



Doctoral Thesis

Optimale Bemessung von Stabtragwerken

Author(s):

Anderheggen, Edoardo

Publication Date:

1966

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000088867> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Prom. Nr. 3710

Optimale Bemessung von Stabtragwerken

Von der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE IN ZÜRICH

zur Erlangung
der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften
genehmigte

PROMOTIONSARBEIT

vorgelegt von
EDOARDO ANDERHEGGEN
dipl. Bauingenieur ETH
belgischer Staatsangehöriger

Referent: Herr Prof. Dr. B. Thürlimann
Korreferent: Herr Prof. Dr. P. Künzi

Juris Druck + Verlag Zürich
1966

nämlich normalerweise die Freiheit, welche die plastische Spannungsverteilung hat, Freiheit, die dazu gebraucht wird, andere belastete Tragwerksteile tragen zu helfen. Dieser Effekt ist selbstverständlich bei elastischer Bemessung nicht vorhanden, da dort die Spannungsverteilung überhaupt nicht frei, sondern an die elastische Verträglichkeit des Systems gebunden ist.

In unserem Beispiel zeigen sich folglich die drei angegebenen Belastungsfälle, die die fünf Längsträger durch verteilte und konzentrierte Lasten voll belasten, als vollkommen genügend für eine starr-plastische Bemessung. Keine andere Belastungsanordnung mit denselben Lastintensitäten sollte die Tragfähigkeit der so bemessenen Brücke merklich übersteigen.

Anders ist es bei elastischer und folglich bei elastisch-plastischer Bemessung; merklich ungünstigere Momentengrenzwerte hätten wir nämlich mit mehreren raffinierteren Belastungsanordnungen bekommen können. Dies gefährdet aber auf keinen Fall die statische Tragfähigkeit der elastisch-plastisch bemessenen Brücke. Die elastisch-plastische Bemessung ist auf jeden Fall sicherer als die starr-plastische; einzig wird die Anpassungsfähigkeit des Tragwerkes gefährdet, was eigentlich ein beruhigendes Resultat ist. Wichtiger war allerdings in diesem Beispiel die Vergleichbarkeit der Resultate.

Wir kommen zum Schluss noch zur Kontrolle der Plastizitäts- oder Fließbedingung. Wie früher gesagt, ist es wichtig, besonders bei starr-plastischer Bemessung, möglichst wenige solche Kontrollen durchzuführen. Jede entspricht nämlich einer neuen Zeile in der grossen Koeffizientenmatrix des linearen Programms.

Bei der starr-plastischen Bemessung haben wir 162 solcher Kontrollen durchgeführt (56 für den ersten, 60 für den zweiten und 46 für den dritten Belastungsfall). Für die elastisch-plastische Bemessung waren nur 97 solcher Kontrollen notwendig. Die Anzahl dieser Kontrollen wird die Rechenzeit, wie wir sehen werden, erheblich beeinflussen.

6.2. RESULTATE

Erst einige Hinweise über den Verlauf der Rechnung.

Das lineare Programm zur starr-plastischen Bemessung mit 177 Basis-Variablen (oder Restriktionen) und 108 nicht-Basis-Variablen erreichte die optimale

Lösung nach 256 Austauschschritten und benötigte insgesamt (also inklusiv Programm-Umwandlung sowie Ein- und Ausgabe) 23 Minuten 34 Sekunden Maschinenzeit. Es ist noch zu erwähnen, dass dies der dritte Versuch war; die zwei ersten, die auch ungefähr soviel Zeit benötigten, haben sich als unbrauchbar erwiesen, da die Plastizitätsbedingungen an gewissen Stellen verletzt waren. Es ist nämlich schwierig, ohne die Anzahl Kontrollen allzuviel zu vergrößern, von vornherein zu wissen, an welchen Stellen und für welche Belastungsfälle alle diese Kontrollen notwendig werden. Dies ist im Gegenteil bei der elastisch-plastischen Bemessung eine viel leichtere Angelegenheit.

Nur der erste und der zweite Belastungsfall haben sich für die Bemessung als massgebend gezeigt. Der dritte Belastungsfall ist, mit nur 19 = n plastifizierten Stellen, keine Traglast der optimal bemessenen Brücke, er wird folglich zur Auswertung der Momentengrenzwerte nicht gebraucht.

Das lineare Programm zur elastisch-plastischen Bemessung, mit 112 Basis- und 70 nicht-Basis-Variablen, erreichte die rein elastische Lösung nach 39 Austauschschritten und die elastisch-plastische optimale Lösung nach 126 Austauschschritten. Die gesamte Berechnung benötigte 5 Minuten 11 Sekunden Maschinenzeit, wobei in dieser Zeit auch die vollständige elastische Analyse zur Ermittlung der elastischen Momentengrenzwerte durchgeführt worden ist. Rein rechen-technisch bietet also das elastisch-plastische Bemessungsverfahren, im Vergleich zur starr-plastischen, ganz grosse Vorteile.

Zu den Resultaten gehören in erster Linie die Biegemomentenverteilung in allen Tragwerksteilen, sowie die Widerstandsverteilung mit dem entsprechenden Wert der Kostenfunktion.

Interessant ist zuerst der Vergleich zwischen den drei Werten der Kostenfunktion für starr-plastische, elastisch-plastische und rein elastische Bemessung; man kann damit sehen, was überhaupt an Stahlvolumen, dank unseren Bemessungsmethoden, gespart werden kann. Es hat sich ergeben:

$P_{\text{starr-plastisch}}$	=	100,0
$P_{\text{elastisch-plastisch}}$	=	106,1
$P_{\text{elastisch}}$	=	120,0

Die Anpassungsfähigkeit des Tragwerkes kostet also 6,1 % des absolut minimalen starr-plastischen Stahlverbrauchs. Will man aber jede plastische Deforma-

tion ausschliessen, dann muss man 20,0 % mehr Stahl verwenden. Zu bemerken ist noch, dass die Armierung, welche zur Erzeugung minimaler Widerstände notwendig ist in diesen Werten nicht inbegriffen ist.

Die Diagramme der Fig. (7), (8) und (9) zeigen den Biegemomenten- sowie den Widerstandsverlauf für die drei Bemessungsverfahren. Die Nummern beziehen sich auf die Widerstände.

Wichtig ist zuerst die Frage, ob die angenommene Widerstandsverteilung der Biegemomentenverteilung entspricht. Nur dann sind wir nämlich sicher, dass das lineare Programm wirklich die optimale Lösung gefunden hat, wenn die Armierungsseisen so angeordnet werden, wie es im Plan der Widerstände angenommen wurde. Die Armierungsseisen sollen aber grundsätzlich auf Grund der Momentengrenzwerte angeordnet werden; Widerstands- und Momentenverteilung sollten sich folglich entsprechen. Es ist in unserem Beispiel leicht zu erkennen, dass dies nicht überall der Fall ist. Es wäre folglich angezeigt, eine neue Rechnung mit einer der Momentenverteilung besser angepassten Widerstandsverteilung durchzuführen. Die optimale Momentenverteilung sollte sich dabei, wie andere Beispiele gezeigt haben, nicht sehr wesentlich ändern, so dass schon der zweite Versuch befriedigende Resultate liefern sollte.

Die Diagramme der Fig. (7), (8) und (9) zeigen sonst, wie zu erwarten war dass die starr-plastische und die elastisch-plastische Momentenverteilung sich weitgehend entsprechen, insbesondere liegen sie praktisch überall auf derselben Seite bezüglich der elastischen Momentenverteilung.

Es ist dort beispielsweise ersichtlich, dass eine stärkere Ausbildung der gestützten Hauptlängsträger wirtschaftlich sein wird. Damit kann ein Teil der Armierung in den anderen Längsträgern (besonders im mittleren Längsträger) gespart werden.

Man könnte sich sogar fragen, ob es nicht zweckmässig wäre, den mittleren Längsträger überhaupt wegzulassen; die plastischen Beanspruchungen überschreiten nämlich dort fast nirgends die minimalen Widerstände. Weil diese aber "schon bezahlt" sind, werden sich dort selbstverständlich wenigstens so grosse plastische Beanspruchungen ergeben. Es ist aber anzunehmen, dass eine Verkleinerung dieser "schon bezahlten" minimalen Widerstände zu einer noch weiteren Verkleinerung der plastischen Beanspruchungen führen würde. Damit wäre die Unzweckmässigkeit dieses mittleren Längsträgers noch deutlicher gezeigt.

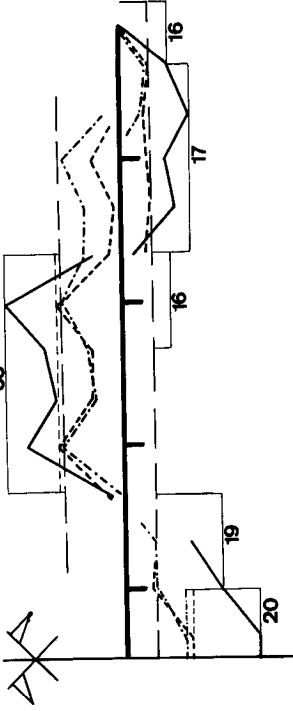
Eine grössere Konzentration der Beanspruchungen in den Hauptlängsträgern

WIDERSTANDSVERTEILUNG

UND MOMENTENGRENZWERTE

- - - - - starr - plastische Lösung
- elastisch - plastische Lösung
- _____ rein elastische Lösung
- - - - - minimale Widerstände

MITTLERE LÄNGSTRÄGER



RANDLÄNGSTRÄGER

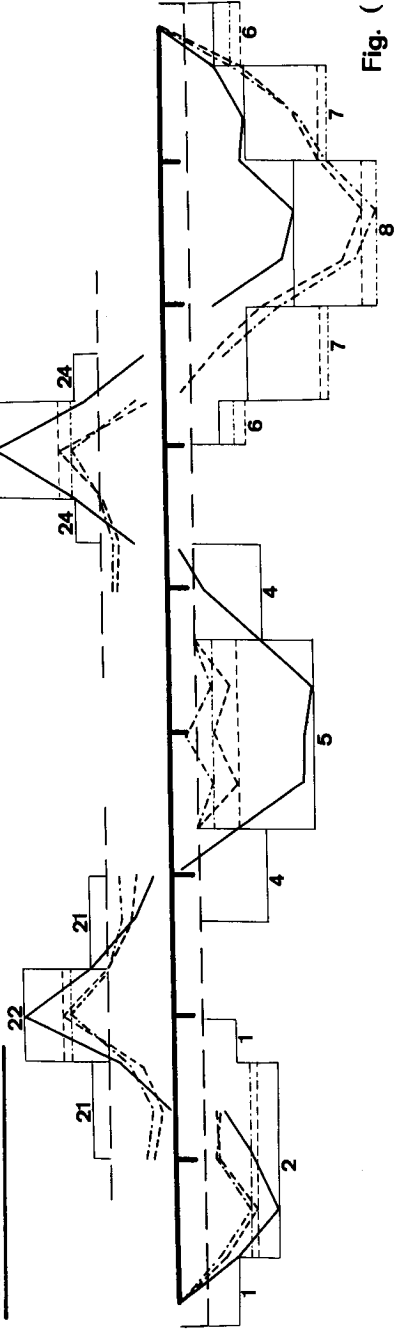


Fig. (7)

HAUPTLÄNGSTRÄGER

Masstab : $\left[\right] = 100 \text{ m} \cdot \text{t}$

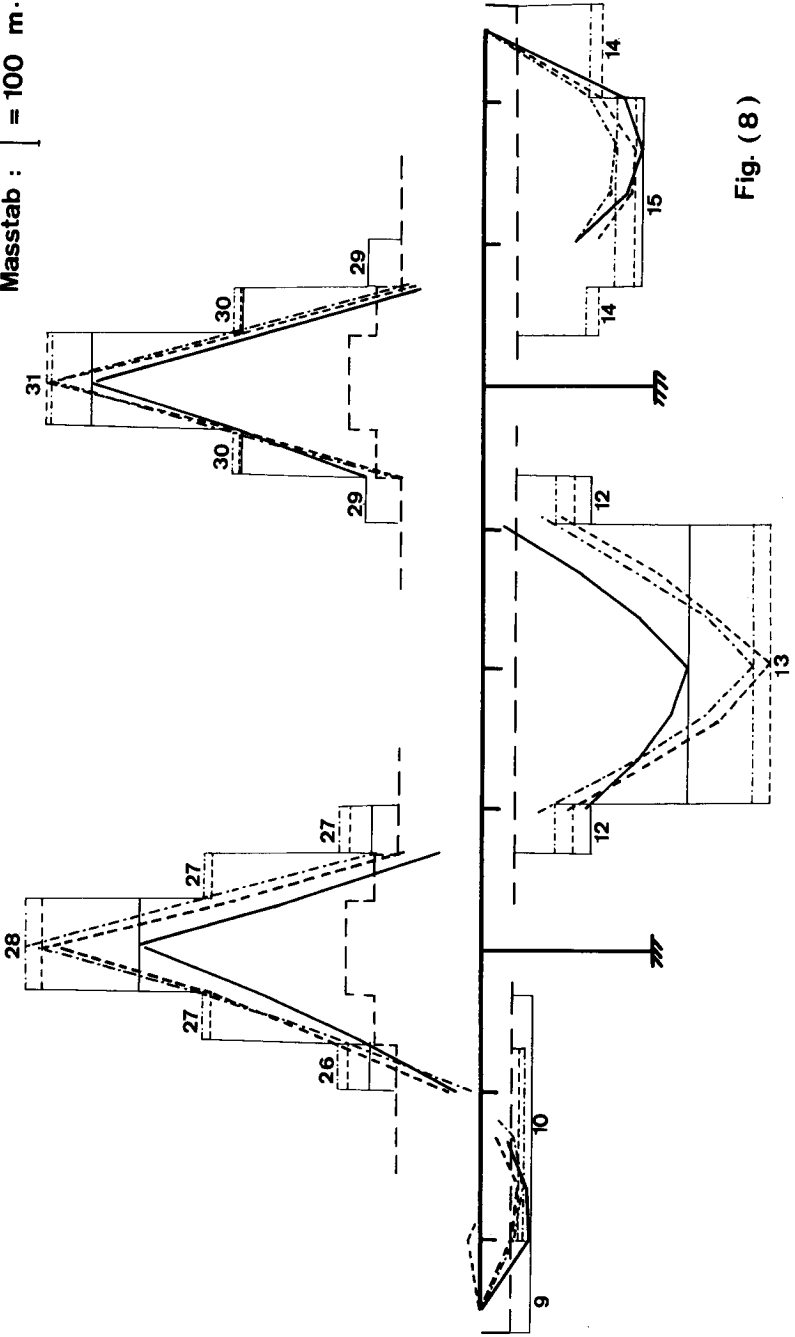
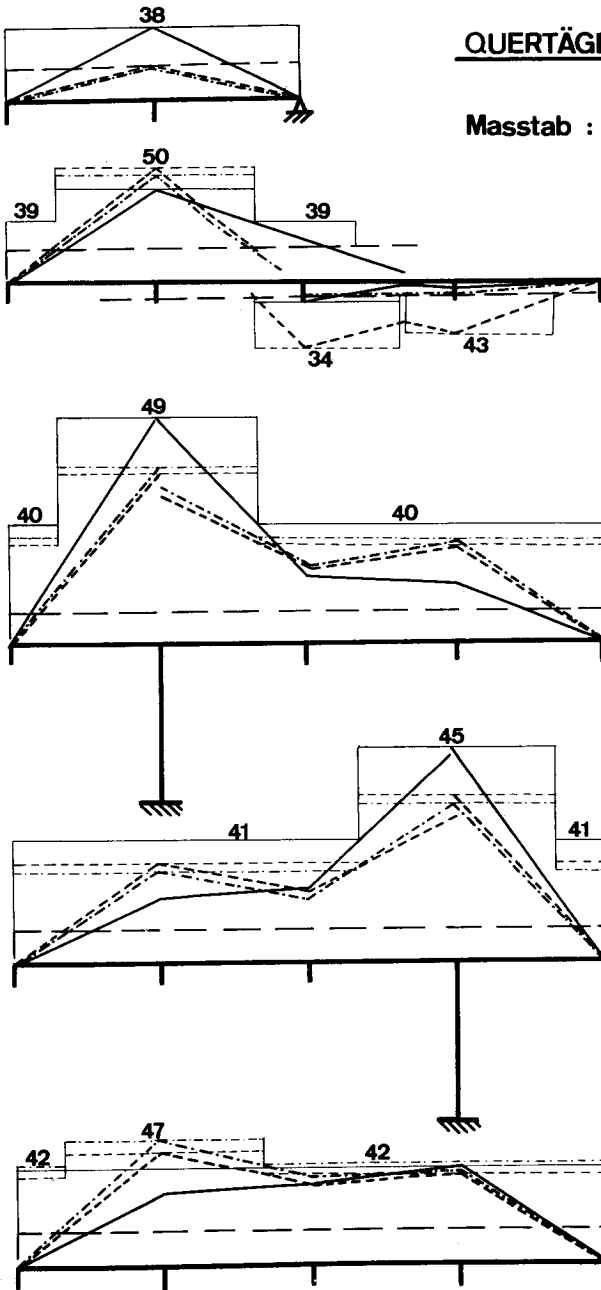


Fig. (8)



QUERTÄGER

Masstab : $\left| \right. = 25 \text{ m} \cdot \text{t}$

Fig. (9)

können wir übrigens auch rein elastisch erreichen durch eine Versteifung derselben gegenüber den anderen Längsträgern; es wird uns damit den Weg für eine angenährte, rein elastische optimale Bemessung gezeigt.

Solche Schlüsse können wir aus unseren Resultaten ziehen. Damit haben wir aber das Ziel erreicht: unsere Berechnungen zeigen deutlich, wie das Tragwerk anders zu bilden ist, damit es wirtschaftlicher sein wird.