**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
**Band:** 95/96 (1930)
**Heft:** 24

**Artikel:** Die interstaatlichen Brücken zwischen New York und New Jersey
**Autor:** Ammann, O.H.
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-44012

**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:** 13.07.2025

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

Der kinetische Energieverlust für 1 kg der durchströmenden Menge ist dann an der betrachteten Stelle

$$Z = \frac{w_t^2 - w^2}{2g} = \frac{\Delta p_t - \Delta p_g}{\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Um den Gesamtverlust zu bestimmen, benützt man am besten die als „Stromenergie" bezeichnete Grösse[1])

$$W = \int_0^F dG \left[ \frac{w^2}{2g} + \int_{p_0}^{p} v\, dp \right] \quad \text{mit} \quad dG = df w \gamma \quad . \quad (4)$$

Aus dieser thermodynamischen Gleichung (die eine Konstanz der Temperatur, wie die üblichen „hydraulischen" Gleichungen, nicht voraussetzt) berechnet sich die zwischen zwei Querschnitten $F_1$, $F_2$, geleistete Gesamtreibungsarbeit als

$$A_r = \int_0^{F_1} - \int_0^{F_2} = W_1 - W_2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Bei stärkeren Entspannungen würde hierin allerdings die Bestimmung des Integrals $\int v dp$ Schwierigkeiten machen, da man, um die Abhängigkeit des $v$ von $p$ zu ermitteln, die „Wärmegleichung" mit heranziehen müsste. Im vorliegenden Fall sind die Druckänderungen so klein, dass die Annahme $v$ = unveränderlich erlaubt ist, obschon die Aenderungen von $v$ von gleicher Grössenordnung sind, wie die von $p$. [Man kann in der Tat den Unterschied der Druckglieder in Gleichung (5) als $\int dG \left[ \int^{p_1} v\, dp - \int^{p_2} v\, dp \right] = \int dG \int_{p_2}^{p_1} v\, dp$ schreiben, wobei für alle Punkte $\int_{p_2}^{p_1} v\, dp = v_0 (p_1 - p_2)$ mit unveränderlichem $v_0$ gilt.] Somit lautet Gl. (5) ausführlicher, da sich das Integral $\int v_0 p_0\, dG$ in beiden Gliedern weghebt, indem man statt dessen $\int v_0 p_a\, dG$ als + und — hinzufügt,

$$A_r = \int_0^{F_1} \left( \frac{w_1^2}{2g} + v_0 \Delta p_{s_1} \right) w_1 \gamma\, df - \int_0^{F_2} \left( \frac{w_2^2}{2g} + v_0 \Delta p_{s_2} \right) w_2 \gamma\, df \quad (6)$$

Die Reibungsarbeit ist, wie bekannt[2]), um den Betrag der wiedergewinnbaren Reibungswärme grösser als der kinetische Energieverlust gegenüber reibungsfreier Strömung. In unserem Falle ist dieser Unterschied verschwindend klein. Im Integral (6) sind beide Glieder auf das gleiche Gesamtgewicht $G$ i. d. sec. zu beziehen. Die Integrationsbreite wird zweckmässig bis zu dem Punkt auszudehnen sein, wo der statische Ueberdruck verschwindet. Wir haben in der Mündungsebene eine Breite von 30 mm in Betracht gezogen. Wenn mehr Beobachtungen vorlägen, verlohnte es sich, die Verluste absolut auf die Längeneinheit der Stegkante umzurechnen.

Eine vorläufige Auswertung mit Benützung weiterer Beobachtungen, die hier noch nicht aufgenommen werden konnten, bei welchen die Eintrittskante zugeschärft war, ergab als Energieverlust bei stumpfer Austrittskante rund 5 %, bei zugeschärfter Austrittskante rund 2 %.

Diese Zahlen beweisen, dass eine Strahlablösung bei der zugeschärften Schaufel, wie man „dem Gefühle nach" erwarten könnte, nicht eingetreten ist, so dass sich die Zuschärfung günstig auswirken konnte. Durch weitere Versuche soll die Grenze festgestellt werden, von welcher ab ein Wirbel-Totraum sich zu bilden beginnt. Auch die Ausdehnung der Untersuchung auf Modelle wirklicher Leitschaufeln ist geplant, denn die Genauigkeit dieser Messungsart lässt sich wohl über diejenige der Gesamtimpuls-Bestimmung steigern, und man darf hoffen, für die Beurteilung der Dampfwirkung in Leitschaufeln nützliche Gesichtspunkte zu gewinnen.

[1]) Siehe deren Ableitung in „Dampf- und Gasturbinen" S. 33. Da hier die innere Reibung eine massgebende Rolle spielt, sei auf die Begründung der Energiegleichung auf S. 881 und insbesondere S. 883 auf den zweiten Absatz von oben hingewiesen. Hier sind die Voraussetzungen, auf denen die Ableitungen S. 30 beruhen, näher präzisiert und zugleich die strenge Richtigkeit der auf Seite 30 vereinfacht abgeleiteten Ergebnisse dargetan.

[2]) „Dampf- und Gasturbinen", S. 44.

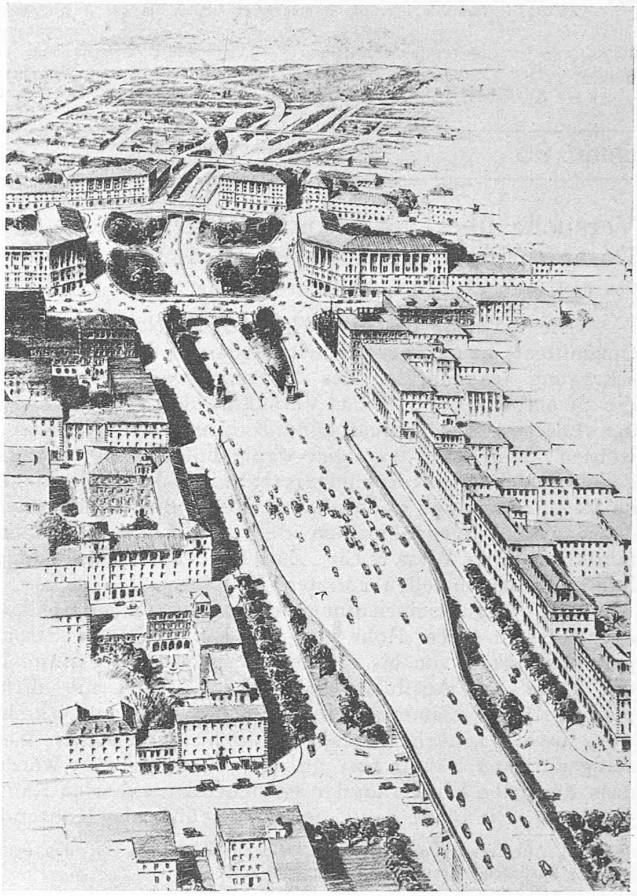

Abb. 5. Zufahrt zur Brücke auf dem westlichen Ufer, Seite Jersey City.

## Die interstaatlichen Brücken zwischen New York und New Jersey.

Von Ing. O. H. AMMANN, New York.

(Fortsetzung statt Schluss von Seite 288).

III. DIE BRÜCKE ÜBER DEN HUDSON RIVER.

Die geographischen und geologischen Verhältnisse beschränkten die Lösung der Aufgabe, den Hudson River im nördlichen Teil der Insel Manhattan zu überbrücken, schon zu Beginn der Vorarbeiten auf bestimmte Richtlinien.[1]) Die Lage des Bauwerkes, innerhalb der behördlich festgelegten Grenzen, ergab sich aus dem Verlauf der beiden Ufer. Die grosse Breite des Flusses und der Verlauf der Felsformation bestimmten die grosse Spannweite der Mittelöffnung, während die Höhe der Fahrbahn über dem Wasserspiegel der Höhenlage der bestehenden Zufahrtstrassen angepasst werden musste. Beim Vergleich der Kosten verschiedener Brückenarten waren keine weitgehenden Untersuchungen erforderlich; die ökonomischen Vorteile einer Hängebrücke für derart grosse Spannweiten sind heute allgemein anerkannt, dazu kamen im vorliegenden Falle noch die günstigen lokalen Verhältnisse. Die technische Aufgabe bestand daher hauptsächlich im rationellen Ausarbeiten aller Einzelheiten des grossen Bauwerkes. Die Werkzeuge der heutigen Ingenieurwissenschaft erlaubten ein tiefes Eindringen und Abklären theoretischer Probleme, während die Industrien dauerhafte und zuverlässige Baumaterialien zur Verfügung haben.

Besonderes Gewicht wurde auf die ästhetische Wirkung des Bauwerkes gelegt. Die Hauptabmessungen der Brücke waren wohl durch ihre Lage bestimmt; gewisse Teile jedoch, wie Pylonen, Verankerungen und Zufahrten, gaben Möglichkeiten in Fülle, das Bauwerk mit der Landschaft zu einem harmonischen Ganzen zu verschmelzen.

[1]) Vergl. die Ausführungen von Ing. Ammann in Band 85, Seite 7 (3. Januar 1925). Red.

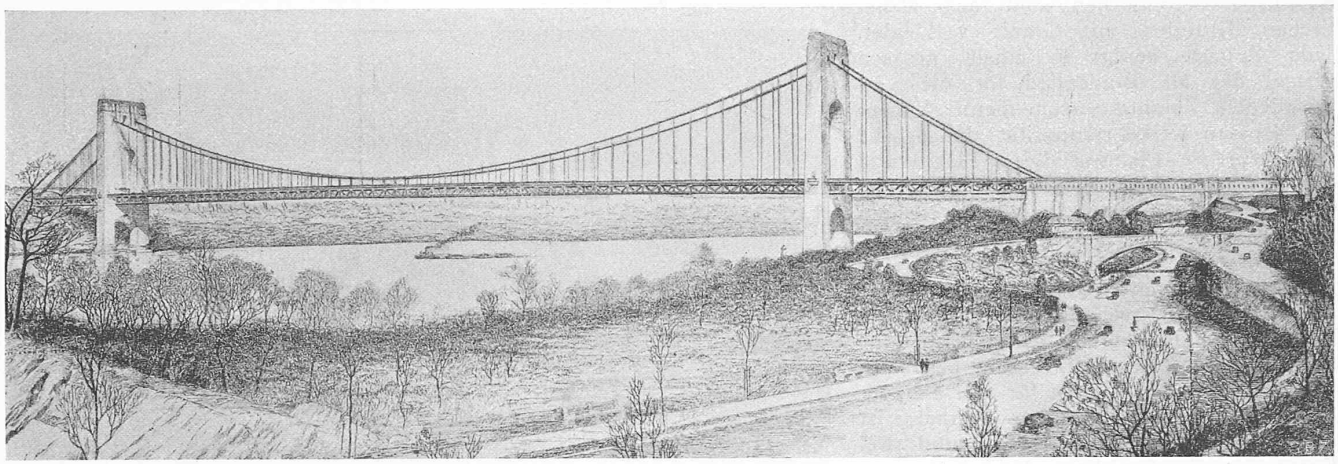

Abb. 7. Gesamtansicht der Brücke über den Hudson River, stromaufwärts gesehen. Rechts östliches Ufer, Seite New York.

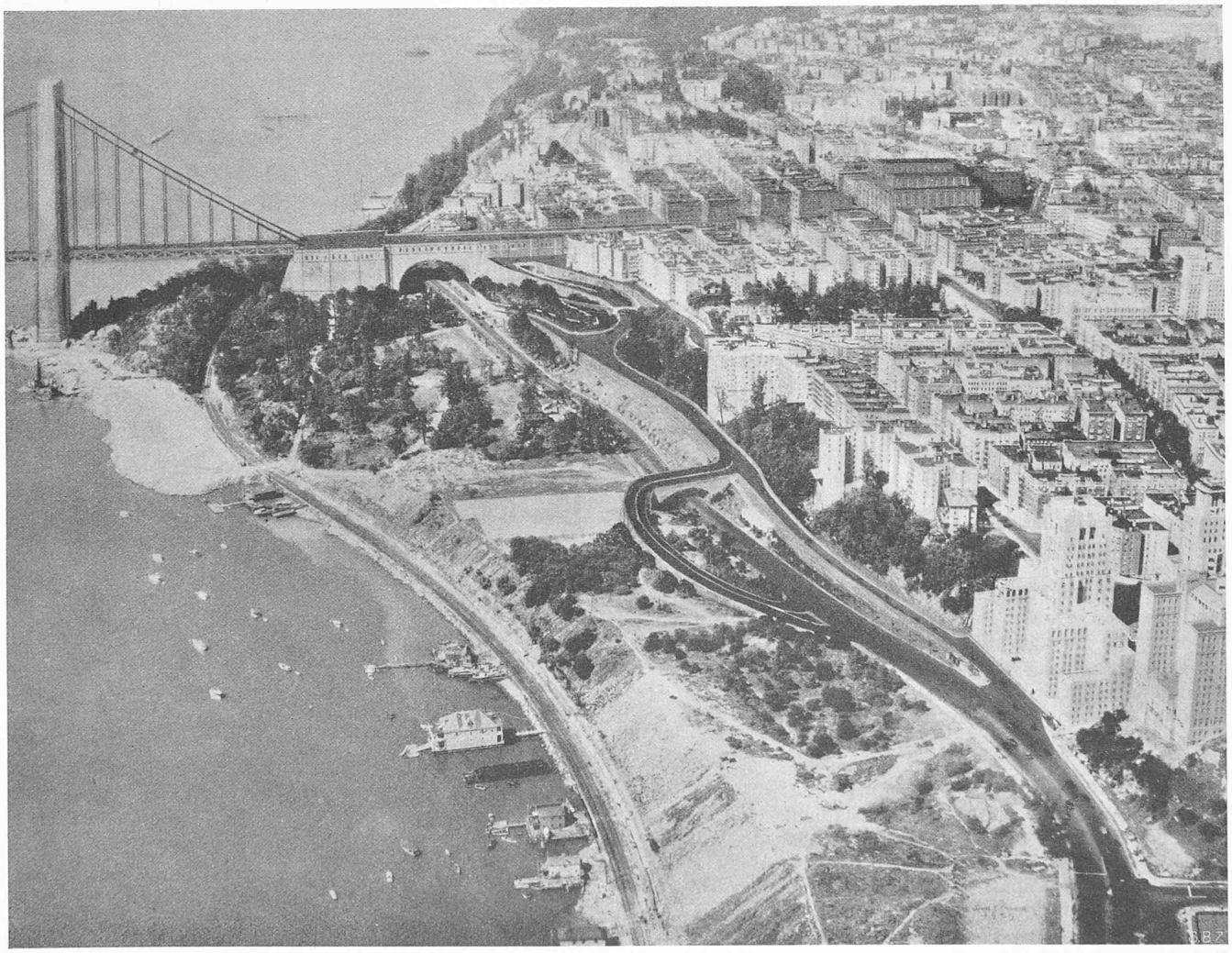

Abb. 6. Fliegerbild der östlichen Zufahrt zur Hudson-Brücke, Seite New York (Manhattan).

Die steil aufsteigenden Felsen des westlichen Ufers boten natürliche Verankerungstellen für die Kabel. Der Fels fällt jedoch ebenso steil ab unter dem Wasserspiegel und bestimmte so nicht nur die Lage der Verankerungen (Abb. 15 und 16 auf Seite 316), sondern auch die der Pylonengründung und somit die Länge dieser Seitenöffnung. Die Verhältnisse des östlichen Ufers (Abb. 17 und 18 auf S. 317) beschränkten die Abmessungen nicht in diesem Masse; ästhetische Gründe jedoch führten zu einer symmetrischen Anlage des Bauwerkes. Die Spannweiten ergaben so für die Mittelöffnung 1066,8 m und für die Seitenöffnungen je 198 m. Das Lichtraumprofil hat bei einer Länge von 980 m eine minimale Lichthöhe von 61 m — was für die Durchfahrt der grössten Dampfer genügt.

Die Zufahrten sind verhältnismässig kurz, da beide Ufer schnell ansteigen. Die westliche Zufahrt verläuft im Felseinschnitt, während die Fahrbahn in New York über eine monumentale Mauerwerk-Konstruktion geleitet wird, die mit der mächtigen Verankerung zusammen zu einer harmonischen Einheit ausgebildet wurde (Abb. 6 und 7).

Sämtliche Betonflächen sind aus ästhetischen Gründen mit Granit verkleidet. Jede Zufahrt endigt in einem grossen Platze, der als Bindeglied für die verschiedenen Zufahrtstrassen dient. Infolge der grossen Verkehrskapazität der Brücke erforderte die Planung dieser Plätze und der anschliessenden Strassenverbindungen besondere Aufmerksamkeit und ausgedehnte Studien.

Die Brücke, deren gegenüber dem ersten Projekt[1]) abgeänderter Querschnitt aus Abb. 8 ersichtlich ist, hat zwei übereinanderliegende Fahrbahnen. Die obere ist ausschliesslich für Strassen- und Fussgängerverkehr bestimmt, während die untere Raum für vier Schnellbahngeleise bietet. Die obere Fahrbahn ist eingeteilt in drei Verkehrstrassen und zwei Fusswege; die eine dieser Verkehrstrassen liegt in Brückenmitte und hat eine Breite von 12,2 m; sie bietet Raum für vier Verkehrspuren und ist besonders für Personenwagen bestimmt. Vorläufig werden nur die beiden äussern Teile der Fahrbahn ausgebaut, damit der Verkehr so bald wie möglich über die Brücke geleitet werden kann. Diese beiden Streifen haben eine Breite von je 7,3 m; jeder bietet genügend Raum für zwei Lastwagen oder drei Personen-Automobile. — Das untere Deck wird vorläufig ganz weggelassen. Die Brücke ist jedoch für volle Kapazität berechnet, sodass später diese Fahrbahn angebaut werden kann, ohne dass tragende Teile des Bauwerkes verstärkt werden müssen.

Anstelle der beim ersten Projekt vorgesehenen Ketten dienen Kabel als Tragorgane, und zwar sind vier Kabel in Paaren von je zwei angeordnet. Der Abstand zwischen den beiden Paaren beträgt 32,3 m. Jedes Kabel hat einen Querschnitt von 5160 cm², einen Durchmesser von 91,5 cm und enthält 26 474 parallel liegende Drähte, was eine Drahtlänge von insgesamt rd. 170 000 km ausmacht.

Die eisernen Pylonen (Abb. 10 und 11) sind über 180 m hoch; jeder hat einen durchschnittlichen Querschnitt von 73 600 cm².

Der Aushub für das erste Baustadium beträgt ungefähr 230 000 m³. Das Mauerwerk benötigt 270 000 m³ Beton und 15 000 m³ Granit; ferner müssen 95 000 t Eisen montiert werden, bevor die Brücke dem Verkehr geöffnet werden kann.

Die Kosten für das erste Baustadium belaufen sich auf ungefähr 60 Millionen Dollars. Der Ausbau der Brücke mit Zufahrten für volle Kapazität wird die Kosten auf etwa 75 Millionen Dollars erhöhen.

Die Verankerungen der Hudson River Brücke sind bereits beendigt; die eisernen Skelette der Pylonen sind errichtet; die Montagekabel überspannen die grosse Breite des Flusses, und das Spinnen der vier Kabel [das in nächster Nummer näher beschrieben werden soll. Red.] ist in vollem Gange begriffen. Die Arbeiten schreiten schneller fort als vorgesehen war, sodass heute auf die Eröffnung der Brücke für den Verkehr Anfangs 1932 gerechnet werden kann. (Schluss folgt.)

[1]) Band 85, Seite 7 (3. Januar 1925).

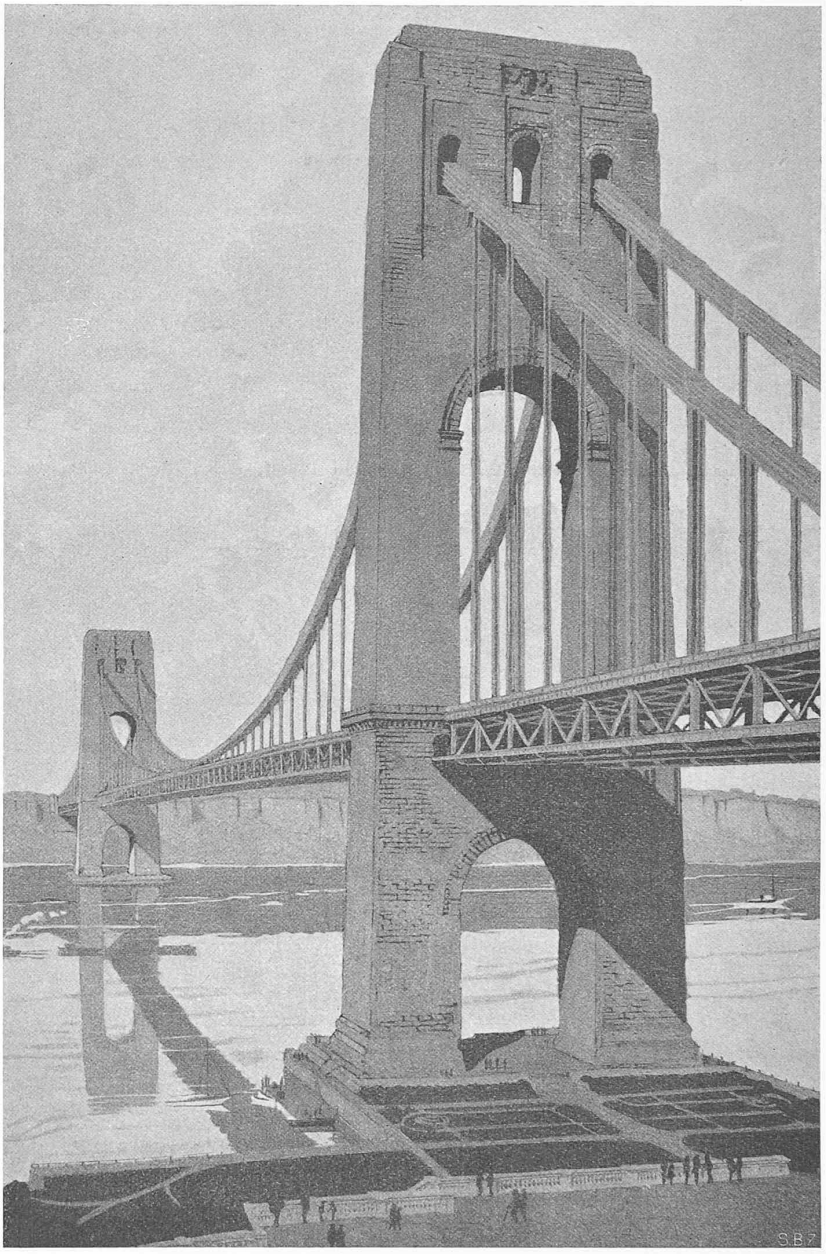

Abb. 10. Blick auf die Brücke von New York aus gegen Westen (erstes Brückenprojekt, mit Ketten).

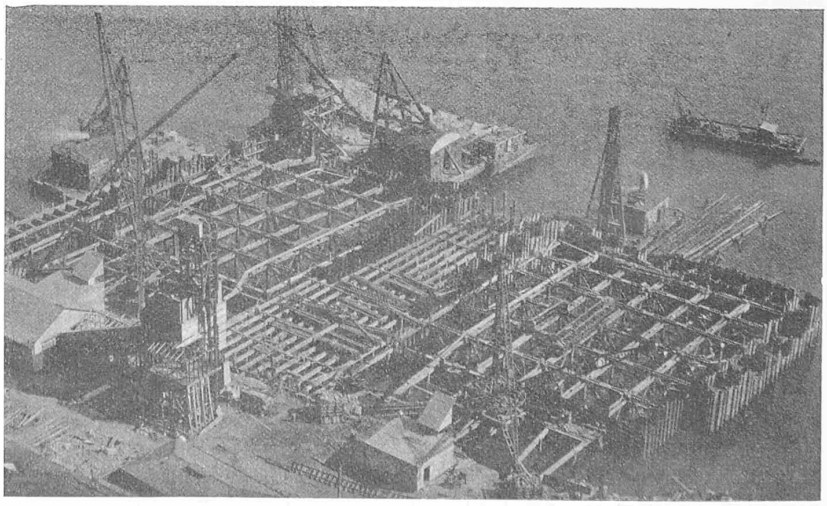

Abb. 9. Fundation des westlichen Turms, Seite New Jersey (24. Oktober 1927).

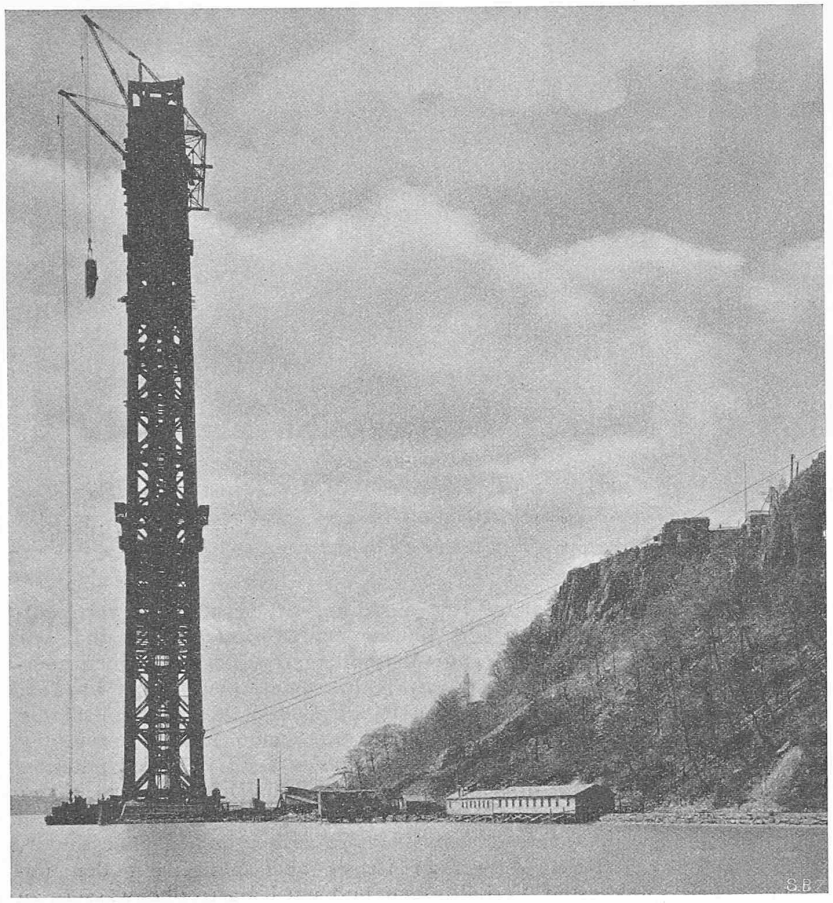

Abb. 11. Eiserner Turmpfeiler auf Seite New Jersey, im Bau (10. Mai 1929).

## Wald- und Hochwasserschutz.

Von Ing. GEORG STRELE, Hofrat d. R., Innsbruck.

(Fortsetzung von Seite 305.)

Aus der Zusammenstellung und dem Vergleich der Abflussprozente geht ohne Zweifel hervor, dass der Wald den Höchstabfluss im allgemeinen wesentlich vermindert und namentlich bei Gewitter- und Schlagregen die Hochwasserwelle bedeutend mässigt. Da die letztgenannten Elementarereignisse die Hochwässer in den Wildbach-Gebieten verursachen, übt der Wald auf den Abfluss der Hochwässer in den Wildbächen sehr häufig einen ausschlaggebenden Einfluss aus. Bei Landregen oder länger dauernden Regenperioden ist aber das Abflussverhältnis des Waldes mitunter sogar grösser als jenes des Freilandes. Daher sagt auch Prof. Engler, dass der Wald unter Umständen sein Retentionsvermögen vollständig verlieren könne, ja dass aus ihm mitunter grössere Wassermengen abfliessen als vom Freiland. Nun sind aber für die Hochwässer der Flüsse solche Landregen und längere Regenperioden massgebend, und es folgt daraus, dass der Wald nicht mit Sicherheit imstande ist, Ueberschwemmungen in solchen Gebieten zu verhüten.

Es kommt aber bei Landregen mitunter auch vor, dass sich der Niederschlag zu einem lokalen Wolkenbruch verdichtet. In solchen Fällen können die Pflanzendecke und der Boden des Waldes bereits mit Wasser gesättigt und das Retentionsvermögen bereits erschöpft sein, so dass der Wald dann auch in kleinern Gebieten aussergewöhnliche Hochwässer nicht mehr zu verhüten vermag. Tatsächlich ist ja bei den meisten Hochwasserkatastrophen, auch wenn sie ausgedehnte Flussgebiete betreffen, zu beobachten, dass in den Zentren des Niederschlages Muren aus Wildbächen abgehen, während ausserhalb dieser Zentren die kleinen Wasserläufe verhältnismässig ruhig bleiben.

So wertvoll die mehrerwähnten Untersuchungen der schweizerischen forstlichen Zentralanstalt sind, muss doch darauf verwiesen werden, dass die während der Beobachtungszeit im Emmental gemessenen Regen an Intensität und Gesamtergiebigkeit hinter den anderwärts beobachteten wesentlich zurückbleiben und demgemäss auch keine Wasserstände zu verzeichnen waren, die einem Katastrophenwasser nahe kommen.

Die grösste in der Schweiz gemessene Regenintensität dürfte jene vom 26. Juli 1895 sein, an welchem Tage in Heiden innerhalb zehn Minuten 50 mm Regen fielen, also durchschnittlich 5 mm pro Minute. Nicht viel geringer ist jene vom 28. Juli 1896 in Basel, wo 22,3 mm in 5 Minuten gemessen wurden, also nahezu 4,5 mm in der Minute. Während dieser letzte Regen wegen seiner kurzen Dauer keine besonders grossen Wassermengen lieferte, fällt der ersterwähnte Wolkenbruch auch durch die Gesamtregenmenge auf, denn das Mass von 50 mm wird in unsern Gebieten selbst bei einstündigem Regen nur selten erreicht und entspricht schon einer ziemlich grossen Tagessumme. Die Tagesmaxima in unsern Gebieten übersteigen öfters weit das Mass von 100 mm. So fielen am 11. Juni 1876 in Zürich 171 mm, am 1. September 1881 in St. Gallen 250 mm, am

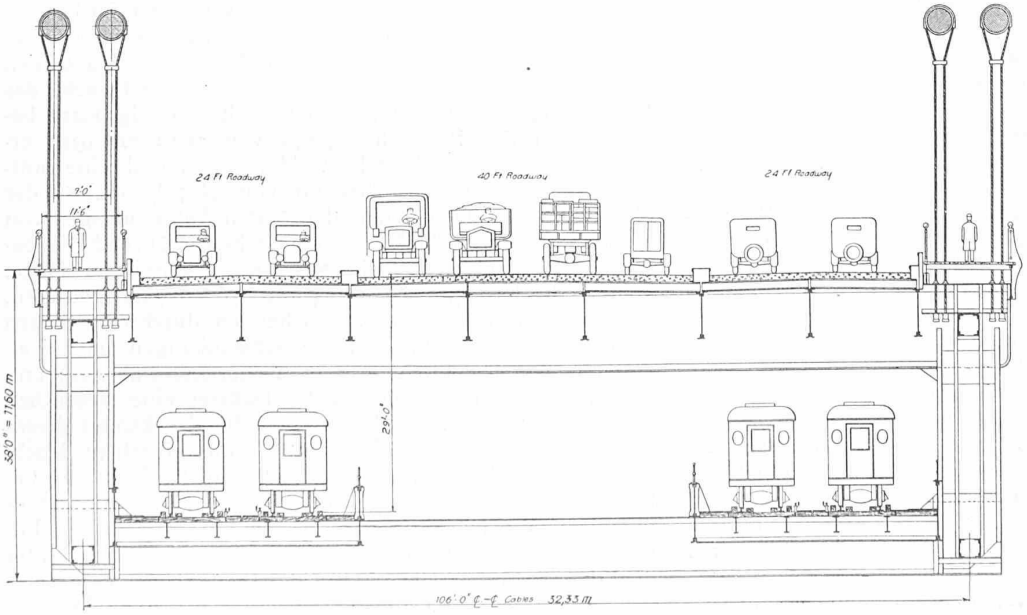


Abb. 8. Querschnitt der Hängebrücke über den Hudson River. — Masstab 1 : 250.

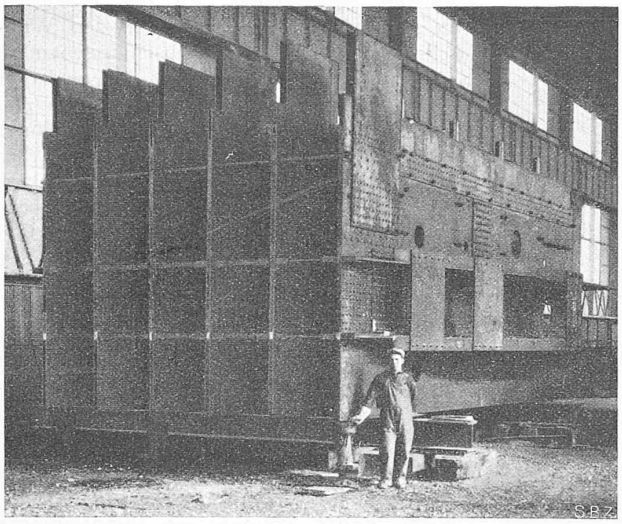

Abb. 12. Stück eines Turmpfeilers von 150 t Gewicht.

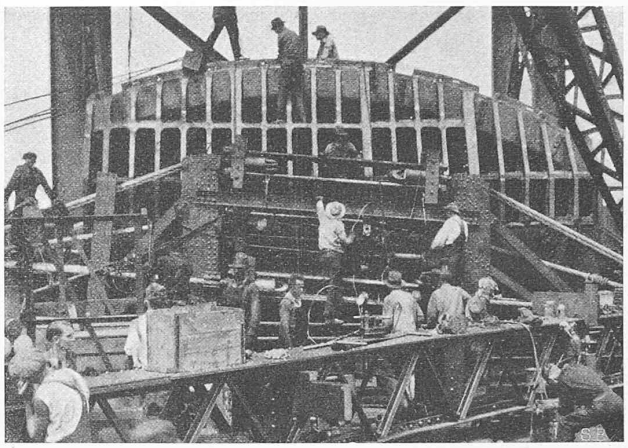

Abb. 14. Befestigung der Kabel für die Hilfsbrücken (worüber Näheres in nächster Nummer) am provisorischen Sattel auf dem Turmkopf (12. Aug. 1929). Im Hintergrund der Sattel für das Haupttragkabel.

31. Juli 1874 am Gäbris 260, am 24. September 1924 im Valle Maggia und Centovalli 254, am 28. September 1868 am Bernhardinberg 254 und am St. Gotthard 280 mm, am 14. Juni 1910 in Ebnit in Vorarlberg 229 mm. In Oberösterreich, Steiermark und Kärnten wurden bei den Hochwässern 1899 und 1903 in mehreren Stationen Tagesniederschläge bis zu 287 mm (Admont) gemessen, in Neuwiese bei Reichenberg in Nordböhmen am 29. Juli 1897 sogar 345 mm. Am vorderen Langbath-See in Oberösterreich fielen am 12. September 1899 254,7 mm Niederschläge, und es ist wahrscheinlich, dass auf den Abhängen des Höllengebirges, das die rund 690 m hoch gelegene Beobachtungsstation um mehr als 1100 m überragt, an diesem Tage stellenweise gleichfalls mehr als 300 mm gefallen sind. — In mehrtägigen Regenperioden wurden, um nur zwei Beispiele anzuführen, gemessen in Höhenschwand im Schwarzwald in drei Tagen, nämlich vom 25. bis 27. Dezember 1882, 247 mm, d. i. $^1/_5$ des Jahresmittels, und in Alt-Aussee im Jahre 1899 in 6 Tagen 656,5 mm, bei einer mittleren Jahresniederschlagsmenge des Salzkammergutes von rund 1200 mm. — Zum besseren Vergleiche dieser Niederschlagsmengen mit den spezifischen Hochwassermengen sei angeführt, dass ein Niederschlag von 5 mm in der Minute eine Wassermenge von 83,33 $m^3/sec/km^2$ liefert, 60 mm Regen in der Stunde geben 16,67 $m^3/sec/km^2$ und 100 mm pro Tag 1,17 $m^3/sec/km^2$.

Sehr häufig werden die Regenmengen noch vermehrt durch die Schneeschmelze, wie dies z. B. 1868 im Rheingebiete, 1882 in Südtirol und Kärnten und 1910 in Vorarlberg der Fall war.

Von den beobachteten Regenfällen im Emmental brachte einzig der 13. Juni 1915 ungewöhnlich intensive Niederschläge, die im Sperbelgraben eine Maximalintensität von 16,778 $l/sec/km^2$ in der halben Stunde und im Rappengraben eine solche von 23,833 erreichten; die Gesamtregenhöhe im ersten von 30,7 mm in 55 Min. und im zweiten von 54,7 mm in 65 Min. bleibt jedoch gegenüber anderwärts festgestellten Höchstwerten nicht unbedeutend zurück und reichte auch nur hin, um im Sperbelgraben einen Höchstabfluss von 786,3, im Rappengraben einen solchen von 3082 $l/sec/km^2$ zu erzeugen, während in Gebieten von so geringer Ausdehnung spezifische Hochwassermengen bis zu 10 000 l und mehr vorkommen. So wurde im Jahre 1926 die Hochwassermenge des 2,4 $km^2$ entwässernden Rütibaches bei Giswil, Kanton Obwalden, auf 10 800, jene des Steinenbaches im Kanton St. Gallen, dessen Einzugsgebiet 18,8 $km^2$ umfasst, im Jahre 1927 auf 10 700 $l/sec/km^2$ berechnet.

Darüber, wie sich der Wald bei Elementarereignissen, die derartige Hochwässer erzeugen, oder bei Regengüssen von 200 mm im Tag auswirke, geben uns die veröffentlichten Messungergebnisse keinen Aufschluss, und wir können hierüber nur Vermutungen aufstellen, denen allerdings eine Beweiskraft fehlt. Wahrscheinlich ist es aber doch, dass in solchen Fällen der Waldboden vollständig mit Wasser gesättigt wird und seine Retentionswirkung sich vorzeitig erschöpft, wie dies bei Landregen mitunter beobachtet wurde. Es sagt ja auch Dr. Burger in seiner eingangs erwähnten Abhandlung, „wenn das Reservoir voll ist, fliesst ein weiterer Niederschlag fort in die Abflussrinne".

Beim Wasserbau ist es aber nötig, mit den ungünstigsten Verhältnissen und mit Katastrophenwässern zu rechnen, die sich nur selten, vielleicht in Jahrhunderten nur einmal einstellen, mitunter aber auch in kurzen Zeitabschnitten im gleichen Gebiete wiederholen können. So betrachtete man im Salzkammergut das Hochwasser des Jahres 1897 als ein solch „säkulares", und doch wurde es schon durch jenes vom Jahre 1899 noch übertroffen, und der furchtbaren Hochwasserkatastrophe, die im September 1882 Südtirol und Kärnten verheerte, folgten schon wenige Wochen später, im Oktober, eine zweite und im Jahre 1885 eine dritte im gleichen Gebiete.

Unter dem Titel „Einfluss des Waldes auf den Wasserabfluss bei Landregen" hat das Eidgen. Oberbauinspektorat in Heft 9, Band 94 der „S. B. Z." Niederschlags- und Abflussmessungen aus zwei Tälern im Kanton Tessin veröffentlicht, um hiermit einen Beitrag zur Lösung der in Rede stehenden Frage zu liefern. Von den beiden Gebieten ist das Bleniotal zu 18 %, also schwach, das Misox hingegen zu 33 %, also verhältnismässig stark bewaldet. In der Beobachtungszeit von 1912 bis 1927 ergab sich aus dem schwachbewaldeten Bleniotal eine mittlere Abflussmenge des Brenno von 48,7 $l/sec/km^2$, der Mittelwerte der kleinsten und grössten Abflussmengen von 12,6 und 503 $l/sec/km^2$ gegenüberstehen, während die betreffenden Zahlen für die aus dem waldreichen Misox kommende Moesa 50,2 bezw. 9,4 und 876 $l/sec/km^2$ betragen. Bei wenig von einander abweichenden durchschnittlichen Abflussmengen sind mithin die Schwankungen im bewaldeten Gebiet bedeutend grösser als im unbewaldeten, und es erreichen im ersteren die Hochwässer eine wesentlich grössere Intensität. Noch weit auffallender kommt dieses Verhältnis beim Vergleiche der für die einzelnen Hochwässer angegebenen Zahlen zum Ausdruck. Im Misox beträgt die grösste Hochwassermenge 1528 $l/sec/km^2$ und es übersteigt die Hochwassermenge in vier Jahren des Beobachtungszeitraumes das Mass von 1000 $l/sec/km^2$, hinter dem das spezifische Hochwasser des Blenio-Gebietes wesentlich zurückbleibt, da die hier gemessene grösste Wassermenge in der ganzen Zeit nur 788 $l/sec/km^2$ beträgt.

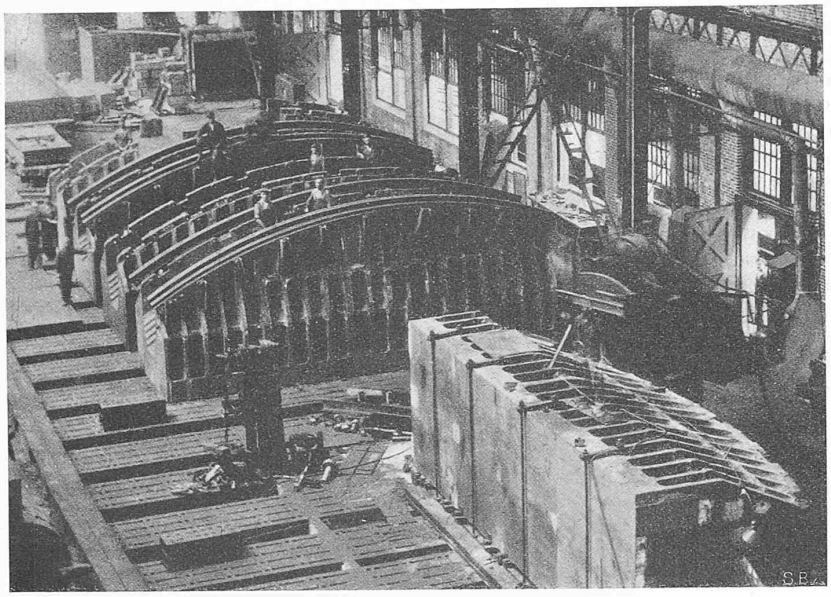

Abb. 13. Sättel für die Haupttragkabel.

Die Niederschlagsmengen gibt das Oberbauinspektorat für das Bleniogebiet etwas grösser an als für das Misox. Den betreffenden Berechnungen sind für das erste die Messungen der beiden Stationen Olivone und Comprovasco, für das letztgenannte jene der drei Stationen Braggio, Misox und Grono zu Grunde gelegt. Bei Gebieten mit einer Flächenausdehnung von 404 (Blenio) und 477 km² (Misox) lässt sich eine verlässliche Berechnung der Niederschlagsmengen aus so wenigen Stationen nicht durchführen, denn die Intensität der Regen wechselt mitunter auch zwischen benachbarten Orten innerhalb des Gebietes ausserordentlich stark. Auf diesen Umstand weist auch Burger in seinem Artikel „Zur Aufklärung über den Einfluss des Waldes auf den Wasserabfluss bei Landregen" in der „S. B. Z." (vom 16. Nov. 1929) hin, und er berechnet die mittlere Jahresniederschlagsmenge beider Gebiete nach der Regenkarte von Dr. Lugeon. Er stellt fest, dass jene des Misox um 6 % grösser sei als die des Bleniotales, während die entsprechende Differenz der mittleren Abflussmengen nur 3 % betrage. Mit dieser Feststellung ist aber eine Erklärung dafür nicht gegeben, dass die aus dem waldarmen Gebiete abfliessende Kleinstwassermenge jene des waldreichen Gebietes um nahezu 35 % übertrifft, während die mittlere Hochwassermenge des waldreichen jene des waldarmen um 74 % übersteigt. Dieses Verhältnis erhöht sich für die absolut grössten Hochwässer des Beobachtungszeitraumes sogar auf mehr als 93 %. Wenn Dr. Burger die Gleichartigkeit der sonstigen Verhältnisse, sohin die Vergleichbarkeit der beiden Flussgebiete in Zweifel zieht und auch darauf verweist, dass wir über die Intensität der Niederschläge, die diese Hochwässer verursacht haben, nicht unterrichtet sind, ist damit wenig gewonnen und es bleibt der Wunsch, dass die auffallenden Abflussverhältnisse dieser Gebiete durch eingehendere Untersuchungen geklärt werden mögen.

In Amerika wurden in den letzten Jahren gleichfalls Untersuchungen über den Abfluss u. zw. in zwei Gebieten der Rocky Mountains durchgeführt, über deren Ergebnis Dr. Burger unter dem Titel „Wald und Wasserhaushalt" in der „Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen" (1929, Heft 2) nach einer Veröffentlichung von Beates und Henry berichtet. Die Verhältnisse in den untersuchten Gebieten weichen jedoch so stark von jenen in unsern Gegenden ab, dass diese Untersuchungen hier ausser Betracht bleiben können.

Aus den Beobachtungen im Emmental, sowie den Bodenuntersuchungen der schweiz. forstlichen Versuchsanstalt ergibt sich immerhin zweifellos, dass die Speicherwirkung des Waldbodens wesentlich grösser ist als jene des Freilandbodens; sie ist aber doch nur beschränkt, ein Umstand, auf den sowohl Prof. Engler als Dr. Burger in ihren Veröffentlichungen aufmerksam gemacht haben. Der Wirksamkeit des Waldes sind besonders bei undurchlässigem Boden verhältnismässig enge Grenzen gezogen: „Seine Kapazität kann überschritten werden, wenn lange andauernde Landregen mit grossen Niederschlägen vorkommen." In ausschlaggebender Weise wird die Wirkung des Waldes beeinflusst vom jeweiligen Feuchtigkeitszustand des Bodens. Nach vorausgegangenen Perioden nasser und kalter Witterungen ist dieser nahezu gesättigt und vermag nur mehr wenig Wasser aufzunehmen; dies ist namentlich im Frühjahr öfters der Fall und kann eine verhängnisvolle Rolle spielen. Auch die Zirkulation des Wassers im Innern des Bodens spielt sich, wie die Versuche zeigen, in sehr verschiedener Weise ab und bedarf noch der weitern Klärung. So verweist Prof. Engler darauf, dass beim Landregen vom Juni 1910 der Boden sehr wenig aufnahmefähig gewesen sei, aus ihm jedoch damals mit dem Niederschlagswasser offenbar auch ein Grossteil des gespeicherten Wassers abgeflossen sei, sodass er beim Landregen im folgenden Monate wieder eine grosse Aufnahmefähigkeit besass. Engler spricht in diesem Zusammenhange von einem „Auspressen" des Speicherwassers aus dem Boden durch die überstarke Zufuhr weiterer Niederschläge.

*

*Beschaffenheit und Bewirtschaftung des Waldes.* Die Wirkung des Waldes auf den Wasserhaushalt hängt aber auch wesentlich von seiner Beschaffenheit ab, die ausserordentlich grosse Verschiedenheiten nach Holzart, Bestockung, Bestandesalter, Bewirtschaftung und Wachstumsverhältnissen aufweist. Ein gleichaltriger geschlossener Fichtenbestand z. B. wird zwar verhältnismässig hohe, astreine und vollholzige Stämme hervorbringen, die sehr wertvoll und zur Nutzholzerzeugung hervorragend geeignet sind, seine wasserwirtschaftliche Bedeutung ist hingegen eine sehr geringe: die Baumkronen sind hoch angesetzt und verhältnismässig schwach entwickelt, der Unterwuchs fehlt und der stark beschattete Boden besitzt keine lebende Bodendecke, sondern weist nur Nadelstreu auf, die in feuchten kalten Lagen die Bildung von Rohhumus begünstigt, der die Durchlässigkeit und Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens herabsetzt. Im Gegensatz hierzu weist der ungleichaltrige Plenterwald tief angesetzte Baumkronen, eine weit herabreichende kräftige Beastung mit reichlicher Blattentwicklung, zwischen den älteren Stämmen Jungwächse, in den Lücken Unterwuchs und eine mitunter sehr üppige, lebende Bodendecke auf. Hier wird in den Baumkronen eine wesentlich grössere Wassermenge aufgefangen, das Abtropfen des Regenwassers länger verzögert, es stellen sich dem Wasserablauf auf dem Boden unzählige Hindernisse in den Weg und der Boden selbst wird den höchsten Grad von Lockerheit und Wasseraufnahmefähigkeit erreichen.

Ausserordentlich beschleunigend auf den Wasserablauf wirkt sich die Gewinnung von Bodenstreu im Walde aus, weil hierdurch nicht allein die das oberflächliche Abfliessen verlangsamende und erschwerende Bodendecke entfernt, sondern auch die Humusbildung beeinträchtigt und die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens wesentlich herabgesetzt wird. Dass ausgeschundener Wald nur einen Teil seiner natürlichen Wirksamkeit auf den Wasserhaushalt entfalten kann, liegt auf der Hand. Prof. Engler und Dr. Burger weisen nach, dass die Bodenverhältnisse am günstigsten im Plenterwalde sind, weniger günstig sind sie in verlichteten Altholzbeständen, am ungünstigsten in

gleichaltrigen reinen Nadelholzbeständen, besonders wenn diese auf früheren Weideböden neu gegründet wurden.

Eine ausserordentlich grosse Bedeutung kommt der richtigen Pflege und der Bewirtschaftung der Wälder zu; diese darf nicht allein auf höchste Holzproduktion gerichtet sein, sondern soll stets auch die Verbesserung des Bodenzustandes anstreben. Alle Massnahmen, die zur Bildung von Humus und dessen normaler Zersetzung beitragen, beeinflussen auch die Bodenverhältnisse und damit den Wasserhaushalt in vorteilhafter Weise. Zu diesen Massnahmen gehört auch eine entsprechende Holzartenmischung. Reine Nadelholz-, besonders Fichtenbestände wirken ungünstig auf den Boden; auch Kahlschläge sind sehr nachteilig für die Bodenverhältnisse und stets mit der Gefahr verbunden, dass durch unvorsichtigen Holztransport Bodenverwundungen verursacht werden, die durch die Aufforstung allein nicht wieder zu heilen sind.

Natürlich ist die Wirkung des Waldes auch stark abhängig von den geologischen Verhältnissen des Untergrundes, sie macht sich auf lehmigen und tonigen Böden stärker geltend als auf von Haus aus wasserdurchlässigen, sandigen und schotterigen Böden; zu einem geringen Grade wird die Wirkung des Waldes auch von der Bodenneigung beeinflusst.

*

*Wirkung der Aufforstungen.* Gegenüber dem bedeutenden Einflusse, den ältere Wälder auf den Wasserabfluss ausüben, tritt jener junger Aufforstungen natürlich wesentlich zurück. In den ersten Jahren nach der Aufforstung macht sich eine solche Wirkung überhaupt nur insoweit geltend, als eine etwaige landwirtschaftliche Nutzung (Gras- oder Weidenutzung) auf den Aufforstungsflächen eingestellt wurde, denn die jungen Pflanzen müssen naturgemäss erst wachsen und sich entwickeln. Es braucht unter günstigen Verhältnissen mehr als ein Jahrzehnt, bis sich ein Kronenschluss einstellt und noch viel länger, bis die den unterirdischen Wasserablauf begünstigende Aenderung der physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften eintritt und zur Wirkung gelangt. Sogar der Boden eines gleichaltrigen 50- bis 70jährigen Fichtenbestandes auf ehemaliger Weide hat nach Prof. Engler den Durchlässigkeitsgrad des Bodens älterer gemischter Bestände noch nicht erreicht. Auch Dr. Burger gibt an, dass selbst 50 Jahre nach der Aufforstung sich der Einfluss eines reinen Fichtenbestandes auf den Boden nur in den obersten Schichten geltend mache. Günstiger wirken Lärchen, Arven und die meisten Laubhölzer.

Hierzu kommt weiter, dass der Aufforstung mit edleren Holzarten, um Misserfolge nach Tunlichkeit zu vermeiden, wie Dr. Burger in zutreffender Weise begründet, sowohl auf landwirtschaftlichen Grundstücken, als noch mehr auf Oedflächen eine Bodenvorbereitung durch eine Kraut-, Stauden- und Strauchvegetation, bei Entwässerungen eine Bodenruhe zur allmählichen Aenderung der Bodeneigenschaften vorausgehen soll, was ebenfalls mehrere Jahre erfordert. Das Ergebnis einer gelungenen Aufforstung ist dann ein nahezu gleichaltriger Bestand, der erst im Verlaufe eines längeren Zeitraums in die besonders wirksame Form des Plenterwaldes übergeführt werden kann. Es bedarf also jedenfalls einer langen Zeit, bis sich die erwünschte Wirkung der Aufforstungen auf den Wasserabfluss geltend machen kann. Diese kann aber für Zwecke der Wildbachverbauungen in den meisten Fällen nicht abgewartet werden, weil sonst die Hilfe für die bedrohten Liegenschaften zu spät käme.

Wesentlich rascher tritt die Wirkung von Anpflanzungen ein, soweit es sich um die oberflächliche Bindung von Bruchflächen und dgl. handelt; eine solche kann unter günstigen Umständen schon innerhalb weniger Jahre erzielt werden. So entwickelte sich beispielsweise eine Anpflanzung von Weisserlen und Robinien in der Roggia di Novaledo in der Valsugana innerhalb von 5 bis 6 Jahren zu einem dichten Buschwalde, der eine Austrocknung und Festigung der früher stark vernässten Bruchflächen bewirkte.

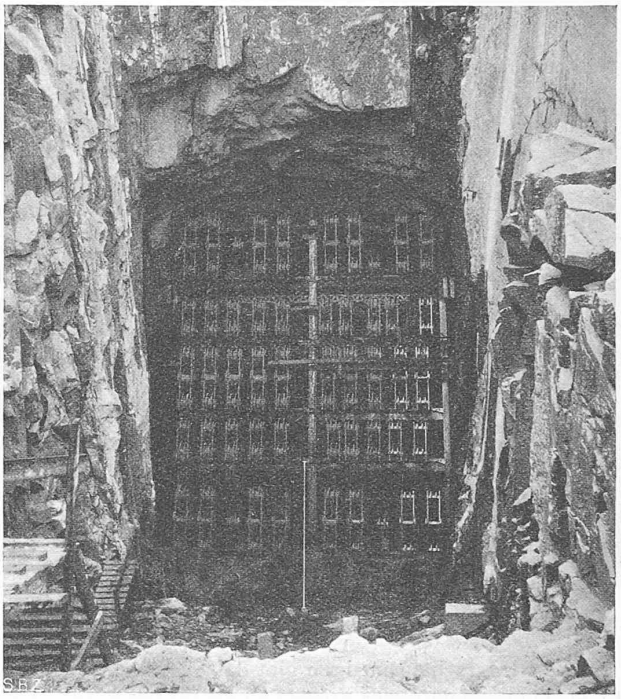

Abb. 15. Westliche Kabelverankerung mittels Augenstäben (22. März 1929). (Der weisse Vertikalstrich entspricht einer Höhe von 5 m.)

*Geschiebeerzeugung.* Noch weit mehr als durch ihre Wasserführung schaden die Wildbäche aber durch die Geschiebeführung. Die Geschiebeerzeugung erfolgt sowohl durch die unterwühlende Kraft des Wassers, wie auch durch die Gesteinsverwitterung. Die Erosion ist bedingt durch das Missverhältnis zwischen der lebendigen Kraft des abfliessenden Wassers und der Widerstandsfähigkeit des Bachbettes und äussert sich in einer Tieferwühlung der Bachsohle, in seitlicher Unterwaschung der Hänge oder in deren Zerfurchung. Um die schädliche Tätigkeit der Wildbäche zu bekämpfen, genügt es daher nicht, der weiteren Erosion Schranken zu setzen, sondern es muss auch dafür gesorgt werden, dass die beweglichen Bruchflächen wieder eine Stütze erhalten und dass derartige Böschungen hergestellt werden, die der Natur des Materiales entsprechen. Es ist im allgemeinen ausgeschlossen, zuzuwarten, bis die Hänge durch natürliche Abböschung ihr Gleichgewicht wieder erreicht haben, wie dies Albisetti empfiehlt, sondern es muss durch bauliche Massnahmen, wie Hebung der Sohle, Sicherung des Lehnenfusses, Entwässerung vernässter Hänge usw., Abhilfe geschaffen werden.

Ein Bachbett kann sich Jahrhunderte lang in einem Zustande völliger Ruhe befinden und alle Hochwässer schadlos abführen, wenn die Sohle z. B. durch die natürliche Einbettung grosser Steinblöcke widerstandsfähig ge-

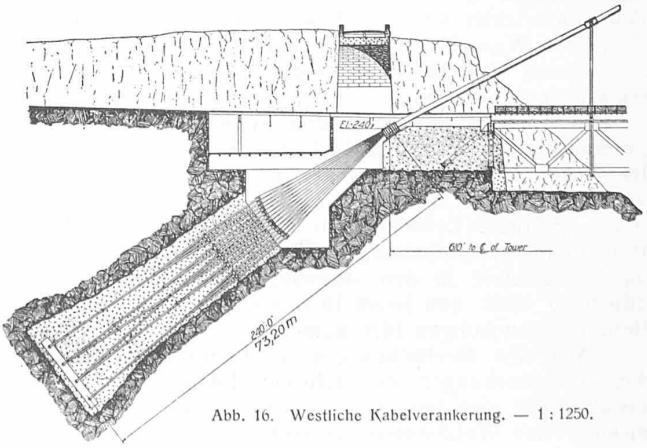


Abb. 16. Westliche Kabelverankerung. — 1 : 1250.

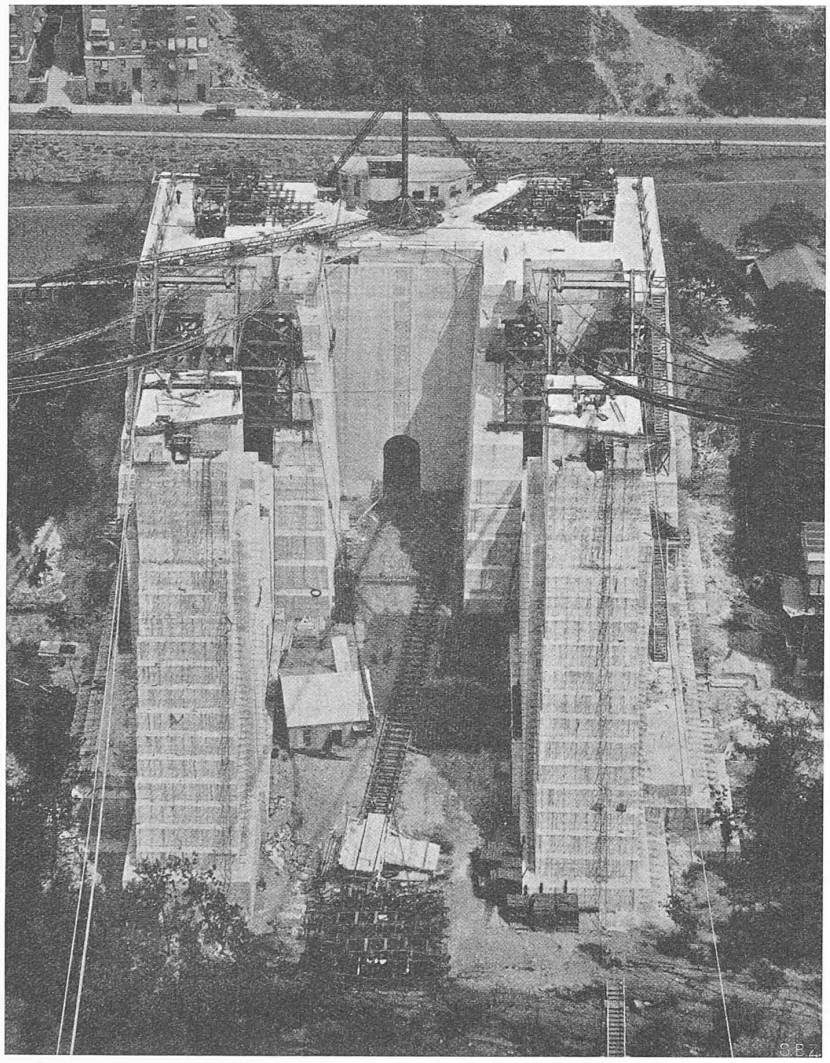

Abb. 17. Oestliche Kabelverankerung, von der Turmspitze aus gesehen (17. Juli 1929).

nug ist. Nehmen wir den Fall an, dass ein aussergewöhnliches Hochwasser ein solches Bachbett aufgerissen und die Erosionstätigkeit eingeleitet habe, so wird sich diese auch bei kleineren Hochwässern fortsetzen, die früher vollkommen unschädlich abgeführt worden sind. Wenn das Hochwasser, das diese erhöhte Erosionstätigkeit eingeleitet hat, auf eine Abholzung des Gebietes zurückzuführen ist, dann ist diese doch nur die mittelbare Ursache der Geschiebeführung; die unmittelbare Ursache ist die Unterwühlung des Lehnenfusses, zu der das Hochwasser den Anlass gegeben hat. Es genügt aber nicht, den mittelbaren Anlass zu beseitigen, sondern es muss in erster Linie die unmittelbare Ursache behoben, es muss der fortschreitenden Erosion Einhalt getan, unter Umständen auch die Kohäsionsverminderung, die etwa durch Vernässung des Bodens eingetreten ist, durch Entwässerungsarbeiten behoben werden. Die Wirkung des Waldes ist eine Schutzwirkung. Ein Schutzpanzer schützt seinen Träger wohl vor Verwundungen, er ist aber nicht imstande, eine Wunde zu heilen, die diesem zugefügt wurde. Aehnliches trifft auch für den Wald zu, der keineswegs unter allen Umständen eine Heilwirkung entfalten kann, sondern nur dann, wenn vorher der Erosion Schranken gesetzt und die Stabilitätsbedingungen für den Boden geschaffen worden sind.

Es ist auch vergeblich, übersteile Rutschflächen etwa durch einfache Bodenbindungsarbeiten, Flechtzäune, Berasungen, Aufforstungen und ähnliche Arbeiten beruhigen zu wollen. Eine Lehne kann sich nicht dauernd in einer den natürlichen Böschungswinkel übersteigenden Neigung erhalten. Dies ist ein Naturgesetz, das sich nicht ausschalten lässt. Eine dauernde Beruhigung wird auch hier nur durch Schaffung eines entsprechenden Böschungsfusses mittelst baulicher Massnahmen zu erzielen sein. Die Verringerung der abfliessenden Wassermenge, die durch Aufforstungsarbeiten grössern Umfanges angestrebt wird, ist hierzu nicht geeignet. Erst wenn durch bauliche Massnahmen die Grundbedingung für die Beruhigung geschaffen, kann der Erfolg durch die Aufforstung ausgebaut und dauernd gesichert werden. Die Aufforstung wird alsdann in kürzester Zeit imstande sein, eine geschlossene Bodendecke zu erzielen, die den Schutz des Bodens übernimmt und mit der Zeit etwa vorher in der Lehne ausgeführte andere Bodenbindungsarbeiten, wie kleinere Stützwerke, Flechtzäune und dergleichen entbehrlich macht. Auch bei der Bekämpfung der Verwitterung leisten die Aufforstungen unter Umständen vorzügliche Dienste, wenn es gelingt, eine Bodenschutzdecke zu schaffen. Dieses Ziel kann nicht durch bauliche Massnahmen, sondern nur durch Aufforstungen, bezw. Berasungen und Bebuschungen erreicht werden.

Dies ist umso wichtiger, als uns zur Bekämpfung der von der Gesteinsverwitterung herstammenden Geschiebeführung an baulichen Massnahmen nur Stausperren in kleineren oder grösseren Ausmassen und Ablagerungsplätze zur Verfügung stehen. Bei dem Umstande, dass deren Fassungsraum beschränkt ist, und das Aufnahmevermögen der Stausperren mit deren vollständiger Verlandung erschöpft wird, bieten diese Massnahmen nur eine vorübergehende Abhilfe gegen die von solchen Wildbächen drohenden Gefahren. Wenn diese Gefahren auch meist hinter jenen der unterwühlenden Wildbäche zurückbleiben, so ist es doch höchst erwünscht, auch in diesen Wildbächen die Geschiebeführung dauernd einzuschränken.

Der Wald ist jene Kulturart, die den Boden am besten und sichersten schützt. Während Erdschlipfe auf Freiland ausserordentlich häufig vorkommen, treten solche im Walde viel seltener und meist nur an Stellen auf, die vorher durch irgend ein Ereignis, z. B. Windwürfe, eine Bodenverwundung erlitten haben. Hieraus ist zu schliessen, dass die Ansicht, das vom Waldboden aufgenommene Sickerwasser wirke als treibendes Agens auf tiefgründigen Rutschungen, nicht begründet ist. Die Porosität des Waldbodens begünstigt nicht nur das Eindringen des Wassers, sondern auch dessen unterirdischen Abfluss, auch entziehen die Baumwurzeln dem Boden Wasser noch aus tiefern

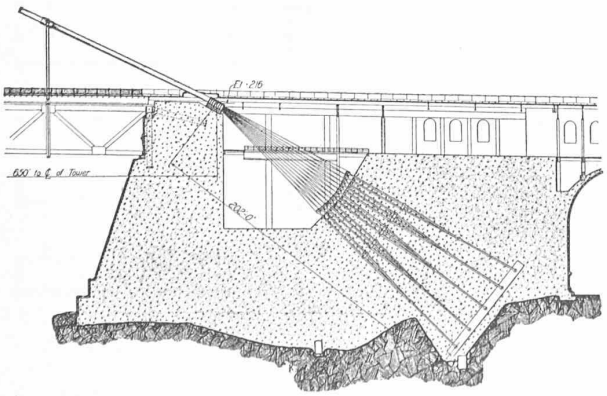

Abb. 18. Oestliche Kabelverankerung, Seite New York. — Masstab 1 : 1250.