Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 79 (1961)
Heft: 12

Artikel: Die Narrowsbrücke in New York
Autor: Ammann, O.H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-65487

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: 04.12.2025

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

Die Narrowsbrücke in New York

Von Dr. **O. H. Ammann**

DK 624.53

Vortrag vor der Connecticut Society of Civil Engineers, 7. April 1960, übersetzt und zusammengestellt von **U. Widmer** zum 82. Geburtstag (26. März 1961) seines verehrten ehemaligen Chefs

Die jetzt im Bau befindliche Narrows-Brücke über die Hafeneinfahrt von New York zwischen Brooklyn und Staten Island wird eine wichtige Verbindung im ausgedehnten Strassennetz von New York werden. Sie wird die erste feste Verbindung zwischen den vier stark bevölkerten New Yorker Stadtteilen Manhattan, Queens, Bronx und Brooklyn mit dem spärlich bevölkerten Staten Island darstellen (Bild 1). Dadurch kann ein Ausbreiten der Bevölkerung und ein Ansiedeln von Industrien in Staten Island und weiter über die bestehenden Brücken (Goethals-Brücke und Outerbridge Crossing) in New Yersey stattfinden. Die Narrows-Brücke wird zudem eine südliche Umfahrung des stark überlasteten Manhattan ermöglichen, so dass ein Grossteil des Durchgangsverkehrs vom südlichen New Jersey nach New England den Stadtverkehr nicht mehr belasten wird.

Die Narrows-Brücke mit einer Mittelspannweite von 1298,45 m und 12 Fahrbahnen auf zwei verschiedenen Ebenen wird die längste und schwerste Brücke werden, die je gebaut wurde. Die Gesamtkosten werden voraussichtlich 325 Mio $ ausmachen, und man hofft, dass die Brücke im Jahre 1965 für den Verkehr geöffnet werden kann.

Wie jede Brücke von grossen Abmessungen verlangte der Entwurf der Narrows-Brücke sorgfältige Studien und warf verschiedene ungewöhnliche Ingenieurprobleme auf. Kostenvergleiche zur Abklärung des besten Standortes, der Bauart, der Spannweiten, des Längenprofils und der lichten Durchfahrtshöhen, der Verkehrsleistungen, der Tiefe und Art der Pylonenfundationen und weiterer verschiedener Einzelheiten wurden durchgeführt. Da die Brücke ein neues markantes Bauwerk im New Yorker Stadtbild und in der Hafeneinfahrt bilden wird, wurde der Aesthetik grösste Aufmerksamkeit geschenkt (Bild 2). Die Bauherrschaft beauftragte deshalb drei bekannte Architekten, den Ingenieuren bei der Entwurfsarbeit zur Seite zu stehen.

Der Standort der Narrows-Brücke befindet sich ungefähr an der engsten Stelle der New Yorker Hafeneinfahrt zwischen Brooklyn und Staten Island. Beide Brückenköpfe sind in Territorien des Staates New York, Fort Hamilton in Brooklyn und Fort Wadsworth auf Staten Island, gelegen, was bei der Standortwahl ebenfalls entscheidend ins Gewicht fiel. Obwohl teure Aenderungen in den Militärlagern durchgeführt werden müssen, wurde der Erwerb und der Abbruch von verschiedenen privaten Liegenschaften umgangen.

Die Narrows sind eine der wichtigsten Schiffahrtsstrecken der Welt. Die grössten Dampfer laufen hier von und zum New Yorker Hafen durch. Deshalb ist es offensichtlich, dass die rd. 1,6 km breite Wasserstrasse keine Hindernisse aufweisen durfte. Ausserdem wäre irgend ein Brückenpfeiler im mittleren Teil der Wasserstrasse wegen

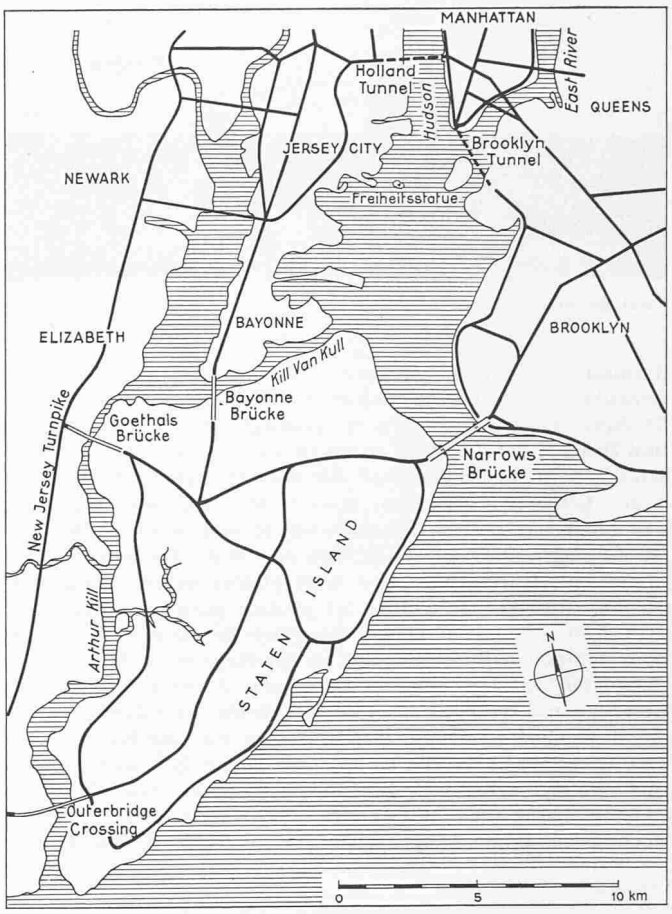

Bild 1. Die Hafeneinfahrt nach New York mit den wichtigsten Strassenzügen in ihrer Umgebung. Masstab 1:270 000

der grossen Fundationstiefen sehr unwirtschaftlich gewesen. Verschiedene Studien führten zur Lösung, dass ein Pylon ungefähr 75 m ausserhalb des Staten-Island-Ufers in relativ untiefes Wasser zu stehen kommt, während der Brooklyn-Pylon auf der kleinen Insel Fort Lafayette aufgestellt wird. Fort Lafayette, das sich im Besitze der Marine befindet, konnte erworben werden und wird dann zum Bau des Fundamentes abgebrochen.

Daraus ergab sich eine Mittelspannweite von 1298,45 m, d. h. 231,65 m mehr als bei der George-Washington-Brücke (1932) und 18,3 m mehr als bei der Golden-Gate-Brücke (1937). Für eine solche Spannweite kam mit Rücksicht auf die grössere Wirtschaftlichkeit nur eine Hängebrücke in Frage. Zudem ist eine Hängebrücke durch ihr leichtes Aussehen auch ästhetisch jedem anderen Typ überlegen. Die Seitenspannweiten von je 370,33 m wurden auf Grund der lokalen Verhältnisse und der Wirtschaftlichkeit der Spannweitenverhältnisse gewählt. Daraus ergab sich eine totale

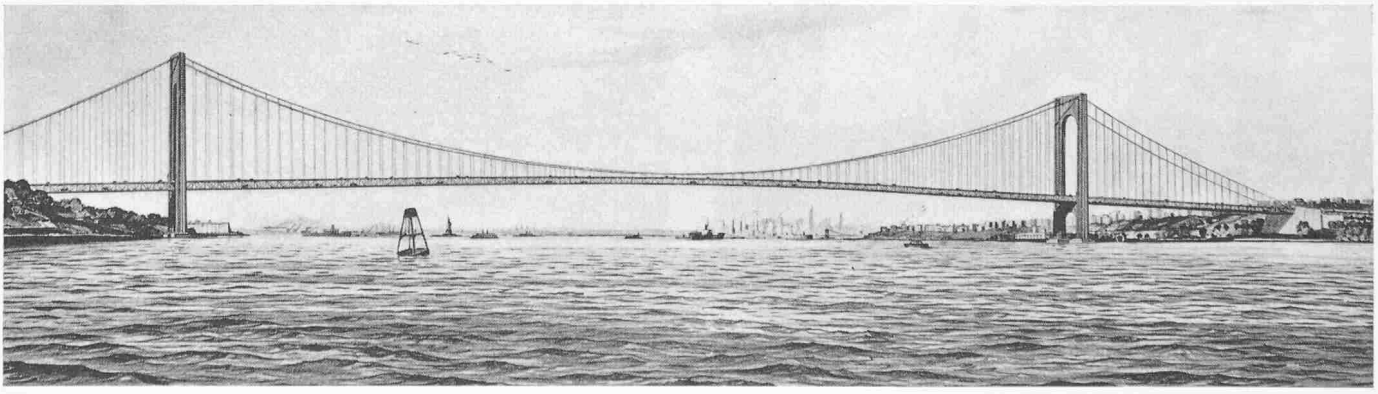

Bild 2. Ansicht der Narrows-Brücke vom Atlantik her; links Staten Island, rechts Brooklyn

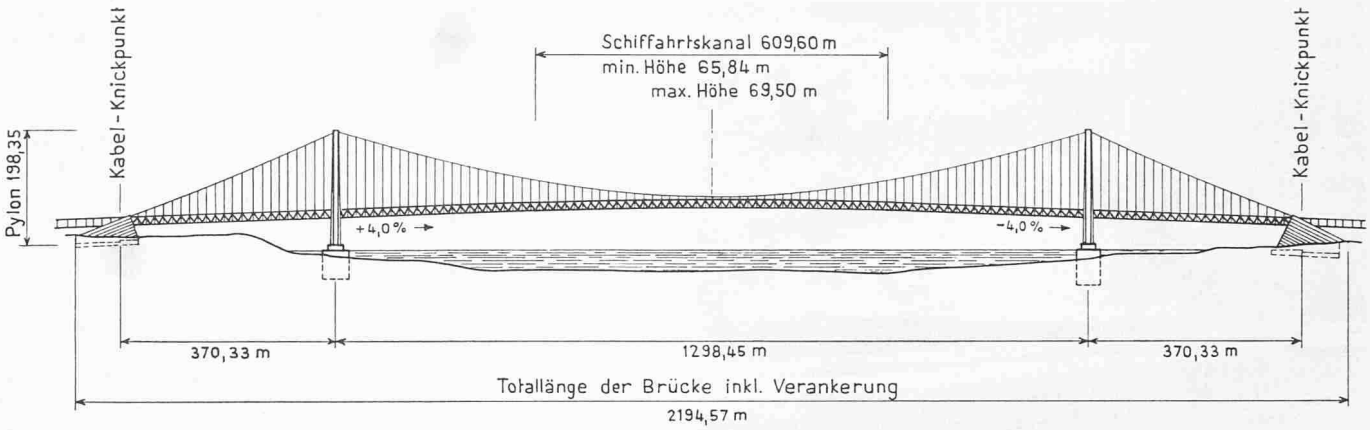

Bild 3. Narrows Brücke, Ansicht 1:13 000.

Brückenlänge von 2194,57 m bis zum Ende der Verankerungen (Bilder 3 u. 4). Einschliesslich der Zollgebäude und direkten Auffahrten wird die Brücke rd. 5 km lang.

Von der Armee wurde eine minimale Durchfahrtshöhe von 65 m über dem Schiffahrtsweg verlangt. Dies erlaubt selbst den grössten Ozeandampfern, Queen Mary und Queen Elizabeth, unter allen Bedingungen freie Durchfahrt.

Für die Zufahrten und die Brücke wurde der Fahrbahn eine 4%ige Steigung gegeben, was den Neigungsverhältnissen praktisch aller grösseren Brücken in New York entspricht. Mit der notwendigen Ausrundung in der Mitte entstand eine lichte Durchfahrtshöhe von 69,50 m in der Mitte.

Die Querschnittsausbildung der Fahrbahn wurde mit Rücksicht auf die heutige und die zu erwartende zukünftige Verkehrskapazität, auf die Variationsmöglichkeiten im Verkehrsablauf sowie natürlich auch auf die statischen Ueberlegungen projektiert. Nachdem eine Anzahl ein- und zweistöckiger Brückenquerschnitte mit 6 bis 12 Fahrbahnen sowie einer möglichen Trennung der Personenwagen vom Lastwagenverkehr studiert worden war, wählte man eine zweistöckige Konstruktion mit je 6 Fahrbahnen und verzichtete zugunsten der grösseren Verkehrsflexibilität auf eine Trennung in privaten und kommerziellen Verkehr. Vorläufig wird nur die obere Fahrbahn mit 6 Spuren ausgeführt werden, während die untere Fahrbahn in dem Zeitpunkt gebaut werden soll, wo der Verkehr es erfordert, was nach den Schätzungen im Jahre 1980 erforderlich sein wird. Die Kosten für die untere Fahrbahn betragen zusätzlich 12 Mio $. Die totale Breite der aufgehängten Fahrbahnkonstruktion beträgt 35,97 m.

Dem Entwurf der *Fahrbahndecke* gingen intensive Studien voraus. Bei einer Brücke von dieser Spannweite ist das Gewicht der Fahrbahndecke und des Belages von grösster Wichtigkeit auch in bezug auf die Kosten. Je 60 kg/m² Mehrgewicht an Belag, was ungefähr einer 2,5 cm starken Betonschicht entspricht, erfordert zusätzliche Ausgaben von rd. 2,5 Mio $ in der Hängekonstruktion. Anderseits musste eine Konstruktion gewählt werden, die dem schwersten Verkehr standhält und ein allfälliges Ausbessern der Oberfläche in kürzester Zeit ermöglicht. Demzufolge wurde die Fahrbahndecke wie folgt projektiert: 13 cm hoher Stahlrost, mit armiertem Leichtbeton gefüllt, und 2,5 cm bituminöse Deckschicht.

Die Fahrbahndecke wird von 40 cm hohen Querträgern im Abstand von 1,50 m getragen. Diese lagern auf den acht 1,07 m hohen Längsträgern, welche im Abstand von rd. 3,35 m über den Querschnitt verteilt sind. Diese Längsträger sind mit der Horizontalen des Querrahmens gleicher Höhe steif verbunden. Die 7,32 m hohen, doppelwandigen Querrahmenkonstruktionen sind als steife Rahmen ausgebildet, deren Pfosten wieder steif mit den Vertikalen des Hauptträgers verbunden sind.

Genügender Widerstand gegen die Windkräfte, um unangenehme Bewegungen zu verhüten, ist einer der wichtigsten Gesichtspunkte im Entwurf von weitgespannten Hängebrücken. Diese *Steifigkeit* wird einerseits durch die

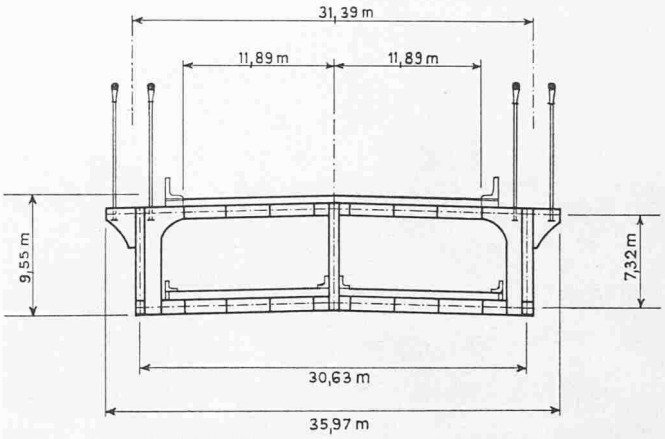

Bild 4. Querschnitt 1:600

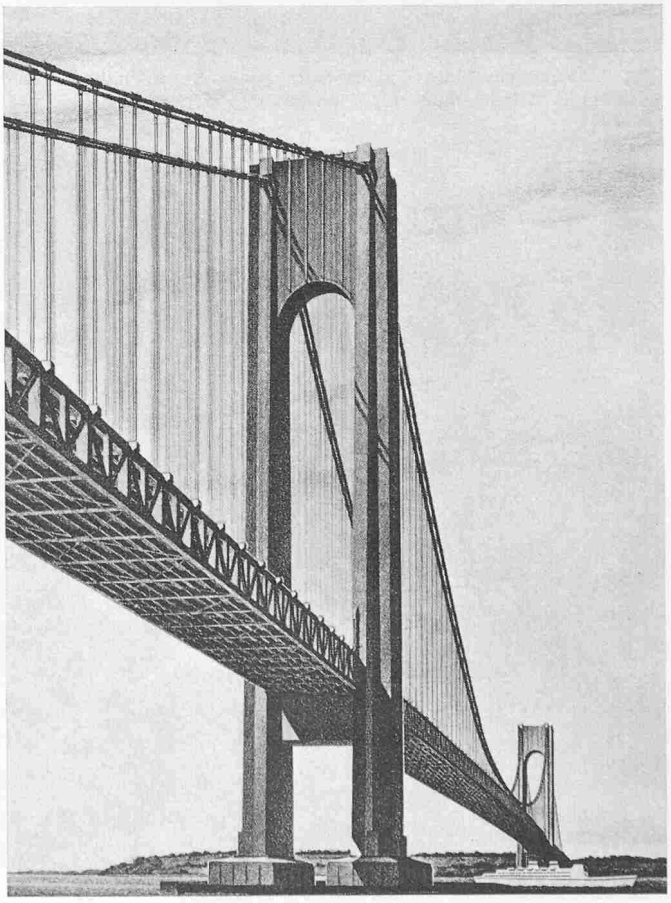

Bild 5. Perspektivische Ansicht der Pylonen der Narrows-Brücke von Brooklyn aus

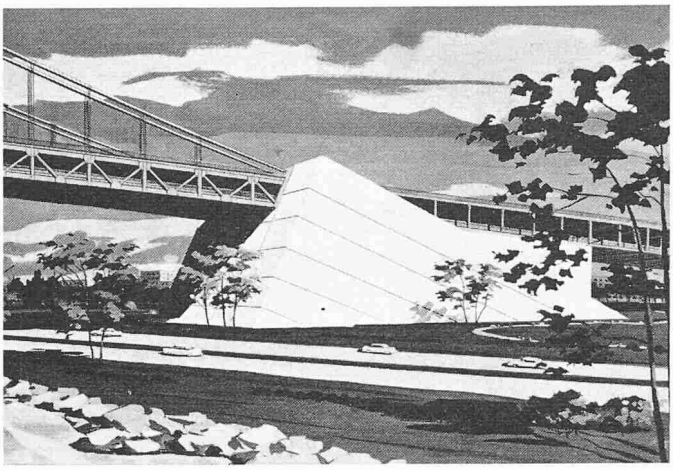

Bild 8. Ausbildung der Kabelverankerung

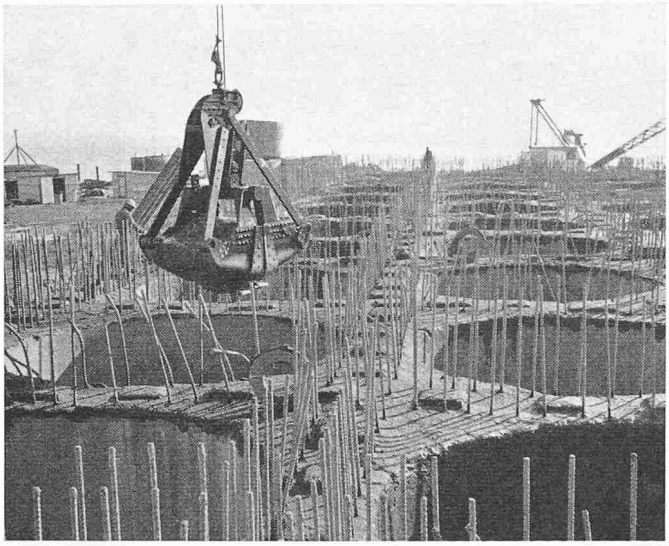

Bild 7. Fundament des Pylons Seite Brooklyn, Aushub während der zweiten Absenketappe (22. Dez. 1960)

Steifigkeit der Kabel, abhängig von deren Eigengewicht und dem Gewicht der aufgehängten Fahrbahnkonstruktion, und anderseits durch die Steifigkeit der Fahrbahnkonstruktion erreicht. Infolge des grossen Eigengewichts der Narrows-Brücke war es möglich, die Steifigkeit der Fahrbahnkonstruktion zu verringern. Dies äussert sich in der relativ geringen Höhe des Versteifungsträgers ($^1/_{180}$ der Mittelspannweite; zum Vergleich: George-Washington-Brücke $^1/_{120}$ und Golden-Gate-Brücke $^1/_{170}$). Der Abstand zwischen den beiden Versteifungsträgern beträgt 30,63 m bzw. nur $^1/_{40}$ der Spannweite. Grosse Torsionssteifigkeit wurde erreicht durch die Anordnung von horizontalen Fachwerken in jeder Fahrbahnebene. Die Steifigkeit und Wirtschaftlichkeit der Konstruktion wird zudem erhöht durch die biegesteifen Verbindungen zwischen allen Teilen der Stahlkonstruktion. Bei dieser einzigartigen Konstruktion tragen alle Teile mit zum Widerstand gegen Vertikalkräfte, Horizontalkräfte und Torsionsverdrehungen.

Die Fahrbahnkonstruktion ist an den Hauptkabeln in der üblichen Art aufgehängt. Vier Paar Stahldrahtseile von je 7 cm Durchmesser dienen als *Hängekabel* an jedem Ende der Querrahmen.

Wie in allen neueren weitgespannten amerikanischen Hängebrücken bestehen die *Hauptkabel* aus hochwertigen kaltgezogenen, parallel verlegten Stahldrähten. Bei der Narrows-Brücke sind vier Hängekabel, zwei an jeder Seite der Fahrbahnkonstruktion mit einem Durchmesser von 91 cm. Der einzelne Stahldraht besitzt einen Durchmesser von 5 mm und eine minimale Festigkeit von rd. 1100 t/cm², wodurch die Zugfestigkeit eines Kabels rund 10 160 t beträgt.

Die beiden *Pylonen* wurden berechnet als querwirkende steife Stahlrahmen mit hohen Portalträgern zur Verbindung der beiden Türme an der Spitze und unter der Fahrbahn (Bild 5). In der Frontalansicht wirken die beiden Pylonen wie zwei schlanke flexible Türme, welche unten eingespannt sind. Sie können sich infolge der Längsbewegungen der Kabelsattel, die an ihrer Spitze liegen, leicht neigen. Sowohl die einzelnen Türme wie die Portalträger bestehen aus einer Stahlzellenkonstruktion. Der Querschnitt der Pylonen besteht aus vier sich durchschneidenden Rechtecken mit einem maximalen Gesamtquerschnitt von rd. 15 × 11 m unten. Alle

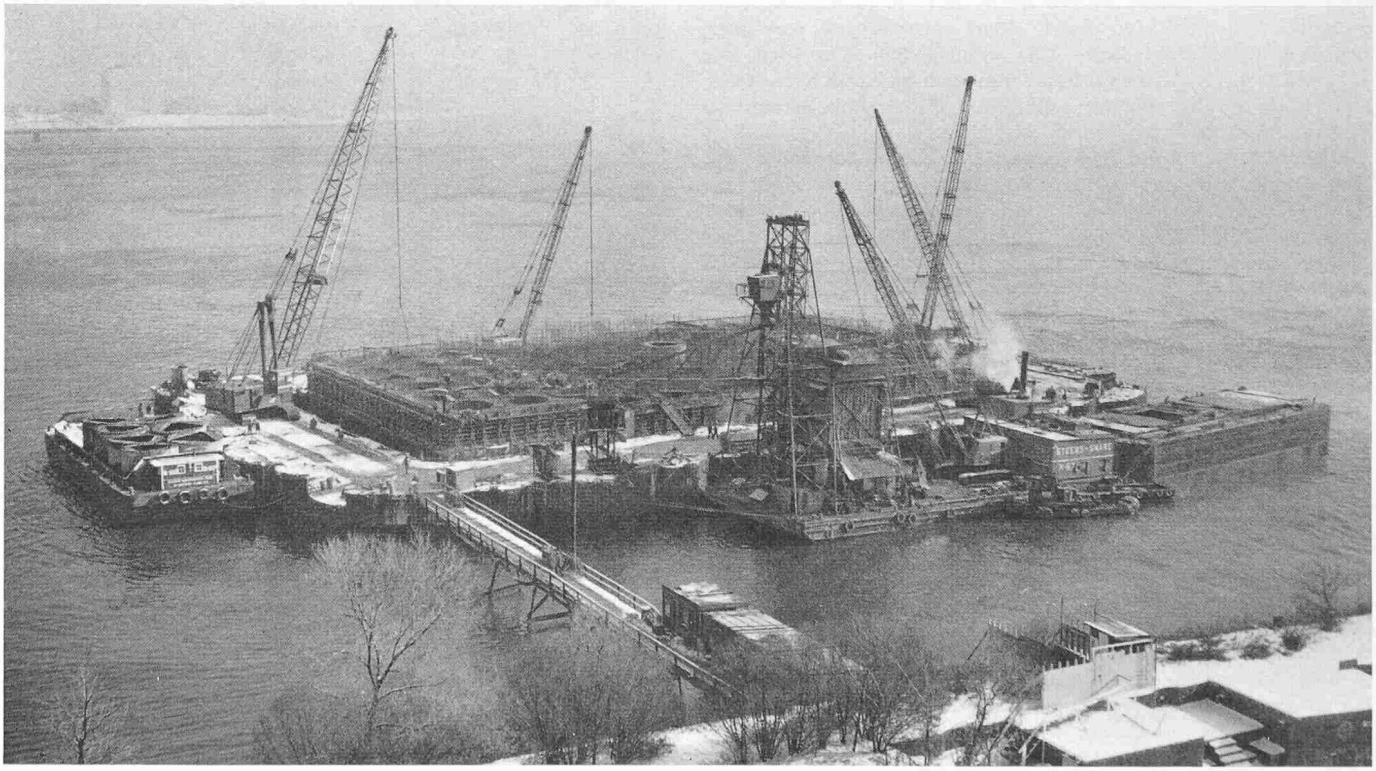

Bild 6. Fundament des Pylons Seite Staten Island, Blick gegen Südosten am 30. Dez. 1960. Plazieren der Schalungen für die elfte Betonieretappe

Zellen sind zur Kontrolle begehbar. Die Pylonen werden 207,26 m über den mittleren Meeresspiegel ragen und 198,35 m ab Oberkante Fundament, welches aus Beton mit Granitverkleidung besteht.

Zur Abklärung der Tragfähigkeit, Art und Grösse der *Fundamente* wurde mit den ersten Studien im Jahre 1954 bei jedem Fundament eine Bohrung bis in den festen Felsen durchgeführt. Es zeigte sich, dass der Felshorizont 50 bis 100 m unter dem Meeresspiegel liegt. Gegen die Mitte der Spannweite fällt er dann steil in unbekannte Tiefen ab. Oberhalb dem angetroffenen Felsen (Gneis) fand man verschiedene Schichten von weichen bis festen Tonen, Sanden und Kies. Direkt oberhalb des gesunden Felsens lag eine Schicht von zersetztem Fels. Auf Grund dieser Ermittlungen wurden dann Vergleichsstudien und Kostenuntersuchungen zusammengestellt. Im Jahre 1956 hat man dann noch zusätzlich 28 Bohrungen und Bodenuntersuchungen durchgeführt, welche im allgemeinen die geologischen Befunde bestätigten und einen endgültigen Entwurf über Typ und Tiefe der Fundation zuliessen.

Das Fundament des Staten-Island-Pylons besteht aus einem offenen Caisson 70 × 40 m, welcher auf eine tragfähige Schicht von glazialem Ton rd. 40 m unter Meeresspiegel abgesenkt wird (Bild 6). Für den Brooklyn-Pylon wurden zwei verschiedene Fundationsarten entwickelt. Einerseits prüfte man einen analogen, offen ausgebaggerten Caisson wie auf der Gegenseite, welcher auf eine Tiefe von 60 m unter dem Meeresspiegel auf tragfähige Schichten abgestellt werden konnte. Anderseits untersuchte man die Möglichkeit eines untiefen, offen ausgebaggerten Caissons auf 36 Stahlpfählen, welche in den festen Fels gerammt würden. Die Offerten ergaben, dass der tiefliegende Caisson wirtschaftlicher ist (Bild 7).

Die Hängekabel werden auf jeder Seite in dreieckig geformten, massiven *Ankerblöcken* verankert (Bild 8). Die Verankerung auf Staten Island wird relativ hoch zu liegen kommen, doch sind infolge der günstigen Bodenverhältnisse nur einfache gespreizte Fundamente in einer mittleren Tiefe von 23 m notwendig. Der Ankerblock auf Seite Brooklyn muss sogar nur auf 16 m Tiefe fundiert werden. Die Fundamentfläche der beiden Ankerblöcke beträgt rd. 70 × 100 m.

Adresse des Verfassers: *Urs Widmer*, dipl. Ing., Turmstr. 39, Winterthur.

Cinématique des erreurs de profil dans les engrenages

Par **Georges V. Tordion,** professeur à l'université Laval, Québec, Canada

DK 621.833

Les différents procédés de taille des engrenages à développante de cercle reproduisent le profil des dents avec plus ou moins de précision. L'erreur de la forme de la développante se mesure aisément sur des appareils spéciaux. Les enregistrements graphiques ainsi obtenus montrent l'erreur comme une déviation d'une ligne droite qui représente l'image de la développante parfaite. L'agrandissement est suffisant pour permettre de déceler des erreurs aussi petites qu'un micron. Les fig. 1a et 1b montrent des tracés de ce type. L'erreur est mesurée sur la normale à la développante (tangente au cercle de base R) en fonction de l'angle de déroulement γ, ou plus rarement en fonction de la longueur d'arc s de la développante. Les deux sont reliés par l'expression

$$(1) \qquad S = \frac{R}{2}\gamma^2$$

Quand deux profils imparfaits sont en contact, leur erreur empêche les engrenages de se trouver dans une position angulaire correcte. Quand le point de contact se déplace le long du profil, l'erreur angulaire de position varie en fonction de la distribution des erreurs sur le profil. L'angle de rotation de la roue n'est plus une fonction linéaire de l'angle de rotation du pignon. Ainsi le rapport de vitesse

$$(2) \qquad \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \rho\,(\varphi_1)$$

devient une fonction arbitraire de φ, au lieu d'être une constante (fig. 2). En dérivant (2) par rapport au temps on obtient

$$(3) \qquad \ddot{\varphi}_2 = \rho\,(\varphi_1)\,\ddot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_1^2 \frac{d\rho}{d\varphi_1}$$

On remarque que même pour une vitesse constante du pignon $\ddot{\varphi}_1 = 0$, le terme $\frac{d\rho}{d\varphi_1}$ subsiste. Avec les masses en rotation ce terme produit des forces additionnelles «dynamiques» sur les dents, accompagnées de vibrations, fatigue et usure prématurée. L'intervention de la déformation des dents sous charge et du contact simultané de deux paires de dents rend le calcul des forces dynamiques très difficile et des recherches intensives dans plusieurs pays n'ont pas encore abouti à des résultats définitifs et concordants. Cependant, les engrenages qui ne transmettent pas de puissance et dans lesquels la déformation est négligeable, ont des applications de plus en plus nombreuses et variées. Les différents mécanismes de servos, calculateurs, instruments etc. demandent une précision de plus en plus poussée, et surtout une précision dans la position angulaire. Ce travail est consacré à ce type d'engrenages. Il établit la relation mathématique entre l'erreur de position d'un couple d'engrenages à denture droite en fonction de la distribution arbitraire des erreurs des profils. Ces distributions $\varepsilon_1(\gamma_1)$ et $\varepsilon_2(\gamma_2)$ sont données sur les enregistrements graphiques. Les calculs se limitent aux cas où ε_1 et ε_2 sont des fonctions continues, ayant les deux premières dérivées continues, la seconde dérivée ne changeant pas de signe. Cette limitation n'est pas très sévère, car les engrenages de qualité la satisfont généralement. Comme convention ε_1 et ε_2 seront positifs quand ils épaisissent les dents.

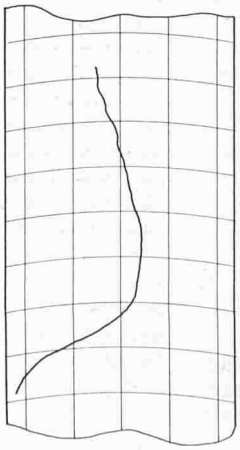

Fig. 1a

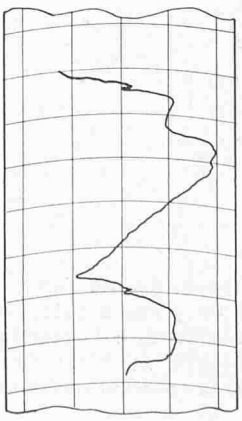

Fig. 1b

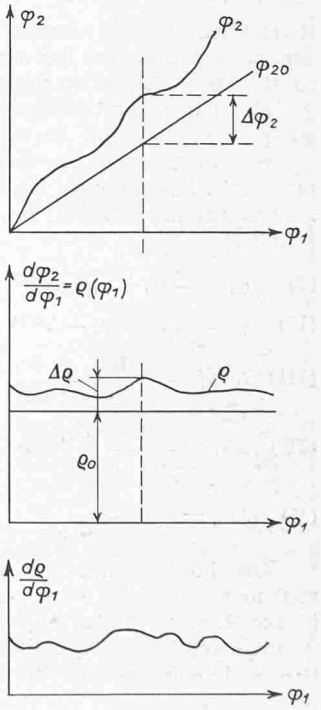

Fig. 2