	85.87	81·93
Control-Bestimmung	—	81·45	83·12	—	—

Nach der Formel

$$\begin{array}{ccccc} C & \times & O_2 & = & CO_2 \\ 12 & & 2 \times 16 & & 44 \end{array}$$

verbinden sich 12 Theile Kohlenstoff mit 32 Theilen Sauerstoff zu 44 Theilen Kohlensäuere. Hiebei Gewichtstheile vorausgesetzt, liefert:

1 Theil reiner Kohlenstoff $= \frac{44}{12}$ Theile Kohlensäuere und 1 Theil Durchschnitts-Coaks von circa 83% Kohlenstoff-Gehalt $0{\cdot}83 + \frac{44}{12} = 3{\cdot}04$ Gewichtstheile Kohlensäuere.

Es ist nun nötig, diese Zahl auf das Luft-Volumen des Arlberg-Tunnels zu beziehen, daher ebenfalls in eine Volumszahl zu verwandeln.

Es ist unwesentlich und umständlich bei dieser Umrechnung Luftdruck und Temperatur genau zu berücksichtigen, und es genügt für die Beurtheilung der in Frage stehenden Sache vollständig eine Durchschnittstemperatur von 10° C. und einen Durchschnittsluftdruck von 740 mm anzunehmen; dann wiegt 1 m³ Kohlensäure 1·824 kg und 1 kg Coaks bildet demnach 1·666 m³ Kohlensäuere. Da wir den genauen Inhalt des Arlbergtunnels, sowie den täglichen Coaksverbrauch nicht kennen, letzterer auch variabel sein dürfte, so haben wir eine approximative Ziffer angenommen. Wenn in der nachfolgenden Berechnung die genauen Ziffern eingesetzt werden, so werden die Resultate der Wahrheit näher kommen, aber unsere Schlüsse kaum modifizieren.

Wir nehmen den Luftraum des Tunnels mit 418.810 m³ und den Coaksverbrauch pro Durchfahrt eines Zuges durch den Tunnel mit 400—700 kg an; dann ist, wenn der Tunnel mit frischer Luft erfüllt wäre, sein Sauerstoffgehalt in je 100 m³ = 20·9 m³, also in 250.000 m³ wären 52.250 m³ Sauerstoff enthalten. Aus diesem Sauerstoff-Resorvoir, wenn man von freiwilliger Ventilation vorläufig absieht, schöpft jede durchfahrende Locomotive und liefert an Stelle jedes verbrauchten Kubikmeter Sauerstoff genau einen Kubikmeter Kohlensäuere. Und wenn unsere Ansicht annähernd richtig ist, dass jede durchfahrende Locomotive im Tunnel 200 kg Coaks verbrennt, dann entzieht jede Locomotive dem Tunnelinhalt 200 mal 1·666 = 333·2 m³ Sauerstoff und setzt 333·2 m³ Kohlensäuere an dessen Stelle. Das ist eine sehr grosse Zahl. Bei 10 Zügen pro Tag sind dies 3300 m³, bei 100 Zügen 33.000 m³ Sauerstoff-Verlust und Kohlensäuere-Erzeugung, d. h. wenn keine freiwillige Ventilation stattfände, müsste die Luft im Arlbergtunnel nach dem Verkehre von 100 Zügen statt 21 Volumprozent-Sauerstoff nur noch 7·75% Sauerstoff, aber 13·25% Kohlensäuere aufweisen.

Es ist nicht nötig diesen ungeheuerlichen Fall weiter auszuspinnen. Dieser Fall, wo Flammen nur noch düster roth glimmen, Coaks nicht mehr verbrennen würden, Menschen aber in wenigen Minuten ersticken müssten, dieser Fall einer derartigen Luftverschlechterung ist ja im Arlbergtunnel niemals vorgekommen. Der Arlbergtunnel hat zwar keine künstliche Ventilation, aber er hat eine natürliche Ventilation, das ist der Wetterzug nach der einen oder anderen Richtung. Und dieser Wetterzug muss ein ausserordentlich lebhafter sein; dieser Wetterzug muss im Stande sein, in einer weit kürzeren Zeit, als der Zeitraum ist, innerhalb welcher 100 Züge den Tunnel frequentieren, die Tunnelluft vollständig zu erneuern.

Wenn die vollständige Reinigung des Tunnels sich in einer Zeit vollzieht, während welcher 50 Züge hindurchzufahren pflegen, dann wird die Tunnelluft nicht mehr 13·25 Kohlensäuere aufweisen, sondern nur die Hälfte, d. i. circa 6·2% Kohlensäuere.

Aber auch diese Zahl ist unmöglich.

Auch in einer derartig zusammengesetzten Luft ist ein längerer Aufenthalt von Menschen unmöglich. Es ist anzunehmen, dass sich die Luft im Tunnel bereits je einmal erneuert hat, bevor je 50 Ctr Coaks in demselben verbrannt sind, respective, bevor 25 Züge durch denselben gefahren sind. — Die 3½ % Kohlensäuere, welche dann die Tunnelluft zeigen wird, müssen als ein Maximum bezeichnet werden, bei welcher Menschen stundenlang, wie dies ja thatsächlich der Fall ist, im Tunnel ausharren könnten, ohne schwerere Symptome zu zeigen. Es darf demnach niemals im Tunnel eine grössere Strecke mit Luft erfüllt sein, welche mehr als 3½ % Kohlensäuere enthält. — Nebenbei sei noch bemerkt, dass sich das Maximum an Kohlensäuere stets nahe jenem Ende des Tunnels zeigen wird, aus welchem die Tunnelluft auszuströmen pflegt.

Die auf der anderen Seite eben einströmende Luft wird nahezu gar keine Kohlensäuere enthalten, während die Kohlensäuereziffer für jeden zwischenliegenden Punkt im Tunnel in arithmetischer Progression zunehmen wird.

Nach dieser kurzen Studie der Luftverhältnisse im Tunnel lässt sich der Einfluss ermessen, welche eine kurze Stauung oder Rückläufigkeit des Luftstromes im Tunnel nach sich ziehen muss. Wenn durch Gegenwind oder sonst welche Ursachen eine plötzliche Verzögerung oder Stauung des Luftstromes während eines Zeitraumes stattfindet, in welchem wieder 25 Züge hindurchfahren, dann würde die Kohlensäuere-Prozentzahl an einem Ende von 0% auf 3½ %, am anderen Ende auf 7% hinaufschnellen und im Falle einer Rückläufigkeit des Luftstromes würde eine Luftsäule den Tunnel durchziehen, die im gefährlichsten Querschnitte 7% Kohlensäuere aufweisen würde.

Auch diese Gefahr ist in ihrer geschilderten Grösse wohl noch nicht vorgekommen und wird auch kaum jemals eintreten; aber möglich ist sie immerhin. Es ist wahrscheinlich, dass unsere Zal von 3½ % Kohlensäuere an dem einen Tunnelende zu hoch gegriffen ist, denn sie ist eine Maximalberechnung; allein das Wichtige an den geführten Betrachtungen ist die Thatsache, dass der gewöhnliche Kohlensäueregehalt des Tunnels durch eine kurze Stauung auf das Doppelte steigen kann.

Und da die Möglichkeit vorliegt, dass der Wind mehrmals umschlägt, oder andere Ursachen sich ergeben, welche den Luftstrom im Tunnel ebenfalls mehrmals seine Richtung ändern lassen, dann kann es sich ergeben, dass ein Luftquantum in dem innersten Theile des Tunnels längere Zeit zwischen zwei Umkehrpunkten hin- und herschwankt, welche noch innerhalb des Tunnels liegen, und diese im Tunnel gefangen gehaltene Luft ist dann einer ungeheuer schnell wachsenden Verschlechterung ausgesetzt. — Im einfachsten von uns geschilderten Falle wird sich die Kohlensäureziffer, gleichviel wie hoch der örtliche Gehalt ist, verdoppeln, also von 1% auf 2%, von 2% auf 4% hinaufschnellen. — Durch die blosse Rückkehr des Luftstromes in seine gewöhnliche Richtung vor Ablauf einer bestimmten Zeit, tritt Verdreifachung und bei gleichem Wechsel Vervierfachung der örtlichen Kohlensäurezahl ein.

Es war nötig, alle diese Verhältnisse zu bedenken, um die von uns untersuchten Coaksmuster zweckentsprechend beurtheilen zu können. Es war nötig zu erkennen, dass schon in der glatten einfachen Verbrennung grosser Mengen Coaks zu Kohlensäuere die Ursache zu einer bedeutenden und unter Umständen rapid wachsenden Luftverschlechterung gelegen sei.

Die Luftverschlechterung ist nun deshalb weniger bedenklich, weil sie nicht durch ausgeathmete Kohlensäuere, sondern durch Coaksverbrennung erzielt ist, also nicht jene besonders gesundheitsschädlichen Ausdünstungsprodukte enthält, welche neben Kohlensäuere in Räumen, wo viele Menschen athmen, produziert werden. An Stelle dieser Ausdünstungsprodukte, welche die durch Athmung gebildete Kohlensäuere begleiten, kommen jedoch neben der aus Coaks entstandenen Kohlensäuere direct giftige Verbrennungsgase vor. Es ist richtig zu erkennen, dass die direct giftigen Gase in einer bereits durch Kohlensäuere an die Grenze der Athembarkeit gebrachten Luft um so intensivere Wirkungen auf den menschlichen Organismus hervorbringen müssen.

In Erwägung alles Gesagten haben wir die Maximal-Grenze für einen einigermassen noch erträglichen Kohlensäueregehalt mit circa 3½ % aufgestellt, während man diese Grenze für Räume, wo die Kohlensäuere zum grossen Theil durch Athmung produziert wird, auf 1% herabzumindern pflegt. — Während man in menschenerfüllten Räumlichkeiten den Kohlensäueregehalt als Massstab für die anderen vorhandenen schädlichen Ausdünstungen annehmen kann, ist die im Tunnel vorkommende Kohlensäuere niemals den daneben auftretenden giftigen Gasen proportional; denn diese schädlichen Gase entstehen zum grössten Theil auf Kosten der produzierbaren Kohlensäuere und in einer künstlich sehr beeinflussbaren Menge.

Einfluss der in geringeren Mengen vorkommenden Rauchgase.

Wir haben im Vorstehenden gezeigt, dass der Einfluss der gesammten Hauptmasse der Rauchgase auf die Tunnelluft in einer Sättigung derselben mit Feuchtigkeit und in einer Imprägnierung derselben mit 3—4 % Kohlensäuere besteht.

Wir haben nun jene geringe Sammelmenge anderer Gase, welche neben den abgehandelten bei Verbrennungen aufzutreten pflegen, zu berücksichtigen.

Ihre Verbreitung kann im günstigsten Fall eine der Kohlensäuere analoge sein, doch werden sich bei der folgenden Besprechung Fälle ergeben, wo gewisse Gase durch chemische Prozesse in der Tunnelluft rasch unschädlich gemacht werden. Im günstigsten Falle kann daher ihre Anwesenheit in der Tunnelluft nur einen sehr kleinen Bruchtheil der Kohlensäuere-Prozentziffer in der Tunnelluft ausmachen, da sie ja auch im Vergleich zur Kohlensäuere bei der Coaksverbrennung in sehr geringem Masse entstehen.

Da Coaks in der Hauptsache zu Kohlensäuere verbrennen, so ist es zweckdienlich, die unter verschiedenen Verhältnissen entstehenden Mengen der spärlicher auftretenden Gase auf die Kohlensäueremenge zu beziehen. — So wird man erkennen, dass die Summe aller dieser Gase in der Tunnelluft immer nur Zehntelprozente ausmachen werden; denn wenn auch, was nach der Erfahrung sicher eine Maximalannahme ist, auf je 100 Theile Kohlensäuere unter praktischen Verhältnissen 5 Theile giftiger Gase gebildet werden, dann wird sich dieses Zwanzigstel auch in der Tunnelluft nur als ein Zwanzigstel jener 3—4% der darin vorhandenen Kohlensäuere wieder finden. Unter normalen Verhältnissen wird also die Totalsumme aller vorhandenen fremden Gase 0·15 – 0·2 % sicher nicht übersteigen.

Wie bei der Kohlensäuere wird dieser Gehalt nur in kurzen Strecken diese Maximalziffer erreichen, und ebenso, wie unter dem Einflusse von Wetterstauungen die Kohlensäureziffer erschreckend anwachsen kann, wird sich auch die Ziffer für den Gehalt an den anderen Verbrennungsgasen rapid vergrössern können; es werden sich örtlich und zu gewissen Zeiten 0·4 und mehr Prozente an solchen Gasen aufhäufen können. Diese Maximalziffern mögen hoch gegriffen sein und dem Auge klein erscheinen.

Allein unter diesen Gasen sind solche, dass ein Partialgehalt der Luft von 0·03 % z. B. bei Kohlenoxyd bereits sehr unbehaglich empfunden wird und 0·5 % Partialgehalt bereits lebensgefährliche Vergiftungen hervorrufen.

Während nun die Kohlensäuere nur dadurch die Luft verschlechtert, dass sie auf Kosten des zum Athmen nöthigen Sauerstoffes entstand und seinen Platz einnahm, wirken die meisten der anderen Verbrennungsprodukte, nämlich jene kleinen Mengen des polyglotten Gasgemisches, welches neben Kohlensäuere aufzutreten pflegt, absolut giftig.

Von den giftigen Gasen der Verbrennung sind in ihrer Wirkung nur die schweflige Säuere, das Kohlenoxyd und das Acetylen die hervorragendsten und genau studiert. Von den anderen sich bildenden Kohlenwasserstoffen und Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Sauerstoffverbindungen sind sehr viel giftige vorhanden. Und alle in den Rauchgasen spurenweise vorkommenden Verbindungen sind nicht einmal genau bekannt, aber giftig wirken sie auch. — Es konnte demnach nicht daran gedacht werden, alle diese Gase zu isolieren und qualitativ zu untersuchen, da diese Arbeit ins Unendliche geführt hätte, sondern unsere Thätigkeit musste sich darauf beschränken, einen einfachen Masstab aufzustellen, mit welchem das Vermögen der Brennmaterialien, schädliche Gase zu entwickeln, gemessen werden konnte.

Diesen Massstab schöpften wir vorerst aus folgenden allgemeinen Analysen der uns übermittelten Coaksmuster und zwar:

Coaksmuster Nr.	I	II	III	IV	V
Kohlenstoff	82·49	81·22	83·12	85·87	81·93
Wasserstoff	0·75	0·52	0·37	0·20	0·22
Sauerstoff	0·84	1·23	1·64	1·43	1·47
Schwefel	1·15	1·36	0·51	0·61	0·65
Feuchtigkeit (160° C.) . .	1·97	3·79	1·71	2·79	3·57
Asche	12·80	11·88	12·65	9·10	12·16

1. Die Menge des Wasserstoffes, insbesondere des sogenannten disponiblen Wasserstoffes, muss als Mas für die Qantität giftiger Kohlenwasserstoffe, z. B. Acetylen, Atylen, angesehen werden, welche sich beim Verbrennen aus den verschiedenen Coaksmustern entwickeln können. — In zweiter Linie ist derselbe auch ein Mass für die Menge aller jener Rauchgasbestandtheile, welche aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff gebildet werden, z. B. Phenole. — Schliesslich hat er auch einen Einfluss auf die Bildung von gasförmigen Verbindungen, welche unter gleichzeitiger Intervention des Schwefelgehaltes entstehen, z. B. Schwefelwasserstoff, Thiophen etc.

Es wird demnach eine Coaksart mit geringem Gehalt an Wasserstoff respective disponiblem Wasserstoff, einer Coaksart mit höherem derartigen Gehalt vorzuziehen sein.

2. Die Menge des Schwefels in den einzelnen Coaksarten muss als Mass für die Menge der gasförmigen, schwefligen Säuere und anderen schwefelhaltigen Gasen angenommen werden, welche jede einzelne Coaksart beim Verbrennen erzeugen kann. Es war hier der Einwurf begründet, dass die Gesammtmenge des Schwefels in den einzelnen Coakssorten nicht vergasbar sei.

Der Schwefel findet sich nämlich in den Coaks in mehreren Verbindungen vor. Der als Gyps (Sulfate) oder als Schwefeleisen (und anderen Sulfiden) in den Coaks vorkommende Schwefel ist genau von dem an Kohlenstoff und Wasserstoff gebundenen Schwefel zu unterscheiden. — Es ist wesentlich der letztere Schwefelantheil, welcher beim Verbrennen des Kohlenstoffes und Wasserstoffes gleichzeitig mitverbrennt, und zwar bildet sich in der Hauptsache schweflige Säuere, welche gasförmig entweicht.

Von dem in anderer Gestalt vorhandenen Schwefel können nur durch chemische Nebenprozesse, welche sich in der Gluth vollziehen, Antheile desselben in Form von schwefliger Säuere respective Schwefelwasserstoff in die Rauchgase gelangen. Es wurde demnach der an Kohlenstoff und Wasserstoff gebundene Schwefel in allen Coaksmustern besonders bestimmt.

In Folgendem ist zum Vergleich die frühere Gesammt-Schwefelmenge nochmals angeführt.

Die Coaksmuster enthielten:

	I.	II.	III.	IV.	V.
Gesammtschwefel	1·15	1·36	0·51	0·61	0·65
Schwefel an Kohlenstoff und Wasserstoff gebunden, als schweflige Säuere vergasbar	0·69	1·25	0·39	0·47	0·48
	0·66	1·37	(Control - Bestimmung.)		

Die beiden Reihen, von welchen die letztere 2 Doppelbestimmungen aufweist, gehen vollständig parallel, so dass der Einwurf erledigt erscheint. Man sieht, dass es gleichgiltig ist, welche Reihe man zur Beurtheilung der Coaksarten heranzieht.

Es wird eine Coaksart mit der relativ niedrigsten Schwefelzahl bei der Heizung vorzuziehen sein.

Mit den beiden gelieferten Grundsätzen, nach welcher die Coakssorten beurtheilt werden sollen, sind alle Gase, welche sich in geringen Mengen bei der Verbrennung der Coaks bilden können, summarisch und genügend behandelt, bis auf eines. — Dieses eine Gas ist das Kohlenoxyd. Neben der schwefligen Säuere ist es sicher das quantitativ am meisten vorhandene.

Weder der Wasserstoffgehalt, noch der Schwefelgehalt der Coaksmuster können einen Aufschluss darüber geben, wie viel von diesem Gas sich maximal bilden könne. Die Bildungsmöglichkeit dieses Gases kann durch eine Maximalgrenze gar nicht beschränkt werden.

Es besteht eben das Kohlenoxyd nur aus Kohlenstoff und Sauerstoff und unter geeigneten Umständen ist es möglich, den ganzen Kohlenstoffgehalt der Coaks statt in Kohlensäuere in Kohlenoxyd zu verwandeln. Man denke nur, da es möglich ist, den ganzen Kohlenstoffgehalt der Coaks statt zu Kohlensäuere ganz zu Kohlenoxyd zu verbrennen, dass es möglich ist, beim Verbrennen anstatt jedes Kubikmeters Kohlensäure 2 Kubikmeter*) Kohlenoxyd in die Luft zu schicken, und man wird einsehen, wie wichtig es ist, die Ursachen der Kohlensäuerebildung festzustellen, denn die Menge der Kohlenoxydbildung für jede einzelne Coaksart im allgemeinen festzustellen, ist unmöglich. Die von einem Centner Coaks unter verschiedenen Verhältnissen produzierten Mengen Kohlenoxyd sind eben sehr variabel, je nach äusseren Einflüssen. Die Bedingungen zur Bildung von Kohlenoxyd, dieses so sehr giftigen Gases, bilden den Inhalt des folgenden Abschnittes.

Ursachen der Kohlenoxydbildung.

In der Tunnelluft befinden sich zwar einige Prozente Kohlensäuere, aber nur selten oder noch niemals dürfte der Kohlenoxydgehalt auf 0·2—0·3 % gestiegen sein. — Und warum ist der Fall im Tunnel noch nie eingetreten, dass anstatt 3—4 % Kohlensäuere sich ebensoviel Kohlenoxyd darin befunden hätte? Es ist eben die Feuerbüchse einer Locomotive anders construiert, wie ein Coaksgenerator für eine Glashütte. Es ist blos die Heizvorrichtung, die Verschiedenheit der Rostanlage und der Brennstoffschüttung Schuld, dass ein Coaksgenerator nahezu ausschliesslich Kohlenoxyd und eine Dampfkesselfeuerung nahezu ausschliesslich Kohlensäuere produziert. — Aber in einem Generator entstehen immer geringe Mengen Kohlensäuere, und in den Rauchgasen einer Kesselfeuerung ist immer Kohlenoxyd. Dieses gerade Gegentheil beweist, das die Unvollkommenheiten der Heizconstructionen und des Brennmateriales es heute noch nicht gestatten, eine Verbrennung ganz nach dem idealen Schema einer ausschliesslichen Kohlensäuerebildung einzurichten.

Es gibt nur eine grössere oder geringere Annäherung an das eine oder das andere ideale Verbrennungsschema und dieses zielbewusst zu erstreben, ist die Aufgabe der Heiztechnik. — Hier interessiert es zu wissen, welche Mittel wir haben, um die Kohlenoxydbildung im Feuerraum einer Locomotive zu bekämpfen und dazu waren die folgenden Untersuchungen nothwendig.

Es wurde zuerst versucht, ob unter sehr günstigen Verhältnissen die Kohlenoxydbildung gänzlich zu unterdrücken sei.

Zu diesem Zwecke wurde 1 Gramm feingepulverter Coaks in einem Porzellanschiffchen in einem Glasrohre zum Glühen erhitzt, unter Ueberleitung von reinem, trockenem Sauerstoff.

Zur Nachweisung etwa gebildeten Kohlenoxydes wurden die entweichenden Gase mit Kalilauge und Wasser gewaschen, und dann durch einen Liebig'schen Kalikugelapparat geleitet, welcher mit $^1/_{40}$ Kaninchenblutlösung beschickt war. — Es wurde mit einem sehr schnellen Sauerstoffstrom gearbeitet, so dass die Kohle unter lebhaftem Glühen und Funkensprühen verbrannte. Die Verbrennungsgase strichen hinter dem Schiffchen noch durch ein 1 Meter langes glühendes Glasröhrchen, um die Verbrennung zu vervollständigen, und waren beim Austritte aus dem Rohr noch immer so sauerstoffreich, dass brennbare Körper in denselben unter brillanter Lichtentwicklung verbrannten. — Nichts destoweniger liessen sich an dem vorgelegten Blute in allen 5 Fällen die Veränderungen, welche ausschliesslich Kohlenoxyd hervorbringen kann, mit grösster Schärfe beobachten.

Es hatte sich überall Kohlenoxyd gebildet. — Die unterste Grenze für die Erkennung von Kohlenoxyd durch Blut ist dann, wenn die Gase nur noch 0·025% Kohlenoxyd enthalten.

---

*) 1 m³ Sauerstoff kann aus der genügenden Menge Coaks nur 1 m³ Kohlensäure, aber 2 m³ Kohlenoxyd bilden.

Bei Durchleitung von mindestens 10 Liter Gasen bekommt man dann noch eine schwache Reaction. Um eine Minimalgrenze für die Menge des produzierten Kohlenoxydes zu erlangen, nehmen wir diesen Gehalt von 0·025% in 10 Liter Sauerstoff an, d. i. 2·5 cm³ Kohlenoxid aus 1 gr Coaks oder 500.000 cm³ aus 200 kg Coaks, welchen wir als Verbrauch pro Durchfahrt rechnen.

500.000 cm³ = ½ m³ auf einen Tunnelraum von 250.000 m³ bezogen ist 0.0002% Kohlenoxydbereicherung der Tunnelluft pro Durchfahrt.

Nach den erwähnten 25 Durchfahrten, nach welchen wir eine einmalige Reinigung der Tunnelluft durchschnittlich annehmen, ist der mindestens zu erwartende Kohlenoxydgehalt der Tunnelluft demnach 0·005%.

Gegen diesen Gehalt an Kohlenoxyd in der Tunnelluft lässt sich unter Beibehaltung des jetzigen Brennmateriales gar nichts machen. Dieser Kohlenoxydgehalt wäre aber auch gar nicht bedenklich. Auch die Concentration desselben aus Ursache von Wetterströmungen zu 0·01 und höchstens 0·02% in sehr seltenen Fällen, ist noch immer nicht bedenklich. — Schwache Aeusserungen auf das Allgemeinbefinden treten erst bei 0·03% ein, steigern sich aber dann bei Verzehnfachung des Kohlenoxydgehaltes zu schwereren Symptomen (0·3%).

Unsere Zahlen sind Minimalzahlen und im praktischen Betrieb muss darauf hingearbeitet werden, denselben nahe zu kommen, d. i. der Kohlenoxydbildung keinen Vorschub zu leisten.

Kohlenoxyd bildet sich in folgenden Fällen:

a) Wenn Kohlensäuere durch oder über glühende Kohle streicht (durch Reduction).

b) Wenn Wasserdampf durch oder über glühende Kohlen streicht (durch Wasserzersetzung.)

Im Falle a) wird sich um so mehr Kohlenoxyd biden, je concentriertere Kohlensäuere sich in der Feuerung bildet, d. i. je langsamer der Zug ist, und eine je grössere Oberfläche glühender Kohlen sich der Kohlensäuere darbietet.

Poröse und hochgeschichtete Kohlen bieten demnach die grösste Reductionsfläche; daraus ergibt sich neben practischen Heizgrundsätzen, z. B. gutem Zug, niedriger Brennstoffschüttung, ein günstiges Brennmaterial auszuwählen.

Es werden jene Coaks unter gleichen Umständen am wenigsten Kohlenoxyd bilden, welche am wenigsten porös, am dichtesten und härtesten sind.

Im Falle b) wird sich um so mehr Kohlenoxyd bilden, je mehr Wasserdampf mit dem glühenden Material in Berührung kommt und je poröser dasselbe ist. — Neben bereits Berücksichtigtem wird man demnach bedenken, dass man die Coaks nicht vom Regen durchnässen, und in der Feuerung selbst keinen Dampf zur Zugsverbesserung einströmen lassen soll.

Es werden demnach jene Coaks in der Verwendung vorzuziehen sein, welche die wenigste Feuchtigkeit und wasserbildenden Wasserstoff enthalten. — Wir müssen geradezu behaupten, dass der Wasserdampf, welcher aus wasserstoffreichen und feuchten Coaks entwickelt wird, den schädlichsten Einfluss auf die Zusammensetzung der Tunnelluft nimmt, indem er zur Erzeugung von riesigen Mengen Kohlenoxyd Anlass gibt.

Wir führen beispielsweise folgende Analysen von Gasen an, welche wir durch künstliche Einwirkung von Wasserdampf auf glühende Coaks erhielten.

Coaks	I.	II.	III.	IV.	V.
Kohlenoxyd . . .	22·1	30·3	19·7	20·4	20·4

Die Differenz zu 100 bilden stets circa 50% Wasserstoff, dann Kohlensäuere und Stickstoff.

Durch vermehrte Gluth erhöht sich die Kohlenoxydziffer in allen Fällen auf nahezu 50% und man hat dann im Kleinen ein förmliches Modell einer Wassergasfabrik; bei dunkler Rothgluth (500° C) verschwindet das Kohlenoxyd fast ganz und lauter Kohlensäuere tritt auf. Dieses Mittel zur Herabminderung der Kohlenoxydbildung können wir natürlich nicht in Vorschlag bringen, weil dann die Verdampfungskraft des Brennmateriales mehr wie ⅔ verlieren würde. Es ist aber auch nicht nötig; denn mit der Unterdrückung des Wassergehaltes in den Coaksarten (durch trockenes Lager) verschwindet die zuletzt beschriebene Ursache der Kohlenoxydbildung vollständig.

Zum Nachweis des Gesagten führten wir folgenden Versuch aus:

Um vollständig gleiche Versuchsbedingungen zu erzielen, wurden Durchschnittsproben der untersuchten Coaksmuster zerkleinert und durch Doppelsiebe jene Körnchen isoliert, welche zwischen 1—2 mm Durchmesser hatten. Mit diesem Coakssand wurden Röhren von 1 m Länge und 1·5 cm lichtem Durchmesser beschickt. Die Länge der Coaksschicht betrug 50 cm die Röhren wurden in einem Ofen zur Gluth erhitzt und in einer Versuchsreihe trockene Luft, in einer zweiten Sauerstoff im schnellen Strom hindurchgeleitet.

Die Länge der Coaksschicht repräsentierte hiebei die Schutthöhe in der Locomotivfeuerung.

Die Kohlenoxydbildung musste im Vergleich zu der natürlichen durch die Versuchsordnung potenziert erscheinen; eben aus diesem Grunde gewähren die Resultate einen guten ziffermässigen Einblick in die Verhältnisse, welche die gebildeten Kohlenoxyd-Quantitäten bestimmen.

Bei Durchleitung eines Luftstromes zeigte sich in den Abzugsgasen nach 5 Minuten:

Coaks Nr.	I	II	III	IV	V
Kohlenoxyd	4·4	3·2	2·8	2·4	2·4
Kohlensäuere und schweflige Säuere	20·4	21·6	20·9	20·5	19·4
Sauerstoff	—	—	0·4	—	—
Stickstoff	75·2	75·2	76·0	77·1	78·2

Nach weiteren 15 Minuten zeigte sich:

Coaks Nr.	I	II	III	VI	V
Kohlenoxyd	2·0	2·0	2·2	1·8	1·8
Kohlensäuere und schweflige Säuere	20·2	20·4	20·0	22 2	21·0
Sauerstoff	—	—	—	—	—
Stickstoff	77·8	77 6	77·8	76·0	77·2

Nach Verlauf einer Stunde zeigte sich:

Coaks Nr.	I	II	III	IV	V
Kohlenoxyd	1·9	2·1	2·0	1·6	1·5
Koklensäuere und schweflige Säuere:	18·8	18·7	19·0	19·6	19·4
Sauerstoff	—	—	—	—	—
Stickstoff	79·3	79·2	79·0	78·8	39·1

In dem Masse, als sich die Coaksfüllungen mehr und mehr ausglühen, also an Wasser und Wasserstoff verloren, gieng, wie man sieht, auch die Kohlenoxydbildung zurück; — man sieht auch, dass die Cokesmuster IV und V als die dichtesten und wenigst porösen relativ immer weniger Kohlenoxyd lieferten, wie die porösen Muster I und II.

Um den Unterschied zwischen weichen und harten Coaks einerseits, porösen und dichten Coaks andrerseits noch eclatanter zu zeigen, glühten wir auch Holzkohle unter denselben Modalitäten. Es wurde nur Kohlenoxyd bestimmt.

Ein Gasprobe enthielt nach	5 Minuten,	15 Minuten	1 Stunde
Kohlenoxyd	31·3%	28·8%	25·8%

also bei weitem mehr als Coaks zu liefern pflegten.

Wir nahmen nun Versuche im Sauerstoffstrom vor:

Auch diese Versuche ergaben, wie die vorigen, dass eine 50 cm lange, glühende Coaksschicht im Stande sei, allen Sauerstoff zu absorbieren. Es ist daher in einer Dampfkesselfeuerung vorzugsweise nur 1 Theil des über die glühenden Kohlen hinwegstreichenden Sauerstoffes, welcher unverbrannt in den Rauchgasen wieder erscheint, viel weniger der durch den Rost streichende Sauerstoff.

Die folgenden Beispiele sind wieder darnach angethan, zu beweisen, dass eine hohe Kohlenschüttung, poröse Kohle und Wasserstoffgehalt das Kohlenoxyd vermehren.

Im Vergleiche zu früheren Versuchen tritt in Folge hoher Verbrennungstemperatur auch relativ mehr Kohlenoxyd auf:

Coaks Nr.	I	II	III	IV	V
Kohlenoxyd nach 5 Minuten	8·4	6·2	4·4	3·9	3·8
1 Stunde	2·6	2·7	2·4	1·9	2·2

Classification der Coakssorten.

Im Sinne der ganzen vorstehenden Abhandlung haben wir die Bildung von Wasserdampf und Kohlensäuere als hauptsächliches Verbrennungsproduct von Coaks als Classificationsmoment nicht benützt. Der Wasserdampf sättigt die Tunnelluft mit Feuchtigkeit und setzt so die Transpiration der sich im Tunnel befindlichen Menschen herab, was für deren Allgemeinbefinden von Einfluss ist. Die Kohlensäuere verschlechtert mechanisch die Tunnelluft; aber beide Uebelstände können durch eine zweckentsprechende Auswahl der Coaksart nicht behoben werden, demnach blieben zur Beurtheilung nur die in der voranstehenden Abhandlung gekennzeichneten Grundsätze der Bildung von Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffen, und anderen organischen Verbindungen, schwefliger Säuere und Ammoniak übrig.

Es konnte sich nur in der Praxis leicht ergeben, dass die Coaksarten, nach jedem der aufgestellten Grundsätze besonders beurtheilt, eine verschiedene Rangierung erfahren hätten.

So müssen wir die Auswahlprinzipien selbst nach ihrer Wichtigkeit anwenden und zwar wie folgt:

Am wichtigsten ist der Wassergehalt [1]), wobei auch der Wasserstoff einzureihen ist (durch Multiplizieren mit 9), sodann folgt als Wahlmotiv der Wasserstoffgehalt [2]), hierauf an Wichtigkeit die Dichte und Härte [3]) der Coaksmuster.

In der Reihe der Wichtigkeit steht der Schwefelgehalt [4]) in letzter Linie — (letzteres hauptsächlich aus dem Grunde, weil die gebildete schweflige Säuere aus der Tunnelluft auch ohne Luftwechsel sehr rasch durch Oxydation und Absorption durch die feuchten Tunnelwände aus demselben entfernt wird).

In folgenden Gruppierungen ist jede vorgenannte Coaksnummer besser als die nachfolgende:

Rangierung nach Auswahlprincip A
Wasserbildungsvermögen

Coaks Nr. (IV, III,) V, (II, I)

Rangierung nach Auswahlprincip B
Wasserstoffgehalt

Coaks Nr. (V, IV,) III, II, I

Rangierung nach Auswahlprincip C
Dichte und Härte

Coaks Nr. (V, IV,) III, II, I

Rangierung nach Auswahlprincip D
Schwelfelgehalt

Coaks Nr. III, (IV, V,) I, II.

Die Klammern, welche zwei Nummern umschliessen, bedeuten, dass der Classificationsunterschied zwischen den beiden Sorten so gering ist, dass er nicht in Betracht gezogen zu werden braucht.

Wie vorausgesetzt, waren die vier Classificationsreihen heterogen ausgefallen.

Allein da jede vorausgehende Reihe wichtiger ist, wie die nachfolgende, so kann man noch immer ein sicheres Endurtheil abgeben.

Coaks Nr. IV sind in Reihe A concurrenzlos, in Reihe B und C mit V gleichberechtiget; es wird deshalb, unbeschadet dass Nr. IV in Reihe D nur den zweiten Platz einnimmt, Nr. IV sicher als dasjenige Muster bezeichnet werden können, welches die wenigsten schädlichen Gase entwickelt, also für den gewünschten Zweck (I. Rang) das beste ist.

Schwieriger zu bestimmen ist, welchem Muster der zweite Rang gebürt.

Coaksmuster Nr. III ist zwar in Reihe A an zweiter Stelle stehend, allein es unterliegt in Reihe B und C gegenüber Muster V und sein Vorrang in Reihe D ist sehr bescheiden. Es macht ferner das Muster einen sehr ungleichartigen Eindruck, denn es besteht zu Hälfte aus sehr mürben, porösen, zum Theil aus dichten, harten Coaks von sehr verschiedenem Glanz und Aussehen.

Aus diesem Grunde allein würden wir Muster V dem Muster III vorziehen. Wenn aber unser Vorschlag angenommen wird, die im Tunnelbetrieb zur Verwendung gelangenden Coaks nur ganz trocken zu gebrauchen, also mit möglichst wenig Wasser zu löschen und eventuell austrocknen zu lassen und vor Regen zu bewahren, dann fällt dieses Auswahlprincip ganz weg; die Reihe A ist dann nicht mehr zu berücksichtigen und Coaksmuster Nr. V ist dann unbestritten dasjenige, welches gleich nach IV genannt werden kann (2. Rang); den III. Rang kann Muster III einnehmen, der IV. Rang gebührt in der Schlussreihe dem Muster II, trotzdem es in der Reihe D hinter Nr. I steht, den letzten (5.) Rang nehmen als schlechteste Coaks Muster Nr. I ein.

Die uns zur Untersuchung übergebenen Coaksmuster sind aus allen angeführten Gründen, wenn es sich darum handelt, die Luft im Tunnel möglichst zu schonen, in folgender Weise als zu Betriebszwecken tauglich zu classifizieren.

1.	Rang:	Coaksmuster	IV	(Oberschlesische)	(St. Anton)
2.	„	„	V	„	(Langen)
3.	„	„	III	Littitzer	(Langen)

[1]) Auswahlprincip A. [2]) Auswahlprincip B. [3]) Auswahlprincip C. [4]) Auswahlprincip D.

4. Rang Coaksmuster II Nezwestiz (Langen)
5. „ „ I „ (St. Anton)

Nr. IV ist am meisten, Nr. V weniger, Nr. III bedeutend weniger, Nr. II und I am wenigsten tauglich.

In Bezug auf den Heizwert, Verdampfungsfähigkeit etc. wurden keine Versuche angestellt; doch ergibt schon die chemische Analyse und die gleichartige Natur des Brennmateriales, dass der Unterschied gar nicht in Betracht kommt.

Muster Nr. IV dürfte um 3% und, wenn es getrocknet ist, um 5% höhere Effecte geben als die anderen, so dass auch in dieser Richtung unsere Classification der Coaksmuster keinem Anstand unterliegt.

Heizvorschriften

Die Auswahl zweckentsprechender Coaks wird vollständig illusorisch, wenn das Material schlecht behandelt wird. — Der Fehler kann schon in der Coaksbrennerei geschehen. Wenn die glühend auschargierten Coaks mit Wasser abgeschreckt werden, dann kann leicht des Guten zuviel geschehen.

Sie saugen sich voll Wasser und es ist besonders bei den guten, dichten Coaks schwer, dieses wieder zu entfernen.

Wenn es angeht, die fertigen Coaks je nach der Construction der Coaksöfen auf letzteren oder durch deren Abhitze scharf zu trocknen, wäre es jedenfalls ein ausserordentlicher Vortheil; im anderen Falle ist eine Einlagerung zu Trocknungszwecken wünschenswert.

Ein Schutz vor Regen ist dringend geboten, weil nasse Coaks eine Hauptquelle der Kohlenoxydbildung sind (durch Wassergasbildung).

Auf dem Roste der Locomotive soll niemals zuviel Brennmaterial liegen; es soll dort flach ausgebreitet und nicht hochgeschichtet sein, sonst tritt ebenfalls vermehrte Kohlenoxydbildung ein.

Weder auf noch unter die glühenden Coaks darf Dampf geblasen werden. Der Dampf zur Zugsanfachung darf erst hinter den glühenden Coaks in die bereits verbrannten Rauchgase geblasen werden. — Bei Einhaltung aller dieser Bedingungen wird es gelingen, die Kohlenoxydbildung und Entwicklung von schädlichen Gasen auf das möglichste Minimum zu beschränken, und wir können nur hoffen, dass dieses Minimum gering genug sein wird, um sich nicht mehr bemerkbar zu machen.

Wir sind am Ende der uns gestellten Aufgabe.

Wir können über den Rahmen der uns gestellten Aufgabe nicht hinausgreifen, fühlen uns aber zu der Bemerkung verpflichtet, dass wenn die bei Coaks erreichbare Minimalentwicklung an schädlichen Gasen noch immer nicht als minimal genug empfunden wird, es möglich erscheint, durch zerstäubten Theer (wie in Gasfabriken) Petroleumspray etc. vollkommen ungiftige Heizgase zu erzeugen.

Diese Heizmethode würde jedoch constructive Aenderungen an den Locomotiv-Feuerungen und neue Studien nothwendig machen, welche erst dann zur Erwägung reif wären, wenn wieder alles Erwarten die vorgeschlagene Coakswahl und Heizweise nebst örtlichen Vorkehrungen nicht im Stande sind, die schädlichen Gase im Tunnel auf ein unschädliches Minimum herabzudrücken.

Chemisch-Mikroscopisches Laboratorium für medizinische, hygienische und technische Untersuchungen von Dr. M. und Ad. Jolles.

Dr. M. und Ad. Jolles m. p

II. Gutachten.

Chemisch-mikroskopisches Laboratorium für medizinische, hygienische und technische Untersuchungen von Dr. M. und Dr. Ad. Jolles.

Lauf. Z. Nr. 3915
Haupt.-J. Nr. 738
Spec. Nr. 93 c

Wien, am 5. September 1891.

Gutachten über die Luftuntersuchungen im Arlbergtunnel.

Als Einleitung zu dem nachfolgenden Gutachten über die Luftverhältnisse im Arlbergtunnel erlaubt sich das gefertigte Laboratorium einer löblichen k. k. Eisenbahn-Betriebs-Direction über die an Ort und Stelle ausgeführten Untersuchungen einen Bericht zu erstatten, welcher den Plan der Untersuchung und die Thätigkeit der dorthin Delegierten enthalten soll.

Mit der Untersuchung wurden vom chemisch-mikroskopischen Laboratorium der Vorstand der chemischen Abtheilung, Herr Dr. Adolf Jolles, und unser 1. Assistent, Herr Eduard Wild, absolvirter Chemiker der Wiener Technischen Hochschule, betraut.

Am 6. April 1891 hatte sich der Vorstand des chemisch-mikroskopischen Laboratoriums, Herr Dr. Ad. Jolles, dem Vorstande der k. k. Eisenbahn-Betriebs-Direction in Innsbruck vorgestellt und den Plan der Untersuchung im Arlbergtunnel bekannt gegeben.

Von Seiten des Herrn Oberinspectors wurden sofort die nötigen Vorbereitungen für die Untersuchung getroffen, so dass am nächstfolgenden Tage mit den Arbeiten begonnen werden konnte.

Als Commissionsmitglieder während der ganzen Untersuchungsdauer fungierten: Herr Inspector Rother, Streckenchef Herr Breymann, Ingenieur Herr Fritz und der Vorstand des Heizhauses in Landeck Herr Pauly.

Die Untersuchungen, welche wir durchführten, sind in 2 Gruppen getheilt, wovon in die erste Gruppe alle jene Untersuchungen fallen, die an Ort und Stelle, in die zweite Gruppe jene Untersuchungen, welche im Laboratorium ausgeführt wurden.

Die im Tunnel selbst vorgenommenen Bestimmungen waren folgende: 1. Bestimmung der Windrichtung, 2. Bestimmung der Temperatur, 3. Bestimmung des Barometerstandes, 4. Bestimmung der Feuchtigkeit, 5. Bestimmung des Ozongehaltes, 6. Nachweis von Kohlenoxydgas, 7. Nachweis von schwefliger Säuere, 8. von Schwefelwasserstoffgas und 9. Ermittlung des Kohlensäuregehaltes an jedem Kilometerpunkte, als auch in der bei jedem Kilometer befindlichen Kammer. 10. Studien über die Einwirkung der Tunnelluft auf sehr empfindliche Versuchsthiere (weisse Mäuse).

Um für das Gutachten ein weiteres Material zu sammeln, wurden noch folgende im Laboratorium ausgeführte Untersuchungen vorgenommen.

1. Analysen der Tunnelwässer, welche an verschiedenen Stellen entnommen wurden.
2. Analysen von Rauchgasen.
3. Untersuchung des Eisenmaterials im Tunnel, um die Ursachen der rapiden Zerstörung desselben eruieren zu können.

4. Analyse des Cementverputzes.

5. Analysen der in Verwendung stehenden Steinkohlen.

Die Untersuchung wurde am 7. April 1891 von St. Anton aus in Gegenwart der früher genannten Commissionsmitglieder begonnen.

Bei jedem Kilometerpunkte wurden Windrichtung, Temperatur, Barometerstand, Feuchtigkeit beobachtet und der Kohlensäueregehalt sowohl im Tunnel selbst, wie in der Kammer bestimmt. — Die Versuchsthiere wurden an bestimmten Punkten des Tunnels der Einwirkung der Tunnelatmosphäre ausgesetzt.

Am zweiten Versuchstage wurden die Kohlensäuerebestimmungen an allen Kilometerpunkten und Kammern wiederholt.

Unmittelbar vor und nach der Durchfahrt der Züge wurden Kohlensäuerebestimmungen, sowie Versuche zum Nachweise von Kohlenoxydgas vorgenommen.

Um auch andere schädliche Gase, wie schweflige Säuere und Schwefelwasserstoffgas, nachzuweisen, wurden an sämmtlichen Kilometerpunkten und in den Kammern empfindliche Reagenspapiere angebracht, ebenso zur Bestimmung des Ozongehaltes.

Am dritten Versuchstage wurden wieder Windrichtung, Temperatur, Barometerstand, Feuchtigkeit, sowie Kohlensäueregehalt an allen Kilometerpunkten und Kammern zur Controle bestimmt.

Sämmtliche Reagenspapiere wurden beobachtet und die Veränderungen derselben constatiert. Die dreitägige Einwirkung der Tunnelluft auf die Versuchsthiere wurde ebenfalls beobachtet.

An diesem Tage wurden von dem im Tunnel befindlichen Wasser Proben genommen und zur weiteren Untersuchung an das Laboratorium abgesandt.

Zur genauen Ermittlung der Zusammensetzung der Tunnelluft wurde eine vorschriftsmässig entnommene Probe derselben in einem dicht verschlossenen Gefässe aufbewahrt und im Laboratorium genau untersucht.

Um über die Verwendbarkeit der im Tunnel verwendeten Heizmaterialien Aufschluss zu erhalten, wurden an demselben Tage im Heizhause zu Landeck 3 Maschinen mit folgendem Brennmaterial geheizt:

Nr. 1 mit Lititzer und Miröschauer Coaks,
Nr. 2 „ Coaks Nr. IV und V,
Nr. 3 „ „ Nr. I, II und III (Lititzer Coaks).

An Ort und Stelle wurden von allen drei Maschinen Rauchgasproben entnommen und darin Kohlensäuerebestimmungen gemacht.

Zur genaueren Analyse der Rauchgase wurden von allen 3 Maschinen Proben in gut verschlossenen Flaschen aufbewahrt und zur weiteren Untersuchung dem Laboratorium zugestellt.

Hier fanden unsere Untersuchungen an Ort und Stelle einen Abschluss und sind sämmtliche Resultate im Anhange unseres Gutachtens tabellarisch zusammengefasst. (Beilagen XXXIII—XXXVII).

Wir haben das umfangreiche Untersuchungsmaterial in extenso in unserem nachfolgenden Gutachten verarbeitet und geben der Hoffnung Raum, dass bei sorgfältiger Berücksichtigung unserer gutachtlichen Aeusserungen es möglich sein werde, 1. die Luftverhältnisse im Arlbergtunnel auch in hygienischer Hinsicht günstig zu gestalten, 2. das im Tunnel vorhandene Eisen und Holzmaterial vor weiteren rapiden Zerstörungen zu schützen.

I. Abschnitt.

Generalcharakteristik der Tunnelluft.

Das Untersuchungsmateriale, welches wir aus unserer dreitägigen Inspection des Arlbergtunnels etc. gewonnen haben, findet sich in seiner Gänze am Ende unseres Berichtes tabellarisch zusammengestellt.

Die Verarbeitung dieses Ziffernmateriales, sowie der in unserem Laboratorium ausgeführten Analysen, ihre Interpretation und die Heranziehung derselben zur Wahl praktisch brauchbarer Vorschläge sind der Hauptinhalt unseres Gutachtens.

Langen liegt westlich, St. Anton östlich. Der Tunnel steigt von Langen aus 15 pro Mille auf einer Strecke von 6136 m und fällt dann nach St. Anton hin um 2 ‰ auf einer Strecke von 4113 m.

6136 m von Langen und 4113 m von St. Anton liegt demnach der höchste Punkt des Tunnels.

Meereshöhe in St. Anton	m	1202·4
„ „ Langen	m	1218·8
Höhendifferenz .	m	83·6
Der höchste Punkt liegt um 2‰ × 4113 m höher = .	m	8·2
Höhendifferenz .	m	91.8

Der Tunnel ist somit eine schief aufsteigende Röhre mit einer leichten Knickung, bei welcher der absolute Höhenunterschied der Oeffnungen 83·6 m beträgt. — Eine solche Röhre kann unter einer Bedingung, wie ein Schornstein von 83·6 m Höhe wirken. Diese eine Bedingung heisst: es muss die Temperatur der Luft im Inneren der Röhre höher sein, als die der äusseren Luft.

Diese Bedingungen fanden wir durch unsere Temperaturmessungen am Orte erfüllt, und zwar fanden wir eine mittlere Tunneltemperatur von 10·5° C. gegenüber einer mittleren Aussenlufttemperatur von 2·9° C.

Die westliche Lage des Tunnels, im Verein mit der Temperaturdifferenz der inneren und äusseren Luft bewirken demnach ohne weitere äussere Verhältnisse einen Luftzug im Tunnel vom tieferen Ende zum höheren Ende, von West nach Ost, von Langen nach St. Anton.

Da die Höhendifferenz der Enden 83·6 m, der Querschnitt des Tunnels 41 m² beträgt, so ist dieser natürliche Zuge rein mathemathisch berechnet, gleich dem Zug eines senkrechten Schornsteines von 41 m² Grundfläche und 83·6 m Höhe bei einer Temperatursdifferenz von 10·5° C. — 2·9° C. = 7·6° C.

Die dadurch erzeugte natürliche Windpressung von West nach Ost ist ausgedrückt durch die Formel:

$$(p_1 - p_2)\ \alpha t$$

wobei p_1 den Luftdruck am unteren Röhrenende, p_2 den Luftdruck am oberen Röhrenende, t die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen und α den Ausdehnungs-Coefficienten der Luft bezeichnet.

Im beobachteten Falle war

p_1 (Langen)	720 mm
p_2 (St. Anton)	717 „
t = 7·6° C., α = ...	$1/273$ „

Daher war

$$(p_1 - p_2)\ \alpha t = (720 - 717) \times \tfrac{1}{273} \times 7{\cdot}6 = 0{\cdot}084 \text{ mm Druck}$$

am Quecksilbermanometer; am Wassermanometer beträgt der Druck

$$0{\cdot}084 \times 13{\cdot}6 = \ldots\ldots 1{\cdot}169 \text{ mm}$$

Das ist eine Windpressung von 1·169 kg per Quadratmeter Tunnelquerschnitt oder 1·169 × 41 = 47·9 kg Winddruck auf den gesammten Tunnelquerschnitt bei St. Anton.

Es wäre noch nötig, Correcturen für die Luftzugreibung an den Tunnelwänden, sowie für andere Beeinflussungen niederen Grades in Anschlag zu bringen, doch sind dieselben nur empirisch oder auf einem sehr langwierigen Wege zu berechnen, wovon wir aber um so leichter absehen können, als obige Windpressung so wie so jeden Tag in Folge von Temperatur- und Luftdruckschwankungen sich ändert, und wir mit dem Vorhergehenden nur berichten wollen:

> „dass durch die Steigung und Temperatur des Tunnels eine starke natürliche Tendenz für einen Luftzug von West nach Ost vorliegt. Jeder Westwind wird den natürlichen Zug verstärken, jeder Ostwind wird ihn abschwächen, resp. ihn zu überwinden versuchen. Für den Luftzug von West nach Ost addieren sich alle Factoren in der Wirkung, für den Luftzug von Ost nach West subtrahieren sie sich in ihrer Wirkung; daher ist die Tunnelreinigung durch Westwind effectvoll, durch Ostwind nicht."

Das Gesagte wird sehr scharf durch die graphische Darstellung der Temperatursverhältnisse im Tunnel beleuchtet (Beilage XXXIII). Der Verlauf der Tunnellinie ist der Einfachheit halber hier horizontal gezeichnet, die fortlaufenden Ziffern auf derselben bedeuten die Kilometerpunkte, bei welchen

die Temperaturaufnahmen erfolgten. An jedem Kilometerpunkte ist die entsprechende Temperatur durch eine entsprechende Ordinate angedeutet.

Die Curve zeigt an, dass an verschiedenen Stellen des Tunnels eine sehr verschiedene Temperatur herrscht, und zwar sieht man, dass die Temperatur am 1. Tage der Inspection vor dem Portale in Langen sehr niedrig (+ 1·6° C.) war, während sie gegen die Mitte des Tunnels zu allmählig bis auf 13·2° C. anstieg, dann bis über $^2/_3$ *des Tunnels hinaus nahezu constant blieb, (12·8, 13·0, 12·4, 11·3). um* dann kurz vor dem Portale St. Anton *jäh abzustürzen und in die äussere Lufttemperatur (4·2° C.)* überzugehen.

Am 2. Tage wurden keine Temperaturbestimmungen gemacht.

Am 3. Tage waren die Verhältnisse analog, trotzdem eine Zeit lang Ostwind geherrscht hat.

Da die Temperaturerhöhung in den einzelnen Tunnelabschnitten ihre Quelle nur in der Erdwärme, welche in geringen Tiefen stets gleich der mittleren Jahrestemperatur des betreffenden Ortes ist und in der Wärmeabgabe der Locomotivfeuerungen haben kann, erstere aber constant ist, so ist die Temperaturverschiedenheit in den einzelnen Abschnitten lediglich auf die verschieden hohe Erwärmung derselben durch hindurch fahrenden Locomotiven zurückzuführen.

Auf Grund dieser Betrachtungen lassen sich die Temperaturziffern zu einer Berechnung dahin herziehen, welcher Luftabschnitt im Tunnel am längstens in demselben verweilt habe, respective in welchem Luftabschnitte bereits das meiste Brennmaterial verbrannt worden ist. Je höher an einem Orte die Temperaturdifferenz gegen aussen ist, desto länger hat die Luft dieses Ortes im Tunnel gesteckt.

So sieht man bei dem ersten Blick auf die Curve, dass sich die heisseste also älteste Luft in der Osthälfte des Tunnels, zwischen dem 2. und 5. Kilometer befindet, sowohl am 1. Tage bei Westwind, wie am 3. Tage bei Ostwind.

Ganz im Osten natürlich, in der Nähe des Portales St. Anton, macht sich bereits der Einfluss der äusseren Temperatur geltend, indem vom Portale aus auf der Thalsohle kalte Luft als Sekundarströmung einstreicht und die Tunnelluft etwas mit frischer kalter Luft mischt.

Aus der Temperaturcurve sieht man besonders deutlich das ganz allmählige Anwachsen der Tunneltemperatur auf der Strecke zwischen Langen und dem Höhenpunkte des Tunnels (H). Der Tunnel hat hier 15 ‰ Steigung, die Coaksverbrauchsliste weist für diese Strecke einen sehr grossen Brennstoffaufwand nach, daher ist es auch erklärlich, dass die Temperaturcurve an dieser Stelle ganz besonders steil ist und scharf darauf hinweist, wie die von Westen in den Tunnel eintretende Luft Train auf Train begegnet, immer wärmer wird, dann am Scheitel des Tunnels bei H das Maximum erreicht, hierauf eine lange Strecke hindurch nahezu constant bleibt und plötzlich wieder Aussentemperatur annimmt.

Unserer Erklärung zufolge sollte die Tunneltemperatur in der Richtung von H nach St. Anton noch weiter steigen, wenn auch bei Weitem schwächer, allein da dieser Theil des Tunnels nahezu horizontal ist, so wird an dieser Strecke weniger Locomotivdampf produziert, also die Luft weniger geheizt, als auf vorerwähnte Strecke. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass die Tunnelwände, wenn auch in geringem Grade wärmeentziehend wirken, und sich ausserdem der Einfluss der secundär von St. Anton zuströmenden kalten Luft geltend macht.

Wie gross die Differenz in der Wärmeproduktion auf der Steilstrecke im Vergleich zu der Wärmeproduction auf der Flachstrecke ist, geht aus der Coaksverbrauchsliste hervor. Ein Lastzug braucht bergauf 400 Kg Coaks, bergab durch den Tunnel 150 Kg. Bergauf werden in einem Tage 2900 Kg Coaks, bergab 875 Kg Coaks verbraucht.

Nachdem wir nun genügend erläutert haben, dass

1. die Steilstrecke Langen bis H die wärmeproduzierende Strecke par excellence ist, 2. die erwärmte Tunnelluft in die Höhe steigt zum Tunnelscheitel H, 3. die warme Tunnelluft nur mit Widerstreben den Scheitelpunkt verlässt, um nach St. Anton abzusteigen, wollen wir noch darauf aufmerksam machen, dass aus der mittleren Temperatur der Tunnelluft im Verein mit den bekannten Tunnellängen- und Querschnittsziffern, sowie der verbrauchten Coaksmengen etc. sich berechnen lässt, wie oft sich beiläufig die Luft an einem Tage im Tunnel vollständig erneuert.

Berechnung:

Tunnellänge	10.250 m
Querschnitt des Tunnels	41·13 Quadratmeter
Daher innerer Luftraum	421.582 m³.

Derselbe hatte ursprünglich am Tage des Versuches die mittlere Aussentemperatur von 2·9° C., während des Durchganges der Luft durch den Tunnel wurde dieselbe durch Erdwärme + Locomotiv-

hitze zuerst auf die Temperatur der äusseren (8° C.) und dann durch die Locomotivhitze allein bis auf die mittlere Tunneltemperatur von circa 10·5° C. angewärmt.

Diese letztere Temperaturerhöhung der Tunnelluft geschieht ausschliesslich auf Kosten der Locomotivhitze, und zwar von jenen 3775 Kg Coaks (à circa 83 % Kohlenstoff), welche im Tunnel täglich verbrannt wurden, und welche dabei approximativ $3775 \times 0{\cdot}83 \times 8080 = 2{,}519.546$ Calorien erzeugen.

Unter der Annahme, dass alle diese Wärme zur Erhöhung der Tunnellufttemperatur über die Temperatur der Erdwärme (circa 8° C.) verwendet wird, d. i. eine Temperaturerhöhung von 10·5—8° C. = 2·5° C. in der Tunnelluft hervorruft, lässt sich die Zahl der Kubikmeter Luft berechnen, welche im Maximum an den Versuchstagen pro Tag den Tunnel passierten.

Im Tunnel sind 421.582 m³ Luft. Jedes m³ dieser Luftmenge würde durch die 2,519.546 Calorien, welche täglich erzeugt werden, $\frac{2{,}519.546}{421.582}$ Calorien = circa 6 Calorien profitieren, welche sich als Temperaturerhöhung äussern würden.

Um einen Cubikmeter Luft um 1° C. zu erhöhen, sind circa 0·25 Calorien nötig, daher würden die 6 Calorien pro 1 m³ zu einer Temperaturerhöhung von $\frac{6}{0{\cdot}25} = 24°$ C. über die örtliche Erdwärme hinaus Veranlassung geben, unter der einen Bedingung, dass die Tunnelluft während eines Tages nur einmal im Tunnel wechseln würde.

Thatsächlich ist nur eine Temperaturerhöhung der Tunnelluft um circa 2·5° C. über die Erdwärme (mittlere Jahrestemperatur) constatiert worden, also eine circa 10 mal geringere Erhöhung. Es involviert dies, dass der Luftwechsel im Tunnel nicht 1 mal, sondern 10 mal im Tage stattgefunden haben müsse; d. h. die 2½ Millionen tägliche Calorien sind nicht dem einmaligen Quantum von 421.000 m³ Luft zugute gekommen, sondern einem circa 10 mal grösseren Luftquantum.

Die ganze vorstehende Berechnung geschah unter der Voraussetzung, dass das Wärmeentziehungsvermögen der Tunnelwände gleich Null sei und dass die Erdwärme ausschliesslich die Erwärmung der Tunnelluft auf die Normaltemperatur von 8° C. (die Zahl schwankt in Mitteleuropa nur zwischen 7—8°) bewirkt habe.

Die Einführung dieser und aller anderen unberechenbaren Correcturen bewirken gemeinsam eine Veränderung obigen Resultates nur in der Richtung, dass die Zahl für den täglichen Luftwechsel bedeutend kleiner ausfällt.

Es ist daher die Annahme der 10 maligen täglichen Lufterneuerung weit davon entfernt, den Thatsachen zu entsprechen, es ist vielmehr klar, das die Zahl bei Weitem zu hoch gegriffen ist.

Die obige Berechnung wurde auch gar nicht zu diesem Zwecke ausgeführt, sondern bezweckt blos, eine Maximalzahl zu finden, auf welche sich mit Sicherheit neue Schlüsse aufbauen liessen. Und thatsächlich lässt sich aus dieser Maximalzahl mit Sicherheit ableiten, dass sich im Arlberg ein grossartiger Absorptionsprozess vollzieht.

Es lässt sich daraus ableiten, im Zusammenhange mit den in der Tunnelluft beobachteten Kohlensäureziffern, dass nahezu die ganze Kohlensäuere, welche aus den Locomotivschornsteinen entweicht, durch den sich gleichzeitig condensierenden Locomotivdampf und die feuchten Tunnelwänden absorbiert wird.

Man sehe zum Beweise des Gesagten auf die graphischen Darstellungen der Kohlensäurebestimmungen (Beilage XXXIV) und auf die in den Tabellen zusammengestellten Untersuchungsresultate. Die Grundlinie bedeutet wieder den Tunnelverlauf; derselbe ist in 10 Theile getheilt, entsprechend den 10 Kilometerpunkten im Tunnel. Die Länge der senkrechten Ordinaten veranschaulicht den jeweilig am Orte gefundenen Kohlensäuregehalt. 3775 kg täglich verbrannter Coaks im Tunnel à 1·666 m³ Kohlensäuere-Reproduction liefern im Tage 6289 m³ Kohlensäuere.

Da nach der vorhergehenden Maximalberechnung an diesem Tage eine 10 malige Tunnellufterneuerung stattfand, so wurde mit den 6289 m³ Kohlensäuere höchstens 10×421.582 m³ Luft gesättigt, was einen Percentsatz von $\frac{6289 \times 100}{421582} = 0{\cdot}14\%$ an Kohlensäuere als Minimalgehalt entsprechen sollte, d. h. der Kohlensäuregehalt, welcher bei der thatsächlichen Kohlensäurebestimmung der Tunnelluft erwartet wurde, sollte demnach mindestens 0·14 durchschnittlich sein. Unter der Annahme, dass die Lufterneuerung wahrscheinlich weniger als fünfmal vor sich geht, sollte der Kohlensäuregehalt sogar das Doppelte und mehr betragen.

Anstatt dessen zeigte sich am 1. Tage (Beilage XXXIV) ein Durchschnittsgehalt der Tunnelluft an Kohlensäuere von 0·02%, am 2. Tage 0·037%, also um den 4.—7. Theil weniger als der berechneten Kohlensäuremenge entspricht.

Am 3. Tage war der mittlere Kohlensäuregehalt 0·10%, oder an diesem Tage (bei Ostwind) war die mittlere Tunneltemperatur 12·2° C, die Austrittstemperatur der Tunnelluft 14—15° C, die Temperaturerhebung über die Erdwärme 5°—7° C, was einen höchstens 3—5 maligen Luftwechsel des Arlbergtunnels an diesem Tage involvierte, also einen Minimalkohlensäuregehalt von 0·47—0·30% voraussetzen liess.

Wenn auch diese Berechnung der Luftverhältnisse im Arlbergtunnel am 3. Versuchstage — mangels genügend zahlreicher Versuchsdaten — innerhalb der Grenze 0·47—0·30 als Minimum für Kohlensäure schwankt, so zeigt sie doch zur Genüge, dass auch am 3. Tage die thatsächlich beobachtete Kohlensäurereprocentzahl von 0·10 im Mittel um mehr als das Dreifache unter dem berechneten Kohlensäureminimum zurückblieb.

Diese an drei verschiedenen Tagen beobachtete Erscheinung lässt in ihrer Deutung keinen Zweifel zu.

Da die berechneten Kohlensäuremengen ohne Zweifel durch die Locomotivheizungen erzeugt werden, in der Tunnelluft sich jedoch ein grosses Manco an dem Gehalte an Kohlensäure constatieren liess, so musste die grössere Menge der produzierten Kohlensäure durch einen selbstthätig wirkenden Reinigungsprocess der Luft entfernt worden sein.

Ein Blick auf die drei Kohlensäurecurven lehrt auch, dass knapp nach der Durchfahrt eines jeden Zuges in der Luft ein bedeutendes Anschwellen des Kohlensäuregehaltes stattfand.[1])

Es drückt sich dies in den Kohlensäurecurven durch eine grosse Zacke aus, an allen Stellen, wo während der örtlichen Messungen plötzlich ein Zug die Untersuchungsstelle passierte.

Aber schon am nächsten Kilometerstein war der Kohlensäuregehalt bis auf sein gewöhnliches Niveau zurückgesunken; in der kurzen Zeit des Weges von einem Kilometerpunkte bis zum nächsten, ist die Kohlensäurewelle — wenn wir so sagen dürfen, — welche den Tunnel durchschreiten sollte, verflacht und ist verloren gegangen.

Wir können mit Fug und Recht annehmen, dass der sich condensierende Locomotivdampf und die feuchten Tunnelwände die fehlende Kohlensäure allmählig absorbiert und sich als kohlensäurehaltiges Wasser niedergeschlagen haben.

Es ist dies freilich nur eine Annahme, aber in Ermanglung jeder anderen nur denkbaren Ursache erhebt sich diese Annahme zur Gewissheit.

Und auf Grund dieser Thatsache wird es, wie wir hier schon nebenbei erwähnen, verständlich dass das Schienenmateriale des Tunnels mit so schnellem Schritte seiner Zerstörung entgegengeht, denn wie die Analysen vom Schienenrost im Arlbergtunnel zeigen, ist es neben dem vollständig zu Schwefelsäure oxydierten Schwefel der Coaks, der sich in allen Tunnelmaterialien wiederfindet[2]), besonders die darin enthaltene Kohlensäure, welche die bekannte Contactwirkung bei der Rostbildung am blanken Eisen entfaltet.

Die Kohlensäuremengen vermögen trotz ihrer geringen Mengen grosse Quantitäten Eisen in verhältnismässig kurzer Zeit in Rost überzuführen.

Kehren wir wieder zum Hauptthema zurück, so sei zunächst erwähnt, dass die Hauptmenge der im Tunnel vorhandenen Kohlensäure denselben in Form von kohlensäurehaltigem Sickerwasser und Tagwasser verlässt, was mit den nachfolgenden Analysen der Arlbergtunnelwasser übereinstimmt, indem die Wässer aus dem Tunnel per Kubikmeter zwischen 53·1—56·1 Gramm halbgebundener Kohlensäure fortführen.

Mit wenigen Worten gestatten wir uns, noch auf die Feuchtigkeitsverhältnisse der Tunnelluft aufmerksam zu machen.

Genau so, wie wir bereits in unserem 1. Gutachten ausgesprochen haben, dass nämlich der Einfluss des Betriebes die Tunnelluft vollständig mit Wasserdampf sättigen würde, haben wir thatsächlich die Tunnelluft vorgefunden.

Die Tunnelluft war am 1. Tage mit Feuchtigkeit gesättigt, ausgenommen an sehr kurzen Strecken in der Nähe der beiden Tunnelenden und befand sich nur an der heissesten und trockensten Stelle des Tunnels knapp unter dem Sättigungspunkte.

---

[1]) Häufig auf das 10 und 20 fache des gewöhnlichen Niveaus.

[2]) Siehe Cementanalysen.

Diese Thatsache ist nur aus dem einzigen Grunde erklärlich, weil die vom tieferen Westtheil des Tunnels kalt und gesättigt zuströmende Tunnelluft während ihrer Erwärmung in den Scheitelpartien des Tunnels, welche sehr trocken sind, ihrem neu gewonnenen Wasseraufnahmsvermögen nicht vor Durchfahrt des nächsten Trains genügen konnte.

Wir lassen die graphischen Darstellungen folgen, in denen die in den einzelnen Kilometerpunkten gezogenen Ordinaten die Feuchtigkeitsgrade darstellen, während die mit „∞“ bezeichneten, die mit Feuchtigkeit gesättigten Stellen bedeuten. (Beilage XXXV).

Mit dem bis nun Gesagten sind alle Elemente, welche die Betriebsverhältnisse des Arlbergtunnels im Grossen beherrschen, des Eingehenden erörtert worden.

In unserem Gutachten, welches wir im Herbste 1890 über die im Arlbergtunnel zur Heizung verwendeten Coakssorten, sowie über die durch das Heizmaterial bewirkte Luftveränderung im Tunnel abgegeben haben, hatten wir auseinandergesetzt, dass die Sättigung der Tunnelluft mit Feuchtigkeit einerseits, sowie der Kohlensäuregehalt derselben andrerseits für die Tunnelluft charakteristisch seien, und dass auf Grund dieser Basis sich ein Schluss über den Einfluss der specifisch schädlichen Gase ziehen lassen werde.

Auf Grund der persönlichen Untersuchungen im Tunnel haben wir zu diesen Momenten noch die Luftzugs- und Temperaturverhältnisse hinzugefügt und können nunmehr unter steter Rücksichtnahme auf die durch dieselben bedingte Situation zur Besprechung der für die Tunnelbediensteten specifisch schdälichen Gase und andere Einflüsse herantreten.

2. Abschnitt.

Specifisch giftige Gase im Tunnel.

Wir hatten in unserem ersten Gutachten erläutert, dass rapides Anwachsen von Kohlensäuere durch Luftströmung unter Umständen derartige Sauerstoffverarmung der Tunnelluft verursachen könnte, dass dieselbe auch ohne die Abwesenheit besonders giftiger Gase zu geringen Athmungsstörungen Anlass geben könnte.

Die Ergebnisse unserer persönlichen Untersuchung des Arlbergtunnels schliesst die theoretische Möglichkeit für den „Arlbergtunnel“ nahezu aus.

Wie die Verhältnisse im Grossen und Ganzen liegen, dürfte der Kohlensäuregehalt der Tunnelluft selbst an sehr schlechten Tagen 1·4% nicht erreicht haben.

Es setzt dieser hohe Procentsatz an Kohlensäuere voraus, dass die Tunnelluft einen ganzen Tag im Tunnel stagniert hätte, wobei jede Absorption an Kohlensäuere durch den Abdampf und die feuchte Wärme unterblieben wäre.

Die Tunnellufttemperutur musste unter diesen Umständen im Höhenpunkte des Tunnels bedeutend steigen und zwar nach der theoretischen Berechnung um 24° C.

Nach zweitägiger Luftstockung würde der Kohlensäuregehalt 2·8% und die Temperatur 48° C betragen.

Wir hatten in unserem ersten Gutachten 2% Kohlensäuere als ein noch einigermassen erträgliches Maximum angenommen, bei welchem ohne Beschwerden geathmet werden könne.

Da wir nun thatsächlich im Tunnel meist nur 0·01—0·08% Kohlensäuere, am Ostwindtage durchnittlich 0·1% und nur knapp nach Durchfahrt von Trains 0·1% bis 0·22% Kohlensäuere beobachteten, so erscheint uns der Weg von diesen 0·22% Kohlensäuere bis zur Anstauung auf 2% ein so weiter, dass wir diesen Fall als niemals eintretend annehmen können.

Es wäre das Gegentheil ein sehr missliches Resultat gewesen; denn ebensowenig wie sich etwas gegen die misslichen hygienischen Folgen der Dampfproduction im Tunnel und Sättigung der Tunnelluft mit Wasserdampf thun lässt, ebensowenig liesse sich gegen die hohe Tunneltemperatur und den zu hohen Kohlensäuregehalt der Tunnelluft etwas unternehmen, da diese drei Dinge mit dem Zugsverkehr durch den Tunnel untrennbar verbunden sind.

Das einzige Mittel in diesen Fällen, wäre gewesen für eine raschere Erwärmung der Tunnelluft durch einen Luftschacht am höchsten Punkt des Tunnels 6136 Meter von Langen Sorge zu tragen.

So aber haben wir durch die persönliche dreitägige Tunnelinspection die Gewissheit geschöpft, dass die Unfälle, welche sich im Tunnel zeitweise ereignet haben, nicht untrennbare Folgen des

Tunnelbetriebes an gewissen ungünstigen Tagen sind, sondern dass sie ausschliesslich durch Vernachlässigung von kleinen Eigenthümlichkeiten entstehen, die einer Dampfkesselfeuerung anzuhaften pflegen, ohne ihr anhaften zu müssen, und die nur an besonders disponierten Tagen als schädlich wahrgenommen werden.

Hier müssen wir auf die geringen Mengen von giftigen Gasen zu sprechen kommen, welche Dampfkesselfeuerungen unter gewöhnlichen Umständen entwickeln.

Wir hatten in unserem ersten Gutachten als solche genannt: die schweflige Säuere, manche Kohlenwasserstoffe und das Kohlenoxyd.

Wir hatten die schweflige Säuere als total ungefährlich für die Athmung im Tunnel hingestellt, mit der Begründung, dass dieselbe bald zu Schwefelsäuere oxydiere und vom Wasser absorbiert werde, daher für die Athmung nicht mehr in Betracht komme.

Thatsächlich haben wir in der Tunnelluft auch keine schweflige Säuere nachweisen können, wohl aber finden wir dieselbe, wie die Analysen zeigen, als Schwefelsäuere massenhaft im Cement der Tunnelwände und in den Eisenbahnschienen wieder, an deren rapiden Zerstörung sie neben condensierter Kohlensäuere die meiste Schuld trägt.

Wir hatten daher in unserem ersten Gutachten das Schwergewicht der Gefahr in der Entwicklung von giftigen Kohlenwasserstoffen und Kohlenoxyd gesehen und daraus unsere Coaksauswahl getroffen.[1])

Als wir durch unsere persönliche Untersuchung das Auftreten von relativ geringen Kohlensäueremengen, welche in der Tunnelluft im Maximum 0·22% vorhanden sind, feststellten, wurde es uns sofort klar, dass Gasmengen, welch $^1/_{20}$ bis $^1/_{100}$ dieser Quantität betrugen, an guten Tagen wohl kaum zum chemischen Nachweise gelangen würden, denn 0·01% von Kohlenwasserstoffen ist chemisch nicht mehr nachweisbar, während 0·01% an Kohlenoxyd eben noch zur Noth schwach nachgewiesen werden kann.

Thatsächlich blieben die im Tunnel ausgehängten Reagenspapiere und die Thierversuche im Tunnel in nahezu allen Fällen — mit einer Ausnahme — ohne Erfolg.

Ueber die Ausführung dieser Versuche gehen wir an dieser Stelle, um den Zusammenhang der Darstellung nicht zu stören, hinweg, und verweisen auf die später ausführliche Beschreibung derselben.

Dafür erfüllt es uns mit umso mehr Genugthuung, dass wir am 3. Tage, einem Ostwindtage Luftströmungen im Tunnel beobachten konnten, welche sich in der Erhöhung der Temperatur, und Kohlensäuerecurven dieses Tages sehr lehrreich illustrieren.

Es kam uns sehr gelegen, dass wir im Augenblicke der höchsten Luftverschlechterung, d. h. im Augenblicke der Umkehr des Westwindes zum Ostwinde bei Kammer Nr. V „alle Reactionen für die Anwesenheit giftiger Gase im Tunnel erhielten."

Die Temperatur hatte nahezu ein Maximum von 14·8° C., der Kohlensäueregehalt 0·19%.

Nach nahezu einstündiger Durchleitung der Tunnelluft durch Blutlösung konnte endlich in derselben Kohlenoxyd spectroskopisch nachgewiesen werden, wenn auch nur in Spuren.

Der Versuch musste unterbrochen werden, weil der Wind in Westwind umschlug und es galt die Reagenspapiere des nächsten Kilometerpunktes so bald als möglich zu beobachten.

Unter dem Eindrucke der kurz zuvor noch bestandenen Luftströmung zeigten dieselben Schwefelwasserstoff und eine abnorme Verminderung des Ozongehaltes der Luft an (0·24 anstatt 0·52 — 2·4 an anderen Stellen. (Beilage XXXVI).

Das Auftreten des giftigen Schwefelwasserstoffs in Spuren kann an und für sich nicht als eine besonders schädliche Erscheinung angesehen werden, allein es ist ein untrügliches Zeichen dafür, dass einige an dieser Stelle hindurchfahrende Locomotiven sich in einem schlechten Heizzustande befanden; denn eine Kesselfeuerung im gutem Zustand entwickelt stets schweflige Säuere, nie Schwefelwasserstoff; letzterer tritt immer auf, wenn schwefelhaltige Kohle oder Coaks bei unvollkommenem Luftzutritt und in Gegenwart von Feuchtigkeit und Wasserdampf verbrannt werden.

Es bedeutet dies indirect eine Bildungsgelegenheit für Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxyd par excellence.

---

[1]) Wir hatten auch darauf hingewiesen, dass diese Gase (Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxyd) 1—5% der gesammten Kohlensäueremenge ausmachen.

Die Ozondepression an denselben Stellen ist ein zweiter Beweis für die Anwesenheit von reducierenden Substanzen in der Luft, welche das Ozon zerstören, also von Schwefelwasserstoff, ferner von Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Substanzen.

Kohlenoxyd und andere giftige Verbrennungsproducte würden beim 4. Kilometer zum zweiten Nachweise gelangt sein, wenn nicht kurz nach der Untersuchung beim fünften Kilometerpunkte wieder Westwind aufgetreten wäre.

Es könnten beim Durchlesen unseres Gutachtens Bedenken dahin gehend auftauchen, warum denn die directen Thierversuche zum Nachweise von Kohlenoxyd alle negativ ausfielen, speziell warum die im Tunnel ohne genau bekannte Ursache (Kälte, Mangel an Nahrung) verendeten Versuchs-Mäuse keine Spur von Kohlenoxyd in ihrem Blute zeigten.

Wir erwidern diesen vermutlichen Einwand von vorneherein damit, dass wir von diesen verendeten Mäusen in voraus annehmen konnten, sie seien nicht durch Kohlenoxyd ungekommen, und dass auch an dem betreffenden Tage keine erhebliche Menge Kohlenoxyd im Tunnel gewesen sein konnte; denn in einer Nacht, wo nicht einmal die Wächter Kopfschmerz bekommen, verenden auch keine Mäuse durch Kohlenoxydvergiftung.

Wir sind also befriediget durch den Nachweis von Kohlenoxyd und reduzierenden Gasen aus Ursache von unzweckmässiger Locomotivheizung, — welcher Nachweis uns während des kurzen Zeitmomentes der grössten Wetterstauung im Tunnel während der ganzen Zeit unseres Aufenthaltes im Arlberg gelang, und wollen nunmehr über unsere Beobachtungen, welche wir an Locomotiven direkt anstellten, berichten.

Vor allen Anderen müssen wir erwähnen, dass wir die Verbrennung der Coaks in den Locomotiven während der Durchfahrt im Tunnel keineswegs „rauchlos“ fanden.

Es hat dies seinen Grund darin, dass die Heizer — um eine bequemer leitende Verbrennung zu erzielen — nach eingezogenen Erkundigungen mit Coaks sehr ungern heizen und weder vor der Einfahrt in den Tunnel die theilweise noch unverkokste Kohle herausnehmen, noch im Tunnel selbst frische Coaks zur Kohle werfen, — dann kommt noch in Betracht, dass die Locomotiven zwar mit einem practischen Effect heizen, der dem ökonomischen Betriebe alle Ehre macht, der aber andrerseits hygienische Fehler in sich schliesst, auf welche es ja im vorliegenden Falle ankommt.

Man vergleiche die nachfolgenden Rauchgasanalysen von speciell zu diesem Zwecke im Heizhause mit Coaks von Litiz und Mörischau, dann von oberschlesischen Coaks Nr. IV und V, ferner mit Nr. I, II und III gebeizten Locomotiven, da findet man einen Kohlensäueregehalt von 18%, 20% etc. d. h. mit anderen Worten von den 21% Sauerstoff in der Luft, welche in dem Feuerraum der Locomotiven einströmen, werden 18 oder 20% in Kohlensäuere vewandelt und es bleiben nur 3% respective 1% Sauerstoff übrig, welchem dann die schwere Aufgabe zufällt, im ganzen Feuerraum darüber zu wachen, dass kein Kohlenoxyd sich bildet oder besser gesagt, dass jedes Atom zu Kohlenoxyd reduzierte Kohlensäuere gleich wieder zu Kohlensäuere zurückverbrenne und nicht als Kohlenoxyd entweiche.

Wo man dieses Resultat an Dampfkesselfeuerungen bei einem Sauerstoffüberschuss von 13% erreicht, sagt man, die Feuerung arbeitet, nach dem heutigen Stande der Heiztechnik, gut.

Wo dieses Resultat mit nur 5% Sauerstoffüberschuss erzielt wird, sagt man, die Feuerung ist ausgezeichnet.

Es gibt nur wenige Feuerungen in Europa, welche eine rauch- und kohlenoxydlose Verbrennung bei einem noch etwas geringeren Sauerstoffüberschuss erreichen, z. B. die Dampfheizungsanlage der kgl. technischen Hochschule in Hannover mit ihren mechanisch bewegten Fuger-Rosten.

Aber eine Feuerung mit nur 3—1% Sauerstoffüberschuss, wie wir sie an den Arlberg-Locomotiven vorfanden, ist weit davon entfernt, eine glatte Verbrennung zu gewährleisten, sondern ist disponiert, Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffe in Massen zu entwickeln.

Sinkt der Sauerstoffgehalt in Rauchgasen unter 1% herab, oder wird er gar 0, dann geht die Feuerung in eine Vorrichtung über, die gar nicht den Zweck hat, Brennmateriale vollkommen zu verbrennen, sondern sie verbrennt es unvollkommen, liefert brennbare Gase als Endprodukte, ist mit einem Worte ein Generator.

Mit dem Verschwinden des letzten Prozentes überschüssigen Sauerstoffes in Feuergase, steigt die Kohlenoxydbildungsfähigkeit enorm, die in echtem Generator 30% und mehr betragen kann.

Befindet sich in einem solchen Feuerraum noch Dampf (Feuchtigkeit) dann bekommt er eine Verwandtschaft mit einem Wassergasapparat, der Gase liefern kann, welche aus 50% Kohlenoxyd und 50% Wasserstoff zusammengesetzt sind.

Wir haben in den letzten Zeilen die von uns untersuchten Locomotivfeuerungen etwas drastisch charakterisiert.

Wollten wir sie jedoch streng wissenschaftlich classifizieren, dann müssten wir sagen: „Wir fanden die von uns untersuchten Coaksfeuerungen in einem Wirkungszustande vor, der eine Dampfkesselheizfeuerung in ihrer äussersten ökonomischen Entwicklung zeigt, hart an der Grenzlinie jener Wirkungsweise, welche die Feuerung bereits zu einer Generatorfeuerung stempeln würde.

Als die Ursache dieser Erscheinung müssen wir „ungenügenden Zug“ in Folge zu kleiner Roste oder Verlegung derselben durch kleinkörniges Brennmaterial, Nuss-Coaks — bezeichnen.

Besonders hervortretend ist letztere Wirkung bei Coaks Nr. 4 und 5, wo sich nur 1% freier Sauerstoff in den Rauchgasen vorfindet, gegen 3% bei dem porösen Coaks Nr. 1, 2 und 3.

Wir fanden auch alle Consequenzen einer derartigen Feuerung in der weiteren Zusammensetzung der Rauchgase ausgedrückt.

Wie die im Anhange folgenden genauen Rauchgasanalysen zeigen, war in allen diesen Locomotivfeuerungen die Bildung von Kohlenwasserstoffen und Kohlenoxyd keine zu unterschätzende.

Wir fanden auf 100 Theile Kohlensäuere bei Verwendung von

	Lititscher und Mörischauer Coaks	Oberschlesischen Coaks
	Nr. 1, 2, 3	Nr. 4 und 5
Kohlenoxyd . . .	0·17 Theile	0·32 Theile
Kohlenwasserstoff .	5·65 „	6·18 „
	5·82 Theile	6·50 Theile

Wir fanden also in beiden Feuerungen statt einer glatten Verbrennung zu Kohlensäuere noch bedeutende Mengen von giftigem Kohlenoxyd und theilweise auch giftigen Kohlenwasserstoffen vor.

Wir fanden ferner an Kohlenoxyd mehr in der mit Coaks Nr. 4 und 5 beschickten Feuerung.

Wir wiederholen den uns sehr klaren Grund dafür nochmals: im zweiten Falle haben die an und für sich guten, aber sehr kleinen und dichten Nusskoaks Nr. 4 und 5 die Roste so verlegt und den Luftzug so gestört, dass der Sauerstoffüberschuss in den Rauchgasen sich bis auf 1% herabsetzte und Reductionsprozesse auf der Feuerung unter vermehrter Bildung von Kohlenwasserstoffen und Kohlenoxyd auftraten.

Somit wäre der thatsächliche Befund, wie ihn uns unsere Untersuchung des Arlbergtunnels ergab, mit dem nöthigen Commentar versehen, erschöpft.

Wir haben in unserem ersten Gutachten im Herbst 1890 unter fünf Coakssorten die wasserstoff- und wasserärmsten Coakssorten Nr. 5 und 4 als die im chemischen Sinne beste und am wenigsten zur Entwicklung von giftigen Gasen hinneigende Sorte erklärt unter Vorbehalt der schädlichen Kohlenoxydbildungsfähigkeit, welche jedwedem Brennmaterial in gleich unbeschränktem Masse anhaftet, wenn nur die äusseren Bedingungen dafür, wie eine unzweckmässige Heizung, Dampf auf der Feuerung etc. vorliegen.

Auf den Einspruch der löblichen Betriebs-Direction, dass sich Coaks Nr. 4 und 5 im praktischen Betriebe als ungünstig erwiesen haben, schrieben wir in einer Erwiderung, auf welche wir vollinhaltlich verweisen können, dass wir die gute Qualität dieser Coakssorten vollinhaltlich vertreten können, dass es jedoch eine Heizmethode sei, welche sich ihren mechanischen Eigenschaften nicht anpasse, dass das Verstopfen der Roststab-Zwischenräume und Ueberlastung des Feuerraumes mit diesem dichten und daher ausgiebigem Brennmaterial Schuld trage an übermässiger Gelegenheit zu Kohlenoxydbildungen.

Wir haben nun durch unsere örtliche Untersuchung im Arlbergtunnel ein sicheres Urtheil über die Ursachen der Unfälle in demselben gewonnen.

Dasselbe lautet denn auch in Uebereinstimmung mit unseren Aeusserungen im ersten Gutachten und im Anhangsgutachten:

„Die Auswahl guter Coaks wird ganz illusorisch durch eine unzweckmässige Verheizung derselben.“ Ferner

„Nicht die Verwendung einer besseren oder schlechteren Coaksart im Arlbergtunnel, sondern eine diesem Betriebe und der Coaksart nicht angepasste Heizmethode ist die unzweifelhafte Ursache der Unfälle, welche sich an Tagen mit Wetterstauungen im Tunnel ereignen“.

Die unzweckmässige Heizmethode beruht darin, dass sie den Rost so zulegt und mit Brennmaterial so überlastet, dass Kohlenoxydbildungen Regel sind.

Die Kohlenoxydbildungen etc. werden ganz ausserordentlich intensiv, wenn die verwendeten Coaks feucht sind.

Dass die Verwendung von feuchten Coaks zur Bildung von schädlichen Gasen viel beiträgt, haben wir schon in dem früheren Gutachten dargelegt, einen weiteren Beweis finden wir noch im Auftreten von Schwefelwasserstoffgas, welches bei trockenem Brennmaterial niemals vorkommen kann.

Wir schliessen unsere Untersuchungen, indem wir noch darauf hinweisen, dass seit der Ausschliessung der Coaks Nr. 4 und 5 vom Betriebe, Unfälle im Tunnel dennoch vorgekommen sind. Wir verweisen auf einen Brief des Herrn Ingenieur Fritz, aus dem hervorgeht, dass in der Nacht vom 22. auf den 23. April neuerdings Unfälle im Tunnel vorgekommen sind, und dass Herr Fritz, angeregt durch unser erstes Gutachten bei Feststellung der Ursache seine Aufmerksamkeit dem Heizmateriale zuwandte, und die Verwendung von nassen Coaks — des Kohlenoxyderzeugers — par excellence — constatierte.

Wie es vorkommen kann, dass, trotzdem eine löbliche Eisenbahn-Betriebs-Direction den in unserem ersten Gutachten gemachten Vorschlag nach Errichtung von Trockenlagerhäuser für Coaks realisiert hat — immer noch nasse Coaks zur Verwendung gelangen, darüber werden wohl die einer löblichen Direction dringendst anempfohlenen Recherchen Aufschluss geben.

Abhilfe.

Wie wir bereits an anderer Stelle bemerkten, haben die im Arlbergtunnel vorkommenden Unfälle keine mit dem Betriebe desselben so untrennbar verknüpfte Ursache, dass denselben nicht dauernd abgeholfen werden könnte.

Im folgenden geben wir eine Reihe von Hilfsmitteln gegen die erwähnten Uebelstände im Tunnel an, welche nach der Reihe vom einfachen und billigen, zum umständlichen und kostspieligeren fortschreitend und unter Einhaltung von Beobachtungspausen zwischen den einzelnen Graden verschärfter Massnahmen behufs Constatierung des Erfolges angewendet werden mögen.

Die erste Massregel wäre die strikte Sorge dafür, dass niemals feuchte oder gar nasse Coaks zur Verwendung gelangen.

Als zweite Massregel wäre zu empfehlen, die Ueberladung der Roste mit Coaks hintanzuhalten und den Luftzug durch Erweiterung der Roststab-Zwischenräume durch Oeffnung besonderer Zuglöcher durch ein Dampfstrahlgebläse im Schornstein etc. zu vergrössern.

Eventuell könnte der Tunneldienst von 2 zu diesem Zwecke mit Spezialrosten versehenen Locomotiven ausgeübt werden.

Ein dritter Schritt wäre, die Tunnelbediensteten mit einem Schutzapparat zu versehen; der von ihnen in Tornisterform am Rücken zu tragen wäre, speziell an Tagen und in Stunden schlechten Luftzuges im Tunnel. Die Detailconstruction dieses Apparates, dessen wesentlicher Theil eine Kohlenoxydabsorbtionsröhre, gefüllt mit alkalischer Kupferoxydullösung oder einem ähnlich wirkenden Stoffe, sein würde, sind wir geneigt, auf speziellen Auftrag hin durchzuführen.

Die ersten zwei von uns vorgeschlagenen Massregeln — im schlimmsten Falle inclusive der dritten sind nach unserem Ermessen mehr wie genügend, um bei verständiger Anwendung der Wiederkehr von Unfällen im Arlbergtunnel endgiltig vorzubeugen.

Der Vollständigkeit halber nehmen wir jedoch an, dass die von uns empfohlenen Massregeln nicht ganz zum gewünschten Erfolge geführt hätten, und erlauben uns nachfolgend den Weg zu zeigen, wie das Uebel an der Wurzel gefasst werden könnte.

Das eine Mittel liegt in der Anschaffung zweier Locomotiven, welche speciell für den Tunnelbetrieb in der Weise construiert wären, dass die Heizung in denselben hauptsächlich durch zerstäubten Theer oder zerstäubtes Rohpetroleum (wie in Bakuf) erzielt würde.

Solche Feuerung mit regulierbarem Luftzutritt, die mit Flamme und ohne intermediäre Entstehung von glühender Kohle vor sich geht, trägt die theoretische Grundlage und die praktische Erfahrung mit sich, dass sie rauchlose Verbrennungsgase ergibt, welche kein Kohlenoxyd und keine Kohlenwasserstoffe liefern. Abgesehen von Schwefel oder anderen natürlichen Verunreinigungen, welche Theer oder Petroleum enthalten mögen, verbrennen die Stoffe in derartigen Feuerungen glatt zu Wasser und Kohlensäuere, — der äusserste Erfolg, der überhaupt bei einer technischen Heizung erzielbar ist.

Das andere Radikalmittel — natürlich das kostspieligste von allen — ist die Durchtreibung eines Luftzugsschachtes im Arlbergtunnel in der Nähe jener Stelle des Tunnels, wo derselbe seine grösste Höhe über dem Meeresspiegel aufweist, also 6136 m von Langen und 4113 m von St. Anton.

Es müsste dies ein Schacht von 1 m Durchmesser oder vielleicht auch weniger sein, an der bezeichneten Stelle nach oben (nicht nöthig vertical) zur Erdoberfläche führend.

Dieser Schacht, welcher als Luftzugsschornstein zu fungieren hätte, würde durch die eigene Tunnelwärme für gewöhnliche Fälle eine ausgezeichnete Tunnelreinigung ergeben.

An schlechten Tagen würde die Anzündung eines Feuers (Coakskörbe) am unteren Schornsteinende genügen, um einen rapiden Schornsteinzug zu erzielen, der den Tunnel gleichzeitig von der West- und Ostseite und ausserordentlich schnell mit frischer Luft erfüllen würde.

Chemisch-Mikroskopisches Laboratorium für medizinische, hygienische und technische Untersuchungen von Dr. M. und Ad. Jolles.

Dr. M. und Ad. Jolles m. p.,
k. k. handelsgerichtlich beeidete Sachverständige.

Analysen zu vorstehendem Gutachten.

Untersuchung des Eisenmateriales.

Die Untersuchung der Eisenabfälle hatte den Zweck, constatieren zu können, durch welche Einflüsse das Eisenmaterial angegriffen werde.

Die Analyse derselben ergab folgende Resultate:

Eisenabfälle

gesammelt zwischen 2. und 3. Kilometer.

In Salzsäuere unlöslich	9·20%
Wasser	11·83%
Eisenoxyd	72·24%
Eisenoxydul	4·19%
Schwefelsäuere	2·39%
Kohlensäuere	0·15%

Eisenabfälle

gesammelt zwischen 4. und 5. Kilometer.

In Salzsäuere unlöslich	10·25%
Wasser	12·05%
Eisenoxyd	69·28%
Eisenoxydul	5·54%
Schwefelsäuere	2·71%
Kohlensäuere	0·17%

Eisenabfälle

gesammelt zwischen 6. und 7. Kilometer.

In Salzsäuere unlöslich	12·34%
Wasser	13·42%
Eisenoxyd	68·37%
Eisenoxydul	4·15%
Schwefelsäuere	1·64%
Kohlensäuere	0·08%

Wasser-Analysen.

Wasser Nr. 1.

Das Wasser wurde beim Ring Nr. 828 zwischen dem 6. und 7. Kilometer entnommen. Dasselbe ist schwach getrübt, geruch- und geschmacklos und von neutraler Reaction.

In 1 Liter sind enthalten:

Gesammtrückstand	0·1792 gr
Darunter anorganische Bestandtheile	0·1548 gr
organische Beetandtheile	0·0244 gr
Kalk	0·0150 gr
Magnesia	in Spuren
Eisen	in Spuren
Kieselsäuere	0·0066 gr
Schwefelsäuere	0·0320 gr
Kohlensäuere gebunden	0·0531 gr
„ freie	0·0042 gr
Salpetersäuere	negativ
Salpetrige Säuere	negativ
Ammoniak	negativ

100 cm³ Wasser benötigen zur Oxydation der organischen Substanzen 0·00379 gr Kaliumpermanganat.

Wasser Nr. 2.

Das Wasser wurde bei der ersten Kammer dem Tunnelkanal entnommen. Dasselbe ist klar, geruch- und geschmacklos und von neutraler Reaction.

In 1 Liter sind enthalten:

Gesammtrückstand	0·1780 gr
Darunter anorganische Bestandtheile	0·1516 gr
organische Bestandtheile	0·0264 gr
Kalk	0·0378 gr
Magnesia	0·0042 gr
Eisen	in Spuren
Kieselsäuere	0·0101 gr
Schwefelsäuere	0·0537 gr
Chlor	0·0039 gr
Kohlensäuere gebunden	0·0560 gr
„ freie	0·0030 gr
Salpetersäuere	in Spuren
Salpetrige Säuere	negativ
Ammoniak	negativ

100 cm³ Wasser benötigen zur Oxydation der organischen Substanzen 0·00263 gr Kaliumpermanganat.

Cement-Analysen.

Cement Nr. 1.

Wasser	8·78%
Kohle	1·66%
Kieselsäuere	29·72%
Fisenoxyd und Thonerde	11·07%
Calciumoxyd	25·34%
Magnesiumoxyd	2·75%
Schwefelsäuere	7·55%
Kohlensäuere	13·13%

Cement Nr. 2.

Wasser	8·78%
Kohle	1·66%
Kieselsäuere	29·72%
Eisenoxyd und Thonerde	11·07%
Calciumcarbonat	22·97%
Magnesiumcarbonat	5·77%
Calciumsulfat	12·83%
Calciumoxyd	7·20%

Gas-Analysen.

Die Rauchgase wurden direct aus dem Rauchfang der Maschine entnommen und in Glasflaschen aufgefangen.

Rauchgas Nr. 1.

Die Maschine wurde mit Lititzer und Mörischauer Coaks geheizt, ausserdem war noch eingebrannte Kohle vorhanden.

100 cm³ dieses Rauchgases enthielten durchschnittlich:

Kohlensäuere	11·86 Vol. %
Kohlenoxyd	0·02 Vol. %
Kohlenwasserstoffe	0·67 Vol. %
Sauerstoff	2·40 Vol. %

Rauchgas Nr. 2.

Die Maschine wurde mit Coaks Nr. 4 und Nr. 5 (Oberschlesische) geheizt.

100 cm³ Rauchgas enthielten:

Kohlensäuere	9·38 Vol. %
Kohlenoxyd	0·03 Vol. %
Kohlenwasserstoffe	0·58 Vol. %
Sauerstoff	8·28 Vol. %

Rauchgas Nr. 3.

Die Maschine wurde mit Coaks I, II und III (Lititzer Coaks) geheizt.

100 cm³ Rauchgas enthielten:

Kohlensäuere	1·75 Vol. %
Kohlenoxyd	negativ
Kohlenwasserstoff	negativ
Sauerstoff	18·55 Vol. %

Luft aus dem Arlbergtunnel.

Die Entnahme erfolgte an einem sehr günstigen Tage.

Sauerstoff	20·8%
Stickstoff	79·2%
Kohlensäuere	negativ
Kohlenoxyd	negativ
Kohlenwasserstoffe	negativ

Kohlenoxyd-Untersuchung.

Bei Kammer Nr. I, III, V, VI und VII wurde am 7. April je eine weisse Maus aufgestellt.

Am 8. April 7 Uhr Früh ist die Maus bei Kammer I zu Grunde gegangen.

Die spektroskopische Blutuntersuchung ergab die Abwesenheit von Kohlenoxyd.

Die Ursache der Verendung konnte nicht festgestellt werden.

Am 9. April wurde von der Maus bei Kammer VI, welche sich ebenso wie alle anderen Thiere anscheinend wohl fühlte, Blut entnommen und spektroskopisch untersucht.

Das Resultat war ein negatives. Nachdem auch am 9. April sich die übrigen 4 Mäuse wohl befanden, wurde von der weiteren Blutuntersuchung Abstand genommen und Herr Ingenieur Fritz nach erfolgter Information um freundliche weitere Beobachtung der Mäuse ersucht.

Am 15. April traf von Herrn Ingenieur Fritz ein Schreiben ein, sowie ein Packet, enthaltend eine im Tunnel verendete Maus.

Die Section sowie die Blutuntersuchung ergab nun, dass diese Maus nicht in Folge einer Kohlenoxyd-Vergiftung zu Grunde gegangen ist.

Am 9. April wurde bei Kammer V Tunnelluft in der Zeit von 10 Uhr 58 Minuten bis 11 Uhr 42 Minuten (Ostwind) durch eine Blutlösung durchgeleitet und spectroskopisch untersucht.

Es konnten sehr geringe Spuren von Kohlenoxydgas constatiert werden.

Am 8. April (Westwind) ergab derselbe Versuch ein negatives Resultat.

Tabellen zum II. Gutachten.

Untersuchungsresultate am 1. Tage.

St. Anton gegen Langen. — Windrichtung: Westwind.

Datum	Zeit	Kilometer	Barometerstand	Temperatur ° Celsius	Feuchtigkeitsgrad	Temperatur am Psychrometer	Kohlensäureregehalt im Tunnel	Kohlensäureregehalt in den Tunnelkammern	Anmerkung
St. Anton.									
7. April	1h 58l	circa 100 Schritte vor dem Portale des Tunnels	717	4·2	6·36	4	—	—	
„	2h 10l	vor dem Portale	717	4·2	6·36	4	—	—	
„	2h 27l	I	717	11·3	10	11·2	0·01	0·05	
„	2h 49l	II	717	12·4	gesättigt	12·4	0·02	0·03	
„	3h 4l	III	—	13	11·18	12·9	0·01	0·01	
„	3h 33l	IV	—	12·8	10·93	12·6	0·015	0·01	
„	3h 41l	V	—	13·2	gesättigt	13·2	0·11	0·06	Zug Nr. 102 fährt von Langen gegen St. Anton.
„	3h 59l	VI	—	10·9	„	10·9	0·025	0·03	
„	4h 10l	VII	—	9·4	„	9·4	0·01	0·02	
„	4h 18l	VIII	—	6·8	„	6·8	0·008	0·01	
„	4h 30l	IX	—	5·0	6·65	4	—	0·005	
„	4h 40l	Portal X	720	1·6	5·18	0·8	—	—	
Langen.									

Untersuchungsresultate am 2. Tage.

Datum	Zeit	Kilometer	Barometerstand	Temperatur	Feuchtigkeitsgrad	Temperatur am Psychrometer	Kohlensäuregehalt im Tunnel	Kohlensäuregehalt in den Kammern	Reagenspapier Bleipapier	Reagenspapier Tetrapapier	Anmerkung
St. Anton.											Zug 313 fährt vor Beginn der Untersuchung in den Tunnel ein.
8. April	$9^h\ 35^I$	I	719	—	—	—	0·018	0·045	Dieselben wurden am 8. April ausgehängt und am 9. April beobachtet.		Durchfahrt des Zuges 378 von Langen nach St. Anton.
„	$10^h\ 14^I$	II	719	—	—	—	0·02	0·024			
„	$10^h\ 54^I$	II/III Ring 430	719	—	—	—	Decke 0·001 / Boden 0·01	—			
„	$11^h\ 16^I$	III	719	—	—	—	0·22	0·13			
„	$11^h\ 42^I$	IV	716	—	—	—	0·03	0·06			
„	$11^h\ 56^I$	V	716	—	—	—	0·01	0·018			
„	$12^h\ 12^I$	VI	716	—	—	—	0·013	0·01			
„	$12^h\ 46^I$	VI/VII	716	—	—	—	Decke 0·02 / Boden 0·08	—			Schnellzug Nr. 101 von St. Anton gegen Langen.
„	$1^h\ 47^I$	VII	716	—	—	—	0·02	0·01			
„	$1^h\ 22^I$	VIII	716	—	—	—	—	—			
Langen.											

Untersuchungsresultate am 3. Tage.

Datum	Zeit	Kilometer	Barometerstand	Temperatur	Feuchtigkeitsgrad	Temperatur am Psychrometer	Kohlensäuregehalt		Reagenspapier			Anmerkung
							im Tunnel	in den Kammern	Bleipapier	Tetrapapier im Tunnel	Tetrapapier in den Kammern	
	St. Anton.											
9. April	$9^h\ 3^I$	I	720	13	gesättigt	13	0·15	—	—	0·52	0·8	Durchfahrt des Zuges Nr. 318, Ostwind.
„	$9^h\ 21^I$	II	720	14·8	12·32	12·8	0·13	—	—	1·2	0·8	
„	$9^h\ 55^I$	III	720	15	gesättigt	15	0·12	—	Spuren	0·8	0·52	
„	$10^h\ 31^I$	IV	720	15·1	4·8	14·4	0·07	—	—	0·52	0·8	
„	$10^h\ 45^I$	V	720	14·8	5	14·2	0·11	—	—	0·8	0·52	
„	$10^h\ 51^I$	V	—	—	—	—	0·19	—	Spuren	0·24	0·52	Durchfahrt des Zuges Nr. 378.
„	$12^h\ 12^I$	VI	718	12	4·3	11·6	0·08	—	—	0·24	0·52	Aenderung in der Windrichtung,
„	$12^h\ 27^I$	VII	718	10	3·8	9·6	0·056	—	—	1·6	1·2	Westwind.
„	$12^h\ 38^I$	VIII	—	8·8	10·93	8·6	0·04 vor der Durchfahrt 0·13 nach der Durchfahrt	—	—	2·4	3·2	Durchfahrt des Zuges Nr. 101.
„	1^h	IX	—	7·2	10·93	7·0	0·02	—	—	2·4	2·4	
	Langen.											

Zugsverkehr während der vorgenommenen Untersuchungen vom 6. April 1891 bis 10. April 1891.

Datum	Zug-Nr.	Abgang in St. Anton oder Langen	Fahrzeit durch den Tunnel in Minuten	Zur Fahrt verwendete Coaksmenge in kg	Anmerkung
7. April	11	1^h 14^I nachts	23	50	Die Züge mit ungeraden Nummern fahren in der Richtung von St. Anton nach Langen, die mit geraden Nummern in der Richtung von Langen gegen St. Anton.
„	67	2^h 8^I nachts	36	150	
„	12	2^h 58^I nachts	23	200	
„	70	3^h 25^I nachts	40	400	
„	272	5^h 41^I früh	36	400	
„	171	8^h 28^I früh	40	150	
„	318	8^h 40^I früh	23	400	
„	313	9^h 10^I vormittags	23	50	
„	378	10^h 40^I vormittags	40	200	
„	101	12^h 31^I mittags	20	50	
„	102	3^h 36^I nachmittags	20	300	
„	314	6^h 6^I abends	22	200	
„	290	6^h 29^I abends	40	400	
„	317	7^h 4^I abends	21	50	
„	392	7^h 26^I abends	40	400	
„	69	8^h 40^I abends	40	150	
„	375	10^h 58^I abends	40	150	
„	165	11^h 59^I abends	35	75	
8. April	11	1^h 14^I nachts	23	50	
„	67	2^h 8^I nachts	36	150	
„	12	2^h 58^I nachts	23	200	
„	70	3^h 25^I nachts	40	400	
„	272	5^h 41^I früh	36	400	
„	171	8^h 28^I früh	40	150	
„	318	8^h 40^I früh	23	200	
„	313	9^h 10^I früh	23	50	
„	378	10^h 40^I früh	40	400	
„	101	12^h 31^I mittags	20	50	
„	65	2^h 6^I mittags	35	150	
„	102	3^h 36^I nachmittags	20	300	
„	381	5^h 9^I abends	40	75	
„	314	6^h 6^I abends	22	200	
„	290	6^h 29^I abends	40	300	
„	317	7^h 4^I abends	21	50	

Datum	Zug-Nr.	Abgang in St. Anton oder Langen	Fahrzeit durch den Tunnel in Minuten	Zur Fahrt verwendete Coaksmenge in kg	Anmerkung
8. April	392	7^h 26^I abends	40	400	Die Züge mit ungeraden Nummern fahren in der Richtung von St. Anton nach Langen, die mit geraden Nummern in der Richtung von Langen gegen St. Anton.
„	69	8^h 40^I abends	40	150	
„	375	10^h 58^I abends	40	150	
9. April	394	12^h 51^I nachts	45	300	
„	11	1^h 14^I nachts	23	50	
„	67	2^h 8^I nachts	36	150	
„	12	2^h 58^I nachts	23	200	
„	70	3^h 25^I nachts	40	400	
„	272	5^h 41^I früh	36	400	
„	171	8^h 28^I früh	40	75	
„	318	8^h 40^I früh	23	200	
„	313	9^h 10^I früh	23	50	
„	378	10^h 40^I vormittags	40	300	
„	101	12^h 31^I mittags	20	50	
„	65	2^h 6^I mittags	35	150	
„	102	3^h 36^I nachmittags	20	300	
„	314	6^h 6^I abends	22	200	
„	290	6^h 29^I abends	40	200	
„	317	7^h 4^I abends	21	50	
„	392	7^h 26^I abends	40	200	

III. Gutachten.

Hochlöbliche

k. k. Eisenbahn-Betriebsdirection

Innsbruck.

Im Nachfolgenden beehrt sich der Gefertigte das Ergebnis der Untersuchung, welche er zufolge des Auftrages vom 16. Juli 1895 gepflogen, zu unterbreiten und die daraus sich ergebenden Schlussfolgerungen anzuschliessen.

Nach den bisher gemachten Beobachtungen, Krankheiterscheinungen, ärztlichen Parere, chemischen Untersuchungen konnte als feststehend betrachtet werden, dass die zeitweisen specifischen Erkrankungen der Tunnelarbeiter in der Beimengung der Rauchgase, welche die Tunnelluft erfährt, ihren Grund haben.

Durch die Untersuchung der Tunnelluft auf positiv und negativ der Gesundheit schädliche Gase, nachdem der Tunnel genügend lange mit Benützung der verschiedenen Heizmaterialien befahren worden war, durch die Analyse der Rauchgase, welche bei Verwendung verschiedener Brennstoffe auftreten und endlich durch die Constatierung der Zusammensetzung der Brennmateriale konnte man hoffen, die näheren Beziehungen feststellen zu können, welche obwalten zwischen der verbrannten Substanz und der Art ihrer Verbrennung einerseits, und der Verschlechterung der Luft in Bezug auf Athmungsfähigkeit andrerseits.

Bedeutende Schwierigkeiten bereitet die Untersuchung der Luft. Die Rauchgase erfahren durch die Mischung mit Luft eine so weitgehende Verdünnung, dass der qualitative und quantitative Nachweis der schädlichen Bestandtheile, die schon meist in den Rauchgasen nur Bruchtheile eines Procentes ausmachen, kein scharfer mehr ist, sondern durch die jeder analytischen Methode anhaftenden Versuchsfehler beeinflusst wird.

Kaum kleiner sind die Schwierigkeiten in Bezug auf die Entnahme der Proben.

Die Proben sollen mit Ausnahme des geänderten Heizmateriales unter ganz gleichen Umständen entnommen werden. Aber selbst gleiche Temperatur-Unterschiede innerhalb und ausserhalb des Tunnels, gleiche Windrichtung und Stärke, und qualitativ und quantitativ gleichen Heizmaterialverbrauch bei allen Zügen vorausgesetzt, ist, nicht nur in verschiedenen Zeiten, die Zusammensetzung der Tunnelluft am nämlichen Orte eine ungleiche, sondern zur gleichen Zeit hat die Luft verschiedener Tunnelabschnitte eine ungleiche Zusammensetzung und selbst in ein und demselben Querschnitte ist die Ventilation und daher auch die Zusammensetzung der Luft in der Mitte und an den Wänden eine andere.

Nur annäherungsweise konnten daher die Luftproben mutatis mutandis unter ähnlichen Verhältnissen entnommen werden u. zw. musste die Entnahme erfolgen zu Zeiten, in denen die Bedingung zur Entstehung und Anhäufung spezifisch schädlicher Gase möglichst günstig war.

Um auch noch sehr kleine Mengen der gewöhnlichen Luft beigemengter Gase wenigstens annäherungsweise quantitativ bestimmen zu können, glaubt der Gefertigte zu einer analytischen Methode greifen zu müssen, welche es gestattet, dass relativ grosse Mengen der Tunnelluft der Untersuchung unterworfen werden und wählte hiezu, so viel es angieng, den gewichtsanalytischen Weg, wie er von Fresminius eingeführt, von Stochmann und andern verbessert worden ist.

Auch dieser Methode haften gewisse Fehler an, die umsomehr in's Gewicht fallen können, je kleiner die zu bestimmende Menge eines Körpers ist. Aber die gleiche Methode von der gleichen

Hand durchgeführt, bringt auch wieder ähnliche Fehler hervor und wenn diese Fehler auch die absolute Gewichtsbestimmung sehr kleiner Mengen nennenswerth beeinflussen, so sind sie doch nicht im Stande, solchen Bestimmungen den relativen Wert ganz zu nehmen.

Die Probenentnahme erfolgte jedesmal, nachdem durch längere Zeit das gleiche Heizmaterial in Verwendung war, u. zw.: a) bei Coaksheizung am 27. Juli bei ganz schwachem Westwind; die Luft zeigte schon am Ostportale den Geruch nach Kohlenrauch; b) bei Blauölheizung am 8. August unmittelbar nachdem der Zug vorüber war, bei leichtem Ostwind; die Luft war dicht mit Rauch gefüllt; c) bei Theerölheizung am 20. August, sofort nach Passierung des Zuges Nr. 72; es war schwacher Ostwind, der Zug brachte viel Rauch mit üblem Geruch.

In keiner der Luftproben konnte schweflige Säuere oder Schwefelwasserstoff nachgewiesen werden.

Die Kohlensäuere-Bestimmung ergab in den durch Clorcalcium vollständig entwässerten Proben in Volumperzenten bei:

Coaksheizung	Blauölheizung	Theerölheizung
0·2	0·09	0·08
0·24	0·10	0·15
—	0·14	0·16
Im Mittel 0·22	0·11	0·13

Die Zahlen zeigen, nachdem die Entnahme der Proben gleicher Art rasch hintereinander erfolgte, dass die Zusammensetzung der Luft an der selben Stelle schnell wechselt, sie erinnern uns aber auch daran, dass die Coaksfeuerung durch den bedeutenden Materialverbrauch mehr Kohlensäuere erzeugt und demnach auch mehr Sauerstoff bindet.

Nachdem aber die gewöhnliche Luft auch einen constanten Kohlensäueregehalt von 0·025 bis 0·035 % hat, ist diese Menge von der gefundenen Kohlensäuere abzuziehen, um zu jenem Prozentsatze zu gelangen, der seine Entstehung der Heizung verdankt.

Es gibt bei Coaksheizung 0·195, bei Blauölheizung 0·08, bei Theerölheizung 0·10 %.

Nach Pettenkofer soll die Luft bewohnter Räume nicht mehr als 9—10 Volumen Kohlensäuere in 10.000 Volumen enthalten; darnach wäre im Tunnel, in dem der Arbeiter viele Stunden verbringt, der Kohlensäueregehalt bei Coaksheizung schon um das doppelte zu hoch gewesen. Aber selbst unter günstigen Umständen findet man diese Pettenkofer'sche Grenzzahl sehr häufig bedeutend überschritten, so in Kasernen, Schulzimmern, bei Versammlungen in geschlossenen Räumen, und überdies ist zu berücksichtigen, dass die Kohlensäuere der Respirationsluft sehr schädliche, noch nicht genügend bekannte, Beimengungen hat, welche der Kohlensäuere, die einem Verbrennungsprocesse entstammt, fehlen, so dass man wohl annehmen darf, dass der ausgewiesene Kohlensäueregehalt und die damit verbundene Sauerstoffabnahme kaum acute Krankheitserscheinungen bei gesunden, rüstigen Leuten hervorrufen dürfte, aber jedenfalls ist er geeignet, bei der Anwesenheit anderer schädlicher Stoffe in der Athmosphäre den Körper gegen dieselben weniger widerstandsfähig zu machen und eventuelle Begleiterscheinungen bei Erkrankungen hervorzurufen.

Die von der Kohlensäuere befreite Luft wurde wieder gewichtsanalytisch auf die Menge der brennbaren Gase untersucht.

Die sich dabei ergebenden Zahlen können jedenfalls nur mehr annäherungsweise relativen Wert beanspruchen und da eine Trennung der eventuell vorhandenen Gasgemische nicht möglich war, so drückt der Gefertigte die bei der Verbrennung gefundenen Kohlensäueremengen wieder in Volumenpercenten Kohlensäuere aus, wodurch zugleich ein ziffermässiger Ausdruck für die grösstmögliche Schädlichkeit der brennbaren Gase der Untersuchungsproben erhalten wird, da Kohlenoxyd ohne Volumveränderung zu Kohlensäuere verbrennt bei:

Coaks		Blauölheizung		Theerölheizung	
Nr. 1	0·0197	Nr. 3	0·000	Nr. 6	0·015
Nr. 2	0·0280	Nr. 4	0·012	Nr. 7	0·012
		Nr. 5	0·014	Nr. 8	0·016

Thatsächlich konnte nur bei Nr. 3 kein, bei Nr. 1, 2, 5, 6 und 7 konnten Spuren und bei Nr. 4 und 8 sehr geringe Mengen von Wasser, resp. Wasserstoff gefunden werden, und es erscheint dementsprechend die grösstmöglichste Schädlichkeit eine herabgesetzte, da man den Wasserstoff nicht durchaus als frei, sondern mindestens theilweise an Kohlensäuere gebunden annehmen muss. Spectralanalytisch konnte Kohlenoxydgas in gleichen Gasvolumen nur bei Coaksheizung nachgewiesen werden.

Eine schärfere Untersuchung in Bezug auf die hygienischen Folgen der Verwendung verschiedener Brennmaterialien war zu erhoffen aus der Untersuchung der Brennstoffe und der bei ihrer Verwendung auftretenden Rauchgase, bei gleichzeitiger Berücksichtigung ihrer Verbrauchsmengen.

Die Untersuchung der flüssigen Brennmaterialien ergab nachfolgende Procentsätze:

		Kohlenstoff	Wasserstoff
Blauöl	I	86·57	12·93
„	II	86·69	12·73
Theeröl	I	90·33	6·48
„	II	90·67	6·61
Gasöl	I	86·18	11·78
„	II	86·14	11·79
Rückstandöl	I	86·72	11·70
„	II	86·58	11·64

Daraus ergibt sich als Mittel:

	Kohlenstoff	Wasserstoff
für Blauöl	86·63	12·83
„ Theeröl	90·50	6·55
„ Gasöl	86·16	11·785
„ Rückstandöl	86·65	11·67

Da sich nur im Rückstandöl sehr geringe Mengen von Asche fanden, berechnen sich nach der Formel $\frac{W = 34.500\ (H - \frac{1}{8}O) + 8000^c}{1000}$ annäherungsweise nachfolgende Wärmeeffecte

für Blauöl	11·332
„ Theeröl	9·372
„ Gasöl	10·870
„ Rückstandöl	10·886.

Während Blauöl am meisten Calorien ausweist, stehen Gas und Rückstandöl als fast ganz gleichwertig in der Mitte, denen sich als entschieden minderwertig das Theeröl anschliesst.

Deutlicher tritt uns das Wärmewerts-Verhältnis entgegen, wenn wir den Brennwert des Blauöles gleich 100 setzen, so dass die Brennwerte der übrigen Oele in Prozenten des ersteren zum Ausdruck gelangen oder indem wir die Mengen vergleichen, welche gleiche Wärmeeffecte repräsentieren Im ersteren Falle erhalten wir abgerundet:

für Blauöl . . .	100
„ Gas- und Rückstandöl	96
„ Theeröl . . .	82·7

Im letzteren Falle entsprechen 100 Theile Blauöl, 104 Theilen Gas- oder Rückstandöl und 121 Theilen Theeröl.

Selbstverständlich ist dabei eine vollständige Verbrennung vorausgesetzt, und eine solche erreicht man um so leichter, je inniger der Contact zwischen Brennmaterial und Luft, günstige Mengenverhältnisse vorausgesetzt, hergestellt wird.

Soll bei flüssigem Brennmaterial die innige Mengung durch Zerstäubung hergestellt werden, so ist das mehr oder weniger vollständige Gelingen abhängig von der Consistenz der Flüssigkeit.

Dass das Rückstandöl viel dickflüssiger und zäher ist als Blau-, Gas- und Theeröl zeigt schon eine oberflächliche Beobachtung. Ein Versuch, bei dem die Gewichtsmengen der Oele bestimmt wurden, welche in derselben Zeit bei gleicher Temperatur und gleichem Druck die nämliche Oeffnung passieren, ergab, dass Rückstandöl circa 80 mal so lange braucht, um in gleicher Menge durchzufliessen wie Gasöl während sich die entsprechenden Durchströmungszeiten für Gas-, Theer- und Blauöl ziemlich genau wie 3 : 2 : 1 verhielten.

Diese Verhältniszahlen drücken die Verschiedenheit des Widerstandes aus, den die Oele der feinen Vertheilung bei der Zerstäubung entgegensetzen.

Je weniger fein aber die Vertheilung und je ungünstiger das Verhältnis zwischen der Oberfläche der zerstäubten Theile und ihrer Masse ist, um so mehr ist Gefahr vorhanden, dass sich das Brennmaterial nur theilweise im Feuerraum mit Luft zu Kohlensäuere und Wasser umsetzt.

Das Rückstandöl zeigte in dieser Richtung die ungünstigsten Verhältnisse und da sich unterdessen auch die Erfahrung entschieden gegen die Verwendbarkeit desselben ausgesprochen hatte, so zog der Gefertigte diesen Brennstoff nicht mehr weiter in Betracht.

Einen ähnlichen Einfluss wie die Consistenz übt auch die grössere oder geringere Flüchtigkeit, durch welche ja auch die innige Berührung mit Sauerstoff gefördert oder verzögert wird, und vor Allem der chemische Bau der Verbindungen, der dieselben mehr oder weniger widerstandsfähig macht.

In dieser letzteren Beziehung unterscheidet sich das Theeröl scharf vom Blau- und Glasöl, wie schon sein höherer Kohlenstoff- und sein noch mehr erniedrigter Wasserstoffgehalt ergibt. Als eine Folge dieses Unterschiedes können wir auch die Erscheinung auffassen, dass der abziehende Rauch der Theeröl-Feuerung schwarz beziehungsweise von Kohle und Kohlenstoff reichen Substanzen dicht durchsetzt ist.

Ein Gesammtbild über das Verhältnis, in welchem bei den verschiedenen Brennstoffen die Ausnützung des vollen Brennwertes gestört wird, erhalten wir, wenn wir jene Mengen der Brennöle, welche erfahrungsgemäss die gleiche Arbeit leisten, mit den Quantitäten vergleichen, welche gleichen Brennwerten entsprechen.

Nachdem der gleiche Zug, welcher zur Beförderung von Langen nach St. Anton 450 kg Coaks benöthigt, ebenso a) durch 700 kg Kohle, b) durch 94 kg Blauöl und 48 kg Kohle, c) durch 159 kg Theeröl und 86 kg Kohle und endlich gleichfalls durch 123 kg Gasöl und 100 kg Kohle befördert werden kann, so treten:

94 kg Blauöl für 652 kg Kohle
159 „ Theeröl „ 614 „ „ und
123 „ Gasöl „ 600 „ „

stellvertretend ein oder

100 Theile Blauöl ersetzen 693 kg Kohle
100 „ Theeröl „ 386 „ „
100 „ Glasöl „ 488 „ „ und

100 Theile Blauöl leisten jene Arbeit, welche 142 Theile Gasöl oder 179 Theeröl schaffen, während das Verhältnis nach den theoretisch ermittelten Brennwerten sich stellen sollte wie 100 : 104 : 121.

Wollen wir aber, eine vollständige Verbrennung vorausgesetzt, unter der Annahme, dass die Coaks 83, die Kohle 69 Perzent Kohlenstoff enthalten, die bei verschiedenem Brennmaterial sich entwickelnde Kohlensäuremenge ermitteln, so können wir folgenden Weg einschlagen.

Das Gewicht des Brennmateriales multipliziert mit seinem Prozentgehalt an Kohlenstoff, gibt uns das hundertfache Gewicht des Kohlenstoffs, der der Verbrennung zugeführt wird.

Da 12 Gewichtstheile Kohlenstoff zu 44 Gewichtstheilen Kohlensäuere verbrennen, brauchen wir nur das Gewicht des Kohlenstoffes mit $^{11}/_{3}$ zu multiplizieren, um das Gewicht der sich bildenden Kohlensäuere zu bestimmen und dividieren wir dies durch das Gewicht eines Kubikmeters Kohlensäuere, so resultirt die Quantität der Kohlensäuere ausgedrückt in Kubikmetern.

Das Gewicht des Kubikmeter Kohlensäuere beträgt bei 0° Temperatur und 760 mm Barometerstand 1·977 kg; unter den Druck- und Temperaturverhältnissen des Arlberg-Tunnels sinkt es aber etwa auf 1·824.

Berechnen wir darnach die täglich im Tunnel erzeugte Kohlensäuremenge auf Grund des in je 24 Stunden verbrauchten Brennmateriales, d. i. 8400 kg Kohle oder 5400 kg Coaks oder 1128 kg Blauöl und 576 kg Kohle oder 1908 kg Theeröl und 1032 kg Kohle oder endlich 1476 kg Gasöl und 1200 kg Kohle, so ergibt sich nachfolgendes Resultat:

bei Kohlenfeuerung entstehen 11651 m³ Kohlensäuere
„ Coacksfeuerung „ 9009 „ „
„ Blauölfeuerung „ 2562 „ „
„ Theerölfeuerung „ 4904 „ „
„ Gasölfeuerung „ 4221 „ „

Ein gleiches Volumen freien Sauerstoffes wird hiebei gebunden, resp. den 421.853 m³ Luft des Tunnels entzogen und als Kohlensäuere wieder gegeben.

Ohne Luftwechsel würde sich in 24 Stunden der Kohlensäuregehalt anreichern:

bei Kohlenfeuerung auf 2·07 %
„ Coaksfeuerung „ 2·14 „
„ Blauölfeuerung „ 0·61 „
„ Theerölfeuerung „ 1·16 „
„ Gasölfeuerung „ 1·00 „

und der Sauerstoff müsste dementsprechend von 20·9 auf 18·2, 18·76, 20·29, 19·74 und 19·90 sinken.

Mit dem Ersatz eines Theiles des Sauerstoffes durch Kohlensäuere ist jedoch der Verlust an freiem Sauerstoff noch nicht abgeschlossen, sondern jedes Theilchen disponiblen Wasserstoffes verbraucht 8 Gewichtstheile oder $^1/_2$ Volumtheil Sauerstoff zur Wasserbildung, welcher gleichfalls der Tunnel uft entnommen werden muss.

Nehmen wir an, Coaks hätten 83% Kohlenstoff, 0·4 Wasserstoff und 1·6 Sauerstoff, desgleichen die Kohle 69% Kohlenstoff, 6·4 Wasserstoff und 7·1 Sauerstoff, so ergeben sich an disponiblem Wasserstoff (= H — $^1/_8$O) in Prozenten:

bei	Coaks	0·2
„	Kohle	5·51
„	Blauöl	12·75
„	Theeröl	6·19
„	Gasöl	11·53

Multiplizieren wir das Gewicht des Brennmaterials mit dem hundertsten Theile des Prozentsatzes seines disponiblen Wasserstoffes, so gelangen wir zum Gewicht dieses Wasserstoffes.

Dieses mit 8 multipliziert liefert das Gewicht des zur Verbrennung verbrauchten Sauerstoffes, und bei Division des Sauerstoff-Gewichtes durch das Gewicht von 1 m³ Sauerstoff resultiert das Volumen des Sauerstoffes, der an Wasserstoff gebunden wurde.

Das Gewicht des m³ Sauerstoff bei den Druck- und Temperatur-Verhältnissen des Tunnels beträgt beiläufig 1·319 kg.

Es ergibt sich darnach bei dem 24stündigen Brennmaterial-Verbrauch für die Verbrennung des Wasserstoffs ein Sauerstoffverbrauch aus der Tunnelluft von:

bei	Kohlenfeuerung	2807 m³
„	Coaksfeuerung	66 „
„	Blauölfeuerung	1065 „
„	Theerölfeuerung	1068 „
„	Gasölfeuerung	1433 „

Der Umstand, dass das hiedurch gebildete Wasser verschieden nach Druck, Temperatur- und Feuchtigkeits-Verhältnissen sich bald mehr bald weniger verdichtet, oder in Gasform bleibt und dass hiedurch das Gesammtvolumen der Tunnelluft sich etwas ändert, kann füglich unberücksichtigt bleiben, da diese Volumsänderung selbst bei Kohlenheizung 1% nicht erreicht.

Der Gesammtverlust an freiem Sauerstoff der in 24 Stunden durch Kohlensäuere und Wasserbildung eintritt, beträgt demnach:

bei	Kohlenfeuerung	14458 m³
„	Coaksfeuerung	9075 „
„	Blauölfeuerung	3627 „
„	Theerölfeuerung	5972 „
„	Gasölfeuerung	5654 „

Ohne Ventilation würde demnach in 24 Stunden der Sauerstoffgehalt der Luft, der unter normalen Verhältnissen 20·9% beträgt, sinken, und zwar:

bei	Kohlenfeuerung	auf	17·43
„	Coaksfeuerung	„	18·75
„	Blauölfeuerung	„	20·04
„	Theerölfeuerung	„	19·48
„	Gasölfeuerung	„	19·56

Es scheint kaum am Platze, hier den Einfluss der Ventilation ausführlich zu erörtern, solange nicht durch eine Erhöhung der Ventilation, sondern durch einen Wechsel des Brennmaterials eine Besserung der Tunnelluft angestrebt wird.

Bei dem nämlichen Verbrennungsprozesse ist das Gewichts- und Volumverhältnis der bei der Verbrennung verbrauchten und sich bildenden Körper unabhängig von der Ventilation des Tunnels, und bei der Annahme eines vollständigen Mangels derselben tritt der Einfluss des Brennmaterials auf die Qualität der Tunnelluft am schärfsten zu Tage.

In der Untersuchung der Rauchgase, welche bei der Verwendung verschiedener Brennmaterialien auftreten, war ein weiteres Mittel gegeben, um die Beziehungen der Athmungsfähigkeit der Luft zu den verwendeten Brennmaterialien festzustellen.

Von wesentlichem Werte wäre es gewesen, wenn die Rauchgase jedes einzelnen Brennmateriales hätten der Untersuchung zugeführt werden können. Bei dem Umstande jedoch, dass die Heizungsanlagen solche sind, dass die flüssigen Brennstoffe nur gleichzeitig mit Kohle zur Verwendung gelangen können, musste davon Umgang genommen werden.

Es gelangten daher zur Untersuchung die Rauchgase bei Feuerung a) mit Kohle, b) mit Coaks, c) mit Blauöl und Kohle, d) mit Theeröl und Kohle, e) mit Gasöl und Kohle.

In allen Fällen erfolgte das Absaugen der Gase 80—90 cm unter der Schornsteinmündung.

Rauchgas a) ergab in Volumprocenten:

Kohle

Kohlensäuere	15·15
Sauerstoff	2·45
Kohlenwasserstoffe	1·61
Kohlenoxydgas	0·17

Rauchgas b) ergab:

Coaks

Kohlensäuere	3·73
Sauerstoff	16.53
Kohlenwasserstoffe	negativ
Kohlenoxydgas	0·03

Rauchgas c) ergab:

Blauöl u. Kohle

Kohlensäuere	8·53
Sauerstoff	9·74
Kohlenwasserstoffe	1·27
Kohlenoxydgas	0·14

Rauchgas d) lieferte:

Theeröl u. Kohle

Kohlensäuere	8·89
Sauerstoff	9·76
Kohlenwassserstoffe	2·50
Kohlenoxydgas	0·11

Rauchgas e) ergab:

Gasöl u. Kohle

Kohlensäuere	10·10
Sauerstoff	8·11
Kohlenwasserstoffe	1·36
Kohlenoxydgas	0·10

Von einer Trennung der Kohlenwasserstoffe nach Einzelbestandtheilen und einer Charakterisierung der letzteren musste der Gefertigte absehen, nachdem er sich durch Probeversuche überzeugte, dass selbst in Gemischen von Kohlenwasserstoffen bekannter Zusammensetzung bei mehr als 30- bis 60facher Verdünnung durch Stickstoff, wie sie nach Beseitigung von Kohlensäuere und Kohlenoxyd und Sauerstoff in den Rauchgasen vorliegen, nur mehr unsicher ihre einzelnen Bestandtheile nachgewiesen und bestimmt werden können, wenn das Gemisch aus mehreren Gasen besteht.

Bei den Rauchgas-Analysen, bei Kohlen- und Coaksfeuerung drängt sich, da, wie deutlich aus dem Nachweis von 2·45 und 16·53 % freien Sauerstoff hervorgeht, bei ersterer Feuerung der Luftzutritt ein sehr spärlicher, bei letzterer ein reichlicher war, der Gedanke auf, dass durch einen mittleren Luftzutritt bei Coaksfeuerung die Kohlenoxydbildung erhöht und das Auftreten von Kohlenwasserstoff begünstigt, bei Kohlenfeuerung die Bildung beider herabgemindert wird.

Die Ermittlung der Zusammensetzung der Rauchgase erlangt erst eine hygienische Bedeutung, wenn man zugleich zu bestimmen vermag, wie gross die Menge der erzeugten Rauchgase innerhalb einer gewissen Zeitperiode und eines gegebenen Raumes resp. Luftquantums ist.

Annäherungsweise, aber auch nur so können wir diese Menge bestimmen, aus der Zusammen-

setzung und dem Verbrauch des Brennmateriales und dessen Verbrennungsproducten, wenn wir die Volumsveränderung, welche die Luft bei der Umwandlung in Rauchgas erleidet, vernachlässigen.

Von den 20·9 m³ Sauerstoff, die mit 100 m³ Luft dem Heizmateriale zur Verbrennung zugeführt wurden, erscheinen dann in den Rauchgasen bei Kohlen-, Coaks-, Blauöl-, Theeröl- und Gasfeuerung 2·45, 16·53, 9·74, 9·76, 8·11 m³ noch als freier Sauerstoff, während die restlichen 18·45, 4·37, 11·16, 11·14, 12·79 m³ bei der Verbrennung Verwendung fanden, resp. gebunden wurden.

Wir haben früher abgeleitet, dass bei den verschiedenen Feuerungen in der zuletzt gegebenen Ordnung in 24 Stunden 14458, 9075, 3627, 5972 und 5654 m³ Sauerstoff zur Verbrennung benöthigt werden.

Wenn von 100 m³ Luft 18·45, 4·37, 11·16 etc. m³ Sauerstoff gebunden werden, müssen x m³ Luft der Feuerung zugeführt werden, damit 14458, 9075, 3627 etc. m³ Sauerstoff zur chemischen Vereinigung gelangen, mit anderen Worten: wir erhalten die Menge der zugeführten Luft durch Lösung nachfolgender Proportionen:

$$100 : 18{\cdot}45 = x : 14458$$
$$100 : 4{\cdot}37 = y : 9075$$
$$100 : 11{\cdot}16 = z : 3627$$
$$100 : 11{\cdot}14 = m : 5972$$
$$100 : 12{\cdot}74 = n : 5654$$

Die Zahlen, welche wir dabei erhalten, sowie die davon abgeleiteten Werte, werden um soviel zu hoch ausfallen, als der wirkliche Sauerstoffverbrauch in Folge unvollständiger Verbrennung kleiner ist, als der theoretisch ermittelte. Nicht berücksichtigt ist dabei die Volumvermehrung, welche durch die Bildung gasförmiger Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxydgas, und die Volumverminderung, die durch die Verdichtung des gebildeten Wasserdampfes veranlasst wird.

Für x, y, z, m, n erhalten wir die Zahlen 78.363, 207.666, 32.500, 53.669, 44.380; dieselben drücken uns die m³ Luft aus, welche in 24 Stunden bei den verschiedenen Heizmaterialien (Ordnung wie früher) in die Feuergase eintreten und mit einer Volumenveränderung von einigen Procenten als Rauchgase austreten.

In dieser Luft, beziehungsweise Rauchgasmengen waren die in den Rauchgasen nachgewiesenen Procente von Kohlensäuere, Kohlenwasserstoff und Kohlenoxydgas enthalten. Zu den Volumen derselben gelangen wir, wenn wir das Luftvolumen, das den einzelnen Brennmaterialien zugeführt werden muss multiplicieren mit dem hundertsten Theil des entsprechenden Procentsatzes von Kohlensäuere, Kohlenwasserstoff und Kohlenoxyd. Z. B. Kohlenfeuerung benöthigt in 24 Stunden 78.363 m³ Luft und gab ein Rauchgas mit 15·15% Kohlensäuere, 1·61% Kohlenwasserstoff, 0·17% Kohlenoxyd.

Daher
$$78{\cdot}363 : x = 100 : 15{\cdot}15; \quad x = 11.872 \text{ m}^3 \text{ Kohlensäuere,}$$
$$78.363 : y = 100 : 1{\cdot}61; \quad y = 1261{\cdot}6 \text{ „ Kohlenwasserstoff,}$$
$$78.363 : z = 100 : 0{\cdot}17; \quad z = 133{\cdot}2 \text{ „ Kohlenoxyd,}$$

man erhält so

	m³ Kohlensäuere,	Kohlenwasserstoff,	Kohlenoxyd
bei Kohlenfeuerung	11872·0	1261·6	133·2
„ Coaksfeuerung	7745·9	—	62·3
„ Blauölfeuerung	2772·2	412·8	45·5
„ Theerölfeuerung	4771·2	1341·7	59·0
„ Gasölfeuerung	4482·4	603·6	44·3

Diese Volumen wurden der gesammten Luftmenge des Tunnels in 24 Stunden beigemengt. Daraus ergibt sich nach der Proportion, Tunnelvolumen: zum Volumen der Verunreinigung = wie 100 : x, der Procentgehalt an Verunreinigung:

	Kohlensäuere,	Kohlenwasserstoff,	Kohlenoxyd,
für Kohlenfeuerung	2·81	0·30	0·032
„ Coaksfeuerung	1·84	—	0·015
„ Blauölfeuerung	0·66	0·10	0·011
„ Theerölfeuerung	1·13	0·32	0·014
„ Gasölfeuerung	1·06	0·14	0·011

Der Gefertigte macht nochmals darauf aufmerksam, dass die Berechnung nur eine annäherungsweise ist, und dass die untersuchten Kohlen- und Coaks-Rauchgase keiner ganz normalen Heizung

entsprechen, dass vielmehr bei normalem Betrieb für Kohlenheizung eine Verbesserung, für Coaksheizung eine Verschlechterung der Athmungsverhältnisse zu erwarten ist.

Fassen wir die Untersuchungsergebnisse zusammen, so sind es folgende: die Tunnelluft zeigte bei Coaks-, Theeröl- und Blauölfeuerung einen Kohlensäueregehalt von 0·22, 0·13 und 0·11 Procent. Die neben der Kohlensäuere vorhandenen bemerkbaren Gase zeigten gleichfalls bei der gleichen Brennmaterial-Aenderung ein ähnliches Sinken ihrer Mengen, wenn man dieselben procentualiter nach der aus ihnen durch Verbrennung gebildeten Kohlensäuere ausdrückt.

Der Wert beider Bestimmungen ist kein sehr hoher, da jegliche Bürgschaft dafür fehlt, dass bei den vielen Faktoren, welche die Zusammensetzung der Tunnelluft beeinflussen, die Entnahme der Proben wirklich, ausser bei geändertem Heizmaterial, unter sonst entsprechend gleichen Umständen erfolgte.

Aus der Untersuchung der Brennmaterialien, wobei für Kohlen und Coaks eine Zusammensetzung angenommen wurde, wie sie älteren Untersuchungsergebnissen entspricht, geht hervor, dass in der Tunnelluft, der Mangel jeder Ventilation und eine vollständige Verbrennung vorausgesetzt, in 24 Stunden der Gehalt an Kohlensäuere und freiem Sauerstoff in nachfolgender Weise sich anhäufen beziehungsweise sinken muss.

	Kohle-,	Coaks-,	Theeröl-,	Gasöl-,	Blauölfeuerung	
geben:	2·70	2·14	1·16	1·00	0·6%	Kohlensäuere
und binden:	3·47	2·15	1·42	1·34	0·86%	freien Sauerstoff.

Selbst eine bis zu 25% gehende Verbrauchs-Vermehrung oder Verminderung eines einzelnen Brennmaterials vermag die obige Reihenfolge nicht wesentlich zu stören, sondern nur einen Wechsel in der Stellung zwischen Theeröl- und Gasöl-Feuerung hervorzubringen.

Aus der Untersuchung der Rauchgase lässt sich ableiten, dass sich nach den verschiedenen Heizungen in der Tunnelluft ohne Ventilation in 24 Stunden annäherungsweise von Kohlensäuere, Kohlenwasserstoffen und Kohlenoxyd nachfolgende Mengen-Verhältnisse anhäufen.

	Kohle-,	Coaks-,	Theeröl-,	Gasöl-	Blauölheizung.
Kohlensäuere	2·81	1·84	1·13	1·06	0·66
Kohlenwasserstoff	0·30	0·00	0·32	0·14	0·10
Kohlenoxydgas	0·032	0·015	0·014	0·011	0·011

Aus den früher angeführten Gründen sind diese Zahlen für Procente durchaus als zu gross zu nennen. Berücksichtigen wir, dass wie aus den entsprechenden Rauchgas-Analysen hervorgeht, bei der Probeentnahme die Coaksfeuerung mit einem bedeutenden Sauerstoffüberschusse durchgeführt wurde, dagegen die Kohlenheizung bei sehr geringem Luftüberschuss sich vollzog, so lässt sich bei gewöhnlicher Leitung des Verbrennungsprocesses für erstere Feuerung eine Verschlechterung, für letztere eine Verbesserung der sanitären Verhältnisse, wie sie durch obige Zahlen ausgedrückt werden, erwarten.

Als Gesammtergebnis der Untersuchung lässt sich ableiten, dass durch die Einführung der Verwendung flüssigen Brennmateriales ein bedeutender Fortschritt in sanitärer Beziehung erzielt werden kann, dass jedoch wenigstens bei den derzeit benutzten Heizanlagen das Theeröl diesem Zweck kaum entspricht, wogegen jedoch von der Verwendung des Gasöles und noch in erhöhtem Maasse von der des Blauöles sehr günstige Resultate zu erwarten sind.

Innsbruck, am 6. Jänner 1896.

K. Senhofer m. p.

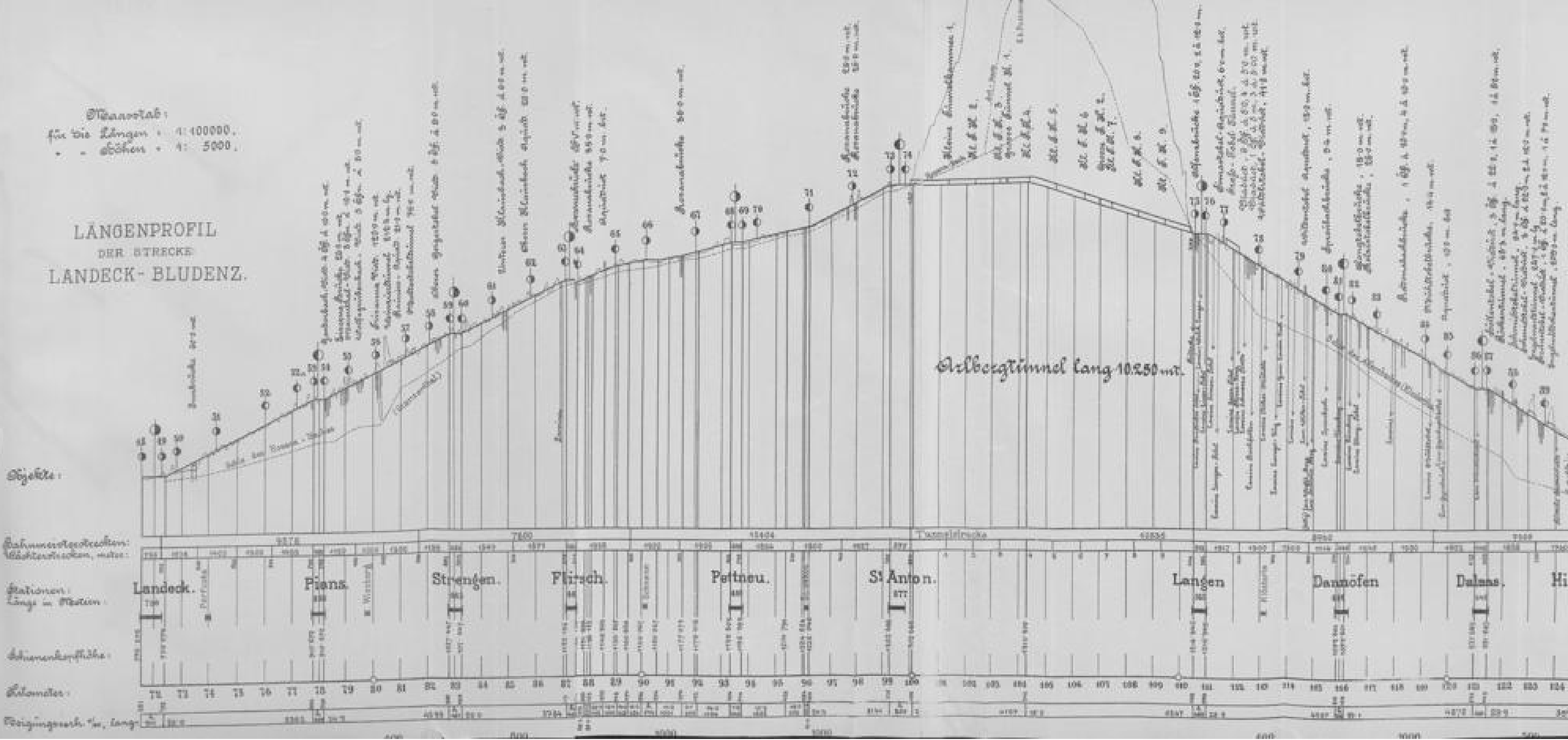
Bibliothek • Innsbruck •

KARTE der ARLBERG-BAHN.

Maßstab 1 : 25.000

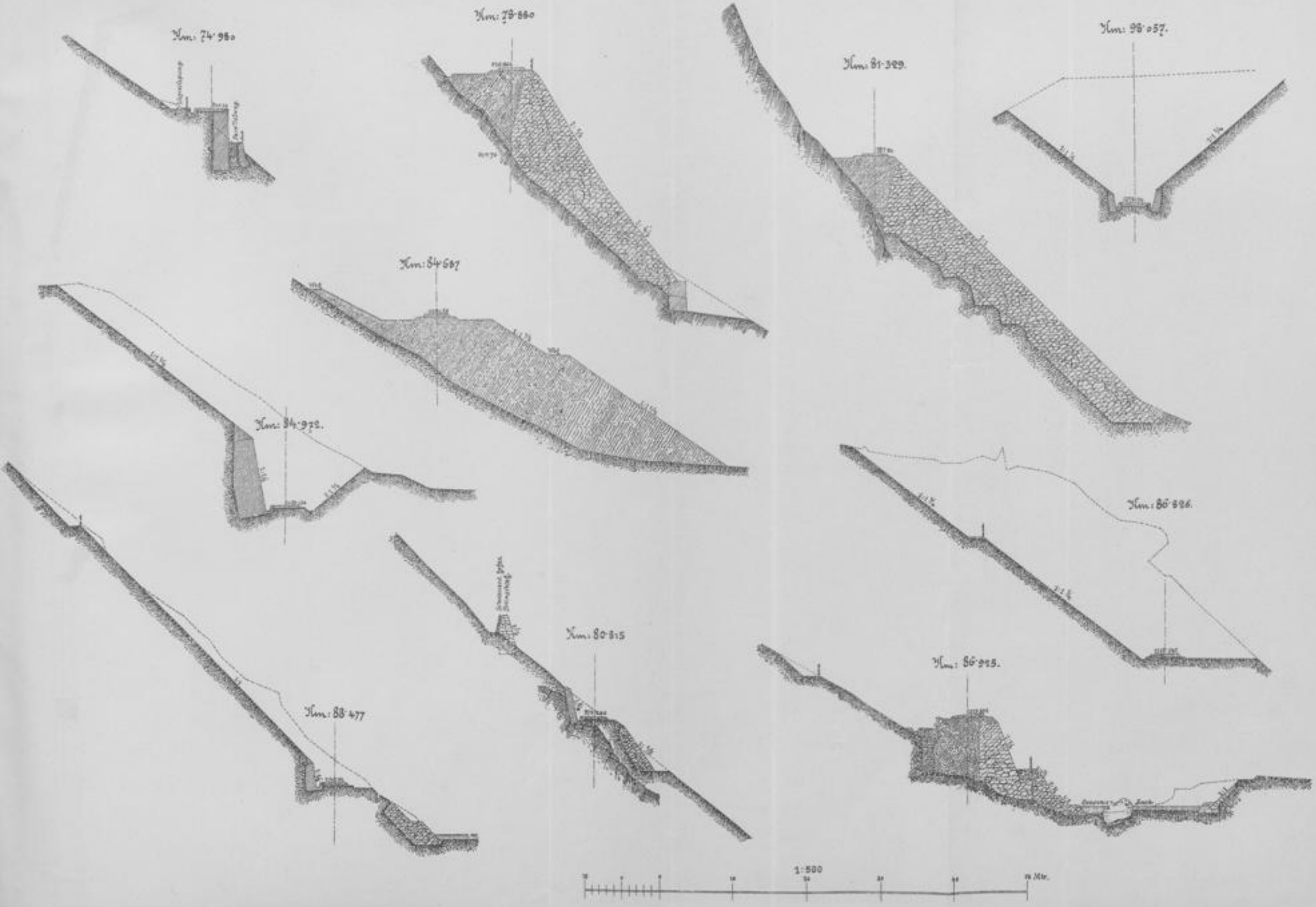
Maassstab:
für die Längen : 1:100000.
" " Höhen " 1: 5000.

LÄNGENPROFIL
DER STRECKE
LANDECK - BLUDENZ.



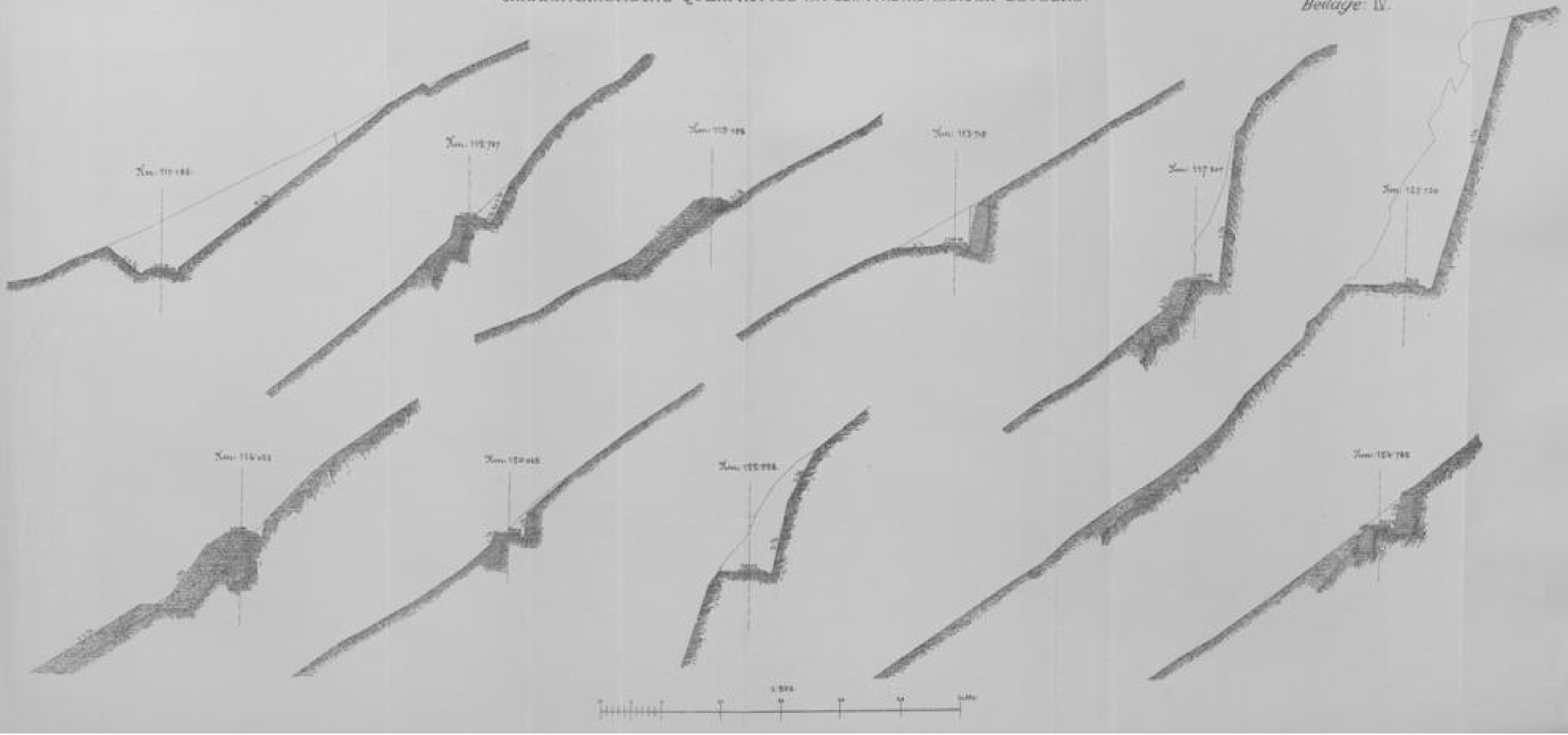
CHARAKTERISTISCHE QUERPROFILE AUF DER STRECKE: LANDECK-ST ANTON.

Beilage: III.



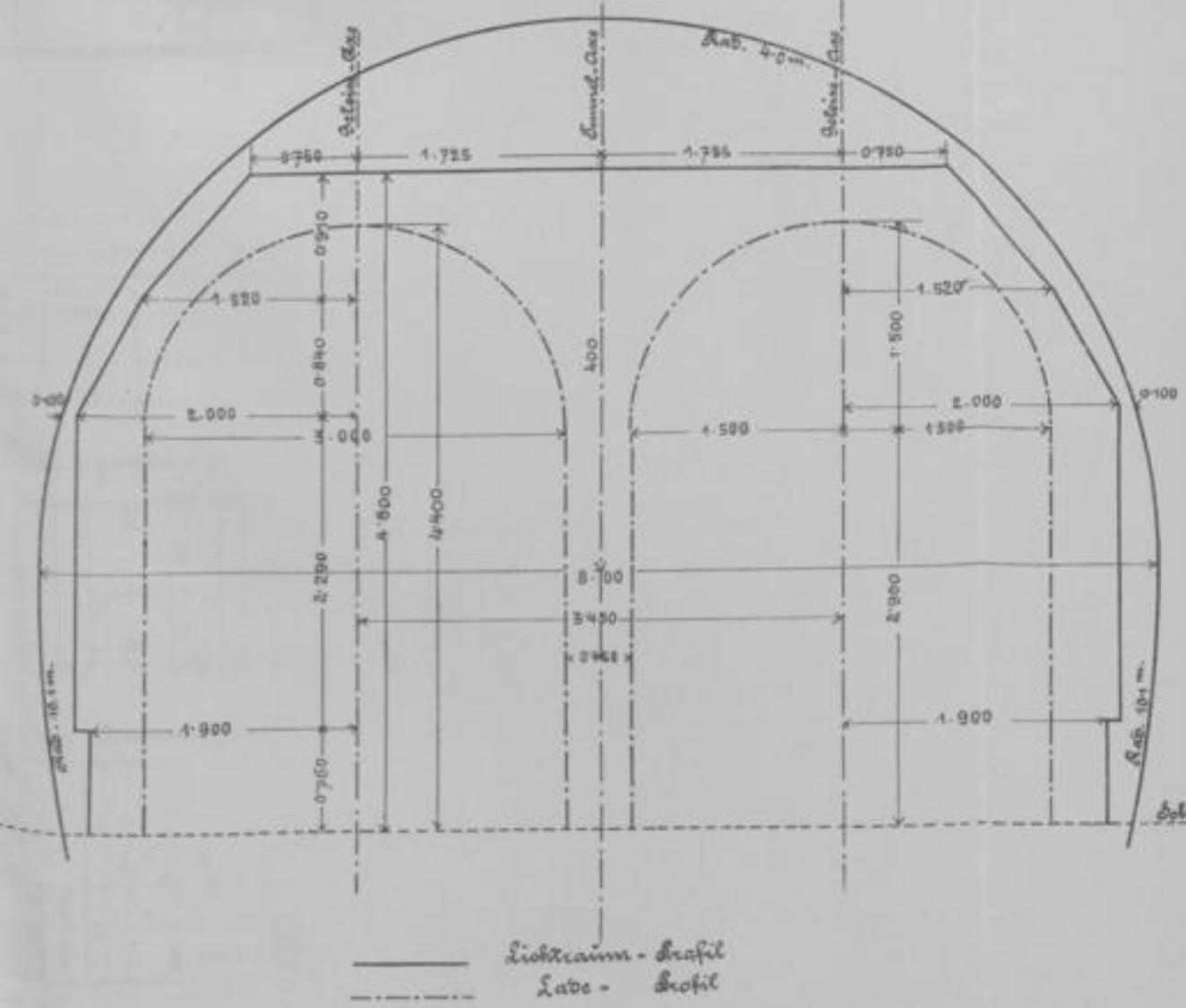
CHARAKTERISTISCHE QUERPROFILE AUF DER STRECKE LANGEN-BLUDENZ.

Beilage: IV.



LICHTRAUM-PROFILE.

Lichtraum into Lade-Profil für den Arlberg-Tunnel



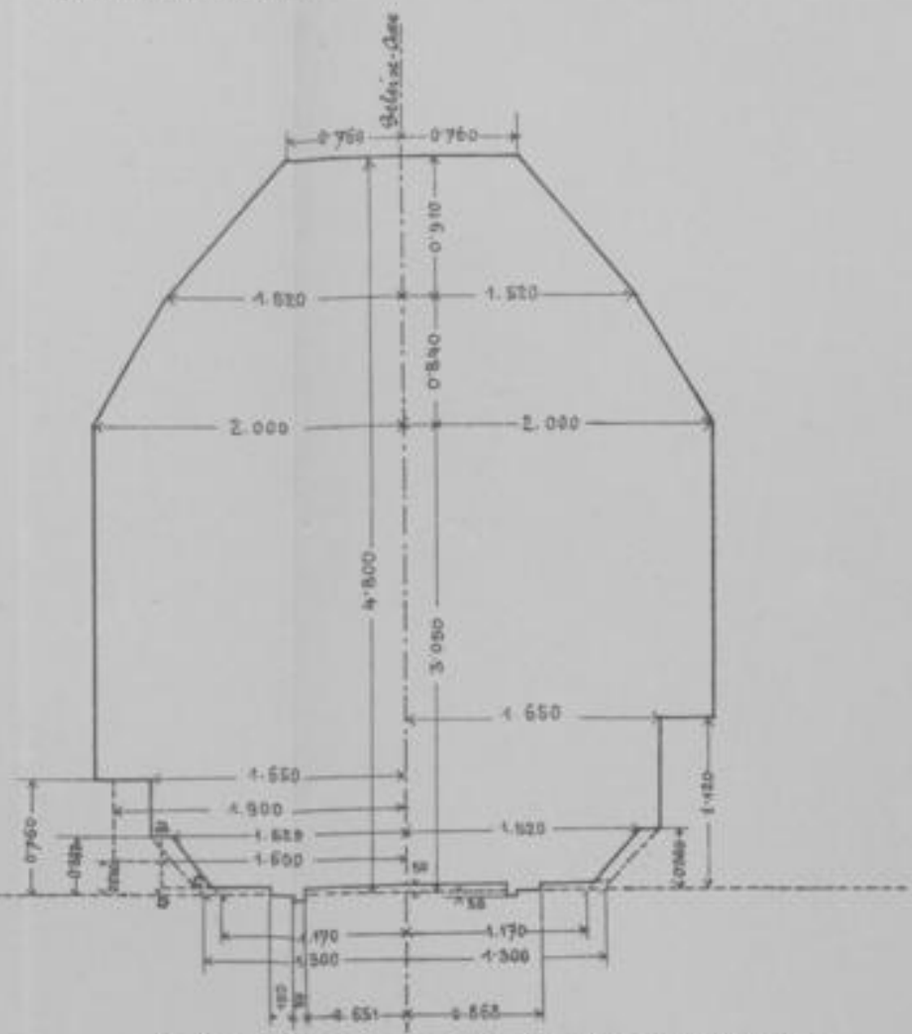
Lichtraum-Profil
Lade-Profil

Maßstab 1:50.

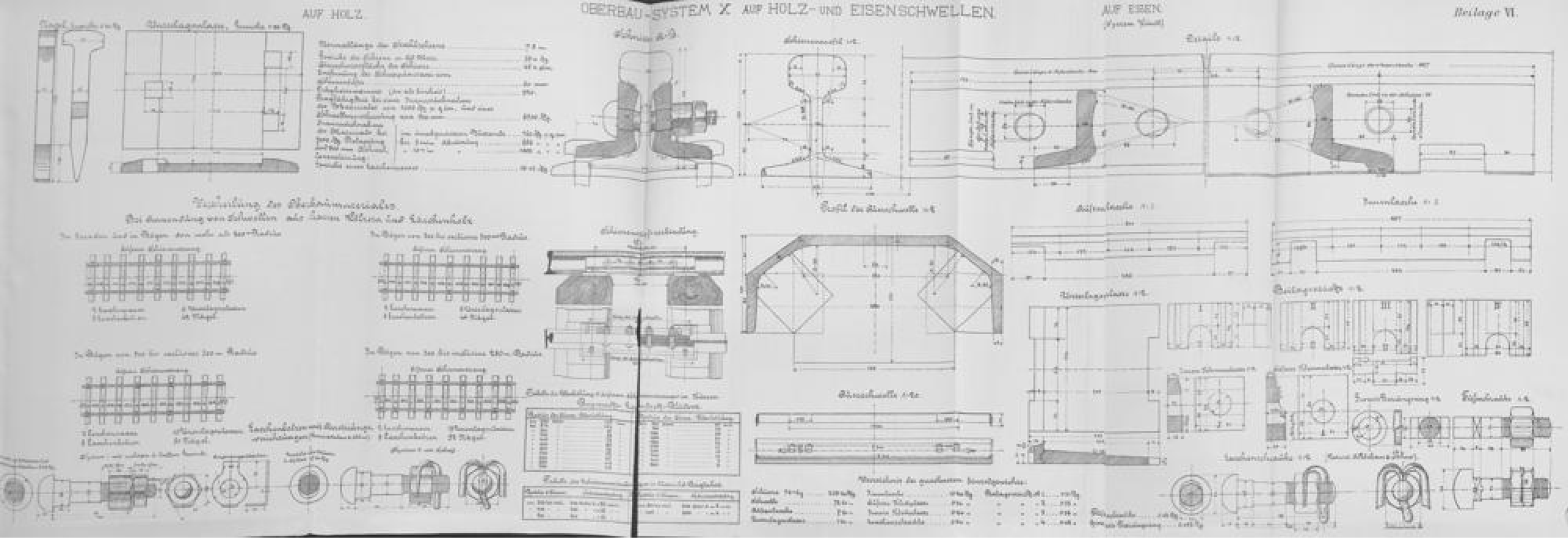
Lichtraum-Profil für

Die freie Bahn mit die durchlaufenden Stations-Geleise.

Die Stations-Neben-Geleise.



Profil des Vereines deutscher Eisenbahn-Verwaltungen
" der k.k. österreichischen Staatsbahnen.
nach der Verordg. der k.k. ö. M. v. 15/5 1889 für neue Brücken
a b c frei für den Schneepflug


AUF HOLZ
OBERBAU-SYSTEM X AUF HOLZ- UND EISENSCHWELLEN
AUF EISEN
Beilage VI.

RECONSTRUCTION DES SCHANA-TOBELS

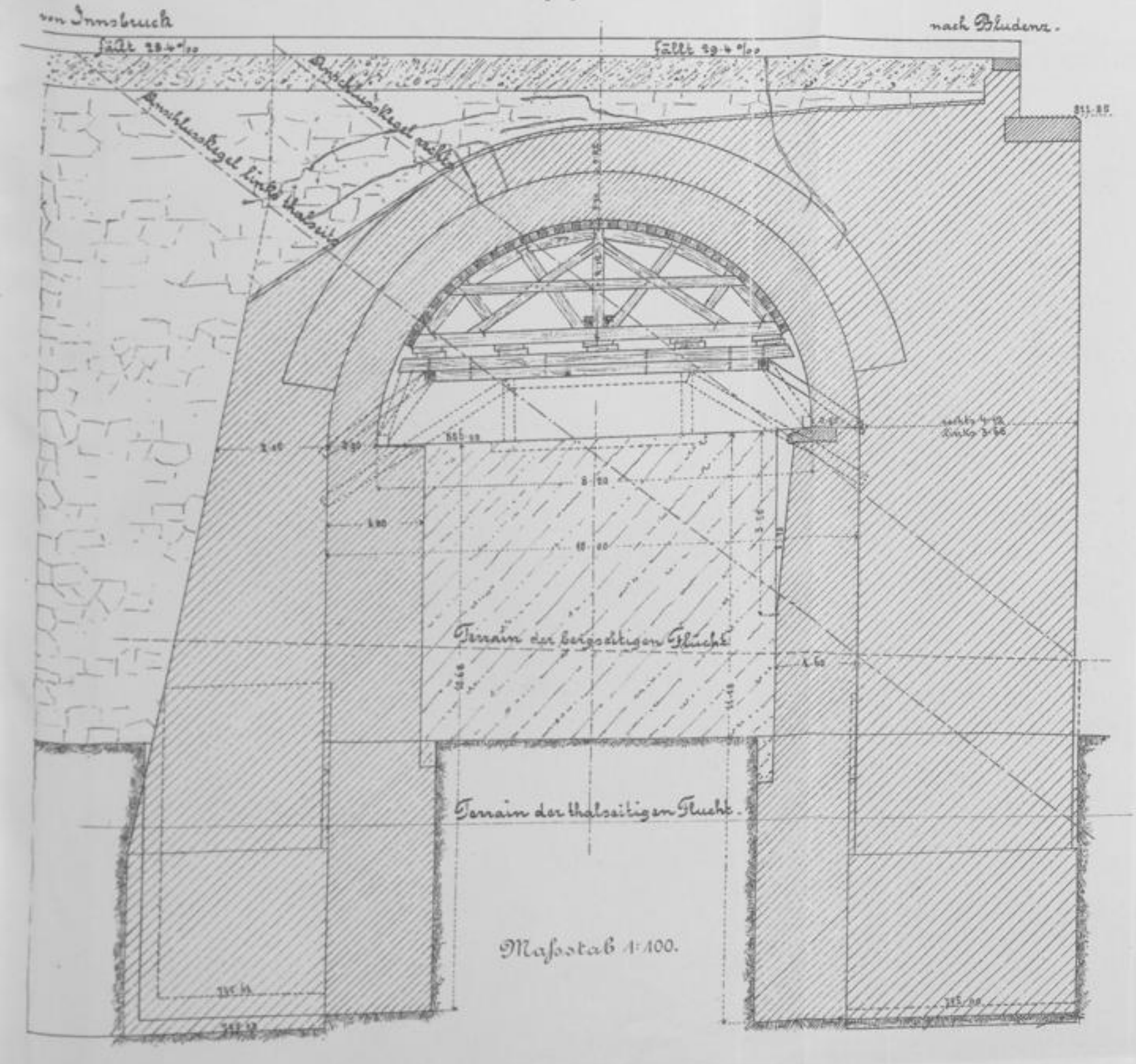
Km: 125·666

DER STRECKE: „HINTERGASSE-BRATZ"

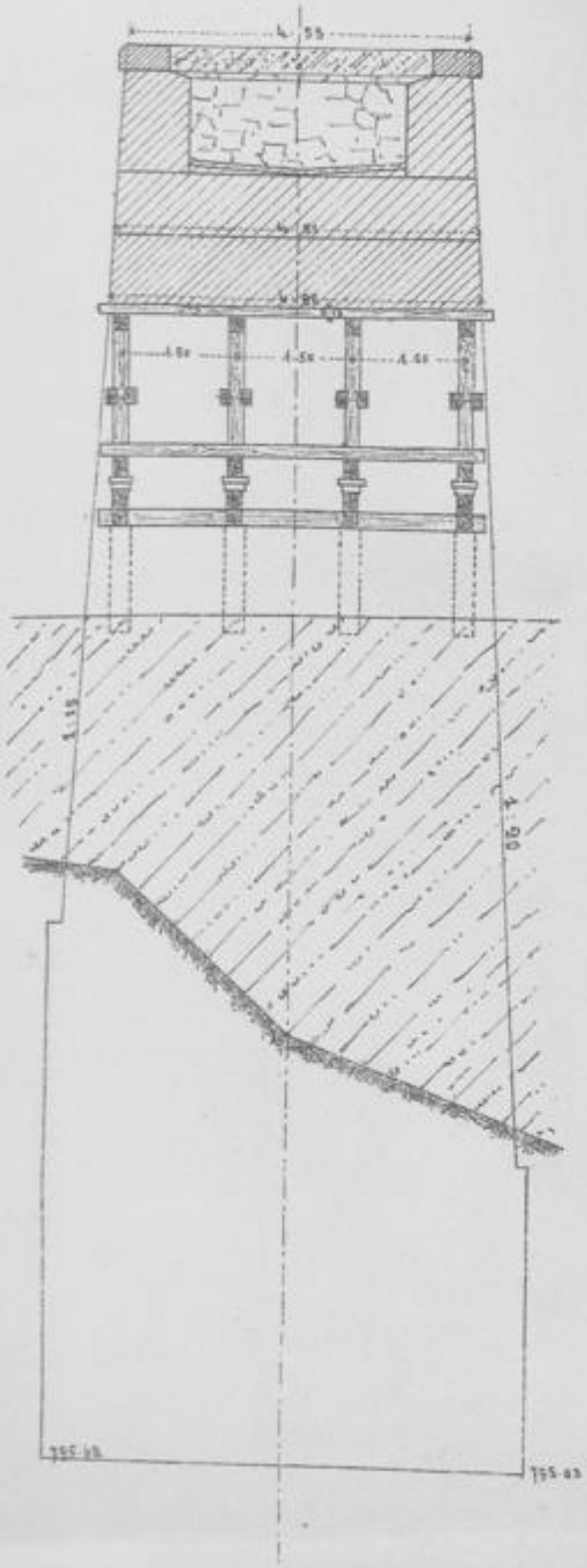
Beilage: VII.

Innsbrucker - Widerlager.

Längenschnitt



Querschnitt.



ENTWÄSSERUNG DER QUELLTOBEL-LEHNE.

Km: 122 %

DER STRECKE: DALAAS - HINTERGASSE.

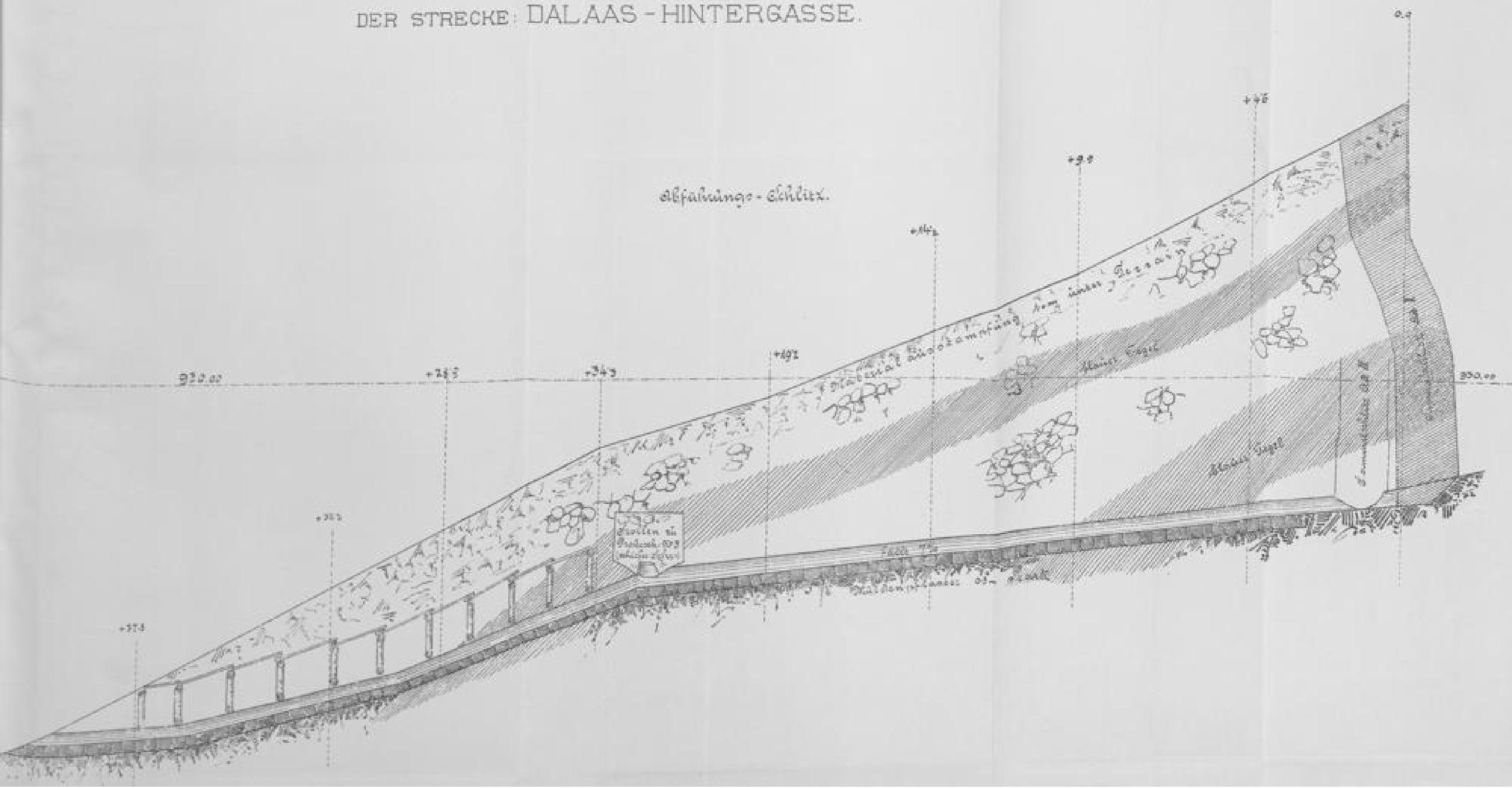
Situation
1:200.

Beilage VII.

Beilage: IX.

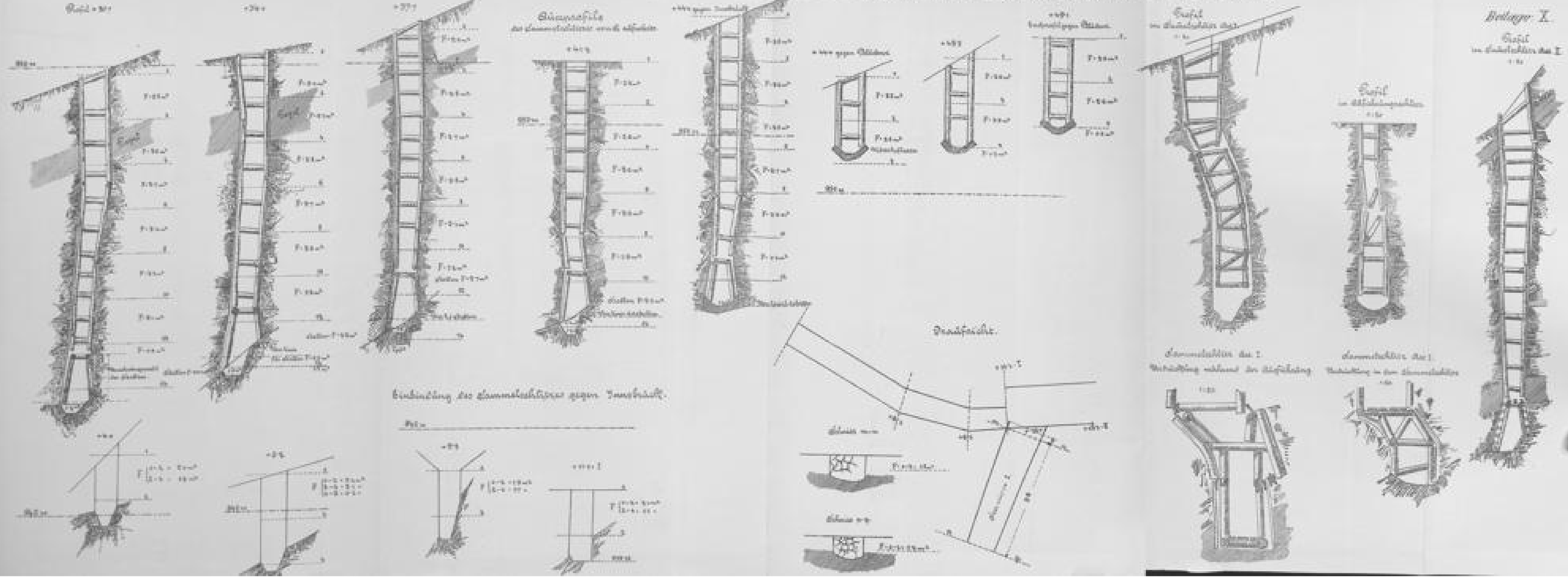
ENTWÄSSERUNG DER QUELLTOBEL-LEHNE, Km: 122·5/6

DER STRECKE: DALAAS-HINTERGASSE.



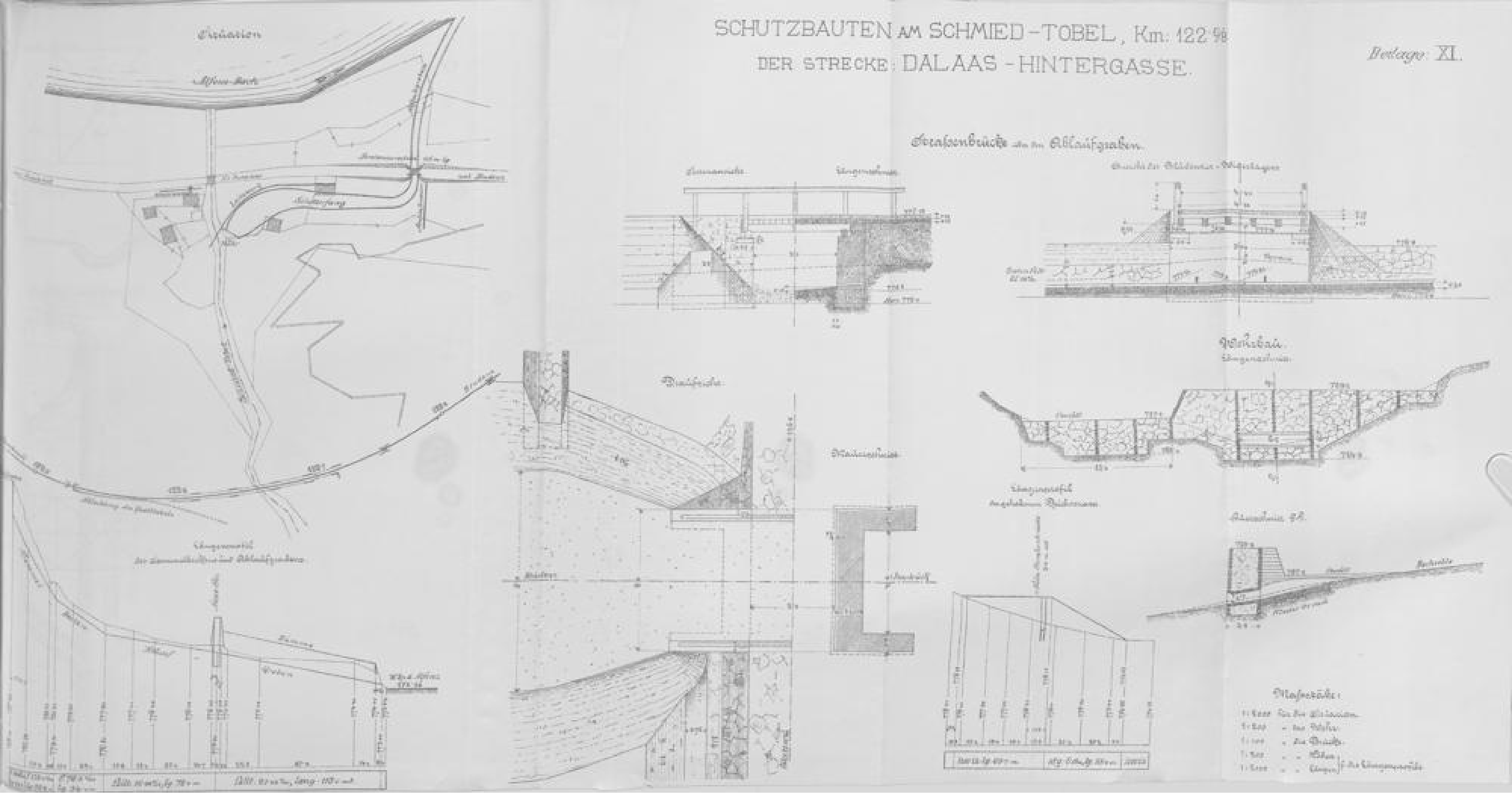
ENTWÄSSERUNG DER QUELLTOBEL-LEHNE; Km. 122 ⅝ DER STRECKE DALAAS-HINTERGASSE

Beilage: X.



SCHUTZBAUTEN AM SCHMIED-TOBEL, Km: 122·98
DER STRECKE: DALAAS-HINTERGASSE.

Beilage: XI.

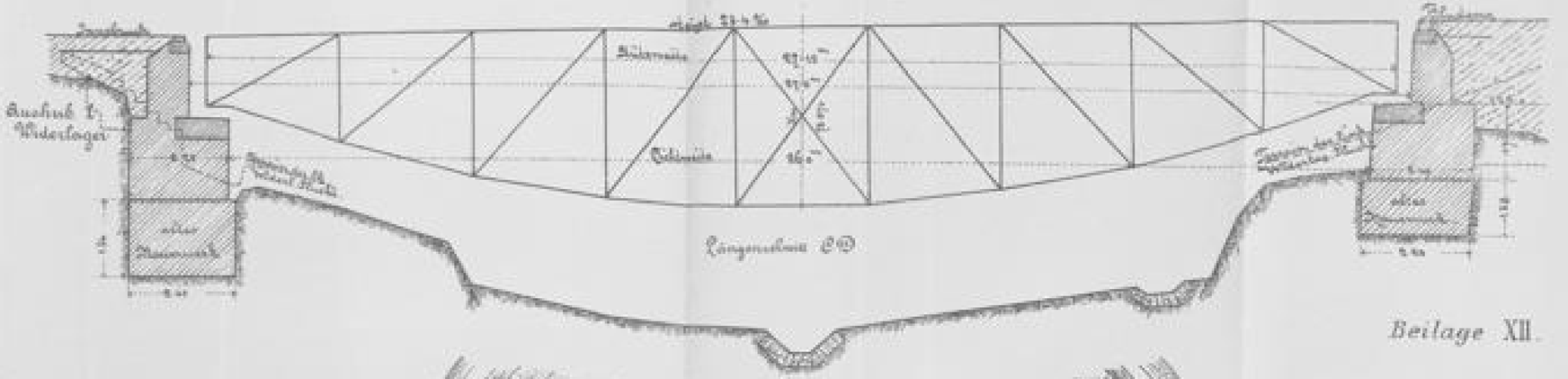


EINSCHIEBUNG EINER EISENCONSTRUCTION

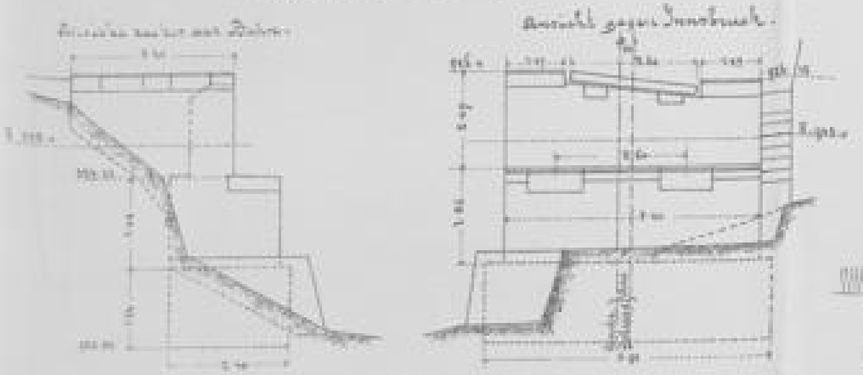
VON 26·0 Mt. LICHTWEITE BEI Km: 78·96

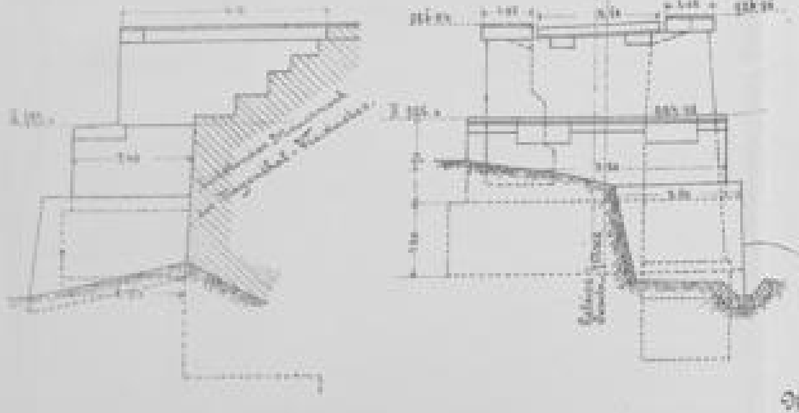
DER STRECKE: PIANS-STRENGEN AN STELLE DER DASELBST

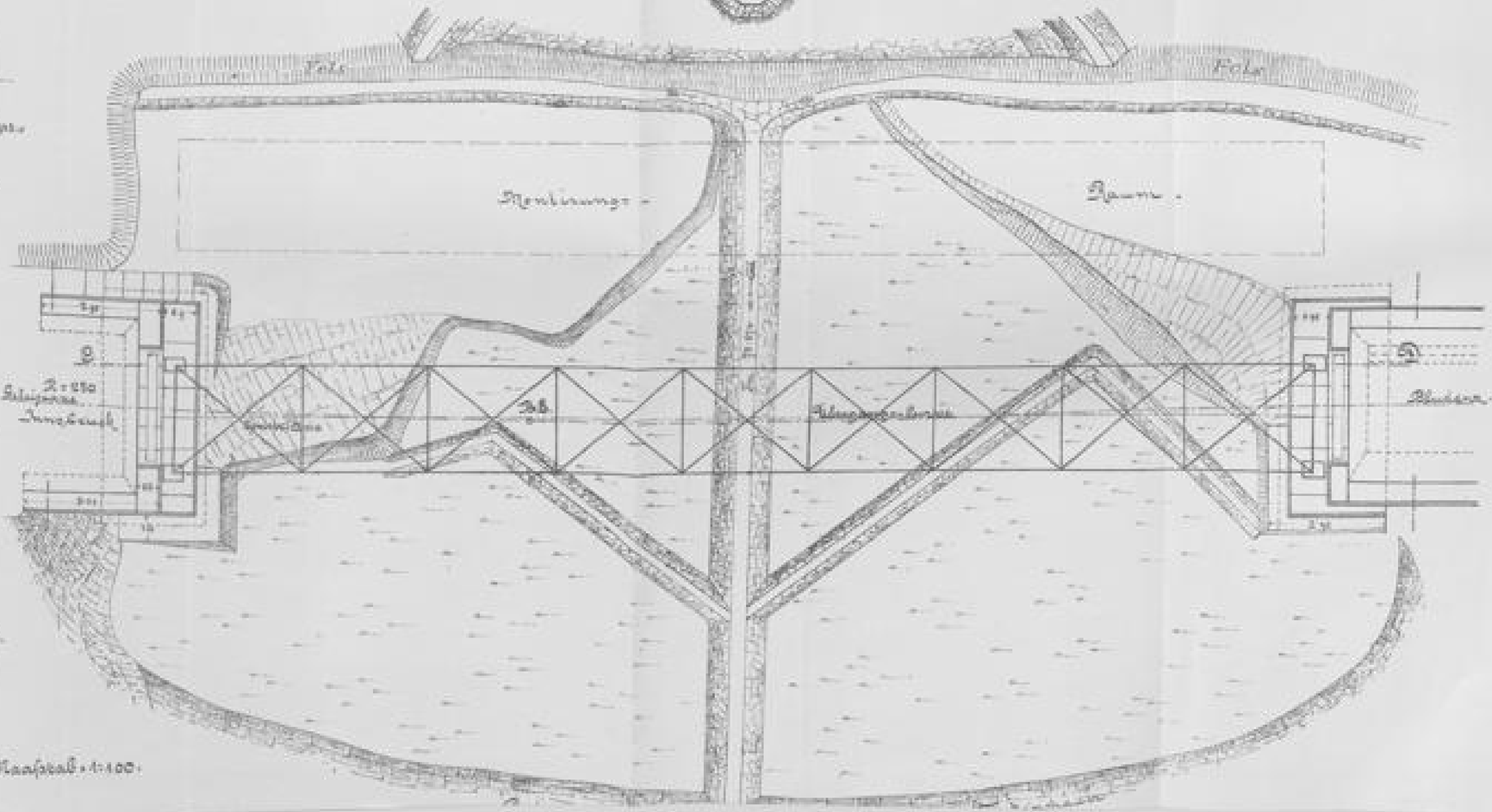
BESTANDENEN DEFORMIRTEN TROCKENMAUER.



Beilage XII.





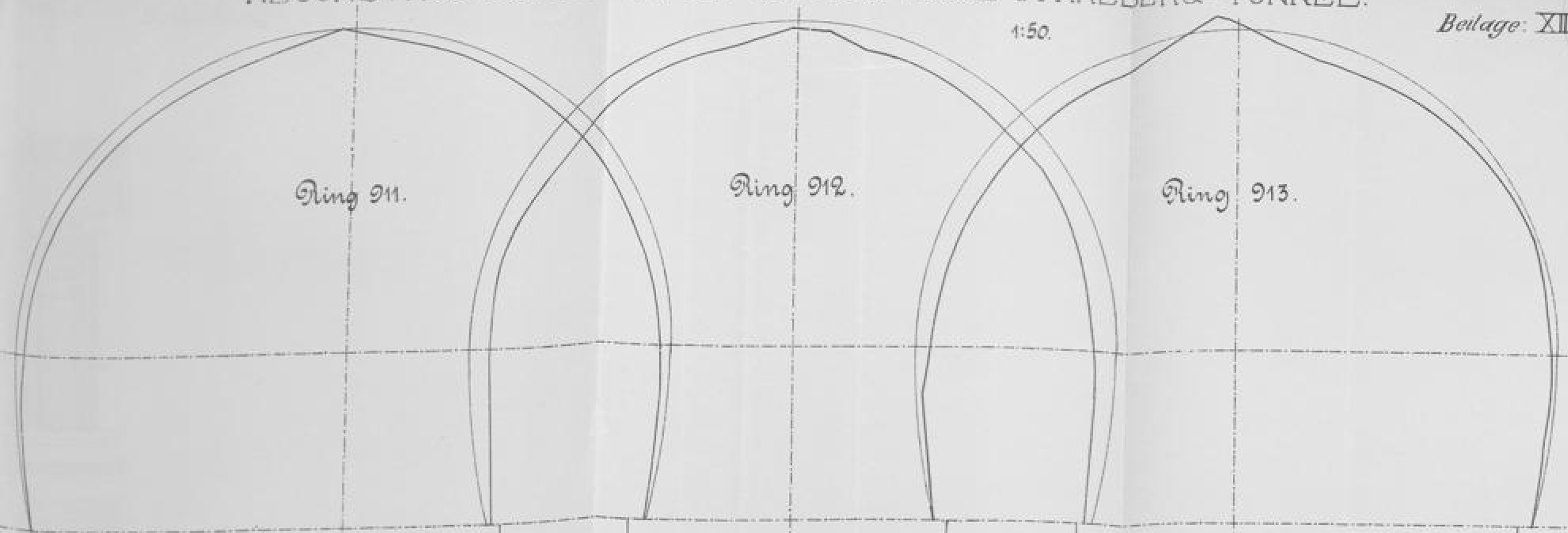


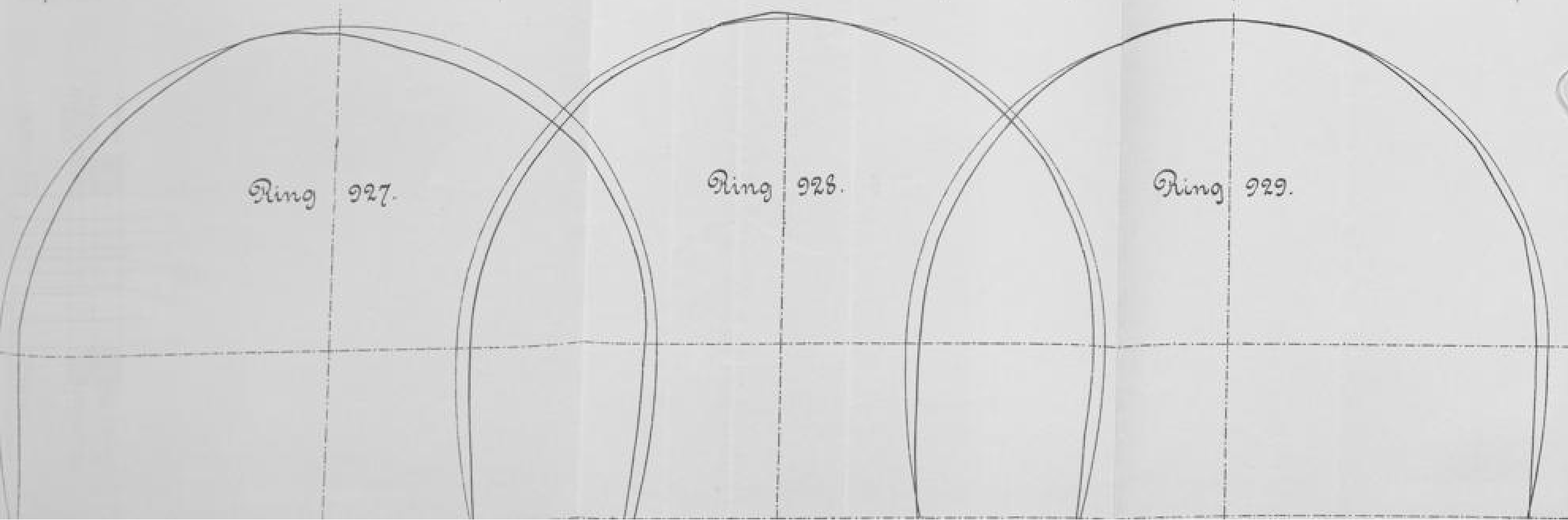
Maassstab = 1:100.

RECONSTRUCTION SCHADHAFTER GEWÖLBS-RINGE IM ARLBERG-TUNNEL.

1:50.

Beilage: XIII.

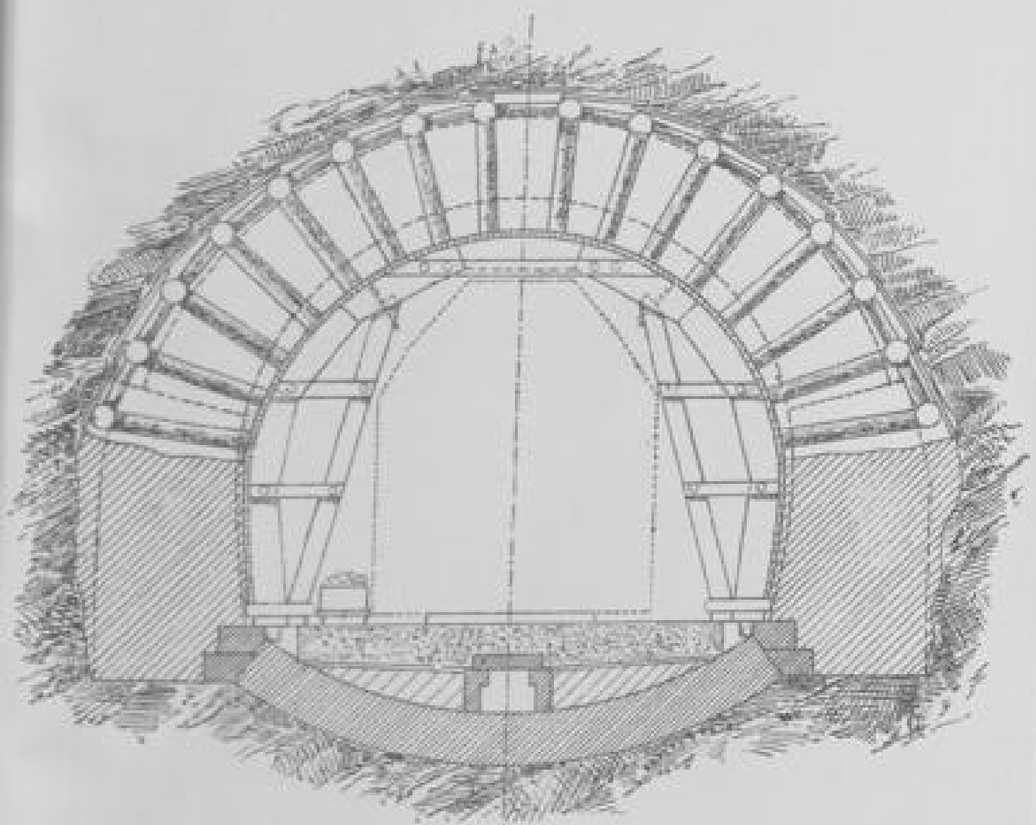




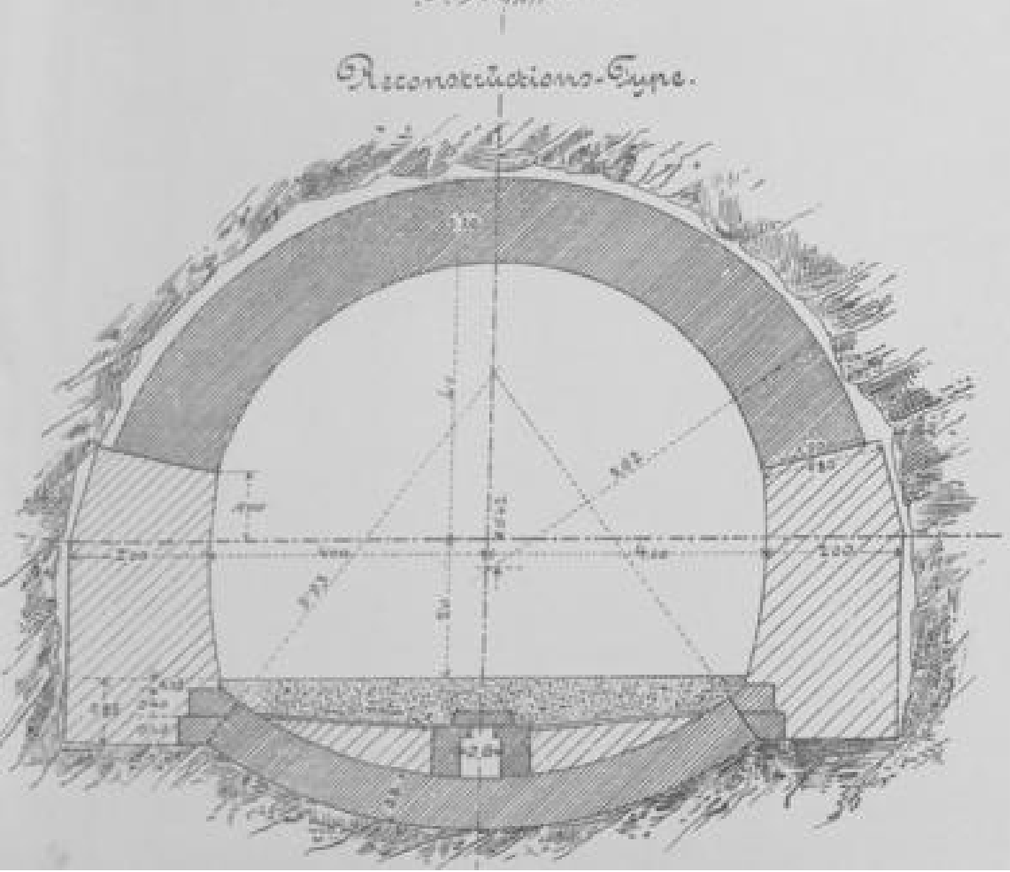
RECONSTRUCTION SCHADHAFTER GEWÖLBS-RINGE IM ARLBERG-TUNNEL

Beilage: XIV.

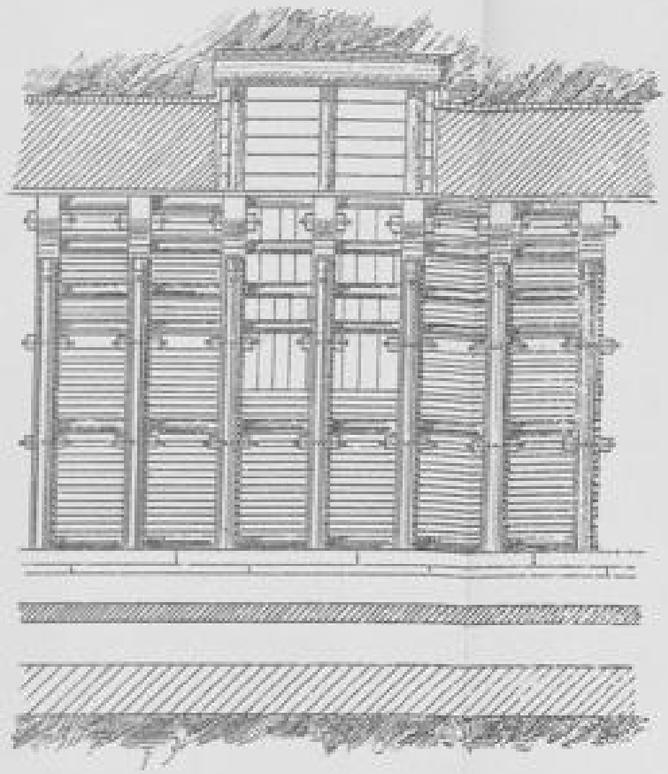
Querschnitt



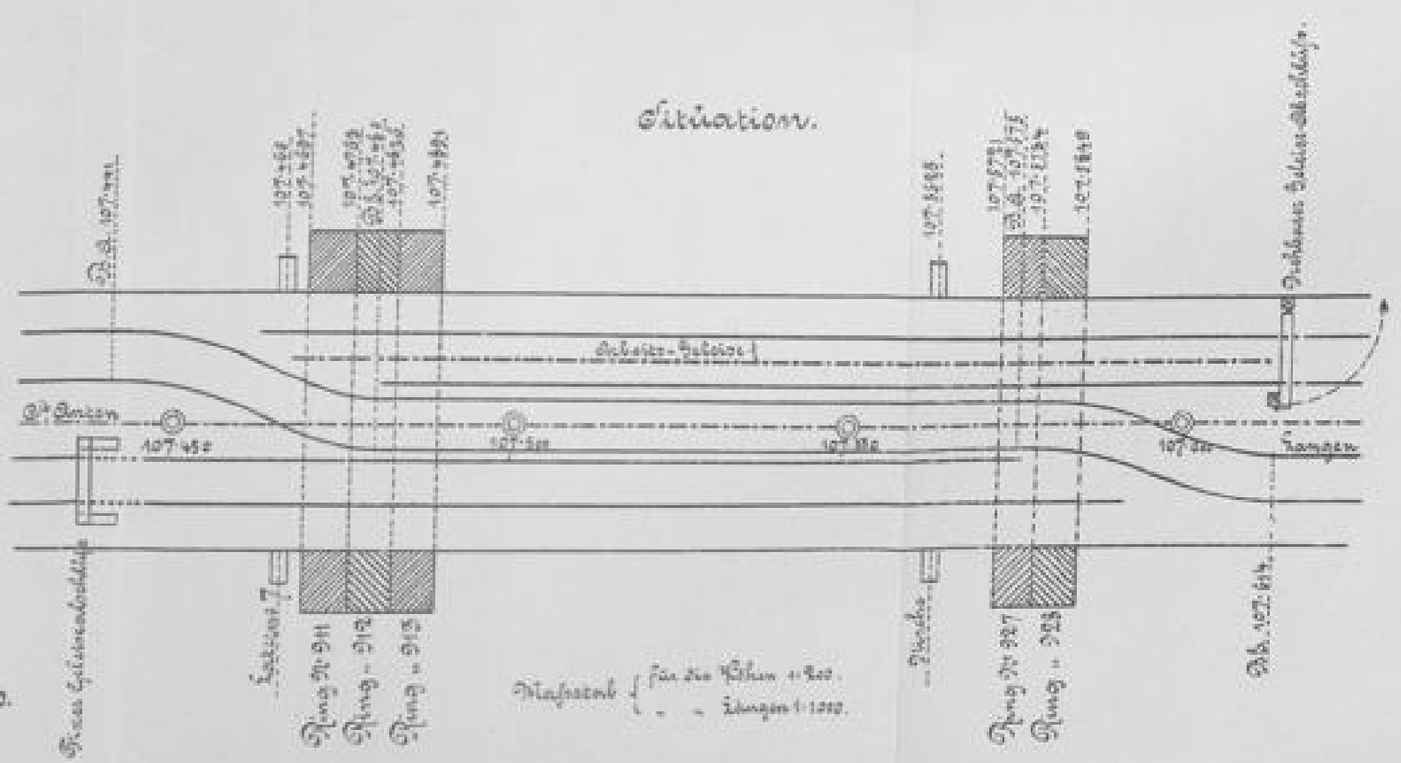
Reconstructions-Type.



Längenschnitt.



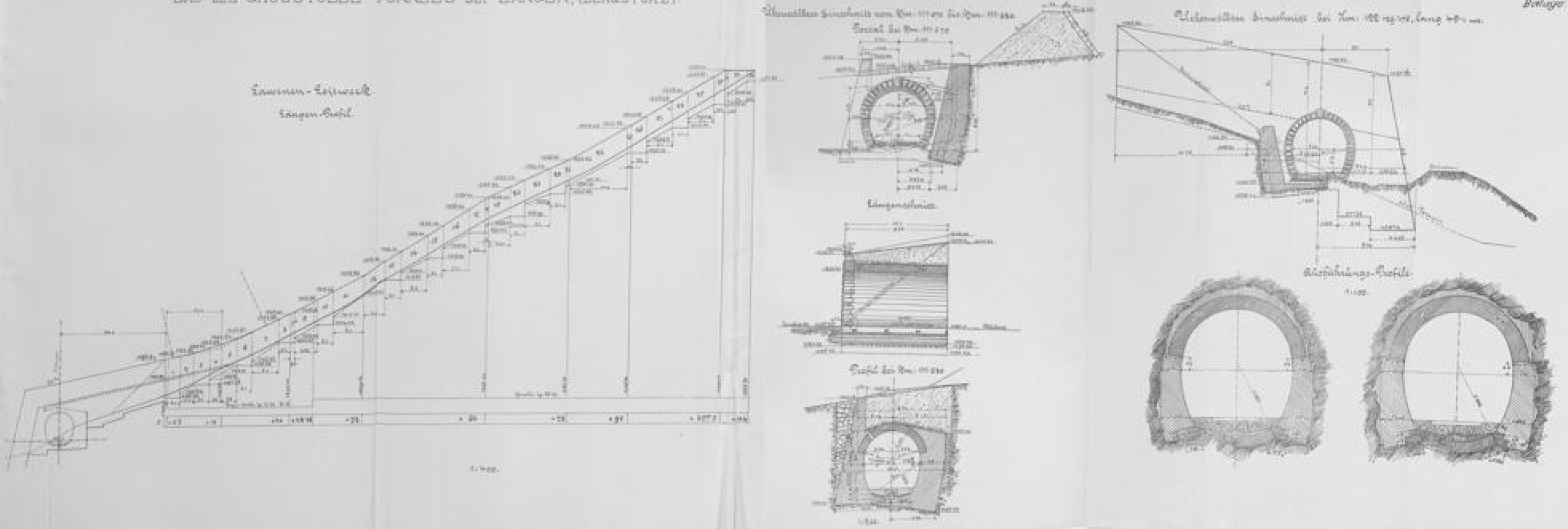
Situation.



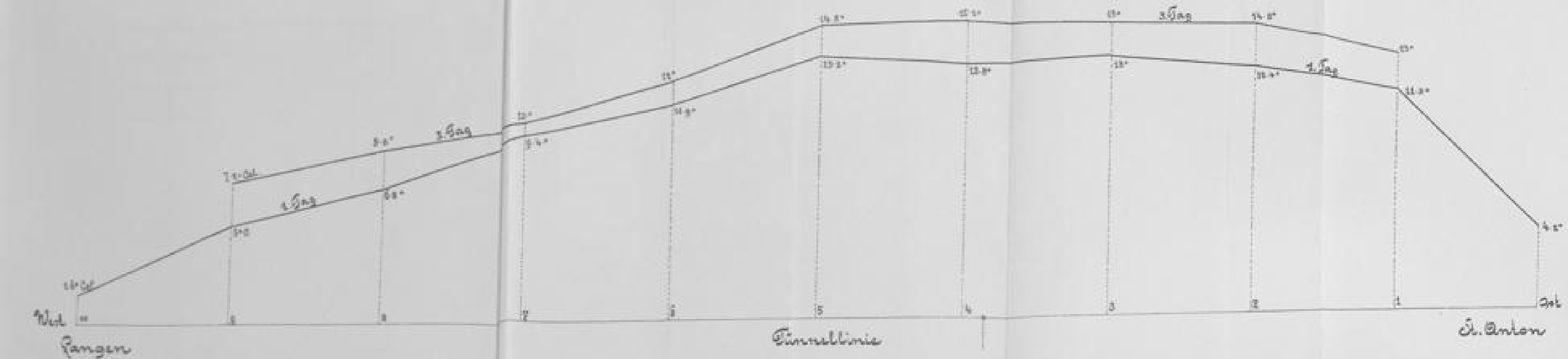
1:100.

Maßstab { für die Höhen 1:200.
" " Längen 1:1000.

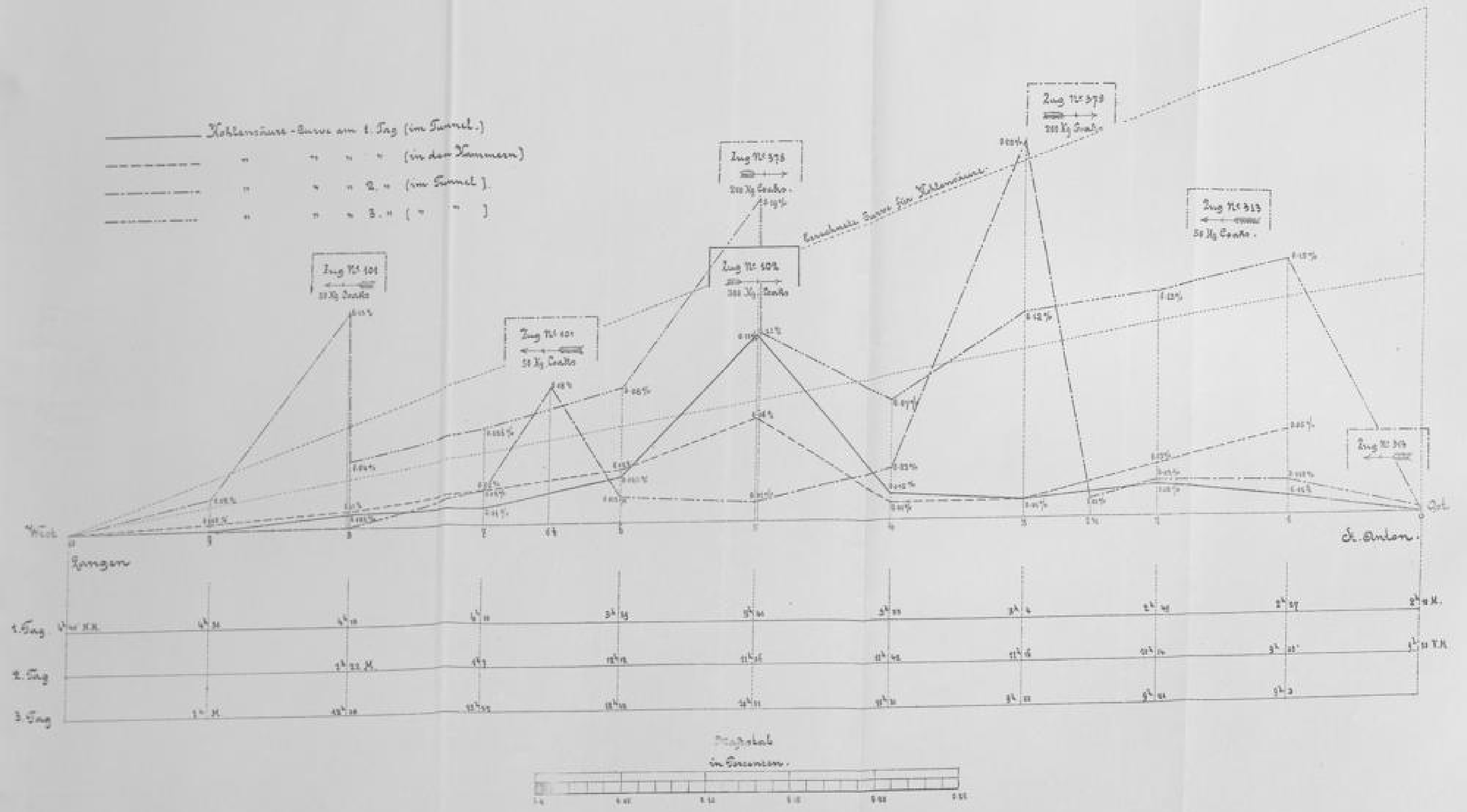
BAU DES GROSSTOBEL-TUNNELS BEI LANGEN, (BERGSTURZ).



TEMPERATUR - CURVE.

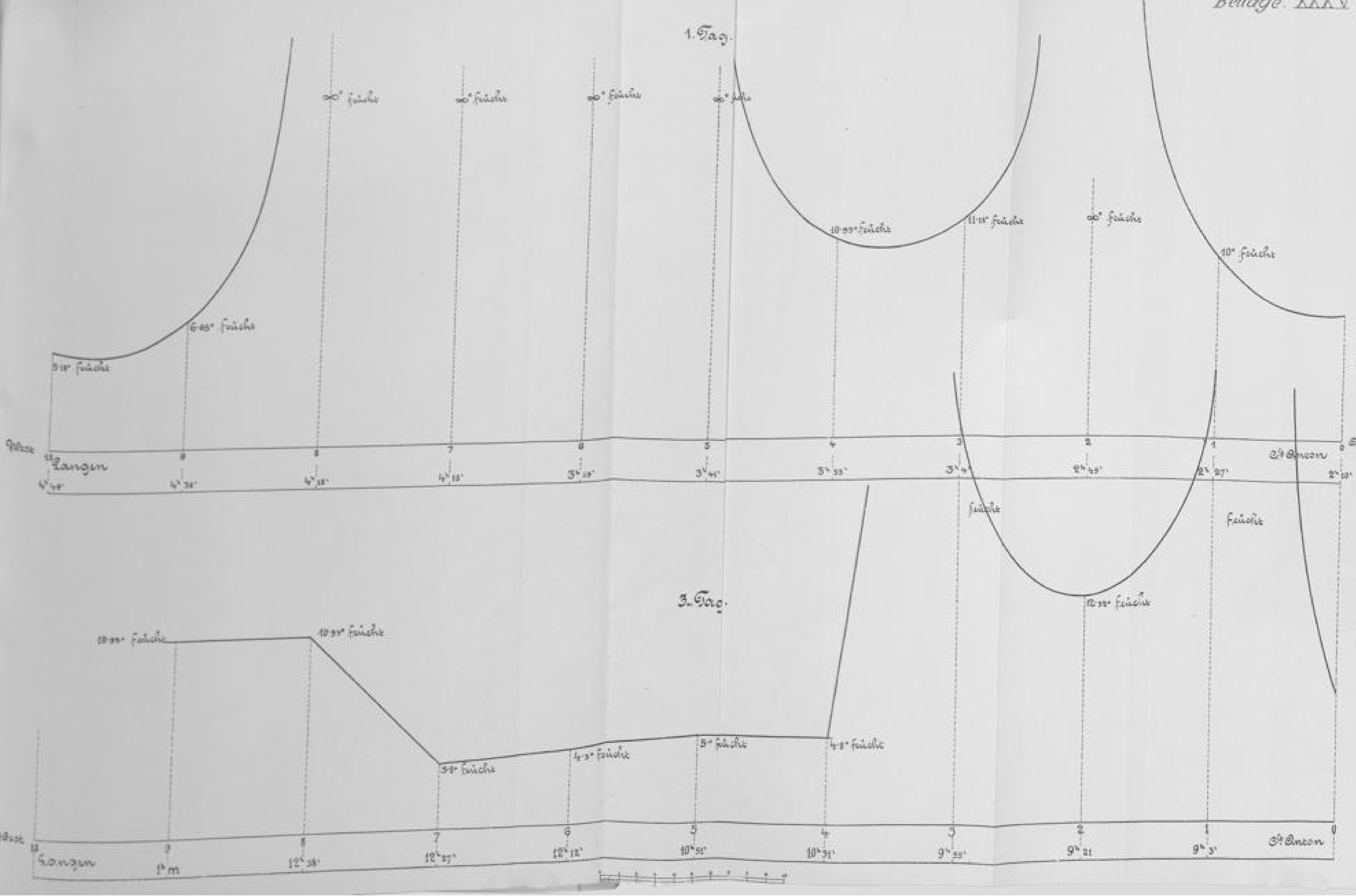


KOHLENSÄURE - CURVEN.

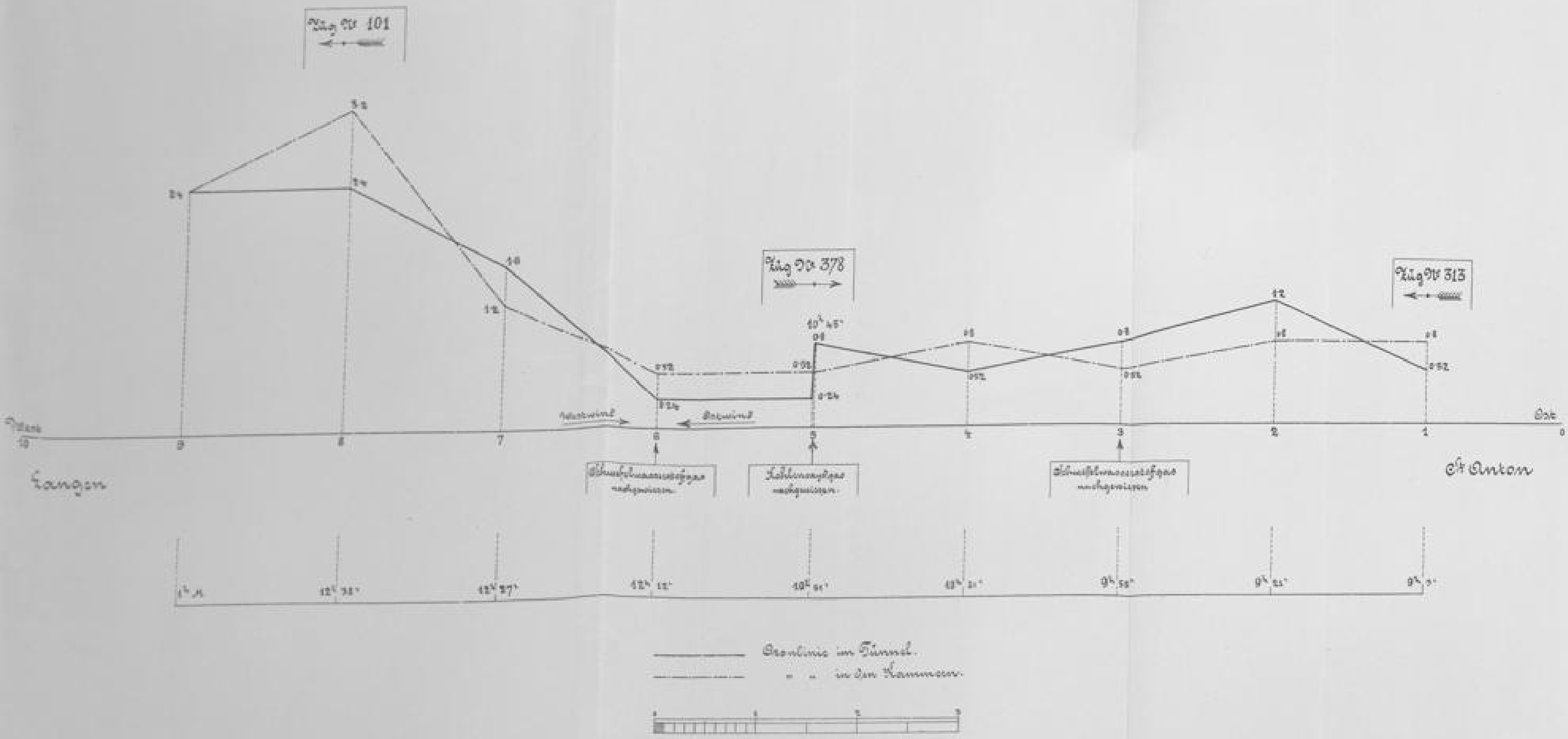


FEUCHTIGKEITS-VERHÄLTNISSE.

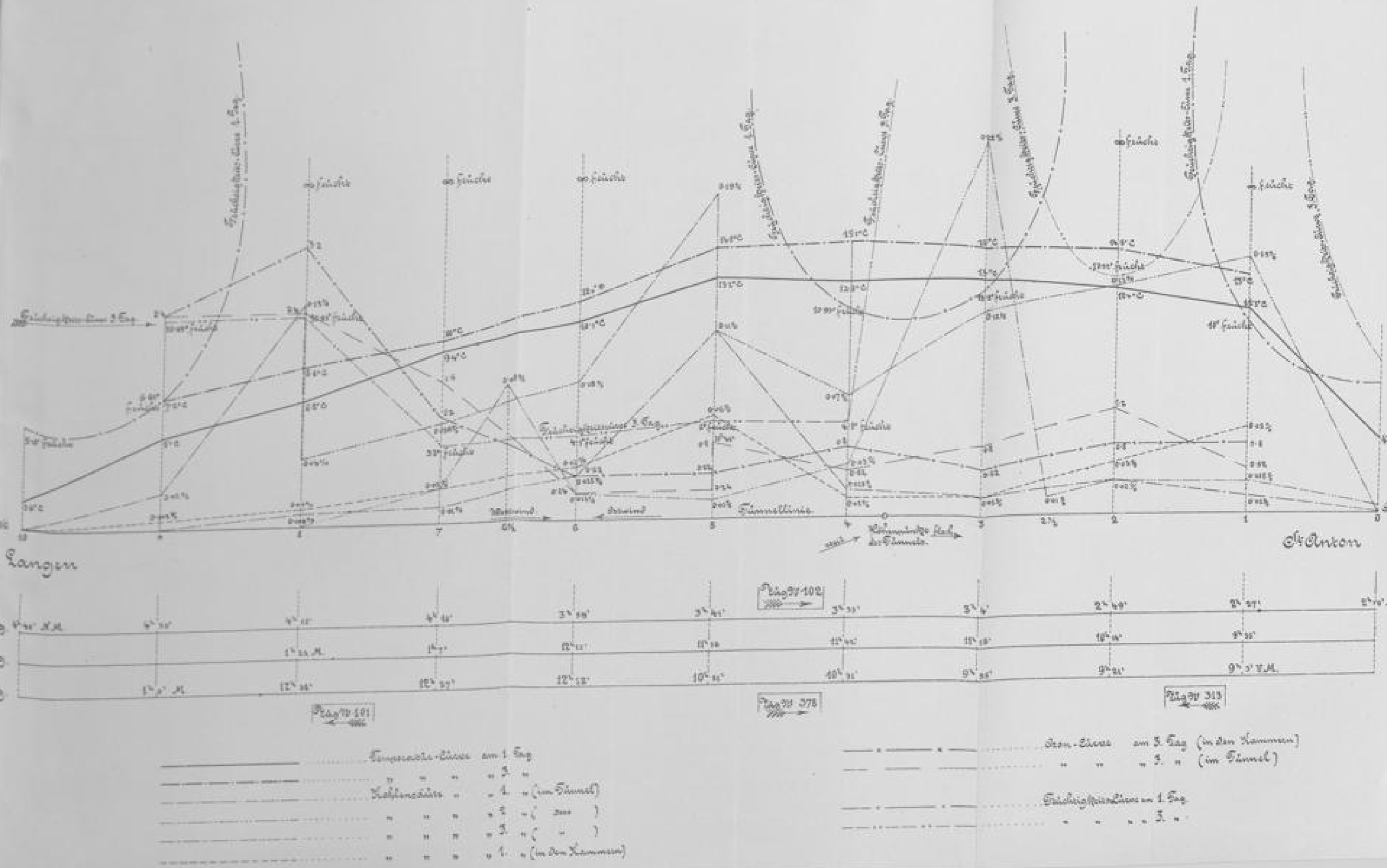
Beilage: XXXV.



OZON-CURVEN.


Zug Nr 101
Zug Nr 378
Zug Nr 313
Werkwind
Ostwind
Ost
Langen
St Anton
Ozonlinie im Tunnel.
" " in den Kammern.

GESAMMTBILD DER TUNNEL-VERHÄLTNISSE.

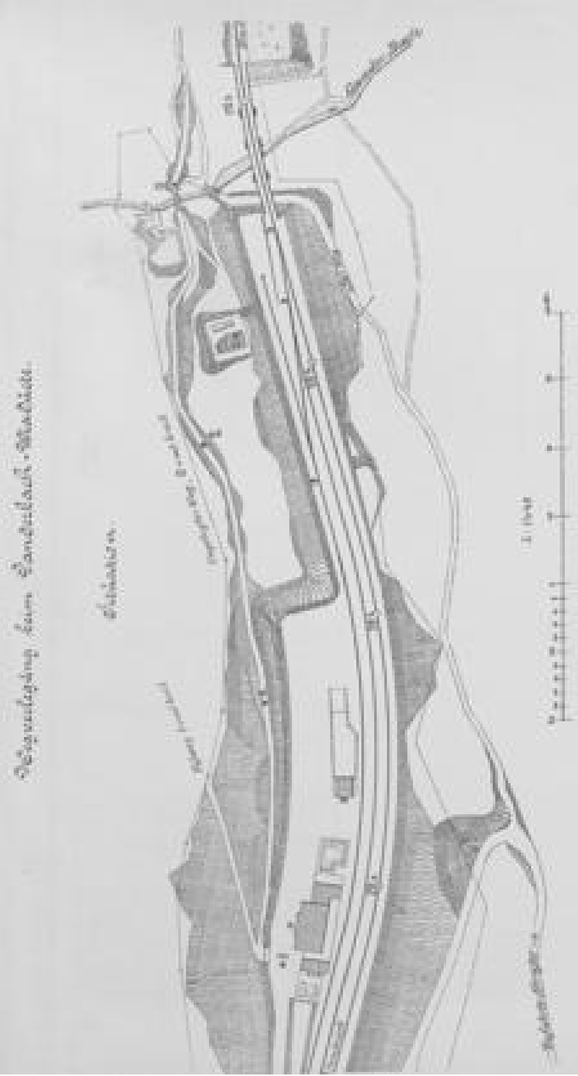


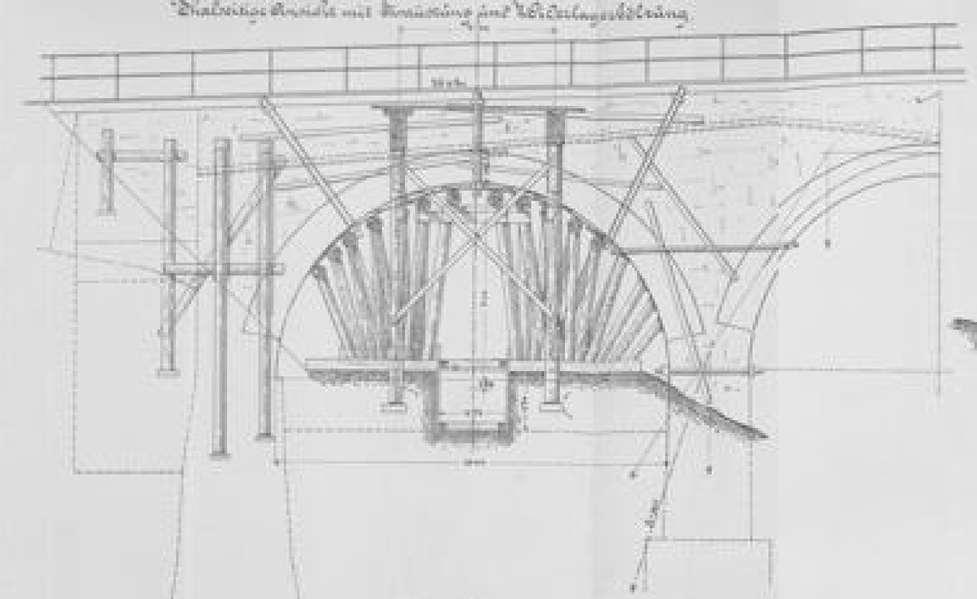
Temperatur-Linien am 1. Tag
" " " " 3. "
Kohlensäure " " 1. " (im Stollen)
" " " " 2. " (" ")
" " " " 3. " (" ")
" " " " 1. " (im den Kammern)

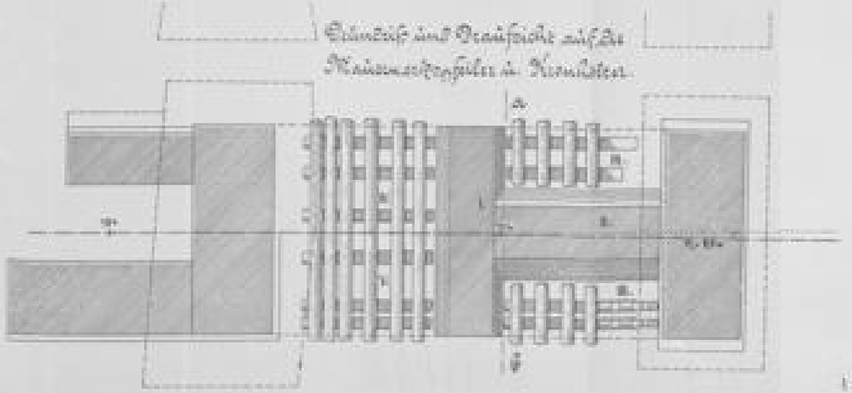
Oxyg.-Linien am 3. Tag (in den Kammern)
" " " 3. " (im Stollen)

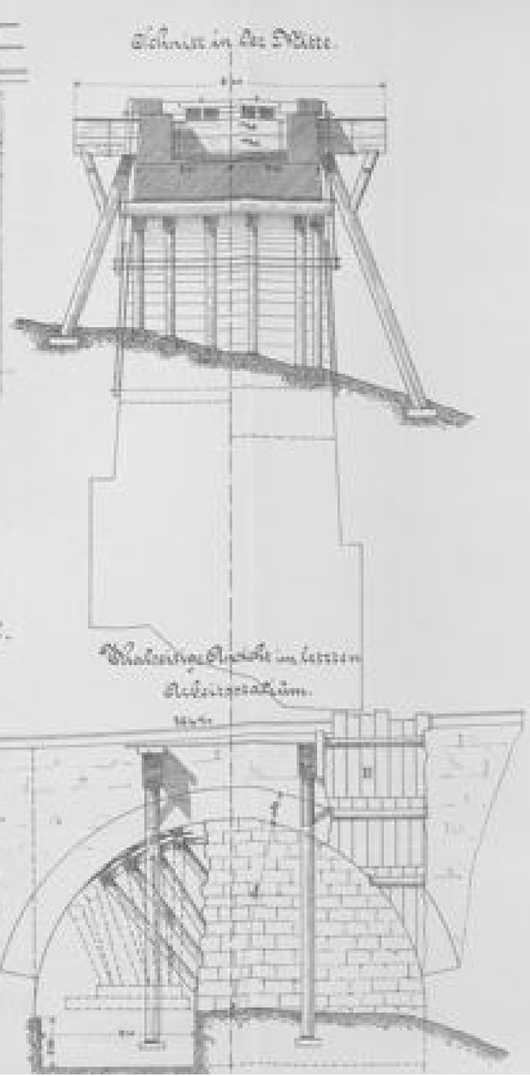
Feuchtigkeitslinien am 1. Tag
" " " " 3. "

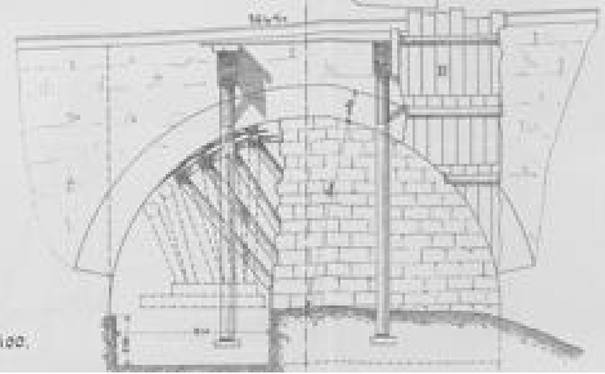
SANIRUNG DES GANDERBACH-VIADUCTES.

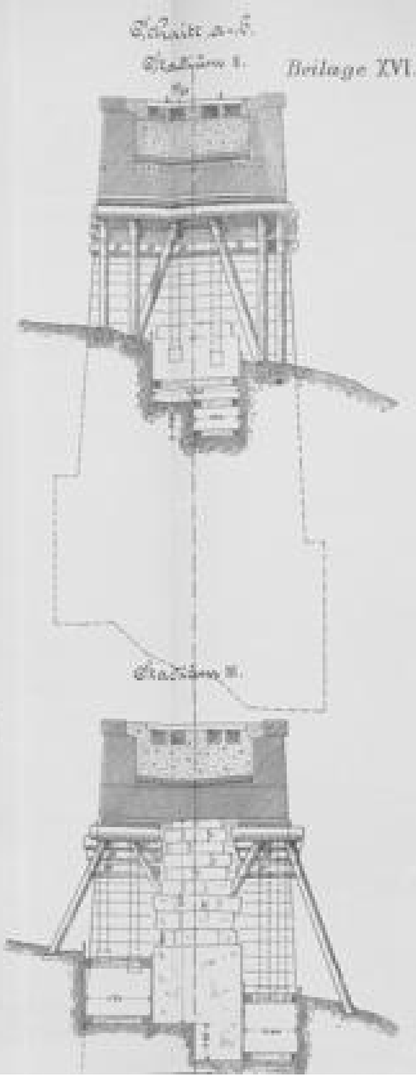








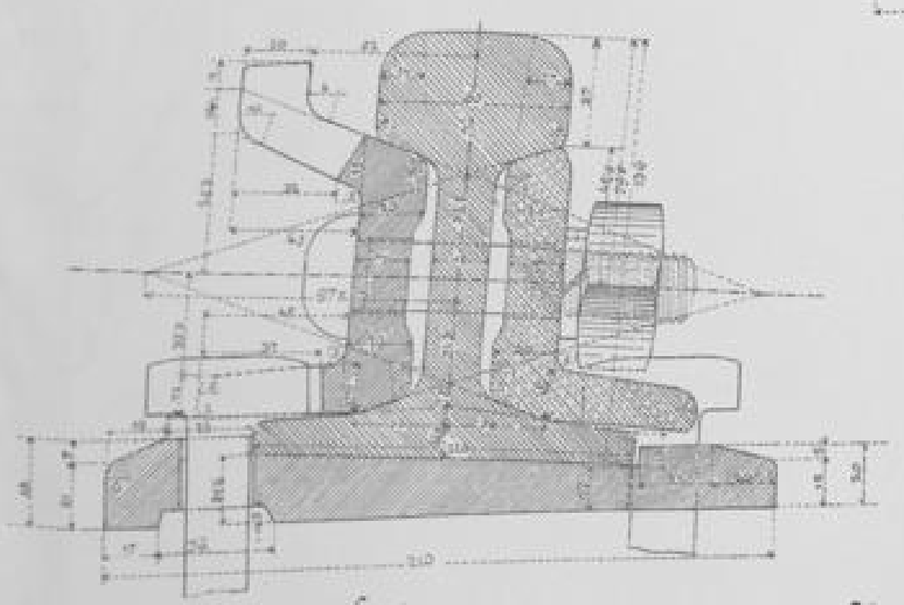




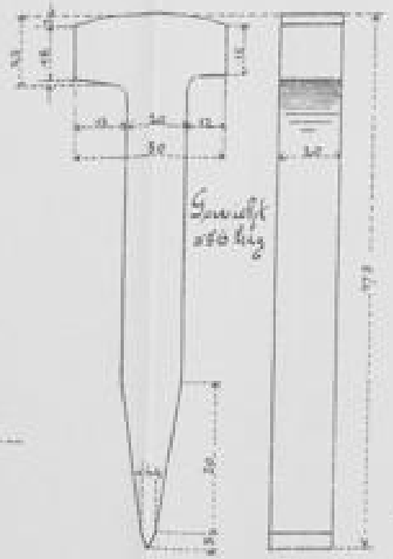
Beilage: XVII.

OBERBAU-SYSTEM „XXV" MIT HOLZSCHWELLEN IM ARLBERG-TUNNEL.

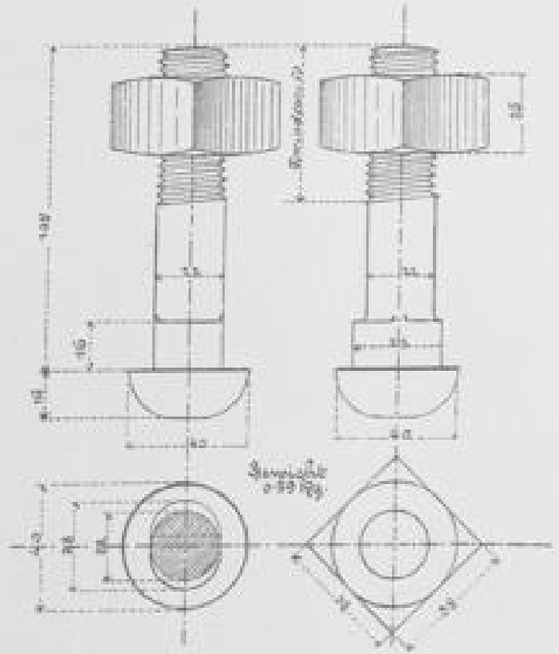
Querschnitt C-D, 1:2.



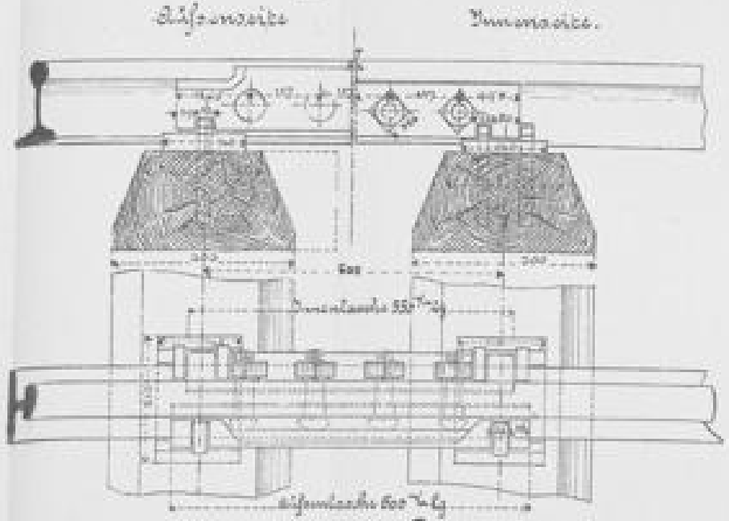
Hackennagel 1:2.



Laschenschraube 1:2.



Schienenstoss-Verbindung 1:10.

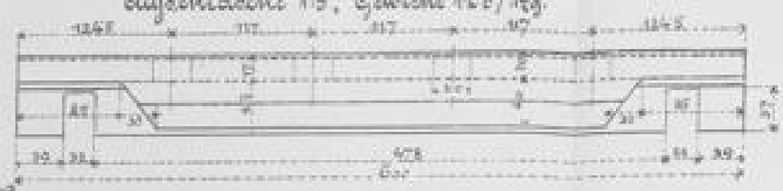


Dimensionierung.

In jenem Theile des Tunnels, in welchem nur ein geringer Temperaturwechsel stattfindet, ist der Zwischenraum bei den Schienenstossen beim Verlegen auf 4 m zu verringern.

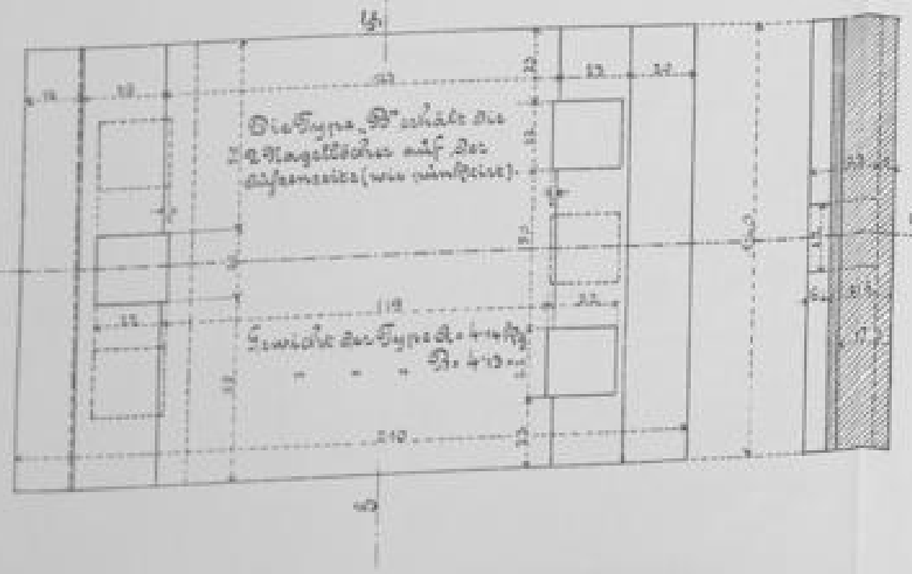
Innenlasche 1:5, Gewicht 5·72 kg.

Aussenlasche 1:5, Gewicht 12·07 kg.



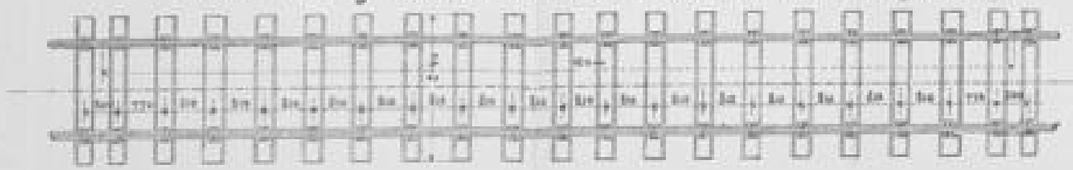
Schienenende 1:4.

Keilplatte Type A 1:2



Querschnitt E-F.

Verscherlung des Oberbaumateriales. Schienenlänge 15·24 m

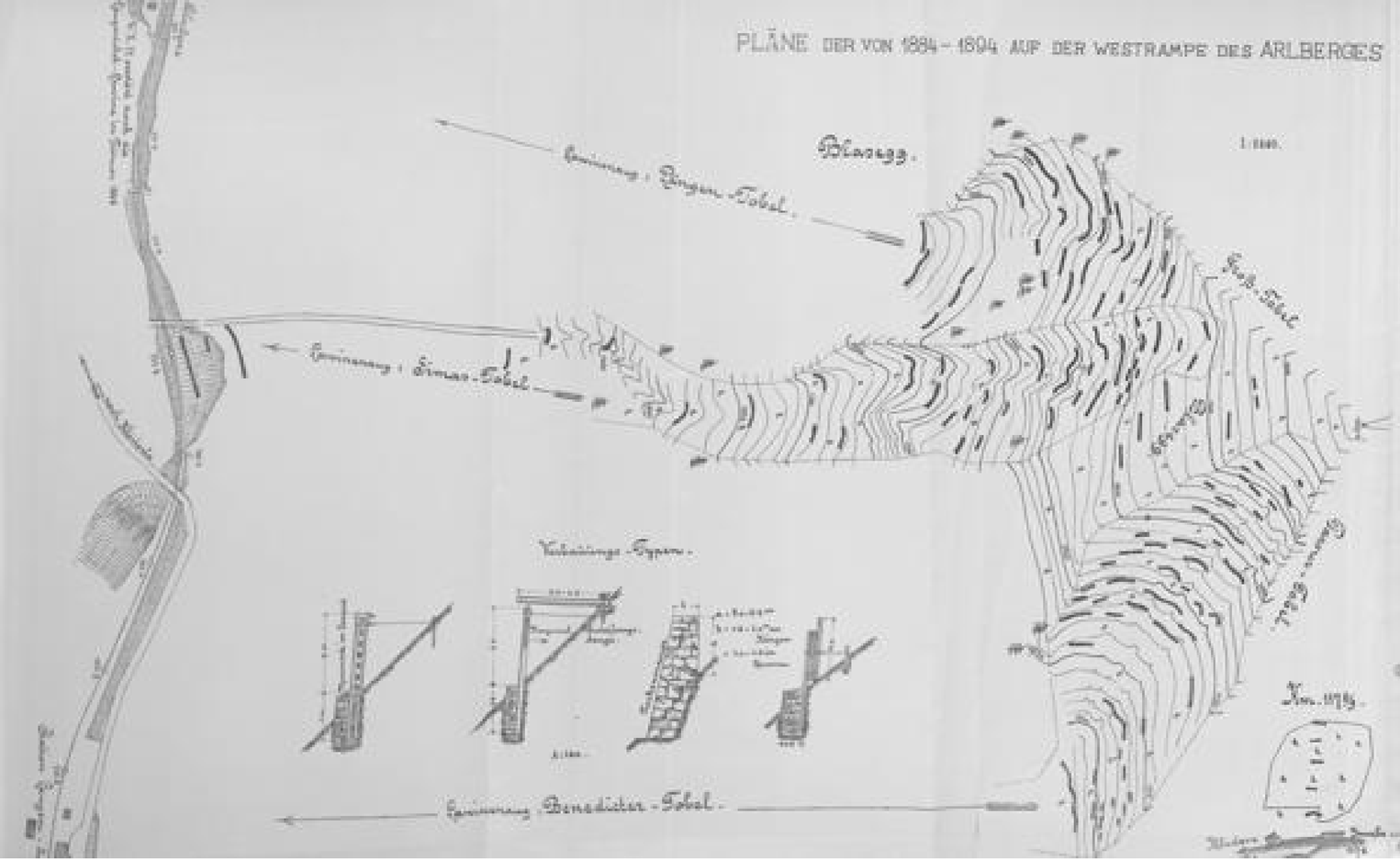


1:100.

19 Schwellen, 114 Hackennägel, 20 Keilplatten Type A, 18 Keilplatten Type B, 2 Laschenpaare, 8 Laschenschrauben.

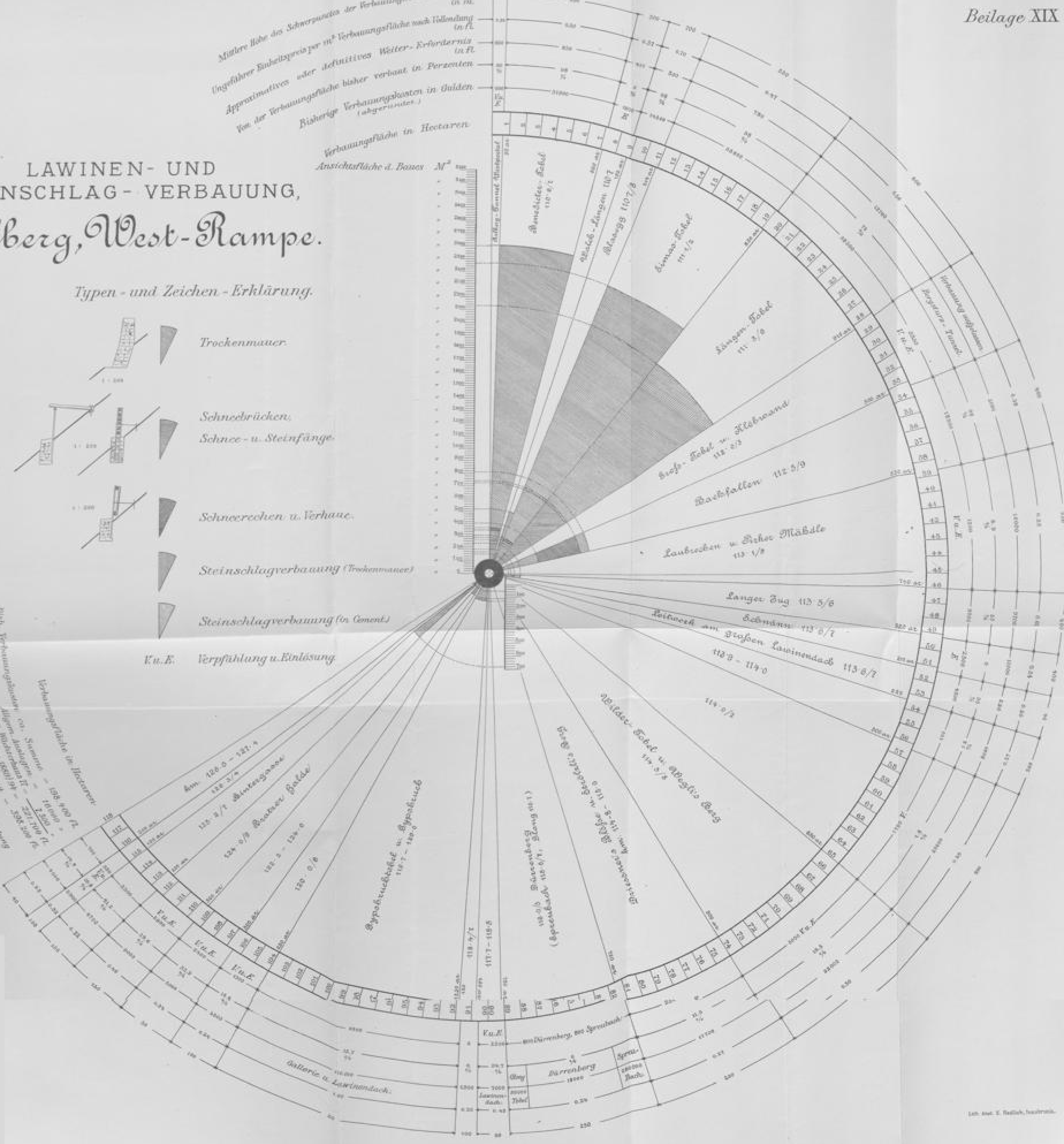
PLÄNE DER VON 1884–1894 AUF DER WESTRAMPE DES ARLBERGES ERRICHTETEN LAWINEN- und STEINSCHLAG-VERBAUUNGEN.

Beilage XVII.

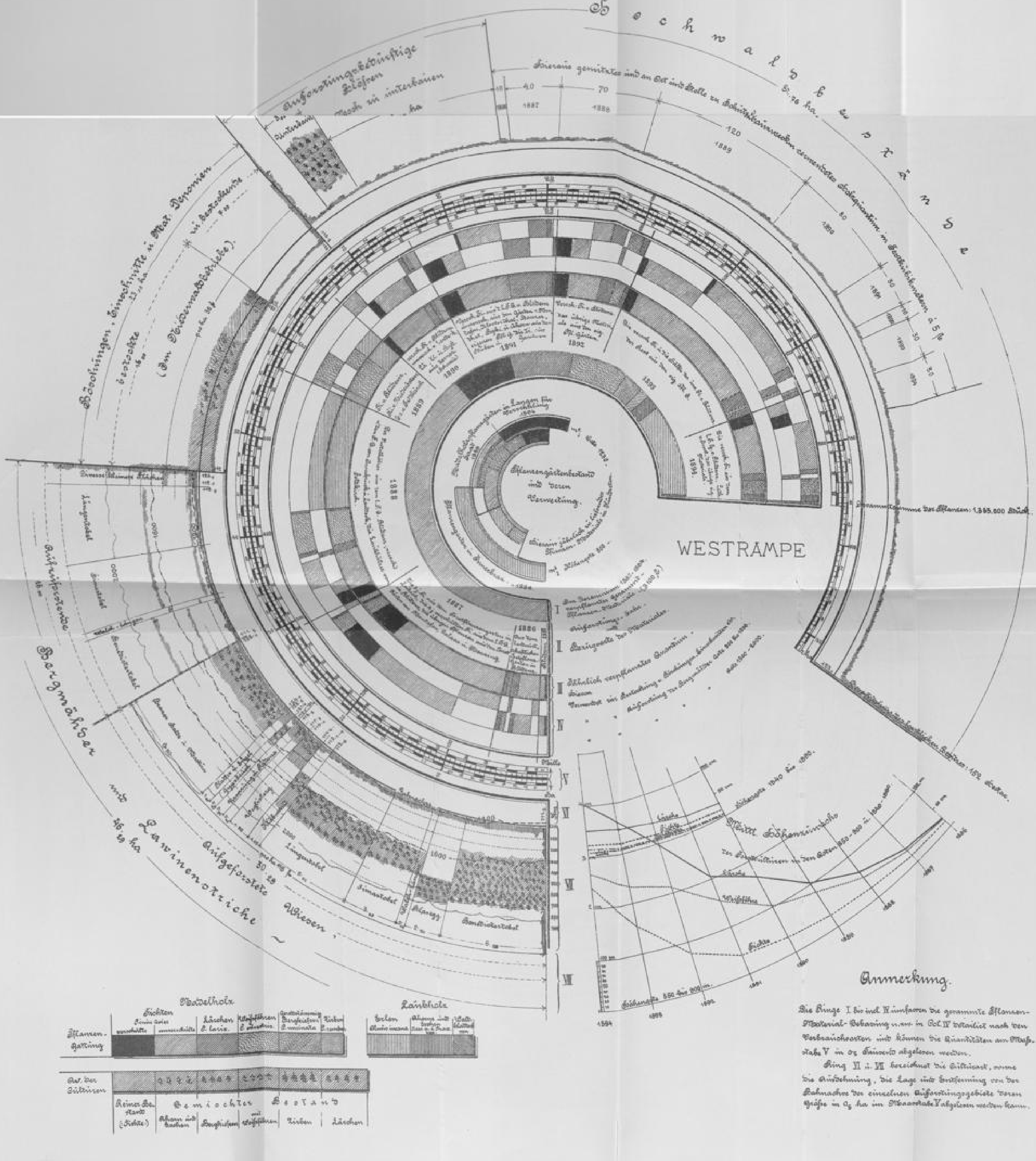


LAWINEN- UND STEINSCHLAG- VERBAUUNG,

Arlberg, West-Rampe.

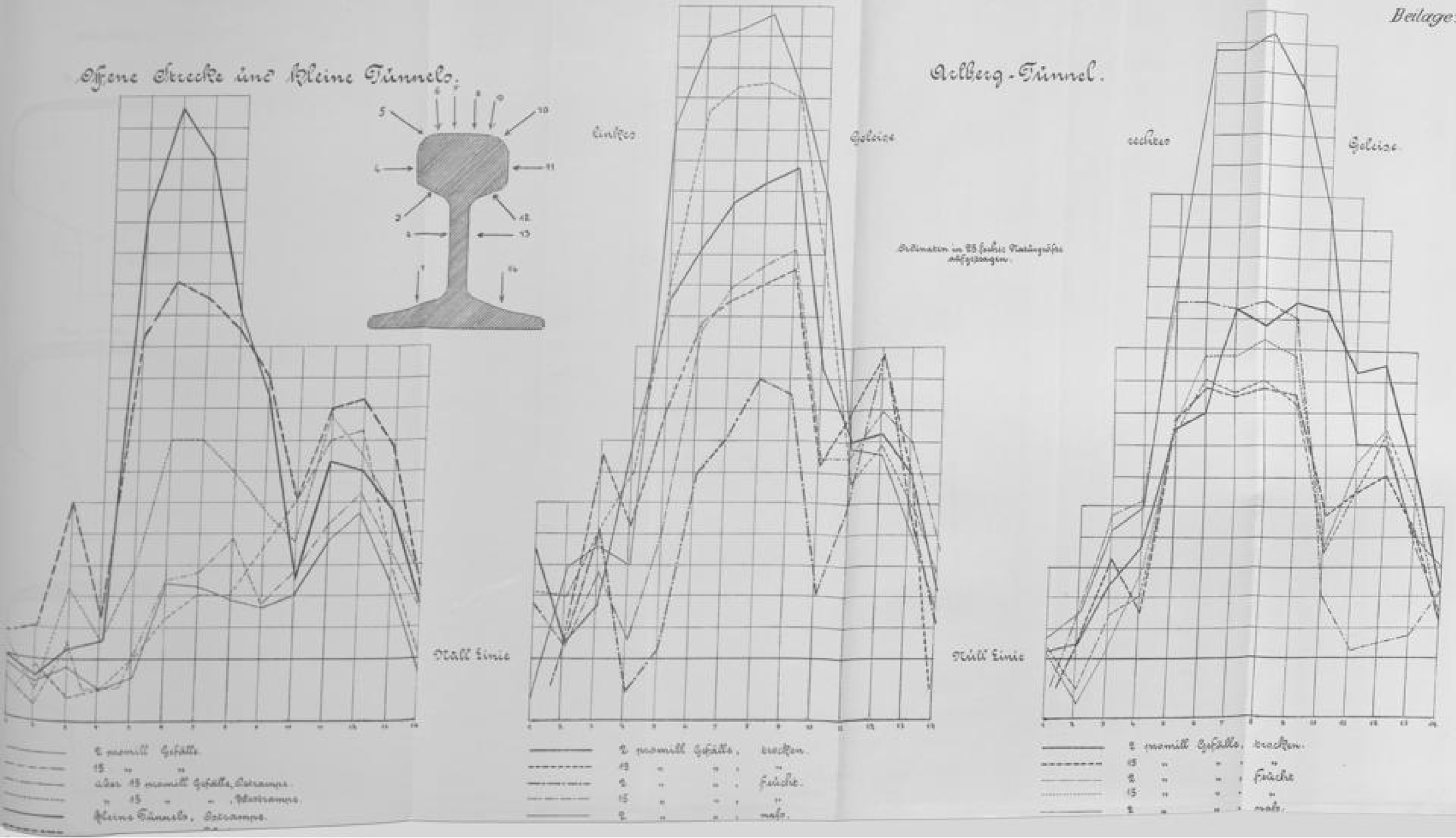


AUFFORSTUNGEN AM ARLBERGE VON 1885 – 1894.



DARSTELLUNG DER SCHIENENABNÜTZUNG IM ARLBERG-TUNNEL.

Beilage: XXI.

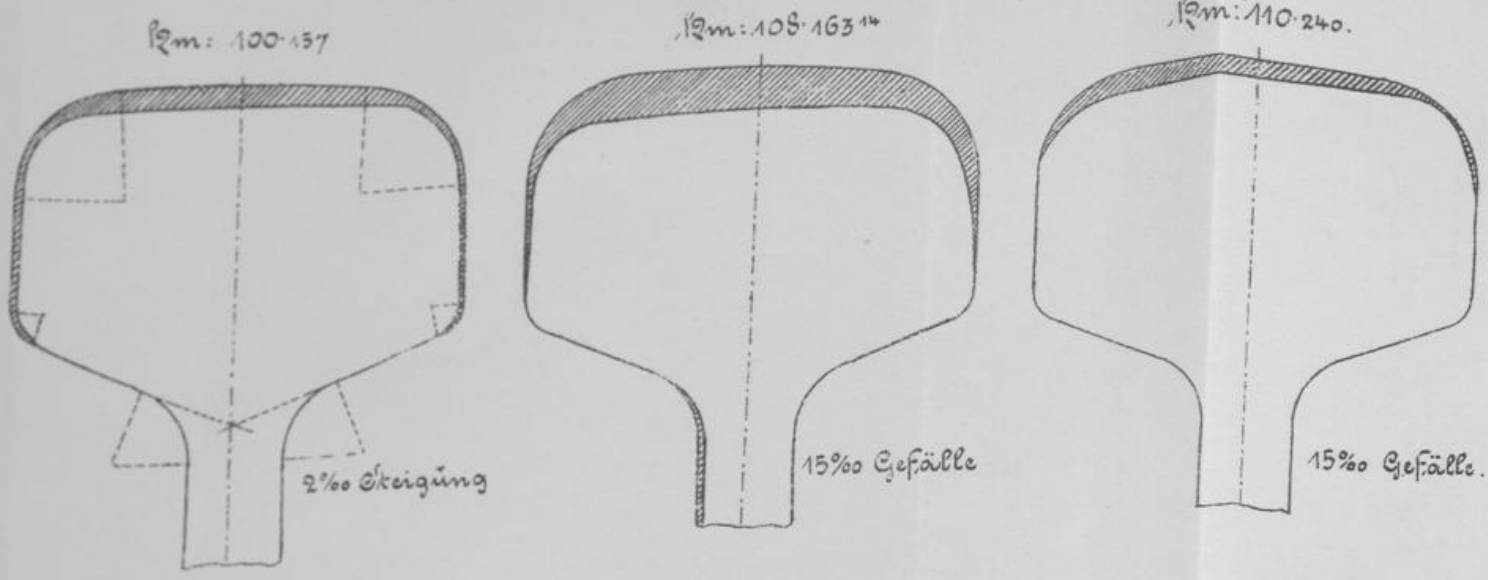


DARSTELLUNG DER SCHIENENABNÜTZUNG IM ARLBERG-TUNNEL

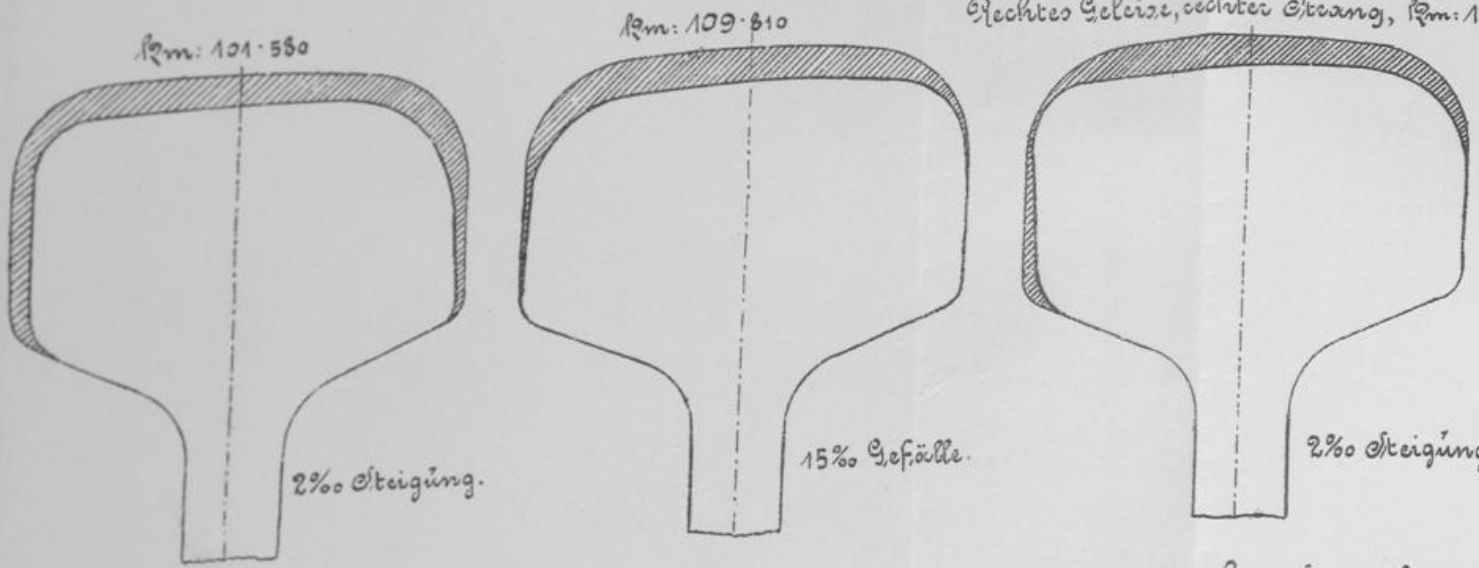
Beilage: XXII.

Aufnahme mit dem Schilling'schen Messapparat im Juni 1890.

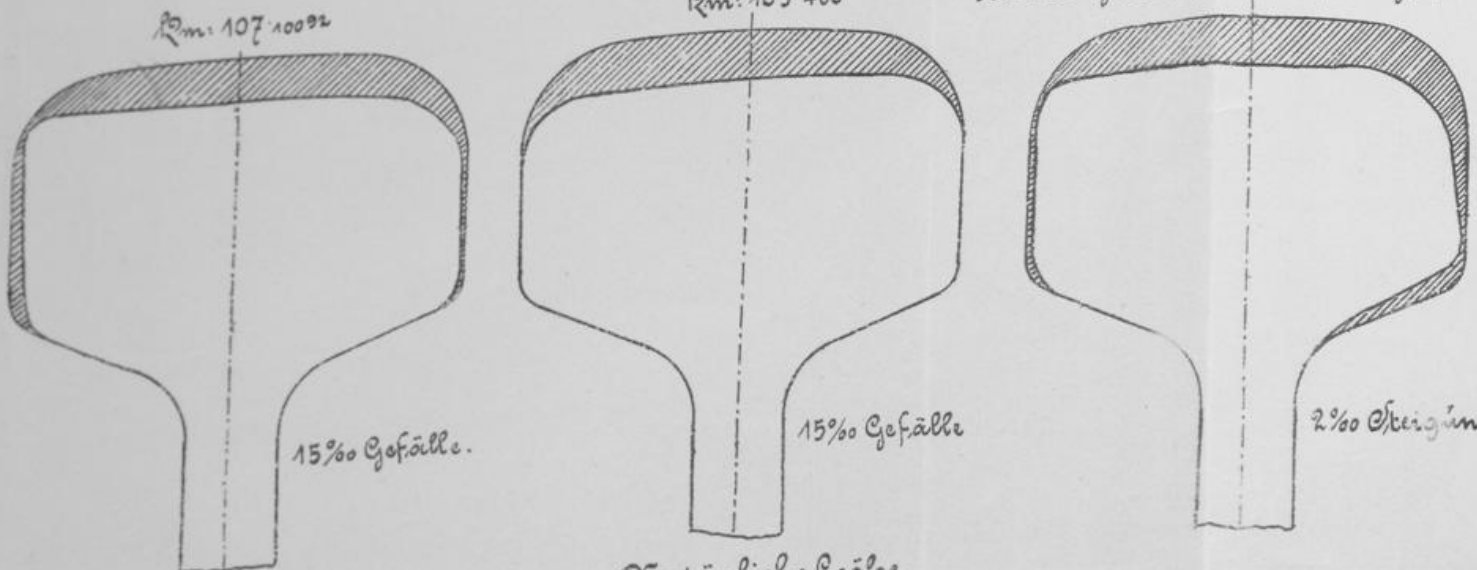
Linkes Geleise, rechter Strang.



Rechtes Geleise, rechter Strang, Rm: 100·800



Rechtes Geleise, rechter Strang, Rm: 102·850

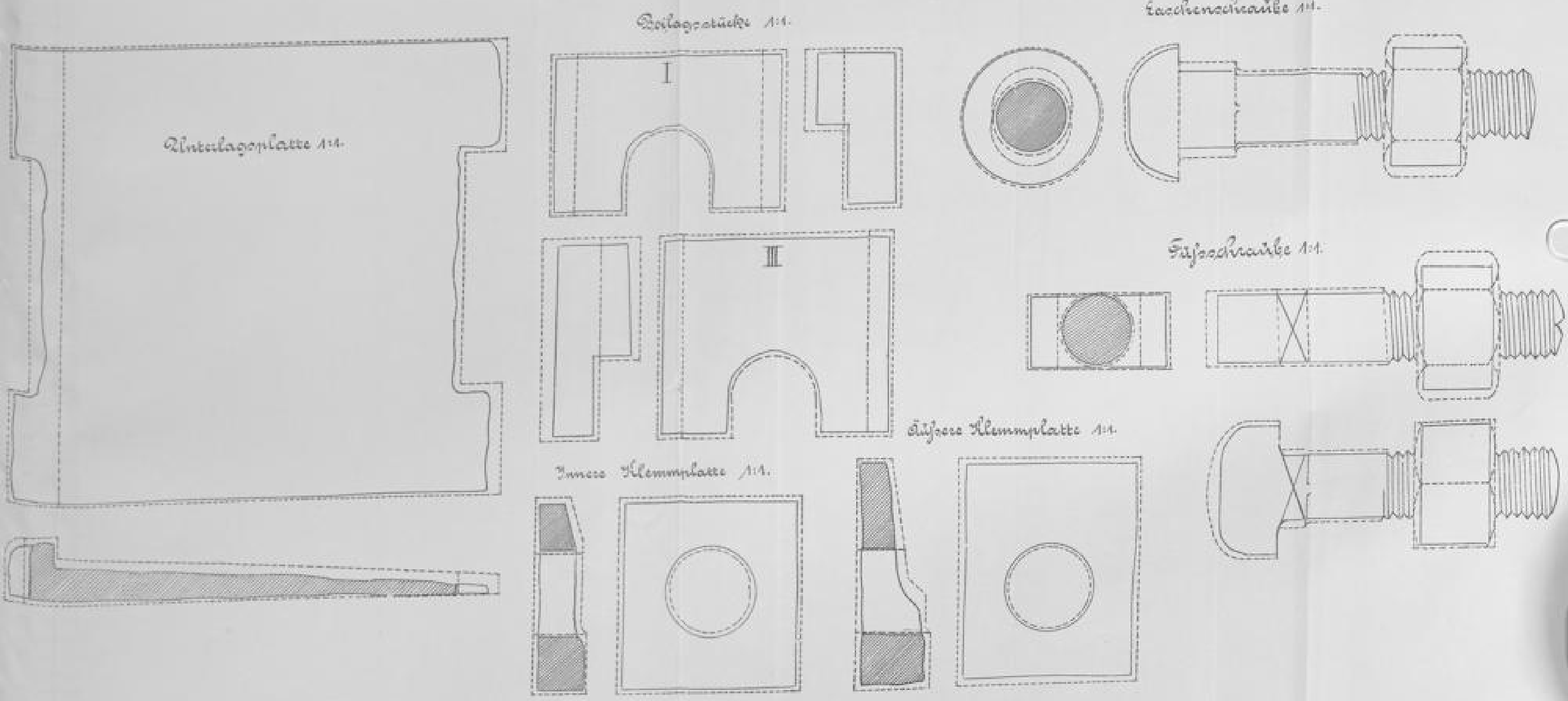


Natürliche Größe.

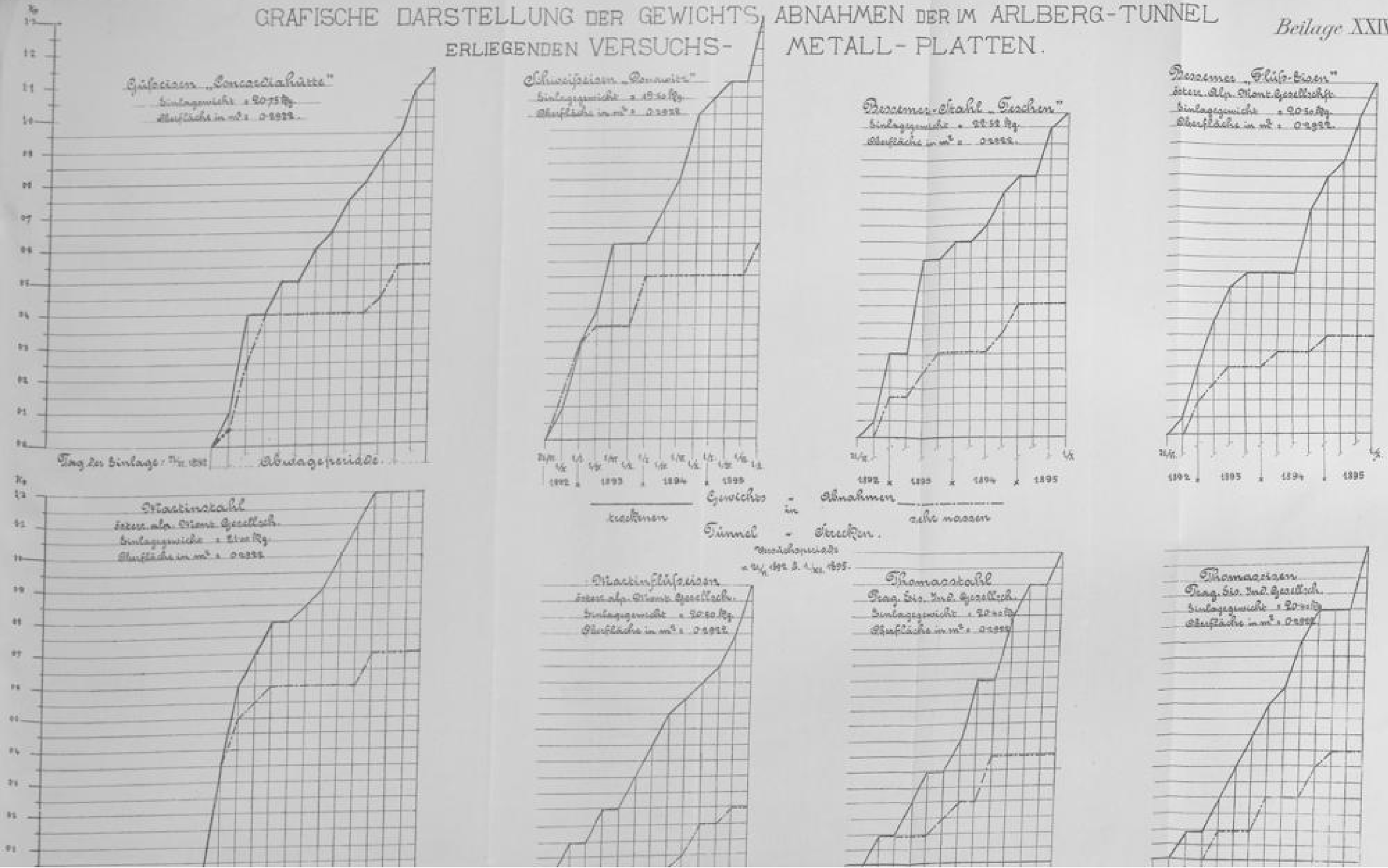
Beilage: XXIII.

DARSTELLUNG DER ABNÜTZUNG DES OBERBAU-KLEINMATERIALES IM ARLBERG-TUNNEL.

Eisener-Oberb. System Heindl.
Versuchsperiode v. 1892 - incl. 1895.

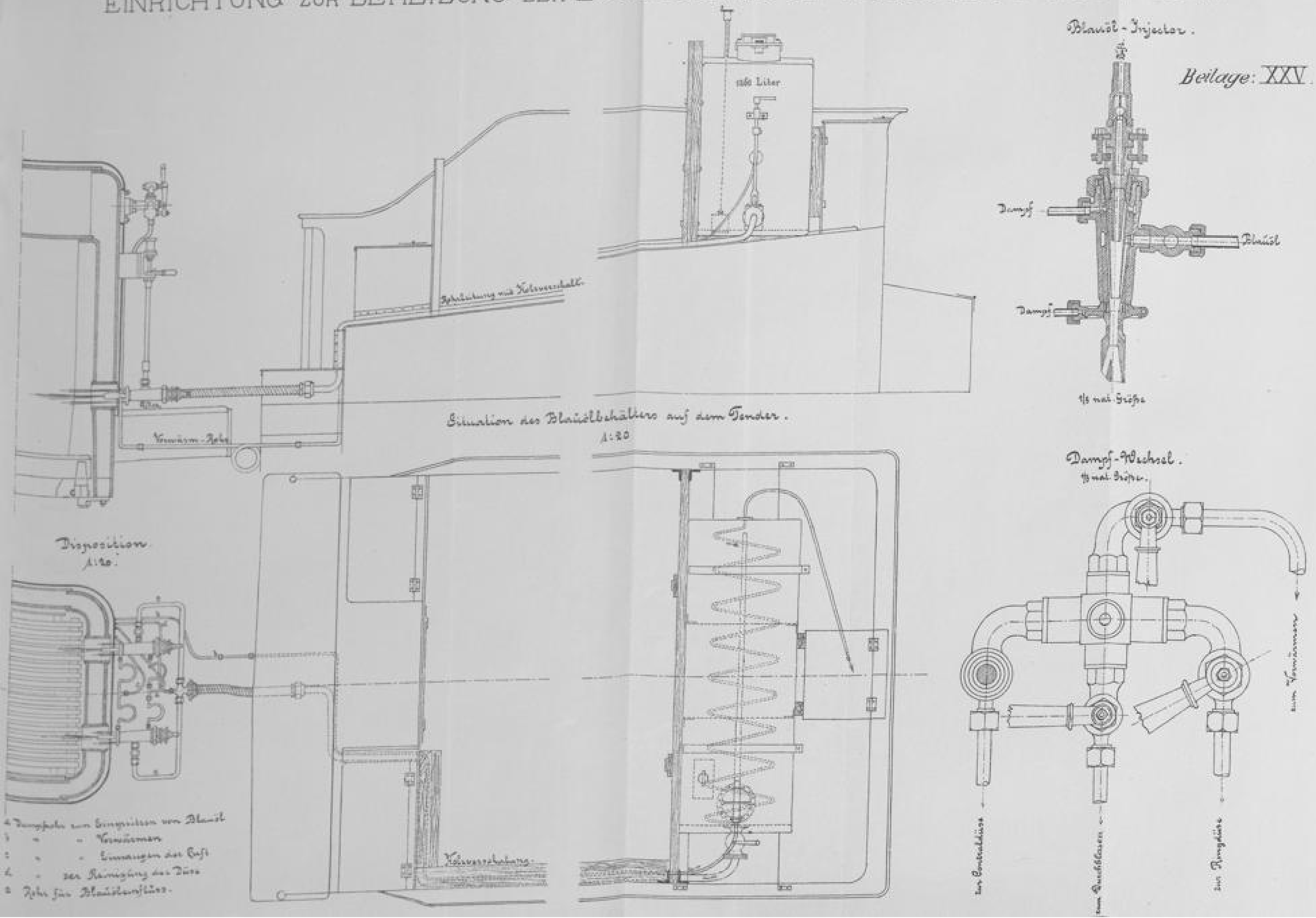


GRAFISCHE DARSTELLUNG DER GEWICHTS-ABNAHMEN DER IM ARLBERG-TUNNEL ERLIEGENDEN VERSUCHS-METALL-PLATTEN.



EINRICHTUNG ZUR BEHEIZUNG DER LOCOMOTIVEN MIT PETROLEUM. SYSTEM HOLDEN:

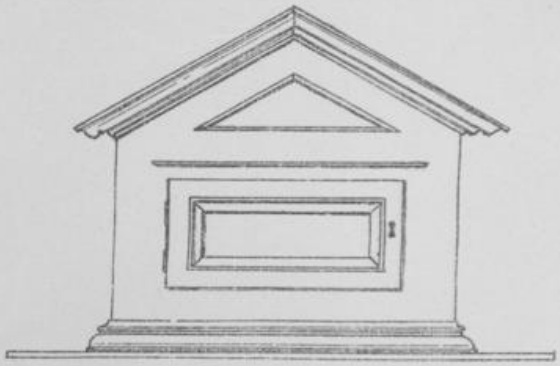
Beilage: XXV.



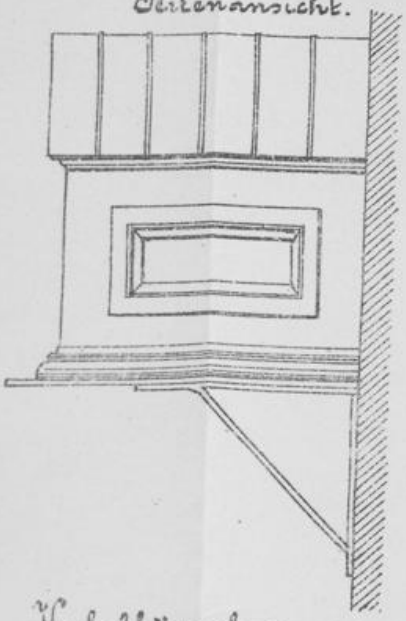
TELEFON- UND TELEGRAFEN-EINRICHTUNGEN IM ARLBERGTUNNEL.

Beilage XXVI

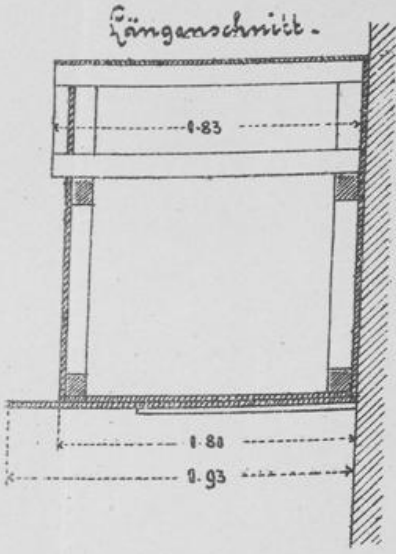
Vorderansicht.



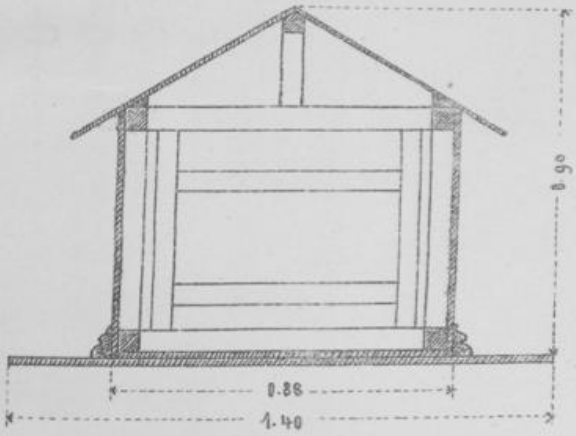
Seitenansicht.



Längenschnitt.



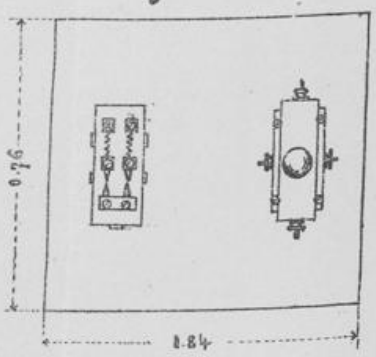
Querschnitt.



Kabelhäuschen
in
St. Anton und Langen.

Maßstab 1:20.

Grundriss.



Bleirohr-Kabel

mit Faser-Isolation in Asphalt getränkt für Telephonzwecke.

12 m/m

Bleirohr-Kabel

mit Guttapercha-Adern für Telegraphenzwecke.

13 m/m

Glockensignal-Kabel u. Distanzsignal-Kabel

mit Guttapercha isolirt, geschlossene Eisenarmatur mit getränktem Hanfgarn bewickelt.

20 m/m

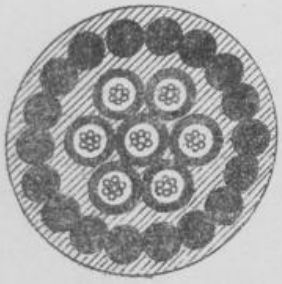
20 m/m

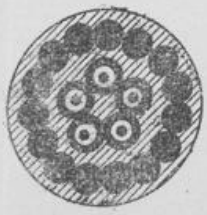
Telegraphen-Kabel

mit vulkanisirter Kautschuk-Isolirung und Kupferblecharmatur.

20 m/m

mit Guttapercha-Adern und verzinkter Stahldrahtarmatur.

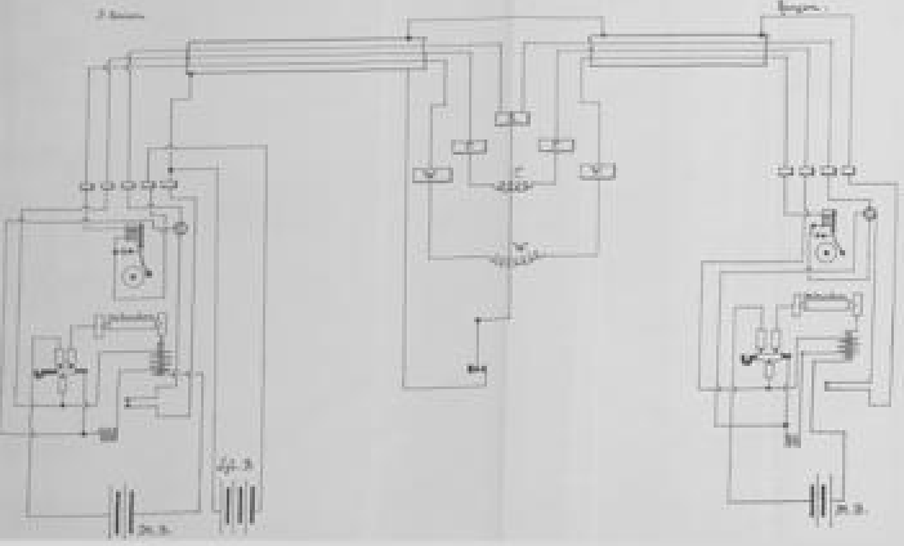




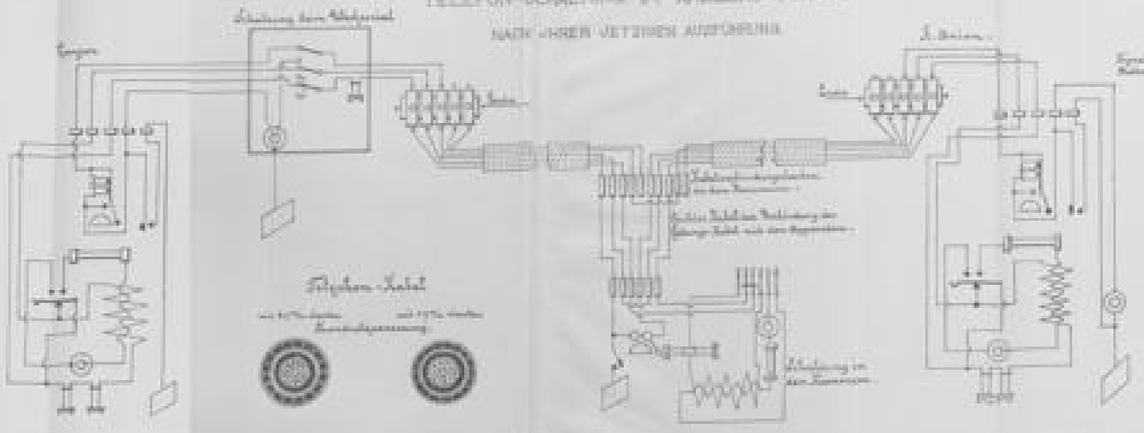
25 m/m.

TELEFON- UND TELEGRAFEN-EINRICHTUNGEN IM ARLBERG-TUNNEL

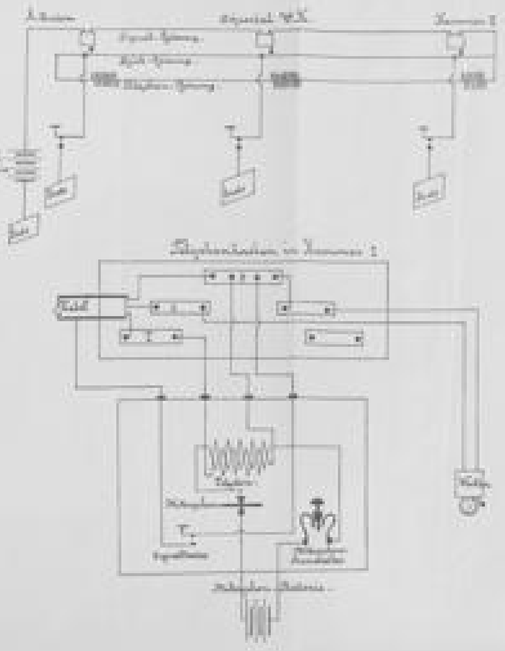
TELEFON-SCHALTUNG ZWISCHEN PANTON-LAMPEN IM JAHRE 1888



TELEFON-SCHALTUNG IM ARLBERG-TUNNEL NACH IHREN JETZIGEN AUSführung

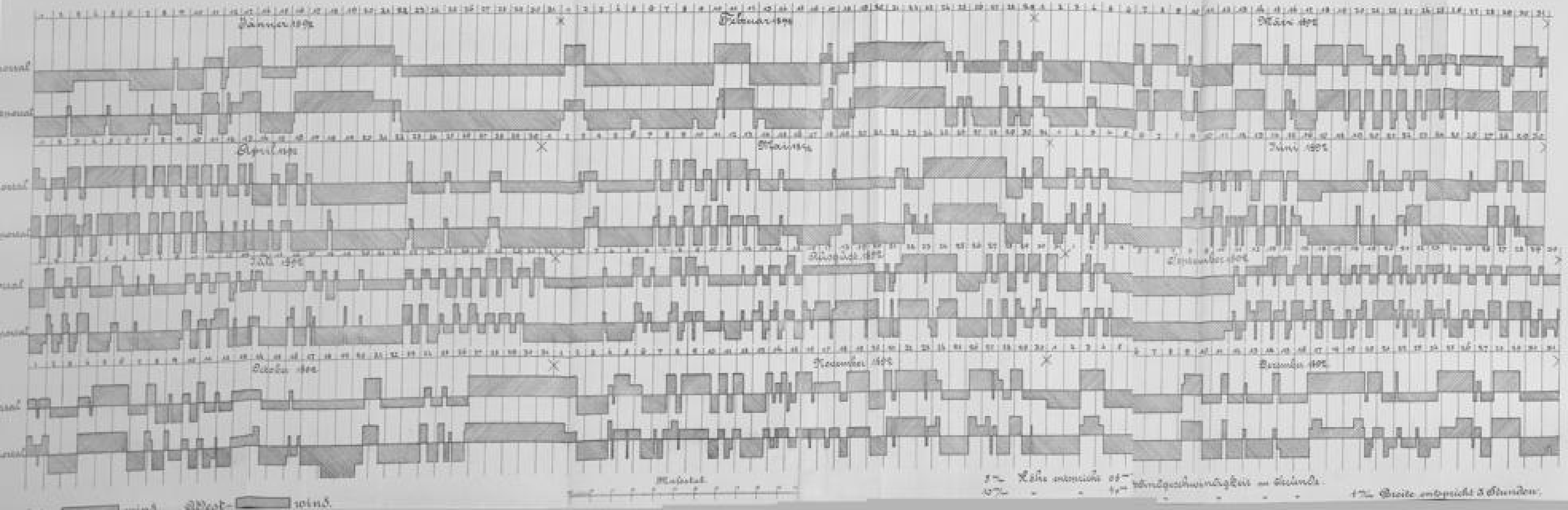


TELEFON-SCHALTUNG „PANTON-KAMMER I"



GRAFISCHE DARSTELLUNG ÜBER WINDSTRÖMUNGEN IM ARLBERG-TUNNEL VOM JAHRE 1892.

Beilage XXVII



Jänner
Feber
März
April
Mai
Juni
Juli
August
September
Oktober
November
Dezember

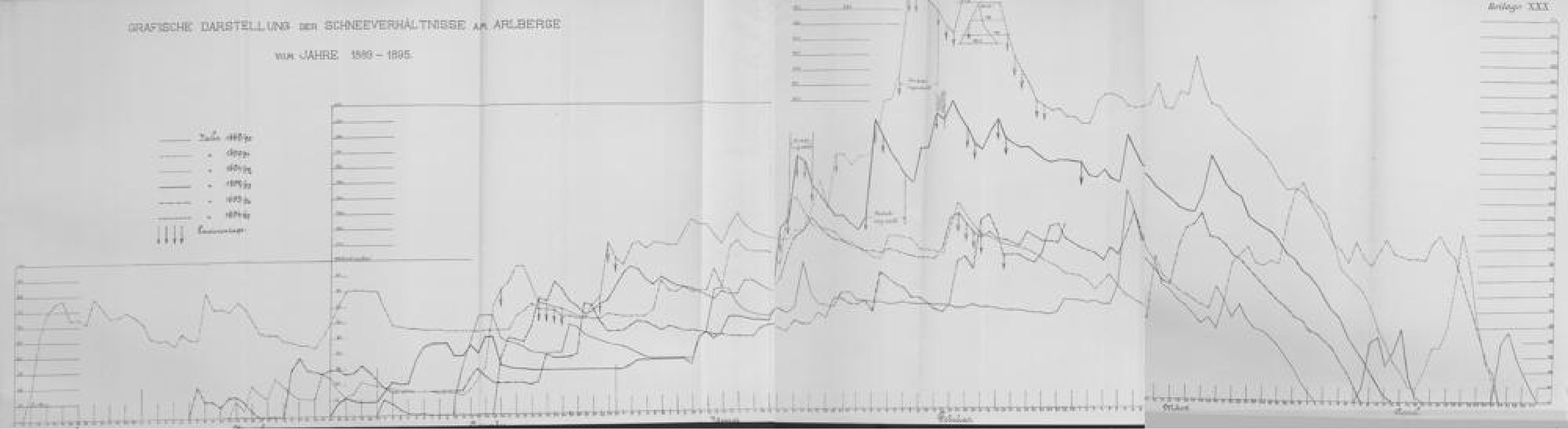
NIEDERSCHLAGS- MENGEN in mm.
FÜR DIE JAHRE 1884 bis 1894.

Langen, Arlberg.

Lith. Anst. v. K. Redlich, Innsbruck.

GRAFISCHE DARSTELLUNG DER SCHNEEVERHÄLTNISSE AM ARLBERGE

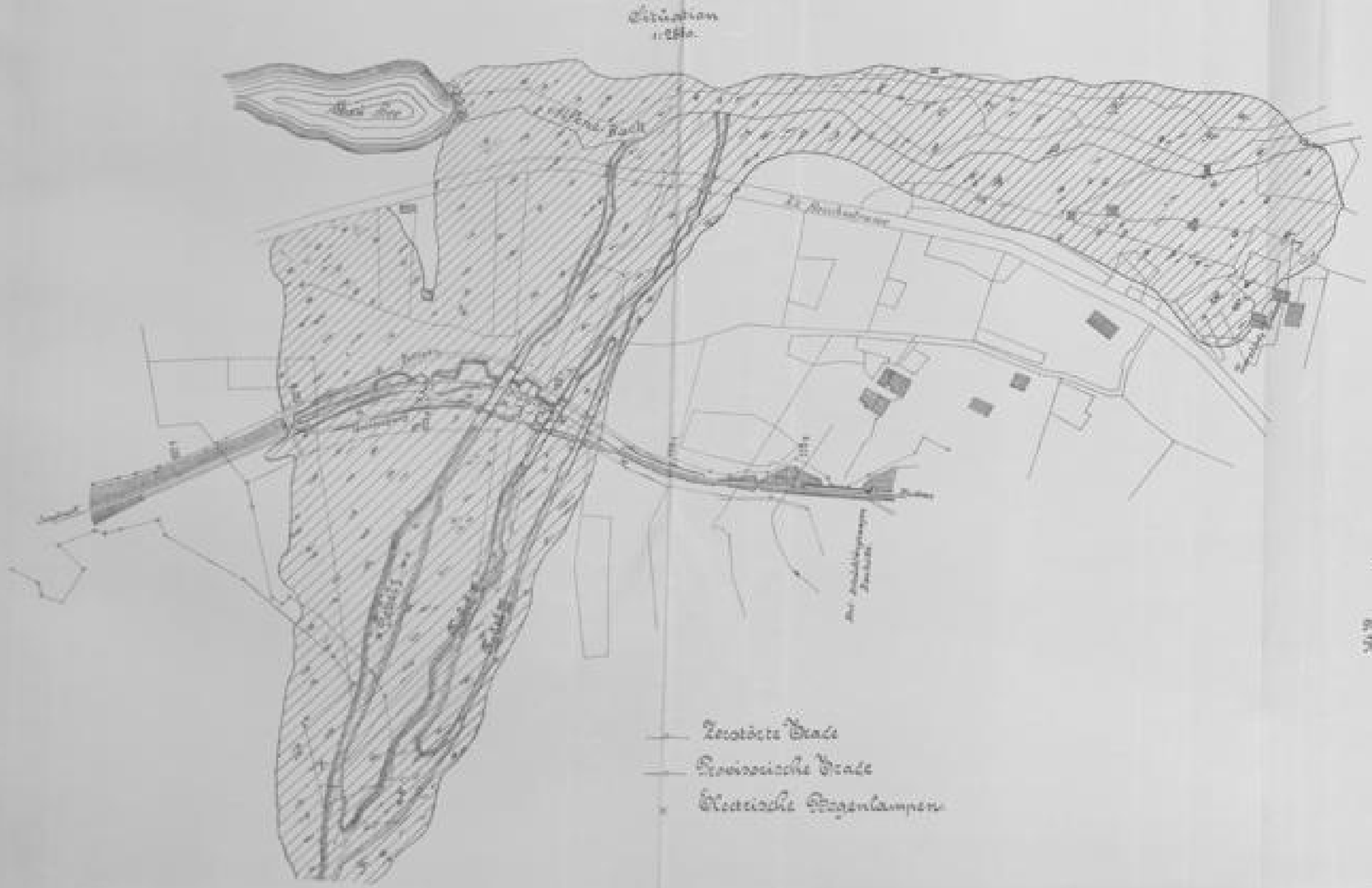
VOM JAHRE 1869 – 1895



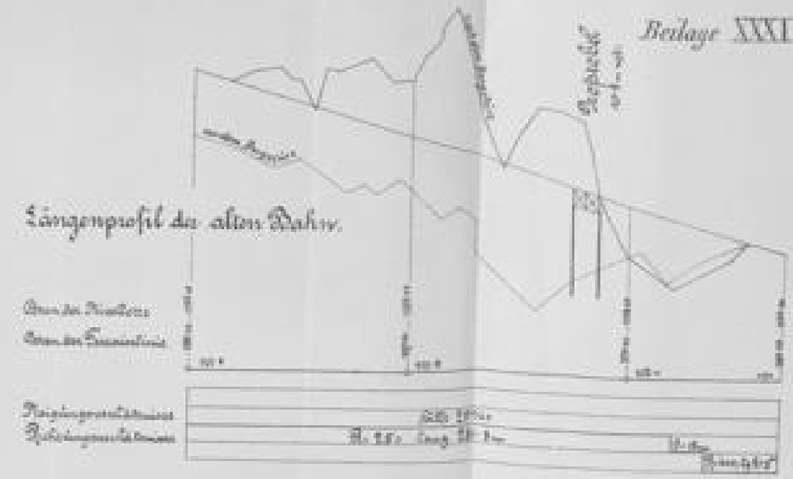
Beilage XXX

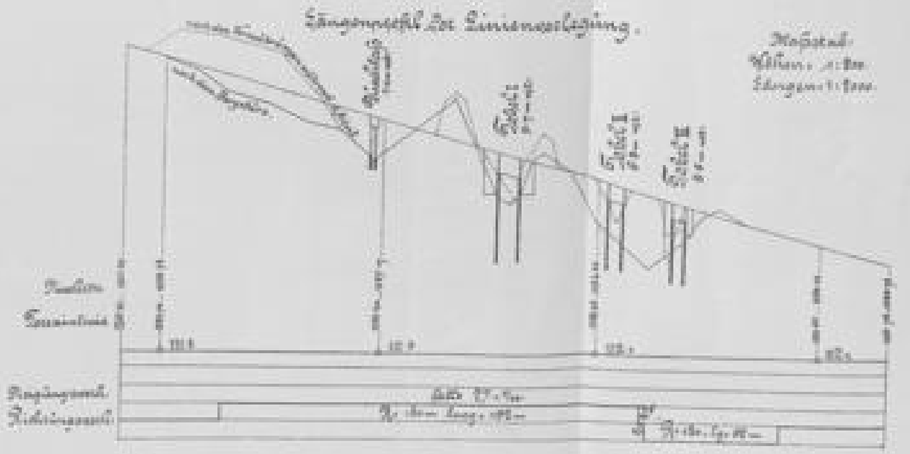
BERGSTURZ AM GROSS-TOBEL BEI LANGEN.

ZERSTÖRUNG DER BAHNSTRECKE VON Km 111·8 – 112·1 DURCH DEN BERGSTURZ AM 9. JULI 1898.

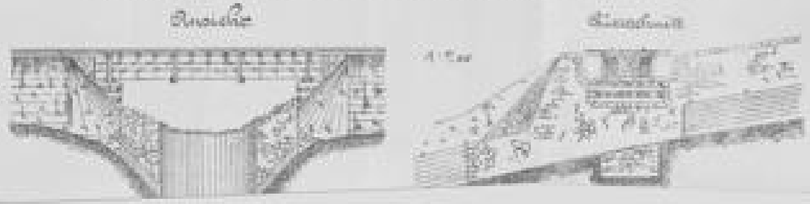


Beilage XXXI





Type für die provisorische Ueberbrückung der Tobelschlucht.



LAWINEN AM ARLBERGE.

Beilage: XXXII.

Verkehrsstörung in der Strecke: Langen-Bratz in der Zeit vom 23. Jänner bis incl. 16. Februar 1893. Am 11/2 %.

Situation.

1:2880.

Verstörung der 10metrigen eisernen Spreubachbrücke durch die Lawinengänge am 9/2. 1888, 6/2. 1892 und 2/2. 1893. –

Situation

1:2880

Lawine vom Jahre 1888

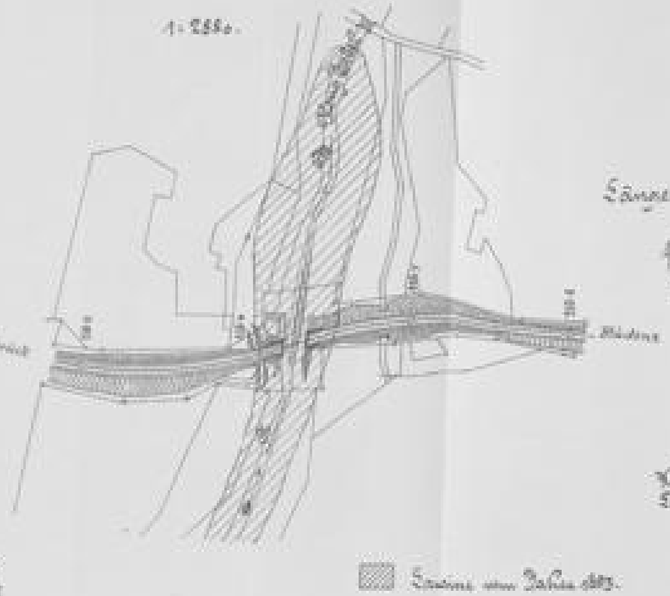
" " " 1892

" " " 1893

Verstörung der 16metrigen eisernen Brücke über den Glongtobel durch den Lawinengang am 2. Februar 1893.

Situation

1:2880.



Lawine vom Jahre 1893.

Längenprofil A-B.

Höhen 1:288

Längen 1:2880

Schnitt A-B.

Schnitt C-D.

Provisorische Überbrückung.

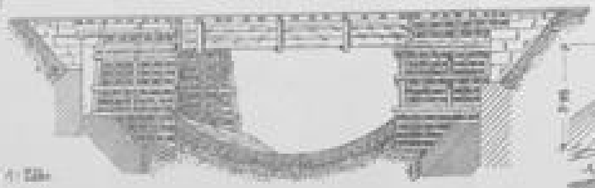
Ansicht.

1:200

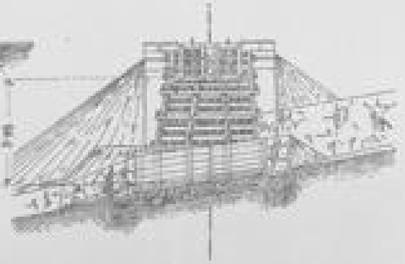
Provisorische Brücke.

Längenprofil A-B.

Ansicht



Querschnitt.



1:200.