Untersuchungen über den Sicherheitsbegriff von Bauwerken

Author(s):
Basler, Ernst

Publication Date:
1960

Permanent Link:
https://doi.org/10.3929/ethz-a-000099666

PROM. NR. 3035

Untersuchungen über den Sicherheitsbegriff von Bauwerken

Von der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN ZÜRICH

zur Erlangung der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften genehmigte

PROMOTIONSARBEIT

Vorgelegt von

ERNST BASLER
dipl. Bauingenieur ETH
Thalheim ZH

Referent: Prof. Ed. Amstutz
Korreferent: Prof. Dr. F. Kobold

1960, Solothurn, Vogt-Schild AG

werden mit g, diejenigen vom Festigkeitsmass mit h bezeichnet. Ihre Häufigkeitsfunktionen seien gegeben durch $f(g)$ und $f(h)$. Die in die Bemessung eingehenden Last- und Festigkeitsmasse p' und q' sind damit gegeben durch die Summe von genauem Wert und Abweichung:

$$p' = p_o + g \qquad q' = q_o + h \qquad 4.35$$

Wenn diese genauen Sollwerte aber selber zufällige Grössen sind und durch p und q substituiert werden, dann ergeben sich aus Gl. 4.35 folgende Ansätze:

$$p' = p + g \qquad q' = q + h \qquad 4.36$$

Damit ergeben sich Last- und Festigkeitsmass als Summe zweier zufälliger Veränderlichen, und um ihre Verteilungsfunktionen zu gewinnen, müssten Methoden an-

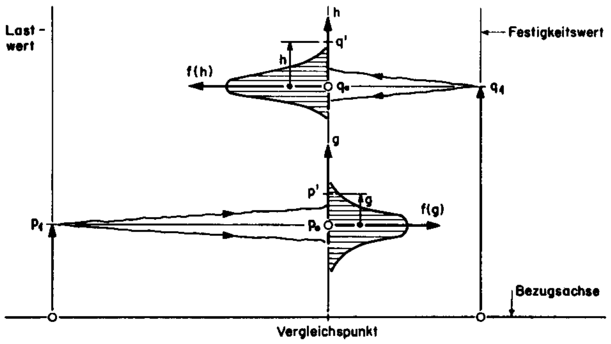

Abb. 19. Der Einfluss der zufälligen Rechenfehler auf die Bemessung.

gewendet werden, wie erwähnt in Abschnitt 3.1. Wenn wir uns mit der Kenntnis der nominalen Werte und der Streumasse begnügen, dann können diese wiederum mit Hilfe des sogenannten "Variance Law" analog zu Gl. 2.7 angeschrieben werden:

Mittelwerte:

$$p_o' = p_o + h_o \qquad q_o' = q_o + g_o \qquad 4.37$$

mittlere quadratische Abweichung:

$$S_p' = \sqrt{S_p^2 + S_g^2} \qquad S_q' = \sqrt{S_q^2 + S_n^2} \qquad 4.38$$

Wenn jeder individuelle zufällige Rechenfehler gleiche Chancen hat, einen positiven wie negativen Wert anzunehmen, so verschwinden g_o und h_o.

Der Einfluss der zufälligen Rechenfehler auf die Bemessung kann somit durch einen Zuschlag zum Streumass des Last- und Festigkeitsmasses gemäss Gl. 4.38 berücksichtigt werden. Sie wirken sich in der Bemessung genau gleich aus, wie wenn Last- und Festigkeitsannahmen mit entsprechend grösseren Ungewissheiten behaftet wären.

4. 4 Rückblick und Ausblick

Streuungen und ihre mathematische Erfassung: Mit der Einführung der Wahrscheinlichkeit wird eine neue Denkweise, eine neue Dimension eröffnet. Das wesentliche ist, dass gewisse Last- und Materialkonstanten von ihrer «Konstanz» befreit und durch eine Funktion oder zufällige Grösse ersetzt werden. Die Frage, welche Verteilungskurven zu wählen sind, ist bereits von sekundärer Bedeutung. Die folgende Analogie soll diesen Gedanken illustrieren:

Es wird angenommen, es gelte die Hypothese, dass alle festen Körper starr seien. Mit dieser vereinfachenden Annahme kann man eine beschränkte Mechanik oder Technik aufbauen. Nun wird mit fortschreitendem Wissen diese Hypothese fallen gelassen und auch den festen Körpern ein Verformungsvermögen zugestanden. Dabei stellt sich sofort die Frage, welche Spannungs-Dehnungsdiagramme anzunehmen sind. Es wäre nun aber sehr hemmend für den Fortschritt, wenn diese Entwicklung fallen gelassen würde, nur weil man sich noch nicht absolut im klaren ist, welche Verformungskurven die besten sind. Es ist auch vernünftig, dass bei einem solchen Vorstoss in ein neues Gebiet, das notwendigerweise einen grösseren mathematischen Aufwand erfordert (da es allgemeiner ist), zuerst diejenigen funktionellen Zusammenhänge verwendet werden, die sich am leichtesten handhaben lassen, da man Verfeinerungen später immer noch anbringen kann. In dieser Analogie entspringt nun das «Fallenlassen der Hypothese von starren Materialien» dem Weggehen von gewissen Konstanten und ihrer Ersetzung durch zufällige Variablen; die Frage der zu verwendenden Spannungs-Dehnungsdiagramme entspricht derjenigen nach der Wahl der Verteilungskurven.

In diesem Sinne wird auch die vorliegende Dissertation noch viele Verfeinerungen und Ergänzungen zulassen, deren wichtigste im Interesse der künftigen Forschung noch kurz aufgezählt werden.

Die Seltenen Ereignisse. Fast alle numerischen Beispiele, die in dieser Arbeit aufgeführt sind, beziehen sich auf die sogenannte Grundgesamtheit einer Erscheinung. Als eine solche Grundgesamtheit können z.B. alle mittleren Tagestemperaturen während der Lebensdauer eines Bauwerkes aufgefasst werden. Da aber vielleicht nur die Extremaltemperaturen von praktischer Bedeutung sind, rechtfertigt es sich oftmals, den «Bezugspunkt» gewissermassen in die Extremwerte zu verlegen und beispielsweise nur die Extremaltemperaturen jedes Jahres als neue zufällige Variable zu betrachten. Man könnte sogar noch weitergehen und für die vorgesehene Lebensdauer eines Bauwerkes je die kälteste und wärmste Temperatur, die es «vermutlich» erleben wird, als neue zufällige Grösse auffassen. Es ist wichtig, sich zu merken, dass auch jedes dieser sogenannten «Seltenen Ereignisse», wie z.B. die grösste Schneelast in einer Zeitspanne von 50 Jahren, die geringste Festigkeit aller Armierungseisen eines Bauwerkes usw., eine eigene Häufigkeitsverteilung hat.

Man wird sich allerdings sofort fragen, wie eine solche Wahrscheinlichkeitsverteilung überhaupt bestimmt werden kann, wenn doch pro Bauwerk nur ein Ereignis vorliegt. Dazu gibt es verschiedene Methoden. Der rein experimentelle Weg besteht darin, eine grosse Anzahl Beobachtungswerte zu sammeln und daraus direkt ein Histogramm bzw. eine Häufigkeitskurve zu konstruieren. Man kann jedoch auch aus der sogenannten

Grundgesamtheit die Verteilungen gewisser extremer Werte herleiten. Schliesslich stehen noch verschiedene andere wertvolle Hilfsmittel zur Verfügung. So hat z. B. die mathematische Forschung in den letzten zwei Jahrzehnten auf dem Gebiet der Extremwerte zu erstaunlichen Entdeckungen geführt. Man kann nachweisen (Ref. 9), dass die Extremwerte jeder Grundgesamtheit nur drei verschiedene Verteilungsformen annehmen können, ganz unabhängig von der Art der ursprünglichen Verteilung. Oft kann man schon aus der Natur des Problems oder dem Definitionsbereich der Veränderlichen Schlussfolgerungen ziehen auf den Typus der Extremalverteilung.

Schliesslich gibt es auch Näherungsmethoden. Diese beruhen auf der Erkenntnis, dass sich die Natur der Verteilung mit wachsender «Seltenheit» nicht mehr stark ändert. Als Beispiel sei die in *Abbildung 5* dargestellte Verteilung der höchsten jährlichen Windgeschwindigkeiten erwähnt. Diese Verteilung lässt sich schon gut durch eine der drei erwähnten Extremalfunktionen approximieren. Wenn statt der grössten jährlichen Geschwindigkeit z. B. die grösste fünfzigjährige Geschwindigkeit aufgetragen würde, so ergäbe sich beinahe dieselbe Verteilung, nur dass sie auf der Abszisse weiter nach rechts, also nach höheren Werten hinauf verschoben wäre. Ein Studium dieser sogenannten «Seltenen Ereignisse» ist wünschenswert, bevor eine zu grosse Verfeinerung der vorliegenden Theorien vorgenommen wird.

Ist V_r der bestmöglichste Sicherheitsbegriff? Im dritten Kapitel ist die Erkenntnis herausgearbeitet worden, dass der sogenannte Variationskoeffizient der gesamten Bemessung ein wirksamerer Sicherheitsbegriff ist als der Sicherheitsfaktor oder die Sicherheitszone. Es kann etwas störend empfunden werden, dass dieser Koeffizient um so grösser wird, je höher die potentielle Bruchwahrscheinlichkeit ist, währenddem doch der konventionelle Sicherheitsfaktor mit zunehmender Grösse auch eine grössere Sicherheit anzeigt. Man kann sich deshalb fragen, ob es nicht von Vorteil wäre, den reziproken Wert dieser Masszahl einzuführen, also eine Zahl, die angibt, wie oft die Mittlere Quadratische Abweichung S_r in der Sicherheitszone abgetragen werden kann. Diese Werte würden in der Grössenordnung von 2.5 liegen.

Die schweren Konsequenzen eines Einsturzes. Die vorliegende Arbeit hat sich ausschliesslich mit den der Bemessung zugrunde liegenden Unsicherheiten befasst. Der Verfasser ist aber der Ansicht, dass bei der Festlegung der Grösse irgend eines Sicherheitsmasses zusätzlich noch die Konsequenzen, die ein möglicher Bruch nach sich ziehen kann, mitberücksichtigt werden sollen. Wenn beispielsweise ein Sendeturm inmitten einer dichten Besiedlung steht, sollte ein etwas grösseres Sicherheitsmass vorgesehen werden, als wenn derselbe Turm an einem abgelegenen, bewaldeten oder unbesiedelten Ort gebaut wird, da bei einem möglichen Einsturz im ersten Fall neben dem ökonomischen Verlust auch Menschenleben gefährdet werden. Dieser Zuschlag kann und soll ganz unabhängig von der Bemessung vorgenommen werden. Eine mögliche Berücksichtigung dieses Faktors bestünde darin, dass alle Bauwerke in sogenannte «Gefahrenklassen» eingeteilt würden und dem Sicherheitswert ein zusätzlicher Multiplikationsfaktor zugeordnet wird, wie angegeben in *Tabelle 3,* Abschnitt 1.2.

* * *

Durch Auswertung einer grossen Zahl von Beobachtungswerten könnten mit Hilfe der geschaffenen Theorie die verschiedenen Sicherheitsbegriffe numerisch und zum grössten Teil auf objektivem Weg ermittelt werden. Wir hoffen aber, dass schon die qualitative Auswertung dem Leser zum Nutzen gereicht.

Appendix

Statistische Begriffe

Die folgenden Definitionen sind für das Verständnis der Grundlagen und Resultate dieser Arbeit wichtig und fast unentbehrlich. Sie können mit Hilfe von Lehrbüchern über Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie noch ergänzt und vertieft werden (z. B. Ref. 31, 32, 34).

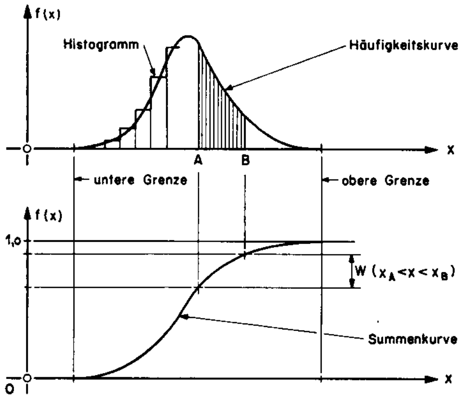

Abb. 20. Häufigkeitskurve und Summenkurve

Die zufällige Variable oder Veränderliche, gelegentlich auch stochastische Variable genannt, ist eine «willkürlich veränderliche» Grösse, deren Wert man nur im Zusammenhang mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit angeben kann. Beispiele: Die in den nächsten zehn Jahren auftretende Höchsttemperatur, die Festigkeit von Beton einer bestimmten Klasse, die nächstjährige Schneemenge usw.

Die Wahrscheinlichkeit kann aufgefasst werden als Grenzwert einer «relativen Häufigkeit». Wenn z. B. Festigkeitsproben einer bestimmten Betonklasse zeigen, dass immer ungefähr 15% der Probenwerte unterhalb eines Kontrollwertes k liegen, dann kann man folgendes postulieren: die Wahrscheinlichkeit W, dass Beton dieser Festigkeitsklasse Werte annimmt, die kleiner sind als k, beträgt 0.15. Als mathematischer Begriff nimmt die Wahrscheinlichkeit nur Werte zwischen Null und Eins an, sehr oft werden diese Werte aber mit 100 multipliziert und als Prozente ausgedrückt. Die Wahrscheinlichkeit $W = 0$ heisst, dass ein Ereignis unmöglich ist;