

Grundlegende Bemerkungen zur Sicherheit

Autor(en): **Schneider, Jörg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **92 (1974)**

Heft 49

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-72526>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

<http://www.e-periodica.ch>

Grundlegende Bemerkungen zur Sicherheit

Von Jörg Schneider, Zürich¹⁾

DK 331.823:624

Der Verfasser ist aufgefordert worden, an einer dem Thema Hochhäuser gewidmeten Tagung über Sicherheit in statisch-konstruktiver Hinsicht zu sprechen. Er ist jedoch der Meinung, dass sich die Frage der Sicherheit bei Hochhäusern weder anders noch wesentlich dringender stellt als bei niedrigen Bauten und anderen Bauwerken. Der Verfasser zieht deshalb vor, die sich stellenden Sicherheitsfragen und den Sicherheitsbegriff eher an der Wurzel als an der Spitze der Verästelung zu diskutieren.

Man muss sein Gedächtnis nicht besonders anstrengen, um einige Beispiele für das Versagen von Bauwerken aufzuzählen. Einige Stichworte, wie z. B. Wülflingen, Melbourne, Koblenz, Wien, nochmals Koblenz, Aigle, Valangin, Ronan Point, Reemtsma, Chiasso usw., geben dem aufmerksamen Beobachter der letzten Jahre ausreichende Hinweise. Alle diese Schadenfälle (bei denen neben erheblichen Sachschäden z. T. auch Menschenleben zu beklagen waren) sind eingetreten, obwohl wir über das Verhalten von Bauwerken und Bauteilen unter den verschiedensten Einwirkungen sehr gut Bescheid wissen. Nicht der angewendete Sicherheitsbegriff hat versagt. Auch die «moderne Sicherheitstheorie», die heute in aller Munde ist, wird ähnliches nicht verhindern können. Versagt hat in der Mehrzahl der genannten Fälle der Mensch, der an Projektierung, Auftragserteilung, Ausführung, Überwachung und Betrieb der Bauwerke beteiligte und für diese Teilgebiete verantwortliche Fachmann.

Wenn man von Sicherheit spricht, muss man im Auge behalten, dass zum Versagen von Bauwerken normalerweise nicht unvorhersehbare Überlastung oder unerwartbar geringe Materialfestigkeit führt, sondern das Übersehen irgendeines massgebenden Aspektes in der Fülle der zu berücksichtigenden Gesichtspunkte. Ein fehlender Aspekt bei der Beurteilung eines Sachverhaltes führt zu einem Fehler im eigentlichen Sinn des Wortes [1]. Eine Sicherheitstheorie fängt erst dort an, wo eigentliche Fehler bereits ausgemerzt sind. Es wäre eine reizvolle Aufgabe, der Frage nachzugehen, auf welche Art und Weise und mit welcher Strategie und Taktik die jedem einzelnen von uns in der täglichen Arbeit unterlaufenden Fehler aufgedeckt werden könnten. Und es wäre eine überaus lohnende Aufgabe dazu.

Wenn also in der Folge von Sicherheit gesprochen wird und vielleicht Elemente einer möglichen Sicherheitstheorie angedeutet werden, so ist Voraussetzung, dass die zu beurteilende Situation frei von eigentlichen Fehlern ist.

Was ist überhaupt Sicherheit?

Ich habe die Frage verschiedenen Kollegen und Freunden vorgelegt und einige bemerkenswerte Antworten erhalten. Eine – freilich zynische – war: Sicherheit ist dazu da, die In-

genieure, und zwar insbesondere die schlechten Ingenieure (und das sind immer die anderen) vor allzuvielen Schadenfällen zu schützen. Eine andere Antwort: Sicherheit ist ein Bedürfnis der Gesellschaft, entsprechende Sicherheitsforderungen nötig zum Schutze der Gesellschaft vor allzu vielen Schadenfällen. Doch dieses Bedürfnis ist von der Einstellung der Gesellschaft gegenüber einer Gefährdung ihres Lebensbereiches abhängig. Und diese Einstellung variiert von Volk zu Volk und Situation zu Situation. Es lassen sich drei Pole extremer menschlicher Einstellung einer Gefährdung gegenüber bezeichnen (Bild 1):

- Akzeptieren der Gefährdung als eine Äusserung höherer Gewalt
- Bereitschaft zu einem der Gefährdung adäquaten menschlichen Verhalten
- Forderung nach einer jede Gefährdung ausschliessenden Zuverlässigkeit von Bauten und Einrichtungen.

Das Akzeptieren der Gefährdung als eine Äusserung höherer Gewalt ist eine typisch orientalische Einstellung (Kismet = unabwendbares Schicksal). Eine Bereitschaft zu adäquatem Handeln findet sich in ausgesprochenen Pionier-Gesellschaften. Die Forderung nach vollkommener Zuverlässigkeit ist die typische Einstellung des «hochindustrialisierten, westlichen Menschen». Doch auch die Einstellung dieses letzteren bestreicht den Raum zwischen den drei Polen: Wir haben uns daran gewöhnt, den täglichen Blutzoll auf den Strassen zu bezahlen; wir sind bereit, in einer Bergkameradschaft beispielsweise adäquat zu handeln, und wir fordern schliesslich die doppelte und dreifache Absicherung einer Sicherheitseinrichtung (Bahnen, Sprinkleranlage usw.). Als zahlender Benützer können wir schliesslich fordern.

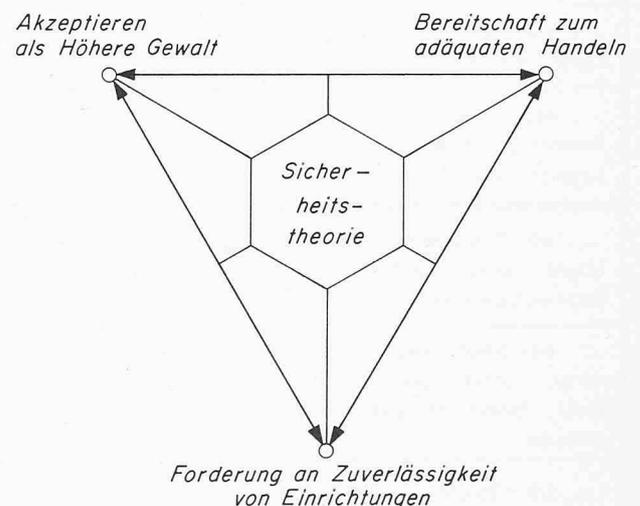


Bild 1. Pole extremer menschlicher Einstellung einer Gefährdung gegenüber

¹⁾ Vortrag, gehalten anlässlich der Studientagung «Hochhäuser» der SIA-Fachgruppen für Brückenbau und Hochbau (FBH) und für Architektur (FGA) in Zürich vom 18. bis 20. Oktober 1973.

Inwieweit diese «westliche Haltung» nach Kritik ruft, kann hier nicht untersucht werden. Das ist eine Frage, die in einem anderen Rahmen zu diskutieren wäre. Hier – als Ingenieure – müssen wir uns mit der Frage auseinandersetzen, welches Mass der Sicherheit unsere Gesellschaft von den von uns erstellten Bauwerken fordert, oder – anders ausgedrückt – welchen Grad von Risiko unsere Gesellschaft bereit ist, auf sich zu nehmen.

Sicherheitsbedürfnis unserer Gesellschaft

Es ist wohl unbestritten, dass der «hochindustrialisierte westliche Mensch» nur eine vergleichsweise kleine Gefährdung als höhere Gewalt zu akzeptieren bereit ist. Dass im übrigen die Voraussetzung eines der Gefährdung adäquaten menschlichen Verhaltens zum mindesten normalerweise nicht gerechtfertigt ist, lehrt jeder Gang durch eine grössere Stadt, in der jeder als einzeln lebt und bestrebt ist, in keiner Weise in irgend etwas hineingezogen zu werden. Bezeichnend für die Haltung des westlichen Menschen dem Begriff Sicherheit gegenüber ist die Definition, die sich im Larousse findet: «... tranquillité d'esprit resultant de la pensée, qu'il n'y a pas de péril à redouter», frei übersetzt, die «...Seelenruhe, die aus dem Gedanken kommt, dass keine Gefahr zu fürchten sei». «...keine Gefahr...»? Nun, das wäre zu untersuchen, denn ohne Zweifel leben wir nicht ohne gewisse Risiken.

Man kommt wohl nicht darum herum, diese Risiken zahlenmässig auszudrücken. Wir wollen hier unter Risiko – obwohl wesentlich eingehendere und zutreffendere Vorschläge

[2] vorliegen – der Einfachheit halber die Wahrscheinlichkeit verstehen, dass ein unerwünschtes Ereignis eintritt. Dabei müssen wir allerdings immer die Art des Ereignisses benennen (Verletzungsrisiko, Risiko, Geld zu verlieren usw.) und die Zeitspanne angeben, auf welche sich die Aussage bezieht. Einige Zahlen finden sich in Tabelle 1. Die erste Gruppe von Zahlen bezieht sich auf Risiken, denen sich ein normaler «westlicher Mensch» nicht oder kaum entziehen kann. Die zweite Gruppe enthält Berufsrisiken, die der Betroffene im echten Sinn des Wortes in Kauf nimmt, denn er wird dafür bezahlt (wird er das wirklich?).

Was ist eigentlich angesichts dieses belegbaren Risikos sicher? Wenn auch das, was landläufig als sicher angesehen wird, merkbare Risiken in sich trägt? Offensichtlich bezeichnet die Gesellschaft Situationen als sicher, die (gegenüber anderen «unausweichlichen» Risiken) ein vernachlässigbares Risiko in sich bergen. Etwas *ist* demnach nicht sicher (denn das gibt es gar nicht), sondern es wird als sicher *bezeichnet*, es gilt als sicher.

Von Gebäuden erwartet der «westliche Mensch» ein sehr hohes Mass von Sicherheit, er möchte sich geborgen wissen in seinem Haus. Es ist anzunehmen, dass er das heute für diese Situation geltende Risiko (von z.B. $8 \cdot 10^{-6} \cong 10^{-5}$ für tödliche Verletzungen, Tabelle 1) weiterhin als sicher zu bezeichnen bereit ist. Es bestehen allerdings Anzeichen dafür, dass er seine Forderungen langsam höher schraubt, er möchte noch sicherer hausen. Ein Berufsmann auf dem Bau muss offensichtlich wesentlich toleranter seinem Berufsrisiko gegenüber sein. Doch bin ich sicher, dass der hier aufgezeigte Grad des Berufsrisikos höchste Aufmerksamkeit fordert: jeder fünfte erleidet einen Unfall, sechs von 1000 werden invalid, und einer von 2000 Bauarbeitern erleidet jährlich den Tod. Es ist an der Zeit, Zeit für die Beantwortung der Frage zu verwenden, wie dieses Risiko vermindert werden kann. Auch das ist eine Aufgabe des Ingenieurs.

Die Aufgabe des Ingenieurs

Die Aufgabe des Ingenieurs ist, Schäden zu verhüten. Denn bauen würde man sicher auch ohne die Ingenieure (und oft sogar – vermeintlich – billiger). Die zu verhütenden Schäden lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten klassieren. Im vorliegenden Zusammenhang sollen sie in zwei grundsätzlich unterschiedliche Gruppen aufgeteilt werden:

- Sachschäden
- Personenschäden (Verletzte und Tote).

Die Einstellung der Gesellschaft und demnach auch des Ingenieurs diesen beiden Schadenarten gegenüber ist von prinzipieller Verschiedenheit.

Der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von *Sachschäden* gegenüber lässt sich mit gutem Grund das Optimierungsprinzip anwenden. Eine kleinere Versagenswahrscheinlichkeit muss in der Regel mit einem höheren Aufwand beim Bau oder bei der Überwachung bezahlt werden. Ein – finanzielles – Optimum wird erreicht, wenn, stark vereinfacht ausgedrückt, die folgende Beziehung ausgewertet wird:

$$(1) \quad K + wV + U \rightarrow \text{Minimum},$$

worin K die Herstellungskosten, w die Wahrscheinlichkeit eines Versagens, V die im Falle eines Versagens auftretenden Kosten (Abbruch und Wiederherstellung) und U die kapitalisierten Überwachungs- und Unterhaltskosten sind. Das Produkt wV kann auch als kapitalisierte Versicherungsprämien gedeutet werden (siehe auch [6]). Es sei nicht verschwiegen, dass die Auswertung dieser Beziehung in konkreten Fällen schwierig ist, da dem Ingenieur meist zu wenig Information über die Schadenswahrscheinlichkeit w zur Verfügung steht.

Tabelle 1. Risikosituation

| Wahrscheinlichkeit, dass | wird : | | |
|--|---------------------------|----------|---------|
| | (alle Zahlen pro 10^6) | verletzt | getötet |
| ein Einwohner der Schweiz bei Verkehrsunfall innerhalb eines Jahres:..... | | 6'000 | 300 |
| der nächste Flug eines Verkehrsflugzeugs mit einem – meist für alle tödlichen – Unfall endet : | | ~ 0 | 5 |
| ein Passagier einer Schweiz. Bergseilbahn bei der nächsten Fahrt | | 0,3 | 0,02 |
| ein Skifahrer in einer Saison (und zwar freiwillig)..... | | 50'000 | 30 |
| ein Einwohner Hollands innerhalb eines Jahres anlässlich eines Gebäudebrandes..... | | 45 | 8 |
| ein Bauarbeiter innerhalb eines Jahres anlässlich eines Betriebsunfalles | | 225'000 | 500 |
| ein Bauarbeiter innerhalb eines Jahres einen zu Invalidität führenden Betriebsunfall erleidet | | 6'000 | |
| US - Soldat in VIETNAM innerhalb eines Jahres | | 100'000 | 15'000 |

Tabelle 2. Fraktile bei Normalverteilung

| β | $w(\beta)$ | $w(\beta)$ | β |
|---------|------------------------|------------|---------|
| 0 | 0,50 | 10^{-2} | 2,32 |
| 1 | $0,159 \approx 16\%$ | 10^{-3} | 3,09 |
| 2 | $0,023 \approx 2,3\%$ | 10^{-4} | 3,72 |
| 3 | $0,0014 \approx 1,4\%$ | 10^{-5} | 4,27 |
| 4 | 0,0003 | 10^{-6} | 4,75 |

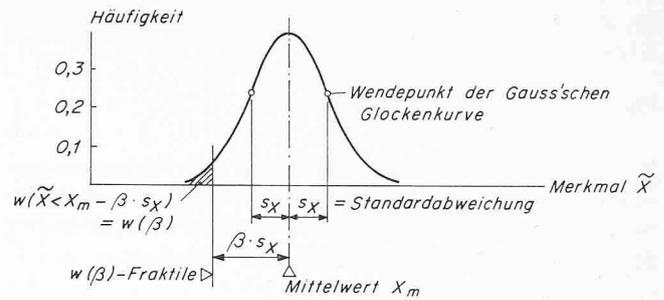


Bild 3. Gauss'sche oder Normalverteilung

Ganz anders ist die Wahrscheinlichkeit eines Auftretens von *Personenschäden* zu werten. Obwohl im Versicherungswesen und bei Haftpflichtfällen auch der Wert eines Menschenlebens in Franken beziffert wird, darf ein solcher Betrag nicht gleichwertig mit Sachschäden in die Beziehung (1) eingesetzt werden. Der Ingenieur muss vielmehr seine Massnahmen so treffen, dass die von ihm kontrollierte (und verantwortete) Situation von der betroffenen Personengruppe (Bewohner von Gebäuden, Benützer von Brücken, mit der Herstellung beauftragte Bauarbeiter usw.) als sicher bezeichnet werden kann.

Damit wird es nötig, die Sicherheitsforderung in eine der Aufgabenstellung angepasste Form zu bringen.

Die Sicherheitsforderung

Der Verfasser kann den erneuten Hinweis nicht unterdrücken, dass sowohl das vorstehende wie insbesondere auch das folgende nur unter der Voraussetzung gilt, dass die zu beurteilende Situation frei von eigentlichen Fehlern ist. Nur in diesem Fall kann eine Sicherheitstheorie zur Klärung gewisser Fragen beitragen.

Wenn der Ingenieur der Erfüllung dieser Grundvoraussetzung gewiss ist, können Zahlen und Vergleiche herangezogen werden. Er stösst dabei immer auf Sicherheitsforderungen der folgenden rational erfassbaren Form:

$$(2) \quad C \geq A$$

worin C normalerweise für Aufnahmekapazität und A für Anforderung steht.

Für beide Grössen sehen wir jedoch den Ingenieur in einem elementaren Dilemma: Die Grössen A und C entsprechen einer Situation, die noch gar nicht existiert, über die er höchstens Vorstellungen hat, die jedoch der später zu realisierenden Wirklichkeit nur mehr oder weniger entsprechen dürften. Aufgrund seiner Sachkenntnis ist der Ingenieur vor allem auch orientiert über die Tatsache, dass sowohl C als auch A von Zufälligkeiten, der Arbeit anderer Menschen, von ungünstigen äusseren Einflüssen und anderem mehr abhängt. Er erwartet deshalb nicht feste Werte für C und A , sondern Werte, die um die jeweiligen mittleren Erwartungswerte C_m

und A_m herum schwanken. Er erwartet stochastische Grössen \tilde{C} und \tilde{A} , die durch ihre Verteilungsdichte beispielsweise dargestellt werden können (Bild 2).

Damit erhält jedoch auch die Sicherheitsforderung

$$(3) \quad \tilde{C} \geq \tilde{A}$$

eine unerwünschte Unschärfe, denn es ist zunächst unklar, welche Werte miteinander zu vergleichen sind.

Wir kommen weiter, wenn wir für die Verteilungsdichten von \tilde{C} und \tilde{A} im Sinne einer *Modellüberlegung* mathematische Funktionen annehmen. Die Gauss'sche oder Normalverteilung (Bild 3) ist hierzu besonders geeignet. Nicht etwa, weil sie sich den Verteilungsdichten der fraglichen Grössen besonders gut anpasst, sondern weil sie besonders einfach zu handhaben ist. So sind insbesondere Summen und Produkte von normal verteilten Grössen wieder normalverteilt und die Rechenregeln einfach. Die Wahrscheinlichkeit für das Unter- bzw. Überschreiten gewisser Fraktile lassen sich in Funktion eines Vielfachen β der Standardabweichung s_x angeben (siehe Tabelle 2).

Für das Folgende schreiben wir die Sicherheitsforderung (3) in der wohl zuerst von *E. Basler* [7] angegebenen und später vor allem von *Cornell* [8] weiterentwickelten Form als

$$(4) \quad \tilde{Z} = \tilde{C} - \tilde{A} \geq 0,$$

worin \tilde{Z} die sogenannte Sicherheitszone ist, wie die Grössen \tilde{C} und \tilde{A} natürlich eine stochastische Grösse. Unter der Voraussetzung normalverteilter Grössen lassen sich die charakteristischen Elemente der Sicherheitszone angeben zu

$$(5) \quad \begin{aligned} Z_m &= C_m - A_m \\ s_z &= \sqrt{s_c^2 + s_a^2} \end{aligned}$$

Bild 4 macht das Ganze deutlich. Insbesondere ist ersichtlich, dass auch negative Werte von Z möglich sind. Die Sicherheitsforderung (4) ist wie folgt zu schreiben

$$(6) \quad Z_m - \beta s_z = 0$$

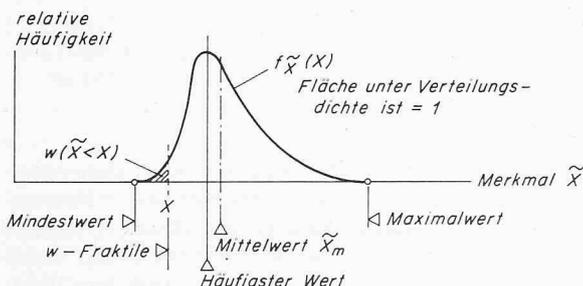


Bild 2. Verteilungsdichte einer stochastischen Grösse mit Wahrscheinlichkeit w für das Auftreten von Werten $\tilde{x} < x$

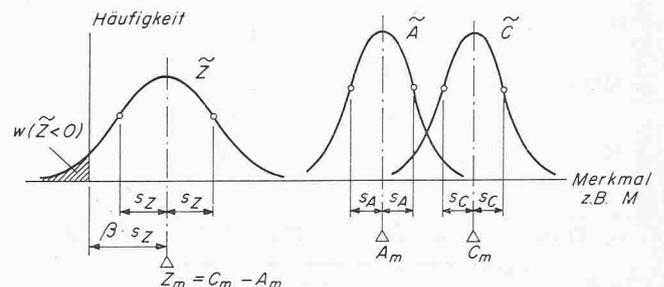


Bild 4. Die Sicherheitsforderung bei stochastischen Ausgangsgrössen

Da Z_m und s_z gemäss (5) bestimmbar sind, lässt sich hieraus β bestimmen zu

$$(7) \quad \beta = \frac{Z_m}{s_z}$$

Zu diesem β lässt sich dann aus Tabelle 2 die Versagenswahrscheinlichkeit ablesen. Hiermit ist grundsätzlich eine Optimierung gemäss Gleichung (1) möglich, wengleich die praktischen Schwierigkeiten mangels ausreichender Information über \tilde{C} und \tilde{A} meist erheblich sind.

Falls die tolerierbare Versagenswahrscheinlichkeit w^* vorgegeben ist, lassen sich mit zugehörigem β^* Aussagen über die erforderliche Grösse von Z_m in Funktion von s_z machen. Aus (6) folgt

$$(8) \quad Z_m \geq \beta^* s_z$$

Mit (5) ergibt sich

$$(9) \quad C_m - A_m \geq \beta^* \sqrt{s_c^2 + s_A^2}$$

Eine Separation der beiden Ausgangsgrössen gelingt mit der von Lind eingeführten Näherung:

$$(10) \quad \sqrt{s_c^2 + s_A^2} \approx \alpha (s_c + s_A),$$

welche mit $\alpha = 0,7$ bis $0,75$ für alle Bedürfnisse genügend genau ist. Führt man dies in (9) ein, erhält man mit $\beta = \alpha \beta^*$

$$(11) \quad \begin{aligned} C_m - A_m &\geq \beta (s_c + s_A) \\ C_m - \beta s_c &\geq A_m + \beta s_A \end{aligned}$$

Wie man durch Vergleich mit Bild 3 unschwer erkennt, handelt es sich beim Ausdruck der linken Seite um die untere, zu $\beta = \alpha \beta^*$ gehörige Fraktile $C_{w(\beta)}$ der Kapazität \tilde{C} , bei der rechten Seite um die obere, zu β gehörige Fraktile $A_{w(\beta)}$ der Anforderung \tilde{A} . Es gilt also als Sicherheitsforderung

$$(12) \quad C_{w(\beta)} \geq A_{w(\beta)}$$

Der Zusammenhang zwischen der tolerierten Versagenswahrscheinlichkeit w^* und dem Fraktilwert $w(\beta)$ ist rasch hergestellt. Ist beispielsweise $w^* = 10^{-5}$, beträgt das zugehörige $\beta = 4,27$ (aus Tabelle 2). Mit $\alpha = 0,72$ ergibt sich $\beta = 0,72 \cdot 4,27 = 3,08$. Dazu gehören, wieder Tabelle 2 entnommen, die 1‰-Fraktile von \tilde{C} und \tilde{A} . Für andere Werte von w^* lassen sich die zugehörigen Fraktile dem Bild 5 entnehmen.

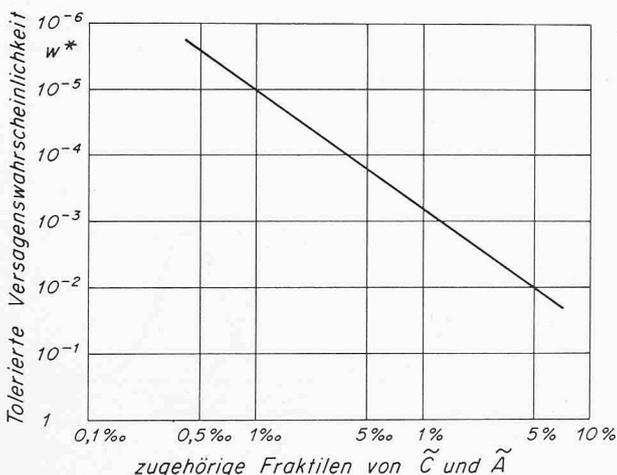


Bild 5. Zusammenhang zwischen tolerierter Versagenswahrscheinlichkeit w^* und den zugehörigen Fraktile von \tilde{C} und \tilde{A}

Wesentlich ist, dass die Sicherheitsforderung in der Schreibweise (12) auch für stochastische Grössen gilt, die nicht genau einer Normalverteilung entsprechen.

Ein konkreter Sicherheitsbegriff für die Bemessung

Uns Ingenieuren liegt – ob zu Recht oder nicht – die statisch-konstruktive Sicherheit besonders am Herzen. Wie sollen wir ein Bauteil bemessen? Mit W = Widerstand eines Bauteils an der Bruchgrenze und B = Beanspruchung des Bauteils unter Gebrauchslasten lassen sich die konventionellen Sicherheitsforderungen wie folgt schreiben:

$$(13) \quad \text{Prinzip der zul. Spannungen: } \frac{W}{\gamma} \geq B$$

$$(14) \quad \text{Traglastverfahren: } W \geq \gamma B$$

$$(15) \quad \text{Verfahren mit aufgeteilten Faktoren, z. B. CEB (Comité International du Béton): } \frac{W}{\gamma_w} \geq \gamma_B B$$

Der Faktor γ ist dabei der sog. Sicherheitsfaktor, der für viele Beanspruchungsarten bei rund 1,8 liegt. Doch damit ist noch gar nicht viel gesagt, denn weder W noch B sind mit ausreichender Schärfe definiert.

Die soeben hergeleitete Sicherheitsforderung lautet mit den an die vorliegende Frage angepassten Bezeichnungen:

$$(11a) \quad W_m - \beta s_w \geq B_m + \beta s_B$$

Wir erkennen deutlich, dass die beiden Seiten dieser Beziehung wesentlich schärfer definiert sind als die bei den Ausdrücken (13) bis (15). Der Faktor β übernimmt hier die Aufgabe eines Sicherheitsfaktors und wirkt an der richtigen Stelle auf die jeweiligen die Streuung charakterisierenden Standardabweichungen ein. Die Grösse von β hängt von der tolerierten Versagenswahrscheinlichkeit w^* ab. Ich möchte für den folgenden Gedankengang $w^* = 10^{-5}$ vorschlagen. Es ist dies ein Wert, der sich mit dem eingangs erwähnten Sicherheitsbedürfnis unserer Gesellschaft begründen lässt und auch in der Literatur vielfach Erwähnung findet. Zu diesem Wert $w^* = 10^{-5}$ gehört nach Tab. 2 der Wert $\beta^* = 4,27$ und damit $\beta = \alpha \beta^* \approx 3$. Setzt man dies in die Sicherheitsforderung ein, erhält man

$$(16) \quad W_m - 3 s_w \geq B_m + 3 s_B$$

Der charakteristische Wert von \tilde{W} liegt um die dreifache Standardabweichung unter dem Mittelwert W_m , der charakteristische Wert von \tilde{B} um die dreifache Standardabweichung über dem Mittelwert B_m .

Betrachtet man nun «statistisches Material», zeigt sich, dass – Fehleinflüsse ausgeschlossen – alle Werte X_i eines Merkmals \tilde{X} normalerweise in folgenden Grenzen liegen:

$$(17) \quad X_m - 3 s_x \leq X_i \leq X_m + 3 s_x$$

Der mathematisch noch ohne weiteres als 1‰-Fraktile fassbare Wert eines Merkmals bei der dreifachen Standardabweichung entspricht in Wirklichkeit einem praktischen Grenzwert des betrachteten Merkmals. Mit W' = unterer Grenzwert des Widerstandes und B' = oberer Grenzwert der Beanspruchung schreibt sich dann die Sicherheitsforderung (16) als

$$(18) \quad W' \geq B'$$

In Worten ausgedrückt: Der Ingenieur muss seine Massnahmen so lenken, dass der untere Grenzwert des Widerstandes eines Bauteils oder Bauwerks über dem oberen Grenzwert seiner Beanspruchung liegt. Dieser an sich triviale Satz wurde vom Verfasser schon früher (siehe [9]) ausführlich begründet. Er findet hier seine «wahrscheinlichkeitstheoretische» Bestätigung.

Freilich bedarf der Satz noch einiger präzisierender und einschränkender Ergänzungen: bei der Festlegung des unteren Grenzwerts W' des Widerstandes muss eine gewisse zumutbare Ausführungsorgfalt vorausgesetzt werden; bei der Festlegung des oberen Grenzwertes B' der Beanspruchung ist von der mit dem Besteller vereinbarten Nutzung auszugehen. Innerhalb der so abgesteckten Grenzen ist der Ingenieur – oder besser: sind wir Ingenieure mit unserem ganzen Normenwerk – für die Sicherheit der Konstruktionen verantwortlich. Der konkrete Sicherheitsbegriff lautet dann (siehe auch [9]):

Die Konstruktion ist so auszubilden, dass der als sicher geltende untere Grenzwert W' des Widerstandes der betrachteten Konstruktion unter Annahme einer zumutbaren Ausführungsorgfalt grösser oder mindestens gleich ist dem oberen Grenzwert B' der möglichen Beanspruchung bei der vorgesehenen Nutzung.

Wie man erkennt, enthält dieser Sicherheitsbegriff im Gegensatz zu den konventionellen Sicherheitsbedingungen keinen Sicherheitsfaktor. Die eine Vergrößerung bzw. Abminderung gewisser Werte fordernden Argumente können bei der Bestimmung von W' und B' direkt eingebaut werden. Dieser Sicherheitsbegriff hat schliesslich den grossen Vorteil, dass er dem Denken des Ingenieurs in hohem Masse entspricht. Einer neuen, nicht durch Normen geregelten Situation gegenüber macht jeder Ingenieur Grenzwertüberlegungen. Der Sicherheitsbegriff lehnt sich eng an solche konkreten Vorstellungen an.

Freilich wäre es nach wie vor als Aufgabe der Normenkommissionen zu betrachten, verbindliche Vorschriften für die Festlegung von B' und W' zu machen. Für W' wären die betreffenden Baustoffnormen zuständig, für B' die Belastungsnorm, die im übrigen noch einheitliche Grundsätze für die Festlegung des Sicherheitsniveaus und damit für W' zu liefern hätte.

Schlussbemerkung

Die Diskussionen über Sicherheit zeigen – seitdem statistisch-wahrscheinlichkeitstheoretisches Denken Platz gefunden hat – mancherorts euphorische Züge: «Endlich haben wir die Probleme gelöst; mit einem modernen Sicherheitsbegriff an zentraler Stelle im Bemessungsprozess ist die Welt wieder in Ordnung.»

Das ist nur eine halbe Wahrheit: Keiner der eingangs erwähnten schweren Schadenfälle hätte sich mit einem modernen Sicherheitsbegriff verhindern lassen, jeder einzelne jedoch mit besonnenem, sorgfältigem und verantwortungsbewusstem Denken und Handeln der beteiligten Ingenieure.

Literatur

- [1] J. Schneider: Über den Rang der Entscheidung in der Arbeit des Ingenieurs. «Schweizerische Bauzeitung» 87 (1969), H. 1 vom 2. Jan., S. 1–4.
- [2] S. P. Mauch und Th. Schneider: Die unmittelbare Gefährdung unseres Lebensraumes. «Schweizer Archiv», Heft 6, 1971.
- [3] Statistisches Jahrbuch der Schweiz, 1972.
- [4] Ergebnisse der Unfallstatistik 1963–1967. Bericht der SUVA.
- [5] F. K. Ligtenberg: Structural Safety and Catastrophic Events. In IVBH, Symposium über Sicherheit in London 1969.
- [6] Rüschi und Rackwitz: Die Bedeutung des Begriffes der Versagenswahrscheinlichkeit in der Sicherheitstheorie für Bauwerke; in «Entwickeln, Konstruieren, Bauen». Festschrift der Firma Held + Francke.
- [7] E. Basler: Untersuchungen über den Sicherheitsbegriff von Bauwerken. «Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik», Heft 4, 1961.
- [8] C. A. Cornell: A Probability-Based Structural Code. «ACI-Journal», Dez. 1969.
- [9] J. Schneider: Überlegungen zu einem konkreten Sicherheitsbegriff für die Bemessung von Bauwerken. «Schweizerische Bauzeitung» 89 (1971), H. 29 vom 22. Juli, S. 731–736.

Schweizerische Strahlflugzeuge und Strahltriebwerke

DK 629.13:621.438.2

Von Georges Bridel, Luzern und Zürich

Fortsetzung von H. 45, S. 1018

Entscheid für den N-20

An der KMF-Sitzung vom 29. Juni 1948 fiel der Entscheid zwischen dem Dornier-Projekt P-25.20 und dem N-20 des Eidg. Flugzeugwerkes zugunsten des letzteren. Es wurde ein Prototyp samt den zugehörigen Swiss-Mamba-Zweistromtriebwerken in Auftrag gegeben. Dem Entscheid vorangegangen waren eingehende Berechnungen, Versuche (Windkanäle, Prüfstände) sowie der Entwurf aller Bauteile.

Beschreibung des N-20

Der Prototyp N-20.10 Aiguillon und die geplante Serienausführung N-20.15 waren durch folgende Merkmale gekennzeichnet: Einsitziger Mitteldecker in Ganzmetallbauweise, Tragwerk mit pfeilförmigem Grundriss mit Höhenquerruder kombiniert (Bild 13). Das gepfeilte Tragwerk wurde gewählt, um die kritische Machzahl (wird sie erreicht, nimmt der Widerstand stark zu) zu erhöhen, wobei der Pfeileffekt nach aussen zunimmt. Entsprechend wurde der Pfeilwinkel von 30° am Innenflügel auf 45° am Aussenflügel erhöht.

Das Seitenverhältnis (Verhältnis von Spannweite im Quadrat zur Flügelfläche) wurde klein gehalten, um möglichst geringen Schwierigkeiten im Hochgeschwindigkeitsflug zu begegnen. Entsprechend der fehlenden konstruktiven Schränkung (Verwindung) des Tragflügels (sie wurde aus den vorerwähnten Gründen fallengelassen) war für den Langsamflug anfänglich eine Wölbung der Profilnase am Aussenflügel vorgesehen, auf die jedoch aufgrund der günstigen Gleiterversuche verzichtet werden konnte. Die Flächenbelastung war

grundsätzlich niedrig gewählt worden, um niedrige Landegeschwindigkeiten und geringe Kurvenradien zu ermöglichen. Die schwanzenlose Bauart wurde vor allem gewählt, um mögliche Interferenzen zwischen Höhen- und Seitenleitwerk sowie um Schwierigkeiten der Steuerbarkeit im Hochgeschwindigkeitsflug zu vermeiden.

Der Antrieb erfolgte durch vier Zweistromtriebwerke, die zu je zwei Einheiten im Innenflügel eingebaut waren und deren kalter Nebenstrom jeweils in getrennte Kanäle neben das Grundtriebwerk geführt wurde. Im Start, im Steigflug und im

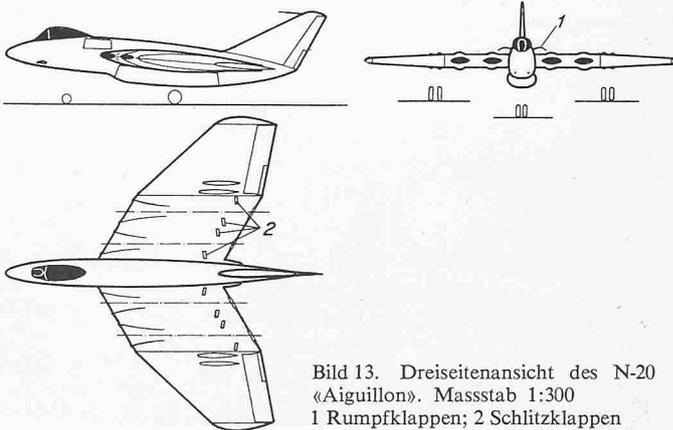


Bild 13. Dreiseitenansicht des N-20 «Aiguillon». Massstab 1:300
1 Rumpfkappen; 2 Schlitzklappen