

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 59/60 (1912)
Heft: 15

Artikel: Ueber die Abrostungserscheinungen am eisernen Oberbau im Simplontunnel
Autor: Dänzer-Ischer, Alb.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-29969>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

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

INHALT: Ueber die Abrostungserscheinungen am eisernen Oberbau im Simplontunnel. — Wohnhaus Pochon in Bern. — Die Linie Münster-(Grenchen)-Lengnau der Berner Alpen-Bahn. — Die Schweizerische Ostalpenbahn. — Miscellanea: Am schiefen Turm zu Pisa. Elektrische Hochbahn in Hamburg. Ueber Gewinnung und Verwertung von Naturgas in den Vereinigten Staaten von Amerika. Geräte aus geschmolzener Tonerde. Regulierung der Wasserstände des Bodensees. Die Gasturbine von Holzwarth. Eidg. Technische Hochschule. Hauenstein-Basistunnel. Schweizer. Industrie-, Handels-

und Landwirtschafts-Departement. Internationale Rheinregulierung. Schweizer. Bundesbahnen. Städtische Turnhalle in St. Gallen. Erweiterung des St. Galler Gaswerks im Rietle. — Konkurrenzen: Collèges classique et scientifique Lausanne. Gemeindehaus Locle. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Technischer Verein Winterthur. Ingenieur- und Architekten-Verein St. Gallen. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. G. e. P.: Stellenvermittlung. Tafeln 48 bis 51: Wohnhaus Pochon in Bern.

Band 59.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und unter genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 15.

Ueber die Abrostungserscheinungen am eisernen Oberbau im Simplontunnel.

Von Alb. Dänser-Ischer, Ingenieur der S. B. B., Bern.

Einleitendes. Während des Frühjahrs 1909 tauchten in der Bundesbahnverwaltung Gerüchte von abnorm grossen Schienenkopfabnütungen im Simplontunnel auf. Messungen, die vom Simplonbureau vorgenommen worden waren, hatten stellenweise mittlere jährliche Kopfabnütungen von 2,5 bis 3 mm ergeben, was, in Anbetracht des relativ bescheidenen Simplonverkehrs, direkt alarmierend wirken musste. Man hatte geglaubt, dass infolge der Einführung des elektrischen Betriebes und des dadurch bedingten Wegfalles des Dampflokomotivrauches mit seinen 'schweflige Säure-Gasen, auch eine erheblich grössere Lebensdauer des eisernen Oberbaues gewährleistet werde als in den übrigen, mit Dampflokomotiven befahrenen langen Tunneln. In vorläufigen orientierenden Untersuchungen war vom Oberingenieur des Simplons festgestellt worden, dass die Schienenkopf-Abnütungen vor allem aus an den nassen Stellen im Tunnel sehr stark seien, dass ferner im allgemeinen die Abnützung in der südlichen Tunnelhälfte grösser sei als in der nördlichen. Es wurden ferner Beobachtungen von Korrosionen am Schienenfuss und an den Unterlagsplatten mitgeteilt, wobei in einzelnen Fällen ein starkes Ineinanderarbeiten von Schiene und Unterlagsplatte, eine eigentliche Ueberschneidung, zu konstatieren war.

Diese Resultate waren den beim Bau des Tunnels gehegten Erwartungen so wenig entsprechend, dass es nicht verwundern darf, wenn sofort nach ihrem Bekanntwerden Stimmen laut wurden, welche die abnorm starken Abnütungen dem elektrischen Bahnbetrieb zu belasten suchten, als einem Faktor, der neu zu den bisher im Bahnbetrieb wirksamen hinzutrat. Es waren ja aus Strassenbahnbetrieben genug Fälle bekannt, wo durch elektrolytische Wirkung des Bahnstroms Korrosionen an in der Erde liegenden Metallen verursacht werden. Ferner kannte man auch die starken Schienenkopfabnütungen, wie sie z. B. *Aspinall* in seiner Präsidialrede vor der Institution of Mechanical Engineers¹⁾ erwähnt hat. Man fragte dabei zunächst nicht nach dem elektrischen Stromsystem, mit dem jene Bahnen betrieben wurden, und man dachte im letztern Falle nicht daran, dass die Ursache des raschen Schienenverschleisses eine rein mechanische war, nämlich die grosse Masse der auf den Achsen gelagerten, teilweise unabgederteten Motoren, die eine tiefe Schwerpunktlage des Fahrzeuges bedingen und somit einen harten Gang im Geleise, während die Simplonlokomotiven hochgelagerte Motoren, also hohen Schwerpunkt besitzen.

Die Frage der Schienenabnützung im Simplon erhielt dadurch bis zu einem gewissen Grade prinzipielle Bedeutung für die Wertigkeit des elektrischen Bahnbetriebes. Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurden zum Zweck der Klarstellung dieser Fragen vom Bureau für elektrischen Betrieb bei der Generaldirektion der S. B. B. unternommen und vom Verfasser, unter Mithilfe anderer Dienstzweige, durchgeführt. Wir suchten durch möglichst eingehende Beobachtungen festzustellen, wie weit die einzelnen physikalischen und chemischen Faktoren die Abnütungs- und Abrostungsvorgänge beeinflussen. Dass es sich dabei nicht um wissenschaftlich ganz genaue quantitative Untersuchungen handeln kann, ist ohne weiteres begreiflich, wenn man bedenkt, dass der Bahnbetrieb dabei

keine Störungen erleiden durfte, dass ferner keine reinen Versuchsbedingungen vorlagen und dass daher viele Störungsglieder die Beobachtungen beeinflusst haben; immerhin ist die quantitative Seite nach Möglichkeit berücksichtigt worden.

Möglichkeit einer elektrolytischen Wirkung des Bahn-Wechselstroms. Zunächst ist einmal zu fragen, ob bei einem elektrischen Wechselstrom, wie ihn die Simplonbahn zum Betrieb benutzt, elektrolytische Erscheinungen auftreten können. Auf den ersten Blick scheint dies ausgeschlossen, da der Effekt der positiven Stromwellenhälfte elektrolytisch kompensiert wird durch den Effekt der negativen, vorausgesetzt, dass die beiden Wellenhälften gleiche Strommengen aufweisen und vorausgesetzt, dass keine elektrischen Ventilwirkungen auftreten. Man kann sich aber sehr wohl vorstellen, dass, wenn die Periodenzahl allmählich verringert wird und somit die zeitliche Dauer eines Wechsels wächst, bestimmte sichtbare elektrolytische Wirkungen auftreten können; es müssten sich dann an ein und demselben Pol die elektrolytischen Produkte sowohl der Anode als auch der Kathode vorfinden. In der Tat sind solche Erscheinungen schon 1837 von *De la Rive*¹⁾ beobachtet worden.

Es bieten daher für uns die Untersuchungen von *J. L. R. Hayden*²⁾ über Wechselstromelektrolyse ganz besonderes Interesse, da sie im Hinblick auf die bei Einführung der Wechselstromtraktion zu erwartenden elektrolytischen Effekte unternommen wurden, auf Anregung und unter Aufsicht von Professor Ch. P. Steinmetz in Schenectady N. Y. Zu dem Zweck beobachtete Hayden den chemischen und elektrolytischen Effekt von Wechselströmen verschiedener Periodenzahl und Stromdichte bei verschiedenen Elektrolyten. Als Elektroden verwendete er dünne Blei- und Eisenplättchen von etwa $3 \times 6,5$ cm Grösse. Er setzte diese je nach Umständen 60 bis 390 Stunden einmal dem rein chemischen Angriff der Lösungen und ihrer Mischungen, sowie von verschiedenen Bodenarten und ferner dem Angriff von elektrischen Wechselströmen von 25 und 60 Perioden aus. Durch Wägung der Plättchen vor und nach der chemischen und elektrolytischen Einwirkung auf einer auf 0,5 Milligramm genauen Wage wurden die aufgelösten Metallmengen bestimmt. Es konnte so festgestellt werden, wie stark die Korrosionswirkung des chemisch agierenden Elektrolyts und wie stark die zusätzliche Wirkung des Wechselstroms waren. In einer speziellen Kolonne der Hayden'schen Tabellen ist der Prozentsatz der elektrolytischen Wirkung des Wechselstroms im Vergleich mit der Wirkung eines Gleichstroms gleicher Stärke angegeben. Tabelle I (S. 198) zeigt die Resultate bei Verwendung von Eisenelektroden in Metallsalzlösungen; es ergibt sich daraus, dass die elektrolytische Wirkung des Wechselstromes 0,002 bis 0,99% der Gleichstromwirkung beträgt. Die Versuche mit verschiedenen Bodenarten ergaben mit Eisenelektroden die in Tabelle II (S. 199) wiedergegebenen Resultate. Interessant ist endlich Tabelle III, aus welcher der Einfluss hervorgeht, den die Temperatur auf die rein chemische und die elektrolytische Wirkung ausübt, im Sinne einer erheblichen Verstärkung mit wachsender Temperatur. Hayden kommt zu folgenden Schlüssen:

1. Die elektrolytische Wirkung eines Wechselstroms in bezug auf die zersetzten Mengen kann nicht ohne weiteres berechnet werden, wie die elektrolytische Wirkung

¹⁾ *De la Rive*, Recherches sur les propriétés des courants magnéto-électriques. „Comptes rendus“ 1837, S. 835. Ebenso *Hospitalier*, „Energie électrique“ I, S. 541. Paris, Masson, 1890.

²⁾ *J. L. R. Hayden*, Alternating current electrolysis. „Proc. A. J. E. E.“ Vol. XXVI, No. 2, Febr. 1907, S. 103—131.

¹⁾ „Proc. Inst. of Mechanical Engineers“ 1909. March-May. § 435 bis 440.

eines Gleichstroms. Im allgemeinen übersteigt der elektrolytische Effekt eines Wechselstromes nicht $\frac{1}{2}$ % des Effektes, den ein Gleichstrom gleicher Intensität ausüben würde. Da die elektrolytische Wirkung eines Wechselstromes sich als eine Differenzwirkung zweier grosser und fast gleicher Strommengen darstellt (positive und negative Hälfte der Stromwelle), so hat eine schwache Veränderung in einer der beiden Halbwellen eine starke Aenderung des wechselstrom-elektrolytischen Effektes zur Folge.

2. Der elektrolytische Effekt von Wechselströmen ändert sich je nach dem chemischen Charakter der Elektrolyte. Nitrate vergrössern die elektrolytische Korrosion; Karbonate und alkalische Bodenarten vermindern den korrodierenden Angriff.

3. Im allgemeinen wird Blei stärker angegriffen als Eisen.

4. Der wechselstromelektrolytische Effekt, wie er sich an im Boden verlegten Bleikabeln geltend machen wird, ist nicht in merklichem Grade direkt abhängig von der Stromdichte; indirekt ist er es dadurch, dass infolge der Temperaturerhöhung bei grösserer Stromdichte die Korrosion stärker wird.

5. Im allgemeinen wächst die elektrolytische Korrosion durch Wechselströme mit sinkender Periodenzahl; immerhin lässt sich dies bis jetzt nicht gesetzmässig darstellen, da die Wirkung sehr von der chemischen Zusammensetzung des Elektrolyten abhängt.

6. Die chemische Korrosion durch die Bodenart und die elektrolytische Korrosion durch Wechselströme wird mit steigender Temperatur des Bodens sehr verstärkt.

Wenn nun schon die Arbeiten von Hayden keine quantitativ eindeutig verwertbaren Resultate ergeben haben, sodass man nicht vom Feststellen bestimmter gesetzmässiger Beziehungen sprechen kann, so ist doch für uns die Tatsache höchst beachtenswert, dass bei Wechselstrom-Bahnbetrieben elektrolytische Effekte auftreten können. Dem Vorwurf, dass die elektrische Traktion eine erhebliche Rolle bei den abnorm starken Schienenabnütungen im Simplontunnel spiele, konnte also grundsätzlich eine gewisse Berechtigung nicht abgesprochen werden.

Die Ergebnisse der Hayden'schen Untersuchungen, gemäss denen die wechselstrom-elektrolytischen Wirkungen sehr klein sind, bestimmten uns, unsere Untersuchungen etwas allgemeiner zu halten, als ursprünglich beabsichtigt war, da es sich gezeigt hatte, dass eine Steigerung der Temperatur eine erhebliche Verstärkung der Korrosion zur Folge hat. Wir mussten daher unser Augenmerk nicht nur auf elektrische Grössen, sondern auch auf allgemein physikalische und chemische Faktoren richten, und da Veränderungen nur in zeitlich grösseren Intervallen beobachtbar sind, erklärt es sich, dass die Durchführung der Versuche ungefähr anderthalb Jahre erforderte.

Die Beobachtungen im Simplontunnel.

Wie eingangs erwähnt, treten die Abnütungserscheinungen in erster Linie als Abnütungen des Schienenkopfes auf der Lauffläche, ferner als Rostabblätterungen an den seitlichen und untern Flächen des Schienenkopfes, am Schienensteg, Schienenfuss und an den Unterlagsplatten, sowie als eigentliche Korrosionen an Schienenfuss und Unterlagsplatten, in Ausnahmefällen auch am Schienenkopf auf, letztere z. B. in der Tunnelstation nach der nördlichen Ausweiche hin.

Die Schienenkopfabnütungen wurden nach unsern Angaben vom Simplonbureau (namentlich durch Ing. Fonjallaz) mit einem speziellen Profilographen, der das Bild des Schienenkopfes in natürlicher Grösse auf ein Blatt Papier aufzeichnet, messend verfolgt. Die Profilaufnahmen erfolgten alle 100 m; die erste Beobachtungsserie wurde Ende Juni 1910, die zweite Ende Februar und anfangs März 1911 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1, IV graphisch aufgetragen. Bei diesen Aufnahmen wurde den Stellen stärkster Abnutzung besondere Aufmerksamkeit zugewendet und es ergab sich, dass diese regelmässig mit den Orten grösster

Feuchtigkeit und Nässe übereinstimmten. Aus den hektometrischen Aufnahmen wurden dann kilometrische Mittelwerte gebildet (strichpunktierte Linien im Abnütungsdiagramm der Abbildung 1, IV) und aus diesen die Abnütungen pro Jahr abstrahiert (Abbildung 2). Als Stellen, die sich besonders durch starke Abnutzung auszeichnen, sind diejenigen nach Km. IX (siehe Abbildung 1, IV), ferner bei Km. XI (Querschlag 45 der Südseite, Partie der heissen Quellen), bei Km. XIII + 100 m, nach Km. XV (Querschlag 26) und zwischen Km. XVI und Km. XVI + 500 m (kalte Quellen bis Querschlag 19) zu bezeichnen. Ein typisches Beispiel äusserst starker Kopfabnutzung (bei Querschlag 45) ist in Abbildung 2 links oben dargestellt. Die Mittelwerte der Kopfabnutzung betragen für die Zeit

	vom 1. Januar 1906 bis 30. Juni 1910	bis 28. Febr. 1911
Ganzer Tunnel	3,661 mm	4,11 mm
Nordhälfte des Tunnels	2,678 "	3,097 "
Südhälfte des Tunnels	4,644 "	5,124 "

Daraus ergeben sich die folgenden mittleren jährlichen Abnütungen für die Zeit

	vom 1. Januar 1906 bis 30. Juni 1910	bis 28. Febr. 1911	bis 28. Febr. 1911
Nördl. Tunnelhälfte	0,595 mm	0,600 mm	0,630 mm
Südl. Tunnelhälfte	1,035 "	0,992 "	0,720 "
Ganzer Tunnel	0,814 "	0,796 "	0,674 "

Die Mittelwerte für die Nordseite stimmen, mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Messfehler, recht befriedigend überein, weniger jene der Südseite. Wir werden später versuchen, eine Erklärung für diese Diskrepanz zu geben.

Die Unterlagsplatten. Anlässlich der Abnütungsmessungen wurden auch die Abrostungs- und Korrosionserscheinungen beobachtet. Wir liessen typische Beispiele von Unterlagsplatten auswechseln und geben einige derselben nach photographischen Aufnahmen¹⁾ wieder (S. 198 u. 199). Es lassen sich daran die verschiedenen Arten und

Stadien des Abrostungs- und Korrosionsvorganges trefflich verfolgen und es empfiehlt sich, zu deren Betrachtung eine Lupe zu verwenden, da dadurch eine gute plastische Wirkung erzielt wird. Abbildung 3 zeigt die Platte XII, die beim Querschlag 26 der Südseite entnommen wurde; sie befand sich an einem Punkt, wo das Geleise leicht feucht ist. Es zeigen sich an dieser Platte eigentliche Rost-Abblätterungen. Zwei Schwellen weiter ist das Geleise nass; Abbildung 4 zeigt die dort entnommene

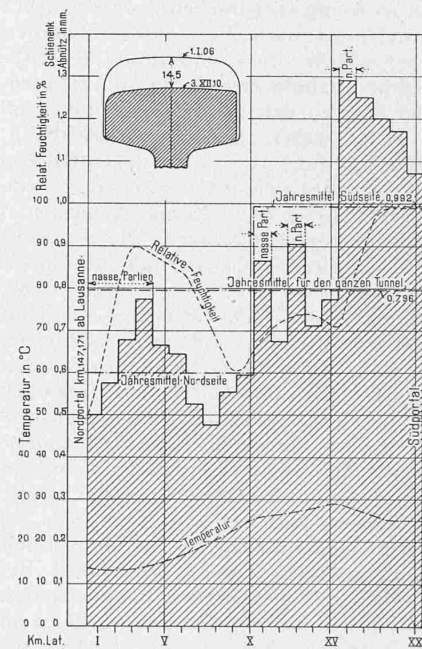


Abb. 2. Kilometrische Mittelwerte der Schienenkopfabnütung im Simplontunnel.

Platte XIV. Im Gegensatz zu der frühern Platte sind an derselben keine Rostschieferungen zu konstatieren, wohl aber Korrosionen mit zum Teil wurmgangähnlichen Ausfressungen und stecknadelkopfgrossen Aushöhlungskalotten, deren Ränder durch die mechanische Einwirkung der rollenden Last breit geschlagen sind. Durch die pumpende

¹⁾ Die photographischen Aufnahmen wurden von den Herren Gindroz und Ingenieur Zulauf besorgt.

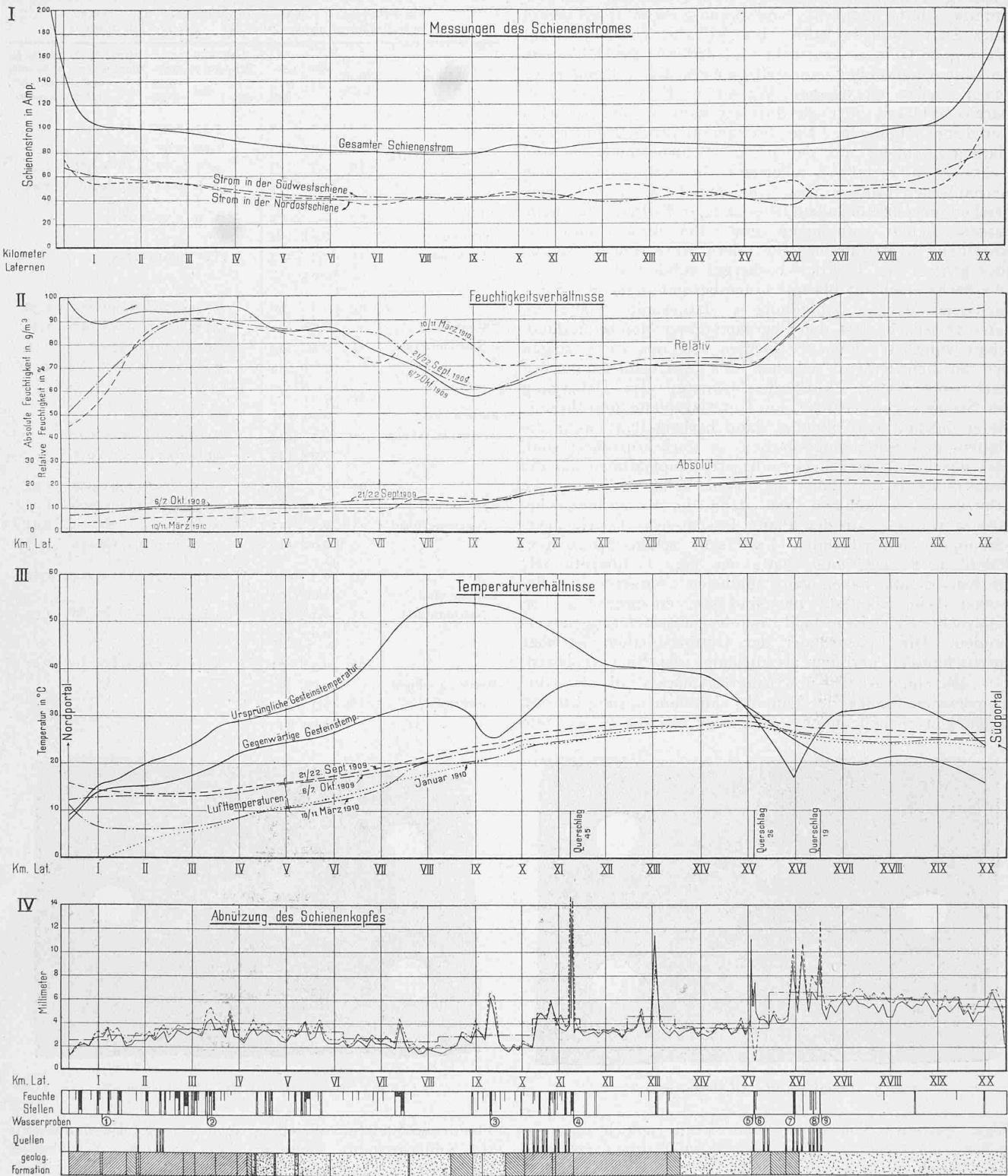


Abb. 1. Graph. Darstellung der Beobachtungsergebnisse im Simplontunnel und Ergebnisse der chemischen Analyse der Wasserproben.

Nordportal = Km. 147,171 ab Lausanne.

Südportal = Km. 166,974 ab Lausanne.

geolog. Formation	Jura
	Trias
	Gneisse

feuchte Stellen	feucht
	einige Tropfen
	starke "
	nass
	sehr nass

Wasserprobe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Km. ab Lausanne	147,866	150,190	156,100	157,850	161,648	161,670	162,520	163,052	163,071
Reaktion	schwach alkal.	etwas hart	—	—	neutral	schwach alkal.	—	neutral	neutral
Trockenrückstand	mg/l 2914	340	2670	2101	2888	2922	965	155	162
Chloride	mg/l Spuren	4,2	?	3,9	9,2	10,6	3,9	3,5	3,5
Sulfate	mg/l 1100	gering	1211	884	1300	1304	403	Spuren	Spuren

Wirkung, die an nassen Geleisestellen zwischen Schiene, Unterlagsplatte, Schwelle und Bettung beim Durchfahren eines Zuges auftritt, wird eine lebhaft Zirkulation des Wassers im Geleise verursacht und dadurch die Höhlungen der Korrosionsstellen einerseits ausgespült und andererseits immer wieder mit frischem Wasser in Kontakt gebracht. Daraus erklären sich die äusserst sauberen und scharfen Korrosionshöhlungen. Die breitgeschlagenen Ränder der Plattenhöhlungen, auf denen die Schiene aufliegt, sind nicht selten metallisch glänzend, herrührend von dem mechanischen Einfluss der rollenden Last. Eine andere Erscheinung des Metallangriffes zeigen Platten, die halbnassen Stellen entnommen sind. Bei diesen sind die einzelnen Kraterdurchmesser der Korrosionshöhlungen eher grösser als bei der vorhergehenden Platte und die Oberfläche erscheint blasig. Einer besonders nassen Stelle entstammt die in Abbildung 5 dargestellte Platte XI, deren Oberfläche fast den Charakter einer Mondkraterlandschaft aufweist. Beim Betrachten mit der Lupe zeigen sich an den Gräten zwischen den Korrosionshöhlungen stellenweise kleine Metallschmelzpunkte, vom Uebergang des Stromes von Schiene zur Unterlagsplatte herrührend; dieser Zustand wird offenbar dann herbeigeführt, wenn die Platten- und Schienenfussflächen so stark korrodiert sind, dass der Uebergangsquerschnitt sich hauptsächlich auf die Gräte reduziert und daher an diesen Stellen örtliche starke Erhitzungen vorkommen, was dann die Korrosionen befördern würde. An der Platte lassen sich die Hammerwirkungen der rollenden Last sehr schön beobachten. Abbildung 6 zeigt eine Platte aus dem Gotthardtunnel; die Korrosionen haben ganz ähnlichen Charakter wie diejenigen beim Simplon, nur sind sie, entsprechend dem halbfuchten Geleiszustand, mit Rostabschieferungen verbunden. Die Lebensdauer der Gotthardplatten ist aber durchschnittlich geringer als diejenige der Simplonplatten.

Mit einer Anzahl von Unterlagsplatten, die den verschiedensten Stellen des Tunnels entnommen sind, wurden Wägungen vorgenommen. Allerdings war die verwendete

Tabelle I. Wechselstromelektrolyse verdünnter Metallsalzlösungen.

Versuchsdauer: 1. Mai bis 18. Juni 1906. Oberfläche der Eisnelektroden: 40,3 cm². 1 0/10ige Lösungen.

Elektrolyt	Periodenzahl per Sekunde	Strom Amp.	Versuchsdauer Stdn.	Aufgelöstes Eisen		In Proz. d. Gleichstromelektrolyse		Verhältnis der tot. Korrosion zur chemisch. Korrosion	
				Milligramm chemisch	total	elektrolytisch	total		
Ammonium-Nitrat	60	0,3	63	1,841	3,77	1,93	1,21	0,62	2,05
		0,09	162		2,76	0,92	2,96	0,99	1,50
	25	0,3	143	3,66	1,82	1,18	0,586	1,99	
		0,09	145	2,66	0,82	2,85	0,88	1,44	
Ammonium-Karbonat	60	0,3	63	0,50	0,50	0,161			
		0,09	162	—	—	—			
	25	0,3	143	0,017	0,017	0,005			
		0,09	145	—	—	—			
Kalium- und Natriumnitrat	60	0,3	66	0,220	0,570	0,350	0,184	0,113	2,59
		0,09	162		0,283	0,063	0,304	0,068	1,29
	25	0,3	143	0,613	0,393	0,197	0,126	2,78	
		0,09	145	0,462	0,242	0,496	0,260	2,10	
Kalium- und Natriumkarbonat	60	0,3	68	—	—	—	—		
		0,09	162	—	—	—	—		
	25	0,3	143	0,007	0,007	0,002	0,002		
		0,09	145	0,014	0,014	0,015	0,015		
Kalium- und Natriumchlorid	60	0,3	69	0,299	0,59	0,290	0,190	0,093	1,97
		0,09	163		0,307	0,008	0,330	0,009	1,03
	25	0,3	143	0,606	0,307	0,195	0,099	2,02	
		0,09	145	0,439	0,140	0,471	0,150	1,47	
Kalium- und Natriumsulfat	60	0,3	70	0,371	0,415	0,044	0,134	0,014	1,12
		0,09	163		0,644	0,273	0,207	0,088	1,73
	25	0,3	143	0,644	0,273	0,207	0,088	1,73	
		0,09	145	—	—	—	—		
Mischung obiger Elektrolyte	60	0,3	71	0,787	0,97	0,183	0,312	0,059	1,23
		0,09	163		—	—	—	—	
	52	0,3	143	—	—	—	—		
		0,09	145	—	—	—	—		

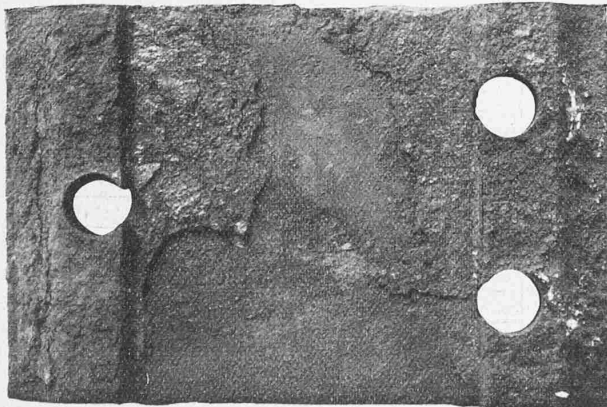


Abb. 3. Unterlagsplatte XII (Simplontunnel).

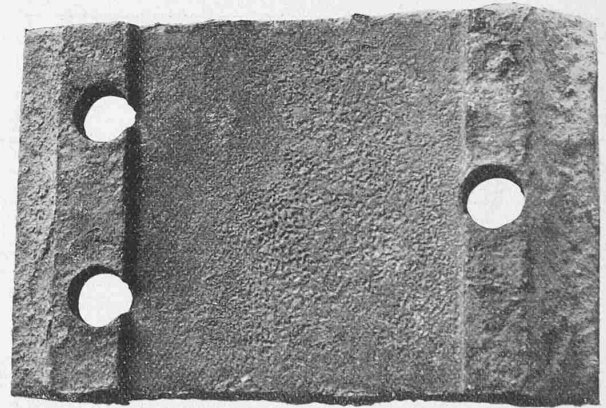


Abb. 4. Unterlagsplatte XIV (Simplontunnel).

Wage ein etwas rohes Instrument, dürfte jedoch zur Feststellung der Grössenordnung des Metallabganges genügen. Das Gewicht einer neuen Platte beträgt 3,790 kg, der jährliche Metallabgang, je nach dem Entnahmeort der Platte im Tunnel, rund 35 bis 85 gr.

Ursachen des Abnutzungs- und Abrostungsvorganges.

Als allgemeine Ursachen der Abnutzungs- und Abrostungserscheinungen sind zunächst die rollende Last, chemische und eventuell elektrochemische Einflüsse des Tunneltropfwassers, der Einfluss der Atmosphärien, sowie die Wirkungen des elektrischen Bahnstroms zu betrachten. Die sichtbare Wirkung wird aber je nach der Natur des beeinflussten Gegenstandes verschieden sein, und es liegt die Möglichkeit nahe, dass die oben beschriebenen Abnutzungen, die sich in sehr ungleicher Weise an ver-

schiedenen Stellen vollziehen, auch von der Beschaffenheit des Schienenstahls abhängig sein möchten. Wir haben daher die mechanischen und chemischen Qualitätsziffern des an den verschiedenen Stellen im Tunnel verwendeten Materials mit einander verglichen, konnten aber keine solchen Differenzen finden, die die grossen Verschiedenheiten in der Abnutzung erklärt hätten. Wir verglichen ferner diese Qualitätsziffern mit denen des Gotthardtunnelschienenmaterials, konnten aber auch hier keine nennenswerten Verschiedenheiten konstatieren. Das Versuchsmaterial (Schienen und Unterlagsplatten) wurde also für die weiteren Ueberlegungen als von überall gleichartiger Beschaffenheit vorausgesetzt. 1)

1) Diese Voraussetzung ist allerdings nicht streng richtig, da die jetzt üblichen Materialqualitätsziffern (Zugfestigkeit, Biegung, Dehnung, chemische Zusammensetzung) das Material nicht in jeder Hinsicht eindeutig

Tabelle II. Wechselstromelektrolyse in verschiedenen Bodenarten.

Versuchsdauer: 21. Juni bis 17. Juli 1906. Oberfläche der Eisenelektroden: 40,3 cm². Stromstärke 0,1 Ampère. Die Erde wurde mit destilliertem Wasser befeuchtet.

Elektrolyt	Periodenzahl per Sekunde	Versuchsdauer Stunden	Korrodirtes Eisen in Milligramm per Stunde			Korrosion ausgedrückt in Proz. der Gleichstromelektrolyse	
			chemisch	total	elektrolytisch	total	elektrolytisch
Gartenerde	60	254	0,078	0,169	0,091	0,163	0,088
	25	244		0,252	0,174	0,243	0,168
Strassenstaub	60	254	0,036	0,099	0,063	0,095	0,061
	25	244		0,159	0,123	0,154	0,119
Untergrund	60	254	0,092	0,980	0,890	0,945	0,860
	25	244		1,990	1,900	1,930	1,830
Mischung aller drei Bodenarten	60	254	0,044	0,092	0,048	0,089	0,046
	25	244		0,087	0,043	0,084	0,042

Tabelle III. Einfluss der Temperatur auf die chemische und wechselstromelektrolytische Korrosion.

Elektrolyt	Temperatur ° C.	Korrosion ausgedrückt in Proz. der Gleichstromelektrolyse			Verhältnis des Angriffs		
		chemisch	total	elektrolytisch	chemisch	total	elektrolytisch
Gemischte Bodenarten	22,3	0,117	0,312	0,280	1,0	1,0	1,0
	39,5	0,296	1,065	0,987	2,53	3,41	3,52
Gemischte Bodenarten + 5% Dungsalze	19,5	0,301	0,642	0,565	1,0	1,0	1,0
	39,5	0,393	1,175	1,075	1,30	1,83	1,90

Die rollende Last wirkt auf der ganzen Länge des Tunnels angenähert gleichartig; wir können sie daher zur Erklärung der Abnutzungsdifferenzen nicht weiter verwenden und gehen also über zur Beobachtung der andern wirkenden Faktoren.

Chemische Analyse des Tunnelwassers. Da die Korrosionen den Charakter von chemischen Anfrassungen haben, entnahmen wir an neun Stellen des Tunnels, wo

keine abnorm hohe Schienenabnutzung und Abrostung auftritt, während hinwiederum bei den Proben 8 und 9, die nur ganz geringe Mengen von Sulfaten und Chloriden aufweisen, die Abnutzungen sehr hohe Werte erreichen. Freilich finden wir auch Stellen, an denen bei hohem Sulfatgehalt der Tunnelwässer hohe Abnutzungen zu konstatieren sind, aber ein aufmerksamer Vergleich der Analysen mit den Abnutzungslinien ergibt, dass ein merklicher direkter Zusammenhang zwischen Abnutzung und chemischem Gehalt des Tropfwassers nicht festgestellt werden kann. Es konnte nur festgestellt werden, dass die Schienenabnutzungen überall da gross werden, wo überhaupt feuchte Stellen im Tunnel vorhanden sind und dass sie überall da abnorm hohe Werte erreicht, wo das Wasser direkt auf die Schienen tropft, wo also ständig frisches Tropfwasser mit dem Metall in Berührung kommt. Diese Feststellung wird in Abbildung 1 dadurch erleichtert, dass sämtliche im Tunnel aufgenommenen feuchten Stellen unter die Abnutzungsdiagramme eingetragen wurden.¹⁾

Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Da also Feuchtigkeit, Wasser und, wie anfangs bemerkt, auch die Temperatur einen bestimmenden Einfluss auf die Abnutzungserscheinungen auszuüben schienen, war es gegeben, Feuchtigkeits- und Temperaturmessungen der Tunnelluft durchzuführen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1, II und 1, III graphisch aufgetragen. Es ergibt sich hier die bemerkenswerte Tatsache, dass bei der gegenwärtigen Ventilationsweise, d. h. Einblasen von etwa 100 m³/sek Luft in Brig und Ansaugen in Iselle, sich der Einfluss der wechselnden Feuchtigkeit der Aussenluft nur bis etwa 3,5 km ab Nordportal geltend macht und dass die Luftfeuchtigkeitsverhältnisse für die übrigen Tunnelstrecken jahraus jahrein angenähert konstant bleiben. Eine Ausnahme hievon bilden nur die Momente, in denen Züge den Tunnel gegen die Ventilationsrichtung befahren und dadurch eine Luftstagnation verursachen, die ihrerseits eine vorübergehende Steigerung der Luftfeuchtigkeit zur Folge hat. Dies kommt in der am 10./11. März 1910 aufgenommenen Feuchtigkeitskurve

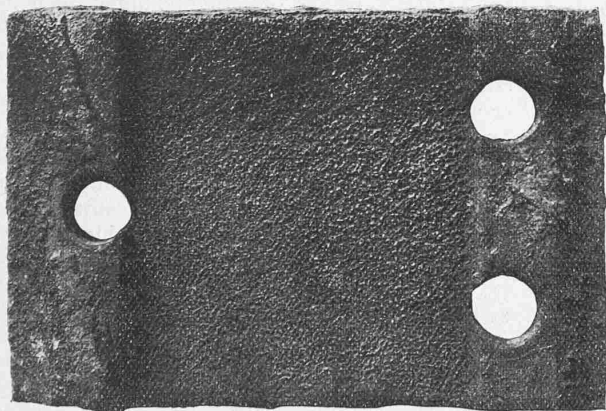


Abb. 5. Unterlagsplatte XI (Simplontunnel).

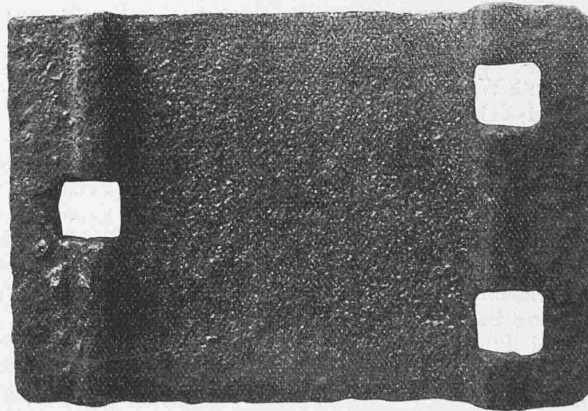


Abb. 6. Unterlagsplatte aus dem Gotthardtunnel.

viel Tropfwasser fiel, Wasserproben und liessen dieselben durch den Chemiker Dr. Thomann in Bern untersuchen. Es ergab sich, dass einzelne Tunnelwässer überaus gipshaltig sind. Die Untersuchungsergebnisse sind unter der Abb. 1 (S. 197) mitgeteilt, die Entnahmestellen in Abbildung 1 unten eingetragen. Ein Vergleich mit den Stellen stärkster Abnutzung zeigt, dass die chemische Zusammensetzung des Tropfwassers anscheinend keinen starken Einfluss auf den Abnutzungsvorgang hat; denn wir finden, dass z. B. bei der schwach alkalisch reagierenden Probe 1 bei Tunnel-Km. I + 066 1), die stark gipshaltig ist (1100 mg Sulfate pro l), bestimmen, und es ist z. B. die Frage, inwieweit die üblichen Qualitätsziffern allein als Wertmesser für den Schienenverschleiss gelten können, unseres Wissens noch sehr umstritten.

¹⁾ Tunnel-Km. I = Bahn-Km. ab Lausanne 147,800 und Km. XI = Bahn-Km. 157,550 (Fehlerprofil zwischen X und XI = — 250 m).

bei Km. VII—X zum Ausdruck, welche Punkte unmittelbar nach Passieren des Zuges Nr. 1140 aufgenommen wurden. Die Feuchtigkeitsmessungen erfolgten mit einem Haarhygrometer von Usteri-Reinacher mit Justiervorrichtung nach Koppe; zur Reduktion der relativen Feuchtigkeit auf den absoluten Wassergehalt der Luft benützten wir das Diagramm von Prof. Koppe.

Vergleichen wir nun die Luftfeuchtigkeits- und Temperaturkurven mit den kilometrisch gebildeten Abnutzungsmittelwerten, so lässt sich eine weitgehende Abhängigkeit nicht verkennen. Wir beobachten, wie kurz nach dem Nordportal die relative Luftfeuchtigkeit infolge der vielen Tropfwasserstellen rasch steigt bis gegen Km. III (Ab-

¹⁾ Unter Diagramm IV in Abb. 1 sind die Entnahmestellen der Wasserproben durch die umringelten Ziffern bezeichnet.

bildung 1 oder noch deutlicher Abbildung 2); bis zu diesem Punkt besitzt auch die Lufttemperatur relativ mässige Werte. Entsprechend dem relativen Feuchtigkeitsgehalt der Luft steigt auch die mittlere Schienenkopfabnutzung. Darauf ist ein schwacher, gleichmässiger Temperaturanstieg von Km. III bis Km. VII zu beobachten, während die Zahl der Tropfwasserstellen auf dieser Strecke abnimmt; infolgedessen sinkt auch die mittlere Schienenkopfabnutzung. Von Km. VII bis Km. X erreicht der Temperaturgradient seinen maximalen Wert von rd. $2,5^{\circ}$ C. pro Kilometer; die Temperatur bei Km. X beträgt um 25° C.; die relative Luftfeuchtigkeit nimmt, trotz einer Anzahl nasser Stellen, ab. Mit der starken Temperaturzunahme wächst aber, trotz der Feuchtigkeitsabnahme, die mittlere Abnutzung und Abrostung. Von Km. X bis XV nimmt der Temperaturgradient allmählich ab; die Lufttemperatur strebt ihrem Maximum von nahezu 30° C. zu. Die Partien der heissen Quellen bei Km. XI bewirken ein Steigen der Luftfeuchtigkeit bis etwa 70%; mit dem Steigen der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit steigt auch die mittlere Schienenkopfabnutzung, die ausserdem an den schon früher angegebenen Stellen zwischen Km. X und XI lokal sehr starke Spitzen aufweist. Endlich ist eine neue, scharf ausgesprochene Zone nach Km. XV zu beobachten. In dieser sinkt die Lufttemperatur, infolge des Einbruches der kalten Quellen bei Km. XVI, bis zum Südportal um etwa 4° ; die relative Feuchtigkeit schnell auf 90 bis 100% und die mittlere Kopfabnutzung erreicht ihre maximalen Werte zwischen Km. XV und XVII, die sich dann, entsprechend der Temperaturabnahme, gegen das Südportal hin etwas verringern.

Ein kausaler Zusammenhang zwischen Temperatur, Feuchtigkeit und Abnutzung ist unverkennbar und namentlich hebt sich der Temperatureinfluss auf den Abnutzungs- und Abrostungsvorgang deutlich hervor, wie wir dies später noch weiter ausführen werden.

Die Mittelwerte der jährlichen Schienenabnutzungen betragen gemäss Seite 196 für die Zeit

	vom 1. Januar 1906 bis 30. Juni 1910	vom 30. Juni 1910 bis 28. Febr. 1911	vom 30. Juni 1910 bis 28. Febr. 1911
in der nördl. Tunnelhälfte	0,595 mm	0,600 mm	0,630 mm
in der südl. Tunnelhälfte	1,035 „	0,992 „	0,720 „
im ganzen Tunnel	0,814 „	0,796 „	0,674 „

Diese Werte zeigen für die Nordseite eine befriedigende Gesetzmässigkeit, sofern man die möglichen Messfehler berücksichtigt und sofern man bedenkt, dass sich der Simplonverkehr seit der Betriebseröffnung ungefähr verdoppelt hat. Für die Südseite zeigen sich aber auffallende Verschiedenheiten und zwar so, dass die mittlere Abnutzung der langen Periode vom 1. Januar 1906 bis 28. Februar 1911 grösser ist als jene der letzten kurzen Periode. Wir erklären uns diese Verschiedenheiten, ohne übrigens den Zahlen absolute Bedeutung beizumessen, wie folgt.

Bei Inbetriebnahme des Tunnels im Jahr 1906 war zwischen Km. X und XI eine Abkühlungsanlage in Tätigkeit, die durch feine Sprühregen eine Verminderung der Tunneltemperatur bewirken sollte. Dadurch wurde die Luft schon an dieser Stelle mit Wasser gesättigt (wir erinnern an die Nebelbildungen in jener Zeit); trotzdem wurde keine wesentliche Temperaturabnahme der Tunnelluft erreicht. Der Oberbau wurde gehörig durchfeuchtet und durchnässt; es entstand ein lebhafter Rostangriff auf den eisernen Oberbau; ausserdem mussten die auf 7% herauffahrenden Lokomotiven, wenigstens die Dampflokomotiven, zur Aufrechterhaltung der Adhäsion Sand streuen. Infolge dieser Umstände wurde eine starke Schienenkopfabnutzung verursacht. Dieser Zustand dauerte angenähert bis zum 1. August 1908, von welchem Zeitpunkt an die Abkühlung, als nicht mehr notwendig und in gewisser Hinsicht sogar als schädlich erkannt und eingestellt wurde. Die ganze Südseite war also bis zu diesem Zeitpunkte bedeutend nasser als nachher, sodass der Verschleiss, trotz des geringeren Verkehrs, grösser war als nachher beim intensiven Verkehr.

Berechnungen über den Einfluss der Feuchtigkeit in der Südpartie des Tunnels ergeben, dass zur Zeit der

künstlichen Abkühlung die Jahresabnutzung $1,264$ mm im Mittel betrug und seither nur noch $0,72$ mm. Für den ganzen Tunnel wird dadurch der Mittelwert der jährlichen Abnutzung von $0,918$ mm auf $0,674$ mm herabgedrückt. Die Verlängerung der Lebensdauer des Oberbaues beträgt daher, wenn dafür nur das Mass der Schienenabnutzung als massgebend betrachtet wird, infolge der Einstellung der künstlichen Abkühlung 35%. Wir machen zwar wiederholt darauf aufmerksam, dass wir diesen Zahlen nicht eine absolute Bedeutung beimessen, aber es lässt sich doch mit Sicherheit daraus entnehmen, dass die Lebensdauer des Oberbaues erheblich verlängert wurde. Die Massnahmen, die vom Obergerieur des Simplons, Herrn Bron, getroffen wurden und die in der Anbringung von Eternitdächern über dem Geleise zur seitlichen Ableitung des Tropfwassers an den stärksten Tropfstellen bestehen, scheinen daher ein wirksames Mittel zu sein, um auch die örtlichen abnormen Abnutzungen auf ein zulässiges Mass hinunterzudrücken; die bis jetzt gemachten Beobachtungen bestätigen dies übrigens.

Einfluss des elektrischen Stromes. Um den Einfluss des elektrischen Stromes auf die Abnutzungs- und Abrostungs- sowie Korrosionserscheinungen zu studieren, wurden hauptsächlich zwei Versuchsserien durchgeführt. Erstens wollten wir uns ein Bild über den Uebergang des Stromes von den Schienen in die Erde verschaffen und zweitens sollte örtlich festgestellt werden, ob und wie stark wechselstrom-elektrolytische Einflüsse nachzuweisen seien.

Schienenstrommessungen. Der erste Versuch wurde unter Mithilfe der Obertelegapheninspektion (insbesondere durch Ingenieur A. Müller) in der Weise durchgeführt, dass die Oberleitung in Iselle mit den Schienen verbunden und in Brig ein Strom von 200 Ampère in die so gebildete Schleife geschickt wurde. Die Periodenzahl betrug 15,7 in der Sekunde, die Spannung 1200 Volt, der Effekt 130 kw, sodass die Phasenverschiebung bei der Zentrale Brig $\cos \varphi = 0,542$ war. Darauf wurden bei allen Kilometer-nischen im Tunnel die Ströme in den beiden Schienen durch Loslösen der Laschen bei den Schienenstössen und Einschaltung eines Ampèremeters gemessen. Der Strom wurde in den beiden Schienen einzeln und dann auch der Gesamtstrom in beiden Schienen zusammen gemessen. Der Widerstand der Ampèremeterschlüsse konnte gegenüber dem Widerstand der üblichen Schienenverbindungen und namentlich gegenüber dem Uebergangswiderstand zwischen Erde und Schiene vernachlässigt werden, sodass die Messresultate ein ziemlich getreues Bild der wirklichen Stromverteilung geben dürften. Wie bekannt, wird im Simplon die elektrische Schienenstossverbindung durch eine auf die vorher durch Sandstrahlgebläse gereinigten Schienenkopf-, Schienenfuss- und Laschenanschlagflächen gestrichene, der Firma Brown, Boveri & Cie. patentantlich geschützte Metallpasta¹⁾ bewirkt. Beim Auswechsellern der Laschen konnte nun beobachtet werden, dass diese Pasta an den nassen Stellen fehlte und dass sich an den Berührungsflächen zwischen Schiene und Lasche zum Teil starke Rostbildungen, zum Teil scharf akzentuierte Stromübergangsstellen gebildet hatten, dass also die Brownsche Pasta an diesen Stellen ihren Zweck gar nicht oder nur sehr unvollständig erfüllen kann. Die Ergebnisse der Schienenstrommessungen sind in Abbildung 1, I graphisch aufgetragen. Es ergibt sich daraus, dass der Hauptübergang des Stromes vom Geleise in die Erde in der Nähe der beiden Speisepunkte des Geleises sich befindet, entsprechend der dort herrschenden grössten Potentialdifferenz. In der mittlern Partie der Strecke finden keine wesentlichen Uebergänge von Schiene zu Erdboden statt, mit Ausnahme von Stellen, wo schlechte Schienenverbindungen den Uebertritt des Stroms von einem Schienenstrang in den andern bedingen, wie dies bei Km. XII, XIV, XV, XVI usw. der Fall ist. Der Haupt-

¹⁾ Nach Dahlander ergab die Analyse dieser Pasta, dass sie aus 85,4% Zinkstaub, 2,6% Blei und 12% Rohvaselin besteht, deren Widerstand pro cm^3 zwischen 3000 und 20400 Ohm schwankt. Vgl. Dahlander, Versuche mit elektrischem Betrieb auf schwedischen Staats-Eisenbahnen (München und Berlin, 1908), S. 76.



WOHNHAUS POCHON IN BERN

ARCH. RYBI & SALCHLI IN BERN

Ansicht von Süden



WOHNHAUS POCHON IN BERN

Ansicht von Nordwest



ARCHITEKTEN RYBI & SALCHLI, BERN

Ansicht von Südwest



Arbeitszimmer und Bibliothek im Hause Pochon



übergang des Stroms findet auf dem ersten bis zweiten Kilometer von den Speisestellen an gerechnet statt. Aus der graphischen Darstellung ist ersichtlich, dass der Schienenstrom nur etwa 40% des Gesamtstroms ausmacht, während etwa 60% durch die Erde zurückgehen, vorausgesetzt dass die Phasenverschiebung sowohl des Schienenstroms als auch des Erdstroms die nämliche ist, eine Annahme, die indessen nach den Messungen von Dahlander an der schwedischen Versuchsstrecke Järfva-Tomteboda-Värtan nicht immer zutrifft.²⁾ In Wirklichkeit stimmte unsere Versuchsordnung nicht mit den betriebsmässigen Verhältnissen überein, da hier das Geleise in der Regel in drei Punkten gespiesen wird; einmal von den beiden Kraftwerken Brig und Iselle und sodann vom Fahrzeug. Es bewegt sich während der Fahrt dieser letztere Speisepunkt mit seiner Stromspitze über die ganze Linie, während die beiden andern Stromspitzen, deren Summe gleich ist der wandelnden Stromspitze, fest bleiben. Diese beiden Stellen stehen ungefähr unter den gleichen Bedingungen wie bei unserm Versuch. Die Summe der Ampèrestunden, die an

Wohnhaus Pochon in Bern.

Architekten *Rybi & Sahlh* in Bern.
(Mit Tafeln 48 bis 51.)

In dominierender Lage, am steilabfallenden Südwestabhang des Kirchenfeldes ragt aus Tannen und Buschwerk das Haus, dessen Bilder wir heute zeigen. Bestimmend für seine Formgebung war neben den Eigenschaften des Bauplatzes auch die Eigenart des Bauherrn. Ein einfaches, kräftig aufstrebendes Zeltdach, aus dem zwei weitausschauende Giebelaufbauten in massigen Formen ragen, bildet den Abschluss über einem nahezu quadratischen Grundriss. Der gelbgraue rohe Putz und das ziemlich kräftige Gelb des Neuenburger-Hausteins an den Architekturteilen, sowie die schwarz-rot geflammten Fensterladen stehen in einem wirkungsvollen Gegensatz zum dunkeln Hintergrund der grünen Tannen.

Das abschüssige Gelände bedingte die für ein Einfamilienhaus ungewöhnliche Höhengausdehnung von fünf Stockwerken, wobei der Hauseingang 8 m höher liegt als die Terrainlinie am vordern Haussockel.

Im „Erdgeschoss“ liegen die Wohnräume, Küche, Office usw. ebenerdig mit der Gartenterrasse, die an der Südseite des Hauses durch Aufführung einer hohen Stützmauer gewonnen werden konnte. An dieser Südfront liegt auch, vom Esszimmer aus zugänglich und wenige Stufen höher als der Garten, eine offene Vorhalle (Veranda), darüber die offene Terrasse zu den Kinderzimmern. Vom Wohnzimmer führt eine eichene Treppe ins untere Stockwerk, ins Arbeitszimmer und die Bibliothek

des Hausherrn (Tafel 51), an die sich eine Werkstatt für die Knaben anschliesst. Der grosse Kachelofen in der Bibliothek umschliesst den vom Gang her zu bedienenden Ofen der Zentralheizung, wodurch sich einerseits eine gute Ausnutzung der nie ganz zu vermeidenden Wärmestrahlung des Heizungskessels, andererseits ein besseres Kühlhalten des Kellers ermöglicht. Ohne Verbindung mit dem Innern des Hauses ist als zweites Untergeschoss unter der Bibliothek ein geräumiger Pflanzenkeller angelegt worden. Der innere Ausbau des Hauses ist einfach, nur das Esszimmer erhielt ein eichenes Tafel. Die Baukosten werden angegeben zu rund 90 000 Fr. ohne Bauplatz, aber mit Architektenhonorar und Bauleitung.

Die Linie Münster-(Grenchen)-Lengnau der Berner Alpen-Bahn.

Nachdem die Verbesserung der nördlichen Zufahrt zum Lötschberg, Delle-, bzw. Basel-Bern, durch den Grenchenbergtunnel nunmehr in Ausführung begriffen ist, liegt uns noch ob, unsere Leser mit den allgemeinen Verhältnissen der Strecke bekannt zu machen. Wir verweisen hierzu auf die beigegebene Uebersichtskarte und das Längenprofil, denen die Hauptdaten entnommen werden können (S. 202). Die einspurige Linie verlässt die Station Münster an deren nördlichen Seite, steigt mit 3‰ bis zum nördlichen Tunnelportal auf Kote 525,30 m. Da die bestehende Linie nach Sonceboz ab Münster mit 25‰ steigt, unterfährt der Scheiteltunnel der neuen Bahn diese Linie. Mit 2,5‰ auf 3,9 km wird der Kulminationspunkt des 8560 m langen Grenchenbergtunnels mit 545,05 m ü. M. erreicht; die Neigung des südlichen 4660 m langen Tunnelschenkels ist mit 13‰ angenommen, die der südlichen Anschlussrampe mit 15‰ ohne Ermässigung in den Kurven. Unterhalb der Station Grenchen, die in 2‰

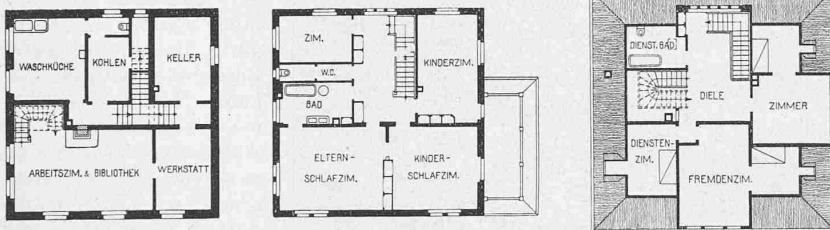


Abb. 2 bis 4. Unter-, Ober- und Dachgeschoss. — Masstab 1 : 400.

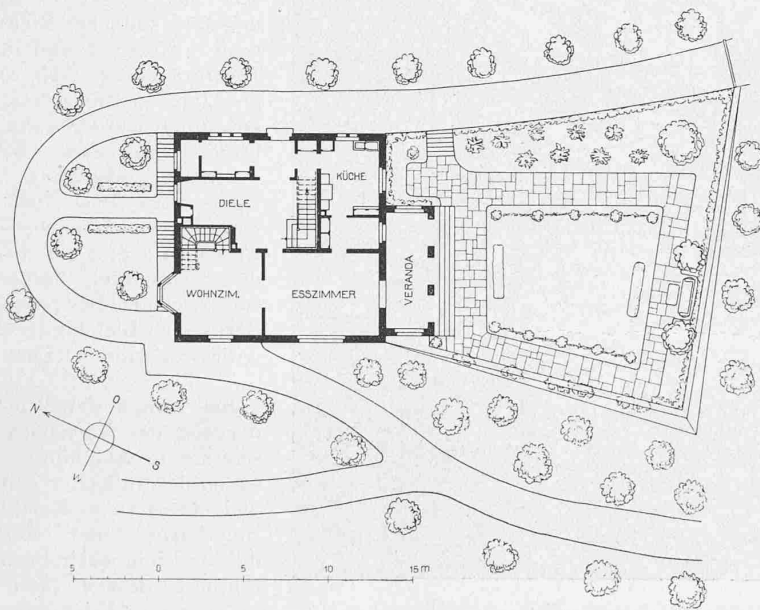


Abb. 1. Lageplan und Erdgeschoss-Grundriss des Hauses Pochon. — 1 : 400.

diesen beiden Endpartien in die Erde übertritt, ist erheblich grösser als die Ampèrestundenzahl, die an irgend einer andern Stelle in die Erde tritt. Es müssten sich also die elektrolytischen Wirkungen an den beiden Tunnelenden bedeutend stärker geltend machen als in den Mittelpartien. Dies konnte aber bei den Beobachtungen über die Korrosionen nicht festgestellt werden; im Gegenteil, wir sehen, dass auf der Nordseite des Tunnels, wo im Betrieb eine stärkere Speisung der Schienen stattfindet als auf der Südseite und wo die erste Tunnelpartie ziemlich feucht ist, keine besonders stark korrodierenden Wirkungen beobachtet werden konnten und dass die Schienenabnützungen dort ein Minimum sind. (Schluss folgt.)

²⁾ Dahlander, a. a. O., S. 81.