

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 77/78 (1921)
Heft: 19

Artikel: Energieverteilung und Energiebedarf des "Chicago, Milwaukee & St. Paul Railway"
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-37347>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.04.2026

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

einer Theorie der *elektromagnetischen Erscheinungen*, die deren Gesetze rein spekulativ, aus der Erkenntnis ihres Wesens heraus, herzuleiten imstande ist. Diese neue, vom Verfasser herrührende Erweiterung der Relativitätstheorie macht es aus absoluten Gründen begreiflich, warum die Welt vierdimensional ist, woher gerade diese Zahl 4 kommt. Im übrigen führt sie lediglich zu einer Bestätigung der längst bekannten elektrodynamischen Gesetze; sie ergibt keinerlei Abweichungen von ihnen, die an der Beobachtung nachgeprüft werden könnten. Wohl lassen sich aus ihr wichtige Konsequenzen ziehen über das Innerste der Materie und über den Bau des Weltganzen; das sind aber Erkenntnisse, die jeder Kontrolle durch die Erfahrung spotten.

Eine neue Weltansicht tut sich uns auf. Früher gab es für uns einen leeren Raum, dessen innere metrische Natur durch die euklidische Geometrie beschrieben wurde, als die Schaubühne des Weltgeschehens. In ihm konstituierte sich die Materie, eine Substanz von gediegener Realität; die Bewegung und Veränderung der Materie, erzeugt durch die aus ihr hervorbrechenden Kräfte, machte den Inhalt des Weltgeschehens aus. Die Kräfte und ihre Gesetze mussten der Erfahrung abgeläutert werden; man hatte sie nach Zahl und Art so hinzunehmen, wie die Wirklichkeit sie uns kennen lehrte, es gab da nichts weiter zu „begreifen“. Ganz anders jetzt: es gibt allein eine vierdimensionale, mit einem metrischen Felde begabte Welt. (Ich spreche hier nicht vom Führungsfeld; denn in der Tat stellt sich heraus, wie ja auch in der gewöhnlichen Geometrie der Begriff der geraden Linie auf Grund des Kongruenzbegriffes definiert werden kann dass das Führungsfeld in einer tieferen Beschaffenheit der Welt, ihrem metrischen Felde fundiert ist, das den Wirkungszusammenhang der Welt bestimmt und zugleich das Verhalten der zum Messen von Raum und Zeit verwendeten Massstäbe und Uhren.) Alle Naturkräfte sind Aeusserungen dieses metrischen Feldes. Der Traum des Descartes einer rein geometrischen Physik scheint, in einer freilich von ihm gar nicht vorausgesehenen Weise, in Erfüllung zu gehen. Wir dürfen hoffen, das Wesen der Naturkräfte so tief zu erkennen, dass aus solcher Einsicht mit vernunftmässiger Notwendigkeit die Gesetze sich ergeben, die ihre Wirksamkeit beherrschen. Ist auch das Ziel heute bei weitem noch nicht erreicht, so aus Einem Prinzip heraus die ganze Fülle und Mannigfaltigkeit der Erscheinungen bis in die feinsten Einzelheiten hinein zu begreifen, so sind wir doch ohne Zweifel der Erfassung der Weltvernunft, die dem physischen Geschehen innewohnt, einen gewaltigen Schritt näher gekommen.

Kaum zu überschätzen ist die Bedeutung der neuen, durch die Relativitätstheorie geöffneten Weltansicht für die Physik und Philosophie. So ist der Versuch wohl berechtigt, die Kunde von ihr über den engsten Fachkreis hinauszutragen in den weiteren Kreis aller zum kritischen Denken Befähigten. Für die praktische Arbeit des Ingenieurs freilich ist sie ohne Anwendung; denn die Aenderungen, die sie an den Newtonschen Gesetzen der Mechanik und den andern klassischen Gesetzen der Physik bewirkt, sind so winzig, dass sie sich überhaupt nur durch die allersubtilsten Experimente feststellen liessen. Braucht doch der Ingenieur sich nicht einmal um die Kopernikanische Erkenntnis zu bekümmern, dass die Erde sich bewegt; unbedenklich rechnet er seine Konstruktionen so durch, als wäre die Erde ein berechtigter Bezugskörper im Sinne des Galileischen Trägheitsprinzips. Auch darf man nicht erwarten, dass von der Relativitätstheorie eine ähnlich tiefgehende Wirkung auf die Gesamtkultur des Abendlandes ausgehen wird wie von der Kopernikanischen Umwälzung; denn was sie stürzt, ist lange nicht in dem Masse, wie es mit der vor-kopernikanischen Auffassung des Weltbaus zu ihrer Zeit der Fall war, verwachsen mit den allgemeinen Wesenszügen, dem inneren Leben, den treibenden Problemen und der ganzen Gestalt unserer Kultur.

Wohlfahrtshaus in Chippis der A. I. A. G.

Architekten Müller & Freytag in Thalwil.

(Schluss von Seite 220, mit Tafeln 5 bis 8.)

Vom Innern des „Foyer“ vermitteln die beigefügten Tafelbilder einen Eindruck, der naturgemäss infolge Fehlens der Farben nur ein unvollkommener ist. So ist zu sagen, dass die in nebenstehendem Bilde allzu dunkel geratenen, gelb gestrichenen hölzernen Beleuchtungskörper in Wirklichkeit den übrigen Farbenklängen des Festsaales angepasst sind. Weiter ist zu beachten, dass dem grossen Sitzungszimmer im I. Stock sowohl das endgültige Mobiliar wie der Wandschmuck fehlen; die gerahmten Bilder im Treppenvorplatz, dem Zugang des Sitzungszimmers, sind von einem Gönner des Hauses geschenkt worden. Von besonderem Reiz sind die im Erdgeschoss des Vordertraktes (vergl. Grundrisse auf Seite 219) liegenden Räume, die auf den Tafeln 6 und 7 abgebildet sind. Der Speiseraum der Werkführer hat Arventäfer erhalten (sein mittlerer Beleuchtungskörper ist ein vorhandenes Modell). Im übrigen sprechen die Bilder für sich; sie bestätigen, dass auch das Innere mit gleicher Liebe und Sorgfalt und mit gleichem Gelingen durchgeführt ist, wie das Aeusserere.

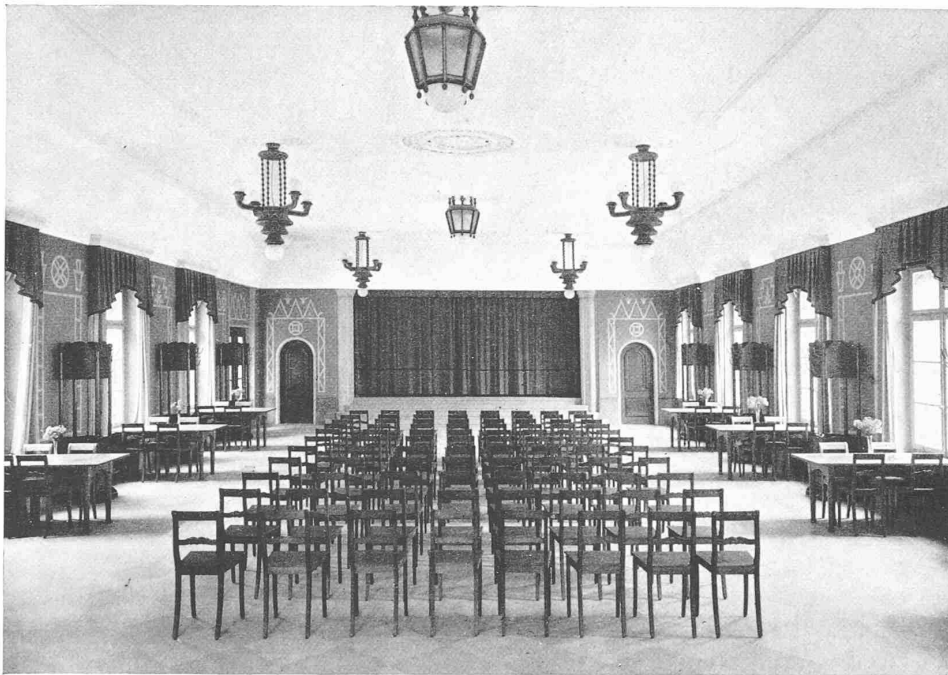
Von den am Bau beteiligt gewesenen Unternehmern seien blos die wichtigsten hier genannt: H. & W. Hügli in Bern für die Erd-, Maurer- und Eisenbetonarbeiten, E. Haberer & Cie. in Bern für Gips- und Malerarbeiten und Gebr. Sulzer für die Heizungs- und sanitären Anlagen. Zu diesen gehören auch die Dampfapparate der Küche im Erdgeschoss und die Einrichtung der Bäder im Untergeschoss (vergl. die Grundrisse auf S. 219 letzter Nummer).

Energieverteilung und Energiebedarf des „Chicago, Milwaukee & St. Paul Railway“.

Die den Lesern der „Schweiz. Bauzeitung“ bisher über die Elektrifizierung des „Chicago, Milwaukee & St. Paul Ry.“ mitgeteilten Einzelheiten beziehen sich vorwiegend auf den Lokomotivpark¹⁾ der genannten, äusserst bedeutenden Bahnanlage, während ihre Energieverteilung und ihr Energiebedarf hier bisher kaum behandelt wurden. Eine Ergänzung der Berichterstattung in dieser Hinsicht ist umso mehr gerechtfertigt, als das wirtschaftliche Ergebnis dieser Anlageteile nicht weniger zum Erfolg dieser Elektrifizierung beigetragen hat, als die im allgemeinen wohlgegangene Ausbildung des Lokomotivparks.

Bekanntlich ist die zunächst hier zu würdigende *Energieverteilung* insbesondere gekennzeichnet durch das Gleichstromsystem mit 3000 V Fahrspannung für die Energieversorgung der fahrenden Züge; dieser Gleichstrom wird in Unterwerken aus Drehstrom von 60 Per. und 100 000 V durch *Umformung* gewonnen, der seitens der „Montana Power Co.“ geliefert wird. Die fast durchwegs einspurigen, elektrifizierten Berg- und Küstenstrecken des „Chicago, Milwaukee & St. Paul Ry.“ nehmen ihren Anfang in Harlowton, am Ostfuss des Felsengebirges, und endigen in Seattle (Pacific Coast), am Ufer eines langen Fjords, der in den grossen Ozean hinausführt. Die Bahnlinie von Harlowton bis Seattle misst 1040 km; sie ist in die drei Abschnitte „Rocky Mountain Division“ (von Harlowton bis Deer Lodge, 370 km), „Missoula Division“ (von Deer Lodge bis Avery, 337 km), und „Coast Division“ (von Avery bis Seattle, 333 km) eingeteilt. Die Aufnahme des elektrischen Betriebs begann im Dezember 1915 auf der westlichen Hälfte der „Rocky Mountain Division“, und umfasste ein Jahr später die Gesamtheit der Abschnitte „Rocky Mountain“ und „Missoula“. Der letzte Abschnitt „Coast Division“ kann erst seit dem März 1920 elektrisch betrieben werden. Die beiden ersten Abschnitte werden mit je sieben, der letzte Abschnitt mit acht Unterwerken versorgt. In unsern nachfolgenden Ausführungen werden

¹⁾ Vergl. insbesondere den Aufsatz von A. Latenser auf Seite 49 von Band LXXVII (29. Jan. 1921) und die zugehörigen Fussnoten.



DER FEST- UND SPEISESAAL

SITZUNGSZIMMER IM 1. STOCK



WOHLFAHRTSHAUS IN CHIPPIS DER ALUMINIUM-INDUSTRIE A.-G. NEUHAUSEN
ARCHITEKTEN MÜLLER & FREYTAG IN THALWIL



OBEIN RESTAURANT FÜR ANGESTELLTE

UNTEIN WIRTSCHAFT FÜR WERKMEISTER



WOHLFAHRTSHAUS IN CHIPPIS DER A. I. A. G.

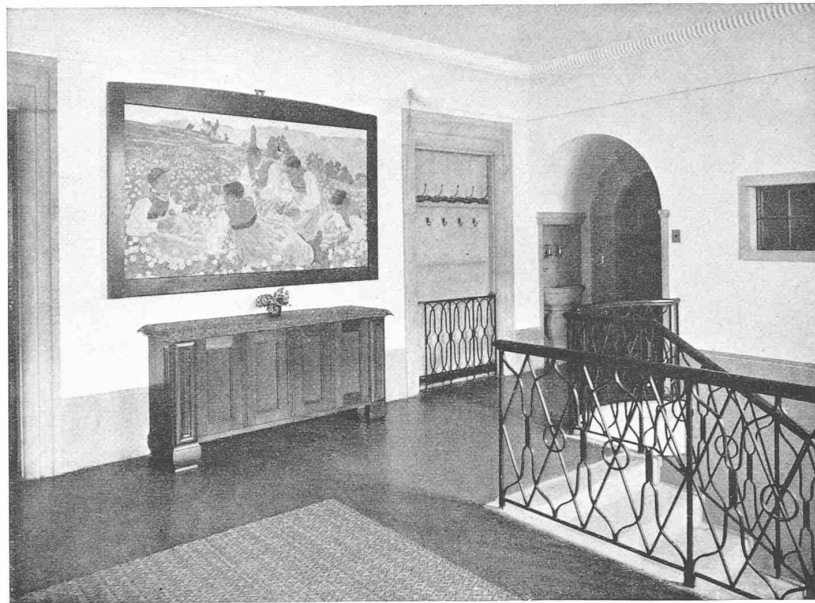


OBEIN DAS GROSSE LESEZIMMER

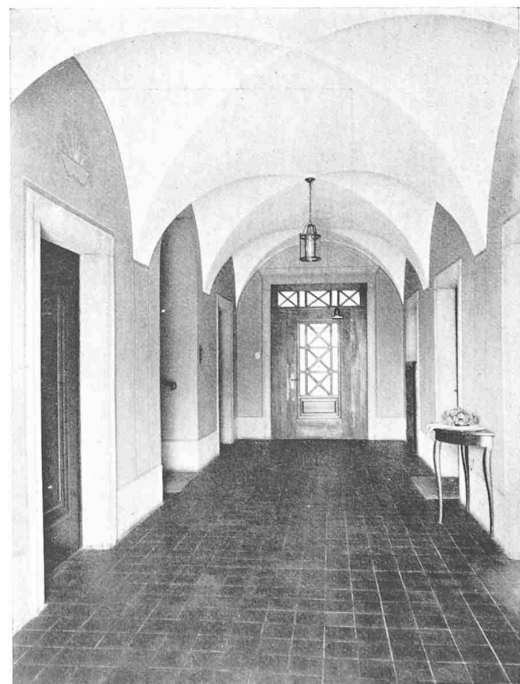
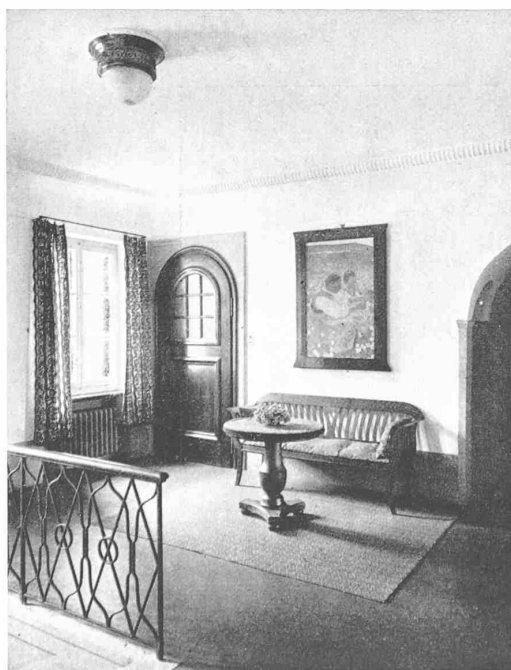
UNTEIN WIRTSCHAFT FÜR WERKMEISTER



ARCHITECTEN MÜLLER & FREYTAG, THALWIL



OBEN UND LINKS UNTEN TREPPEN-VORPLATZ IM I. STOCK
RECHTS UNTEN DER MITTELKORRIDOR IM ERDGESCHOSS



WOHLFAHRTSHAUS IN CHIPPIS DER ALUMINIUM INDUSTRIE A.-G. NEUHAUSEN
ARCHITEKTEN MÜLLER & FREYTAG IN THALWIL

wir uns nur mit den beiden ersten Abschnitten (Abb. 1) befassen, über die allein zur Zeit ein einigermaßen sicheres Urteil möglich ist. Sie erhalten die Betriebsenergie besonders aus dem, durch benachbarte Ergänzungswerke verstärkten Kraftwerk „Great Falls“ am Oberlauf des Missouri, von wo drei 100 000 V-Hauptleitungen der „Montana Power Co.“ nach der Bahn führen, eine östliche nach Two Dot bei Harlowton, eine mittlere nach den Unterwerken Josephine, Piedmont und Janney und eine westliche (ebenfalls noch im Felsengebirge, bezw. an der Grenze des Abschnitts „Missoula“ gelegene) nach Morel und nach Gold Creek; ein weiteres Kraftwerk „Thompsons Fall“ am Westende des Abschnitts „Missoula“ ist nahe bei Avery angeschlossen. Von Two Dot bis Avery erstreckt sich, meist längs der Bahn, eine 585 km lange bahneigene 100 000 V-Leitung. Es ist bemerkenswert, dass diese Leitung auf Holzmasten verlegt ist; diese weisen 14 bis 15 m Höhe auf und tragen an zwei Traversen die drei Hochspannungsdrähte an Hänge-

R. Beeuwkes der Bahnverwaltung kürzlich¹⁾ veröffentlichten Arbeit über Betriebsresultate aus dem Jahre 1919. Danach sind in den Abschnitten „Rocky Mountain“ und „Missoula“ etwa 4,2 Milliarden tkm Gesamtzuggewicht im Güterzugverkehr, und etwa 0,8 Milliarden tkm im Personenzugverkehr, total also etwa $5,0 \times 10^9$ tkm geleistet worden, was eine Verkehrsdichte von etwa 800 t/h ergibt.²⁾ Eine solche Verkehrsdichte weist beispielsweise auch die Gotthardbahn im Falle normaler Ausnützung aus. Es ist bemerkenswert, dass die amerikanische Bahn bei *einspuriger* Anlage ebensoviel zu leisten vermag, allerdings dank der hohen Zuggewichte von über 3000 t und dank der grossen Triebachdrücke von 25,5 t der Güterzuglokomotiven. Durch die sehr reichliche Anzahl und Bemessung der Verstärkungsleitungen parallel zu den Fahrleitungen ist die massgebende Zahl Speisepunkte erheblich grösser, als die Zahl der Unterwerke, derart, dass die an sich für einen so dichten Verkehr nicht eben besonders hohe Spannung doch ausreicht.

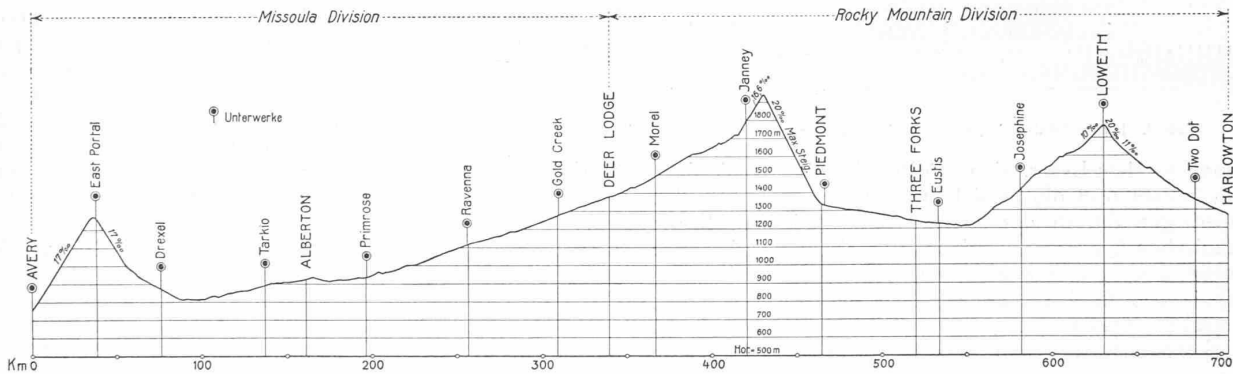


Abb. 1. Längsprofil der „Missoula Division“ und „Rocky Mountain Division“ des „Chicago Milwaukee & St. Paul Railway“, mit Eintragung der Unterwerke.

Isolatoren und eine unisolierte Erdleitung. Diese nach europäischen Begriffen „leichtsinnig“ verlegte Höchstspannungsleitung dürfte kaum mehr als 6,5 Millionen Fr. Anlagekapital aufweisen. Die an dieser Leitung liegenden 14 Unterwerke der zwei betrachteten Abschnitte enthalten je zwei oder drei Abtransformatoren von 100 000 auf 2300 V und je zwei oder drei Motorgenerator-Gruppen, die Drehstrom von 2300 V aufnehmen und Gleichstrom von 3000 V abgeben. Die Gesamtleistung der in den 14 Unterwerken insgesamt vorhandenen 32 Gruppen beträgt auf der Gleichstromseite 59 500 kW. Jede Gruppe umfasst einen Synchronmotor, zwei seriegeschaltete Gleichstrom-Generatoren zu 1500 V und eine Erregerdynamo zur Fremderregung des Motors, sowie der zwei Generatoren. Zur Ausrüstung der Unterwerke gehören auch die Zähleranlagen auf der 100 000 V-Seite und die notwendigen Apparate der Gleichstromseite zu 3000 V. Der Fahrstrom von 3000 V gelangt teils unmittelbar in die Fahrleitungsanlage, teils in positive und negative Verstärkungsleitungen. Die in Kettenaufhängung montierte Fahrdrähtanlage verwendet ebenfalls ausschliesslich Holzmasten, die in der Regel mit Auslegern ausgerüstet sind. Die finanziellen Aufwendungen für die Anlage der Unterwerke, der Fahrdräht- und Verstärkungsleitungen, sowie der Schienenverbindungen dürften etwa 40 Millionen Fr. betragen haben. Indem wir diesen Betrag mit der Bahnlänge von 707 km der durch die bezügliche Anlage bedienten Abschnitte „Rocky Mountain“ und „Missoula“ in Beziehung bringen, bilden wir das Verhältnis:

$$\frac{40\,000\,000}{707} = 56\,600 \text{ Fr./km}$$

das die spezifischen Elektrifizierungskosten zwischen den Energie-Eintrittsstellen der Unterwerke und den Stromabnehmern der Züge zum Ausdruck bringt. Zur Würdigung der Kosten der Verteilungsanlage ist die Kenntnis der Verkehrsdichte, die mit derselben bedient werden kann, von Bedeutung. Zur Abschätzung der Verkehrsdichte finden wir wertvolle Anhaltspunkte in einem vom Ingenieur

Dem genannten amerikanischen Aufsatz können wir auch die wünschenswerten Angaben über den *Energiebedarf* der Abschnitte „Rocky Mountain“ und „Missoula“ entnehmen. Die Bahn misst zur Abrechnung mit ihrem Energielieferanten die Energie an den Eintrittsstellen der Unterwerke, sowie auch, zur Kontrolle des Fahrdienstes, auf den Lokomotiven. Im Jahre 1919 wurden demgemäss rund 131,4 Millionen kWh Drehstrom (zu 100 000 V) aufgenommen und rund 88,5 Millionen kWh Gleichstrom (zu 3000 V) auf den Lokomotiven verbraucht. Nach Abzug gewisser kleiner Korrekturbeträge für Nebendienste ergibt sich nach unserer Quelle folgende Uebersicht der charakteristischen Zahlen des spezifischen Energiebedarfs des Gesamtzuggewichts:

Messtelle	Wattstunden pro Tonnenkilometer		
	Güterzüge	Personenzüge	Alle Züge
Eintritt Unterwerke . . .	23,9	27,2	24,5
Lokomotiven	16,1	18,6	16,5
Zwischen-Wirkungsgrad:	67,3 %	68,4 %	67,3 %

Diese ausserordentlich niedrigen Werte des spezifischen Energiebedarfs, in denen natürlich der Einfluss der Energie-Rückgewinnung enthalten ist — andere amerikanische Quellen besagen, ohne diese Rückgewinnung wären die Ziffern des spez. Energiebedarfs etwa 15% höher — veranlassen uns, die Energie am Radumfang an Hand des Längsprofils,

¹⁾ Nach «Electric Railway Journal», Band 56, Seite 272 (31. Juli 1920), ferner nach «General Electric Review», Band 23, S. 724 (Sept. 1920).

²⁾ Unsere amerikanische Quelle gibt für das Anhängengewicht die Zahlen 2,476 Milliarden ton-miles in Güterverkehr und 0,378 Milliarden ton-miles im Personenzugverkehr. Zum Berechnen des Gesamtzuggewichts gibt sie die Multiplikatoren 1,15 beim Güterverkehr und 1,43 beim Personenzugverkehr.

des Situationsplans und der Fahrdienst-Normen schätzungsweise nachzukontrollieren. Wir finden, zunächst ohne Rücksicht auf Rückgewinnung, die approximativen Werte¹⁾:

- 10,6 Wh/tkm für Reibung
 - 7,4 " für Hebung
 - 1,0 " für Beschleunigung
- 19,0 Wh/tkm im Ganzen am Radumfang.

Im Idealfall vollkommener Rückgewinnung wäre natürlich die für Hebung und für Beschleunigung angerechnete Arbeit überhaupt zu streichen. Bei Annahme eines Einflusses der Rückgewinnung von 15% finden wir dagegen für den Wirkungsgrad zwischen Radumfang und Stromabnehmer:

$$100 \times \frac{19,0}{1,15 \times 16,5} = 100\%$$

ein Resultat, das unzweifelhaft auch nicht möglich ist. Wir

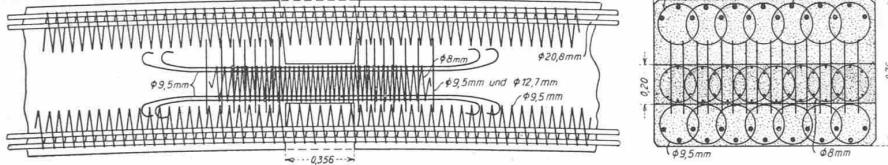


Abb. 4. Längsschnitt und Querschnitt durch das provisorische Scheitelgelenk. — Masstab 1:35.

überlassen es dem Leser, sich die Berichtigung zu denken, die ihm beliebt und die er sich, nach freier Wahl, bei den sehr niedrigen Ziffern des spezifischen Arbeitsbedarfs der amerikanischen Quelle oder bei unserer ebenfalls niedrigen Schätzung des spezifischen Arbeitsbedarfs am Radumfang oder an beiden Stellen zugleich angebracht denken kann; wir bemerken nur, dass wir persönlich zur Annahme neigen, die Verkehrsleistungen der amerikanischen Quelle seien

einige Prozente zu hoch angegeben, was bei Verkehrsstatistiken sehr leicht möglich ist.²⁾ Bei Berücksichtigung der Rückgewinnung im Arbeitsbedarf am Radumfang selbst und bei Annahme eines mittlern Wirkungsgrades von 87% zwischen Radumfang und Stromabnehmer der Lokomotiven ergäbe sich vom Radumfang zu den 100 000 V-Eintrittsstellen der Unterwerke ein Durchschnitts-Wirkungsgrad von:

$$100 \cdot 0,87 \cdot 0,673 = 58,5\%$$

Vom Radumfang bis an die Generatorklemmen der Energie produzierenden Kraftanlagen der

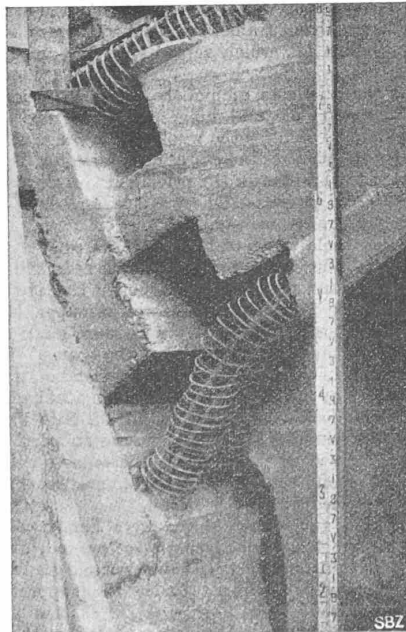


Abb. 3. Provisorisches Gelenk am Kämpfer.

„Montana Power Co.“ dürfte der durchschnittliche Gesamtwirkungsgrad 50% vermutlich nicht überschreiten. Nichtsdestoweniger ist die Anlage angesichts der Umformung aller Energie grundsätzlich als eine Gleichstrom-Anlage von relativ hohem Wirkungsgrade zu bewerten.

W. Kummer.

¹⁾ Zum Vergleich sei bemerkt, dass entsprechend für die Gotthardbahn am Radumfang mit der Arbeitsumme:

$$15,3 + 12,3 + 2,4 = 30,0 \text{ Wh/tkm}$$

gerechnet werden dürfte.

²⁾ Für die Umrechnung der „ton-miles“ in tkm setzten wir „1 mile“ = 1,609 km, „1 ton“ = 2000 lbs = 0,907 t.

Neue Brücke über die Mersey in Warrington.

Als Ersatz für die bisherige, 1837 erbaute, steinerne Brücke mit drei Oeffnungen führt seit einigen Jahren über die Mersey in Warrington, oberhalb Liverpool, eine Eisenbeton-Bogenbrücke, die einige bemerkenswerte Einzelheiten aufweist. Die Brücke, von der Abbildung 1 auf Seite 231 eine Gesamtansicht gibt, überschreitet den Fluss mit einer Oeffnung von 40,8 m Spannweite und 24,4 m Breite und besteht aus acht flachen, parabolischen Bogenträgern, deren Breite durchgehend 1,14 m und deren Höhe 0,76 m im Scheitel und 1,20 m an den Widerlagern beträgt. Sie ist nach dem System Considère aus umschnürtem Beton erstellt. Die Armierung jedes Trägers besteht aus 30 Eisen von 20,8 mm Durchmesser, die symmetrisch an der obern und der untern Leibungsfläche verteilt sind, und zwecks Erhöhung des Widerstandes gegen die bei so flachen Bogen auftretenden hohen Druckbeanspruchungen zu je dreien mittels ineinandergreifender Spiralen von 200 mm Durchmesser aus 9,5 mm Draht umschnürt sind. Mit Rücksicht auf das Schwinden des Betons und das Setzen des Bau-

werks nach dem Ausrüsten unter dem Einfluss seines Eigengewichts sind die Bogen während des Baues vorübergehend mit drei Gelenken versehen worden. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Einzelheiten des Kämpfergelenks, Abbildung 4 jene des Scheitelgelenks. Die Höhe des Bogens ist an den betreffenden Stellen auf 200 mm reduziert, wobei die Armierung entsprechend stärker gehalten ist, wie dies in Abbildung 4 für das Scheitelgelenk gezeigt ist. Als grösste Druck-Beanspruchung des Gelenk-Beton werden 105 kg/cm² angegeben. Nach dem Ausrüsten des Bogens wurden die Gelenkstellen ausbetoniert.

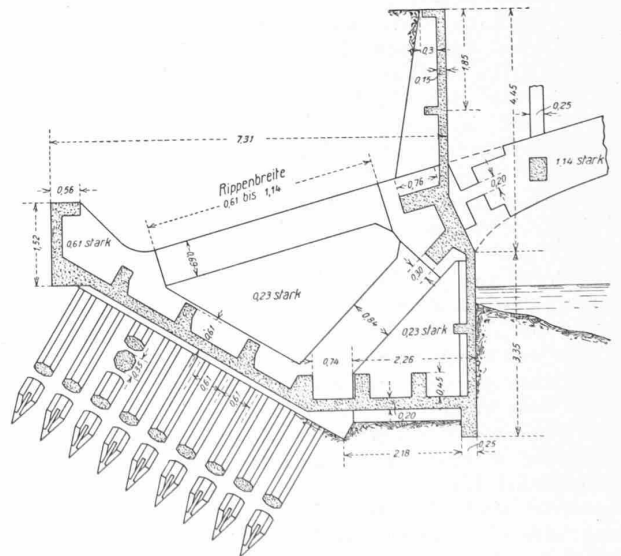


Abb. 2. Längsschnitt durch ein Widerlager. — Masstab 1:125.

Die Fahrbahn ruht auf den Bogen mittels kurzer Säulen, die insbesondere in der Längsrichtung schmal gehalten sind, um bis zu einem gewissen Masse ein Pendeln derselben im Moment des Ausrüstens zu gestatten, wenn das Bauwerk unter dem Einfluss der toten Lasten als Dreigelenkbogen seinen Gleichgewichtszustand annimmt.

Infolge der auf die Widerlager wirkenden hohen Kräfte, die für jede einzelne Rippe des Bogens 360 t erreichen, war eine besondere Konstruktion der Widerlager erforderlich, die aus Abbildung 2 ersichtlich ist. Die Fundamente reichen bis etwa 2,75 m unter Niederwasserspiegel und wurden unter Zuhilfenahme von Spundwänden erstellt.