Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 83/84 (1924)

Heft: 12

Artikel: Zur Frage des Schubmittelpunktes

Autor: Rohn

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-82761

Band 83. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur auf Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 12.**

Zur Frage des Schubmittelpunktes.

In den Nummern der „S. B. Z." vom 30. April und 9. Juli 1921, sowie vom 3. März 1924, hat Herr Ingenieur R. Maillart den Schubmittelpunkt definiert. Etwa gleichzeitig wurde diese Frage behandelt von Dr. sc. techn. H. Schwyzer: „Statische Untersuchung der aus ebenen Tragflächen zusammengesetzten räumlichen Fachwerke" (Zürich, 1920); Dr. sc. techn. A. Eggenschwyler: „Ueber die Festigkeitsberechnung von Schiebetoren und ähnlichen Bauwerken" (Zürich, 1921) und Dr.-Ing. Fr. Zimmermann im „Bauingenieur" (1921).

Ing. Maillart gebührt zweifellos das Verdienst, die Widersprüche abgeklärt zu haben, die in den von ihm besprochenen Bach'schen Versuchen erblickt wurden; er hat damit einen wertvollen Beitrag zu einem Spezialfall der baustatischen Festigkeitslehre geliefert. Dagegen geht Maillart zu weit, wenn er die Frage aufwirft, „ob an den Grund-Irrtümern, die in den Lehrbüchern sich finden, und die wohl auch von den meisten Lehrkanzeln aus vorgetragen werden, noch weiter festgehalten werden will". Diese Auffassung könnte zur Ansicht führen, dass die ganze in der Baustatik übliche Spannungsbestimmung auf irrtümlichen Grundlagen aufgebaut ist. Zweck dieser Zeilen ist eine kurze Begründung der Gültigkeitsgrenzen dieser Grundlagen.

Die üblichen baustatischen Grundlagen der Spannungsbestimmung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Resultierende R der äussern Kräfte, die für Querschnitt F massgebend sind (Abb. 1), trifft diesen Querschnitt in A. Dort wird die Resultierende R zerlegt in eine Längskraft N, die normal zum Querschnitt F, und in eine Schub- oder Querkraft Q, die im Querschnitt F wirkt.

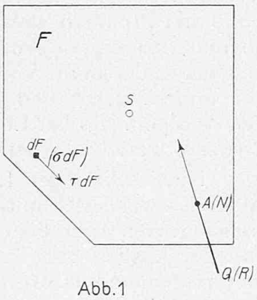

Abb. 1

Im allgemeinsten Fall, der in Abbildung 1 nicht berücksichtigt ist, lassen sich übrigens die äussern Kräfte nur zu zwei Resultierenden N und Q, die sich also nicht schneiden — statt zu einer einzigen Mittelkraft R — zusammensetzen. Die grundlegenden Gleichgewichtsbedingungen zwischen den äussern und den innern Kräften in Bezug auf Querschnitt F lauten nun:

1. Die Summe der innern Normalkräfte $\sigma\,dF$ ist gleich gross und entgegengesetzt gerichtet wie die Längskraft N; $\sigma\,dF$ wirkt in der Richtungslinie der Längskraft N.

2. Die Resultierende aller inneren Schubkräfte $\tau\,dF$ ist gleich gross und entgegengesetzt gerichtet wie die Querkraft Q; sie wirkt in der Richtungslinie von Q.

Diese grundlegenden Angaben werden überall vertreten.

Bei Aufstellung dieser zwei Gleichgewichtsbedingungen muss natürlich der in der mathematischen Elastizitätslehre ohne weiteres in Erscheinung tretende Zusammenhang zwischen den Normal- und den Schubspannungen gewahrt werden. Dieser Zusammenhang wird in der Baustatik bei der Ableitung der Schubspannungen — infolge des Ersatzes des von der Längskraft N abhängigen Momentenzuwachses dM durch den Einfluss $Q\,dz$ der Querkraft — nicht immer genügend hervorgehoben.

Die Gleichgewichtsbedingung 2 schliesst nun ohne weiteres den Schubmittelpunkt in sich ein. Dieser Punkt ist der Mittelpunkt der innern Schubkräfte $\tau\,dF$, wie der Angriffspunkt A der Längskraft N der Mittelpunkt der innern Normalkräfte $\sigma\,dF$ ist (wobei wohl zu beachten ist, dass dieser Schubmittelpunkt im allgemeinen kein Querschnitts-Festpunkt, wie es z. B. der Punkt S, Mittelpunkt der dF-Werte, ist). Maillart wünscht im Grunde genommen die genauere Beachtung der Gleichgewichtsbedingung 2 zwischen den äussern und innern Schubkräften, dies für den Spezialfall der ihn beschäftigt.

Die Lehrbücher und Lehrkanzeln haben jedoch im allgemeinen nicht gegen diese Bedingung verstossen; sie haben dagegen wohl (und dies mit Recht, im Bewusstsein der Schwierigkeit der allgemeinen Lösung des in Abb 1 dargestellten Problems) die Aufgabe, bezüglich des Einflusses der Schubkräfte, eingeschränkt, dies, indem nur der wichtigste, wenn auch spezielle Fall der Praxis behandelt wird, nämlich jener des reinen Schubes oder Abscherens für symmetrische Querschnitte, wobei die Querkraft Q in der Symmetrieaxe wirkt. In diesem Spezialfall wird durchaus nach Gleichgewichtsbedingung 2 verfahren; der Schubmittelpunkt liegt dann auf dieser Symmetrieaxe.

Die eben erwähnte Schwierigkeit der *allgemeinen* Lösung des Problems tritt nämlich auf — bei unsymmetrischen Querschnitten, bezw. bei symmetrischen, sobald die Querkraft ausserhalb der Symmetrieaxe wirkt — wenn neben einer Querkraft Q eine endliche Längskraft N zur Wirkung kommt; dies anstelle des von Ing. Maillart für eine einfache unsymmetrische Querschnittsform behandelten Falles der reinen Biegung. Dieser Spezialfall der reinen Biegung ist deshalb besonders einfach, weil eine Parallelverschiebung der Kraftebene ohne Beeinflussung der Normalspannungen σ zugelassen werden kann. Im allgemeinen Fall liegt ein Problem der zusammengesetzten Festigkeit, einschl. Torsionsfestigkeit vor, eine Frage, die noch sehr unabgeklärt ist und deren theoretischer Behandlung sich namentlich A. Föppl seit langem gewidmet hat. Dieser allgemeine Fall herrscht allerdings häufiger im *Massivbau* als im Eisenbau vor; es sei nur auf die Fundamente mit unsymmetrischem oder symmetrischem Querschnitt hingewiesen. Auch hierfür fällt der sog. Schubmittelpunkt häufig, je nach Lage der Kraftebene, ausserhalb der Richtung der Querkraft Q. Bei reiner Biegung sind die winkelförmigen Eisenbetonträger z. B. — abgesehen von den zufolge der Inhomogenität sich ergebenden weitern Schwierigkeiten — ähnlich wie die [-Eisen zu behandeln.

Im *Eisenbau* werden Profile, die nicht in einer Symmetrieebene belastet sind, mit Rücksicht auf die zusätzlichen Torsionspannungen im allgemeinen weniger hoch beansprucht, so die [- und L-Profile, wenn sie für sich allein zur Wirkung kommen. Bei kleinen Walzprofilen hat man somit mit geringern zulässigen Beanspruchungen Abhülfe geschaffen; bei grössern, zusammengesetzten Querschnitten wurde verfahren wie es Maillart für [-Eisen vorschlägt. In dieser Beziehung sei z. B. an die Berechnung der Träger der Schwebebahn bei Elberfeld erinnert (Abbildung 2): die exzentrische Last P wird durch den vertikalen Träger H aufgenommen, während die horizontalen Tragwände W_o und W_u das Kräftepaar übertragen, dessen Moment Pb ist.

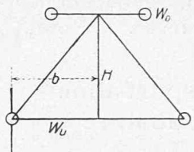

Abb. 2

So liegen die Verhältnisse heute; für symmetrische Querschnitte und bei Belastung in der Symmetrieebene gelten die üblichen Formeln der Spannungsbestimmung. Hieran anschliessend kann allerdings Maillart der „Wissenschaft" den Vorwurf machen, dass sie das Problem der zusammengesetzten Festigkeit — für dessen einen, einfachen speziellen Fall er sich interessiert — noch nicht gelöst hat; eine Aufgabe, die zwar streng theoretisch und allgemein zur Zeit nicht lösbar erscheint. Jedenfalls haben seine Ausführungen zur Weiterforschung auf diesem Gebiet regen Anlass gegeben. Voraussichtlich wird aber auch hier die Versuchsforschung zunächst den Weg ebnen und dabei die mathematische Elastizitätslehre, wenigstens für die einfachern Fälle und Querschnittsformen, helfend zur Seite stehen müssen.

*

Es soll noch kurz auf die Schwierigkeiten der *allgemeinen* Lösung der Aufgabe hingewiesen werden. Abb. 3 zeigt als Beispiel einen Querschnitt F, der in der Ebene E (Spur y auf F) durch die Resultierende R der äussern Kräfte beansprucht ist. Es liege sogen. zentrischer Druck vor, d. h. die Längskraft N treffe den Querschnitt F in seinem Schwerpunkt S. Angenähert seien auch für diesen Querschnitt — wie dies, den Randbedingungen entsprechend, für die schmalen Flanschen der Walzprofile, als zulässig erachtet wird — keine Querschubspannungen berücksichtigt. Wenn die Schubspannung τ_x im Querschnittsteil F_1 und τ_y in F_2 gleich Null gesetzt werden, muss somit Gleichgewicht zwischen der Querkraft Q und den Resultierenden der innern Schubkräfte $\int \tau_y \, dF$ im Querschnittsteil F_1 und $\int \tau_x \, dF$ in F_2 bestehen; die erste wird gleich der Querkraft Q, die zweite gleich Null sein. Angenähert nehmen diese resultierenden innern Schubkräfte die Lagen I und II ein. Der Schubmittelpunkt, der bei Erfüllung der Gleichgewichtsbedingung 2 auf der Richtung Q liegen sollte, liegt hier genau genug auf der Axe I. Wie beim ⊏-Eisen sollte nun die Kraftebene E, in Bezug auf den Querschnitt, von der Richtung y durch S nach der Axe I verschoben werden, wobei die Normalspannung ganz wesentlich steigen würde. Genau genommen entspricht einer jeden solchen Verschiebung — im Gegensatz zum Fall der reinen Biegung — eine andere Verteilung der Längs- und Schubspannungen. Zweifellos wird man es hier — im Gegensatz zum Fall der reinen Biegung — vorziehen, die sogen. zentrische Belastung beizubehalten, wobei jedoch ebenfalls, gegenüber der üblichen Spannungsbestimmung, zusätzliche Längs- und Schubspannungen auftreten werden, sobald die Kraftebene E nicht die Lage einer Symmetrieebene s-s einnimmt.

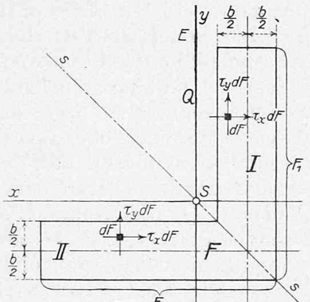

Abb. 3

Es soll später auf diese Frage ausführlicher eingegangen werden, wobei, wie schon gesagt, zuerst der Versuchsweg zu deren Abklärung beitragen muss. Rohn.

Die neuen Südtiroler Schmalspurbahnen Grödenbahn und Fleimstalbahn.

Von Ing. Prof. Dr. *Leopold Oerley*, Wien.

(Schluss von Seite 124.)

IV. Die Fleimstalbahn.

Sie führt von der Brennerbahn-Station Auer im Etschtale, 16 km südlich von Bozen, über den Sattel von San Lugano in das reichbesiedelte Tal des Avisio,[1]) dessen Hauptorte Cavalese, Tesero und Predazzo stadtartige Bebauung zeigen. Nebst erheblichem Personenverkehr (Fremdenverkehr) hat die Bahn auch noch einen sehr ansehnlichen Güterverkehr zu bewältigen, wobei an erster Stelle die starke Holzausfuhr (Bau- und Instrumentenholz) aus den ausgedehnten Hochwäldern im Süden des Tales hervorzuheben ist.

[1]) Das Tal des Avisio führt in dem von Ladinern bewohnten Oberlaufe den Namen Fassatal, im Mittellaufe die Bezeichnung Fleimstal und wird im Unterlaufe Cembra-Tal genannt. Die Bevölkerung von Mittel- und Unterlauf ist italienisch.

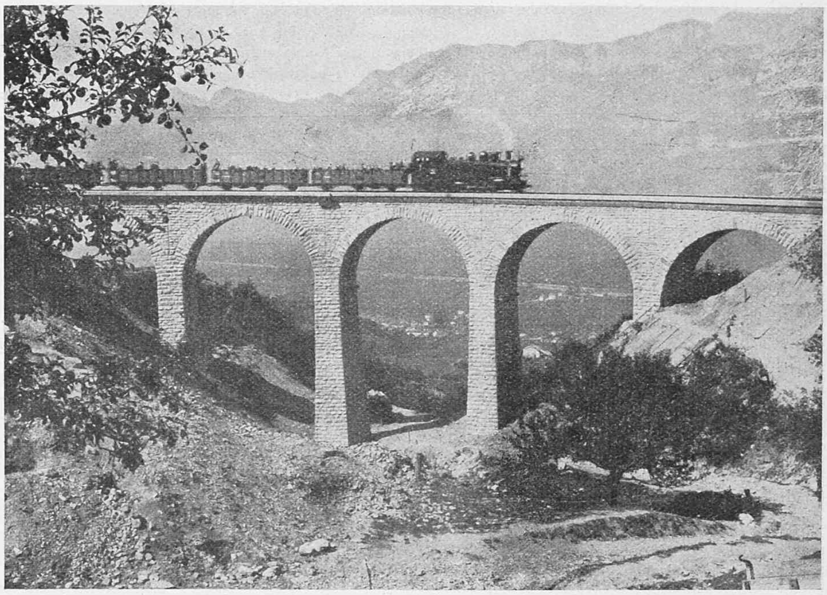
Abb. 18. Kehrviadukt der Fleimstalbahn nächst Glen. Radius der Kehre 60 m. Fünf Oeffnungen zu je 12 m. Bauzeit drei Monate: Januar bis März 1917.

Geologisch betrachtet, liegt die Fleimstalbahn zwischen Etsch und Avisio (Km. 0 bis 37) abwechselnd im Bereiche des roten Bozener Quarzporphyres und in dünn gebanktem Grödner Sandstein. In den letzten 14 km entlang dem Avisio führt sie durch alluviale Schotterterrassen. Ihr Endpunkt Predazzo aber gehört wegen der mächtigen und überaus mannigfaltigen Eruptivgesteine seiner Umgebung und wegen der an ihr Vorkommen geknüpften Hypothesen zu den mineralogisch und geologisch merkwürdigsten Stellen der Ostalpen. So hat Leopold von Buch in seinen Schriften Predazzo geradezu „den Schlüssel der Geologie" genannt.

Hinsichtlich der Linienführung sind für die Fleimstalbahn zwei Abschnitte besonders kennzeichnend: der Aufstieg von Auer bis oberhalb Kalditsch (Km. 1 bis 18), und der Abstieg von Cavalese zum Avisio (Km. 34 bis 40). Im erstgenannten Streckenabschnitte (siehe Abb. 3, S. 96) hat die Bahn auf rund 2 km Luftlinie 560 Höhenmeter zu überwinden; sie erreicht dies unter Einhaltung der massgebenden Neigung von 46 ‰ durch eine serpentinenartige Entwicklung mit sieben Kehren; ein Talquerprofil durch den Bahnhof Montan schneidet die Bahn sechsmal. Als Trassierungs-Grundsatz galt hier die Anwendung möglichst lang gezogener Entwicklungs-Schleifen, also die tunlichste

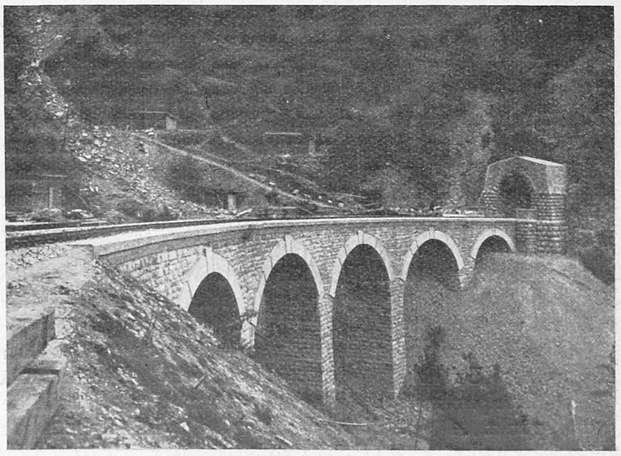
Abb. 19. Windischgraben-Viadukt der Fleimstalbahn, Gewölbe betoniert.