Bauforschung

Aufstellen einer Musternorm für Versuche als Grundlage der Bemessung in Zusammenarbeit mit auf diesem Gebiet tätigen Gremien, insbesondere JCSS, RILEM und ISO

T 2503

Fraunhofer IRB Verlag

T 2503

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Bauforschung

Inhalt

T 2503

Fraunhofer IRB Verlag

Schlußbericht

zum Forschungsvorhaben

Aufstellen einer Musternorm für Versuche als Grundlage der Bemessung in Zusammenarbeit mit auf diesem Gebiet tätigen Gremien, insbesondere JCSS, RILEM und ISO

IfBt Zeichen IV 1-5-624/90

von
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Maier

Betreuungsgruppe

Frau Dr.-Ing. M. Kersken-Bradley
Herr Dipl.-Ing. H. Lutz
Herrn Prof. Dr.sc.techn. Spaethe

November 1992

8005:SBERICHT.WP

1 LITERATURAUSWERTUNG

Bisher wurde folgende Literatur gesammelt und ausgewertet:

a) TGL

33 407 Nachweis der Trag- und Nutzungsfähigkeit auf der Grundlage experimenteller Erprobung
/01 Grundlagen, Sept. 84
/02 Fertigteile, Sept. 84
/03 Fertigteilverbindungen, Juni 85
/04 Bauwerke, Bauwerksteile, Nov. 86

13 504 Stahlbau, Stahltragwerke, Experimentelle Ermittlung der Tragfähigkeit, August 73

b) Institut für Bautechnik

Grundlagen zur Beurteilung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten im Prüfzeichen- und Zulassungsverfahren, Mai 86

Richtlinien für die Statistische Auswertung von Prüfergebnissen bei Zulassungs- und Überwachungsprüfungen von Bauteilen und Bauarten aus Kunststoffen, Okt. 87

c) FIP Commission on Prefabrication, Working Group on Design by Testing

Arbeitspapiere

d) ISO TC 98

Preliminary Draft on Design by Testing, Jan. 90

Vorschlag der polnischen Delegation, Nov.89

e) RILEM

Recommendations TBS
-2 General Recommendation for statical loading test of load-bearing concrete structures in situ
-3 Testing concrete bridges in situ
-4 Load testing in situ of dwellings, public and industrial structures

-5 General recommendations for the vibrating-wire measuring method and its equipment
-7 Recommendations for terminology, descriptions and symbols in loading tests in situ of concrete structures

f) CEB

Design by Testing, Revised Draft

g) JCSS

Working Ducument "Estimation of Structural Properties by Testing for Use in Limit State Design" von M. Kersken-Bradley, w. Maier, R. Rackwitz, A. Vrouwenfelder mit Beiträgen von F. Bijlaard, H. Mathieu, G. Sedlacek, J. Stark

h) RILEM Arbeitsgruppe Design by Testing

State of the Art Report Design By Testing (bis zum derzeitigen Stand)

Beiträge von Mitgliedern

i) Eurocodes

insbesondere Kapitel 8 von EC 3

k) DIN 18 800

Arbeitspapiere zu dem zeitweise vorgesehenen Abschnitt 8, Ermittlung von Bemessungswerten auf der Grundlage von Versuchen

l) Verschiedene Institutionen

Building Research Establishment (BRE), Department of the Environment

Static load testing of building structures, Juni 89

Die Literatur bestätigt, daß für operationale Regeln eine Unterteilung in eng begrenzte Anwendungsbereiche notwendig ist. Von besonderem Wert war der unter g) aufgeführte State of The

Art Report. In ihm wird noch einmal die Mannigfaltigkeit der bisherigen Regelungen zur Versuchsauswertung und Versuchsplanung deutlich. Konkrete Regelungen, die unmittelbar anwendbar sind, wurden nur dann erreicht, wenn der Anwendungsbereich stark eingeschränkt war. Der Bezug zu den einschlägigen Bemessungsnormen ist häufig nicht gegeben. Auf ein übergeordnetes Sicherheitskonzept konnte in älteren Regelwerken nicht eingegangen werden; in neueren Regeln sind Ansätze dazu sporadisch vorhanden.

2 ÜBERARBEITUNG DES VORGESEHENEN ARBEITSABLAUFES

Aus der bisherigen Bearbeitung und der Abstimmung mit den Betreuern ergaben sich Änderungen des ursprünglich vorgesehenen Arbeitsablaufes. Die Bearbeitung des Themas im RILEM Arbeitsausschuß hat gezeigt, daß bei den Mitgliedern nur unzureichende Kenntnisse der Grundlagen des JCSS Working Documentes vorhanden waren. Zwar wurde schon in der ersten Sitzung beschlossen, das JCSS Dokument als verbindliche Basis der eigenen Arbeit zu nehmen, doch stellte sich dann heraus, daß die vielen Diskussionen die Festlegungen dieses Dokumentes zum Inhalt hatten. Zur fruchtbaren Fortsetzung der Arbeit war die auch inhaltliche Akzeptanz des JCSS Dokumentes durch die Ausschußmitglieder und damit die Auseinandersetzung mit dessen Grundlagen notwendig. Deshalb wurde entschieden, anstelle der in der vorläufigen Gliederung des Antrages aufgeführten Teile B und C eine ausführliche Darstellung der Grundlagen auszuarbeiten. Dabei wurde vornehmlich auf die zugrundeliegenden Ideen und die Modellbildung eingegangen.

3 VERSUCHE

Entfällt.

4 ERGEBNISSE

Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind:

1. Eine "Musternorm" Versuche als Grundlage für die Bemessung mit der auf der Basis der Bemessungsnormen der neuen Generation, z. B. DIN 18 800, Stahlbauten, Teile 1 bis 4, vor allem aber der europäischen Normen den Beteiligten eine Hilfe für die Planung und Auswertung von Versuchen als Grundlage der Bemessung an die Hand gegeben wird.

2. Eine Ausarbeitung "Grundlagen" zur Musternorm,in denen die wesentlichen Grundgedanken und Modelle dargestellt sind, auf denen das JCSS Dokument aufbaut.

3. Beiträge zur Arbeit des JCSS, die sich vornehmlich auf das Arbeitsthema "Desigd by Testing" bezogen, für das der Verfasser als Betreuer in der Working Party des JCSS benannt war. Ergebnis ist das Working Document "Estimation of Structural Properties by Testing for Use in Limit State Design".

4. Beiträge zur Arbeit des RILEM Arbeitsausschusses "Design by Testing", die vor allem in der Einbringung der jeweiligen Arbeitsfassungen der "Musternorm" und der "Grundlagen" bestanden.

zu 1.

Die Musternorm baut auf dem JCSS Dokument auf und entspricht diesem bezüglich der geregelten Gegenstände im Umfang.

Für die Gliederung wurde das auch in DIN 18 800 benutzte "Siebke Konzept" verwendet, das zwischen in Elementen gefaßtem Regeltext und Erläuterungen unterscheidet.

Folgende Grundsätze sind in der Musternorm beachtet:

- Der Anwendungsbereich beschränkt sich bezüglich der stochastischen Aspekte auf den als gesichert anzusehenden Stand der Wissenschaft

- die Verträglichkeit mit dem Sicherheitskonzept der Bemessungsnormen ist gegeben

- die Versuchsauswertung führt zu Bemessungswerten und charakteristischen Größen für Grenzgrößen des Widerstandes

- Vorinformation bezüglich des mechanischen Verhaltens der Bauteile und der Streuung von Basisvariablen werden methodisch berücksichtigt.

Die Musternorm enthält alle für den Anwendungsbereich notwendigen und werkstoffunabhängigen Angaben zur Planung und Auswertung von Versuchen. Im Abschnitt Versuchsdurchführung wurde angestrebt, alle Gegenstände, die sich auf die Planung und Auswertung von Versuchen auswirken können, aufzunehmen.

zu 2.
Die Verträglichkeit der Musternorm, aber auch aller sonstigen Regelungen und Empfehlungen zum Thema (z. B. den vom RILEM Arbeitsausschuß angestrebten Empfehlungen) mit dem Sicherheitskonzept der Bemessungsnormen ist eine zentrale und unabdingbare Forderung. Dies erfordert von allen "Regel- und Empfehlungsmachern" ein Verständnis der wesentlichen Ideen und Modellbildungen des Sicherheitskonzeptes. Damit sind nicht die statistischen und wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansätze gemeint. Im Gegenteil. Mathematische Darlegungen wären geeignet, die Akzeptanz beim angesprochenen Personenkreis zu beeinträchtigen und den Blick auf "das, worauf es ankommt" zu verstellen.

In den Grundlagen wurde versucht, das angestrebte Ziel in anschaulicher und leicht verständlicher Weise zu erreichen. Die bisher in der RILEM Arbeitsgruppe gewonnene Erfahrungen bestätigen zumindest die angestrebte Richtung; die Diskussion, ob das JCSS Dokument die "richtige" Basis ist, darf als abgeschlossen gelten.

zu 3.
Durch die umfangreiche Gruppe der Autoren und Kontributoren des Dokumentes konnte sichergestellt werden, daß das Dokument den als gesichert und akzeptiert anzusehenden Stand der Wissenschaft bezüglich der stochastischen Aspekte darstellt.

5 FOLGERUNGEN

Die Erarbeitung von Regeln und Empfehlungen zum Thema erfordert praxisorientierte Fachgremien, in denen die Adressaten dieser Regeln und Empfehlung durch Personen mit großer praktischer Erfahrung, vornehmlich auf dem Gebiet der Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung vertreten sind. Am Beispiel des RILEM Arbeitsausschusses "Design by Testing", der diese Forderung gewiß erfüllt, hat sich gezeigt,

- daß sich die Mitglieder diese Gremien mit den stochasti schen Grundlagen selbst auseinandersetzen wollen und wohl auch müssen, bevor sie entsprechende Vorgaben (wie z. B. das JCSS Dokument) akzeptieren und, darauf aufbauend, mit ihrer eigentlichen Arbeit beginnen können und

- daß dieser Prozeß der Auseinandersetzung mit den Grundlagen deutlich mehr Zeit benötigt als zunächst angenommen.

Wie wichtig diese Auseinandersetzung für eine fruchtbare und zum Sicherheitskonzept der Bemessungsnormen kompatible Arbeit solcher Gremien ist, mag ein Blick auf manche erarbeiteten Dokumente zeigen: Sie kommen kaum über das JCSS Dokument bzw. seine Vorgänger hinaus.

Hamburg, November 1992

G. Maier

MUSTERNORM

Versuche als Grundlage für die Bemessung

W. Maier, Hamburg

November 1992

INHALTSVERZEICHNIS

LISTE DER ELEMENTE

Die Hauptnummer der Elemente ist gleich der zugehörenden Kapitelnummer, Seitenzahlen sind in (...) angegeben

1 GEGENSTAND UND GELTUNGSBEREICH

1.1 Allgemeiner Geltungsbereich

Diese Musternorm gilt für die **Planung** und **Auswertung** von Versuchen, die Grundlage sind für die Festlegung von **Bemessungswerten** von **Widerstandsgrößen** im Rahmen von Bemessungsnormen des konstruktiven Ingenieurbaus.

Diese Musternorm geht von folgender Ausgangslage aus:

Bei der Berechnung bzw. Bemessung eines Tragwerks oder Bauteils stellt der Ingenieur fest, daß in der Bemessungsnorm für einen bestimmten Nachweis Angaben über eine benötigte Widerstandsgröße nicht vorhanden sind. Er entschließt sich, die fehlenden Informationen über Versuche zu beschaffen.

Weiter kann es sein, daß die Norm zwar Angaben enthält, die auf den vorliegenden Fall (in etwa) anwendbar wären, der Ingenieur hat jedoch Zweifel, ob sie in seinem Fall tatsächlich zutreffen. Die Zweifel können sich auf die erforderliche Sicherheit oder auf die gebotene Wirtschaftlichkeit beziehen.

Regeln, in denen festgelegt ist, in welchen Fällen Versuche notwendig bzw. erlaubt sind, sind in den einschlägigen Bemessungsnormen zu finden.

1.2 Gegenstand

Die Bemessungswerte können sich auf Tragwerke, Bauteile oder Verbindungen von Bauteilen beziehen.

Zur Vereinfachung wird im folgenden stellvertretend der Begriff **Bauteil** für beliebige Ausschnitte aus Tragwerken verwendet.

Die Menge der Bauteile, für die eine gemeinsame Versuchsplanung und -auswertung vorgesehen ist, muß beschränkt sein; sie kann eine Menge von gleichen Bauteilen (**elementare Menge von Bauteilen**) oder von zwar verschiedenen, jedoch gleichartigen Bauteilen (**zusammengesetzte Menge von Bauteilen**) sein. Die Bauteile einer zusammengesetzten Menge dürfen sich nur bezüglich bestimmter Parameter (**Spezifikationsparameter)** unterscheiden.

a) *Menge der Bauteile meint diejenige Menge, für welche die zu ermittelnden Bemessungswerte gelten sollen.*

b) *Offensichtlich ist es nicht sinnvoll, z. B. Trapezbleche und Wellbleche in eine gemeinsame Veruchsauswertung aufzunehmen, auch wenn sie gleichartig verwendet und beansprucht werden. Der Unterschied der Bauteile muß so sein, daß er sich allein durch Zahlen ausdrücken läßt, z. B. Nennwerte von Festigkeiten oder Abmessungen.*

1.3 Widerstandsgröße

Mit Widerstandsgrößen werden hier stellvertretend alle Größen bezeichnet, die das Tragverhalten von Bauteilen beschreiben. Dies sind vor allem

* **Grenzgrößen** der **Tragsicherheit** und der **Gebrauchstauglichkeit** sowie
* **Last-Verformungs-Beziehungen**.

1.4 Ergebnis der Versuchsauswertung

Ergebnisse der Versuchsauswertung können

* **charakteristische Werte** der Widerstandsgrößen sein, mit denen **Bemessungswerte** nach den Regeln der **Bemessungsnormen** berechnet werden können, oder
* unmittelbar Bemessungswerte der Widerstandsgrößen, wofür in dieser Musternorm zu den Bemessungsnormen kompatible Annahmen über die Lastseite getroffen sind.

1.5 Beanspruchung

Die Beanspruchung der Bauteile muß als statisch aufgefaßt werden können.

Die den **Versuchskörpern** aufzuprägenden **Beanspruchungsgeschichten** können für alle Versuchskörper gleich sein (**Beanspruchungsgeschichte ohne Parametervariation**) oder unterschiedlich (**Beanspruchungsgeschichte mit Parametervariation**). Die Beanspruchungsgeschichten dürfen sich nur bezüglich bestimmter Parameter (**Beanspruchungsparameter**) unterscheiden.
Von der Beanspruchung des Bauteils bzw. des Versuchskörpers ist die Last zu unterscheiden, die dem Versuchskörper zur Erzielung der Beanspruchung aufgeprägt wird.

a) *In dieser Musternorm sind dynamische Effekte und zyklische Beanspruchungen nicht berücksichtigt. Gleichwohl können die meisten Regeln dieser Musternorm auch auf solche Fälle angewendet werden.*

b) *Im Falle unterschiedlicher Beanspruchungsgeschichten dürfen die Unterschiede mit Rücksicht auf eine gemeinsame Versuchsauswertung selbstverständlich nicht beliebig sein. Die Unterschiede müssen sich - wie bei der Menge der Bauteile - allein in Zahlen ausdrücken lassen.*

1.6 Versuchskörper

Die Versuchskörper repräsentieren die betrachteten Bauteile; sie können einer laufenden Produktion entnommen werden (**Originalversuchskörper**) oder speziell für die Versuche gefertigt werden (**Prototypversuchskörper**).

1.7 Stichprobe

Die **Menge der Versuchskörper (Stichprobe)** kann bezüglich der streuenden Eigenschaften der Bauteile zufällig zusammengesetzt sein (**repräsentative Stichprobe**) oder beliebig (**nicht repräsentative Stichprobe**).

Die Versuchsauswertung kann man vereinfacht als "Schließen von den Eigenschaften der Versuchskörper der Stichprobe auf die Eigenschaften der Bauteile der vorgenannten Menge der Bauteile" bezeichnen. Die Anwendung statistischer Methoden setzt gewöhnlich eine "zufällige Stichprobe" voraus (hier repräsentative Stichprobe genannt). Z. B. dürfte sich demnach die Sreuung der Betondruckfestigkeit der Versuchskörper der Stichprobe nur zufällig von der der Bauteile in den ausgeführten Tragwerken unterscheiden. Häufig ist es jedoch schwierig, wenn nicht unmöglich, die Forderung nach repräsentativen Stichproben in hinreichendem Maße zu erfüllen.

Die nachfolgenden Regeln erlaubt nicht nur die Versuchsauswertung mit Stichproben, die nicht repräsentativ sind, sondern macht sie zum allgemeinen Fall. Die repräsentative Stichprobe wird als Sonderfall dieser allgemeinen behandelt.

1.8 Vorinformation

Es wird vorausgesetzt, daß vor Beginn der Versuche Information (**Vorinformation**) vorhanden ist. Es muß bekannt sein

1) von welchen Eigenschaften der Bauteile die betrachtete Widerstandsgröße abhängt (**Einflußgrößen**),

2) der zumindest grobe Zusammenhang zwischen der Widerstandsgröße und den wesentlichen Einflußgrößen (**mechanisches Modell**),

3) welche Einflußgrößen als streuende Größen (**Basisvariable**) zu betrachten sind und

4) die **Verteilungsfunktion**en der im mechanischen Modell berücksichtigten Basisvariablen.

Vorinformation zu Basisvariablen sind in den Fachteilen Teil B bis .... zu finden.

Berechnungsformeln in Bemessungsnormen können als mechanische Modelle geeignet sein.
Vorinformation, d. h. Wissen über Eigenschaften von Bauteilen und deren Streuung wurde schon immer bei der Planung und Auswertung von Versuchen verwendet. Das ist nichts Neues. offensichtlich wären Versuche gänzlich ohne Vorinformation nicht planbar. Neu bei dem dieser Musternorm zugrundeliegenden Verfahren ist, daß die Vorinformation rational und explizit formuliert

und in die Planungs- und Auswertmethoden aufgenommen wird. Erst durch die methodische Verwertung von Vorinformation wird die Verwendung von nicht repräsentativen Stichproben nach den Regeln dieser Musternorm möglich.

1.9 Methode der Versuchsauswertung

Die Versuchsauswertung besteht im wesentlichen aus dem Schließen von der Menge der Versuchskörper auf die Menge der Bauteile. Dabei werden die

- **statistische Unsicherheit**, die sich aus der beschränkten Anzahl von Versuchskörpern ergibt und gegebenenfalls die

- **mechanische Unsicherheit**, die sich aus der unvollständigen Übereinstimmung der mechanischen Bedingungen von Bauteil und zugeordnetem Versuchskörper

ergeben, berücksichtigt.

Zur Reduktion der statistischen Unsicherheit wird Vorinformation in die Auswertung einbezogen.

Wenn in einer repräsentativen Stichprobe die Anzahl der Versuchskörper gegen Unendlich ginge, verschwände die statistische Unsicherheit - Gesetz der großen Zahl. Das gilt hier auch für nicht repräsentative Stichproben, wenn die entsprechende Vorinformation "richtig" ist.

2 BEGRIFFE, DEFINITIONEN UND FORMELZEICHEN

2.1 BEGRIFFE UND DEFINITIONEN

2.1.1 Bauteile und Versuchskörper

2.1 Beschreibung eines Bauteils

Ein Bauteil wird durch ein **Spezifikationsschema** und die zugehörigen **Spezifikationsparameter** beschrieben. Diese Beschreibung enthält alle zur Herstellung des Bauteils notwendigen Angaben und dient zur Festlegung des Geltungsbereiches der Versuchsaussage.

Häufig ist ein Bauteil durch seine Werkstattzeichnung hinreichend spezifiziert. Sie enthält die Form, die Gestalt des Bauteils, Herstell- und Kontrollverfahren und die erforderlichen Angaben über seine Abmessungen, die verwendeten Halbzeuge (z. B. IPE 300) und Werkstoffe (z. B. St 52).

Generell gilt: Variationen der Bauteile innerhalb der Spezifikation dürfen keinen Einfluß auf die Bemessungswerte der zu betrachtenden Widerstandsgröße haben.

2.2 Elementare Menge von Bauteilen

Eine Menge von Bauteilen ist eine fiktive Menge. Sie beinhaltet alle Bauteile, die aufgrund der Beschreibung durch das Spezifikationsschema und die zugehörigen Spezifikationsparameter hergestellt werden könnten.

Eine elementare Menge von Bauteilen besteht aus Bauteilen mit demselben Spezifikationsschema und gleichen Werten für die Spezifikationsparameter.

Die Mengen von Bauteilen beinhalten "unendlich viele" Bauteile und entsprechen den Grundgesamtheiten der Wahrscheinlichkeitstheorie.

Verschiedene Bauteile einer elementaren Menge haben deshalb gleiche oder nur zufällig unterschiedliche Werte der Einflußgrößen.

2.3 Zusammengesetzte Mengen von Bauteilen

Eine zusammengesetzte Menge von Bauteilen besteht aus elementaren Mengen von Bauteilen mit dem selben Spezifikationsschema und unterschiedlichen Werten für einen oder mehrere Spezifikationsparameter.

Für Mengen von Bauteilen mit unterschiedlichem Spezifikationsschema ist eine *gemeinsame Versuchsauswertung nicht möglich.*

2.4 Einflußgrößen

Durch die Einflußgrößen eines Bauteils ist sein Widerstand fast vollständig festgelegt. Im allg. kann nur ein Teil der Einflußgrößen am Versuchskörper gemessen und im mechanischen Modell berücksichtigt werden. Diese werden, falls es zu Unterscheidung notwendig ist, als **explizite Einflußgrößen** bezeichnet. Einflußgrößen werden mit $\underline{u} = (u_1, u_2, u_3, \ldots)$ bezeichnet.

Bei den Einflußgrößen handelt es sich um individuelle Größen der Bauteile bzw. der Versuchskörper. Z. B. kann die Blechdicke eines Versuchskörpers mit u_1=18,5 mm gemessen werden, wogegen die Spezifikation die Nennblechdicke von 20 mm ausweist.

2.5 Basisvariable

Basisvariable sind Einflußgrößen, deren Streuungen bezüglich elementarer Mengen von Bauteilen nicht vernachlässigbar sind. Basisvariable sind **Zufallsgrößen** (siehe Element); sie werden mit $\underline{X} = (X_1, X_2, X_3, \ldots)$ bezeichnet.

Entsprechend wird zwischen **streuenden** und **deterministischen** Einflußgrößen unterschieden. Basisvariable und streuende Einflußgröße sind gleichbedeutend.

In Hinblick auf das mechanische Modell ist eine weitere Unterscheidung der Basisvariablen zweckmäßig. Basisvariable, die in dem für die Versuchsauswertung verwendeten mechanischen Modell enthalten sind - und zwar als Zufallsgrößen - werden explizite Basisvariable genannt.

Die Bezeichnung Basisvariable hat sich in der Sicherheitstheorie allgemein eingebürgert, allerdings mit unterschiedlicher Bedeutung. In der Literatur kann Basisvariable für Einflußgröße, explizite Einflußgröße, Basisvariable oder explizite Basisvariable stehen.

2.6 Bauteilparameter und Bauteilvariable

Bauteilparameter sind spezielle Kennwerte der **Einflußgrößen**. Im allg. werden Nennwerte verwendet. **Bauteilparameter** sind deterministische Größen; sie werden mit $\underline{w} = (w_1, w_2, w_3, \ldots)$ bezeichnet.

Wenn Einflußgrößen und damit ihre zugeorneten Bauteilparameter innerhalb von zusammengesetzten Mengen von Bauteilen systematisch variiert werden, werden diese Bauteilparameter auch als **variierte** Bauteilparameter oder als **Bauteilvariable** bezeichnet.
Bauteilvariable können sowohl deterministische als auch streuende Einflußgrößen zugeordnet sein.

Wenn in der Versuchsauswertung oder im mechanischen Modell nicht indivi-

duelle Werte, sondern Nennwerte von Einflußgrößen verwendet werden, so ist es zur Unterscheidung nützlich, diese mit einem eigenen Namen und eigenen Zeichen zu versehen. Bauteilparameter stehen in engem Zusammenhang mit den Spezifikationsparametern. So kann z. B. eine Nennblechdicke oder der in einer Bemessungsnorm für St 52 festgelegte charakteristische Wert als Bauteilparameter verwendet werden.

Beipiel für eine Bauteilvariable: Für eine geschraubte Verbindung soll der Bemessungswert der Grenzlast der Tragfähigkeit für unterschiedliche Randabstände (30 bis 60 mm) ermittelt und in Abhängigkeit vom Nennwert des Randabstandes dargestellt werden. Hier ist der Nennwert des Randabstandes eine Bauteilvariable.

Manchmal möchte man nicht mit der Einflußgröße selbst, sondern mit einer bezogenen Größe arbeiten, z. B. mit Steckgrenze/Nennstreckgrenze. Hier ist die Nennstreckgrenze ein Bauteilparameter, der der streuenden Einflußgröße zugeordnet ist.

2.1.2 Beanspruchung

2.7 Beanspruchung

Widerstandsgrößen sind in bezug auf bestimmte **Beanspruchungen** des Bauteils zu definiert. Eine Beanspruchung kann, in Abhängigkeit vom betrachteten Fall, durch Lasten, Schnittkräfte oder Verformungen beschrieben werden. Beanspruchungen werden mit $\underline{s} = (s_1, s_2, s_3, \ldots)$ bezeichnet.

Für jeden Versuch ist die Beanspruchung einschließlich ihres zeitlichen Verlaufes durch den **Beanspruchungspfad** festgelegt.

a) *Die Beanspruchung kann eine Größe sein, z. B. die zentrische Normalkraft einer Stütze, oder aus mehreren Komponenten zusammengesetzt sein, z. B. aus Moment und Normalkraft, wenn es um das Momenten-Normalkraft-Interaktinsdiagramm für einen Querschnitt geht.*

b) *Von der Beanspruchung zu unterscheiden sind die dem Versuchskörper im Versuch aufzuprägenden Kraft- und Verformungsgrößen zur Erzeugung der gewünschten Beanspruchung.*

2.8 Zeitverlauf der Beanspruchung

Der zeitliche Verlauf der Beanspruchung kann durch Beanspruchungen oder andere Größen festgelegt werden. Die für die Festlegung des zeitlichen Ablaufes der Versuche verwendeten

Größen werden **Kontrollgrößen** genannt und mit **c** = (c_1, c_2, c_3, ...) bezeichnet.

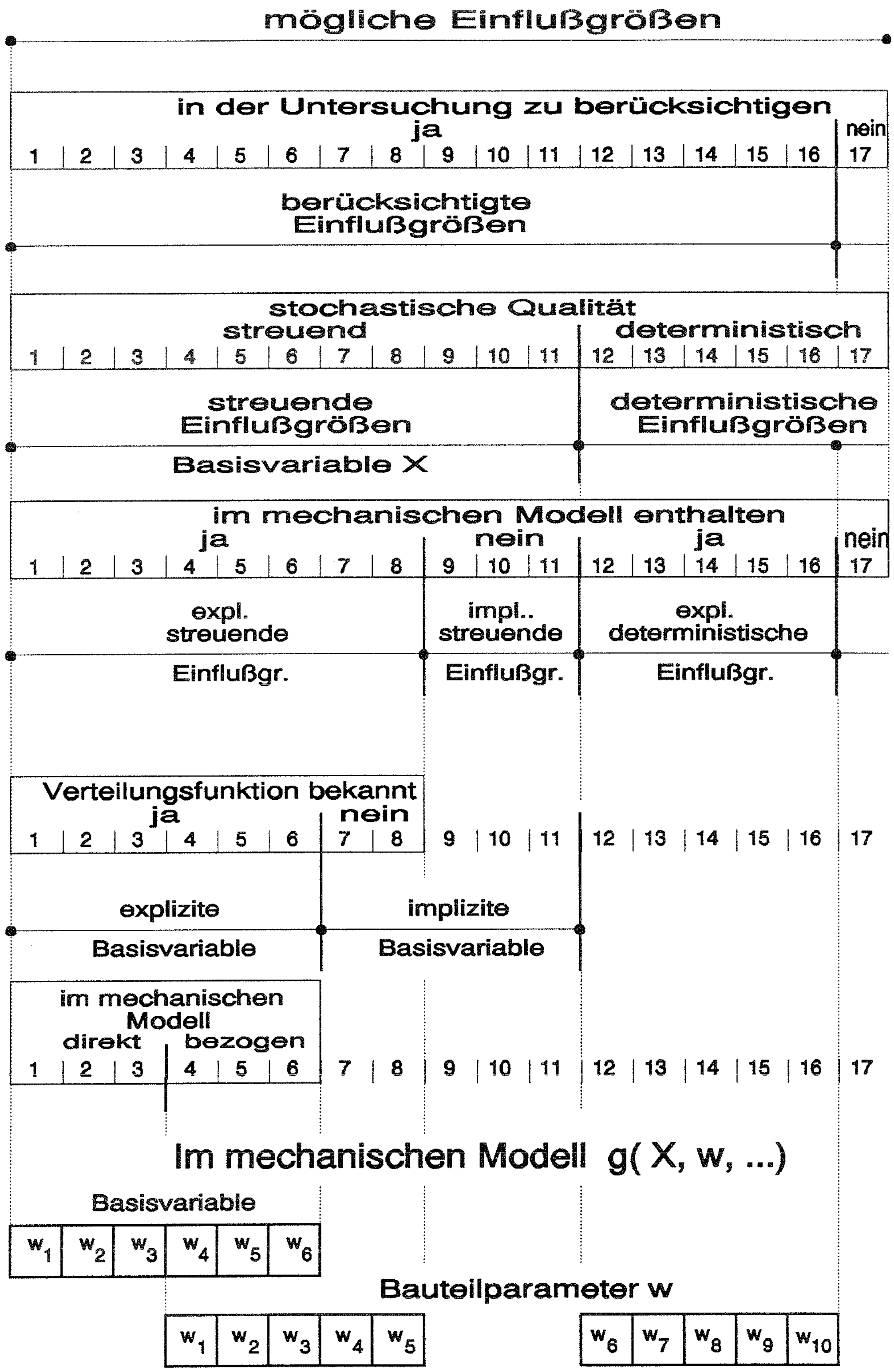

Bild 1.2 Beispiel zu den Größen zur Beschreibung von Bauteilen

Im allg. genügt eine Kontrollgröße. Für **kraftgeregelte** Versuche ist dies eine **Kraftgröße**, für **weggeregelte** eine **Weggröße**.

2.9 Beanspruchungspfad

Ein Beanspruchungspfad ist durch ein **Beanspruchungsschema** und die zugehörigen **Beanspruchungsparameter** $\underline{q} = (\underline{\tilde{q}},\underline{\hat{q}}) = (\tilde{q}_1, \tilde{q}_2, \tilde{q}_3, \ldots \hat{q}_1, \hat{q}_2, \hat{q}_3, \ldots)$ festgelegt. Dabei sind $\underline{\tilde{q}}$ die Parameter, die den Beanspruchungspfad im Beanspruchungsraum festlegen und $\underline{\hat{q}}$ die Parameter für den zeitlichen Verlauf.

Für den Beanspruchungspfad im Beanspruchungsraum gilt

$$\underline{s} = g_s(\tau \mid \underline{\tilde{q}}) \tag{2,1}$$

und für den Zeitverlauf

$$\tau = g_t(t \mid \underline{\hat{q}}) \tag{2,2}$$

Es ist zweckmäßig, die Beanspruchungsgeschichte anhand des Beanspruchungspfades im Beanspruchungsraum (aufgespannt durch die Beanspruchungen s_1, s_2, ..., z. B. Normalkraft und Moment) zu betrachten, da dort auch die Beanspruchbarkeit, z. B. eine Normalkraft-Momenten-Interaktionskurve, definiert ist.

Beanspruchungsparameter sind für einen bestimmten Beanspruchungspfad Konstante.

2.10 Regelfall der Beanspruchung

Der Regelfall ist **proportionale Beanspruchung**, d. h. die Komponente der Beanspruch s_1, s_2, ... stehen über die Beanspruchungsgeschichte (= den Versuch) in einem festen Verhältnis. Proportionale Beanspruchung kann dargestellt werden durch $\underline{s} = \lambda \cdot \underline{e}s$* mit dem **Beanspruchungsfaktor** λ und der Einheitsbeanspruchung $\underline{e}s$ des Beanspruchungspfades im Beanspruchungsraum.

Für den Beanspruchungspfad im Beanspruchungsraum gilt

$$\underline{s} = \lambda \cdot \underline{e}_s \tag{2,3}$$

und für den Zeitverlauf

$$\lambda = g_t(t \mid \underline{\hat{q}}) \tag{2,4}$$

In diesem Fall gibt es nur eine unabhängige Größe der Beanspruchung. Sie wird hier Beanspruchungsfaktor genannt. Im Beanspruchungsraum bildet sich der Beanspruchungspfad als Gerade ab.

Als Einheitsbeanspruchung kann z. B. der Richtungsvektor des Beanspruchungspfades benutzt werden. Bei n Beanspruchsgrößen ist die Richtung des Beanspruchungspfades im Beanspruchungsraum durch n-1 Komponenten des Richtungsvektors $\underline{e}_s$ festgelegt, sie entsprechen den Beanspruchungsparametern $\tilde{q}_1$ bis $\tilde{q}_n$.

Der Zeitverlauf kann allein durch $\lambda(t)$, den Zeitverlauf des Beanspruchungsfaktors festgelegt werden.

2.11 Parametervariation

Aufgrund der Aufgabenstellung kann es erforderlich sein, Versuche mit unterschiedlichen Beanspruchungen durchzuführen. Für eine gemeinsame Versuchsauswertung ist es notwendig, daß alle Beanspruchungen dasselbe Beanspruchungsschema haben. Es wird unterschieden zwischen

- **Beanspruchung ohne Variation der Beanspruchungsparameter** (kurz **ohne Beanspruchungsvariation**) und

- **Beanspruchung mit Variation von Beanspruchungsparametern** (kurz **mit Beanspruchungsvariation**) mit der Fallunterscheidung Variation der Beanspruchung
  * nur im Beanspruchungsraum
  * nur im Zeitverlauf
  * im Beanspruchungsraum und im Zeitverlauf.

Beanspruchungsparameter, die variiert werden, werden auch als **Beanspruchungsvariable** bezeichnet.

Die Ermittlung von Interaktionsbeziehungen, z. B. Momenten-Querkraft-Interaktion, erfordert die Variation der Beanspruchungsparameter im Beanspruchungsraum (Moment, Querkraft).

Die Variation der Beanspruchung im Zeitverlauf, z. B. Variation der Beanspruchungsgeschwindigkeit, wird im Geltungsbereich der Musternorm eine seltene Ausnahme sein.

2.1.3 Widerstandsgrößen und mechanische Modelle

2.12 Grenzgrößen

Die Grenzgrößen $\underline{r} = (r_1, r_2, r_3, \ldots)$ eines Bauteils in bezug auf eine Beanspruchung sind gleich den Beanspruchungen bei Erreichen des zugehörigen **Grenzzustandes**: $\underline{r}$ = $\underline{s}$[Grenzzustand].

Mit Bezug auf Gleichung (2,1) ist die Grenzgröße festgelegt durch

$$r = g_s(r \mid \tilde{\underline{q}}) \quad mit \quad r = \tau_{Grenzzustand} \tag{2,5}$$

Für eine Menge von Bauteilen wird die Grenzgröße zu eine **Zufallsgröße R**.

> *Mit der Größe $r = \tau_{Grenzzustand}$ und dem Beanspruchungsparameter $\tilde{\underline{q}}$ ist die Grenzgröße $\underline{r}$ eindeutig festgelegt, d. h. die experimentelle Ermittlung von $\underline{r}$ kann auf die von r zurückgeführt werden. Es ist zu beachten, daß r eine skalare $\underline{r}$ jedoch eine vektorielle Größe ist. r kann in einem verallgemeinerten Sinne ebenfalls als Grenzgröße bezeichnet werden. Diese Betrachtungsweise entspricht der Parameterdarstellung von Interaktionsflächen und erlaubt die einheitliche Darstellung des mechanischen Modells.*

2.13 Regelfall der Grenzgrößen

Der Regelfall der Grenzgrößen bezieht sich auf den Regelfall der Beanspruchung, die proportionale Beanspruchung.

Mit Bezug auf Gleichung (2,3) ist die Grenzgröße im Regelfall festgelegt durch

$$\underline{r} = r \cdot \underline{e}_s \quad mit \quad r = \lambda_{Grenzzustand} \tag{2,6}$$

2.14 Mechanisches Modell für Grenzwerte

Das mechanische Modell beschreibt die Abhängigkeit der Grenzgrößen von den Einflußgrößen und den Beanspruchungsparametern. Für die Versuchsauswertung ist es zweckmäßig, von einer Parameterform für die Grenzgröße (z. B. Interaktionsfläche) auszugehen und das mechanische Modell in der Form

$$r = g(\underline{u}, \tilde{\underline{q}}, \hat{\underline{q}}) \tag{2,7}$$

bzw.

$$r = g(\underline{X}, \underline{w}, \tilde{\underline{q}}, \hat{\underline{q}}) \tag{2,8}$$

darzustellen, mit

r	Grenzzustandsgröße
$\underline{u}$	Einflußgrößen
$\underline{X}$	Basisvariable
$\underline{w}$	Bauteilparameter
$\underline{\tilde{q}}$, $\underline{\hat{q}}$	**Beanspruchungsparameter für den Beanspruchungsraum** und **Beanspruchungsparameter für den zeitlichen Verlauf**

Im Regelfall proportionaler Beanspruchung tritt $\underline{e}_s$ an die Stelle von $\underline{\tilde{q}}$.

In Normen sind Interaktionsflächen üblicherweise in der Form $g(\underline{s}) = 0$ gegeben. Dem entspricht die Darstellung des mechanischen Modells in der Form $g(\underline{s}, \underline{u}, \underline{\tilde{q}}, \underline{\hat{q}}) = 0$ bzw. $g(\underline{s}, \underline{u}, \underline{\hat{q}}) = 0$ im Regelfall proportionaler Beanspruchung.

2.15 Mechanisches Modell für Kraft-Verformungs-Beziehungen

Für Kraft-Verformungs-Beziehungen kann Gleichung (2,7) verwendet werden, wenn r als Kraft und eine der Komponenten von $\underline{u}$ als Verformungsgröße interpretiert wird.
*

Mit dieser Interpretation sind für die Versuchsauswertung dieselben Methoden anwendbar wie für Grenzgrößen. Es ist darauf hinzuweisen, daß auch andere Ansätze möglich sind.

2.2 FORMELZEICHEN

2.16 Skalare und Vektoren

Die Zeichen für **skalare Größen** werden in normaldicke, die Zeichen für **vektorielle Größen** in Fettdruck dargestellt.

2.17 Zufallsgrößen (streuende Größen)

Für Zufallsgrößen werden folgende Formelzeichen (dargestellt für eine Basisvariable) verwendet

X	Zufallsgröße
x	Realisierung der Zufallsgröße X

Verteilung

VT[X]	**Verteilungstyp**
$F_x(x,\underline{p})$	Verteilungsfunktion
$f_x(x,\underline{p})$	**Dichtefunktion**
$\underline{p}$	**Parameter der Verteilungsfunktion**

Kenngrößen von Zufallsgrößen

m[X] **Mittelwert**

s[X] **Standardabweichung**

v[X] **Variationskoeffizient** = S[X]/M[X]

k[X] Charakteristischer Wert

d[X] Bemessungswert

Schätzwerte für Kenngrößen, die aufgrund von Stichprobenergebnissen berechnet sind

M[X] Mittelwert

S[X] Standardabweichung

V[X] Variationskoeffizient = S[X]/M[X]

K[X] Charakteristischer Wert

2.18 Größen für Bauteile

Für Bauteile und Versuchskörper gilt

u Einflußgröße

w Bauteilparameter

X, x Basisvariable

v Bauteilvariable (=variierter Bauteilparameter)

Zur Unterteilung werden, sofern dies nicht aus dem Zusammenhang eindeutig ersichtlich ist, folgende tiefgestellten Attribut-Indizes vewendet. Diese Indizes werden unmittelbar an das Hauptzeichen geschrieben. Bei Verwendung von mehr als einem Index werden diese ohne Trennzeichen aneinandergereiht.

f deterministisch (fest)

s streuend (stochastisch)

e explizit, im mechanischen Modell berücksichtigt

n implizit, im mechanischen Modell nicht berücksichtigt (neglected)

v variiert in zusammengesetzten Mengen

c constant, nicht variiert*

2.19 Größen der Beanspruchung

s Beanspruchung, durch s wird der Beanspruchungsraum definiert

$\underline{\tilde{q}}$ Beanspruchungsparameter zur Festlegung des Beanspruchungspfades im Beanspruchungsraum

$\underline{\hat{q}}$ Beanspruchungsparameter zur Festlegung des zeitlichen Verlaufes des Beanspruchungspfades

c Kontrollgröße

r Grenzgröße,

2.3 FALLUNTERSCHEIDUNG

2.20 Fallunterscheidung bezüglich der Auswertung

Für die Versuchsauswertung sind in Bezug auf Gleichung (2,7) die nachfolgenden Fälle zu unterscheiden

I Grenzgröße ist ein Skalar,
gekennzeichnet durch
- die Menge der Bauteile ist eine elementare Menge, d. h. $\underline{w}$ = const. und
- Beanspruchungsparameter werden nicht variiert, d. h. $\underline{\tilde{q}}$ = const., $\underline{\hat{q}}$ = const.

II Grenzgröße ist eine skalare Funktion,
gekennzeichnet dadurch, daß mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist
- die Menge der Bauteile ist eine zusammengesetzte Menge, d. h. für mindestens eine u_i gilt $u_i \neq$ const.
- der Beanspruchungspfad im Beanspruchungsraum wird variiert, d. h. für mindestens einen Beanspruchungsparameter $\tilde{q}_i$ gilt $\tilde{q}_i \neq$
- der Zeitverlauf der Beanspruchung wird variiert, d. h. für mindestens einen Beanspruchungsparameter $\hat{q}_i$ gilt $\hat{q}_i \neq$ const.

3 ALLGEMEINE GRUNDSÄTZE

3.1 GLIEDERUNG UND DOKUMENTATION

3.1 Gliederung

Die Festlegung von Bemessungswerten bzw. charakteristischen Werten ist in drei Teile zu gliedern

I Versuchsplanung
II Versuchsdurchführung
III Versuchsauswertung

Es wird angenommen, daß die drei Teile von unterschiedlichen Personen oder Institutionen mit der jeweils erforderlichen fachlichen Qualifikation bearbeitet werden.

3.2 Dokumentation

Die drei Teile sind getrennt zu dokumentieren, so daß

- jeder Teil für sich geprüft und bewertet weden kann
- die Dokumentation der Versuchsplanung alle Informationen zur Bearbeitung des Teils Versuchsdurchführung enthält
- Die Dokumentationen der Versuchsplanung und Versuchsauswertung alle Informationen zur Versuchsauswertung enthalten

3.3 Fachliche Qualifikation

Mit der Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen dürfen nur solche Personen oder Institutionen betraut werden, die ausreichend sachkundig und erfahren sind.

Das Versuchslabor muß über eine angemessene Ausrüstung verfügen und die sorgfältige Durchführung und Dokumentation der Versuche sicherstellen.

3.2 VERSUCHSPLANUNG

3.4 Beschreibung der Bemessungsaufgabe

Die Bemessungsaufgabe ist im Zusammenhang mit dem übergeordneten Bemessungsproblem zu beschreiben. Es ist anzugeben, ob es sich um

- Bauteile für ein bestimmtes Tragwerk oder um

- Bauteile einer Serienproduktion

handelt. Im letzteren Falle ist die Mannigfaltigkeit der Tragwerke, in die das Bauteil eingebaut werden kann, anzugeben.

3.5 Begründung für Versuche

Es ist zu begründen, weshalb eine Bemessung auf der Grundlage von Versuchen gewählt wurde. Dabei ist auf die einschlägigen Regelungen von Bemessungsnormen Bezug zu nehemen.

Begründungen können sein

- die Regelungen der Bemessungsnormen sehen für den vorliegenden Fall Versuche vor

- die Regelungen der Bemessungsnormen sind für den vorliegenden Fall
  - nicht ausreichend zuverlässig
  - zu allgemein und deshalb zu unwirtschaftlich

- es gibt keine einschlägigen Regelungen.

3.6 Spezifikation der Bauteile

Der Geltungsbereich der Bauteile ist durch das Spezifikationsschema und die zugehörigen Spezifikationsparameter festzulegen.

Das Spezifikationsschema besteht in der Regel aus

- Zeichnungen des Bauteils und
- Angaben zur Herstellung und Montage und Kontrolle
- Angaben über Betriebe für Herstellung und Montage
- Angaben über mitgeltende Normen

Für die Spezifikationsparameter sind die Werte bzw. Wertbereiche (bei zusammengesetzten Mengen von Bauteilen) in einer Liste zusammenzustellen.

> *Spezifikationsparameter sind für Herstellung und Montage notwendige Größen, wie z.B. Abmessungen und Materialbezeichnungen.*
>
> *Wertbereiche von Spezifikationsparameter können kontinuierlich (z.B. Bauteildicke 12 bis 30 cm) oder diskret (z.B. Stahlsorte St37 und St52) sein.*
>
> *Es kann bedeutsam sein, ob nur ein bestimmter Betrieb vorgesehen ist, oder*

ob hierzu keine Festlegungen geplant sind.

3.7 Spezifikation der Beanspruchung

Der Geltungsbereich der Beanspruchung ist durch das Beanspruchungsschema und die zugehörigen Beanspruchungsparameter festzulegen.

Das Beanspruchungsschema besteht in der Regel aus

- Zeichnung der Beanspruchung
- Festlegung des Beanspruchungsraumes [s]
- Festlegung der Form der Beanspruchungspfade im Beanspruchungsraum
- Festlegung, welche Größen als Beanspruchungsparameter $\tilde{\mathbf{q}}$ im Beanspruchungsraum verwendet werden
- Festlegung der Kontrollgrößen **c** für die Versuchsregelung
- Festlegen der Form der Beanspruchungspfade im Zeitraum
- Festlegung, welche Größen als Beanspruchungsparameter $\hat{\mathbf{q}}$ für den zeitlichen Verlauf verwendet werden.

Für die Beanspruchungsparameter sind die Werte bzw. Wertbereiche (bei Beanspruchungen mit Parametervariation) in einer Liste zusammenzustellen.

3.8 Spezifikation der Grenzgröße

Entsprechend der Aufgabenstellung ist der Grenzzustand durch ein im Versuch beobachtbares Phänomen, das **Grenzphänomen**, zu beschreiben. Wenn möglich sind dem Grenzzustand im Versuch meßbarere Größen, die **Grenzkenngrößen,** zuzuordnen. Für die Grenzkenngröße sind eindeutige Kriterien, die **Grenzkriterien**, festzulegen.

Grenzphänomene, Grenzgrößen und Grenzkriterien können sein

- Beginn des Fließens
  - Dehnungen an bestimmten Stellen und in bestimmten Richtungen
  - bleibende Verformungen bei Entlastung

- Fließdehnung
  - Dehnungen an bestimmten Stellen und in bestimmten Richtungen

- Beginn des Beulens
  - Beulwege an bestimmten Stellen
  - Grenzbeultiefe

- Auftreten von Rissen
  - Grenzrißbreiten an bestimmten Stellen

- Durchbiegungen, allg. Verformungen

3.9 Einflußgrößen

Auf der Grundlage der Bauteilspezifikation, der Bemessungsnormen und dem Stand der Technik (und Wissenschaft) ist eine Liste der **möglichen Einflußgrößen** zusammenzustellen.

Einflußgrößen müssen an den Versuchskörpern, zumindest indirekt, meßbar sein.

Mit Begründung für den vorliegenden Fall sind vernachlässigbare Einflußgrößen auszusondern, so daß die im weiteren **zu berücksichtigenden Einflußgrößen** übrigbleiben. Im weiteren werden unter Einflußgrößen die zu berücksichtigenden verstanden.

Mit Begründung für den vorliegenden Fall ist festzustellen bei welchen Einflußgrößen die Streuung vernachlässigt werden kann, wodurch zwischen **streuenden** und **deterministischen Einflußgrößen** unterschieden ist.

Mögliche Einflußgrößen sind solche, für die ein durchschnittlicher Fachmann nicht vorab einen Einfluß auf die betrachtete Widerstandsgröße auschließen kann.

Einflußgrößen sollen möglichst unabhängig voneinander sein.

3.10 Mechanisches Modell für Grenzgrößen

Für den Zusammenhang zwischen den Einflußgrößen $\underline{u}$ sowie gegebenenfalls den Bauteilvariablen $\underline{w}$ und den Beanspruchungsparametern $\underline{\tilde{q}}$ und $\underline{\hat{q}}$ einerseits und der Grenzgröße andererseits ist ein mechanisches Modell aufzustellen.

Das mechanische Modell soll möglichst wirklichkeitsnahe sein.

Das mechanische Modell ist zu begründen, gegebenenfalls ist seine Herkunft zu belegen.

Falls in Normen einschlägige mechanische Modelle vorhanden sind, sollten sie mit dem gewählten verglichen werden.

Im allg. kann nur ein Teil der Einflußgrößen in das mechanische Modell aufgenommen werden. Zur Unterscheidung werden die im mechanischen Modell erfaßten Einflußgrößen **explizit** genannt und die nichterfaßten **implizit**.

Im allg. sind die Beanspruchungsparameter $\hat{q}$ für den Zeitverlauf im mechanischen Modell nicht enthalten.

Bei der Festlegung von mechanischen Modellen sollen entsprechende Formeln von Bemessungsnormen berücksichtigt werden. Es ist zubeachten, daß in *solchen Formeln der Einfluß bestimmter Einflußgrößen nur implizit erfaßt ist (z. B. können wichtige Einflußgrößen nicht enthalten sein). Sollte das zur Versuchsauswertung verwendete mechanische Modell für die praktische Anwendung "zu kompliziert" sein, kann nach der eigentlichen Versuchsauswertung ein "praxisgerechtes Rechenmodell" an das mechanische Modell angepaßt werden (deterministisch und auf der "sicheren Seite" liegen).*

3.11 Bauteilparameter und Bauteilvariable

Falls Bauteilparameter bzw. Bauteilvariable verwendet werden, ist festzulegen, welche Kenngrößen verwendet werden. Vorzugsweise sind Nennwerte oder andere in Bemessungsnormen oder Produktnormen verwendete Größen zu verwenden. Diese Festlegung sowie die Angaben über die Werte bzw. Wertbereiche bei variierten Bauteilparametern (Bauteilvariablen) sind in einer Liste zusammenzustellen.

3.12 Basisvariable

Den streuenden Einflußgrößen sind Basisvariable zuzuordnen, wobei, wie bei den Einflußgrößen, zwischen expliziten (im mechanischen Modell als Zufallsgröße berücksichtigt) und impliziten Basisvariablen (im mechanischen Modell nicht oder nicht als Zufallsgröße berücksichtigt) zu unterscheiden ist.

Für die expliziten Basisvariablen sind die Angaben über ihre Verteilungsfunktionen zusammenzustellen und zu belegen. Dazu gehören auch Angaben zur gegenseitigen stochastischen Abhängigkeit der Basisvariablen.

Wenn für eine Basisvariable keine ausreichenden Angaben über deren Verteilungsfunktion verfügbar sind, die zugehörende Einflußgröße aber im mechanischen Modell enthalten ist, muß diese im mechanischen Modell durch einen Bauteilparameter bzw. eine Bauteilvariable ersetzt werden.

3.13 Festlegung Versuchskörper

Die Versuchskörper sind so festzulegen, daß die zugeordneten Bauteile möglichst gut repräsentiert werden.

Insbesondere ist darauf zu achten, daß durch die Versuchseinrichtung Randbedingungen und Lasteinleitungsbedingungen möglichst wirklichkeitsnahe verwirklicht werden können. Randbedingungen beziehen sich hier auf alle Schnittstellen zwischen dem zugeordneten Bauteil und dem Tragwerk sowie gegebenenfalls diesem Bauteil und nichttragenden Teilen der baulichen Anlage.

3.14 Anforderungen an die Stichprobe

Die Grundforderungen an die Stichprobe sind

I die Stichprobe muß bezüglich der impliziten Basisvariablen repräsentativ sein

II die Stichprobe muß bezüglich der variierten Einflußgrößen (Bauteilvariablen) den festgelegten Wertbereich der Bauteilvariablen hinreichend abdecken.

Bezüglich der expliziten Basisvariablen kann die Stichprobe beliebig zusammengesetzt sein.

Falls die Grunforderung I für bestimmte Einflußgrößen nicht erfüllt werden kann, müssen Schrankenwerte für diese Einflußgrößen festgelegt werden. Sie sind so festzulegen, daß in der Menge der Bauteile nur 5% der Bauteile ungünstigere Werte aufweisen. Die Werte der Versuchskörper für diese Einflußgrößen müssen gleich oder ungünstiger als die Schrankenwerte sein.

Dies kann z.B. für Imperfektionen gelten, die nicht planmäßig herstellbar sind.

3.15 Erwartungen zu Verlauf und Ergebnissen von Versuchen

Die Erwartungen über das Verhalten der Versuchskörper im Versuch bezüglich

- erwarteter beobachtbarer Phänomene, insbesondere
- des erwarteten Versagensmodus und
- des erwarteten Wertes für die Grenzgröße

sowie

- weitere möglicher Phänomene
- weitere möglicher Versagensmodi und
- Schranken für die Grenzgröße

sind festzulegen.

Als erwarteter Wert für die Grenzgröße ist i. allg. von dem mit den Bauteilparametern berechnete auszugehen.

3.16 Stichprobenliste

In der Stichprobenliste sind Angaben zur Stichprobenfestlegung und zu den erwarteten Versuchsergebnissen zusammenzustellen. Sie soll für jeden Versuchskörper enthalten

- Versuchskörper Nr.
- Bauteilparameter
- Beanspruchungsparameter

für Grenzgrößen zusätzlich

- erwarteter Wert für die Grenzgröße
- Schranken für die Grenzgröße
- Versagensmechanismen, die neben dem erwarteten möglich sind

3.17 Einflußgrößen der Versuchskörper

Es ist festzulegen, welche Einflußgrößen und auf welche Weise sie zu messen sind.

Es ist festzulegen,

- ob die Einflußgrößen
  - an Halbzeugen (z. B. vor der Herstellung der Versuchskörper)
  - an den Versuchskörpern vor dem Versuch (zerstörungsfrei)
  - an den Versuchskörpern nach dem Versuch (zerstörend)

- an welchen Stellen die Messungen durchzuführen sind (z. B. Blechdicke an 6 Stellen der Blechtafel)

- an welchen Stellen Proben (z. B.) Werkstoffproben zu entnehmen sind und nach welchen Verfahren (z. B. nach DIN ...) die Einflußgrößen zu ermitteln sind

Bei indirekten Messungen, sind mögliche Abweichungen der Meßwerte anzugeben.

Für alle Messungen ist die erforderliche Genauigkeit festzulegen.

3.18 Herstellung der Versuchskörper

Sofern die Versuchskörper Prototypen sind, soll die Herstellung der Versuchskörper mit der für die Bauteile übereinstimmen. Dies gilt auch für die Qualitätskontrolle. Sofern Abweichungen von den für die Bauteile festgelegten Herstell- und Kontrollbedingungen nicht vermeidbar sind, und eine Auswirkung auf die Versuchsergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann, sind die Auswirkungen konservativ abzuschätzen und zu berücksichtigen.

Bei der Wahl der Halbzeuge und Materialien ist zu beachten, bezüglich welcher Eigenschaften (Einflußgrößen) die Stichprobe repräsentativ sein muß.

3.3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

3.19 Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung (Statisches System mit Rand- und Auflagerbedingungen, Lastbild und Lastverteilung) ist so festzulegen, daß die Versuchsergebnisse mit hinreichender Genauigkeit auf die betrachteten Bauteile übertragen werden können.

Soweit aus sachlichen oder wirschaftlichen Gründen von dieser Forderung abgewichen wird, müssen diese Abweichungen dargestellt und ihre Auswirkungen verfolgt werden.

3.20 Versuchsbeobachtung

Das Verhalten des Versuchskörpers im Versuch ist meßtechnisch und durch Augenschein zu beobachten. Neben den für die Versuchsauswertung unmittelbar benötigten Meßgrößen (primären Meßgrößen) sind zur Kontrolle weitere Meßgrößen festzulegen (Kontrollmeßgrößen). Mit diesen soll die Kontrolle der primären Meßgrößen, der tatsächlichen Belastungsgeschichte und die Kontrolle von Annahmen über die Versuchseinrichtung ermöglicht werden.

Die Registrierung der Meßwerte soll eine Zeitmessung beinhalten und in so kleinen Zeitabständen erfolgen, damit eine quasi kontinuierliche Rekonstruktion des Versuchsablaufes ermöglicht wird.

Durch Augenschein sind unvorhergesehene und vorhergesehene, aber meßtechnisch nicht erfaßte Phänomene des Versuchsablaufs, wie z. B. lokale Verformungen, lokales Versagen, Entwicklung von Versagensmechanismen, Umschlagen im Tragverhalten und Versagensmechanismus zu erfassen und verbal und fotografisch festzuhalten.

3.21 Meßeinrichtung

Die Meßeinrichtung muß so ausgelegt sein, daß die möglichen Meßbereiche abgedeckt sind. Dabei sind vor allem für Verformungsgrößen im Bereich der Grenzzustände der Tragfähigkeit hinreichende Reserven vorzuhalten.

3.22 Versuchsbericht

Der Versuchsbericht soll Angaben enthalten über

* Herstellung der Versuchskörper
  - Beschaffung der Materialien und Halbzeuge
  - Herstellverfahren und Qualitätskontrolle

* Bestimmung der Einflußgrößen
  - Meßverfahren, gegebenenfalls Prüfverfahren
  - Meßergebnisse im einzelnen unter Angabe von Meßgenauigkeiten

- Zusammenstellung der Werte für die Einflußgrößen

* Versuchsdurchführung und Versuchsergebnisse der Belastungsversuche
  - Versuchsanordnung
  - Versuchseinrichtung (Versuchsgestell, Lager, Belastungseinrichtung mit Regelung, Meßeinrichtung)
  - Versuchsablauf, allg. mit beobachteten Phänomenen
  - Meßergebnisse für alle gemessenen Größen mit Angabe der Genauigkeit
  - Zusammenstellung der für die Versuchsauswertung erforderlichen Meßergebnisse

Alle Angaben sollen in bezug zum Versuchsplan stehen. Insbesondere sind Abweichungen vom Versuchsplan deutlich herauszustellen.

4 VERSUCHSAUSWERTUNG

4.1 GRUNDFALL, SKALARE GRENZGRÖSSE

4.1 Mechanisches Modell

Für die Berechnung der Grenzwerte calc r ist das mechanische Modell gemäß Gleichung (2,8) in der Form

$$\mathrm{calc}\,r = g(\underline{X}, \underline{w}) \tag{4,1}$$

mit

$\underline{x}$ explizite Basisvariable
$\underline{w}$ Bauteilparameter

zu verwenden.

4.2 Berechnungsgang, Übersicht

Für die Berechnung von charakteristischen Werten R_k und Bemessungswerten R_d der Grenzgröße kann wie folgt ablaufen:

1. Zusammenstellen der Vorinformation zu den Basisvariablen

2. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse

3. Berechnen für jeden Versuch i, i = 1, 2, ..., n
   - der rechnerischen Werte der Grenzgrößen calc r_i
   - der Werte der Korrekturgröße d_i

4. Festlegen der relativen Empfindlichkeiten α für die Korrekturgröße (α_D) und gegebenenfalls für die Basisvariablen (α_j, j = 1, 2, ... n_x)

5. Berechnen von charakteristischen Werten D_k und Bemessungswerten D_d für die Korrekturgröße

6. Festlegen bzw. Berechnen von charakteristischen Werten $X_{j,k}$ und Bemessungswerten $X_{j,d}$ der Basisvariablen X_j

7. Berechnen von charakteristischen Werten R_k und Bemessungswerten R_d für die Grenzgröße R

8. Umformen der Ergebnisse auf ein praxisgerechtes Berechnungsmodell

4.3 Vorinformation zu den Basisvariablen

Für jede im mechanischen Modell enthaltenen Basisvariablen müssen der Typ der Verteilungsfunktion VT{X} und seine Parameter bekannt sein.

Für eine näherungsweise Berechnung genügt stattdessen die Kenntnis der Bemessungswerte X_d bzw. der charakteristischen Werte X_k.

Für geometrische Größen darf für die Basisvariablen die Normalverteilung mit den Parametern

m[X] Mittelwert
s[X] Standardabweichung

angenommen werden.

Für den Variationskoeffizienten gilt

$$v[X] = s[X]/m[X] \tag{4,2}$$

Für Größen der Festigkeit darf für die Basisvariablen die logarithmische Normalverteilung mit den Parametern

m[lnX] Mittelwert von lnX
s[lnX] Standardabweichung von lnX

angenommen werden.

Es gelten die Beziehungen

$$m[\ln X] = \ln m[X] - \frac{s[\ln X]^2}{2} = \ln\left(\frac{m[X]}{\sqrt{1+v[X]^2}}\right) \tag{4,3}$$

$$s[\ln X] = \sqrt{\ln(1+v[X]^2} \tag{4,4}$$

Für Größen X mit logarithmischer Normalverteilung gilt: Die Größe lnX hat eine Normalverteilung.

4.4 Versuchsergebnisse für die Auswertung

Für jeden Versuche i, i = 1, 2, ..., n müssen folgende Versuchsergebnisse bekannt sein:

obs r_i beobachteter Grenzwert
obs $x_{j,i}$ beobachteter Wert der expliziten Basisvariablen X_j

4.5 Korrekturgröße, beobachtete Werte

Für jeden Versuche i, i = 1, 2, ..., n ist der Wert der Korrekturgröße D zu berechnen. Es ist

$$d_i = \mathrm{obs}\, r_i / \mathrm{calc}\, r_i \tag{4,5}$$

d_i Wert der Korrekturgröße D
obs r_i beobachteter Wert der Grenzgröße
calc r_i nach Gleichung (4,1) berechneter Wert der Grenzgröße

4.6 Korrekturgröße, D_k und D_d

Es darf angenommen werden, daß die Verteilungsfunktion der Korrekturgröße eine log-normal Verteilung ist. Damit gelten die Schätzwerte

$$\mathrm{M}[\ln D] = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \ln d_i \tag{4,6}$$

$$\mathrm{S}[\ln D] = \sqrt{\frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n} \ln(d_i)^2 \; - n \cdot \mathrm{M}[\ln D]^2\right)} \tag{4,7}$$

lnD Logarithmus von D
M[lnD] Mittelwert
S[lnD] Standardabweichung

Für den charakteristischen Wert D_k und den Bemessungswert D_d der Korrekturgröße D gilt

$$D_k = \exp(\mathrm{M}[\ln D]) \cdot \exp\left(t_{k_p,v} \cdot \mathrm{S}[\ln D] \cdot \sqrt{1+1/n}\right) \tag{4,8}$$

mit

$$k_k = \Phi^{-1}(p_{kD}) \tag{4,9}$$

und

$$D_d = \exp(\mathrm{M}[\ln D]) \cdot \exp\left(t_{k_d,\nu} \cdot \mathrm{S}[\ln D] \cdot \sqrt{1+1/n}\right) \tag{4,10}$$

mit

$$k_d = \alpha_D \cdot \beta \tag{4,11}$$

sowie

$$\nu = n-1 \tag{4,12}$$

Dabei ist

$t_{k,\nu}$ inverser Wert der zentralen t-Verteilung für ν Freiheitsgrade und die Wahrscheinlichkeit $\Phi(k)$ (siehe Tabelle 4.1)

Φ Verteilungsfunktion der standartisierten Normalverteilung

Φ^{-1} Inverse Funktion von Φ

β Sicherheitsindex, nach Anforderung der Bemessungsnorm

α_D relative Empfindlichkeit der Korrekturvariablen D

p_{kD} Fraktilwahrscheinlichkeit für den charakteristischen Wert der Korrekturvariablen D, i. allg. ist p_{kD} = 5 %

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_D der Korrekturvariablen ist

$$\gamma_D = D_d / D_k \tag{4,13}$$

Tabelle 4.1 Werte der zentralen t-Verteilung

-k	0,67	1,28	1,64	2,33	2,58	3,080
Φ(k)	0,25	0,1	0,05	0,01	0,005	0,001

v	$-t_{k,v}$ für zentrale t-Verteilung					
1	1,00	3,08	6,31			
2	0,82	1,89	2,92	6,97	9,93	
3	0,77	1,64	2,35	4,54	5,84	10,21
4	0,74	1,53	2,13	3,75	4,60	7,17
5	0,73	1,48	2,02	3,37	4,03	5,89
6	0,72	1,44	1,94	3,14	3,71	5,21
7	0,71	1,42	1,89	3,00	3,50	4,78
8	0,71	1,40	1,86	2,90	3,36	4,50
9	0,70	1,38	1,83	2,82	3,25	4,30
10	0,70	1,37	1,81	2,76	3,17	4,15
20	0,69	1,33	1,72	2,53	2,84	3,55
30	0,68	1,31	1,70	2,46	2,75	3,38
∞	0,67	1,28	1,64	2,33	2,58	3,08

4.7 Relative Empfindlichkeit

Die relative Empfindlichkeit α_D der Korrekturvariablen D darf, wenn die Bemessungsnormen nicht anderes bestimmen, näherungsweise angenommen werden zu

α_D = 0,80 wenn die Korrekturvariable dominierend ist

α_D = 0,32 wenn eine der Basisvariablen dominierend ist

Für eine genauere Berechnung darf

$$\alpha_D^2 + \sum_{j=1}^{n_x} \alpha_j^2 = \alpha_R^2 \qquad (4,14)$$

mit

α_j relative Empfindlichkeit der Basisvariablen X_j
α_R relative Empfindlichkeit der Grenzgröße R

angenommen werden.

Falls in Bemessungsnormen nichts anderes festgelegt ist, darf

$\alpha_R = 0{,}80$

angenommen werden.

4.8 Basisvariable X_k und X_d

Für die charakteristischen Werte $X_{j,k}$ und Bemessungswerte $X_{j,d}$ der Basisvariablen X_j gilt:

Wenn die Basisvariable normalverteilt ist

$$\begin{aligned} X_{j,k} &= \mathrm{m}[X_j]\,(1 + k_{k,j}\cdot \mathrm{v}[X]) \\ &\mathit{und} \\ X_{j,d} &= \mathrm{m}[X_j]\,(1 + k_{d,j}\cdot \mathrm{v}[X]) \end{aligned} \qquad \textbf{(4,15)}$$

und im Falle logarithmischer Normalverteilung

$$\begin{aligned} X_{j,k} &= \exp[\ln X_{j,k}] = \exp(\mathrm{m}[X_j]\,(1 + k_{k,j}\cdot \mathrm{v}[X])) \\ &\mathit{und} \\ X_{j,d} &= \exp[\ln X_{j,d}] = \exp(\mathrm{m}[X_j]\,(1 + k_{d,j}\cdot \mathrm{v}[X])) \end{aligned} \qquad \textbf{(4,16)}$$

mit

$$\begin{aligned} k_{k,j} &= \Phi^{-1}(p_{k,j}) \\ &\mathit{und} \\ k_{d,j} &= \alpha_j\cdot\beta \end{aligned} \qquad \textbf{(4,17)}$$

Es ist

p_{kj} Fraktilwahrscheinlichkeit für den charakteristischen Wert der Basisvariablen X_j, i. allg. ist $p_{kj} = 5$ %

α_j relative Empfindlichkeit der Basisvariablen X_j

für die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{m,j}$ der Basisvariablen X_j gilt

$$\gamma_{m,j} = X_{j,d} / X_{j,k} \tag{4,18}$$

Vereinfachend dürfen die charakteristischen Werte $X_{j,k}$ und Bemessungswerte $X_{j,d}$ der Basisvariablen X_j den Bemessungsnormen entnommen werden.

4.9 Grenzgrößen R_k und R_d

Wenn auf eine genauere Berechnung verzichtet wird, dürfen die charakteristischen Werte R_k und die Bemessungwerte R_d näherungsweise wie folgt berechnet werden.

$$\begin{aligned} R_k &= D_k \cdot g(\underline{X}_k, \underline{w}) \\ &\textit{und} \\ R_d &= D_d \cdot g(\underline{X}_d, \underline{w}) \end{aligned} \tag{4,19}$$

4.10 Praxisgerechtes Rechenmodell

Je nach Verwendungszweck kann es sein, daß das Ergebnis der Auswertung nach Gleichung (4,19) in unterschiedlicher Form benutzt werden soll. I. allg. wird der ermittelte Bemessungswert unmittelbar benutzt. Daneben werden folgende Sonderfälle unterschieden:

1. Es soll ein charakteristischer Wert R_k^* zusammen mit dem in der Bemessungsnorm festgelegten Teilsicherheitsbeiwert γ_M verwendet werden

2. Es sollen charakteristische Werte $X_{j,k}^*$ und Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{j,m}^*$ der Bemessungsnormen sowie das mechanische Modell nach Gleichung (4,1) verwendet werden. Gesucht ist ein dazu passendes Wertepaar D_k^* und γ_D^*

Die gesuchten Größen ergeben sich aus dem Vergleich des Bemessungswertes der Grenzgröße nach dem gewünschten Verfahren und dem Ergebnis der Versuchsauswertung.

4.2 GRENZGRÖSSE IST EINE FUNKTION VON BAUTEILPARAMETERN

4.2.1 Allgemeines

4.11 Begriffe

Bauteilparameter, die in der Menge der Bauteile variieren, werden Bauteilvariable genannt und zur Unterscheidung von diesen mit $\underline{v} = (v_1, v_2, ...)$ bezeichnet.

Unabhängig davon, ob Bauteilvariable kontinuierliche oder diskrete Größen sind, können ihre Werte in der Stichprobe mehr oder weniger kontinuierlich über den Geltungsbereich der Bauteilvariablen verteilt sein,

- kontinuierliche Stichprobe,

oder sich auf wenige Werte des Geltungsbereiches beschränken

- diskrete Stichprobe.

Die nachfolgend beschriebenen Auswertmethoden basieren auf der Zerlegung der Stichprobe in Teilstichproben. Es wird unterschieden zwischen

- diskreten Teilstichproben j, $j = 1, 2, ... n_T$, bei denen die Bauteilvariablen jeweils aller $n^{(j)}$ Versuchskörper einer Teilstichprobe j dieselben Werte $\underline{v}^{(j)}$ der Bauteilvariablen haben und

- kontinuierlichen Teilstichproben j, $j = 1, 2, ... n_{Tj}$, bei denen die Werte $\underline{v}_i^{(j)}$, $i = 1, 2, ... n^{(j)}$ der Bauteilvariablen jeweils aller $n^{(j)}$ Versuchskörper einer Teilstichprobe j in einem Intervall $I^{(j)}$ liegen.

4.12 Mechanisches Modell

Das mechanische Modell wird gegenüber Gleichung (4,1) um die Bauteilvariablen $\underline{v}$ erweitert:

$$\mathrm{calc}\,r = g(\underline{v}, \underline{X}, \underline{w}) \tag{4,20}$$

Damit werden der charakteristische Wert R_k und der Bemessungswert R_d der Grenzgröße R zu Funktionen der Bauteilvariablen $\underline{v}$

$$R_k = g_{Rk}(\underline{v}) \quad und \quad R_d = g_{Rd}(\underline{v}) \tag{4,21}$$

4.13 Korrekturvariable

Grundsätzlich sind die Korrekturvariable D und ihre Kennwerte, wie z. B. Bemessungswert D_d, Mittelwert m[lnD] und Standardabweichung s[lnD] Funktionen der Bauteilvariablen:

$$
\begin{aligned}
&D = g_D(\underline{v}) \\
&\quad \textit{und damit} \\
&D_d = g_{Dd}(\underline{v}), \quad m[\ln D] = g_{m\ln D}(\underline{v}) \quad \textit{und} \quad s[\ln D] = g_{s\ln D}(\underline{v})
\end{aligned}
\tag{4,22}
$$

Im wichtigen Sonderfall Mittelwert m[lnD] = const. und Standardabweichung s[lnD] = const. werden auch alle übrigen Kennwerte zu Konstanten.

4.14 Grenzgrößen

Mit dem mechanischen Modell und der Korrekturvariablen ergeben sich der charakteristische Wert R_k und der Bemessungswert R_d der Grenzgröße zu

$$
\begin{aligned}
&R_k = g_{Rk}(\underline{v}) = g_{Dk}(\underline{v}) \cdot g(\underline{v}, \underline{X}_k, \underline{w}) \\
&\quad \textit{und} \\
&R_d = g_{Rd}(\underline{v}) = g_{Dd}(\underline{v}) \cdot g(\underline{v}, \underline{X}_d, \underline{w})
\end{aligned}
\tag{4,23}
$$

4.2.2 Diskrete Teilstichproben

4.15 Grundgedanken der Auswertung

Grundgedanke der Auswertung ist es, jede der Teilstichproben j, j = 1, 2, ..., n_T zunächst getrennt und unabhängig voneinander auszuwerten. Im Falle des Bemessungswertes (der Fall charakteristischer Wert ist analog zu behandeln) wird zunächst für jede Teilstichprobe ein Bemessungswert $D_d^{(j)}$ ermittelt. Diesen Werten kann dann deterministisch eine Funktion $g_{Dd}^*(\underline{v})$ "auf der sicheren Seite" angepaßt werden.

4.16 Ansatzfunktion und Anzahl der Teilstichproben

Entsprechend den ermittelten wird für D_d eine Funktion mit einem oder mehreren Freiheitsgraden n_a mit den Freiwerten $\underline{a} = (a_1, a_2, ..., a_{na}$ ausgewählt:

$$
D_d^* = g_{Dd}^*(\underline{v} \mid \underline{a}) \tag{4,24}
$$

Zur Kennzeichnung des deterministischen Charakters werden die entsprechenden Größen mit * gekennzeichnet.

Die Anzahl der Teilstichproben n_T sollte in bezug auf die Anzahl der Freiheitsgrade n_a und die Anzahl der Bauteilparameter n_v mindestens folgenden Bedingungen genügen:

$$\begin{aligned} &\textit{für} \; n_a = 1 : n_T \geq 2^{n_v} + 1 \\ &\textit{für} \; n_a \geq 1 : n_T \geq 2 \cdot n_a \end{aligned} \qquad (4,25)$$

4.17 Sonderfall D_d = const.

Falls aufgrund der Versuchsergebnisse die Annahme eines konstanten Bemessungswertes angemessen erscheint, sollten die Hypothesen

$$\begin{aligned} \mathrm{m}[D]^{(1)} &= \mathrm{m}[D]^{(2)} = \ldots = \mathrm{m}[D]^{(n_T)} \\ \mathrm{s}[D]^{(1)} &= \mathrm{s}[D]^{(2)} = \ldots = \mathrm{s}[D]^{(n_T)} \end{aligned} \qquad (4,26)$$

mit üblichen statistischen Methoden mit Aussagewahrscheinlichkeit von 75 % getestet werden. Falls die Hypothesen nicht abgelehnt werden können, darf von D_d = const. ausgegangen werden. Daraus folgt, daß zur Berechnung von D_d die Teilstichproben zu einer Stichprobe zusammengefaßt werden können, d. h. in den Gleichungen (4,8) bis (4,12) für n die Anzahl aller Versuche eingesetzt werden darf.

4.2.3 Kontinuierliche Teilstichproben

4.18 Allgemeine Methode

Im allgemeinen Fall ist es zweckmäßig, für die Auswertung Ansatzfunktionen für den Mittelwert m[lnD] und die Standardabweichung s[lnD] gemäß Gleichung (4,22) oder, anstelle der Standardabweichung, für den Variationskoefizienten v[lnD] zu verwenden. Die Ansatzfunktionen erstrecken sich über den gesamten Geltungsbereich der Bauteilvariablen.

Damit erhalten die Gleichungen (4,6) und (4,7) die Form

$$\mathrm{M}[\ln D] = g_{\mathrm{mlnD}}(\underline{v}) \qquad (4,27)$$

und

$$\mathrm{S}[\ln D] = \sqrt{\frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n} (\ln(d_i) - \mathrm{M}[\ln D])^2\right)} \qquad (4,28)$$

Damit können die Schätzwerte für die Standardabweichung S[lnD] für jede Teilstichprobe berechnet werden. Entsprechend kann mit den Gleichungen (4,8) bis (4,12) zur Berechnung der charakteristischen Werte D_k und der Bemessungswerte D_d verfahren werden, wobei für n jeweils die Anzahl der Versuchskörper der Teilstichproben n^j einzusetzen ist. Für gleichgroße Teilstichproben, d.h. $n^{(1)} = n^{(2)} = ... = n^{(nT)}$ ergeben sich an den Bereichsgrenzen der Teilstichproben keine Unstetigkeiten. Im Falle ungleicher Teilstichprobenumfänge sind die Unstetigkeiten konservativ auszugleichen.

4.19 Sonderfall Bemessungswert D_d konstant

Für den Sonderfall konstanten Bemessungswertes D_d gelten die Ausführungen zum Abschnitt "Diskrete Teilstichproben" sinngemäß.

MUSTERNORM

Versuche als Grundlage für die Bemessung

GRUNDLAGEN

W. Maier, Hamburg

November 1992

INHALTSVERZEICHNIS

1 ALLGEMEINES

1.1 Geltungsbereich und allgemeine Grundsätze

Für die Bemessung des Tragwerks baulicher Anlagen sind Kenntnisse über seine Widerstandsgrößen erforderlich. Widerstandsgrößen sind Festigkeiten und Steifigkeiten, die sich auf das Tragwerk als ganzes, einzelne Bauteile, Querschnitte von Bauteilen, Verbindungen von Bauteilen sowie Baustoffe bzw. Werkstoffe und Verbindungsmittel beziehen können.

Üblicherweise können die erforderlichen Werte von Widerstandsgrößen von Baustoffen und Verbindungsmittel den einschlägigen Normen entnommen werden (z. B. Zugfestigkeit von Baustahl und Abscherfestigkeit von Schrauben). Die Widerstandsgrößen der übrigen Elemente können entweder aus denen der Baustoffe und Verbindungsmittel berechnet werde oder - wenn sie nicht auf diese zurückführbar sind - ebenfalls unmittelbar Normen entnommen werden. Für die Berechnung anzuwendenden Rechenverfahren (mechanischen Modelle) sind in den Normen festgelegt.

Unter welchen Umständen müssen oder dürfen die Werte von Widerstandsgrößen durch Versuche bestimmt werden?

In Fällen, in denen die erforderlichen Werte von Widerstandsgrößen bzw. die für ihre Berechnung notwendigen mechanischen Modelle nicht in Normen festgelegt sind, müssen sie über Versuche bestimmt werden.

Es kann vorkommen, daß im Einzelfall aus Gründen der Sicherheit Zweifel über die Anwendbarkeit von Regelungen in Normen bestehen. Hier können Versuche Klarheit schaffen.

Da Festlegungen in Normen stets für allgemein gelten, kann es vorkommen, daß sie im Einzelfall zu unwirtschaftlichen Ergebnissen führen. In diesen Fällen dürfen die Werte von Widerstandsgrößen durch Versuch bestimmt werden.

Offensichtlich beeinflussen die in einer statischen Berechnung verwendeten Werte für Widerstandsgrößen das Bemessungsergebnis und damit die Sicherheit des Tragwerkes. Durch die Anwendung von Regelungen über Widerstandsgrößen in Bemessungsnormen wird sichergestellt, daß in jedem Einzelfall das dort explizit oder implizit geforderte Sicherheitsniveau eingehalten wird. Wenn Werte für Widerstandsgrößen durch Versuche bestimmt werden, muß mindestens das in der einschlägigen Bemessungsnorm für den betrachteten Fall geforderte Sicherheitsniveau erreicht werden. Darüberhinaus ist zu fordern, daß Normen für die Bestimmung von Werten für Widerstandsgrößen auch bezüglich der Struktur des Sicherheitskonzeptes und der Terminologie kompatibel zu den einschlägigen Bemessungsnormen sind.

Die vorliegende Musternorm bezieht sich auf die neue Generation von Bemessungsnormen. Diese Normen unterscheiden sich in einer Hinsicht wesentlich von den bisherigen: Ihr Sicherheitskonzept ist von einem probabilistischen Sicherheitskonzept abgeleitet. Damit wird ein gleichmäßiges, von Baustoff und Bauart unabhängiges Sicherheitsniveau, ausgedrückt in

Versagenswahrscheinlichkeit, angestrebt.

Kenntnisse über probabilistische Sicherheitskonzepte sind in der Fachwelt kaum verbreitet. Zum Verständnis des Sicherheitskonzeptes der neuen Bemessungsnormen und damit auch dieser Musternorm ist die Kenntnis der grundlegenden Ideen des Sicherheitskonzeptes notwendig, aber auch hinreichend.

Die Aufgabe, Werte für Widerstandsgrößen durch Versuche zu bestimmen, wollen wir im Zusammenhang mit der übergeordneten betrachten.

> Der Konstrukteur entwirft das Tragwerk einer baulichen Anlage und weist nach, daß es nach planmäßiger Herstellung unter bestimmungsgemäßer Nutzung hinreichend gebrauchstauglich und hinreichend tragsicher sein wird und, mit den planmäßigen Unterhaltsmaßnahmen, über die planmäßige Nutzungsdauer bleiben wird.

Der Ausdruck "unter bestimmungsgemäßer Nutzung" meint unter denjenigen Einwirkungen denen das Tragwerk bei bestimmungsgemäßer Nutzung ausgesetzt sein kann, wobei grobe Fahrlässigkeit ausgeschlossen sein soll.

2 Deterministische Betrachtung

2.1 Zur Methodik

Wir wollen die Zusammenhänge zwischen Einwirkungen, Tragwerk und Nachweis zunächst aus deterministischer Sicht beleuchten. Dazu betrachten wir einen Einzelfall und nehmen an, daß das Tragwerk und die während des Nutzungszeitraums auftretenden Einwirkungen sowie alle mechanischen Modelle bekannt sind.

Bei deterministischer Betrachtung können wir die Zukunft vorwegnehmend, auf die Nutzungsgeschichte der baulichen Anlage und seines Tragwerkes zurückblicken.

2.2 Grenzzustände

2.2.1 Allgemeines

Bei deterministischer Betrachtung und gegebenen Kriterien läßt sich eindeutig sagen, ob ein Tragwerk seine Tragfähigkeit bzw. seine Gebrauchsfähigkeit verloren hat oder nicht. Zustände des Tragwerkes, die den Bereich der Tragfähigkeit begrenzen, werden Grenzzustände der Tragsicherheit genannt, solche, die den Bereich der Gebrauchsfähigkeit begrenzen, Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.

2.2.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit

Grenzzustände der Tragfähigkeit sind primär durch physikalische Phänomene festgelegt, wie z.B.

- Einsturz des gesamten Tragwerks
- Einsturz von Teilen des Tragwerks
- Herabstürzen von Bauwerksteilen

und davon abgeleitet

- Ausbildung Kinematischer Ketten
- Bruch eines Bauteils
- Abheben von Auflagern

Für die Berechnung ist es notwendig, von diese physikalischen, d.h. in der Realität beobachtbaren Phänomene zugeordnete "Phänomene" der jeweils verwendeten Rechenmodelle, die sekundären Phänomene abzuleiten, wie z.B.

- Ausbildung einer Fließgelenkkette
- Durchplastizieren von Querschnitten
- Erreichen der Fließgrenze

- Knicken von Druckstäben
- Beulen der Stege von Biegeträgern

Sekundäre Phänomene können i. allg. in der Realität, z.B. im Versuch nicht beobachtet werden, sondern nur in der Berechnung. Deshalb wird man bei Versuchen die Grenzzustände vornehmlich durch primäre Phänomene festlegen; andernfalls müssen von den Phänomenen der Rechenmodelle physikalische abgeleitet werden.

Grenzzustände können sich auf

1. das Tragwerk als ganzes
2. einzelne Bauteile
3. Querschnitte von Bauteilen und Verbindungen von Bauteilen
4. Baustoffe bzw. Werkstoffe und Verbindungsmittel

beziehen.

Bei der Berechnung wird meist vom Erreichen einer der Grenzzustände 2. bis 4. an irgendeiner Stelle des Tragwerkes auf das Erreichen des Grenzzustandes des Tragwerkes geschlossen. Dieses Vorgehen muß nicht zwingend auf die Bestimmung von Grenzzuständen durch Versuche übertragen werden.

In Hinblick auf die einen Grenzzustand regierenden Zustandsgrößen können die Grenzzustände der Tragfähigkeit wie folgt unterschieden werden:

a) Es kommt nur auf die Extremwerte der Zustandsgrößen und Kombination von Zustandsgrößen an. Beispiel: Erreichen der Fließgrenze

b) Es kommt zusätzlich zu a) auch auf die Geschwindigkeit an, mit der sich Zustandsgrößen ändern. Beispiel: Sprödbruch bei schlagartiger Beanspruchung

c) Es kommt zusätzlich zu a) auch auf den Verlauf der Zustandsgrößen an. Beispiel: Niederzyklische Ermüdung

d) Es kommt wesentlich nur auf die Zyklen der Zustandsgrößen (z. B. Spannungsspannen) an, unabhängig von der Reihenfolge ihres Auftretens. Beispiel: Hochzyklische Ermüdung

e) Es kommt auf die Dauer an, die Zustandsgrößen wirksam sind.

Diese Unterscheidung wird wichtig, wenn wir zur Beschreibung der Einwirkungen, Beanspruchung und Beanspruchbarkeit kommen.

2.2.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind primär durch Phänomene wie

- Schäden an Teilen der baulichen Anlage, die nicht zum Tragwerk gehören (z.B. Risse in nichttragenden Wänden, Bruch von Fensterscheiben, Reißen von Dichtungsbahnen)
- Beeinträchtigung des Wohlbefindens der Nutzer der baulichen Anlage

festgelegt, wovon üblicherweise sekundäre abgeleitet werden, wie z.B.

- Erreichen relativer Durchbiegungen
- Erreichen von Krümmungen

Im übrigen können die Ausführungen zu den Grenzzuständen der Tragsicherheit sinngemäß übertragen werden.

2.3 Einwirkungen

2.3.1 Allgemeines

Wenden wir uns den Einwirkungen und ihrer Beschreibung zu. Um uns die Mannigfaltigkeit möglicher Einwirkungen vor Augen zustellen, zunächst eine Sammlung von Beispielen:

- Tragkonstruktion selbst (Wirkung der Schwerkraft auf seine Masse)
- Teile der baulichen Anlage, die nicht zum Tragwerk gehören
- Einrichtungen (z.B. von Büroräumen)
- Betrieb von Fahrzeugen (z.B. Krane, Gabelstapler)
- Betrieb von Maschinen
- Wind
- Schnee
- Erdbeben
- umgebende Luft (Temperatur, Luftfeuchtigkeit)
- Wärmestrahlung

Alle Einwirkungen bewirken durch ihr Auftreten bzw. durch ihre Veränderung, Änderungen der (mechanischen) Zustandsgrößen des Tragwerks. Die meisten Einwirkungen bewirken Kräfte, die als von außen auf das masselos gedachte Tragwerk einwirkende Kräfte aufgefaßt werden können und die wir üblicherweise als Lasten bezeichnen. Die weiteren Betrachtungen sollen exemplarisch auf Lasten beschränkt werden. Offensichtlich sind einige Lasten vom Tragwerk unabhängig (z.B. Eigengewichtslast eines Fahrzeuges) während andere auch vom Tragwerk abhängig sind. Dieser Umstand kann bedeutsam sein.

2.3.2 Allgemeine Beschreibung der Einwirkungsgeschichte

Wie kann man die Gesamtheit dieser Einwirkungen, den Einwirkungsprozeß, so strukturieren und beschreiben, daß ein zuverlässiger Nachweis möglich wird? Symbolisch kann der "wirkliche" Einwirkungsprozeß [1] durch

$$\underline{L}^o(\underline{x},t) = L^o_1(\underline{x},t), L^o_2(\underline{x},t), \ldots, L^o_i(\underline{x},t), \ldots \tag{2.1}$$

dargestellt werden, wobei L°_i die Lasten der i-ten Einwirkung als Funktion des Ortes $\underline{x}$ und der Zeit t beschreibt.

Diese wirklich auftretenden Lasten einer Einwirkung müssen für die Berechnung i. allg. drastisch vereinfacht werden. Man denke z.B. an die Mannigfaltigkeit der von der Einrichtung eines Büroraums bewirkten einzelnen Lasten. Die Vereinfachung kann in zwei Stufen vorgenommen werden, einer räumlichen und einer zeitlichen.

Bei der räumlichen Vereinfachung unterteilen wir den Nutzungszeitraum in kurze Zeitintervalle. Für diese Zeitintevalle vereinfachen wir die räumliche Lastverteilung aller Einwirkungen. Beim Beispiel des Büroraumes wird die Vielzahl einzelner Lasten zu einer Gleichlast, die sich über einen gewissen Bereich erstreckt, vereinfacht. Diese Vereinfachung der Einwirkungen muß sich selbstverständlich an deren Auswirkung auf Zustandsgrößen orientieren. Für die Vereinfachung des Zeitverlaufes ist offensichtlich der zu betrachtende Grenzzustand wesentliches Kriterium. Zur Unterscheidung vom wirklichen schreiben wir für den auf den jeweiligen Zweck vereinfachten Einwirkungsprozeß formal

$$\underline{L}(\underline{x},t) = L_1(\underline{x},t), L_2(\underline{x},t), \ldots, L_i(\underline{x},t), \ldots \tag{2.2}$$

Bei Beschränkung auf Lasten kann eine Einwirkung durch ein Lastschema, Lastintensitäten f und geometrische Größen a wie in Bild 2.1 beispielhaft gezeigt, beschrieben werden. Wenn das Lastschema über den zu betrachtenden Zeitraum gültig ist, kann der Einwirkungsprozeß $L_i(t)$ der Einwirkung i durch $\underline{f}_i(t)$ und $\underline{a}_i(t)$ und sein Lastschema dargestellt werden, d. h. durch den Zeitverlauf aller Lastintensitäten und aller geometrischen Größen a der Einwirkung i.

Wenn angenommen werden darf, daß sowohl die geometrischen Größen als auch die die Verhältnisse der einzelnen Lastintensitäten einer Einwirkung untereinander über den zu betrachtenden Zeitraum konstant bleiben, kann der Einwirkungsprozess $L_i(t)$ der Einwirkung i durch den Lastfaktor $\lambda_i(t)$ sowie sein Lastschema mit den konstanten Werten $\underline{a}_i$, den geometrischen Größen, und $\underline{f}^*_i$, den Bezugswerten der Lastintensitäten, dargestellt werden.

[1] *"wirklicher" Einwirkungsprozess bezieht sich hier auf ein wesentlich wirklichkeitsnäheres Modell. Wir können nur Modelle, die wir uns von der Wirklichkeit machen beschreiben und nicht die Wirklichkeit selbst.*

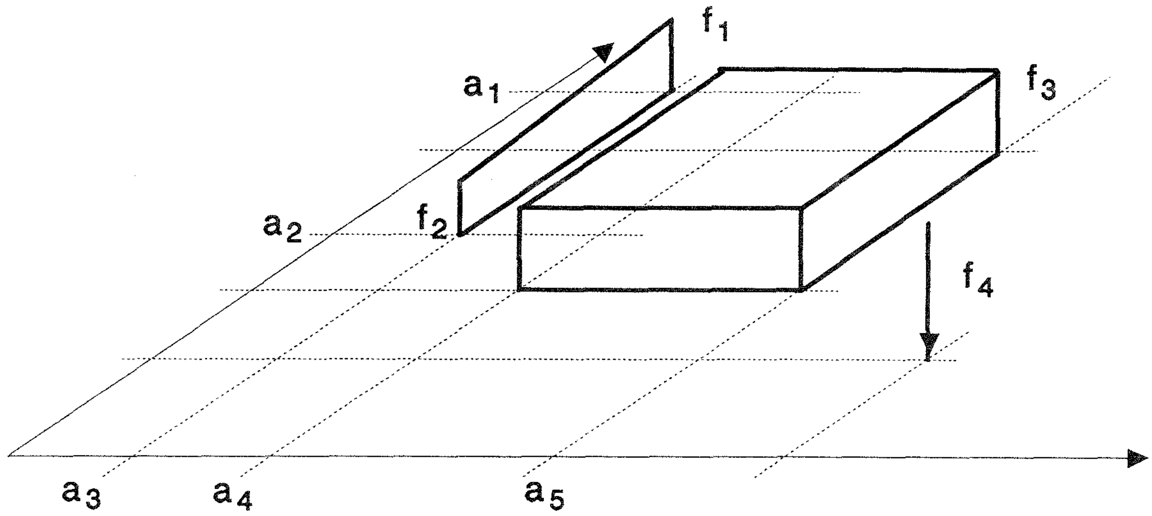

Bild 2.1 Beispiel zur Beschreibung der Lasten der Einwirkung i zum Zeitpunkt t_k mittels Lastschema, Lastintensitäten $f_{.,i,k}$ und geometrischer Größen $a_{.,i,k}$

Es gilt

$$f_{j,i}(t) = \lambda_i(t) f^*_{j,i} \tag{2.3}$$

für alle j = 1, 2, ... Lastintensitäten der Einwirkung i.

Damit kann die Einwirkungsgeschichte bzw. Lastgeschichte $\underline{L}(t)$ durch eine Vektorfunktion $\underline{\lambda}(t,\underline{q})$ dargestellt werden, wobei $\underline{q}$ Parameter sind, die wir Parameter der Lastgeschichte[2] nennen. Wir notieren

$$\begin{aligned} &\underline{L}(t) :: \underline{\lambda} = \underline{\lambda}(t|\underline{q}) \\ &\quad ::. \\ &\quad :: \boldsymbol{\mathit{mitderEinheitseinwirkung}} \\ &\quad :: \underline{f}^*_1, \underline{f}^*_2, \ldots \| \underline{a}_1, \underline{a}, \ldots \| LS_1, LS_2, \ldots \end{aligned} \tag{2.4}$$

um deutlich zu machen, daß sich die Vektorfunktion $\underline{\lambda}(t,\underline{q})$ auf bestimmte Lastschemata LS_i mit geometrischen Werten $\underline{a}_i$ und Bezugswerten $\underline{f}^*_i$ der Lastintensitäten beziehen. Wir können sagen: Durch ein Lastschema mit den zugehörenden geometrischen Größen und Bezugswerten der Lastintensitäten wird eine Einheitseinwirkung festgelegt. Bild Bild 2.2a zeigt ein Beispiel, das zu einem Versuch mit zwei unabhängigen Einwirkungen gehören könnte.

2 *Diese Parameter sind für eine Einwirkungsgeschichte Konstante, die Bezeichnung "Parameter" wird in Hinblick auf die spätere Betrachtung mehrerer Einwirkungsgeschichten gewählt*

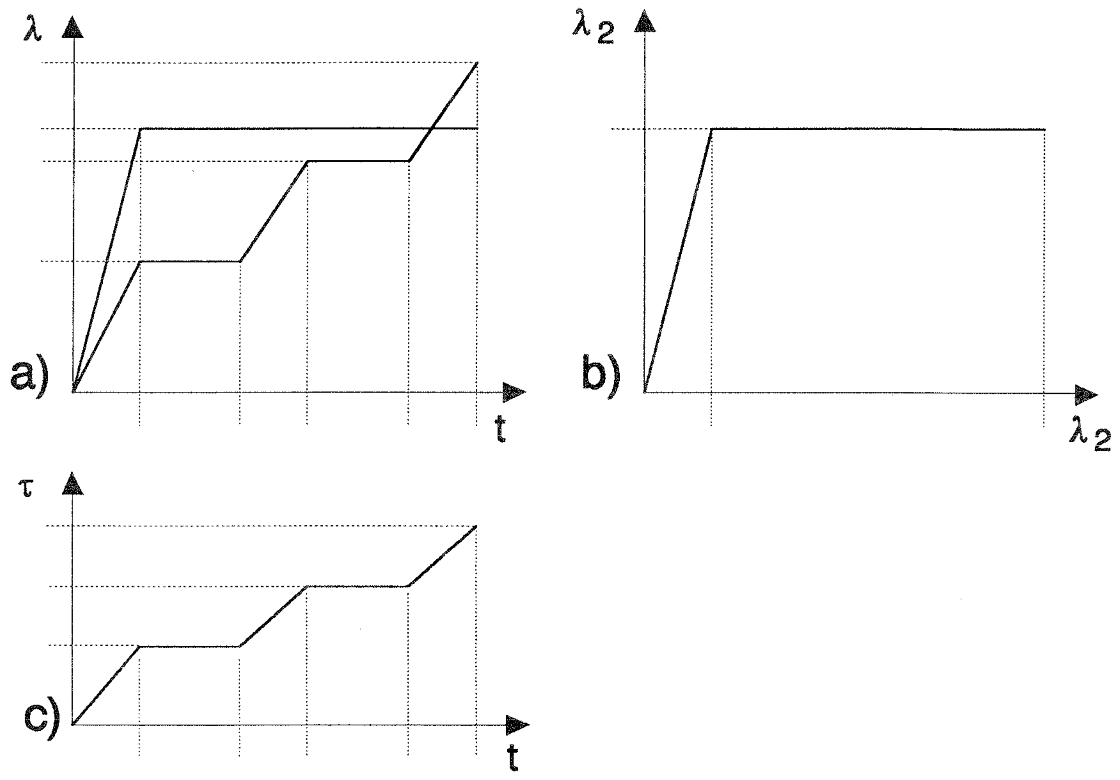

Bild 2.2 Beispiel für Beschreibung der Lastgeschichte;
a) Lastfaktoren $\lambda_i=\lambda_i(t)$, b) Lastpfad $\lambda_i=\lambda_i(\tau \mid \tilde{q})$, c) Zeitverlauf: $\tau=\tau(t \mid \hat{q})$

Wie sich später zeigen wird, ist es zweckmäßig, die Lastgeschichte in dem durch die Lastfaktoren λ_i aufgespannten Lastraum zu betrachten. Dort bildet sich die Lastgeschichte als Raumkurve ab, die anschaulich als Lastpfad im Lastraum bezeichnet wird. Für ihre Beschreibung bietet sich die Parameterdarstellung mit τ als Funktionsparameter an,

$$\underline{\lambda} = \underline{\lambda}(\tau \mid \tilde{q}) \tag{2.5}$$

wobei $\tilde{q}$ die Parameter der Lastgeschichte im Lastraum sind (siehe Bild 2.2b). Offensichtlich ist der Funktionsparameter τ quasi ein Zeitparameter.

Für die vollständige Beschreibung der Lastgeschichte wird nun noch der Zusammenhang zwischen dem Funktionsparameter und der Zeit t benötigt. Dafür schreiben wir

$$\tau = \tau(t \mid \hat{q}) \tag{2.6}$$

2.3.3 Besondere Fälle von Einwirkungsgeschichten

Proportionaler Lastpfad im Lastraum

Ein wichtiger Sonderfall ist die Beanspruchungsgeschichte, bei der die Lastfaktoren über den zu betrachtenden Zeitraum in einem festen Verhältnis zueinander stehen. Im Lastraum bildet sich der Lastpfad als Gerade ab. Wir kommen zu einer zweckmäßigen Darstellung, wenn wir in den Gleichungen (2.5) und (2.6) als Parameter $\underset{\sim}{q}$ des Lastpfades im Lastraum den Einheitsvektor $\underline{e}_\Lambda$ des Lastpfades
verwenden und für den quasi Zeitparameter τ den Betrag λ des Vektors $\underline{\lambda}$. Damit gilt für proportionale Lastpfade im Lastraum

$$\underline{\lambda} = \lambda \cdot \underline{e}_\lambda \qquad (2.7)$$

und

$$\lambda = \lambda(t \,|\, \hat{q}) \qquad (2.8)$$

Standardfall:Es kommt <u>nur</u> auf die Extremwerte an

Der Standardfall der Beschreibung von Einwirkungen für Grenzzustände, bei denen es nur auf die Extremwerte der Zustandsgrößen ankommt, ist offensichtlich die für den Grenzzustand "Erreichen der Fließgrenze". Hier spielt die Einwirkungsgeschichte keine Rolle, weshalb wir jedes Zeitintervall für sich, unabhängig von den übrigen betrachten können.

Wenn es, wie hier, nur auf die Extremwerte der von den Einwirkungen verursachten Zustandsgrößen ankommt, wählen wir aus dem Nutzungszeitraum alle diejenigen Zeitpunkte aus, in denen jeweils einer der Lastfaktoren λ_i ihren Extremwert erreicht und erhalten so eine Folge von Einwirkungsfällen[3], dargestellt durch eine Folge von Lastfaktorvektoren $\underline{\lambda}_1$, $\underline{\lambda}_2$, ...

Jedem der Einwirkungsfälle kann man eine "gedachte" Lastgeschichte zuordnen, bei der die Lastfaktoren proportional zueinander von Null auf ihren Endwert steigen. Wir sprechen in diesem Falle von einem proportionalen Lastpfad im Lastraum <u>und</u> im Zeitraum. Die Lastgeschichte kann allein durch den Lastpfad im Lastraum beschrieben werden, der sich dort als Gerade abbildet; auf den Zeitverlauf kommt es nicht an.

Es kommt <u>nicht</u> auf die "Echtzeit" an

Für die praktische Berechnung wird für fast alle Fälle, in denen es auf die Extremwerte der

[3] *Für die Modellierung der Lastgeschichte kann i. allg. von einem linearen Zusammenhang zwischen Zustandsgrößen und Lastfaktoren ausgegangen werden.*

Zustandsgrößen ankommt, angenommen, daß die Einwirkungsgeschichte keinen Einfluß hat. Bei Versuchen zeigt sich jedoch oft ein nicht vernachlässigbarer Einfluß der Einwirkungsgeschichte. Wir werden bei der Besprechung der Beanspruchbarkeit auf diesen Umstand eingehen.

In vielen Fällen kommt es zwar auf das Verhältnis der Lastfaktoren untereinander und die Reihenfolge der Lastzustände an, nicht jedoch auf Geschwindigkeiten an, mit der sich die Lastfaktoren λ_i ändern und auch nicht auf die Dauer der Zeit, über die Lastfaktoren konstant bleiben. Wir sagen, daß es nicht auf die "Echtzeit" ankommt. In diesen Fällen kann in Gleichung (2.6) τ eine beliebige, nichtfallende Funktion der Zeit t sein.

Es kommt nicht auf die Reihenfolge der Lastzustände an

Wenn darüber hinaus auch die Reihenfolge der Lastzustände keine Rolle spielt, ist die Lastgeschichte allein durch Lastpfad im Lastraum (z. B. durch Gleichung (2.5)) festgelegt.

Bezogen auf den Lastpfad im Lastraum können wir zwischen Einwirkungen ohne und mit Richtungsumkehr unterscheiden. Wenn der Lastpfad in einer Richtung durchlaufen wird, ist die Reihenfolge der Lastzustände durch den Lastpfad eindeutig festgelegt, andernfalls jedoch nicht.

Ortsveränderliche Einwirkungen

Wir haben bisher unterstellt, daß die Lasten der Einwirkungen jeweils am selben Ort wirken, d.h. daß sie räumlich nicht beweglich sind. Es stellt sich die Frage, ob z.B. auch die von Fahrzeugen verursachten Lasten in dem oben definierten Einwirkungsraum beschrieben werden können.

Prinzipiell ist dies offensichtlich dadurch möglich, daß wir jeder der möglichen Fahrzeugstellungen jeweils eine eigene Einheitseinwirkung zuordnen, die sich nur durch diejenigen Werte unterscheiden, welche die Lage des Fahrzeugs festlegen. Zweckmäßiger erscheint es jedoch, die entsprechenden geometrischen Größen wie die Lastfaktoren zu behandeln.

2.4 Beanspruchungen

2.4.1 Allgemeines

Die von den Einwirkungen im Tragwerk hervorgerufenen Zustandsgrößen werden in Hinblick auf die Grenzzustände als Beanspruchungsgrößen bezeichnet. Entsprechend der Grenzzustände sind folgende Kategorien zu unterscheiden:

Beanspruchungen

1. des Tragwerks
2. von Bauteilen
3. von Querschnitten von Bauteilen und Verbindungen von Bauteilen
4. des Baustoffs bzw. Werkstoffs und von Verbindungsmitteln

Als Oberbegriff für diese Kategorien wollen wir im folgenden den Begriff Tragwerksteil verwenden.

Die Beanspruchung ist jeweils durch die Zustandsgrößen auszudrücken, die den betrachteten Grenzzustand regieren. Dies können Spannungen und Dehnungen, Schnittkräfte und ihnen zugeordnete Verformungen (z.B. Krümmungen), Stabendkräfte und Stabendverformungen sowie Lasten sein. Die in Tabelle 2.1 aufgeführten Beispiele sollen dies verdeutlichen.

Tabelle **2.1**

Gegenstand	**Grenzkriterium**	**Beanspruchung**
Werkstoff Baustahl	Erreichen der Fließgrenze	Normalspannungen σ_x, σ_z und Schubspannung τ_{xz}
Querschnitt eines stählernen Biegeträgers	Durchplastizieren eines Querschnitts	Biegemomente M_y, M_z, Querkräfte V_z, V_y und Normalkraft N
Kragstütze	Biegeknicken	Biegemoment M_y, Querkraft V_z, und Normalkraft N am Stützenkopf sowie Gleichlast über Stützenhöhe
Hallenrahmen	kinematische Kette	Lasten der Einwirkungsfälle ständige Lasten, Wind und Schnee

Die Beanspruchung eines Tragwerks ist identisch mit seiner Einwirkung, die wir gemäß Abschnitt ? allgemein durch die Einheitseinwirkungen und Lastfaktoren im Einwirkungsraum und Zeitraum beschrieben haben. Die Beanspruchung von Bauteilen setzt sich aus den unmittelbar auf sie wirkenden Teile der Einwirkungen und den Schnittgrößen an den Schnittstellen, an denen das Bauteil aus dem Tragwerk herausgeschnitten ist, zusammen. An die Stelle der Schnittgrößen können auch die zugeordneten Verformungsgrößen treten.

Um zu einer einheitlichen Darstellung zu kommen, wollen wir hier die Einwirkungen zu den Beanspruchungen rechnen.

2.4.2 Allgemeine Beschreibung der Beanspruchungsgeschichte

Zur allgemeinen Beschreibung der Beanspruchungsgeschichte eines bestimmten Tragwerksteils für einen bestimmten Grenzzustand können wir, wie bei der allgemeinen Beschreibung der Einwirkungsgeschichte vorgehen.

Analog zum Einwirkungsraum definieren wir für n unabhängige Beanspruchungsgrößen s_1, s_2, ... s_n den n-dimensionalen Beanspruchungsraum, der durch die n Zustandsgrößen z_1, z_2, ... z_n der Beanspruchung aufgespannt wird. Mit Rücksicht auf die später zu behandelnde Beanspruchbarkeit ist es hilfreich, zwischen der Bezeichnung für die Koordinatenachsen (Zustandsgrößen z) und den für die Beanspruchung zu unterscheiden. Sofern Einwirkungen als Beanspruchungen auftreten, sind diese durch ihre Einheitseinwirkungen mit den zugehörigen Lastfaktoren zu beschreiben, wobei die Lastfaktoren nun zu Zustandsgrößen werden.

Offensichtlich kann eine Beanspruchung durch unterschiedliche Zustandsgrößen beschrieben werden, wobei zwischen Zustandsgrößen Abhängigkeiten existieren können. So kann z.B. die Beanspruchung des Werstoffes im elastischen Bereich durch Spannungen oder Dehnungen ausgedrückt werden. Hier soll angenommen werden, daß zur Beschreibung der Beanspruchung ein System voneinander unabhängiger Zustandsgrößen verwendet wird.

Im Beanspruchungsraum wird eine Beanspruchung durch einen Beanspruchungspunkt (s_1, s_2, ... s_n) bzw. einen Beanspruchungsvektor $\underline{s}$ abgebildet.

Für die Beanspruchungsgeschichte können wir nun, analog zur Einwirkungsgeschichte nach Gleichung (2.4),

$$\begin{aligned} &\underline{S}(t) :: \underline{s} = \underline{s}(t|\underline{q}) \\ &\quad :: , \\ &\quad :: \textit{mitderEinheitsbeanspruchung} \\ &\quad :: \underline{s}_1^*, \underline{s}_2^*, \ldots \| \underline{a}_1, \underline{a}, \ldots \| ZS_1, ZS_2, \ldots \end{aligned} \tag{2.9}$$

schreiben. Dabei ist

S(t) Symbol für die Beanspruchungsgeschichte
$\underline{q}$ Parameter der Beanspruchungsgeschichte für die Beanspruchung i

Analog zur Einheitseinwirkung definieren wir eine Einheitsbeanspruchung, damit die formale Kompatibilität zwischen beiden sichergestellt ist. Die Einheitsbeanspruchung für die Beanspruchung i ist festgelegt durch

s^*_i Intensität der Einheitsbeanspruchung
$\underline{a}_i$ geometrische Größen
BS_i Beanspruchungsschema

Es ist zweckmäßig, die Beanspruchungsgeschichte ebenso wie die Einwirkungsgeschichte getrennt darzustellen, und zwar durch die Beanspruchungsgeschichte im Beanspruchungsraum, d.h. den Beanspruchungspfad, entsprechend zu Gleichung (2.5),

$$\underline{s} = \underline{s}(\tau \mid \underline{\tilde{q}}) \qquad \textbf{(2.10)}$$

und die Beanspruchungsgeschichte im Zeitraum, entsprechend zu Gleichung (2.6)

$$\tau = \tau(t \mid \underline{\hat{q}}) \qquad \textbf{(2.11)}$$

Hierbei sind

$\underline{q}$ Parameter der Beanspruchungsgeschichte
$\underline{\tilde{q}}$ Parameter des Beanspruchungspfades im Beanspruchungsraum
$\underline{\hat{q}}$ Parameter des Beanspruchungspfades im Zeitraum.

Für die Fallunterscheidung für die Beanspruchungsgeschichte gelten die Ausführungen zur Einwirkungsgeschichte auf Seite ? sinngemäß.

2.4.3 Besondere Fälle von Beanspruchungsgeschichten

In der statischen Berechnung ist die Belastungsgeschichte in den Fällen, in denen es auf die Extremwerte der Zustandsgrößen ankommt, meist ohne Belang. Für Versuche jedoch, wo die Beanspruchungsgeschichte den Ablauf der Belastung des Prüfkörpers festlegt, muß sie berücksichtigt werden.

Die Art der Belastung, die Belastungsgeschwindigkeit und Haltepausen in der Belastung können das Versuchsergebnis, insbesondere die Beanspruchbarkeit beeinflussen.

Weshalb dieser Unterschied zwischen Berechnung und Versuch? In den Normen sind die Beanspruchbarkeiten für jeweils "ungünstigste" Beanspruchungsgeschichten angegeben. Außerdem laufen Versuche i. allg. im Zeitraffer ab, d.h. die Belastungsgeschwindigkeiten im Versuch sind deutlich höher als in der Wirklichkeit. So ist es in jedem Falle wichtig, die Beanspruchungsgeschichte des Versuches mit der der betrachteten Wirklichkeit in Beziehung zu setzen und vollständig zu dokumentieren.

Standardfall: Proportionaler Beanspruchungspfad

Von besonderer Bedeutung ist die Beanspruchungsgeschichte, bei der die Zustandsgrößen der Beanspruchung proportional zueinander verändert werden. In diesem Fall bildet sich der Beanspruchungspfad im Beanspruchungsraum als Gerade ab - wir sprechen vom proportionalen Beanspruchungspfad, den wir entsprechend den Gleichungen (2.7) und (2.8) darstellen können durch

$$\underline{s} = s \cdot \underline{e}_s \tag{2.12}$$

und

$$s = s(t \mid \underline{\hat{q}}) \tag{2.13}$$

mit

$\underline{e}_s$	Richtungsvektor des Beanspruchungspfades
s	Betrag der Beanspruchung $\underline{s}$
$\underline{\hat{q}}$	Parameter des Beanspruchungspfades im Zeitraum
t	Zeit

2.5 Beschreibung der Beanspruchbarkeit und Grenzzustände, bei denen es auf die Extremwerte der Zustandsgrößen ankommt

2.5.1 Allgemeines zum Begriff Beanspruchbarkeit

Die Beanspruchbarkeit bezieht sich, wie wir gesehen haben, auf einen bestimmten Grenzzustand und eine bestimmte Beanspruchungsgeschichte und wird durch die Zustandsgrößen bei Erreichen des Grenzzustandes beschrieben. Wenn also im Laufe der Nutzungsdauer des Tragwerkes ein Grenzzustand erreicht wird, ist die zugehörige Beanspruchbarkeit erreicht. Im Beanspruchungsraum stellt sich die Beanspruchung für eine Beanspruchungsgeschichte als Punkt dar, den wir Grenzzustandspunkt nennen. Häufig interessiert die Beanspruchbarkeit nicht nur für eine Beanspruchungsgeschichte, sondern für eine bestimmte Menge von Beanspruchungsgeschichten. Deren Beanspruchbarkeit bildet sich im Beanspruchungsraum i.allg. als Punktwolke der den einzelnen Beanspruchungsgeschichten zugeordneten Grenzzustandspunkte dar. Aus Gründen der Zweckmäßigkeit wird die Beanspruchbarkeit nur für solche Mengen definiert, deren sämtliche Grenzzustandspunkte auf einer Hyperfläche (Raumfläche) liegen, die Grenzzustandsfläche genannt wird.

2.5.2 Proportionaler Beanspruchungspfad ohne Berücksichtigung des Zeitverlaufs

Da wir in diesem Abschnitt den Zeitverlauf vernachlässigen, werden die Beanspruchungsgeschichten allein durch ihre Beanspruchungspfade hinreichend beschrieben. Wir wollen uns zunächst mit dem wichtigsten Fall, der Beanspruchbarkeit für Beanspruchungen mit proportionalem Beanspruchungspfad beschäftigen. Die Verwendung proportionaler Beanspruchungspfade ist immer dann angezeigt, wenn das Erreichen des Grenzzustandes im Rahmen der in Betracht zu ziehenden Beanspruchungspfade pfadunabhängig ist.

Beanspruchbarkeit für einen Beanspruchungspfad

Für eine skalare Beanspruchung s ist auch die Beanspruchbarkeit r eine skalare Größe, die Grenzzustandsgröße r. Wir erhalten sie, wenn wir die entsprechende Zustandsgröße z über die Beanspruchung s hinaus bis zum Erreichen des Grenzzustandes steigern.

Entsprechend ist die Beanspruchbarkeit für eine vektorielle Beanspruchung $\underline{s}$ gemäß Gleichung (2.12) ein Vektor, der Grenzzustandsvektor $\underline{r}$. Er ist durch den Richtungsvektor des Beanspruchungspfades $\underline{e}_s$ und den Betrag der Beanspruchbarkeit r festgelegt

$$\underline{s} = s \cdot \underline{e}_s \;\Rightarrow\; \underline{r} = s_{Grenzzustand} \cdot \underline{e}_s \;\Rightarrow\; \underline{r} = r \cdot \underline{e}_s \tag{2.14}$$

Beanspruchbarkeit für eine Menge von Beanspruchungspfaden

Die Menge der Beanspruchungspfade eines Beanspruchungsraumes (z_1, z_2, ..., z_n) können alle möglichen Beanspruchspfade (in unserem Falle Gerade durch den Ursprungen des Koordinatensystems) oder Teilmengen davon umfassen.

Eine Mengen von proportionalen Beanspruchungspfaden ist durch den Geltungsbereich des Richtungsvektors, allgemein der Parameter $\tilde{\underline{q}}$ der Beanspruchungspfade nach Gleichung (2.13) definiert. Der Richtungsvektor $\underline{e}_s$ des Beanspruchungspfades wird zu einer Variablen und wir können formal

$$r = g(\underline{e}_s) \; und \; \underline{r} = r \cdot \underline{e}_s \tag{2.15}$$

schreiben.

> Die Menge der Beanspruchungspfade ist durch den Geltungsbereich von $\underline{e}_s$ gegeben, Die Beanspruchbarkeit durch die skalare Funktion $r=g(\underline{e}_s)$.

Im Beanspruchungsraum (z_1, z_2, ..., z_n) stellt sich die Beanspruchbarkeit nun als Hyperfläche dar, wir sprechen von der Grenzzustandsfläche bzw Grenzzustandfunktion im Beanspruchungsraum. Für n=2 ist die Hyperfläche eine Kurve und für n=3 eine gewöhnliche Fläche. Man spricht auch von Interaktionskurven und Interaktionsflächen bzw. Interaktionsfunktionen. Daß die Grenzzustandspunkte im Beanspruchungsraum tatsächlich auf einer Fläche liegen und nicht eine Punktwolke bilden, sagt uns die Anschauung: Benachbarte Beanspruchungspfade zeigen benachbarte Grenzzustandspunkte oder kleine Verdrehungen eines Beanspruchungspfades bewirken auch nur kleine Änderungen im Betrag r der Beanspruchbarkeit.

Zur Darstellung der Beanspruchbarkeit (d. h. einer Fläche im n-dimensionalen Raum) können wir bekanntlich auch andere, z.B. folgende Formen verwenden [4]

- *vektorielle Darstellung mit Parameter* $\underline{\Phi}$

$$\underline{r} = g(\Phi_1, \Phi_2, \ldots, \Phi_{n-1}) \quad \textit{mit} \qquad (2.16)$$
$$\underline{\Phi} = \underline{\Phi}(\tilde{q}_1, \tilde{q}_2, \ldots, \tilde{q}_{n-1})$$

- *Darstellung mit Betrag und Richtungsvektor*

$$r = g(\tilde{q}_1, \tilde{q}_2, \ldots, \tilde{q}_{n-1}) \quad \textit{mit} \qquad (2.17)$$
$$\underline{e}_s = \underline{e}_s(\tilde{q}_1, \tilde{q}_2, \ldots, \tilde{q}_{n-1})$$

- *implizite Darstellung*

$$g(z_1, z_2, \ldots, z_n) = 0 \qquad (2.18)$$

und die nicht immer eindeutige

- *explizite Darstellung z. B.*

$$r_1 = g(z_2, z_3, \ldots, z_n) \qquad (2.19)$$

Als Parameter $\tilde{q}_1$, $\tilde{q}_2$, ..., $\tilde{q}_{n-1}$ können z.B. n-1 Komponenten des Richtungsvektors $\underline{e}_s$ gewählt werden.

In Berechnungsnormen wird vorzugsweise die implizite Darstellung verwendet. Z.B. ist die Beanspruchbarkeit für die Beanspruchung eine eines durch Biegemomente M_y und M_z beanspruchten I-Querschnittes eines Stahlträger für den Grenzzustand "Durchplastizieren des

[4] *Selbstverständlich bezeichnet g jeweils eine andere Funktion*

Querschnitts" durch die Grenzzustandsfunktion $M_z/c1 + (M_y/c2)^{2,3} - 1 = 0$ gegeben, wobei c_1 und c_2 Konstante sind.[5]

Für die Versuchsauswertung ist häufig die Darstellung des Betrages vorteilhaft.

2.5.3 Allgemeiner Beanspruchungspfad ohne Berücksichtigung des Zeitverlaufs

Beanspruchbarkeit für einen Beanspruchungspfad

Bei nichtproportionalen Beanspruchungspfaden stehen wir hinsichtlich der Beanspruchbarkeit vor folgendem Problem: Der Beanspruchungspfad ist nur bis zum Erreichen der Beanspruchung, genauer ihrem Endwerte für den betrachteten Einwirkungsfall, definiert, den wir, wenn es zur Unterscheidung vom aktuellen Wert $\underline{s}$ der Beanspruchung notwendig ist, mit $\underline{s}_o$ bezeichnen wollen. Zur Beanspruchbarkeit kommen wir, wenn wir die Zustandsgrößen, über $\underline{s}_o$ hinaus, bis zum Erreichen des Grenzzustandes steigern. Auf welche Weise sollen die Zustandsgrößen gesteigert werden, d.h. wie soll der Beanspruchungspfad über die Beanspruchung hinaus fortgesetzt werden?

Fragen wir nach dem Zweck der Beanspruchbarkeit und ihrer Definition. Wir benötigen die Beanspruchbarkeit für den Nachweis, daß der Grenzzustand unter der Beanspruchung noch nicht überschritten ist. Danach genügt es, die Zustandsgrößen im Beanspruchungsraum in irgendeine "ungünstige" Richtung im Beanspruchungsraum zu steigern, wobei ungünstig "näher an den Grenzzustand" meint. Für praktische Fälle dürfte diese diffuse Anweisung genügen, um für Zwecke der Versuchsplanung und Auswertung eine eindeutige Festlegung zu treffen.

Für die Festlegung der Beanspruchbarkeit, d. h. des Punktes auf dem Beanspruchungspfad in Beanspruchungsraum, an dem der betrachtete Grenzzustand erreicht wird, bieten sich zwei Arten der Beschreibungen an.

Die erste Art der Beschreibung geht von der Darstellung des Beanspruchungspfades nach Gleichung (2.10) aus. Damit können wir die Beanspruchbarkeit für einen nichtproportionalen Beanspruchungspfad mittels des Parameters τ durch

$$\underline{s} = \underline{s}(\tau \,|\, \underline{\tilde{q}}) \quad \Rightarrow \quad \underline{r} = \underline{s}(r = \tau_{Grenzzustand} \,|\, \underline{\tilde{q}}) \tag{2.20}$$

darstellen, wobei hier r den Wert des Parameters τ bei Erreichen des Grenzzustandes bezeichnet und die Parameter $\underline{\tilde{q}}$ den Beanspruchungspfad einschließlich seiner Fortsetzung über die Beanspruchung hinaus festlegen. Für die Auswertung von Versuch kann es zweckmäßig sein,

[5] *Beanspruchbarkeit nach DIN 18 800, Teil1, Element 757*

den Parameter τ als Länge des Beanspruchungspfades (Bogenlänge) zu definieren.

Die zweite Art der Beschreibung setzt die Beanspruchbarkeit, d. h. die Beanspruchung bei Erreichen des Grenzzustandes, aus zwei Anteilen zusammen, der Vorbeanspruchung genannte Teil der Beanspruchung bis zum Punkt $\underline{s}_o$ und der Restbeanspruchbarkeit. Der Restbeanspruchbarkeit wird ein von $\underline{s}_o$ ausgehender proportionaler Beanspruchungspfad zugrunde gelegt. Dieses Vorgehen kann insbesondere im Zusammenhang mit Versuchen zweckmäßig sein.

Damit können wir die Beanspruchbarkeit in vektorieller Schreibweise durch

$$\underline{r}=\underline{s}_o+\underline{r}_\Delta \tag{2.21}$$

ausdrücken, wobei wir hier $\underline{s}^o$ als Vorbeanspruchung und $\underline{r}_\Delta$ als Restbeanspruchbarkeit bezeichnen.

Für die beiden Abschnitte des Beanspruchungspfades, bis zu $\underline{s}^o$ und die Fortsetzung, soll

$$\underline{s}=\underline{s}(\tau\,|\tilde{q}) \quad \textit{und} \quad \underline{s}_\Delta=\underline{s}_\Delta(\tau_\Delta\,|\tilde{q}_\Delta) \tag{2.22}$$

gelten, wobei die Parameter $\tilde{\underline{q}}$ und $\tilde{\underline{q}}\Delta$ im hier betrachteten Falle Konstante sind.

Im Falle linearer Fortsetzung des Beanspruchungspfades können wir analog zu Gleichung (2.14)

$$\underline{r}_\Delta=r_\Delta\cdot\underline{e}_{\Delta s} \tag{2.23}$$

schreiben, wobei $\underline{e}_{\Delta s}$ der Richtungsvektor der Fortsetzung des Beanspruchungspfades ist und r_Δ der Betrag der Restbeanspruchbarkeit.

Beanspruchbarkeit für eine Menge von Beanspruchungspfaden

Was ist hier unter der Menge von Beanspruchungspfaden zu verstehen? Worin sind sie gleich und worin unterscheiden sie sich?
Für den beabsichtigten Zweck ist es sicherlich sinnvoll, zu fordern, daß sie gleich sind bezüglich der Einheitsbeanspruchung. Sie können sich deshalb nur noch bezüglich der Beanspruchungspfadparameter im Beanspruchungsraum unterscheiden.

Die Beschreibung der Beanspruchbarkeit für eine Menge von nichtproportionalen Beanspruchungspfaden scheint trivial: wir fassen in Gleichung (2.20) den Parameter $\tilde{\underline{q}}$ als Variable auf. Jedem Beanspruchungspfad, d. h. jedem Wert der Variablen $\tilde{q}$ ist genau ein Wert für

$r=\tau_{Grenzzustand}$ zugeordnet. Wir schreiben dies in der Form

$$r = g(\tilde{q}) \quad und \quad \underline{r} = \underline{s}(r, \tilde{q}) \tag{2.24}$$

wobei wir die Menge der Beanspruchspfade durch den Geltungsbereich von $\tilde{q}$ festlegen. Diese Form der Darstellung entspricht der nach Gleichung (2.15) für proportionale Beanspruchungspfade.

> Die Menge der Beanspruchungspfade ist durch den Geltungsbereich von $\tilde{q}$ gegeben, die Beanspruchbarkeit durch die skalare Funktion $r=g(\tilde{q})$.

Selbstverständlich können wir die Beanspruchbarkeit im n-dimensionalen Beanspruchungsraum auch in einer der Formen nach Gleichung (2.16) bis (2.19) darstellen.

Doch wie steht es mit der Forderung, daß sich die Beanspruchbarkeit im Beanspruchungsraum, wie im Falle proportionaler Beanspruchungspfade, als Grenzzustandsfläche (Hyperfläche) abbildet?

Wie man sich leicht klar machen kann, beschreiben obige Gleichungen nur dann stetige Hyperflächen, wenn die Menge der Beanspruchungspfade, einschließlich ihrer Fortsetzungen über die Beanspruchung hinaus, bestimmten Bedingungen genügt.

Betrachten wir dazu noch einmal den Fall des proportionalen Beanspruchungspfades. Nach den Ausführungen des vorigen Abschnittes ist offensichtlich: Die Beanspruchbarkeit für einen bestimmten Grenzzustand (im zugeordneten Beanspruchungsraum) ist eine Funktion der Beanspruchungspfade (und nicht der Beanspruchungen). Die Beanspruchungspfade schneiden sich nicht, benachbarten Beanspruchungspfaden sind benachbarte Grenzzustandspunkte zugeordnet und die Zuordnung zwischen Beanspruchungspfaden und Punkten der Grenzzustandsfläche ist eindeutig und umkehrbar.

Aus der physikalischen Anschauung dürfen wir ableiten, daß die Bedingung nach sich nicht schneidenden Beanspruchungspfaden hinreichend für die Existenz einer zumindest abschnittsweise stetigen Grenzzustandsfläche ist.

Im Zusammenhang mit Versuchen ist die Aufteilung der Beanspruchbarkeit in Vorbeanspruchung und Restbeanspruchbarkeit, d.h. die Darstellung der Beanspruchbarkeit nach Gleichung (2.21) vorteilhaft, wobei die Bedingung sich nicht schneidender Beanspruchungspfade für die Vorbeanspruchung und Restbeanspruchung gilt. Außerdem muß sich die Vorbeanspruchung im Beanspruchungsraum ebenfalls als Hyperfläche abbilden.

Bei linearer Fortsetzung bietet sich die Richtung des der jeweiligen Beanspruchung eindeutig zugeordneten proportionalen Beanspruchungspfades an. In gewissen Fällen können auch achsparallele Fortsetzungen der Beanspruchungspfade zweckmäßig sein (parallel zu einer der Achsen des Beanspruchungsraumes).

2.5.4 Berücksichtigung des Zeitverlaufes

Wir haben bisher angenommen, daß - im betrachteten Rahmen - der Zeitverlauf der Beanspruchung auf die Beanspruchbarkeit keinen Einfluß hat, weshalb wir auf die Berücksichtigung des Zeitverlaufes verzichten konnten.

Allgemeiner Fall, $\underline{\tilde{q}}$ und $\underline{\hat{q}}$ sind Variable

Mit dem Zeitverlauf berücksichtigen wir nun die gesamte Beanspruchungsgeschichte. Offensichtlich stellt sich nun die Beanspruchbarkeit im Beanspruchungsraum als Schar von Raumflächen mit dem Scharparameter $\underline{\hat{q}}$ dar. Wir können diese Schar von Raumflächen z. B. nach Gleichung (2.18) durch

$$g(z_1,z_2,\dots,z_n \mid \underline{\hat{q}})=0 \tag{2.25}$$

darstellen oder gemäß Gleichung (2.24) durch

$$r=g(\underline{\tilde{q}},\hat{q}) \;\; und \;\; \underline{r}=\underline{s}(r,\tilde{q}) \tag{2.26}$$

> Die Menge der Beanspruchungspfade ist durch die Geltungsbereich von $\underline{\tilde{q}}$und $\underline{\hat{q}}$ gegeben, die Beanspruchbarkeit durch die skalare Funktion $r=g(\underline{\tilde{q}},\underline{\hat{q}})$.

Beanspruchbarkeit für eine Menge von Beanspruchungsgeschichten mit gleichem Beanspruchungspfad

Wenn die Beanspruchungspfade im Beanspruchungsraum nicht variiert werden, wird die Beanspruchbarkeit gemäß Gleichung (2.20) im Kern durch eine skalare Funktion beschrieben

$$r=g(\underline{\hat{q}}) \quad und \quad \underline{r}=\underline{s}(r \mid \underline{\hat{q}}) \tag{2.27}$$

wobei die Parameter des Beanspruchungspfades im Beanspruchungsraum $\underline{\tilde{q}}$ Konstante sind.

2.6 Mechanische Modelle für Grenzzustandsgrößen

Grenzzustandsgrößen soll im folgenden als Oberbegriff für die Größen verwendet werden, die Grenzzustandsflächen, Grenzzustandskurven und Grenzzustandspunkte festlegen.

Grenzzustandsgrößen sind entweder elementare oder berechnete Größen. Unter einer elementaren Grenzzustandsgröße verstehen wir eine Größe, deren Wert unmittelbar durch Versuch bestimmt bzw. unmittelbar einer Norm entnommen wird. Beispiel hierfür ist die Zugfestigkeit von Werkstoffen. Grenzzustandsgrößen, die nicht elementar sind, werden aufgrund elementarer Grenzzustandsgrößen und anderer, die Eigenschaft des Tragwerksteils beschreibender Größen, wie z.B. Abmessungen und Steifigkeiten berechnet.

Alle Größen, die Eigenschaften des Tragwerksteils beschreiben und die Einfluß auf die Beanspruchbarkeit haben, bezeichnen wir als Einflußgrößen $\underline{u}$. Den Zusammenhang zwischen diesen Einflußgrößen und den Grenzzustandsgrößen beschreiben wir durch das mechanische Modell, für das wir gemäß Gleichung ?

$$r = \mathbf{g}(\underline{u}, \underline{\tilde{q}}, \underline{\hat{q}}) \tag{2.28}$$

schreiben.

3 STOCHASTISCHE BETRACHTUNG

3.1 ELEMENTARE MENGEN VON BAUTEILEN

3.1.1 Grundmodell und Grundbegriffe

Schauen wir zurück zur übergeordneten Aufgabe des Konstrukteurs von Kapitel 1. Das Ergebnis seiner Arbeit sind Unterlagen zur Herstellung von Tragwerken. Wir sagen, mit diesen Unterlagen wird das Tragwerk spezifiziert, die Unterlagen stellen die Spezifikation des Tragwerkes dar. Alle Tragwerke, die nach einer bestimmten Spezifikation hergestellt werden, sind für den Konstrukteur gleich. Seine Aussagen bezüglich der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sind also für eine Menge von Tragwerken gültig.

Wir stellen uns vor, ein Konstrukteur habe einen Rahmen für eine Halle zu bemessen. Zehn solcher Rahmen werden für die Halle benötigt und gebaut. Wenn also zehn Rahmen nach derselben Spezifikation gebaut werden, gilt für alle zehn diese Aussage, obschon sie durchaus - im Rahmen der Spezifikation - unterschiedlich ausfallen werden. Sie sind unterschiedlich in bezug auf bestimmte Einflußgrößen, und zwar aufdie streuenden, wie z. B.Werkstoffestigkeiten.

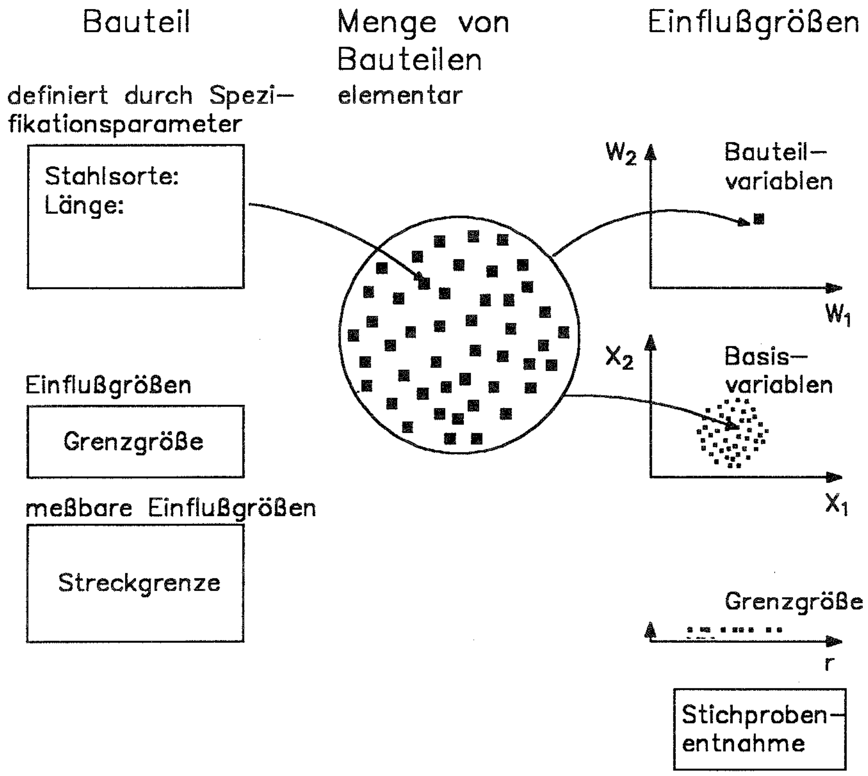

Bild 3.1 Elementare Mengen von Bauteilen I

401

Wenn noch weitere Hallen nach dieser Spezifikation gebaut werden, gilt die vorgenannte Aussage des Konstrukteurs zur Tragsicherheit auch für die Rahmen dieser Hallen (bei vergleichbarem Standort). Die Aussage gilt für die Menge aller Rahmen, die möglicherweise im Rahmen dieser Spezifikation gebaut werden könnten. Wir sprechen von der Menge gleicher Bauteile, der in der Warscheinlichkeitstheorie der Begriff der Gesamtheit entspricht. Im Hinblick auf die später einzuführende, zusammengesetzte Menge von Bauteilen nennen wir eine Menge gleicher Bauteile eine elementare Menge von Bauteilen (?).

Einflußgrößen werden alle Größen genannt, die Eigenschaften des Tragwerks bzw. der Bauteile beschreiben und Einfluß auf die Tragsicherheit bzw. Gebrauchstauglichkeit haben. Obschon grundsätzlich alle Einflußgrößen streuende Größen sind, unterscheiden wir dennoch zwischen Einflußgrößen, deren Streuung berücksichtigt wird und solchen, bei denen sie vernachlässigt wird bzw. werden darf. Wir sprechen von streuenden Einflußgrößen und von deterministischen Einflußgrößen. Für streuende Einflußgrößen hat sich der Namen Basisvariable eingebürgert. Deterministische Einflußgrößen wollen wir vorläufig als Bauteilparameter bezeichnen; später werden wir diesen Begriff noch modifizieren.

Offentsichtlich gilt für elementaren Mengen von Bauteilen der Satz: Alle Bauteile haben denselben Wert für die Bauteilvariablen und unterschiedliche Werte für die Basisvariablen. Die Unterschiede bei den Basisvariablen sind zufällig.

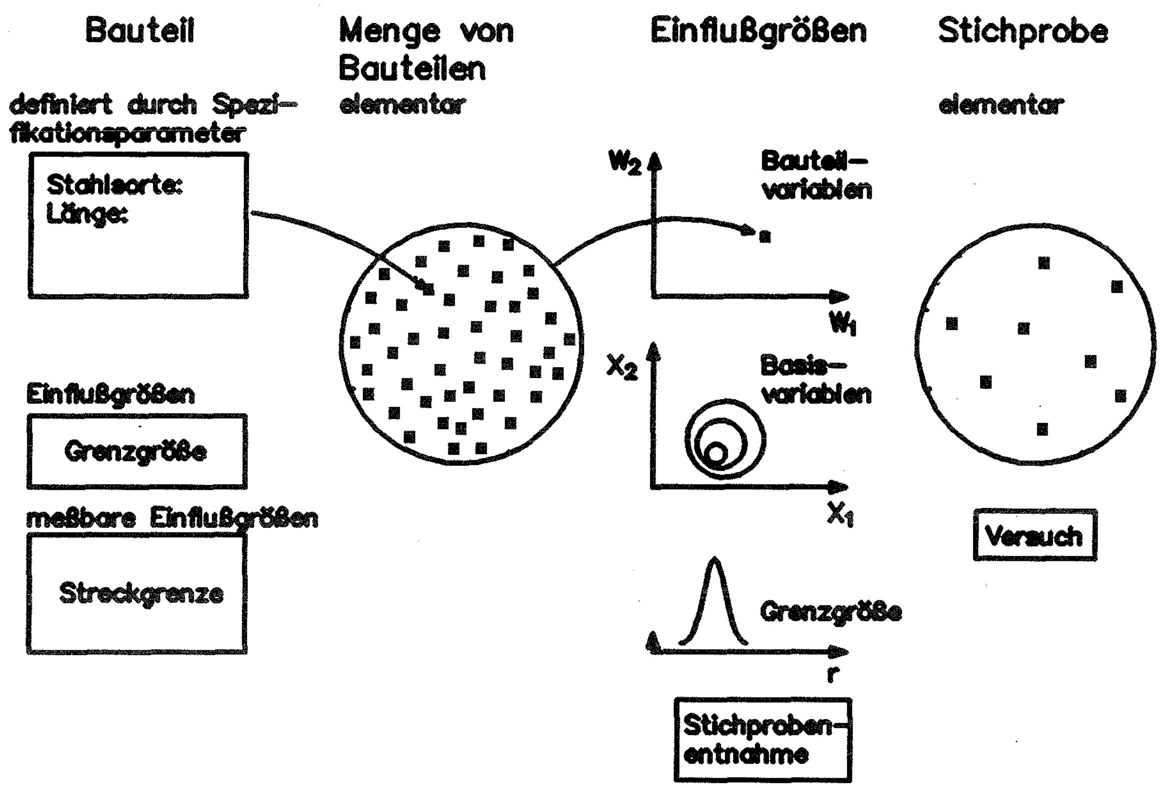

Bild 3.2 Elementare Menge von Bauteilen II

Basisvariable sind Zufallsgrößen und damit sind auch die Grenzgrößen Zufallsgrößen.

Für die Bemessung wird diese Grenzgröße benötigt, die anhand von Versuchen an einer Stichprobe an Versuchskörper ermittelt werden soll. In der Wahrscheinlichkeitstheorie sind Zufallsgrößen durch ihre Dichtefunktionen f festgelegt. Die Basisvariablen werden durch ihre gemeinsame dichte Funktion festgelegt (in Bild 3.2 durch Höhenschichtlinien repräsentiert).

3.1.2 Unmittelbare Versuchsauswertung

Die Aufgabe des Versuchs besteht also darin, anhand der an den Versuchskörpern der Stichprobe gewonnenen Versuchsergebnisse die Dichtefunktion der Grenzgröße festzulegen. Auch, wenn wir für die praktische Bemessung nur Kennwerte für diese Dichtefunktion, nämlich den Bemessungswert oder den charakteristischen Wert benötigen, ist es doch hilfreich, zunächst die Betrachtung mit der Dichtefunktion zu führen.

Eine Dichtefunktion und damit ihre Zufallsgröße sind durch den Verteilungstyp und die Verteilungsparameter festgelegt. Normalverteilte oder logarithmisch normalverteilte Zufallsgrößen z. B. durch Mittelwert und Standardabweichung.

Damit die gestellte Aufgabe lösbar wird, muß die Stichprobe offensichtlich gewissen Bedingungen genügen. Wir sagen, die Stichprobe muß repräsentativ sein. Dem entspricht das Bild von den zufällig aus der Menge der Bautele gezogenen Bauteile, die dann zu Versuchskörpern werden. Wir haben also zwischen repräsentativen Stichproben und nichtrepräsentativen Stichproben zu unterscheiden. In repräsentativen Stichproben sind die Werte für die Basisvariablen in etwa so verteilt, streuen in etwa so, wie in der Menge von Bauteilen. Entsprechend hat auch das Histogramm der Grenzgrößen in etwa dieselbe Gestalt wie die Dichtefunktion der Grenzgröße in der Menge von Bauteilen (Bild 3.8).

Wir können als präzisieren: Die Stichprobe muß zur Menge von Bauteilen repräsentativ bezüglich aller Basisvariablen sein.
Unterschiedliche Stichproben derselben Menge von Bauteilen werden unterschiedliche Versuchsergebnisse, das heißt unterschiedliche Werte für die Grenzgröße ergeben, da die Stichproben ja zufällig zusammengesetzt sind. Deshalb werden auch die aufgrund der Versuchsergebnisse festgelegten Dichtefunktion der Grenzgröße verschieden, genauer zufällig unterschiedlich sein. Wir nennen dieses Phänomen statistische Unsicherheit. Offensichtlich ist dies statistische Unsicherheit umso größer, je kleiner der Umfang der Stichprobe, d. h. die Anzahl der Versuchskörper ist. Bei sehr großem Stichprobenumfang verschwindet die statistische Unsicherheit.

Methodisch wirkt sich die statistische Unsicherheit wie folgt aus: Die geschätzte Dichtefunktion (bei der die statistische Unsicherheit berücksichtigt ist) unterscheidet sich von der als wahr angenommenen hinsichtlich des Verteilungstyps. Er ist "breiter". Es ist anzumerken, daß in den praktisch üblichen Fällen die Anzahl der Versuche zu klein ist, um einen Verteilungstyp zu schätzen. Deshalb wird pragmatisch ein anzunehmender Verteilungstyp festgelegt. Für Festigkeiten üblicherweise die logarithmische Normalverteilung.

3.1.3 Versuchsauswertung mit Vorinformation

Dem Phänomen der statistischen Unsicherheit kann hier nicht nachgegangen werden, doch sei zum besseren Verständnis das folgende angemerkt: Bei sehr großem Stichprobenumfang, wenn also die Stichprobe der Menge von Bauteilen nähert, gilt im allgemeinen: Bemessungswert = Mittelwert - k * Standardabweichung mit k - 3,08. Die statistische Unsicherheit wirkt sich nun in der Größe des Faktors k aus. Für eine Stichprobe mit 10 Versuchskörpern nimmt k den Wert 4,15 an und eine Stichprobe mit 5 Versuchskörpern den Wert 5,89.

Wir wollen uns nun der gestellte Aufgabe, die Dichtefunktion der Grenzgröße anhand der Ergebnisse der Versuche zu schätzen, aus einer anderen Sicht nähern. Dazu führen wir das mechanische Modell in die Betrachtung ein. Das mechanische Modell beschreibt den Zusammenhang zwischen den Basisvariablen und Bauteilvariablen einerseits und der Grenzgröße andererseits. Die Basisvariablen sind durch ihre gemeinsame Dichtefunktion festgelegt. Wir können die Menge der dafür notwendigen Festlegungen stochastisches Modell nennen. Wenn, wie in weiten angenommen, die Basisvariablen stochastisch voneinander unabhängig sind, ist die gemeinsame Dichtefunktion durch die einzelnen Dichtefunktionen festgelegt.

Nehmen wir an, wir kennten das wahre mechanische Modell und die wahren Dichtefunktionen für die Basisvariablen sowie die wahren Werte für die Bauteilvariablen. Mit dieser wahren Information könnten wir (im Prinzip) auch die die wahre Dichtefunktion der Grenzgröße berechnen (Bild 3.3).

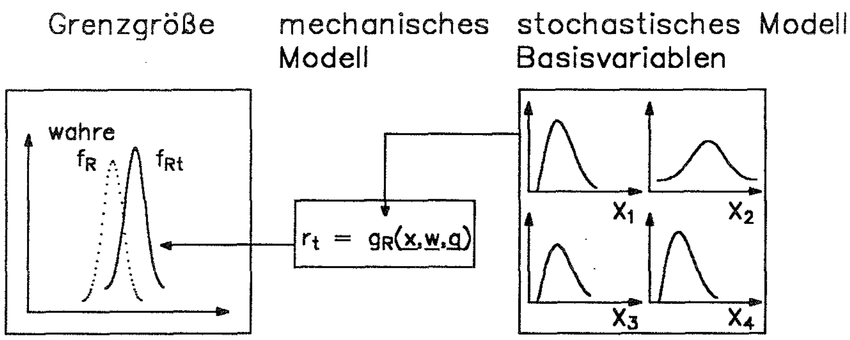

Bild 3.3 Mechanisches Modell und Zufallsgrößen

403

Doch, diese wahre Information wird leider nicht zur Verfügung stehen - Versuche wären sonst ja nicht nötig. Freilich, mit leeren Händen werden wir im allgemeinen nicht dastehen. Gewisse Informationen sind auch vor dem Versuch verfügbar, wir nennen sie deshalb Vorinformation. Wir kennen im allgemeinen ein mechanisches Modell, das zwar unvollständig ist und deshalb theoretisches, mechanisches Modell genannt wird und mit hinreichender Genauigkeit Dichtefunktionen für Basisvariable, wenngleich nur für einen Teil der maßgebenden.

Vorinformation wurde auch bisher bei der Planung und Auswertung von Versuchen verwendet, und zwar in Form allgemeinen Fachwissens aufgrund von Erfahrung. Neu ist, das die

Vorinformation in rationaler Weise dargestellt und methodisch bei der Planung und Auswertung von Versuchen verwendet wird.

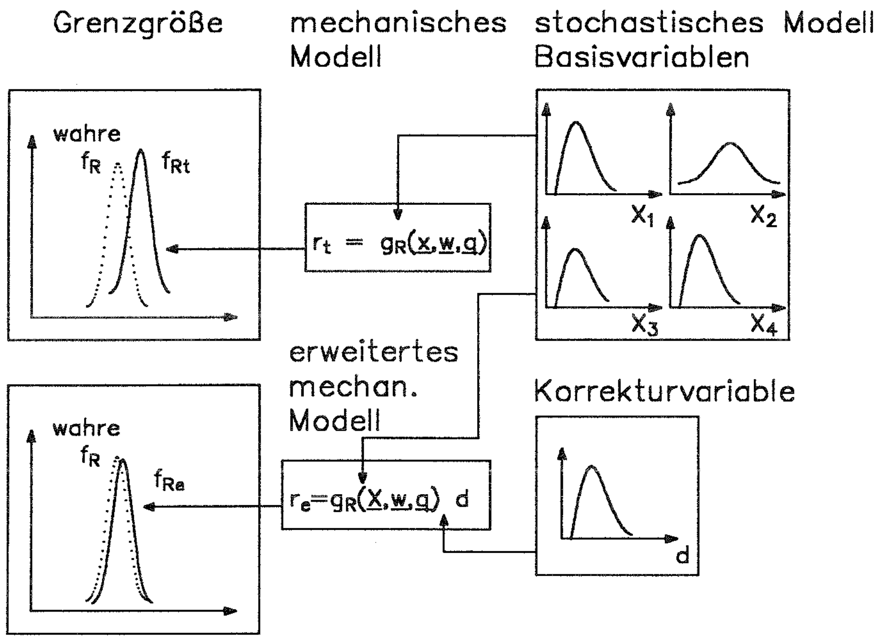

Bild 3.4 Zur Einführung der Korrekturvariablen

404

Mit der Vorinformation, d. h. dem unvollständigen mechanischen Modell und den Dichtefunktionen für einige Basisvariable, kann eine Dichtefunktion für die Grenzgröße berechnet werden. Diese wird sich mehr oder weniger von der wahren Dichtefunktion unterscheiden.

Der methodische Ansatz zur Berücksichtigung der Vorinformation ist nun folgender: Wir tun so, als ob alle Unzulänglichkeiten der Vorinformation durch eine einzige streuende Größe verursacht wäre, die wir Korrekturvariable nennen. Diese Korrekturvariable wird in der Regel als Faktor an das theoretische, mechanische Modell angefügt. Wir kommen so zum erweiterten mechanischen Modell (Bild 3.4). Die Korrekturvariable steht also für Unzulänglichkeiten in der deterministischen und der stochastischen Beschreibung,

- deterministisch für Abweichungen des theoretischen, mechanischen Modells vom wahren und

- stochastisch für fehlende Kenntnis der Dichtefunktion von Basisvariablen.

Grundlegend für das weitere Vorgehen ist die folgende Hypothese:

Die Dichtefunktion der Grenzgröße, die mit dem erweiterten mechanischen Modell, der Dichtefunktionen der expliziten Basisvariablen und der Dichtefunktion der Korrekturvariablen berechnet wird, unterscheidet sich nur in vernachlässigbarer Weise von der wahren Dichtefunktion der Grenzgröße.

Wenn das stimmt, und davon gehen wir aus, kann sich der Versuch auf die Bestimmung der Dichtefunktion der Korrekturvariablen beschränken - der Rest ist einfache Berechnung.

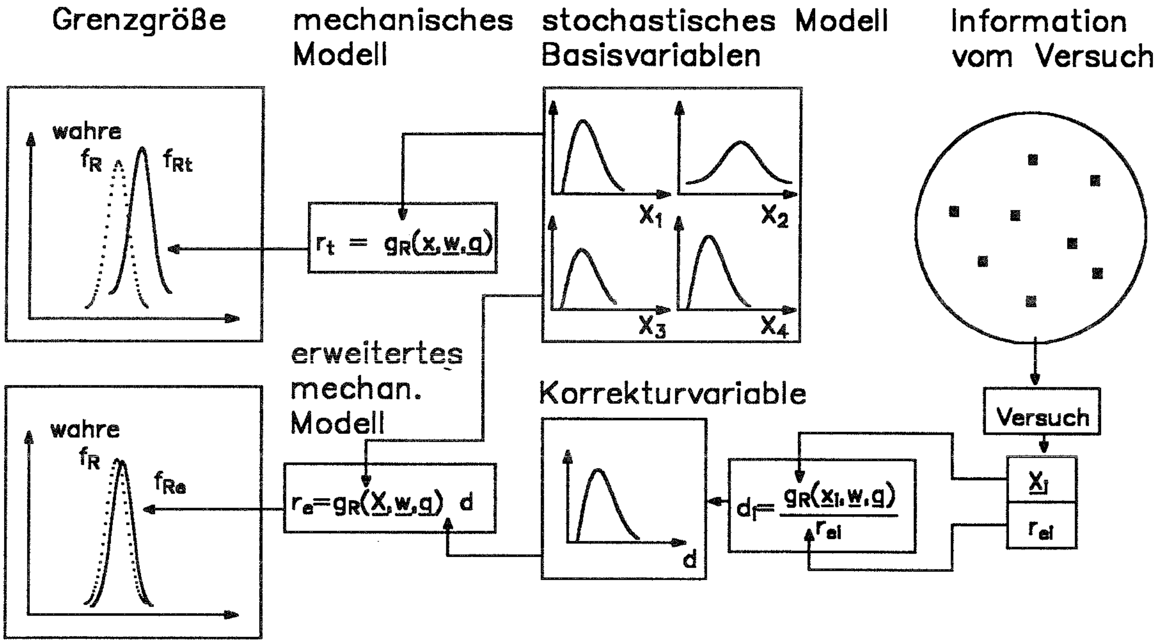

Bild 3.5 Ermittlung der Korrekturvariablen aus Versuchsergebnissen

405

Der praktische Ablauf ist wie folgt (Bild 3.5): Im Versuch werden bei jedem Versuchskörper die Werte der expliziten Basisvariablen und für die Grenzgröße bestimmt. Mit den Basisvariablen und den deterministischen Bauteilvariablen kann mittels des theoretischen, mechanischen Modells jedem Versuchskörper ein theoretischer Wert der Grenzgröße berechnet werden. Der diesem Versuchskörper zugeordnete Wert der Korrekturgröße ist der Quotient aus dem theoretischen und dem experimentell ermittelten Grenzwert. Aus den so ermittelten Werten der Stichprobe für die Korrekturvariable kann mit Methoden der Statistik die Dichtefunktion der Korrekturvariablen unter Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit geschätzt werden.

Nun können mit den Methoden der Wahrscheinlichkeitsthorie mittels mechanischem Modell und Dichtefunktionen der Basisvariablen die Dichtefunktion (Verteilungstyp und Verteilungsparameter) sowie Bemessungswert und charakteristischer Wert der Grenzgröße berechnet werden. Für praktische Fälle wird man sich jedoch mit Näherungslösungen begnügen. Übliche Annahmen dafür sind:

1. die Korrekturvariable ist logarithmisch normalverteilt
2. die theoretische Grenzgröße ist logarithmisch normalverteilt
3. die Basisvariablen sind logarithmisch normalverteilt
4. den Bemessungswert und den charakteristische Wert der Grenzgröße erhält man durch Einsetzen der entsprechenden Werte der Basisvariablen und der Korrekturvariablen in das erweiterte mechanische Modell

Zur Unterscheidung nennen wir die vorher dargestellte Form der Auswertung, die unmittelbare und diese die Auswertung mit Vorinformation.

Ergeben sich bei der Versuchsauswertung mit Vorinformation andere Anforderungen an die Stichprobe als bei der unmittelbare Versuchsauswertung? Ja(Bild 3.6). Da die Streuung der expliziten Basisvariablen durch ihre bekannten Dichtefunktionen und das mechanische Modell berücksichtigt werden, ist es nicht erforderlich, daß die Stichprobe in bezug auf diese expliziten Basisvariablen repräsentativ zur Menge der Bautele ist. Ein Beispiel: Wenn das Verhältnis von Zugfestigkeit zur Streckgrenze einen maßgeblichen Einfluß auf die Grenzgröße hat und dieses Verhältnis als explizite Basisvariable hingeführt wird, dann ist es nicht notwendig, daß dieses Verhältnis in der Stichprobe repräsentativ zur Menge der Bauteile vertreten ist.

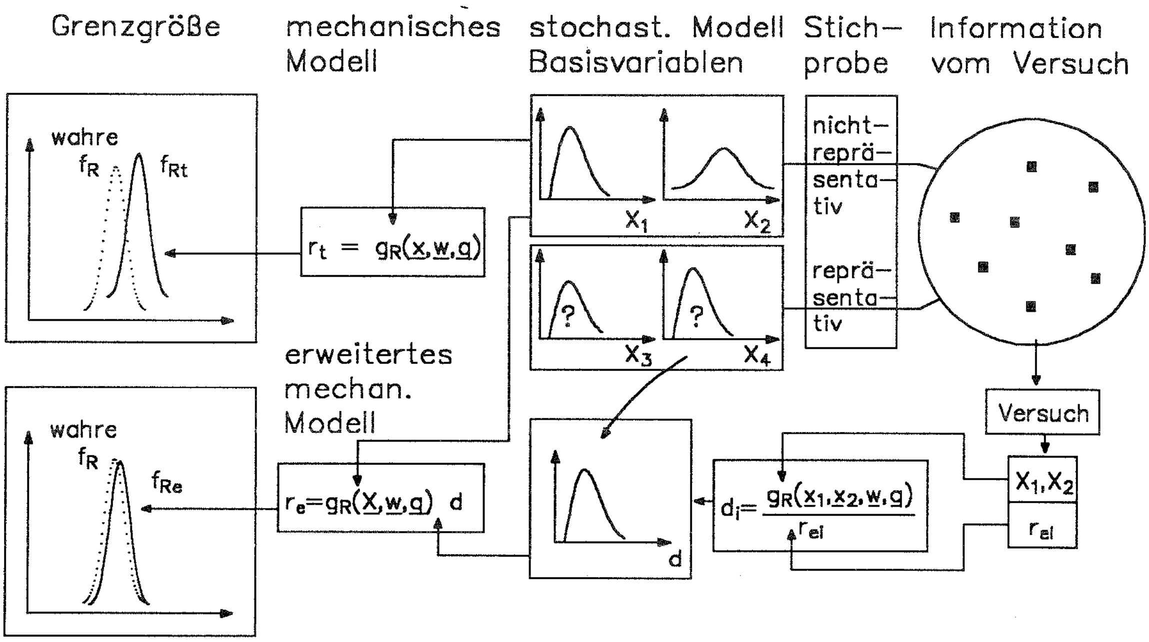

Bild 3.6 Anforderungen an die Stichprobe

406

Was sind nun die Vorteile der Versuchsauswertung mit Vorinformation im Vergleich zur unmittelbaren Versuchsauswertung? Der erste Vorteil ist offensichtlich:

> die Stichprobenentnahme gestaltet sich deutlich einfacher, wenn die Stichprobe nicht repräsentativ bezüglich einer oder mehrerer Basisvariablen sein muß.

Der zweite Vorteil ist nicht so offensichtlich, er bezieht sich auf die statistische Unsicherheit. Die wahre Streuung der Grenzgröße setzt sich, wie das erweiterte mechanische Modell zeigt, aus der Streuung des theoretischen Wertes und der Streuung der Korrekturvariablen zusammen. Da die Berücksichtigung der statistische Unsicherheit auf der "sicheren Seite" liegen muß, und deutlich liegt, wird die aufgrund der Versuchsergebnisse geschätzte Streuung der Dichtefunktionen deutlich größer sein als die wahre.

Im Falle der Versuchsauswertung mit Vorinformation wird nur die Streuung der Korrekturvariablen von diesem Sicherheitsabschlag betroffen, im Falle der unmittelbaren Versuchsauswertung jedoch die Streuung der Grenzgröße selbst, d. h. die Streuung des theoretischen Anteils und der Streuung der Korrekturvariablen.

Man kann sich diesen Sachverhalt am Beispiel des Bemessungswertes klarmachen, wenn angenommen wird, daß sowohl der theoretische Wert der Grenzgröße als auch die Korrekturvariable logarithmisch normal verteilt sind.

3.2 ZUSAMMENGESETZTE MENGEN VON BAUTEILEN

Wir haben bisher den Fall elementarer Mengen von Bauteilen betrachtet. In Fortsetzung des Eingangs verwendeten Beispiels könnten wir uns nun vorstellen, daß der Konstrukteur im Zuge einer Serienstatik Hallenrahmen zu bemessen hat, die sich bezüglich Stützweite und Höhe unterscheiden. Diese Hallenrahmen sind also auch für den Konstrukteur verschieden. Wenn sich die Unterschiede nur auf Eigenschaften beziehen, die durch Zahlen ausdrückbar sind, können für alle Hallen dieselben Zeichnungen verwendet werden, in welche für die verschiedenen Rahmen unterschiedliche Zahlenwerte eingesetzt werden. Man kann dann sagen, daß alle Hallen dasselbe Spezifikationsschema aber unterschiedliche Spezifikationsparameter haben. Solche Mengen von Bauteilen sollen nun betrachtet werden. Man kann sie sich offensichtlich aus Mengen gleicher Bauteile zusammengesetzt denken; wir nennen sie deshalb zusammengesetzte Mengen von Bauteilen (Bild 3.7).

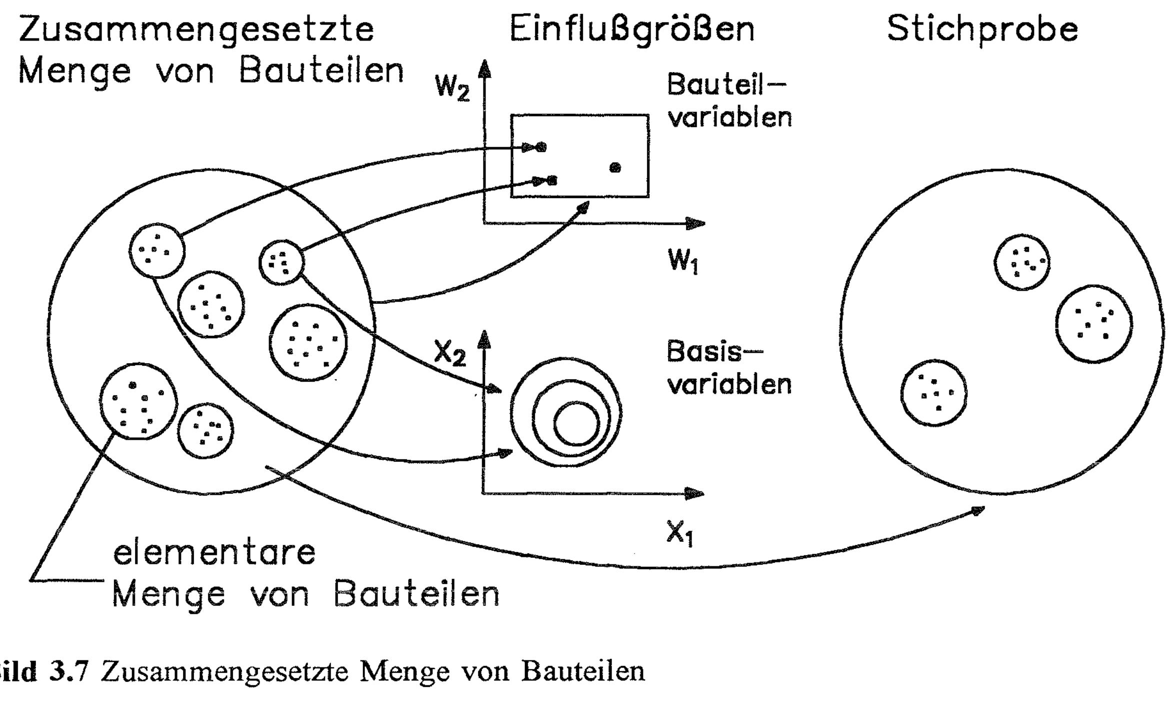

Bild 3.7 Zusammengesetzte Menge von Bauteilen

407

Eine zusammmengesetzte Menge von Bauteilen ist durch allen ihren Elementarmengen gemeinsames Spezifikationschema und den Geltungsbereich der nun unterschiedlichen

Spezifikationsparameter festgelegt.

Die Bauteilvariablen können innerhalb der zusammengesetzten Menge unterschiedliche Werte annehmen, ihr Wertebereich ist durch den Geltungsbereich der Spezifikationsparameter festgelegt. Auch die Basisvariablen unterscheiden sich nun nicht mehr nur zufällig voneinander, sondern auch systematisch.

Wenn möglich, wird man den systematischen Anteil durch Einführung bezogener Basisvariabler eleminieren. Wenn z. B. Die Grenznormalkraft im plastischen Zustand ursprünglich als Basisvariable gewählt war und die Querschnittsfläche systematisch variert wird, ist es zweckmäßig, die ursprüngliche Basisvariable auf den jeweiligen Nennwert der Grenznormalkraft im plastischen Zustand zu beziehen. In diesem Falle muß der Nennwert der Grenznormalkraft im plastischen Zustand als Bauteilvariable in das mechanische Modell aufgenommen werden. Die neue Basisvariable Grenznormalkraft im plastischen Zustand geteilt durch Nennwert der Grenznormalkraft im plastischen Zustand ist nun keine Funktion der Bauteilvariablen mehr.

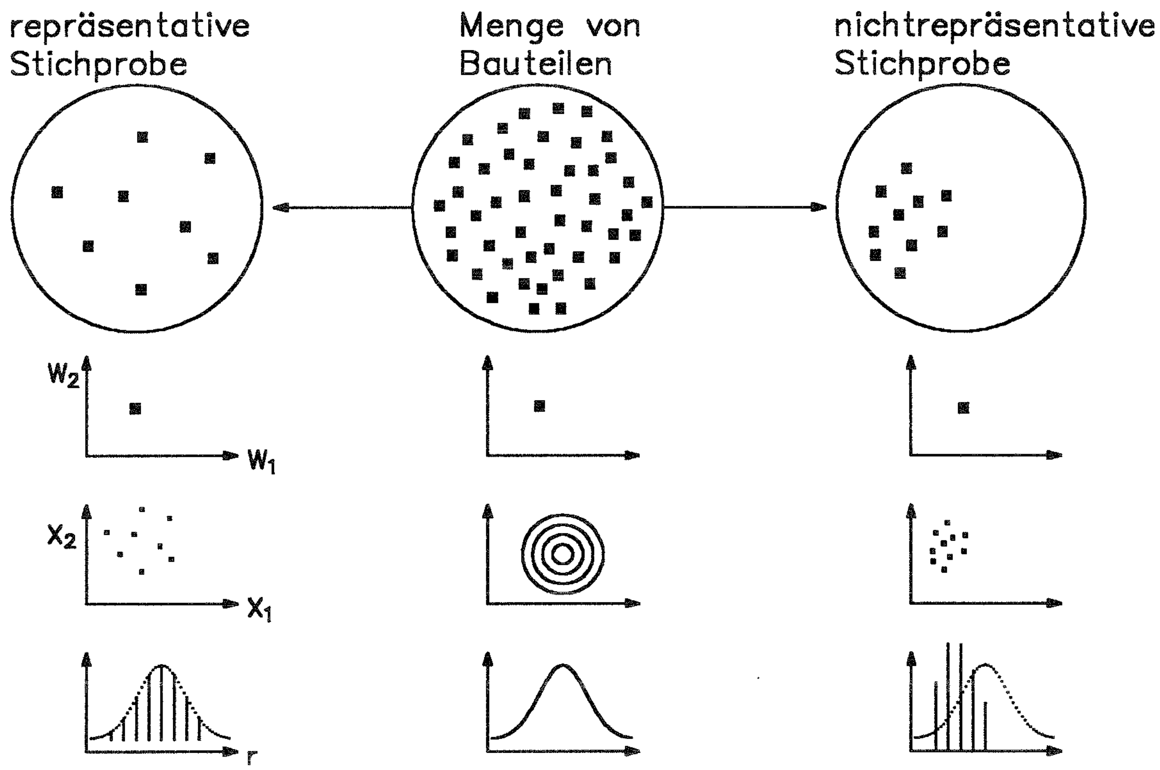

Bild 3.8 Repräsentative und nicht repräsentative Stichprobe

408

Welche zusätzlichen Forderungen sind für zusammengesetzte Mengen von Bauteilen an die grobe zu stellen? Der Wertebereich der Bauteilvariablen muß durch die Stichprobe abgedeckt sein. Entsprechend der Menge der Bauteile können wir auch von der aus elementaren Stichproben bestehenden zusammengesetzten Stichprobe sprechen. In bezug auf die Aufteilung der Versuchskörper auf die elementaren Stichproben können wir zwei Grenzfälle unterscheiden.

Im ersten Fall werden soviel elementare Stichproben wie Versuchskörper gewählt, d. h. jede elementare Stichprobe enthält genau einen Versuchskörper. hat einen anderen Wert für die Bauteilvariablen. Die Versuchskörper der Stichprobe sind mehr oder weniger gleichmäßig über den Bereich der Bauteilvariablen verteilt, weshalb wir von einer kontinuierlichen Stichprobe sprechen.

Im anderen Grenzfall, der diskreten Stichprobe, werden möglichst wenig elementare Stichproben gewählt, dafür hat jede elementare Stichprobe hinreichend viele Versuchskörper, um für sich augewertet werden zu können.

Im Falle zusammengesetzter Mengen von Bauteilen ist die Grenzgröße einer skalare Funktion der Bauteilvariablen (Bild 3.9). Auch im Falle variierter Beanspruchungsparameter ist die Grenzgröße eine skalare Funktion. Ein Beispiel dafür sind Interaktionsfunktionen von Grenzgrößen. Für die Versuchsauswertung und Versuchsplanung ist es vom Standpunkt der Statistik aus gesehen unerheblich, ob die Grenzgröße eine Funktion von Bauteilvariablen oder von Beanspruchungsparametern ist.

Betrachten wir zunächst den Fall der diskreten Stichprobe, bei der die Stichprobe auf natürliche Weise in Teilstichproben unterteilt ist.

Die Versuchsauswertung gestaltet sich dann besonders einfach, wenn die Dichtefunktion der Korrekturvariablen für alle Teilstichproben gleich ist. Da für praktische Fälle der Verteilungstyp der Dichtefunktion vorgegeben ist, kommt es für den Vergleich nur auf die Mittelwerte und Standardabweichungen an. Sind beide Verteilungsparameter für alle Teilstichproben gleich, dann kann die zusammengesetzte Stichprobe wie eine elementare Stichprobe behandelt werden. Für die statistische Unsicherheit ist die Anzahl aller Versuchskörper maßgebend.

Wenn jedoch der Vergleich der Teilstichproben zeigt, daß nicht nur die Grenzgröße, sondern auch die Korrekturvariable von den Bauteilvariablen abhängt, kann folgendes Vorgehen zweckmäßig sein. Jede Teilstichprobe wird zunächst getrennt als elementare Stichprobe ausgewertet. Im Regelfall sind dies charakteristische Werte oder Bemessungswerte der Korrekturvariablen. Im zweiten Schritt wird an diese Werte auf deterministische Weise und konservativ eine Funktion der Bauteilvariablen angepaßt. Für die statistische Unsicherheit ist hier allerdings nur die Anzahl der Versuchskörper der Teilmengen maßgebend.

Kontinuierlich Stichproben können in Teilstichproben mit hinreichend vielen Versuchskörpern zerlegt werden, wobei jedoch auch die Teilstichproben kontinuierlich sind. Damit können kontinuierliche Stichproben näherungsweise wie diskrete behandeln. Allerdings wird die so ermittelte Streuung der Korrekturvariablen je Teilmenge größer sein als die wahre Streuung um ihre Mittelwertsfunktion. Will man diesen Nachteil vermeiden, so kann man vorab eine Funktion des Mittelwertes der Korrekturvariablen von der Bauteilvariablen schätzen, z. B. mittels Regressionsanalyse.

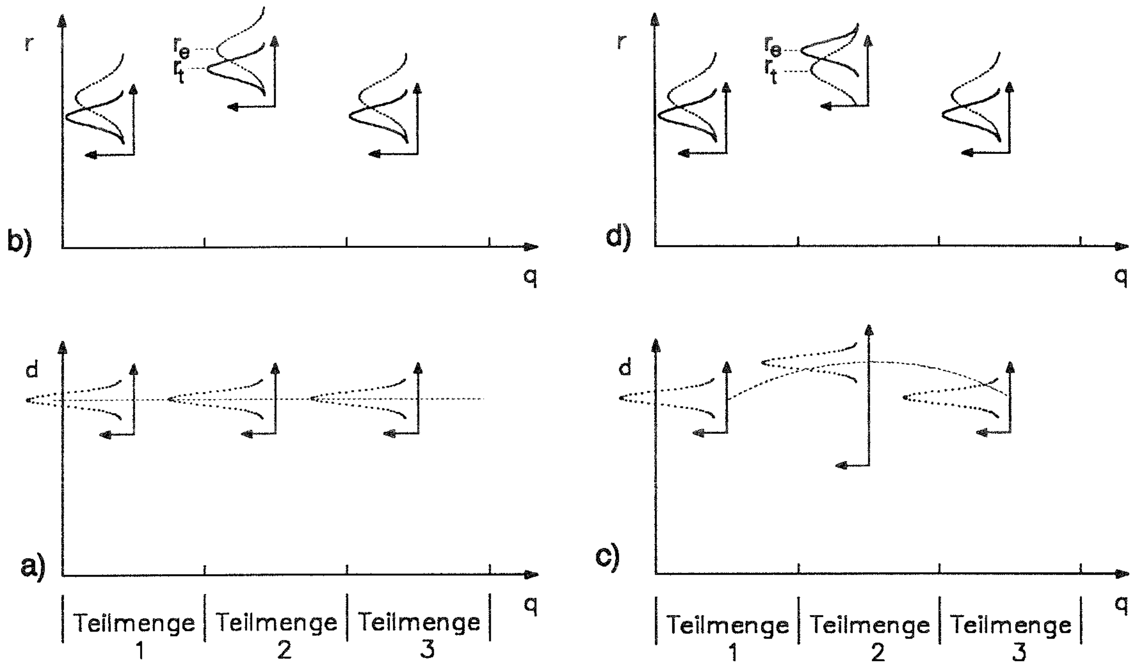

Bild 3.9 Grenzgröße als skalare Funktion, a) u. b) konstante, c) u. d) variable Korrekturgröße

409

Im nächsten Schritt ist zu prüfen, ob die Standardabweichung der Korrekturvariablen über die Teilmengen konstant oder unterschiedlich ist. Im ersten Fall kann wie bei diskreten Stichproben verfahren werden, die Behandlung des zweiten übersteigt den Rahmen dieser Musternorm.

Zur Vereinfachung darf in praktischen Fällen immer wie folgt vorgegangen werden:

1. Annahme gleichbleibender Dichtefunktion der Korrekturvariablen über den Geltungsbereich der Menge der Bauteile

2. Schätzung der Bemessungswerte bzw. charakteristischen Werte der Korrekturvariablen je Teilmenge unter Zugrundelegung der Anzahl der Versuche der jeweiligen Teilmenge zur Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit.

T 2503

Summary

Development of a model code "Testing for Use in Limit State Design" in cooperation with committees, working on this subject, especially JCSS, RILEM and ISO

IfBt Zeichen IV 1-5-624/90   Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Maier

Aim of this research project was a model code for planning and evaluation of tests as a base for design. This model code is intended to serve as a practical guidance for people involved in designing structures and it is based on the new design codes as e.g. DIN 18 800, Stahlbauten, Teile 1 bis 4 and the new european codes. The scope of this model code is restricted to the experimental assessment of design values for resistance quantities of structural members subjected to static or quasi static loading. This model code applies for planning of tests, evaluating of test results and execution of tests, as far as it is affected by planning or evaluation.

Working documents of committees working on this subject, especially JCSS and RILEM, are considered and provisional results of this research project where presented to JCSS and RILEM.

For the stochastic aspects of the topic the JCSS Working Document "Estimation of Structural Properties by Testing for Use in Limit State Design" (considered as a rather theoretical paper) is used by this model code as well as by RILEM. In accordance with RILEM TC 125 it was intended to transform the rules of the JCSS paper in a more operational form and to add rules dealing with the practical aspects of planning, evaluation and execution of tests (execution in a restricted way only).

In order to support understanding of the main ideas necessary for acceptance of the JCSS paper and its use as base a part "Grundlagen" was added to the model code.

T 2508

Repport du fin bref

Modèle d'une règle
"L'expérience à fondement du dimensionnement"
JCSS, RILEM , ISO

IfBt-signe IV 1-5-624/90 Prof. Dr.-Ing. W. Maier

Le but au project de recherche était une modèle d' une règle avec laquelle la base de la règle du dimensionnement nouveau, comme la règle allemande DIN 18800 part 1 á 4 et en particulier les règles européens, puisse mettre un moyen á la disposition pour la exploitation des essais comme fondement du dimensionnement. La validité de cette règle est limiter par la valeur du dimensionnement par sollicitation seulment statique. La règle soigne des phases projeter des essais et interprétation des essais. Pour l'exécution des essais il y'a des exigences.

Il était reprendu des résultats des comités divers (Working Party du JCCS et comité Design by Testing du RILEM). Quelques résultats de ce project de recherche pouvaient redonner a ces comités.

Le document "Estimation of Structural Properties by Testing for use in Limit State Design" du JCSS qui est regarder très théoriquement est dévenue le fondement des aspects stochastique du théme non seulment pour la norme modèle mais encore le travail du comité RILEM. Avec la norme modèle il doit attendre de transposer les résultats du JCSS en raison des aspects practique pour planification, exploitation et exécution des expériments. Dans la comité RILEM les versions de la norme modéle ont été une base pour une discussion avec succès.

Pour comprendre les idées essentielles et les formations du modèle, la norme modèle a été compléter d'une partie "fondement".