

Überarbeitung der Grundlagen zur
Festlegung von Sicherheitsanforderungen
für bauliche Anlagen

T 1816

T 1816

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

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

T 1816 Überarbeitung der Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen

Schlussbericht
zum Forschungsvorhaben

Überarbeitung der
"Grundlagen zur Festlegung
von Sicherheitsanforderungen
für bauliche Anlagen"

München
November 1986

Gliederung

TEIL I ALLGEMEINER BERICHT

1. Aufgabenstellung
2. Durchführung der Arbeiten
3. Berichte und Veröffentlichungen
4. Literaturhinweise (allgemeiner Bericht)

TEIL II EINZELBERICHTE

- | | |
|----------|---|
| Anlage 1 | Vorschlag für baustoffübergreifende Bemessungsregeln |
| Anlage 2 | Zum Problem der Definition von Baustofflosen |
| Anlage 3 | Statistische Fragen bei Baustoffprüfungen an bestehenden Bauwerken |
| Anlage 4 | Vorinformation bei der statistischen Beurteilung von Losen |
| Anlage 5 | Dokumentation zum Thema "Lotabweichung/Schiefstellung" |
| Anlage 6 | Auswertung von Versuchergebnissen bei Berücksichtigung von Rechenmodellen
- zur Beschreibung der Einflußgrößen - |
| Anlage 7 | Die Einführung von Bauwerksklassen anstelle von Sicherheitsklassen |
| Anlage 8 | Zur Robustheit von Tragwerken (A View on Robustness) |
| Anlage 9 | Imperfektionsansätze und Toleranzvorschriften |

TEIL I : ALLGEMEINER BERICHT

1. AUFGABENSTELLUNG

1981 wurden die "Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen" /1/ veröffentlicht. Dieses Dokument des NaBau Arbeitsausschusses "Sicherheit" ist in erster Linie an die Normengremien des Bauwesens gerichtet und kann als Wegbereiter für eine zuverlässigkeitstheoretisch begründete Normengeneration angesehen werden.

Die Stellungnahmen der Fachöffentlichkeit zu diesem Dokument waren durchaus positiv, wiesen jedoch darauf hin, daß

- * die Inhalte verständlicher dargestellt werden sollten
- * Ergänzungen erforderlich seien, um eine abgestimmte Umsetzung in die Normungsarbeit zu gewährleisten.

Im Rahmen dieses Vorhabens sollten Vorarbeiten für eine entsprechende Überarbeitung dieses Dokuments geleistet werden. Auch sollte Normengremien bei der Umsetzung dieser Konzepte fachliche Unterstützung geboten und eine Koordination mit internationalen Aktivitäten in diesem Bereich verfolgt werden.

2. DURCHFÜHRUNG DER ARBEITEN

Gleichzeitig mit diesem Vorhaben waren die Mitgliedstaaten der europäischen Gemeinschaft aufgerufen zu den Entwürfen für die Eurocodes 1,2 und 3 Stellung zu nehmen. Dabei entspricht der Eurocode 1 in etwa den o.g. "Grundlagen". Zusätzlich enthalten die Eurocodes 2 und 3 (und folgende) ein Kapitel, daß die zuverlässigkeitstheoretischen Grundlagen und Vereinbarungen der Anwendungs-Codes umreißt. Es lag nahe, die Arbeiten an der deutschen Stellungnahme zu diesen Inhalten mit den Vorarbeiten zur Überarbeitung des nationalen Dokumentes zu verbinden um somit auch der geforderten Koordination zwischen nationalen und internationalen Aktivitäten zu entsprechen.

Im Rahmen einer Arbeitsgruppe, deren Federführung beim Auftragnehmer lag, wurden einzelne Musterabschnitte vorbereitet und im Rahmen einer Koordinierungsgruppe der Fachbereiche "Beton- und Stahlbetonbau" und "Stahlbau" zur Abstimmung vorgelegt. Jene Abschnitte zu denen Einigung erzielt werden konnte, wurden zu einem (nahezu) vollständigem Dokument zusammengefaßt und als deutsche Stellungnahme Ende 1985 nach Brüssel geschickt. Nahezu vollständig bedeutet hier, daß die "Qualitätskontrolle" nicht enthalten ist, da die Festlegungen wie sie im Entwurf des Eurocode 1 enthalten sind, derzeit als ausreichend angesehen werden. Erläuternd sei hinzugefügt, daß dieser deutsche Vorschlag für bauartübergreifende Bemessungsregeln beinhaltete, daß die entsprechenden Festlegungen jeweils in den Anwendungs-Codes aufgenommen werden und somit ein Eurocode 1 in der jetzigen Form überflüssig wäre.

Diese "Bauartübergreifenden Bemessungsregeln" waren zunächst nur zwischen den Fachbereichen "Beton- und Stahlbeton" und "Stahlbau" abgestimmt und dem "Sicherheitsausschuß" des NaBau nur vorgestellt worden. Der 1986 gegründete Koordinierungsausschuß aller Fachbereiche des NaBau wurde gebeten zu diesen "Bauartübergreifenden Bemessungsregeln" stellungzunehmen. Obgleich noch nicht alle Stellungnahmen in offizieller Form vorliegen, wurde beschlossen diese Regeln - ggf. in verkürzter Form wie im Entwurf zu DIN 18 800 Teil 1 geschehen - bei der Neubearbeitung von Normen zu übernehmen.

Somit ergänzen die "Bauartübergreifenden Bemessungsregeln" die "Grundlagen" dergestalt, daß sie für den Anwender verständlicher sind und für die praktische Umsetzung weitgehendere Festlegungen enthalten. Eine Zusammenfassung in ein Dokument wurde von den verantwortlichen Stellen zur Zeit nicht für sinnvoll gehalten.

Der Vorschlag für "Bauartübergreifende Bemessungsregeln" bildete auch die Grundlage für eine Arbeitsgruppe zwischen dem Comité Euro-International du Beton und der Europäischen Konvention für Stahlbau. Die Arbeitsgruppe, deren Federführung auch beim Auftrags-

nehmer lag, erarbeitet eine Reihe von "notes for agreement" für die Überarbeitung der Model Codes der jeweiligen technischen Vereinigung.

Quasi parallel zu den vorgenannten Arbeiten waren die ersten Entwürfe für folgende Dokumente in Bearbeitung, wobei im Rahmen dieses Vorhabens ebenfalls Vorarbeiten geleistet wurden, die zum Teil noch in den ersten Entwürfen berücksichtigt werden konnten und im Übrigen für eine Überarbeitung zur Verfügung stehen:

"Grundlagen zur Festlegung von Anforderungen und von Prüfplänen für die Überwachung"/2/ und "Grundlagen zur Beurteilung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten im Prüfzeichen- und Zulassungsverfahren"/3/.

3. EINZELBERICHTE

Als Anlagen sind die folgenden Einzelberichte hier angefügt

- | | |
|----------|---|
| Anlage 1 | Vorschlag für baustoffübergreifende Bemessungsregeln |
| Anlage 2 | Zum Problem der Definition von Baustofflosen |
| Anlage 3 | Statistische Fragen bei Baustoffprüfungen an bestehenden Bauwerken |
| Anlage 4 | Vorinformation bei der statistischen Beurteilung von Losen |
| Anlage 5 | Dokumentation zum Thema "Lotabweichung/Schiefstellung" |
| Anlage 6 | Auswertung von Versuchergebnissen bei Berücksichtigung von Rechenmodellen
- zur Beschreibung der Einflußgrößen - |

- Anlage 7 Die Einführung von Bauwerksklassen anstelle von
Sicherheitsklassen
- Anlage 8 Zur Robustheit von Tragwerken (A View on Robustness)
- Anlage 9 Imperfektionsansätze und Toleranzvorschriften

Weitere Veröffentlichungen:

Quality Assurance - A Question of Professional Ethics, Management
or Common Sense? (gem.m.anderen) IABSE Symposium, Tokyo 1986
Einführungsbericht, Internationale Vereinigung für Brücken- und
Hochbau, Band 50, ETH Höggerberg, Zürich

Quality Assurance, IABSE symposium, Tokyo 1986, Einführungsvortrag,
Final Report (im Druck)

Zusammenhang zwischen Anforderungen und Prüfplänen. Kolloquium
"Statistische Grundlagen für die Überwachung von Baustoffen und
Bauteilen", NaBau im DIN

Experimentelle Bestimmung der Tragfähigkeit von Bauteilen - Grund-
ideen zur Auswertung (gem.m.anderen). Festschrift Professor Bodo
Heimeshoff zum 60. Geburtstag, Technische Universität München,
Lehrstuhl für Baukonstruktion und Holzbau.

4. LITERATURVERWEISE

(nur allgemeiner Bericht)

- /1/ Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen
für bauliche Anlagen. NaBau, Beuth Verlag Berlin Köln
1981
- /2/ Grundlagen zur Festlegung von Anforderungen und von Prüf-
plänen für die Überwachung von Baustoffen und Bauteilen
mit Hilfe statistischer Betrachtungsweisen. NaBau im DIN,
1. Entwurf 1985
- /3/ Grundlagen zur Beurteilung von Baustoffen, Bauteilen und
Bauarten im Prüfzeichen- und Zulassungsverfahren. Insti-
tut für Bautechnik, Berlin, Fassung Mai 1986

Teil II

Einzelberichte

Anlage 1

BAUARTÜBERGREIFENDE BEMESSUNGSREGELN

abgestimmt zwischen den Fachbereichen
"Beton- und Stahlbetonbau" und "Stahlbau"
des NaBau im DIN

Stand 1985

SYMBOLE

a_k	charakteristischer Wert einer geometrischen Größe (entspricht im allgemeinen dem Nennwert)
Δa	additives Sicherheitselement bei geometrischen Größen
G_k	charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen
Q_{k1}	charakteristischer Wert der (veränderlichen) Leiteinwirkung
Q_{ki}	charakteristischer Wert der (veränderlichen) Begleiteinwirkungen
F_A	Nennwert der außergewöhnlichen Einwirkung
γ_G, γ_Q	Teilsicherheitsbeiwerte für G und Q nach Abschnitt 3.3
ψ_0, ψ_1, ψ_2	Kombinationsbeiwerte nach Abschnitt 3.3
χ_k	charakteristischer Wert einer Materialeigenschaft
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für Materialeigenschaften
M_r	Rißmoment
M_y	Moment bei Plastifizierung des Querschnittes oder von Querschnittsteilen
θ_{pl}	plastische Rotation
ϕ, e	Verdrehung und Vorverformung beim Ansatz von Imperfektionen
α_1, α_n	Faktoren zur Abminderung der Größe der anzusetzenden Imperfektion
EJ_k	Biegesteifigkeit des aussteifenden Teiltragwerks
ε	Stabkennzahl

VORBEMERKUNGEN

Zusammenstellung der verwendeten Symbole	3
0. Geltungsbereich	5
1. Allgemeine Anforderungen	5
1.1 Grundsätze	5
1.2 Planungskonzept	6
2. Allgemeine Regeln für eine Bemessung nach Grenzzuständen	8
2.1 Grenzzustände	8
2.2 Bemessungssituationen und Bezugszeitraum	9
2.3 Mechanische Modelle	9
2.4 Nachweisformat	10
3. Einwirkungen	11
3.1 Allgemeine Hinweise	11
3.2 Kombinationsregeln	11
3.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und Kombinationsbeiwerte ψ	13
3.4 Vereinfachte Kombinationsregel für Tragwerke des Hochbaus	15
4. Materialeigenschaften	16
4.1 Charakteristischer Wert X_k einer Materialeigenschaft	16
4.2 Bemessungswert X_d und maßgebliche Größen der Beanspruchbarkeit	16
4.2.1 Bemessungswert X_d einer Materialeigenschaft	16
4.2.2 Bemessungswert R_d der Beanspruchbarkeit	17
4.2.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ_M	17
5 Geometrische Größen und Imperfektionen	18
5.1 Charakteristischer Wert a_k und Bemessungswert a_d einer geometrischen Größe	18
5.2 Imperfektionen	18
5.2.1 Allgemeine Regeln	18
5.2.2 Stahtragwerke/Rahmentragwerke	19
6. Ermittlung der Beanspruchung	22
6.1 Statische Systeme	22
6.2 Berücksichtigung von Formänderungen beim Nachweis der Tragfähigkeit ..	22
6.3 Kraftgrößen-Verformungsbeziehungen	24
6.4 Nachweisverfahren	25
7. Nachweis der Lagesicherheit	27
7.1 Allgemeines	27
7.2 Bemessungswert S_d der Beanspruchung	27
7.3 Bemessungswert R_d der Beanspruchbarkeit	28
8. Nachweise mittels Versuche	29

ANHÄNGE

1. Mitwirkende Plattenbreite (Gurtwirkungsgrad)
2. Nachweise mittels Versuche
3. Allgemeine Regeln zur Beschreibung von Einwirkungen
4. Allgemeine Regeln zur Beschreibung von Materialeigenschaften

0. Geltungsbereich

Anmerkung:

Folgende Ergänzungen werden zum jeweiligen Text des Abschnitts "Geltungsbereich" von EC2 bzw. EC3 vorgeschlagen, ohne den gesamten Text des entsprechenden Abschnitts an dieser Stelle zu wiederholen:

P001. Der vorliegende Eurocode enthält Anforderungen an die Tragfähigkeit und die Gebrauchsfähigkeit von Tragwerken in baulichen Anlagen. Weitere funktionelle Anforderungen an das gesamte Bauwerk (z. B. Bauphysik, technische Installationen) sind nicht Gegenstand dieses Code.

P002. Sofern bei vereinfachenden Regeln die Anwendung auf "übliche Hochbauten" beschränkt ist, gilt folgendes Kriterium:

Übliche Hochbauten sind Hochbauten, die für vorwiegend ruhende, gleichmäßig verteilte Verkehrslasten $q < 10 \text{ kN/m}^2$, gegebenenfalls auch für Einzellasten $Q < 20 \text{ kN}$ zu bemessen sind.

Ihre Gesamthöhe darf 25 m, die einzelnen Geschoßhöhen dürfen 5,0 m nicht überschreiten. Die maximale Stützweite von Balken oder Platten darf 15 m betragen.

1. Allgemeine Anforderungen

1.1 Grundsätze

P101. Tragwerke sind so zu planen, auszuführen und zu unterhalten, daß sie ihren vorgesehenen Zweck während der erwarteten Nutzungsdauer zuverlässig erfüllen. Dabei sind wirtschaftliche Gesichtspunkte angemessen zu berücksichtigen.

P102. Tragwerke müssen mit ausreichender Zuverlässigkeit während der Errichtung und der vorgesehenen Nutzungsdauer

- den mechanischen Einwirkungen widerstehen,
- gegenüber biologischen, chemischen, klimatischen u. ä. Einwirkungen beständig sein und
- vereinbarte Kriterien der Gebrauchsfähigkeit erfüllen.

P103. Zur Sicherstellung des Widerstands gegenüber mechanischen Einwirkungen müssen Tragwerke ausreichende räumliche Steifigkeit und Stabilität aufweisen. Insbesondere sind

- erhebliche unplanmäßige Verschiebungen der lastabtragenden Bauteile im Gebrauchszustand zu vermeiden und
- die Tragwerke so auszubilden, daß sie gegenüber unplanmäßigen Lasten widerstandsfähig sind.

Kommentar:

CP103. Widerstandsfähigkeit gegenüber unplanmäßigen Lasten wird häufig als "Robustheit" bezeichnet. Beispiel: Widerstandsfähigkeit von Rahmentragwerken gegenüber unplanmäßigen Horizontallasten.

P104. Tragwerke müssen bei Überschreiten der Tragfähigkeit ein Verhalten aufweisen, das mögliche Versagensfolgen angemessen begrenzt. Dies bedeutet, daß

- ein lokaler Schaden nicht zwangsläufig zum Einsturz weiterer Tragwerksteile oder zum weitgehenden Verlust der Gebrauchsfähigkeit führt und/oder
- ein Einsturz des Tragwerks sich rechtzeitig durch große, sichtbare Verformungen oder vergleichbare Arten der wahrnehmbaren Vorankündigung ankündigt.

Kommentar:

CP104. Der durch einen lokalen Schaden bedingte Einsturz weiterer Tragwerksteile wird auch als "progressiver Einsturz" bezeichnet. Die im zweiten Spiegelstrich genannten Eigenschaften werden häufig unter dem Begriff "Duktilität" zusammengefaßt.

P105. Kann die nach Abschnitt P104. geforderte wahrnehmbare Vorankündigung nicht sichergestellt werden, müssen die kritischen Tragwerksteile für Inspektionen während der Nutzung zugänglich sein, sofern nicht durch andere Maßnahmen das Risiko eines unangekündigten Versagens angemessen begrenzt wird. Bei Tragwerken mit nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung ist grundsätzlich die Zugänglichkeit kritischer Tragwerksteile für Inspektionen vorzusehen.

1.2 Planungskonzept

P106. Den Anforderungen an das Tragwerk nach Abschnitt 1.1 ist durch eine geeignete Tragwerksplanung, durch Einhaltung von Ausführungsregeln sowie durch Festlegen von Unterhaltungsmaßnahmen und angemessener Kontrollmaßnahmen bei Herstellung, Ausführung und Nutzung, Rechnung zu tragen.

Kommentar:

CP106. Der Begriff "Tragwerksplanung" in diesem Code umfaßt den Entwurf, die Bemessung und die bauliche Durchbildung.

P107. Zur Sicherstellung ausreichender Dauerhaftigkeit sind u.U. besondere Maßnahmen vorzusehen.

Kommentar:

CP107. Zu diesen besonderen Maßnahmen gehören beispielsweise

- die Wahl der Bauweise und der Baustoffe
- die Formgebung und konstruktive Durchbildung der Bauteile
- ein erhöhter Aufwand zur Sicherung der Ausführungsqualität
- Vorgabe eines Wartungsplanes
- Sicherung der Zugänglichkeit für Wartung und Kontrollen während der Nutzung.

Die vorgesehene Nutzungsdauer kann für Art und Umfang der Maßnahmen bestimmend sein.

P108. Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen nach Abschnitt 1.1 sind so festzulegen, daß Aufwand und Nutzen in einem angemessenen Verhältnis zueinander stehen.

Kommentar:

CP108. Zur Berücksichtigung dieses Verhältnisses sind z. B.

- die Relation von Kosten für einen Mehraufwand (z. B. beim Tragwerksentwurf, bei der Dimensionierung, der Konstruktion von Details, der Ausführungskontrolle) zum Gewinn an Tragwerkszuverlässigkeit und
- die möglichen Schadensfolgen

abzuschätzen.

P109. Die Anforderungen an das Tragwerk gemäß Abschnitt 1.1 sollen schon weitestgehend im Entwurfsstadium berücksichtigt werden. Besonders zu beachten sind:

- die vereinbarte Nutzung
- die Baugrundverhältnisse
- der Standort des Bauwerks hinsichtlich klimatischer Verhältnisse (Witterung, Frost, Wind) sowie möglicher aggressiver Einwirkungen
- die Herkunft, Auswahl und Kennwerte der zu verwendenden Baustoffe
- die Möglichkeiten der Bauausführung, der erreichbaren Toleranzen, der Qualitätskontrollen und der Bauwerksunterhaltung
- weitere für das Bauwerk spezifische Einflußgrößen und Einwirkungen (incl. Bauzustände)
- besondere Vorkehrungen im Hinblick auf außergewöhnliche Einwirkungen.

Kommentar:

CP109. Zu solchen außergewöhnlichen Einwirkungen gehören insbesondere Brand und Erdbeben. Für Entwurfskriterien im Hinblick auf Erdbebeneinwirkung, vgl. EC8 - Erdbeben.

P110. Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchsfähigkeit nach den folgenden Abschnitten sind erforderlich, wenn nicht von vornherein erkennbar ist, daß durch den Entwurf, die Einhaltung von Konstruktionsregeln und durch besondere Maßnahmen die Anforderungen nach Abschnitt 1.1 zuverlässig erfüllt werden. Der Nachweis ist auf der Grundlage geeigneter Berechnungsmodelle für das Tragverhalten oder - sofern geeignete Berechnungsmodelle nicht verfügbar sind - mit Hilfe von Versuchen zum Tragverhalten zu führen. Dabei ist den Unsicherheiten in den Modellen und bei den Einflußgrößen Rechnung zu tragen.

P111. Voraussetzung für die im folgenden beschriebenen Nachweise ist, daß die Qualität der Baustoffe und Bauteile und die Qualität der Bauausführung den Vorgaben der Kapitel ... entsprechen, daß deren Einhaltung durch Kontrollmaßnahmen nach Kapitel ... überprüft wird und daß Kontroll- und Unterhaltungsmaßnahmen während der Nutzung im für das jeweilige Bauwerk erforderlichen Umfang erfolgen.

2. Allgemeine Regeln für eine Bemessung nach Grenzzuständen

2.1 Grenzzustände

P201. Der Nachweis ausreichender Tragfähigkeit und Gebrauchsfähigkeit während der vorgesehenen Nutzungsdauer ist durch Bemessung nach festgelegten Grenzzuständen zu erbringen.

Kommentar:

CP201. Grenzzustände sind beispielsweise festgelegt für

- den Verlust der Lagesicherheit infolge Gleiten, Kippen, Abheben bei Betrachtung des Tragwerkes oder Tragwerksteiles als starren Körper
- den Verlust der Stabilität des Tragwerkes, von Bauteilen und in lokalen Bereichen
- lokale Bruchzustände (Erreichen der Materialfestigkeit)
- das Erreichen festgelegter Verformungen, Verschiebungen, Schwingungen des Tragwerkes oder von Tragwerksteilen
- den Verlust der Dichtigkeit bei Bauteilen mit raumabschließender Funktion.

Das Erreichen von Grenzzuständen kann begünstigt werden durch z. B. Überlastung, Ermüdung, Alterung, Korrosion.

A202. Bezüglich des Erfordernissen eines rechnerischen oder experimentellen Nachweises vgl. P110.

P203. Als Grenzzustände der Tragfähigkeit sind alle Zustände definiert, die

- den Einsturz des Tragwerkes auslösen können und/oder
- zu einer Gefährdung der öffentlichen Sicherheit oder zu großen volkswirtschaftlichen Verlusten führen können.

Kommentar:

CP203. Beispielsweise können auch Auflagerverschiebungen zum Einsturz des Tragwerkes führen.

Der Verlust der Dichtigkeit von Behältern mit umweltgefährdenden Medien kann zu einer Gefährdung von Leib und Leben führen.

P204. Als Grenzzustände der Tragfähigkeit sind auch Zustände definiert, die dem Einsturz des Tragwerkes vorausgehen und die anstelle von Zuständen, die den Einsturz auslösen, betrachtet werden.

P205. Im Rahmen dieses Eurocodes sind ... (durch bauartspezifische Grenzzustände zu ergänzen).

P206. Als Grenzzustände der Gebrauchsfähigkeit sind alle Zustände definiert, die vereinbarte Gebrauchskriterien verletzen (bauartspezifische Grenzzustände).

2.2 Bemessungssituationen und Bezugszeitraum

P207. Bei Nachweisen nach Grenzzuständen sind die verschiedenen zeitlichen Zustände bei den Einwirkungen, Baustoffeigenschaften sowie des Tragwerkes durch Betrachtung verschiedener Bemessungssituationen zu erfassen.

Kommentar:

CP207. Eine Bemessungssituation beschreibt das Tragwerk und die zugehörigen Einwirkungen zu einem bestimmten Zeitpunkt, stellvertretend für eine bestimmte Zeitdauer.

P208. Im Rahmen dieses Eurocodes wird zwischen folgenden Bemessungssituationen unterschieden:

- "normale Nutzungssituationen" unter normalen Nutzungsbedingungen
- "vorübergehende Situationen" bei Errichtung und Instandsetzung
- "außergewöhnliche Situationen", "Unfall-Situationen" aufgrund außergewöhnlicher Einwirkungen oder Ereignisse.

P209. Im allgemeinen ist der Bezugszeitraum zur Beschreibung der Größe veränderlicher Einwirkungen mit $T = 50$ Jahre festgelegt.

P210. Abweichend von P209. dürfen für vorübergehende und außergewöhnliche Situationen kürzere Bezugszeiträume betrachtet werden. Darüber hinaus darf für außergewöhnliche Situationen deren im allgemeinen geringe Eintrittswahrscheinlichkeit berücksichtigt werden.

2.3 Mechanische Modelle

P211. Der Nachweis nach Grenzzuständen ist, sofern nach Abschnitt P110. erforderlich, rechnerisch, erforderlichenfalls in Verbindung mit Versuchen, auf der Grundlage geeigneter mechanischer Modelle zu führen, die das Tragverhalten hinreichend zutreffend beschreiben.

Kommentar:

CP211. So soll z. B. das mechanische Modell in einem angemessenen Verhältnis zur Genauigkeit der Beschreibung der Einwirkungen und der Materialeigenschaften stehen.

Die Anforderungen an die Genauigkeit des mechanischen Modells können umso geringer sein, je größer die Streuungen der maßgebenden Einflußgrößen sind.

Desweiteren soll die Genauigkeit von Modellen in einem angemessenen Verhältnis zur Genauigkeit der Bauausführung stehen.

P212. Anstelle eines hinreichend zutreffenden mechanischen Modells dürfen auch mehrere Modelle verwendet werden, mit denen Grenzwerte für das Tragverhalten zuverlässig abgeschätzt werden können.

P213. Unsicherheiten in den Modellen sind durch entsprechende Sicherheitselemente nach den Abschnitten 3, 4 und 5 zu berücksichtigen.

2.4 Nachweisformat

P214. Der Nachweis nach Grenzzuständen ist mit den Bemessungswerten der Einflußgrößen nach den Abschnitten 3, 4 und 5 zu führen. Im allgemeinen werden dabei die Bemessungswerte der Beanspruchung S_d den entsprechenden Bemessungswerten der Beanspruchbarkeit R_d in folgender symbolischer Form gegenübergestellt

$$S_d < R_d \quad (2.1)$$

P215. Sofern in den bauartspezifischen Anwendungsregeln keine anderen Festlegungen getroffen werden, ist der Bemessungswert einer Einflußgröße aus ihrem charakteristischen Wert und dem zugehörigen Teilsicherheitsbeiwert γ oder Sicherheitselement Δ zu bestimmen.

A216. In den Anwendungsregeln dieses Codes sind die Angaben zur Beschreibung mechanischer Modelle in Verbindung mit den zugehörigen Bemessungswerten der Einflußgrößen so festgelegt, daß Modellunsicherheiten nicht gesondert berücksichtigt werden müssen. Bei Verwendung von Modellen, die nicht oder nur teilweise durch diesen Code abgedeckt sind, ist die Auswirkung von Modellunsicherheiten zu überprüfen.

Kommentar:

CA216. Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_f für Einwirkungen und γ_M für Materialeigenschaften nach den Abschnitten 3 und 4 sind so festgelegt, daß sie Modellunsicherheiten abdecken, die jeweils im Mittel der Bestimmung der Beanspruchung und der Beanspruchbarkeit zugeordnet werden können (vgl. auch Abschnitt 6.4 dieser Stellungnahme).

3. Einwirkungen

3.1 Allgemeine Hinweise

P301. Regeln zur Beschreibung von Einwirkungen sind den einschlägigen Lastnormen zu entnehmen.

P302. Sofern anerkannte europäische oder andere internationale Lastnormen nicht zur Verfügung stehen, muß auf die jeweils geltenden nationalen Lastnormen Bezug genommen werden.

3.2 Kombinationsregeln

P303. Sind bei der Ermittlung der Beanspruchung mehrere - tatsächlich oder näherungsweise voneinander unabhängige - veränderliche Einwirkungen anzusetzen, darf die verminderte Wahrscheinlichkeit, daß alle veränderlichen Einwirkungen gleichzeitig die charakteristischen Werte erreichen, berücksichtigt werden.

P304. Je nach Grenzzustand und maßgebendem Beanspruchungsniveau sind den Nachweisen nachfolgende Kombinationsregeln, die in symbolischer Schreibweise dargestellt sind, zugrunde zu legen. Angaben bezüglich Zwangseinwirkungen oder bauart-spezifische Einwirkungen enthalten die bauartbezogenen Regeln.

Kommentar:

CP304. Bei den nachfolgenden Kombinationsregeln wird angenommen, daß die veränderlichen Einwirkungen Q_i voneinander unabhängig sind. Ist für bestimmte Einwirkungen diese Voraussetzung auch nicht näherungsweise erfüllt, sind die betreffenden Einwirkungen als eine Einwirkung zu behandeln.

In den Kombinationsregeln für Grenzzustände der Gebrauchsfähigkeit ist $\gamma_G = \gamma_Q = 1,0$ gesetzt, vgl. jedoch A309.

Bei den veränderlichen Einwirkungen werden nur die ungünstig wirkenden Einwirkungen kombiniert (vgl. Tabelle 3.1, Spalte 2: $\gamma_Q = 0$).

Für Besonderheiten beim Nachweis der Lagesicherheit vgl. Abschnitt 7.

a) Für Grenzzustände der Tragfähigkeit **)

a1. Grundkombination

$$\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k1} + \sum_{i>1} \gamma_Q \psi_{0i} Q_{ki} \quad (3.1a)$$

Kommentar:

C(3.1a). Maßgebend ist der Extremwert der "Summe" der veränderlichen Einwirkungen.

***) der maßgebende Bemessungswert für Vorspannung und Zwang ist bauartspezifisch einzuführen.

a2. außergewöhnliche Kombination *)

$$G_k + F_A + \psi_{11} \sigma_{k1} + \sum_{i>1} \psi_{2i} \sigma_{ki} \quad (3.1b)$$

Kommentar:

C(3.1b). Maßgebend ist das Beanspruchungsniveau aus den veränderlichen Einwirkungen, für das eine Überschreitung während p% der Lebensdauer akzeptiert wird.

Die Gültigkeit der Werte ψ_1 und ψ_2 in Tabelle 3.2 für außergewöhnliche Kombinationen bedarf noch der Überprüfung.

b) Für Grenzzustände der Gebrauchsfähigkeit **)

b1. seltene Kombination

$$G_k + \sigma_{k1} + \sum_{i>1} \psi_{0i} \sigma_{ki} \quad (3.1c)$$

Kommentar:

C(3.1c). Maßgebend ist der Extremwert der "Summe" der veränderlichen Einwirkungen (vgl. Grundkombination für $\gamma_F = 1,0$).

b2. häufige Kombination

$$G_k + \psi_{11} \sigma_{k1} + \sum_{i>1} \psi_{2i} \sigma_{ki} \quad (3.1d)$$

Kommentar:

C(3.1d). Maßgebend ist das Beanspruchungsniveau aus den veränderlichen Einwirkungen, für das eine Überschreitung während p% der Lebensdauer (vgl. außergewöhnliche Kombination für $F_A = 0$) oder mit begrenzter Häufigkeit akzeptiert wird.

b3. quasi-ständige Kombination

$$G_k + \sum_{i>1} \psi_{2i} \sigma_{ki} \quad (3.1e)$$

Kommentar:

C(3.1e). Maßgebend ist das Beanspruchungsniveau (aus den veränderlichen Einwirkungen), das quasi-ständig vorhanden ist.

P305. Sofern nicht für besondere Anwendungen andere Regelungen getroffen werden, genügt es, in der außergewöhnlichen Kombination nur jeweils eine außergewöhnliche Einwirkung F_A zu berücksichtigen bzw. eine außergewöhnliche Situation zu betrachten.

*) die nationalen Beratungen diese Kombinationsregel betreffend sind noch nicht abgeschlossen

***) der maßgebende Bemessungswert für Vorspannung und Zwang ist bauartspezifisch einzuführen.

P306. Eine Vergrößerung (oder Abminderung) der nach diesen Kombinationsregeln bestimmten Beanspruchung kann z. B. in folgenden Fällen erforderlich (oder erlaubt) sein:

- im Bereich von Momenten-Nullpunkten
- bei ausgeprägt unterproportionaler oder überproportionaler Beziehung zwischen Einwirkungen und Beanspruchung
- bei Beanspruchungen, die sich bereichsweise günstig auf das Erreichen des Grenzzustandes auswirken.

3.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und Kombinationsbeiwerte ψ

P307. Sofern nicht für besondere Anwendungen andere Regelungen getroffen werden, sind für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F nach Tabelle 3.1 anzunehmen.

Tabelle 3.1 Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für Grenzzustände der Tragfähigkeit

	Teilsicherheitsbeiwerte γ_F bei	
	ungünstiger Wirkung	günstiger Wirkung
ständige Einwirkung: γ_G	1,35	1,0 *)
Vorspannung: γ_P	**)	**)
veränderliche Einwirkung: γ_Q	1,50	0,0

*) die nationalen Beratungen diesen Wert betreffend sind noch nicht abgeschlossen.
 **) Zahlenwerte für γ_P müssen bauartbezogen festgelegt werden.

Kommentar:

CP307. Bei günstig und ungünstig wirkenden Anteilen einer ständigen Einwirkung kann im allgemeinen auf deren Zerlegung in günstig und ungünstig wirkende Anteile verzichtet werden - für den Nachweis der Lagesicherheit siehe jedoch Abschnitt 7.

Es wird darauf hingewiesen, daß für Anwendungen außerhalb des Hochbaus häufig andere Teilsicherheitsbeiwerte γ_G für günstig wirkende ständige Einwirkungen anzusetzen sind.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für den Grenzzustand der Tragfähigkeit enthalten einen Beiwert $\gamma_{sd} = 1,05$ (ständige Einwirkung)...1,10 (veränderliche Einwirkung).

Für den grundsätzlichen Zusammenhang zwischen der Festlegung charakteristischer Werte und entsprechender Teilsicherheitsbeiwerte sei auf ISO/DIS 2394 verwiesen. Die hier festgelegten Sicherheitsbeiwerte müssen bei Vorliegen einer europäischen Lastnorm überprüft werden.

P308. Für veränderliche Einwirkungen, deren Größe zuverlässig kontrolliert werden kann, dürfen im allgemeinen kleinere Teilsicherheitsbeiwerte als in Tabelle 3.1 (für ungünstige Wirkung) angegeben, verwendet werden. Sofern Teilsicherheitsbeiwerte γ_M nach Tabelle 4.1 verwendet werden, ist im allgemeinen $\gamma_F > 1,35$ einzuhalten. In Ausnahmefällen (z. B. Wasserbehälter, Eisenbahnlasten) dürfen auch geringere Werte angesetzt werden, wenn dem vergrößerten Streuungseinfluß der Beanspruchbarkeit noch hinreichend Rechnung getragen wird.

A309. In den Kombinationsregeln für Grenzzustände der Gebrauchsfähigkeit nach Abschnitt 3.2 ist $\gamma_G = \gamma_Q = 1,0$ gesetzt. Für Grenzzustände, deren Überschreitung eine erhebliche Beeinträchtigung der Gebrauchsfähigkeit zur Folge haben kann, ist $\gamma_G = 1,1$ (ungünstige Wirkung) bzw. $\gamma_G = 0,9$ (günstige Wirkung) anzusetzen - sofern in den Anwendungsregeln nicht durch andere Vorkehrungen die erforderliche Zuverlässigkeit erreicht wird. *)

P310. Sofern die einschlägigen Lastnormen keine anderen Angaben enthalten, sind für Tragwerke des Hochbaus die Kombinationsbeiwerte nach Tabelle 3.2 anzunehmen.

Tabelle 3.2 Kombinationswerte für veränderliche Einwirkungen auf Tragwerke des Hochbaus

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten			
- Wohnhäuser	0,5 ... 0,7 *)	0,4	<u>0,4</u>
- Bürogebäude und Warenhäuser	0,7	0,6	<u>0,4</u>
- Parkhäuser	0,8	<u>0,9</u>	<u>0,7</u>
Wind	0,7	<u>0,6</u>	0,0 **)
Schnee	0,7	<u>0,6</u>	<u>0,1</u> **)
*) abhängig von der Anzahl der Geschosse **) Werte sind je nach geographischer Lage des Bauwerks anzupassen			

Kommentar:

CP310. In dieser Tabelle sind nur die gegenüber Tabelle 3 des Vorworts der Eurocode-Entwürfe erforderlichen Erhöhungen der ψ -Beiwerte vermerkt, nicht die möglichen Abminderungen. Im Rahmen einer europäischen Lastnorm sind die Kombinationsbeiwerte und weitere, hieraus abgeleitete vereinfachte Kombinationsregeln, ohnehin neu festzulegen. Dies gilt insbesondere auch für entsprechende Festlegungen zur Definition der Unfallkombination.

*) entsprechende Regelungen für Vorspannung und Zwang sind bauartspezifisch einzuführen

A311. Für veränderliche Einwirkungen auf Tragwerke des Hochbaus, für die keine Angaben zu den Kombinationsbeiwerten vorliegen, ist $\psi_0 = 0,8$ zu setzen, oder aber die vereinfachte Kombinationsregel nach Abschnitt 3.4 (dieser Stellungnahme) kann angewendet werden. Für die anderen Kombinationsbeiwerte gilt entsprechend $\psi_1 = 0,9$ und $\psi_2 = 0,7$.

3.4 Vereinfachte Kombinationsregel für Tragwerke des Hochbaus

P312. Die Grundkombination (3.1a) darf bei ungünstig wirkender, ständiger Einwirkung wie folgt vereinfacht werden:

$$1.35 G_k + 1.35 \sum_1^n Q_{ki} \quad *) \quad (3.2a)$$

Ergänzend ist zu prüfen, ob die Kombination

$$1.35 G_k + 1.5 Q_{k1} \quad *) \quad (3.2b)$$

zu ungünstigeren Beanspruchungen führt. Wirkt die ständige Einwirkung günstig, ist ihr Bemessungswert mit $1,0 G_k$ in Gleichung (3.2) einzusetzen.

P312. Mehr als drei voneinander unabhängige, veränderliche Einwirkungen brauchen nicht nach der Regel (3.2a) kombiniert zu werden.

*) der maßgebende Bemessungswert für Vorspannung und Zwang ist bauartspezifisch einzuführen.

4. Materialeigenschaften/Baustoffeigenschaften

4.1 Charakteristischer Wert X_k einer Materialeigenschaft

P401. Materialeigenschaften werden im folgenden anhand charakteristischer Werte X_k dargestellt, die im allgemeinen einem bestimmten Fraktilwert in der statistischen Verteilung der Eigenschaft

- unter festgelegten Prüfbedingungen und
- im jeweils angegebenen Geltungsbereich entsprechen.

4.2 Bemessungswert X_d und maßgebliche Größen der Beanspruchbarkeit

4.2.1 Bemessungswert X_d einer Materialeigenschaft

P402. Der Bemessungswert X_d einer Materialeigenschaft für die Ermittlung der Beanspruchbarkeit ist im allgemeinen wie folgt festgelegt:

$$X_d = X_k / \gamma_M \quad (4.1)$$

mit

X_k charakteristischer Wert der Materialeigenschaft
 γ_M Teilsicherheitsbeiwert für die Materialeigenschaft

Kommentar:

CP402. Für die Ermittlung der Beanspruchbarkeit setzt sich der Teilsicherheitsbeiwert γ_M aus folgenden zwei Anteilen zusammen:

$$\gamma_M = \gamma_m \cdot \gamma_{Rd}$$

γ_m bezieht sich ausschließlich auf die jeweilige Materialeigenschaft.

Zusammen mit dem charakteristischen Wert X_k berücksichtigt γ_m folgende Unsicherheiten:

- räumliche und ggf. zeitliche Veränderlichkeit der Materialeigenschaft
- Unsicherheiten bei der vereinfachten Beschreibung der Materialeigenschaft im Tragwerk
- Unsicherheiten bei der Beziehung zwischen der Materialeigenschaft unter Prüfbedingungen und der Eigenschaft im Tragwerk.

γ_{Rd} berücksichtigt diejenigen Modellunsicherheiten, die im Mittel der Ermittlung der Beanspruchbarkeit zugeordnet werden können. Zusammen mit γ_{Sd} berücksichtigt γ_{Rd} folgende Unsicherheiten:

- Unsicherheiten des mechanischen Modells (zur Ermittlung der Beanspruchung und Beanspruchbarkeit)
- Unsicherheiten des stochastischen Modells bei der Verknüpfung der Einflußgrößen (z. B. Vernachlässigung stochastischer Abhängigkeiten)
- Streuungen von geometrischen Größen innerhalb vorgegebener Toleranzen (außer Abweichungen von planmäßigen Tragwerksachsen nach Abschnitt 5) sowie anderer deterministisch angenommener Größen.

Mit γ_{Rd} können auch Modellunsicherheiten erfaßt werden, die dann entstehen, wenn mechanische Modelle über den bisherigen Erfahrungsbereich angewendet werden müssen (vgl. Anhang 2).

Sicherheitsbeiwerte sind unterschiedlich, je nachdem, ob sich eine Materialeigenschaft günstig oder ungünstig auf die Beanspruchbarkeit auswirkt.

Für die Bestimmung von Steifigkeiten bei der Ermittlung der Beanspruchung setzt sich der Teilsicherheitsbeiwert γ_M der Materialeigenschaften aus den Anteilen γ_m und γ_{Sd} zusammen, wobei im allgemeinen kleinere Werte für γ_m genügen.

4.2.2 Bemessungswert R_d der Beanspruchbarkeit

P403. Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit R_d ist im allgemeinen als Funktion der Bemessungswerte der Materialeigenschaften X_d nach Gleichung (4.1), der geometrischen Größen und ggf. weiterer Einflußgrößen festzulegen.

4.2.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ_M

P404. Sofern nicht für besondere Anwendungen andere Regelungen getroffen werden, sind die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M nach Tabelle 4.1 anzunehmen. Die Beiwerte gelten nur in Verbindung mit den Herstellungs- (und Ausführungs-)Kontrollen nach Abschnitt ...

Tabelle 4.1 Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Festigkeiten beim Nachweis der Tragfähigkeit (Grundkombination) - bei günstiger Wirkung - unter Voraussetzung üblicher Kontrollen

Beton γ_c	Betonstahl/Spannstahl γ_s	Raustahl γ_s
1.5	1.2	1.1

Kommentar:

CP404. Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_s gelten bei Bezug auf jene Stahlfestigkeit, die für die Traglast maßgebend ist. Die angegebenen Zahlenwerte gelten in Verbindung mit der in Abschnitt ... definierten Streckgrenze und den derzeit gültigen nationalen Materialnormen. Sie müssen bei Vorliegen etwaiger europäischer Materialnormen überprüft werden.

Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M enthalten einen Beiwert $\gamma_{Rd} = 1,05$ (Stahl) ...1,15 (Beton).

P405. Beim Nachweis der Tragfähigkeit für außergewöhnliche Kombinationen nach Gleichung (3.1b) ist im allgemeinen $\gamma_M = 1,0$ anzunehmen.

5. Geometrische Größen und Imperfektionen

5.1 Charakteristischer Wert a_k und Bemessungswert a_d einer geometrischen Größe

P501. Der Bemessungswert a_d geometrischer Größen ist im allgemeinen wie folgt festzulegen:

$$a_d = a_k \pm \Delta a \quad (5.1)$$

mit

a_k charakteristischer Wert der geometrischen Größe, der im allgemeinen dem Nennwert entspricht
 Δa additives Sicherheitselement

Kommentar:

CP501. Additive Sicherheitselemente ($\Delta a \neq 0$) sind dann vorgeschrieben, wenn der ungünstige Einfluß von Abweichungen bei den geometrischen Größen auf die Beanspruchung oder Beanspruchbarkeit nicht durch die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und/oder γ_M abgedeckt ist.

P502. In der Regel sind additive Sicherheitselemente ($\Delta a \neq 0$) nur erforderlich

- für geometrische Größen, deren Toleranzen nicht zuverlässig kontrolliert werden können
- zur Abdeckung von Abweichungen von planmäßigen Systemachsen und -flächen (vgl. Abschnitt 5.2).
- gegebenenfalls bauartspezifische Ergänzungen

5.2 Imperfektionen

5.2.1 Allgemeine Regeln

P503. Mit Bezug auf P502. sind mögliche Abweichungen von planmäßigen Systemachsen beim Nachweis der Tragfähigkeit und der Lagesicherheit durch Ansatz sich ungünstig auswirkender Imperfektionen zu erfassen.

Kommentar:

CP503. Im allgemeinen brauchen Imperfektionen beim Nachweis der Gebrauchsfähigkeit nicht berücksichtigt zu werden.

P504. Die Auswirkung struktureller Imperfektionen und gegebenenfalls vereinfachender Modellannahmen darf durch eine entsprechende Vergrößerung der geometrischen Imperfektionen - "geometrische Ersatzimperfektionen" - berücksichtigt werden.

Kommentar:

CP504. Bei den Imperfektionen ist zu unterscheiden zwischen

- a) den im allgemeinen beobachtbaren Abweichungen von Systemachsen und -flächen aufgrund der für die Bauausführung notwendigen Toleranzen - "geometrische Imperfektionen" -

b) der Auswirkung "struktureller Imperfektionen" (z. B. Eigenspannungen, Materialinhomogenitäten, Unplanmäßigkeiten in der Querschnittsgeometrie) und von vereinfachenden Annahmen des mechanischen Modells - soweit nicht anderweitig berücksichtigt.

Abweichungen von Achsen aufgrund von Einwirkungen (z. B. Schiefstellung aufgrund unterschiedlicher Setzungen, Krümmungen aufgrund von Temperatureinwirkung) gelten jedoch nicht als Imperfektionen.

P505. Bei stabilitätsgefährdeten Tragsystemen sind Imperfektionen als Vorverformung näherungsweise affin zur maßgebenden Ausweichfigur anzusetzen.

Kommentar:

CP505. So genügt z. B. bei Tragsystemen mit verschieblichen Knotenpunkten eine Vorverformung, die affin zur Sehne der maßgebenden Ausweichfigur verläuft.

5.2.2 Stabtragwerke/Rahmentragwerke

A506. Sofern in den Anwendungsregeln dieses Codes nicht anders bestimmt, dürfen Imperfektionen vereinfachend wie folgt berücksichtigt werden:

a) durch eine Schiefstellung des Gesamttragwerks und/oder von Teiltragwerken um einen Winkel ϕ (in o/oo) gemäß

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_n \quad (5.2)$$

mit
 ϕ_0 Grundwert der Schiefstellung bezogen auf einen Einzelstab (bei einer Bezugslänge von $l_0 = 5,0$ m) nach Tabelle 5.1
 $\alpha_1 = \sqrt{5,0/l} < 1,0$, wobei l die maßgebende Systemlänge des betrachteten (Teil-)Tragwerks ist (für Beispiele vgl. Bild 5.1)
 α_n nach Abschnitt A510

b) und durch eine Vorkrümmung des einzelnen druckbeanspruchten Bauteils zwischen den festgehaltenen Knotenpunkten (Stabenden) mit einem Stich e nach Tabelle 5.1.

Tabelle 5.1 Grundwert der Schiefstellung ϕ_0 (Bezugslänge $l = 5,0$ m) und Stich e der Vorkrümmung von Einzelstäben

Zeile	Art der Imperfektion	ϕ_0 (Beton)	ϕ_0 (Stahl)	e (Beton)	e (Stahl)
1	geometrische Imperfektion	1/225 *)	1/300 *)	1/450 *)	1/1000 *)
2	geometrische Ersatzimperfektion	1/150 *)	1/200 *)	1/300 *)	1/250 *)
*) Die nationalen Beratungen zu diesen Werten sind noch nicht abgeschlossen.					

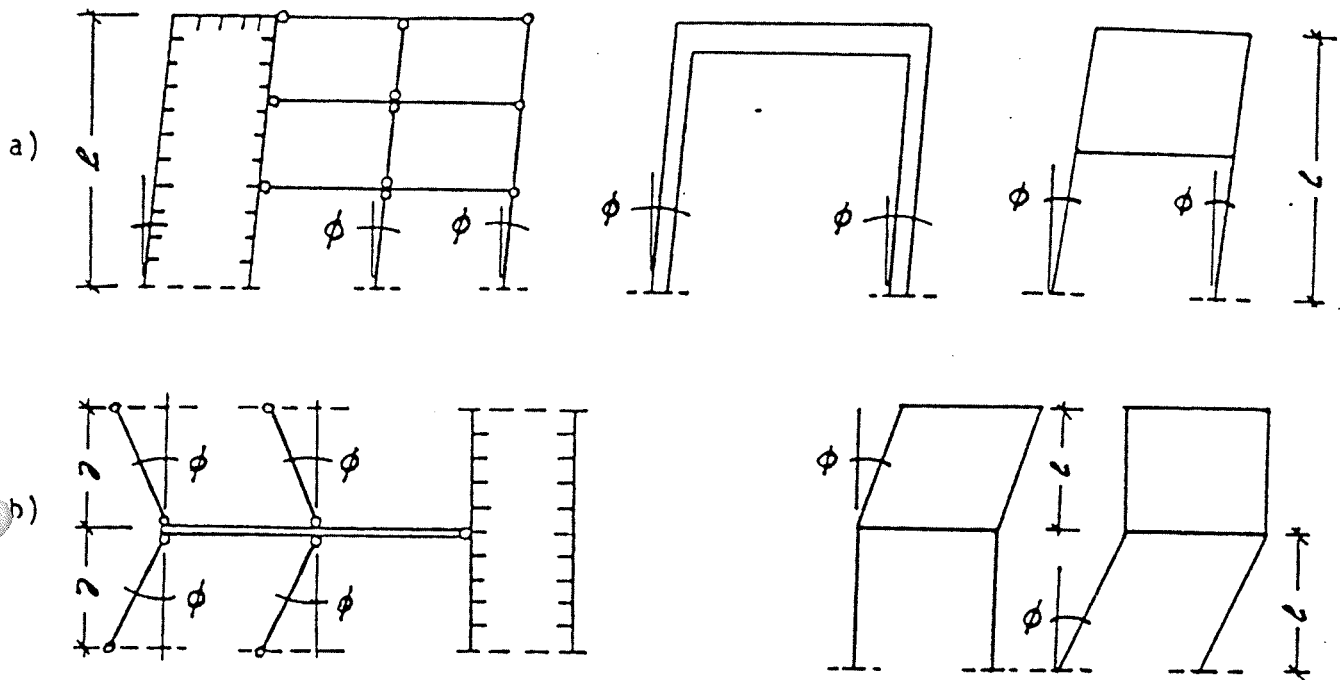
Kommentar:

CA506. Bei Stahtragwerken setzen sich die geometrischen Imperfektionen zusammen aus

- Abweichungen der Tragwerksknoten von der planmäßigen Lage (Stabdrehwinkel eines jeden Stabes und Versatz zwischen den Stäben)
- Vorkrümmung des einzelnen Stabes zwischen den Knoten

In A506. wird der Versatz durch einen entsprechend vergrößerten Stabdrehwinkel erfaßt. Die entsprechende Exzentrizität beim Einzelstab ist durch eine vergrößerte Vorkrümmung abgedeckt. Alternativ kann beim Einzelstab die Vorkrümmung auch durch eine vergrößerte Exzentrizität abgedeckt werden.

Der Faktor α_1 berücksichtigt, daß Imperfektionen im allgemeinen nicht streng proportional mit wachsender Systemlänge zunehmen. Auf eine entsprechende Abminderung beim Stich e der Vorkrümmung beim Einzelbauteil wurde verzichtet.



$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_n$$

$$(n = 2)$$

Bild 5.1 Beispiele für den Ansatz von Schiefstellungen

- a) Gesamttragwerke
- b) Teiltragwerke

A507. Für Rahmentragwerke mit aussteifenden Bauteilen, die das Kriterium nach Gleichung (6.1) erfüllen, genügt es, grundsätzlich nur Imperfektionen nach Tabelle 5.1, Zeile 1 anzusetzen. Wird bei verschieblichen Rahmentragwerken eine Schiefstellung nach Tabelle 5.1, Zeile 2 angesetzt, brauchen zusätzliche Vorverformungen der Einzelstäbe für Berechnungen am Gesamtsystem nicht berücksichtigt zu werden, sofern für jeden Einzelstab die Stabkennzahl $\epsilon < 1,6$ ist.

Kommentar:

CA507. Dabei ist die Stabkennzahl ϵ analog zu A609. definiert.

A508. Ergibt sich die ungünstigste Beanspruchung infolge Imperfektionen bei Tragwerken mit Stäben gleicher Lagerung und Stützung bei Annahme gleichsinniger Imperfektionsansätze für diese Stäbe, darf diese Beanspruchung um einen Faktor α_n nach Gleichung (5.3) abgemindert werden.

$$\alpha_n = 0,5 \left(1 + \sqrt{\frac{1}{n}} \right) \quad (5.3)$$

wobei

n Anzahl der Stäbe im betrachteten System, die mit mindestens 70 % der mittleren Last beansprucht werden.

Dies gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, daß gleichsinnige Vorverformungen aufgrund systematischer Einflüsse ausgeschlossen werden können. Andernfalls ist $\alpha_n = 1,0$ zu setzen.

Kommentar:

CA508.

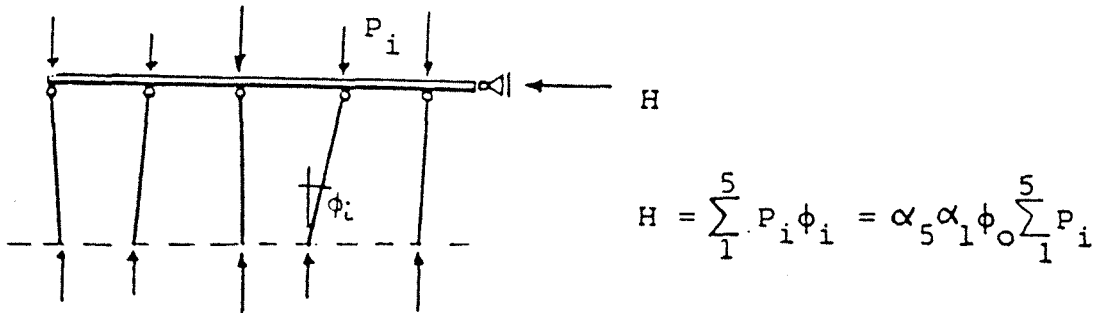


Bild 5.2 (C) Beispiel für eine Anwendung von α_n

Systematische Einflüsse, die zu einer tatsächlich gleichsinnigen imperfekten Form mehrerer Stäbe führen, können durch das Bauverfahren bedingt sein.

6. Ermittlung der Beanspruchung

6.1 Statische Systeme

P601. Das Tragwerk einschließlich seiner Gründung darf idealisierend in Teiltragwerke zerlegt werden, die als statische Systeme, bestehend aus Stabwerks-, Platten-, Scheiben- oder Schalenelementen mit entsprechender Auflagerung, idealisiert werden.

P602. Die Idealisierungen sind so vorzunehmen, daß die Beanspruchung des tatsächlichen Tragwerkes hinreichend zuverlässig ermittelt werden kann.

Kommentar:

CP602. Die Zerlegung in Teiltragwerke ist insbesondere so vorzunehmen, daß die räumliche Zuordnung und das Zusammenwirken der Teilsysteme einschließlich der Gründung zutreffend erfaßt werden.

P603. Sofern das Tragverhalten nicht mit bzw. an einem einzigen statischen System eindeutig beschrieben werden kann, muß es durch mehrere Systeme eingegrenzt werden.

6.2 Berücksichtigung von Formänderungen beim Nachweis der Tragfähigkeit

P604. Sofern Formänderungen zu einer Vergrößerung der Beanspruchungen führen, sind sie beim Nachweis der Tragfähigkeit einschließlich der Lagesicherheit zu berücksichtigen.

Kommentar:

CP604. Für Formänderungen beim Nachweis der Gebrauchsfähigkeit vgl. die entsprechenden Anwendungsregeln.

P605. Formänderungen brauchen rechnerisch nicht in Absatz gebracht zu werden,

- wenn von vornherein erkennbar ist, daß der Einfluß dieser Formänderungen vernachlässigbar ist, oder
- wenn sie die ohne ihren Einfluß ermittelten maßgebenden Beanspruchungen aus der Grundkombination der Einwirkungen um nicht mehr als 10 % erhöhen.

Kommentar:

CP605. Es wird dabei angenommen, daß diese Modellungenauigkeiten mit $\gamma_{sd} = 1,05$ für die in diesen Fällen im allgemeinen überproportionale Beziehung zwischen Einwirkung F und Beanspruchung abgedeckt ist.

P606. Bei den Formänderungen sind die tatsächlichen Steifigkeiten (bei Betonbauwerken z. B. im Zustand II), die zeitliche Veränderung (z. B. durch Kriechen bedingt) sowie die geometrischen Ersatzimperfektionen nach Abschnitt 5.2 zu berücksichtigen.

A607. Formänderungen bei Stabwerken dürfen außer acht gelassen werden,

- wenn der Zuwachs der maßgebenden Biegemomente aus der Grundkombination der Einwirkungen infolge der nach Theorie 1. Ordnung ermittelten Verformungen im 1. Schritt einer iterativen Berechnung nach Theorie 2. Ordnung unter Berücksichtigung der tatsächlichen Steifigkeiten nicht größer als 10 % ist, oder
- wenn die Längskräfte N des Systems aus der Grundkombination der Einwirkungen nicht größer als 10 % der idealen Knickkräfte $F_{k,i}$ nach der Elastizitätstheorie sind. Bei Anwendung der Fließgelenktheorie ist hierbei das jeweils betrachtete Fließgelenksystem zugrunde zu legen.

Kommentar:

CA607. Bei unverschieblichen Stabtragwerken sind diese Kriterien auch erfüllt, wenn

- die Stabkennzahlen ϵ aller Stäbe kleiner als ... sind, wobei ϵ mit der Normalkraftbeanspruchung aus der Grundkombination der Einwirkungen zu bestimmen ist

und bei Einzelstäben, wenn

- der (bezogene) Schlankheitsgrad nicht größer als ... ist.

P608. Teiltragwerke, für die Formänderungen von Knotenpunkten außer acht gelassen werden dürfen, gelten als "unverschieblich"; anderenfalls gelten sie als "verschieblich".

A609. Rahmenartige Tragwerke mit aussteifendem Kern nach Bild 6.1 gelten als unverschieblich, wenn die Stabkennzahl ϵ des aussteifenden Kerns folgende Bedingung erfüllt:

$$\epsilon = L \cdot \sqrt{\frac{(N_1 + N_2)}{EJ_k}} < 0,5 + 0,1 n \quad (6.1)$$

$< 1,0$

wobei

L Gebäudehöhe über Einspannebene nach Bild 6.1a

$(N_1 + N_2)$ Summe der Bemessungswerte der lotrechten Lasten bei Grundkombination

EJ_k Biegesteifigkeit des aussteifenden Teiltragwerkes. Bei veränderlicher Steifigkeit darf eine näherungsweise äquivalente, konstante Steifigkeit angesetzt werden.
Für Stahlbetonkerne darf, sofern keine genaueren Angaben vorliegen, näherungsweise $EJ_k = (EJ)_{II} = 0,7 (EJ)_I$ angenommen werden.

n Anzahl der Geschosse.

Kommentar:

CA609. Analog können auch andere Tragsysteme, z. B. nach Bild 6.1b beurteilt werden, wobei im allgemeinen $L = s_k/2$ anzunehmen ist. Anstelle der Größe n in Gleichung (6.1) wird dann die Anzahl n_k der Knotenpunkte eingesetzt, an denen Seitenkräfte aufgrund von Imperfektionen des ausgesteiften Teiltragwerks auf das aussteifende Teiltragwerk innerhalb der Länge L wirken. Für EJ_k ist analog die Biegesteifigkeit des aussteifenden Teiltragwerks in der Wirkungsebene der Seitenkräfte zu bestimmen.

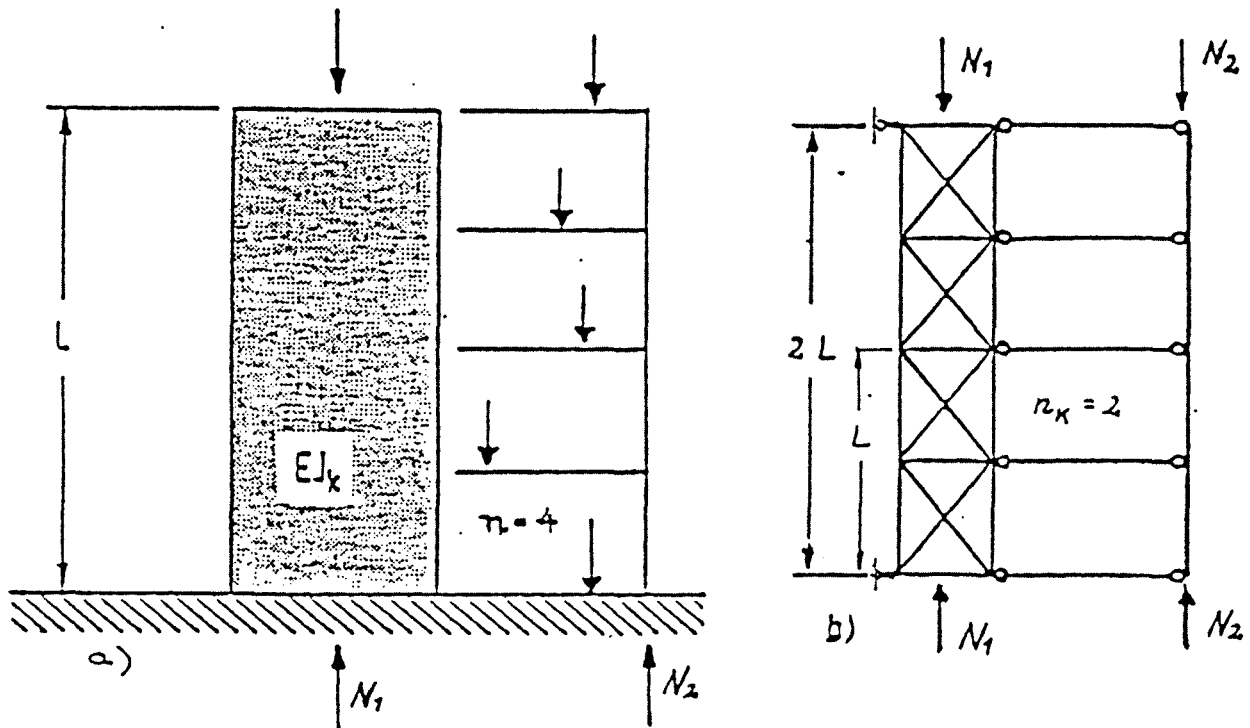


Bild 6.1 Aussteifende und ausgesteifte Teiltragwerke

6.3 Kraftgrößen-Verformungsbeziehungen

P610. Die Kraftgrößen-Verformungsbeziehungen sind auf der Grundlage der Stoffgesetze nach Abschnitt ... unter Berücksichtigung der maßgebenden Querschnitts- oder Bauteilgeometrie festzulegen.

P611. Vereinfachend dürfen diese, im allgemeinen nicht-linearen Beziehungen

- im ganzen Beanspruchungsbereich durch ein linear-elastisches Verformungsgesetz beschrieben werden, d. h. es wird "stofflich lineares" Verhalten angenommen, das abkürzend als "elastisch" bezeichnet wird
- abschnittsweise linearisiert werden (vgl. Bild 6.2) - d. h. es wird "stofflich nicht-lineares" Verhalten berücksichtigt, das abkürzend als "inelastisch" bezeichnet wird.

Kommentar:

CP611. Die Abkürzungen "elastisch" und "inelastisch" wurden gewählt, um Verwechslungen mit geometrisch linearem und nicht-linearem Verhalten zu vermeiden.

P612. Im folgenden wird bei abschnittsweise linearisierten Kraftgrößen-Verformungsbeziehungen unterschieden zwischen (vgl. Bild 6.2)

- bilinearer Näherung (elastisch-plastisch oder starr-plastisch)
- trilinearer Näherung.

M_r Reißmoment
 M_y Moment bei Plastifizierung des Querschnittes oder von
 Querschnittsteilen
 θ_{pl} plastische Rotation

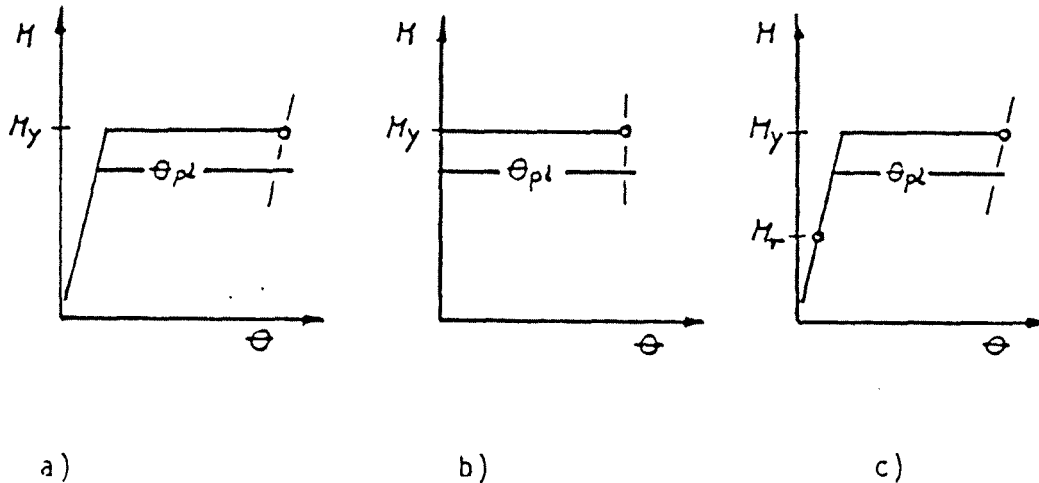


Bild 6.2 Annäherung der Kraftgrößen-Verformungsbeziehungen
a) bilineare, elastisch-plastische Näherung
b) bilineare, starr-plastische Näherung
c) trilineare Näherung

6.4 Nachweisverfahren

P613. Es ist zwischen den in der Tabelle 6.1 angegebenen Grundlagen der einzelnen Nachweisverfahren zu unterscheiden. Anwendungsbedingungen sind in den bauartbezogenen Anwendungsregeln festgelegt.

P614. Sofern in den bauartbezogenen Anwendungsregeln nicht anders festgelegt, sind Teilsicherheitsbeiwerte im allgemeinen, unabhängig vom verwendeten Verfahren, in gleicher Größe anzusetzen.

P615. Werden aufgrund vereinfachender Annahmen Kraft- oder Weggrößen systematisch über- oder unterschätzt oder mit großer Modellstreuung geschätzt, wird diesem Umstand durch Korrekturgrößen Rechnung getragen, die in den Anwendungsregeln festgelegt sind.

Kommentar:

CP615. Modellstreuungen in Verbindung mit mechanischen Modellen rühren daher, daß mechanische Modelle für die baupraktische Anwendung mehr oder weniger unvollständig sind, d. h. verschiedene Einflüsse werden aus Gründen der Vereinfachung vernachlässigt oder sind auch nicht exakt bekannt. Die in den Abschnitten 2, 3 und 4 angegebenen Beiwerte γ_d bzw. γ_{Sd} und γ_{Rd} gelten unabhängig von Vereinfachungen beim Nachweisverfahren. Größere Modellstreuungen sind in den Anwendungsregeln durch Modelle, die auf der "sicheren" Seite liegen, berücksichtigt.

Tabelle 6.1 Einteilung der Verfahren (ohne Bezug auf geometrische Linearitäten bzw. Nicht-Linearitäten)

Zeile	Kraftgrößen-Verformungs- beziehung bei der Ermittlung der Beanspruchung	Kraftgrößen-Verformungs- beziehung bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeit	Bemerkun- gen
1	(linear-) "elastisch"	(linear-) "elastisch"	
2a	(linear-) "elastisch"	nicht-linear	
2b	(linear-) "elastisch" mit be- grenzter Umlagerung		
3a	bi-linear: "starr-plastisch"		
3b	bi-linear: "elastisch-plastisch"		
4	tri-linear und andere nicht- lineare Näherungen		

7. Nachweis der Lagesicherheit

7.1 Allgemeines

P701. Ist nicht von vornherein erkennbar, daß ein Gleiten, Umkippen oder Abheben des Tragwerkes, von Tragwerksteilen oder Bauteilen ausgeschlossen werden kann, ist - zusätzlich zum Tragfähigkeitsnachweis nach Abschnitt ... - ein Nachweis der Lagesicherheit zu führen.

P702. Gemäß Abschnitt 2.4 gilt der Nachweis als erbracht, wenn in den zu betrachtenden Fugen der maßgebliche Bemessungswert S_d der Beanspruchung höchstens gleich ist dem Bemessungswert R_d der Beanspruchbarkeit.

P703. Als Fugen gelten hierbei

- Gründungsfugen
- Lagerfugen (ohne und mit Verankerungen).

7.2 Bemessungswert S_d der Beanspruchung

P704. S_d errechnet sich aus den Bemessungswerten der für das Gleichgewicht ungünstig und günstig wirkenden Einwirkungen, die gemäß der "Grundkombination" nach Abschnitt 3.2, Gleichung (3.1a) anzusetzen sind.

A705. Bei günstig und ungünstig wirkenden Anteilen einer ständigen Einwirkung ist hier grundsätzlich deren Zerlegung in die günstigen und ungünstigen Anteile vorzunehmen.

A706. Abweichend von den Festlegungen nach Tabelle 3.1 dürfen für

- die günstigen und ungünstigen Anteile der ständigen Lasten
- zuverlässig kontrollierbare Gegengewichte

Teilsicherheitsbeiwerte in Verbindung mit charakteristischen Werten G_k , die dem Mittelwert (bzw. Nennwert) entsprechen, nach Tabelle 7.1 angenommen werden.

Tabelle 7.1 Teilsicherheitsbeiwerte beim Nachweis der Lagesicherheit.
Klammerwerte gelten nur bei besonders überwachten
Ingenieurbauwerken

	Teilsicherheitsbeiwerte γ_f bei	
	ungünstiger Wirkung	günstiger Wirkung
ständige Einwirkungen γ_G	1,10 (1,05)	0,90 (0,95)
Vorspannung γ_p *)
*) γ_p ist bauartbezogen festzulegen		

Kommentar:

CA706. Dabei sind die lotrechten Komponenten aus Wind- und Schneelasten als Wanderlasten anzusetzen.

7.3 Bemessungswert R_d der Beanspruchbarkeit

A707. R_d errechnet sich aus den Bemessungswerten der für die betrachtete Fuge maßgebenden Materialeigenschaften.

Kommentar:

CA707. Bei Lagerfugen ist insbesondere die Streuung der Reibbeiwerte durch entsprechende Wahl der charakteristischen Werte und eine mögliche Schiefstellung der Fuge durch Ansatz geometrischer Imperfektionen zu erfassen.

Für Gründungsfugen vgl. EC7.

8. Nachweise mittels Versuche

8.1 Anwendungsbereich

P801. Ein experimenteller Nachweis darf anstelle von oder in Ergänzung zu rechnerischen Nachweisen, wie sie in diesem Code beschrieben sind, durchgeführt werden. Dabei müssen genauso wie bei rechnerischen Nachweisen nicht direkt erfassbare Einflüsse durch Modellannahmen abgedeckt werden.

P802. Die Versuche sind so auszulegen, daß aus den Versuchsergebnissen an einer beschränkten Anzahl von Versuchsbauanteilen (Versuchskörper) das Tragverhalten von Bauteilen unter den vereinbarten Einbau- und Nutzungsbedingungen zuverlässig abgeschätzt werden kann.

8.2 Allgemeine Anforderungen

P803. Experimentelle Nachweise dürfen nur von solchen Institutionen geführt werden, die über Fachleute mit ausreichender Kenntnis und Erfahrung auf dem Gebiet der Versuchsplanung, -durchführung und -auswertung verfügen, geeignete Versuchseinrichtungen haben und sorgfältige Ausführung und Dokumentation gewährleisten.

P804. Vor Durchführung der Versuche ist ein Versuchsplan aufzustellen, der alle für den experimentellen Nachweis erforderlichen Angaben enthält.

A805. Im Anhang 2 sind die erforderlichen Angaben des Versuchsplans sowie Verfahren zur statistischen Auswertung von Versuchsergebnissen dargestellt.

8.3 Dokumentation

P806. Bestandteil der Dokumentation ist der Versuchsplan nach Abschnitt 8.2. Nachträgliche Änderungen des Versuchsplans sind auszuweisen.

P807. Es ist ein Versuchsbericht anzufertigen, der alle Angaben über Prüfkörperbeschaffung, Versuchseinrichtung und Durchführung sowie die Versuchsbeobachtungen enthält, die zur Versuchsauswertung und zur Beurteilung der Einhaltung des Versuchsplans notwendig sind.

P808. Die Versuchsauswertung muß Angaben enthalten über die

- Bewertung der Versuchsplanung, -einrichtung und -durchführung und der Beschaffung der Versuchskörper;
- statistische Auswertung und Berechnung von charakteristischen Werten und/oder Bemessungswerten in prüfbarer Form;
- Diskussion und Interpretation der Versuchsergebnisse.

ANHANG 1

MITWIRKENDE PLATTENBREITE (Gurtwirkungsgrad)

Inhalt

- 0 Geltungsbereich
- 1 Allgemeines
- 2 Berechnung von Formänderungsgrößen zur Schnittkraftermittlung
- 3 Ermittlung der Beanspruchbarkeit und Verformungen

0 Geltungsbereich

Dieser Anhang beschreibt ein vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung der mitwirkenden Plattenbreite von biegebeanspruchten Trägern mit breiten Gurten. Entsprechende Ergänzungen zur Erfassung der Auswirkung von Vorspannung stehen noch aus.

1 Allgemeines

1. Sofern kein genauere Nachweis geführt wird, darf die mitwirkende Plattenbreite nach Abschnitt 2 bzw. 3 bestimmt werden.

Kommentar:

C1. Die mitwirkende Plattenbreite biegebeanspruchter Balken mit breiten Gurten ist abhängig von der geometrischen Ausbildung, der Belastung und dem Materialverhalten im betrachteten Grenzzustand.

2 Berechnung von Formänderungsgrößen zur Schnittkraftermittlung

2. Bei der Berechnung von Formänderungsgrößen zur Schnittgrößenermittlung in statisch unbestimmten Biegeträgern genügt es, von der vorhandenen Plattenbreite b auszugehen, solange das Verhältnis von Stützweite zu einer der beiden Teilstegbreiten b_j eines Steges nach Bild A1.1 größer als 8 ist. Andernfalls ist als mitwirkende Breite $l/8$ einzusetzen, wobei l die Stützweite und bei Kragträgern die doppelte Kragarmlänge ist.

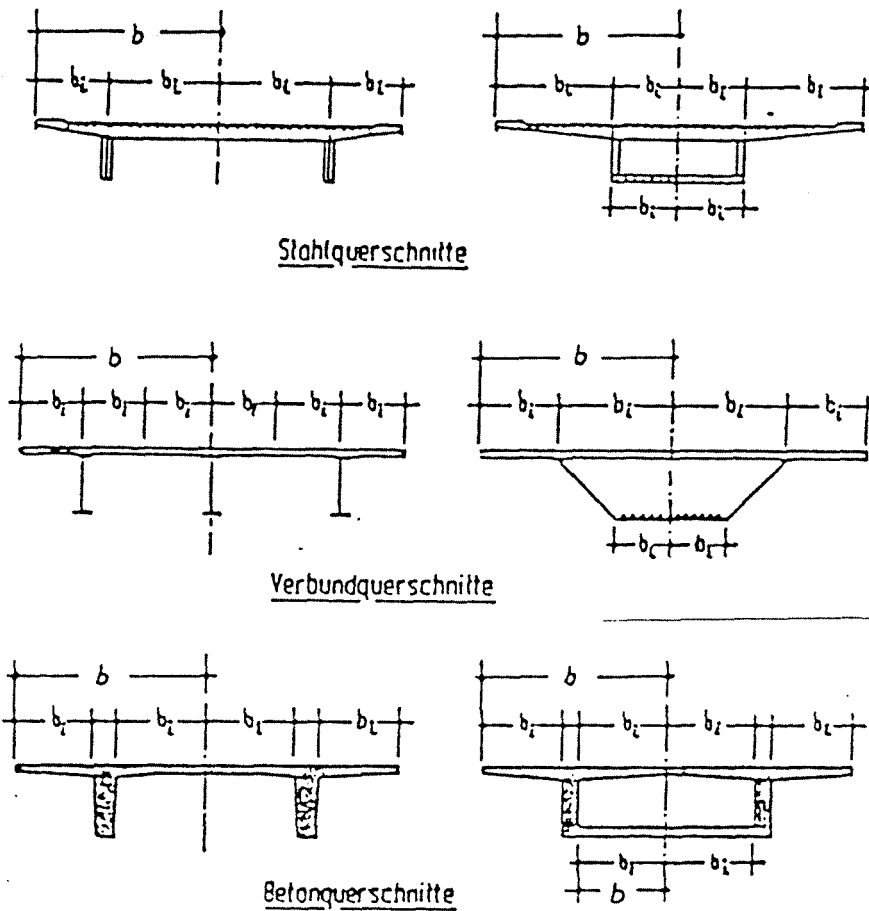


Bild A1.1 Beispiele für die Festlegung der Teilgurte für Hauptträger

3 Ermittlung der Beanspruchbarkeit und Verformungen

3. Für die Ermittlung der Beanspruchbarkeit und Verformungen genügt es bei Material, das im betrachteten Grenzzustand über den linear-elastischen Bereich hinaus beansprucht werden darf, mit den Ansätzen für die mittragende Breite nach Absatz 2. zu rechnen. Die Ermittlung der Beanspruchbarkeit an Zwischenauflagern von Durchlaufträgern ist mit dem Mittelwert der mittragenden Breiten der beiden angrenzenden Felder durchzuführen.

4. Für die Ermittlung der Beanspruchbarkeit und der Verformungen ist bei Material, das im betrachteten Grenzzustand nicht über den linear-elastischen Bereich hinaus beansprucht werden darf, die mittragende Breite b_{mi} wie folgt zu ermitteln:

$$b_{mi} = \lambda \cdot b_i \quad (1)$$

Hierbei ist

$$\lambda_1 = \frac{1}{1 + 64 \left(\frac{b_i}{l_M}\right)^2} \quad (\text{im Feldbereich von Einfeldträgern oder Durchlaufträgern}) \quad (2a)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{1 + 6 \left(\frac{b_i}{l_M}\right) + 1,6 \left(\frac{b_i}{l_M}\right)^2} \quad (\text{im Stützenbereich von Durchlaufträgern oder bei Kragträgern}) \quad (2b)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{1 + 4 \left(\frac{b_i}{l_M}\right) + 3,2 \left(\frac{b_i}{l_M}\right)^2} \quad (\text{bei dreieckiger Momentenlinie, falls besondere Montagelastfälle wie Stützensenkung untersucht werden müssen}) \quad (2c)$$

$$\lambda_0 = \left(0,55 + 0,025 \frac{l_M}{b_i}\right) \lambda_1 < \lambda_1 \quad (\text{Endauflager, Kragträger}) \quad (2d)$$

mit

b_i Breite eines Teilgurtes an der Stelle des größten Biegemomentes

l_M Abstand der Momentennullpunkte. Bei Systemen mit Momentengrenzlinien nach Bild A1.2 darf vereinfachend l_M durch die effektive Länge l_e ersetzt werden, sofern eine Einzelspannweite nicht größer als das 1,5fache der angrenzenden Spannweite und die Kragarmlänge nicht größer als die Hälfte der angrenzenden Spannweite ist.

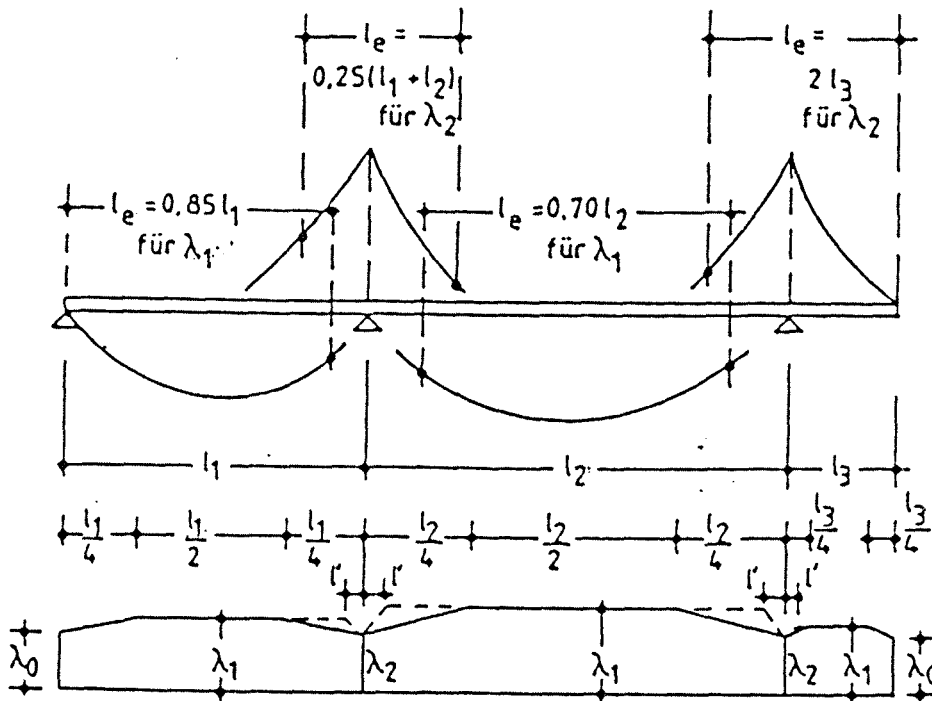


Bild A1.2 Vereinfachte Ermittlung der mitwirkenden Breite (für Ansatz der verminderten Einschnürungslänge l' vgl. Absatz 5.)

5. Die Längen der Einschnürung der mittragenden Breite l' sind gemäß Bild A1.2 mit $l_1/4$ anzunehmen.

Für Nachweise im Stützenbereich und bei dreieckiger Momentenlinie darf die Einschnürungslänge auch mit

$$l' = \epsilon \cdot l \quad (3a)$$

angesetzt werden.

Hierbei ist

$$\epsilon = 2 (1 - \lambda_2) \frac{b_i}{t} \quad (3b)$$

6. Bei Gurten mit mittragenden Längsrippen ist anstelle der Breite b die vergrößerte Breite

$$b'_i = \alpha \cdot b_i \quad (4a)$$

in die Gleichung (1) von Absatz 4. einzusetzen.

Hierbei ist

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{\Delta A}{b_i \cdot t}} \quad (4b)$$

mit

ΔA Summe der Rippenflächen im Bereich der Breite b_i infolge der Längsrippen, siehe Bild A1.3.

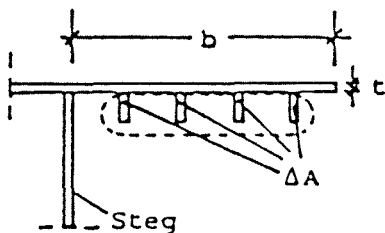


Bild A1.3 Gurte mit Längsrippen

7. Wird für die Ermittlung der mittragenden Breite eines Querschnitts die Momentenlinie infolge einer Verkehrslast maßgebend, die aus mehreren Verkehrseinzellasten besteht, so brauchen die Einzellasten dieser Verkehrslast nicht einzeln in Ansatz gebracht zu werden.

8. Der Spannungsverlauf über die Teilgurtbreite darf mit einer Parabel 4. Ordnung erfaßt werden, vgl. Bild A1.4.

$$\sigma_R = 1,25 (\lambda - 0,20) \sigma_{St} \quad (5a)$$

$$\sigma(y) = \sigma_R + (\sigma_{St} - \sigma_R) \left(1 - \frac{y}{b_i}\right)^4 \quad (5b)$$

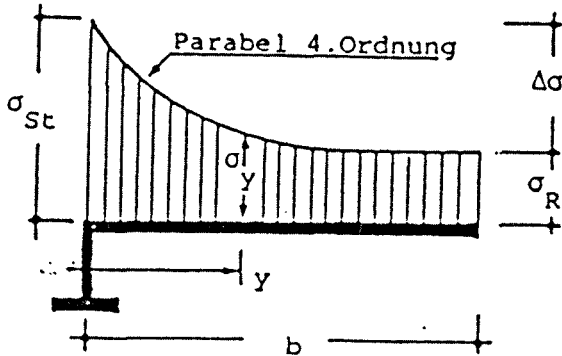


Bild A1.4 Spannungsverlauf über die Teilgurtbreite

9. Als mitwirkende Breite normalkraftbeanspruchter Träger darf außerhalb der Kräfteinleitungsbereiche die volle Plattenbreite angesetzt werden. Innerhalb der Kräfteinleitungsbereiche darf die Beanspruchung unter der Annahme eines Einleitungswinkels 1 : 2 nach beiden Seiten gegenüber der Kraftachse ermittelt werden (siehe Bild A1.5).

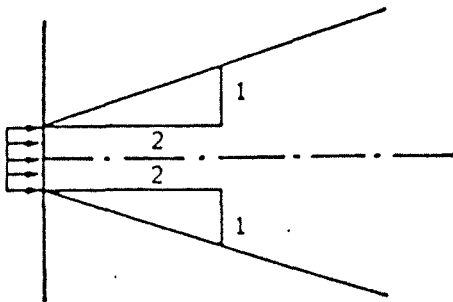


Bild A1.5 Vereinfachte Ermittlung der mitwirkenden Breite für normalkraftbeanspruchte Träger

ANHANG 2

NACHWEISE MITTELS VERSUCHE

Inhalt

- 0 Geltungsbereich
- 1 Grundsätze für die Versuchsplanung
- 2 Rechenmodelle
- 3 Statistische Auswertung von Versuchsergebnissen
 - 3.1 Hinweise
 - 3.2 Versuche ohne Parametervariation
 - 3.3 Versuche mit Parametervariation
- 4 Sicherheitsbeiwert, Bemessungswerte

0 Geltungsbereich

1. Dieser Anhang enthält ergänzende Bestimmungen zu den allgemeinen Prinzipien von Abschnitt 8 (dieser Stellungnahme) für die Versuchsplanung und Auswertung.

Kommentar:

C1. Hinsichtlich des Erfordernisses und der Möglichkeit eines Nachweises in Verbindung mit Versuchen vgl. auch P110., P211., P801. (dieser Stellungnahme).

2. Die Anwendungsregeln dieses Anhangs beschränken sich auf die Bestimmung von charakteristischen Werten und Bemessungswerten der Beanspruchbarkeit. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Versuchskörper praxismgerechte Abmessungen aufweisen, so daß Fehler infolge von Maßstabeffekten auf das Tragverhalten vernachlässigbar sind oder die Versuchsergebnisse ungünstig beeinflussen.

3. Beim experimentellen Nachweis gilt es, aus den Versuchsergebnissen an einer beschränkten Anzahl von Versuchsbauteilen (Versuchskörper), die

- entweder der laufenden Produktion entnommen
- oder für den Versuch hergestellt (Prototypen)

und unter festzulegenden Versuchsbedingungen geprüft werden, das Tragverhalten von Bauteilen unter bestimmten Einbau- und Nutzungsbedingungen vorherzusagen.

4. Im allgemeinen ist davon auszugehen, daß ein rechnerisches Modell vorliegt - das zwar unvollständig ist - aber, unter Berücksichtigung einer oder mehrerer

maßgeblicher Einflußgrößen, das Tragverhalten zumindest in seiner Tendenz richtig wiedergibt. Dann kann sich der Versuch auf die Ermittlung von Korrekturgrößen beschränken.

Kommentar:

C4. Die Korrekturgrößen sind im allgemeinen selbst Funktionen mehrerer Einflußgrößen.

1 Grundsätze für die Versuchsplanung

5. Vor Durchführung der Versuche ist ein Versuchsplan aufzustellen, der Angaben enthält über

- a) das Ziel des Versuchs und Geltungsbereich der Versuchsaussage
- b) die zu erwartenden Einwirkungen
- c) alle bekannten Einflüsse, die die Versuchsaussage wesentlich beeinflussen können
- d) die möglichen Versagensarten und die zugehörigen rechnerischen Modelle mit den entsprechenden Einflußgrößen
- e) Festlegungen für die Stichprobe, d.h.
 - Anweisungen zur Art der Stichprobenentnahme von Bauteilen bzw. von Baustoffen und Verbindungsmitteln sowie ggf. Anweisungen für die Herstellung von Prototypen
 - Anzahl der Versuchskörper
- f) die vorgesehene Versuchsdurchführung
 - erforderlichenfalls: Anweisungen für die Herstellung von Proben aus den Versuchskörpern
 - Versuchsanordnung
 - Meßgrößen und allgemeine Versuchsbeobachtungen
 - erforderliche Genauigkeit
- g) vorgesehene Versuchsauswertung
- h) vorgesehene Dokumentation.

6. Aus der laufenden Produktion zu entnehmende Bauteile sind so auszuwählen, daß sie eine repräsentative Stichprobe für den Geltungsbereich der Versuchsaussage darstellen. Prototypen sind so herzustellen, daß sie bezüglich ihrer maßgebenden Baustoffeigenschaften und geometrischen Größen als repräsentativ für die Geltungsbereich der Versuchsaussage gelten können.

7. Ist die Auswirkung bestimmter Einflüsse bekannt, müssen Stichproben nicht notwendigerweise bezüglich dieser Einflüsse repräsentativ sein, sofern durch entsprechende Maßnahmen sichergestellt werden kann, daß diese Einflüsse bei der praktischen Ausführung nicht ungünstiger sind als beim Versuch vorgesehen.

Kommentar:

C7. Dies betrifft Einflüsse, für die entweder selbst oder für deren Auswirkung aufgrund von Grenzbetrachtungen (quasi)deterministische Schranken angegeben werden können, z. B. Klimadaten, ausführungsbedingte Mindestabmessungen, wobei i.a. angenommen wird, daß es sich nicht um maßgebliche Einflußgrößen handelt.

8. Beschränkt sich die versuchsmäßige Bestimmung auf die Ermittlung von Korrekturgrößen in mechanischen Modellen, so müssen Stichproben auch nicht notwendigerweise bezüglich jener Einflußgrößen, die durch die Modelle explizit erfaßt

werden, repräsentativ sein, sofern die Streuungen dieser Einflußgrößen bei der Schätzung von Bemessungswerten der Größen der Beanspruchbarkeit berücksichtigt werden.

Kommentar:

C8. Das heißt, Stichproben müssen nurmehr bezüglich jener Einflußgrößen repräsentativ sein, die nicht explizit durch die Modelle erfaßt sind.

9. Werden durch die Stichprobe nach Absatz 6. nicht alle Versagensarten erfaßt, oder ist das Tragverhalten gegenüber einzelnen Einflußgrößen extrem empfindlich, kann es erforderlich sein, durch Zusatzversuche die Gültigkeit der Modelle für extreme Merkmalswerte sicherzustellen

Kommentar:

C9. Durch repräsentative Stichproben erhält man vornehmlich Aussagen über die Gültigkeit des Modells im Bereich der Erwartungswerte der Einflußgrößen. Für die Bemessung ist jedoch nur die Gültigkeit des Modells im Bereich der Bemessungswerte von Bedeutung.

10. Abweichend von Absatz 6. und 9. gilt für Imperfektionen, die nicht (vollständig) durch das Modell erfaßt werden, folgende Regelung: Bezüglich geometrischer Imperfektionen sind anstelle repräsentativer Stichproben die Versuchskörper mit jener Imperfektion zu versehen, die beim rechnerischen Nachweis zu berücksichtigen ist - oder so zu prüfen, daß die Auswirkung dieser Imperfektionen simuliert wird.

Kommentar:

C10. Mit Bezug auf Absatz 9. wird hier für die Einflußgröße "Imperfektion" mit ihrem Bemessungswert eingeführt, da die zufällige Streuung aufgrund einer repräsentativen Stichprobe i.a. nicht ausreicht, um die Auswirkung von Imperfektionen hinreichend zu erfassen.

? Rechenmodelle

11. Der Zusammenhang zwischen den Einflußgrößen $\underline{X} = (X_1, \dots, X_j, \dots)$ und der Beanspruchbarkeit R_t wird als Rechenmodell bezeichnet. Allgemein gilt:

$$R_t = g_{Rt}(\underline{X}) \quad (1a)$$

Kommentar:

C11. Das Rechenmodell kann durch eine oder mehrere Funktionen oder andere Rechenvorschriften gegeben sein.

Bei sehr einfachen oder sehr unvollständigen Modellen kann R_t auch nur eine Funktion einer Einflußgröße sein, z. B. einer Materialfestigkeit.

Der Index t weist darauf hin, daß es sich um Rechenwerte im Unterschied zu Versuchswerten handelt.

12. Die Einflußgrößen X des Modells müssen bezüglich ihrer charakteristischen Werte (x_k) im Geltungsbereich der Versuchsaussage bekannt sein. Diese Information kann durch

- Bezug auf Regelwerke
- Auswertung von Aufzeichnungen einer Güteüberwachung
- Auswertung von Vorversuchen ausreichenden Umfangs

beschafft werden.

Kommentar:

C12. Bei Bezug auf Regelwerke ist es erforderlich, daß die p%-Fraktile des charakteristischen Wertes zumindest der maßgebenden Einflußgröße dokumentiert ist.

Sofern eine genauere statistische Auswertung als nach den Regeln dieses Anhangs verfolgt wird, ist eine ausführlichere statistische Beschreibung der Einflußgrößen erforderlich.

13. Dann berechnet sich der charakteristische Wert der Rechengröße r_{tk} - sofern keine genauere statistische Berechnung durchgeführt wird - aus:

$$r_{tk} = g_{Rt}(x_k) \quad (1b)$$

14. In der Regel sollen die Einflußgrößen X des Modells an jedem Versuchskörper direkt (vor, während oder nach dem Versuch) meßbar sein. Können Werte einer Einflußgröße nur so bestimmt werden, daß sie nicht direkt bestimmten Versuchskörpern zuordenbar sind, müssen diese Werte dann an einer Stichprobe ermittelt werden, die wenigstens der Gesamtheit der Versuchskörper eindeutig zugeordnet werden kann. Der Stichprobenumfang muß gleich jenem der Versuchskörper sein (Beispiel: Betonwürfel aus gleicher Mischerfüllung wie die zu prüfenden Bauteile).

Kommentar:

C14. Ist nur eine indirekte Messung einzelner Einflußgrößen möglich, so kann es erforderlich sein, die Streuung der Korrekturgrößen um den "Fehler" der indirekten Messung zu vergrößern.

15. Somit kann für jeden Versuchskörper i aufgrund der Meßwerte x_i ein aktueller Wert der Rechengrößen bestimmt werden

$$r_{ti} = g_{Rt}(x_i) \quad (1c)$$

Durch Vergleich von r_{ti} mit dem jeweiligen Versuchsergebnis r_{vj} erhält man gemäß Abschnitt 3 die entsprechenden Korrekturgrößen für das Modell.

3 Statistische Auswertung

3.1 Hinweise

16. Bei der statistischen Auswertung ist im allgemeinen davon auszugehen, daß die Beanspruchbarkeit R und die Korrekturgröße Δ logarithmisch-normalverteilt sind.

17. Sofern R (auch) ungünstig wirkt, so daß (auch) obere charakteristische Werte zu schätzen sind, dürfen Korrekturgrößen auch als normalverteilte Größen eingeführt werden.

3.2 Versuche ohne Paramtervariation

18. Hierunter fallen alle Versuche, bei denen R nur für einen Parametersatz bestimmt wird (d.h. es werden nicht systematisch unterschiedliche Schlankheiten, Durchmesser usw. geprüft), oder bei denen R nur für einen Parametersatz ausgewertet wird.

19. Sofern ein Rechenmodell gemäß Abschnitt 2 vorliegt, sind aufgrund der Beziehung

$$R_V = g_R(\underline{X}, \bar{b}, \Delta) = R_t \cdot \bar{b} \cdot \Delta \quad (2)$$

mit

R_t Rechenwert der Beanspruchbarkeit nach Gleichung (1a)

\bar{b} Mittelwertkorrekturgröße

Δ Streukorrekturgröße

für jeden Versuchskörper i durch Vergleich von Rechenwert r_{ti} und Versuchswert r_{vi} die Größe b_i und daraus die Mittelwertkorrektur \bar{b} und die einzelne Abweichung δ_i zu bestimmen

$$b_i = r_{vi}/r_{ti} \quad \bar{b} = \frac{1}{n} \sum b_i \quad \delta_i = b_i/\bar{b} \quad (3)$$

Kommentar:

C19. \bar{b} bezeichnet die Korrektur des Rechenmodells (R_t), damit die Versuchsergebnisse im Mittel zutreffend vorhergesagt werden; somit wird $\bar{\delta} = 1,0$ (dabei ist aber $\exp(\bar{\delta}')$ kleiner als 1,0):

$$r_{vi} = r_{ti} \cdot (r_{vi}/r_{ti}) = r_{ti} b_i = r_{ti} \bar{b} (b_i/\bar{b}) = r_{ti} \bar{b} \delta_i$$

20. Mittelwert und Standardabweichung von $\delta' = \ln \delta$ errechnen sich mit $v = n - 1$ us

$$\bar{\delta}' = \frac{1}{n} \sum \delta_i'$$

$$s_{\delta'} = \sqrt{\frac{1}{v} \sum (\delta_i' - \bar{\delta}')^2} \quad (4)$$

Kommentar:

C20. Ein Vergleich der Streumaße von R_V und Δ gibt Information über die Vollständigkeit des Modells: je kleiner das Verhältnis $s_{\delta'}/s_{R_V'} \cong V_{\delta}/V_{R_V}$, desto vollständiger sind alle maßgebenden Einflußgrößen durch das Modell erfaßt. In dieser Hinsicht gehören zum Begriff des Modells auch die zutreffende Zuordnung von Materialeigenschaften und geometrischen Größen zu einem Versuchskörper.

Anmerkung: Noch zu ergänzen um Hinweise, wie in jeden Fällen vorzugehen ist, wenn Werte einzelner Einflußgrößen nicht direkt einem Versuchskörper i zuordenbar sind.

21. Der charakteristische Wert der Streukorrekturgröße Δ wird als p%-Fraktile anhand folgender Beziehung geschätzt:

$$\delta_k = \exp(\bar{\delta}' - k_s s'_\delta) \quad (5)$$

In der Regel ist δ_k als 5 %-Fraktile zu bestimmen. Hierfür ist k_s der Tabelle A2.1 für $v = n - 1$ zu entnehmen.

Tabelle A2.1 Fraktilfaktoren k_s zur Schätzung der 5 %-Fraktile ($k = 1,64$) bei einer Aussagewahrscheinlichkeit von 0,75

v	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
k_s	5,12	3,15	2,68	2,46	2,33	2,25	2,19	2,14	2,10	2,07	2,05

v	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
k_s	2,03	2,00	1,99	1,98	1,96	1,95	1,94	1,93	1,92	1,92	1,91

Kommentar:

C21. Für die Schätzung von Fraktilwerten wurde eine Aussagewahrscheinlichkeit von $W = 0,75$ vereinbart. Die zugehörigen Fraktilwerte entsprechen näherungsweise den Fraktilwerten in der Prediktorverteilung bei der Schätzung der 5 %-Fraktile. Für andere Fraktile wird auf die entsprechenden Tabellenwerke verwiesen.

22. Der charakteristische Wert der Beanspruchbarkeit ist, sofern keine genauere Berechnung erfolgt, aus

$$r_k = r_{tk} \bar{\sigma} \delta_k \quad (6)$$

zu berechnen, wobei r_{tk} gemäß Absatz 13. bestimmt wird. Sowohl $\bar{\sigma}$ als auch δ_k sind zu dokumentieren.

3.3 Beanspruchbarkeit als Funktion von Parametern

23. Hierunter fallen alle Versuche, bei denen R systematisch in Abhängigkeit eines oder mehrerer Parameter untersucht wird (z. B. R in Abhängigkeit der Schlankheit, des Durchmesser). Je Parametersatz kann auch nur ein Versuch vorliegen. Im Gegensatz zu Abschnitt 3.2 streut die Versuchsgröße hier nicht nur zufällig, sondern auch systematisch.

24. Die im folgenden geregelte Auswertung ist nur möglich, wenn ein hinreichend zutreffendes rechnerisches Modell vorliegt. Des weiteren wird angenommen, daß die Parametervariation so erfolgt, daß eine vernünftige Verteilung der Parameter über den Anwendungsbereich erzielt wird.

25. Eine Extrapolation über den Bereich der untersuchten Parameter hinaus ist nicht gestattet.

26. Die aktuellen Rechenwerte r_{tj} gemäß Absatz 13. sind gegenüber den zugehörigen Versuchswerten r_{vj} graphisch aufzutragen.

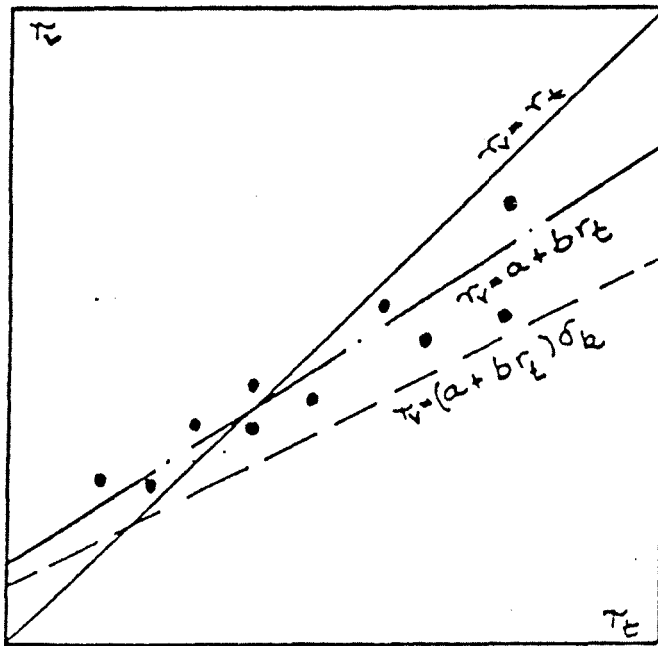


Bild A2.1 Darstellung von Rechenwerten r_{tj} und zugehörigen Versuchswerten r_{vj}

27. Mit Hilfe von

$$\begin{aligned} \bar{r}_v &= \frac{1}{n} \sum r_{vj} & s_{rv} &= \sqrt{\frac{1}{n} (\sum_{vj} r_{vj}^2 - n \bar{r}_v^2)} \\ \bar{r}_t &= \frac{1}{n} \sum r_{tj} & s_{rt} &= \sqrt{\frac{1}{n} (\sum_{tj} r_{tj}^2 - n \bar{r}_t^2)} \end{aligned} \quad (7)$$

wird der Korrelationskoeffizient zwischen R_v und R_t wie folgt abgeschätzt

$$\hat{\rho} = \frac{\sum r_{vj} r_{tj} - n \bar{r}_v \bar{r}_t}{n s_{rv} s_{rt}} \quad (8)$$

28. Für $\hat{\rho} < 0,9$ ist das Modell als nicht hinreichend zutreffend zu verwerfen. Sofern sich Bereiche mit unterschiedlicher Vorhersagegenauigkeit identifizieren lassen, darf $\hat{\rho}$ auch bereichsweise bestimmt werden. Jene Bereiche, für die $\hat{\rho} > 0,9$, dürfen nach den Regeln von Absatz 31. und folgende ausgewertet werden.

29. Bei bereichsweise - oder insgesamt - nicht hinreichend zutreffendem Modell sind im allgemeinen zusätzliche Proben zu untersuchen mit dem Ziel,

- a) entweder durch Streckung des untersuchten Parameterbereiches $\hat{\rho} > 0,9$ zu erreichen
- b) aufgrund mehrerer Versuchsergebnisse je Parametersatz eine Auswertung nach Abschnitt 3.2 zu ermöglichen
- c) anhand der Versuchsergebnisse der ersten Serie das Modell zu verbessern und nur ausschließlich mit einer zweiten Serie die noch erforderlichen Korrekturgrößen zu bestimmen.

Kommentar:

C29. Eine Streckung des Parameterbereiches nach a) bewirkt im allgemeinen eine Vergrößerung von s_{rt} und somit von $\hat{\beta} = b \cdot s_{rt}/s_{rv}$ (vgl. Gleichung 9b).

Bei Modellverbesserungen ist die Gültigkeit des Versuchsplans zu überprüfen und in der Dokumentation zu begründen.

30. In Ausnahmefällen darf ein Modell auch ohne Prüfung einer zweiten Serie verbessert werden, sofern das neue Modell ohne Kenntnis der Versuchsergebnisse ableitbar ist. Eine solche Modellverbesserung bedarf einer ausführlichen Begründung in der Dokumentation.

31. Bei hinreichend zutreffendem Modell darf die Auswertung unter Verwendung der Regressionsgeraden (Mittelwertkorrektur)

$$r_v = a + b r_t \quad (9a)$$

erfolgen, wobei

$$a = \bar{r}_v - b \bar{r}_t \quad (9b)$$

$$b = \hat{\beta} s_{rv}/s_{rt}$$

32. Im allgemeinen ist eine Korrekturgröße in folgender Form einzuführen

$$R_v = g_R(\underline{X}, a, b, \Delta) = (a + b R_t) \cdot \Delta \quad (10)$$

mit

R_t Rechenwert der Beanspruchbarkeit nach Gleichung (1a)

a, b Mittelwertkorrekturgröße

Δ Streukorrekturgröße

Für jede Probe i erhält man die zugehörige Größe δ_i (Abweichung von der Mittelwertkorrektur) aus

$$\delta_i = \frac{r_{vi}}{a + b r_{ti}} \quad (11)$$

Kommentar:

C32. Eine Einführung der Korrekturgröße nach Gleichung (10) bedeutet, daß R näherungsweise mit einem konstanten Variationskoeffizienten behaftet ist.

33. Mittelwert und Standardabweichung von $\delta' = \ln \delta$ bestimmen sich aus Gleichung (4), wobei $\nu = n - 2$ zu setzen ist. Der charakteristische Wert δ_k der Korrekturgröße wird nach Gleichung (5) geschätzt. Dabei ist k_s (für die Bestimmung der 5 %-Fraktile) der Tabelle A2.1 für $\nu = n - 2$ zu entnehmen.

34. Der charakteristische Wert der gesuchten Größe der Beanspruchbarkeit ist dann, sofern keine genauere Berechnung erfolgt, aus

$$r_k = (a + b r_{tk}) \delta_k \quad (12)$$

zu berechnen, mit r_{tk} nach Absatz 13. Sowohl a und b als auch δ_k sind zu dokumentieren.

4 Sicherheitsbeiwerte, Bemessungswerte

35. Der Bemessungswert der gesuchten Größe der Beanspruchbarkeit ist wie folgt zu ermitteln

$$r_d = r_{td} \bar{b} / \gamma_{Rd} \quad (14)$$

wobei r_{td} der Bemessungswert der Rechengröße $R_t = g_R(\underline{X})$ und γ_{Rd} nach Absatz 39. bestimmt wird.

Kommentar:

Bei einer Auswertung nach Abschnitt 3.2 gilt analog

$$r_d = (a + b r_{td}) / \gamma_{Rd}$$

36. Sofern eine experimentelle Bestimmung von Korrekturgrößen in einzelnen Anwendungsregeln dieses Codes vorgesehen ist, ist

$$r_{td} = g_R(\dots x_{jk} / \gamma_{mj} \dots) = r_{tk} / \gamma_m \quad (15)$$

in den entsprechenden Anwendungsregeln vorgegeben.

Kommentar:

C36. Das Rechenmodell darf hierbei nicht auf der sicheren Seite liegen.

37. Anderenfalls sind für die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{mj} in Gleichung (15) jene Werte anzusetzen, die bei rechnerischen Nachweisen - der Versagensursache entsprechend - einzuführen wären.

38. Wird bei vergleichbaren rechnerischen Nachweisen die beobachtete Versagensursache nicht direkt erfaßt, sind die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{mj} bzw. γ_m unter Berücksichtigung von Streuungseinflüssen und der Zuverlässigkeitsanforderungen zu bestimmen.

39. Abweichend vom rechnerischen Nachweis ist γ_{Rd} wie folgt anzusetzen

$$\gamma_{Rd} = (1,03 \dots 1,10) \exp(k_s s'_\delta \frac{\Delta k}{k}) / \delta_k$$

wobei für $V'_\delta = s'_\delta < 0,10$ $\Delta k = 0$

für $0,20 > s'_\delta > 0,10$ $\Delta k = 1,0$

für $s'_\delta > 0,20$ $\Delta k = 2,1$ zu setzen ist

und k den Wert der Umkehrfunktion der Standard-Normalverteilung bei $(1 - p)$ angibt, wenn der charakteristische Wert δ_k ein $p\%$ -Fraktile darstellen soll (z. B. $k = 1,645$ für $p = 5\%$).

Kommentar:

γ_{Rd} bestimmt sich aus $\gamma_{Rd} = (1,03 \dots 1,10) / \delta_d$.

Der Faktor 1,03 (Stahl) ... 1,10 (Beton) ist vorgesehen zur Abdeckung der Unsicherheiten bei der Vorhersage des wirklichen Tragverhaltens aufgrund des experimentellen Modells (vgl. Kommentar CP404 im Haupttext).

Die Größenänderung von 1,03 ... 1,10 reicht in der Regel nur zur Abdeckung von Unsicherheiten aus, wenn Idealisierungen des experimentellen Modells auf der sicheren Seite liegen.

Der Bemessungswert δ_d , wie er in Gleichung (16) enthalten ist, wurde so bestimmt, daß er als $p\%$ -Fraktile etwa mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von $W = 0,75$ geschätzt wird. Die maßgebende Fraktile wird dabei für mittlere Zuverlässigkeitsanforderungen und aufgrund überschlägiger Erfassung der Streuungseinflüsse bestimmt.

ANHANG 3

ALLGEMEINE REGELN ZUR BESCHREIBUNG VON EINWIRKUNGEN

Inhalt

- 0 Geltungsbereich
- 1 Definitionen und Einteilung
- 2 Charakteristische Werte F_k
- 3 Bemessungswerte F_d

0 Geltungsbereich

Der vorliegende Anhang beschreibt die Einwirkungen aus Lasten, Zwang und Eigenspannungen, die den rechnerischen Nachweisen der Tragfähigkeit und der Gebrauchsfähigkeit zugrunde gelegt werden. Andere Einwirkungen, die die Beanspruchbarkeit beeinträchtigen können, sind nicht Gegenstand dieses Anhangs.

Kommentar:

Ursachen für eine mögliche Beeinträchtigung der Beanspruchbarkeit sind z. B. chemische Einwirkungen, Temperatureinwirkungen bei Brand.

1 Definitionen und Einteilung

1. Als Einwirkung F gelten

- eine Einzellast, eine verteilte Last oder eine Gruppe von Einzellasten oder verteilter Lasten, die auf das Tragwerk einwirken, oder
- andere Ursachen für Verformungen und/oder Beanspruchungen im Tragwerk (Zwang, Eigenspannungen).

Kommentar:

C1. Ursachen für Verformungen sind z. B. Temperaturänderung, Schwinden, Kriechen, Feuchte, Feuchteänderung, Auflagerverschiebungen. Je nach Art der Vorspannung sind die entsprechenden Einwirkungsgrößen Kraft- oder Weggrößen - ggf. auch eine Kombination beider.

2. Einwirkungen können bezüglich des Tragverhaltens ungünstig oder günstig wirken; man kann sie daher - je nach Berechnungsmodell - bei der Ermittlung der Beanspruchung oder der Beanspruchbarkeit in Ansatz bringen.

Kommentar:

C2. Beispiele hierfür sind: Vorspannung, Normalkraft, Erddruck.

3. Für die Anwendung von Kombinationsregeln nach Abschnitt 3.2 (der bauartübergreifenden Stellungnahme) sind Einwirkungen, die örtlich oder zeitlich signifikant voneinander abhängen, bei ungünstiger Wirkung als eine Einwirkung zu behandeln. Nähere Angaben sind den Lastnormen zu entnehmen.

4. Hinsichtlich der zu verwendenden Sicherheitselemente sind Einwirkungen nach ihrer zeitlichen Veränderlichkeit wie folgt einzuteilen

- ständige Einwirkungen (G)
- veränderliche Einwirkungen (Q)
- außergewöhnliche Einwirkungen (F_A).

5. Zu den ständigen Einwirkungen dürfen auch solche Einwirkungen gezählt werden, die einer monotonen zeitlichen Veränderung unterliegen.

Kommentar:

C5. Hierzu gehören z. B. Setzungen, Relaxation sowie Schwinden oder Kriechen (sofern es vereinfachend als Einflußgröße zur Ermittlung der Beanspruchung behandelt werden kann).

Einwirkungen können des weiteren unterschieden werden

- nach ihrer räumlichen Veränderlichkeit: örtlich feste und freie Einwirkungen
- nach Lastspielzahl, Kollektiv und Amplitude: Einwirkungen, für die Grenzzustände der Ermüdung verfolgt werden müssen oder außer acht gelassen werden können
- nach der Tragwerksantwort: quasi-statische und dynamische Einwirkungen (einschließlich Anprall).

6. Bei ständigen Einwirkungen (siehe 5.) ist es im allgemeinen ausreichend, innerhalb eines Nachweises für das gesamte Tragwerk entweder den Mindestbemessungswert oder den Höchstbemessungswert anzusetzen, um daraus die ungünstigste Beanspruchung zu bestimmen. Bei Einfeld- und Durchlaufträgern sowie mehrfeldrigen Rahmen darf für alle Felder der gleiche Bemessungswert der ständigen Last angenommen werden, sofern an den Punkten, an denen keine rechnerischen Beanspruchungen auftreten, Mindestbemessungswerte der Schnittgrößen berücksichtigt oder entsprechende konstruktive Maßnahmen getroffen werden.

7. Im Hinblick auf die in Abschnitt 3.2 der vorhergehenden Stellungnahme angegebenen Kombinationsregeln ist beim Zusammenwirken mehrerer veränderlicher Einwirkungen zwischen der Leiteinwirkung und den Begleiteinwirkungen zu unterscheiden. Die Leiteinwirkung wird mit ihrem Extremwert berücksichtigt; für die Begleiteinwirkungen dürfen abgeminderte Werte angesetzt werden.

Kommentar:

C7. Häufig ist von vornherein erkennbar, welche der veränderlichen Einwirkungen Leiteinwirkung ist; anderenfalls ergibt sich die ungünstigste Kombination erst nach Verfolgen aller möglichen Kombinationen.

8. Sofern in Anwendungsregeln nicht anders bestimmt, dürfen dynamische Einwirkungen als statische Ersatzlasten berücksichtigt werden.

2 Charakteristische Werte F_k

2.1 Allgemeiner Hinweis

9. Für Einwirkungen, die nicht oder nicht vollständig in Normen erfaßt sind, müssen entsprechende charakteristische Werte im Zuge der Tragwerksplanung festgelegt werden. Dabei ist die Verantwortlichkeit für die Einhaltung festgelegter Werte auszuweisen. Ferner kann es erforderlich sein, bauwerksspezifische außergewöhnliche Einwirkungen im Einzelfall festzulegen.

Kommentar:

C9. Hierzu gehören ggf.:

- besondere Nutzlasten
- durch die Bauart aufgezwungenen Verformungen
- Lasten in Bauzuständen, z. B. aus Baugeräten.

10. Je nach Art des Bauwerks können auch charakteristische Werte für bestimmte natürliche Einwirkungen anhand der verfügbaren statistischen Daten oder aufgrund ingenieurmäßiger Schätzung festgelegt werden.

2.2 Ständige Einwirkungen G

11. Der charakteristische Wert G_k einer ständigen Einwirkung ist im allgemeinen als deren Mittelwert definiert.

Kommentar:

C11. Das bedeutet, daß bei den charakteristischen Werten für ständige Einwirkungen nicht zwischen günstiger und ungünstiger Wirkung unterschieden wird, sofern der γ -fache Mittelwert ausreicht, um Abweichungen vom Mittelwert abzudecken.

In den Fällen, in denen der γ -fache Mittelwert nicht ausreicht, um Abweichungen vom Mittelwert abzudecken, sind in den jeweiligen Codes höhere und/oder niedrigere charakteristische Werte angegeben.

Dies gilt z. B. für

- die Eigenlasten des Tragwerkes, die im allgemeinen aufgrund der Nennabmessungen und der Mittelwerte der Materialdichten bestimmt werden
- Lasten von ständigen Aufbauten und Einbauten
- Lasten aus Wasserdruk bei etwa konstantem Wasserstand.

2.3 Veränderliche Einwirkungen Q

12. Veränderliche Einwirkungen werden durch einen charakteristischen Wert Q_k dargestellt, der im allgemeinen einer oberen Fraktile in der Extremwertverteilung (der Amplitude der Einwirkung) für einen festgelegten Bezugszeitraum entspricht.

Kommentar:

C12. Gleichbedeutend kann Q_k auch anhand der mittleren Wiederkehrperiode definiert werden.

2.4 Außergewöhnliche Einwirkungen F_A

13. Außergewöhnliche Einwirkungen können als Nennwerte vorgegeben sein oder werden - wie veränderliche Einwirkungen - durch einen charakteristischen Wert dargestellt, der als obere Fraktile in der Verteilung der maßgebenden Einwirkungsgröße interpretiert werden kann.

Kommentar:

C13. Gleichbedeutend kann dieser Wert auch anhand der mittleren Wiederkehrperiode definiert werden.

Außergewöhnliche Einwirkungen können auch direkt durch ihre Bemessungswerte dargestellt werden.

3 Bemessungswerte F_d

14. Der Bemessungswert F_d einer Einwirkung zur Ermittlung der Beanspruchung ist im allgemeinen wie folgt festgelegt

$$F_d = \gamma_F \cdot \psi \cdot F_k \quad (1a)$$

mit

F_k charakteristischer Wert der Einwirkungen (Abschnitt 2 dieses Anhangs)
 γ_F Teilsicherheitsbeiwert
 ψ Kombinationsbeiwert für veränderliche Einwirkungen;
für die übrigen Einwirkungen ist $\psi = 1,0$.

Bei Einwirkungen, deren Streuung durch multiplikative Teilsicherheitsbeiwerte nicht zutreffend erfaßt wird, ist der Bemessungswert der Einwirkung mit Hilfe eines additiven Sicherheitselementes ΔF festgelegt zu:

$$F_d = F_k \pm \Delta F \quad (1b)$$

Kommentar:

C14. Teilsicherheitsbeiwerte sind grundsätzlich bei der Ursache aufprägter oder behinderter Verformungen anzusetzen (vgl. Abschnitt 1, Absatz 1 dieses Anhangs, aber auch P306. des Haupttextes (dieser Stellungnahme)).

Sicherheitselemente ΔF sind insbesondere für Einwirkungen anzusetzen, deren Streuung unabhängig vom Mittelwert ist.

Die Sicherheitsbeiwerte (und die Vorzeichen der Sicherheitselemente) sind unterschiedlich, je nachdem, ob sich eine Einwirkung günstig oder ungünstig auf die Beanspruchung auswirkt.

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_F (und analog ΔF) für Einwirkungen als Einflußgrößen zur Ermittlung der Beanspruchung setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$\gamma_F = \gamma_f \cdot \gamma_{Sd}$$

γ_f bezieht sich ausschließlich auf die jeweilige Einwirkung und ist baustoff- und bauartunabhängig.

Zusammen mit dem charakteristischen Wert F_k berücksichtigt γ_f folgende Unsicherheiten:

- räumliche und zeitliche Streuungen der Einwirkung
- Unsicherheiten des stochastischen Modells zur vereinfachten Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Streuung
- Unsicherheiten bei der vereinfachten Beschreibung der Einwirkung am Tragwerk, z. B. in Form einfacher Lastbilder oder als einfache Funktion gelände- und baukörperabhängiger Parameter.

γ_{Sd} berücksichtigt diejenige Modellunsicherheiten, die im Mittel der Ermittlung der Beanspruchung zugeordnet werden können (vgl. auch Anhang 4).

In der Regel ist γ_{Sd} baustoff- und bauartunabhängig und für alle Einwirkungen gleich. Für bestimmte Tragwerke können hiervon abweichende Festlegungen getroffen werden, um z. B. besondere Systemempfindlichkeiten oder dominierende Streuungseinflüsse zu erfassen.

ANHANG 4

ALLGEMEINE REGELN ZUR BESCHREIBUNG VON MATERIALEIGENSCHAFTEN

Inhalt

- 0 Geltungsbereich
- 1 Allgemeine Regeln
- 2 Charakteristische Werte
- 3 Annahmebedingungen für Lose

0 Geltungsbereich

Dieser Anhang beschränkt sich auf quantitative Eigenschaften konstruktiver Bau-/Werkstoffe, die den rechnerischen Nachweisen der Tragfähigkeit und Gebrauchsfähigkeit zugrunde gelegt werden. Andere, i.a. qualitative Eigenschaften, die gleichermaßen die Beanspruchbarkeit beeinflussen können, sind nicht Gegenstand dieses Anhangs.

1 Allgemeine Regeln

1. Materialeigenschaften sind anhand festgelegter Prüfbedingungen sowie für einen festgelegten Zeitpunkt der Probenentnahme im Zuge des Herstellprozesses definiert.

2. Bei Eigenschaften, die abhängig sind von bestimmten Parametern, z. B. von der Geometrie oder den Abmessungen der Bauteile, und bei denen diese Abhängigkeit nicht oder nur durch eine einfache Klassifizierung anhand dieser Parameter berücksichtigt wird, sind die Prüfbedingungen für die ungünstigsten Parameter festzulegen.

2 Charakteristische Werte

3. Der charakteristische Wert einer für die Trag- oder Gebrauchsfähigkeit maßgeblichen Materialeigenschaft wird durch Auswertung von Prüfergebnissen im Rahmen der Herstellungskontrolle im gesamten Geltungsbereich bestimmt. In angemessenen Zeitabständen muß überprüft werden, ob sich dieser Wert günstig oder ungünstig verändert hat.

4. Bei den Festigkeiten entsprechen die charakteristischen Werte im allgemeinen einer ...%-Fraktile. Dies gilt auch für ... (Angabe weiterer baustoffspezifischer Eigenschaften, sofern relevant).

5. Sofern Festigkeiten oder andere Eigenschaften sich auch ungünstig auf das Erreichen von Grenzzuständen auswirken können, sind auch obere charakteristische Werte, die im allgemeinen einer ...%-Fraktile entsprechen, anzugeben oder im Einzelfall anzunehmen.

6. Bei allen anderen Eigenschaften entsprechen die angegebenen charakteristischen Werte im allgemeinen dem Mittelwert.

Kommentar:

C6. Bei diesen Eigenschaften wird davon ausgegangen, daß deren Streuung sehr gering ist, oder daß der Einfluß von Streuungen auf die Beanspruchbarkeit sehr gering ist.

3 Annahmebedingungen für Lose

7. Bei einzelnen Losen entspricht der charakteristische Wert im allgemeinen kleineren oder auch größeren Fraktilen als für den gesamten Geltungsbereich nach 3. festgelegt. Durch Kontrollen während der Herstellung ist in Verbindung mit Annahmebedingungen für Lose nach Kapitel ... dieses Code sicherzustellen, daß Lose, bei denen der charakteristische Wert einer größeren Fraktile als der des gesamten Geltungsbereichs entspricht, nicht häufiger angenommen werden als zum Zeitpunkt der Festlegung des charakteristischen Wertes (vgl. Absatz 2.).

Anlage 2

ZUM PROBLEM DER DEFINITION VON BAUSTOFF-LOSEN

1. Einführung
2. Produktionsprozess
3. Annahmewahrscheinlichkeit
4. Beurteilungskriterien
5. Literaturverweise

ZUM PROBLEM DER DEFINITION VON BAUSTOFF-LOSEN

1. Einführung

Im Zuge der statistischen Qualitätskontrolle von Baustoffen werden Prüfpläne, Annahmebedingungen, Operationscharakteristiken bis hin zu probabilistisch begründeten Kriterien für die Beurteilung von Prüfplänen /1/ mit großer Aufmerksamkeit beraten und entwickelt. Grundstein dieser ganzen Überlegungen ist das Baustoff-Los. Es werden Stichproben aus einem definierten Los entnommen und das gesamte Los wird aufgrund der Prüfergebnisse statistisch beurteilt.

Bezüglich der Definition von Losen gibt /2/ beispielsweise nur an: "Unter Los wird hierbei eine als Grundgesamtheit betrachtete Produktionsteilmenge verstanden, die jeweils in der betreffenden Stoffnorm definiert wird." D.h. statt einer theoretisch begründeten Hilfestellung erfolgt ein Verweis auf die praktischen Gepflogenheiten. Der einzige Hinweis folgt mit: "Nach Möglichkeit sollen Lose so gewählt werden, daß systematische Trends vernachlässigbar sind".

Im Folgenden wird versucht, die Implikation der Definition eines Loses zu erläutern um hieraus weitergehende Empfehlungen für die Definition von Losen in den Stoffnormen abzuleiten.

2. Produktionsprozess

Als kleinste Baustoff-Einheit gilt der Probekörper, wie er für die Prüfung der interessierenden Eigenschaft verwendet wird. Stellt man sich zunächst eine Serien-Produktion von Baustoffen vor, so entspricht der Produktionsprozess einer (unendlichen) Folge von Probekörpern. Jeder Probekörper würde bei (theoretischer) Prüfung einen Zahlenwert $x(i)$ für die interessierende Eigenschaft X aufweisen (s. Bild 1). Das bedeutet, der Produktionsprozess wird bezüglich der Eigenschaft X als stochastische Folge $X(i)$ - oder allgemeiner, $X(t)$ - realisiert, wobei t einen beliebigen zeitlichen oder örtlichen Parameter darstellt.

Eine derartige Folge kann in folgender Form angeschrieben werden

$$X(t) = m(t) + N(t) \quad (2.1)$$

wobei $m(t)$ den Verlauf des Mittelwerts von X in Abhängigkeit von t angibt, der hier vereinfachend als deterministische Funktion eingeführt wird. $N(t)$ erfaßt als "Rauschen" die jeweilige Abweichung der Eigenschaft vom Mittelwert. D.h. $N(t)$ hat den Mittelwert 0 und eine Autokorrelation von $R(t_i, t_j)$. Eine Folge ohne systematische Trends bedeutet, daß die Mittelwert-Funktion konstant ist und daß die Autokorrelation nur vom Abstand $|t_i - t_j| = \tau$ abhängt, und nicht vom Augenblickswert t_i :

$$m(t) = m = \text{const.} \quad R(t_i, t_j) = R(\tau) \quad (2.2)$$

Unterteilt man eine Folge nach Gl.(2.1) in sukzessive Lose, so entspricht dies der Mittelung ("time average") des Prozesses innerhalb eines Intervalles $2T$

$$y = \frac{1}{2T} \int_{t_j-T}^{t_j+T} x(t) dt \quad (2.3)$$

wobei der Mittelwert von y dem Losmittelwert entspricht ($m_y = m_L$)

$$m_L = \frac{1}{2T} \int_{t_j-T}^{t_j+T} E(X(t)) dt = \frac{1}{2T} \int_{t_j-T}^{t_j+T} m(t) dt$$

und $2T$ die "Größe" des Loses charakterisiert (vgl. Bild 1). Die zugehörige Streuung von X im Los beläuft sich auf $k/2T$

$$s_L^2 = R(0) + \frac{1}{2T} \int_{t_j-T}^{t_j+T} (m(t) - m_L)^2 dt + k/2T \quad (2.4)$$

wobei $R(t_i, t_j) = R(\tau)$ angenommen wurde und außerdem voorausgesetzt wurde, daß $R(\tau)$ von kurzer Dauer gegenüber $2T$ ist. Mit

$$k = \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) dt \quad (2.5)$$

entspricht die Varianz von y etwa $k/2T$. Für $T \rightarrow \infty$ erhält man den Mittelwert und die Streuung in der gesamten Produktions-Linie. Die Streuung s_L^2 hängt maßgeblich von der Mittelwertfunktion $m(t)$

ab. Ist $m(t)$ bekannt - was aber bestenfalls nur bei periodischem Verlauf der Fall sein kann - sind m_L und s_L^2 für beliebige Losgrößen bestimmbar. Betrachtet man einen einfachen Verlauf z.B. nach Bild 2, wird für eine Losgröße $2T = \lambda$

$$\begin{aligned} m_L &= m + A \\ s_L^2 &= R(0) + k/\lambda \end{aligned}$$

und für eine Losgröße $2T = 2\lambda$

$$\begin{aligned} m_L &= m \\ s_L^2 &= A^2 + R(0) + k/2\lambda \end{aligned}$$

Sofern die Produktionslinie ausgeprägte Lose aufweist, äußert sich eine zutreffende Losdefinition darin, daß bei einer potentiellen Vergrößerung des Loses s_L^2 deutlich zunimmt, wohingegen eine potentielle Verkleinerung des Loses zu keiner Verringerung der Streuung s_L^2 führt.

3. Annahmewahrscheinlichkeit

Anhand der einfachen Annahmebedingung für Lose mit bekannter Streuung s_L^2 , nämlich

$$\begin{aligned} x > xc & \text{ dann Annahme} \\ x < xc & \text{ dann Rückweisung} \end{aligned}$$

sei im Folgenden der Einfluß der Losstreuung s_L^2 verfolgt. Für o.g. Abnahmebedingung erhält man als Annahmewahrscheinlichkeit - im Sinne einer Annahmerate von Losen - von /1/

$$P(A) = \Phi \left(\frac{m - xc}{s_L \sqrt{1/n + 1/ne}} \right) \quad (3.1)$$

wobei m der Mittelwert der betrachteten Produktion und s_L^2/ne die Streuung der Mittelwerte in der Produktion, so daß die Gesamtstreuung $s_L^2(1 + 1/ne) = s_p^2$ beträgt.

Je kleiner der Nenner in Gl.(3.1), desto größer wird die Annahmewahrscheinlichkeit. Läßt man die Produktion d.h. m und s_p unverändert und variiert nur die Losgröße, d.h. s_L und entsprechend n , so erkennt man anhand des Nenners

$$s = \sqrt{1/n + 1/ne} = \sqrt{s_p^2 - s_L^2(1 - 1/n)} \quad (3.2)$$

daß die Annahmewahrscheinlichkeit $P(A)$ mit zunehmender Losstreuung und ggf. mit der Losgröße proportional zunehmendem Stichprobenumfang zunimmt.

Dies sei am Beispiel von Bild 2 zahlenmäßig dargestellt. Erhielt man beispielsweise für die Losgröße $2T = \lambda$ eine Annahmewahrscheinlichkeit von $P(A) = 0.90$

$$\frac{m - xc}{\sqrt{A^2 + (R(0) + k/\lambda)/n}} = 1.28$$

so erhält man für eine Losgröße $2T = 2\lambda$ eine Annahmewahrscheinlichkeit von beispielsweise $P(A) = 0.995$ sofern $A^2 = R(0) = 0.2 \gg k/2\lambda$:

$$\frac{m - xc}{\sqrt{(A^2 + R(0) + k/2\lambda)/(2n)}} = 3.6 \quad (\text{für } n=3)$$

Somit wird deutlich, daß seitens des Herstellers nur Interesse an möglichst "großen" Losen bestehen kann - außer daß das Rückweisungsrisiko mit der im Einzelfall rückweisbaren Produktmenge zunimmt. Ist das Risiko nur durch die insgesamt erwartete, rückgewiesene Produktmenge bestimmt, gilt: je größer die Lose, je kleiner das Rückweisungsrisiko - bei gleicher Qualität der Produktion.

4. Beurteilungskriterien

An dem trivialen Beispiel von Bild 2 ist die Wirkung einer "großen" Losdefinition offensichtlich: minderwertigere Teilmengen werden mit höherwertigen Teilmengen "vermischt". Abgesehen von dem Umstand, daß bei einer derartigen Produktion mit bekannter Periode (2λ) eine Schwachstellen-Prüfung wirksamer wäre, muß festgestellt werden, daß die Akzeptanz solcher heterogener Lose seitens des Abnehmers sehr von der Art der Verwendung des Produkts/Baustoffs bestimmt sein könnte:

Werden ohnehin verschiedene Lose beim Einbau gemischt und verhält sich die interessierende Eigenschaft im eingebauten Zustand als paralleles System, spielt die Heterogenität der einzelnen Lose eine untergeordnete Rolle. Verhält sich die Eigenschaft im eingebauten Zustand als Seriensystem, bestimmen die minderwertigen Teilmengen das Gesamtverhalten.

Daraus folgt zunächst, daß die Bedeutung einer zutreffenden Losdefinition vom Baustoff und der betreffenden Eigenschaft abhängt.

Handelt es sich um eine Produktion, die schon für einen längeren Zeitraum einer Überwachung unterliegt, können folgende Kriterien angegeben werden:

- ist die Streuung innerhalb der Lose etwa konstant und streuen die Losmittelwerte nur vernachlässigbar, d.h. ne ist sehr groß,
 - * dann sind Lose als zu groß definiert
 - * oder die Produktion weist keine ausgeprägten Lose auf wobei im zweiten Fall eine losweise Beurteilung unsinnig ist und ein grundsätzlich geänderter Prüfplan erforderlich ist (z.B. vollständige Kontrolle indirekter Merkmale und/oder nur Kontrolle auf Trends)
- ist die Streuung innerhalb der einzelnen Lose nicht konstant aber streuen die Losmittelwerte dennoch nur vernachlässigbar, d.h. ne ist wieder sehr groß
 - * dann sind Lose ebenfalls als zu groß definiert
 - * oder aber, Lose unterscheiden sich tatsächlich nur hinsichtlich ihrer jeweiligen Streuung wobei im zweiten Fall ggf. systematische Streuungseinflüsse zu untersuchen sind.

Betrachtet man den Bemessungswert z.B. einer normalverteilten Eigenschaft X

$$x_d = m - \alpha * \beta * s_L \sqrt{(1 + 1/n_e)} \quad (4.1)$$

und dem gegenüber den Schätzwert für den Bemessungswert x_d im Los aufgrund von n Prüfergebnissen (ohne Vorinformation), so gilt

$$x_d = x - \alpha * \beta * s_L \sqrt{(1 + 1/n)} \quad (4.2)$$

Für $n = n_e$ entspricht der Erwartungswert des Schätzwertes für x_d im Los dem Bemessungswert x_d in der Gesamtproduktion. Es erscheint als durchaus plausible Forderung, nur Lose bei der Überwachung anzunehmen, deren Bemessungswert zumindest im Mittel nicht kleiner ist als jener für die Gesamtproduktion. Diese Zusammenhänge gelten gleichermaßen für den charakteristischen Wert).

Mit der Forderung $n = n_e$ wird die Losgröße indirekt festgelegt: die "Größe" von Losen wird an ihrer Heterogenität im Vergleich zur Gesamtproduktion gemessen und der zugehörige Stichprobenumfang wird in Abhängigkeit dieser relativen Heterogenität festgelegt. Streut die betreffende Eigenschaft im Los nur gering im Vergleich zur Gesamtstreuung, genügt ein kleiner Stichprobenumfang n ; bei starker Heterogenität des Loses, d.h. die Losstreuung ist nicht viel kleiner als die Gesamtstreuung, ist ein großer Stichprobenumfang erforderlich - bis hin zur vollständigen (dann im allgemeinen indirekten) Prüfung.

Das Kriterium $n = n_e$ gilt im übrigen auch für Prüfpläne mit unbekannter Losstreuung ("σ - unbekannt"), und zwar bei einem äquivalenten Freiheitsgrad der Produktion $ve = n_e - 1$ exakt, andernfalls näherungsweise.

In Gl.(4.1) wurde Bezug genommen auf die Gesamtproduktion eines Herstellers, bzw. auf die durchschnittliche Gesamtproduktion von Herstellern. Bei Bezug auf die Gesamtproduktion aller Hersteller, die genaugenommen den Bemessungswerten der Bemessungsnormen zugrundeliegen sollten, verringert sich zwangsläufig n_e aufgrund

der zunehmenden Heterogenität in der vergrößerten Betrachtungseinheit. Somit würde sich auch der Stichprobenumfang $n = n_e$ verringern. Allerdings müßte dann aber auch der Differenz zwischen dem Hersteller-Mittelwert und dem Mittelwert aller Hersteller Rechnung getragen werden, so daß man Hersteller abhängige Stichprobenpläne erhielte.

Für neue Produktionen kann n_e zwangsläufig nur geschätzt werden um nach Vorliegen entsprechender Überwachungsergebnisse überprüft zu werden.

Abschließend sei festgestellt, daß der eingangs erwähnte Hinweis in /2/ auf etwaige Trends in Losen durch folgende allgemeine Regel ersetzt werden sollte: "Lose sind so zu definieren, daß die Streuung innerhalb eines Loses deutlich kleiner ist als die Gesamtstreuung. Ist dies nicht möglich, ist eine losweise Beurteilung der Produktion unzweckmäßig".

5. Literatur

- /1/ Rackwitz, R. Predictive distribution of strength under control. Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke. Sonderforschungsbereich 96, TU München (1982) H.66
- /2/ NaBau im DIN. Grundlagen zur Festlegung von Anforderungen und von Prüfplänen für die Überwachung von Baustoffen und Bauteilen mit Hilfe statistischer Betrachtungsweisen
- /3/ Papoulis, A. Probability, random variables, and stochastic processes. McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo 1965

Bild 1 Darstellung einer Serien-Produktion als zufällige Folge

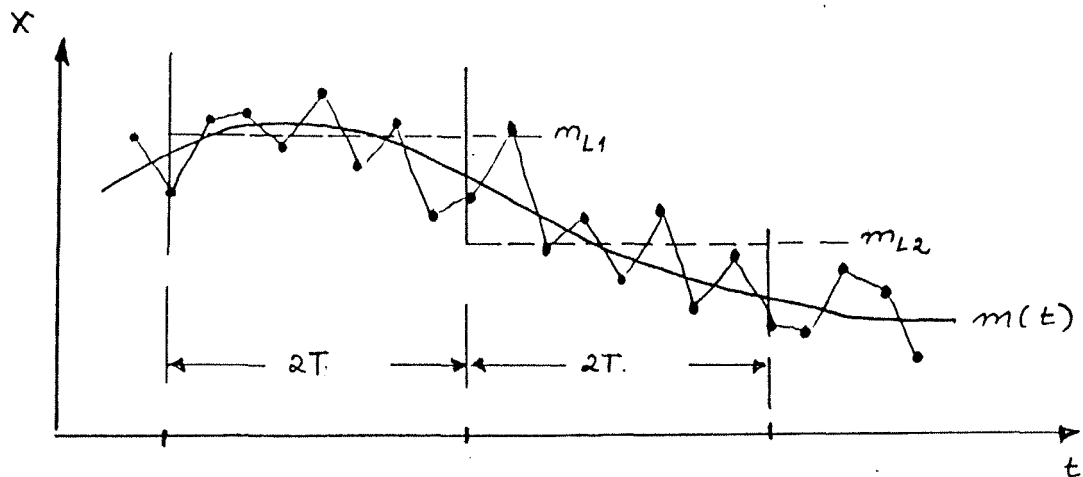
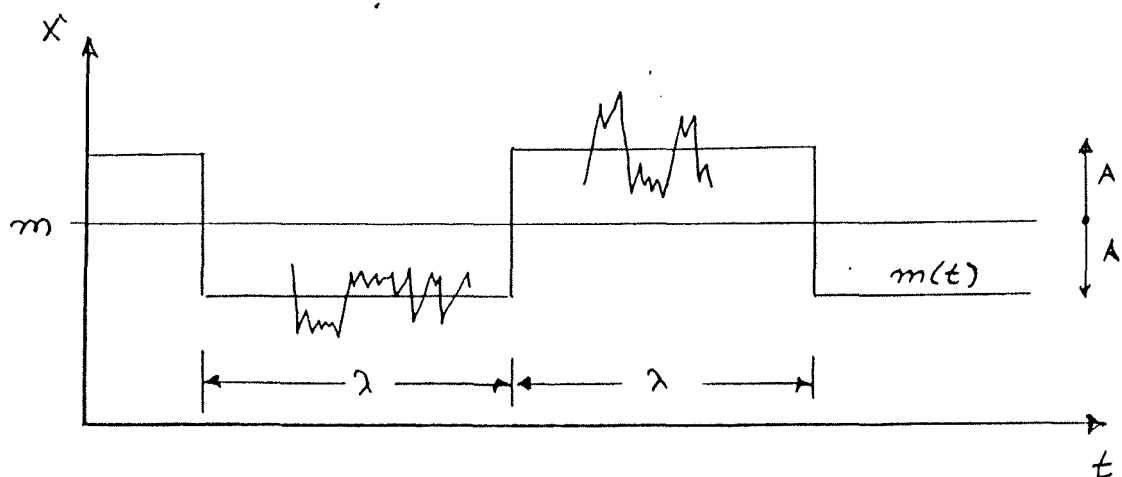


Bild 2 Schematischer Produktionsprozess mit bekannter periodischer Mittelwert-Funktion



STATISTISCHE FRAGEN BEI BAUSTOFFPRÜFUNGEN
AN BESTEHENDEN TRAGWERKEN

1. Fragestellung
2. Statistische Struktur von Baustoffen
3. "Alte" Baustoffe
 - 3.1 Auswertung bisheriger Prüfergebnisse
 - 3.2 Auswertung aktueller Baustoffprüfungen
4. Neuere Baustoffe
 - 4.1 Auswertung von Güteprüfungen
 - 4.2 Festigkeitsprüfungen am bestehenden Tragwerk
5. Zusammenfassung
6. Literaturverweise

1. Fragestellung

Bei der Beurteilung bestehender Tragwerke stellt sich häufig die Frage nach den anzusetzenden Festigkeiten der eingebauten Bau- bzw. Werkstoffe. Dabei kann es sich um heute nicht mehr gebräuchliche Baustoffe handeln, oder aber um gebräuchliche Baustoffe, wobei aber im Einzelfall Unsicherheit besteht, ob die Kennwerte der technischen Regeln anwendbar sind. In solchen Fällen werden Baustoffproben für Festigkeitsprüfungen entnommen um anhand der Prüfergebnisse und anderen, indirekten Messungen und Beobachtungen, Festigkeitswerte für die statische Berechnung zu ermitteln.

Zugegebenermaßen stellt die Auswertung derartiger Prüfergebnisse im Gesamtrahmen der Tragwerksbeurteilung nur ein sehr untergeordnetes Problem dar. Andererseits zeigt jedoch die Methodik einer statistischen Auswertung zumindest auf, wie Prüfungen am wirksamsten eingesetzt werden können.

Elementar ist die Feststellung, daß die Anzahl von Proben, die aus einem bestehenden Tragwerk entnommen werden können, begrenzt ist. Folglich muß entweder die Prüfaussage begrenzt werden, oder aber anderweitige Information muß beschafft werden. Dabei liefern die bislang bekannten indirekten Meßverfahren nur sehr schwache Beziehungen zwischen indirekt bestimmten Eigenschaften und den interessierenden Festigkeitseigenschaften.

2. Statistische Struktur von Baustoffen

Zunächst soll auf die statistische "Struktur" von Baustoffen eingegangen werden /1,2/. Die kleinste hier betrachtete Einheit sei der Probekörper wie er zur Normprüfung verwendet wird. Als nächste Einheit sei das Baustoff-Los eingeführt, wobei die Problematik der Definition von Losen hier nicht verschwiegen werden soll (vgl. hierzu /3/). Ein Tragwerk besteht hinsichtlich eines Baustoffes somit aus verschiedenen Losen - vom gleichen, oder auch von verschiedenen Herstellern. Betrachtet man im nächsten Schritt die Festigkeitsangaben in den Bemessungsnormen, so müssen diese alle Lose in allen Tragwerken abdecken, die von allen Herstellern aufgrund der zugehörigen Stoffnormen bzw. Baustoffvor-

schriften hergestellt werden. Und betrachtet man schließlich noch den zeitlichen Wandel von Baustoff-Vorschriften, so ergibt sich - ausgehend von der kleinsten Einheit, der Probe - folgende Hierarchie:

- ein Los
- ein Tragwerk mit Losen eines oder verschiedener Hersteller
- alle Tragwerke im Geltungsbereich einer Baustoff-Vorschrift
- Tragwerke einer Baustoffart, hergestellt nach den jeweils geltenden Baustoff-Vorschriften.

Dabei nimmt die Streuung von Eigenschaften mit zunehmender Größe der Betrachtungseinheit zwangsläufig zu. Dabei handelt es sich schon bei Losen verschiedener Hersteller, u.U. schon um systematische, d.h. nicht mehr rein zufällige Unterschiede. Dies gilt umso mehr bei Losen, die aufgrund verschiedener Baustoff-Vorschriften hergestellt wurden.

Systematische Abweichungen können auch nur aufgrund unterschiedlicher Abnahmebedingungen in den Vorschriften auftreten oder aufgrund von Änderungen der Herstellverfahren im Rahmen einer geltenden Vorschrift.

3. "Alte" Baustoffe

3.1 Auswertung bisheriger Prüfergebnisse

Als "alte" Baustoffe gelten hier Baustoffe, die nicht mehr gebräuchlich sind oder die aufgrund veränderter Herstell- oder Abnahmebedingungen nicht mit den heutigen Baustoffen vergleichbar sind. Außer den etwaigen Prüfergebnissen an entnommenen Proben liegen in der Regel keine quantitativen Informationen über den Baustoff im zu beurteilenden Bauwerk vor.

Allerdings handelt es sich in der Regel nurmehr selten um die erstmalige Beurteilung eines alten Baustoffes und die Materialprüfämter verfügen mittlerweile über Prüfergebnisse an anderen, früher beurteilten Bauwerken. Sofern diese Ergebnisse zur Verfügung stehen und die Herkunftsangaben ausreichen um abzuschätzen

ob die geprüften Baustoffe technisch vergleichbar sind, sollten diese Ergebnisse statistisch aufbereitet werden. Methoden hierfür sind verschiedentlich schon veröffentlicht worden /4,5/ und werden daher hier nicht wiederholt.

Für die Auswertung früherer Prüfergebnisse fehlt häufig eine entscheidende Angabe und zwar über die Art der Stichprobenentnahme. Das bedeutet, daß die Proben zwar einem Bauwerk (und Herstelljahr) zugeordnet werden können, aber es ist nicht bekannt, ob die Proben nur aus einem Bauteil gewonnen wurden, oder über das Tragwerk verteilt entnommen wurden. Hier empfiehlt sich die Annahme, daß die Proben jeweils aus einem "Los" entstammen. In jenen Fällen in denen die Daten vornehmlich nur aus Proben aus jeweils einem Bauteil stammen, wird die Streuung innerhalb eines Loses als zu klein geschätzt, dafür wird jedoch die Streuung zwischen Losen zu groß geschätzt. Beruhen die Daten vornehmlich aus einer über das Bauwerk verteilten Probenentnahme, wird die Streuung innerhalb eines Loses zu groß geschätzt, dafür die Streuung zwischen den Losen als zu klein.

Mit den vorgenannten Methoden wird eine Baustoff-Population hinsichtlich einer Eigenschaft anhand der folgenden Parameter statistisch beschrieben:

- Mittelwert m und Standardabweichung s_L (im Los)
- äquivalenter Stichprobenumfang n_e und Freiheitsgrad ve

und sind wie folgt zu interpretieren:

Die Mittelwerte der zusammengefaßten Prüfergebnisse streuen so wie die Mittelwerte von Stichproben vom Umfang n_e aus einem Los mit Mittelwert m . Die Standardabweichungen der zusammengefaßten Prüfergebnisse streuen so wie die Standardabweichungen von Stichproben vom Umfang $(ve + 1)$ aus einem Los mit Standardabweichung s_L .

Somit wird die Heterogenität der - aufgrund der zusammengefaßten Prüfergebnisse bestimmten - Population anhand der Parameter n_e (äquivalenter Stichprobenumfang) und ve (äquivalenter Freiheitsgrad) charakterisiert.

Bisher vorgenommene Auswertungen zeigen, daß - wie zu erwarten - solche Populationen sehr heterogen sein können, d.h. die Parameter n_e und v_e können viel kleiner als 1.0 werden. Als Vorinformation ist eine solche Population unbrauchbar (vgl. z.B. Gl.(3.1)). Somit gilt es, Teilpopulationen zu suchen, die homogener sind; d.h. für die n_e und $v_e \geq 1.0$. Dies wird i.a. durch zeitliche Abstufung u.B. der Entwicklungsgeschichte der Baustoff-Herstellung und Vorschriften erzielt.

So ergab beispielsweise eine Auswertung von Flußstahlprüfungen mit Herstelljahren 1889-1925 Heterogenitätsparameter n_e und $v_e \ll 1.0$ sofern man den gesamten Zeitraum betrachtete. Bei einer Unterteilung in Stähle vor und nach 1900, erhält man Parameter zwischen 3.0 und 4.0 für Stähle nach 1900 und immerhin noch knapp über 1.0 für Stähle vor der Jahrhundertwende. Da die Daten aus einer sehr spezifischen Anwendung stammten, sollen diese Angaben nur als Beispiel verstanden werden.

Es muß auch darauf hingewiesen werden, daß sehr kleine Parameter n_e und v_e auch aufgrund unterschiedlicher Arten der Probenentnahme zurückgeführt werden können. Wie zuvor erwähnt, können die Stichproben zum Teil nur aus einem Bauteil, zum Teil aus mehreren Bauteilen und zum Teil über das Bauwerk verteilt gewonnen sein. Zumindest für die Baustoffe Beton und Stahl empfiehlt es sich in solchen Fällen eine Auswertung auch mit der Annahme "Standardabweichung im Los konstant" durchzuführen, wobei die Standardabweichung dann aus der durchschnittlich beobachteten Stichprobenstreuung ermittelt wird.

3.2 Auswertung aktueller Baustoff-Prüfungen

Baustoffprüfungen können mit zwei Zielsetzungen verfolgt werden

- a) um Informationen über bestimmte "kritische" Tragwerksbereiche zu erhalten
- b) um Aussagen über den Baustoff im gesamten Tragwerk zu machen

Die Zielsetzung bestimmt die Art der Probenentnahme, die Auswertung und naturgemäß die in der statischen Berechnung zu berücksichtigenden Festigkeitswerte.

3.2.1 Beurteilung kritischer Tragwerksbereiche

Eine Probenentnahme unmittelbar aus kritischen Bauteilen ist aus Gründen der Schwächung gerade der kritischen Bauteile bekanntlich nicht empfehlenswert. Üblicherweise werden Proben dann in der "Nähe" der kritischen Bereiche entnommen. Dabei sollte die "Nähe" dahingehend präzisiert werden, daß die Proben aus dem gleichen Los wie die kritischen Tragwerksbereiche entnommen werden.

Für die Beurteilung der Proben dahingehend, ob sie dem gleichen Los wie die kritischen Bauteile zugeordnet werden können, kann zunächst eine Rekonstruktion des Bauablaufs Hinweise geben. Darüber hinaus sei auf die Eingangs angesprochenen indirekten Messungen verwiesen. Auch wenn die Korrelation von Merkmalen der indirekten Prüfung zu den interessierenden Festigkeiten gering ist, können diese Messungen ggf. Hinweise für die Identifikation gleicher bzw. unterschiedlicher Lose innerhalb des Bauwerks geben.

Unter der Voraussetzung, daß die bisherigen Prüfergebnisse als Stichprobenergebnisse aus Losen interpretiert werden und wie in Abschnitt 2 beschrieben ausgewertet wurden, kann diese Beschreibung als Vorinformation für die Verteilung des Mittelwerts und der Streuung in dem zu beurteilenden (kritischen) Los verwendet werden.

Die Verfahren zur Berücksichtigung von Vorinformation bei der Auswertung von Stichprobenergebnissen sind schon vielfach veröffentlicht worden (/6,7/ und auch /8/). Da es hier nur um die Methodik geht, werden die Formeln nur für den Fall "Standardabweichung im Los konstant" angeschrieben.

Für das kritische Los wurde ein Stichprobenmittelwert \bar{x}_k aufgrund von n_k Stichprobenergebnissen ermittelt. Die Auswertung früherer Stichprobenergebnisse liefert als Vorinformation einen Mittelwert m , einen äquivalenten Stichprobenumfang n_e und eine bekannte (oder Mindest-) Standardabweichung s_L der Festigkeitseigenschaft im Los (Bezeichnung s anstelle der üblichen Bezeichnung σ_L). Dann ist

$$n' = n_e + n_k \quad (3.1a)$$

$$\bar{x}' = (n_k \cdot \bar{x}_k + n_e \cdot m) / n' \quad (3.1b)$$

Der Bemessungswert der interessierenden Festigkeitseigenschaft im kritischen Los beträgt dann

$$x_d = x' - \alpha \cdot \beta \cdot s_x \quad (3.1c)$$

mit
$$s_x = s_L \cdot \sqrt{(1 + 1/n')} \quad (3.1d)$$

wobei x vorzugsweise als $x = b(\ln y)$, mit y den tatsächlich beobachteten Werten zu definieren ist.

Der Bemessungswert für die Festigkeitseigenschaft in allen anderen Tragwerksbereichen ist dann NUR aufgrund der Vorinformation zu bestimmen, d.h. mit

$$s_x = s_L \cdot \sqrt{(1 + 1/n_e)}$$

außer, daß die Streuung (s_M^2) der Losmittelwerte innerhalb des Tragwerks in Form von

$$s_M^2 = s_L^2 / n_t \quad (3.2a)$$

zuverlässig abgeschätzt werden kann. Dann kann der Bemessungswert für die Festigkeitseigenschaft in allen anderen Tragwerksbereichen mit

$$s_x = s_L \cdot \sqrt{1 + 1/n' + (2/n_t) \cdot (n_k/n')^2} \quad (3.2b)$$

gesetzt werden. Anzumerken ist jedoch, daß die Streuung der Losmittelwerte innerhalb eines Tragwerks zumindest bei alten Baustoffen nur subjektiv abgeschätzt werden kann. Die konservative Annahme $n_t = n_e$ ist im Übrigen unbrauchbar, da hiermit für $n_k \rightarrow \infty$ die Streuung s_x^2 sich gegenüber der Streuung in der Gesamtpopulation verdoppelt.

Über die hier beschriebene Auswertung hinausgehend, sollte grundsätzlich auch die aktuelle Stichproben-Standardabweichung (\hat{s}_k) beurteilt werden, auch wenn im Rahmen der Vorinformation die Standardabweichung als konstant angesetzt wurde. Für $\hat{s}_k > s_L$ sollte eine Schätzung für den Fall "Standardabweichung im aktuellen Los unbekannt" erfolgen, mit $ve = (1 - ne)$.

3.1.2 Baustoffe im Gesamttragwerk

Können einzelne (kritische) Lose nicht identifiziert werden, so erfolgt die Stichprobenentnahme über das Tragwerk verteilt, wobei die Lose aller maßgebenden Bauteile erfaßt werden sollten. Umfaßt das Tragwerk schätzungsweise k Lose und wurden über das Tragwerk verteilt n Proben entnommen, so werden zunächst Stichproben-Mittelwert \bar{x} und -streuung \hat{s}_T nach den üblichen Formeln ermittelt.

Die Auswertung früherer Stichprobenergebnisse liefere wieder einen Mittelwert m , einen äquivalenten Stichprobenumfang ne und eine bekannte (oder Mindest-) Standardabweichung s_L der Festigkeitseigenschaften im Los. Diese Vorinformation für ein Los muß nun umgerechnet werden in eine Vorinformation für den Mittelwert von k Losen; es gilt

$$E((\sum m_j)/k) = m \quad (3.3a)$$

$$D^2((\sum m_j)/k) = s_L^2/(k \cdot ne) \quad (3.3b)$$

Die Streuung der Eigenschaft innerhalb von k Losen wird mit

$$s^2(k) = s_L^2 \cdot \sqrt{1 + (k-1)/(k \cdot ne)} \quad (3.3c)$$

als bekannt unterstellt, d.h. anstelle einer bekannten Losstreuung sei die Streuung von k Losen bekannt. Hiermit erhält man für den Mittelwert der Eigenschaft im Tragwerk folgenden Schätzer

$$\bar{x}' = (n \cdot \bar{x} + k \cdot ne \cdot m)/n' \quad (3.3d)$$

mit $n' = n + k \cdot ne$

Mit der gemäß Gl.(3.3c)) als bekannt unterstellten Streuung innerhalb von k Losen bestimmt sich dann der Bemessungswert x_d mit folgender Streuung s_x

$$s_x = s_L * \sqrt{\left(1 + \frac{(k-1)}{(n_e * k)}\right) * \left(1 + \frac{1}{n'}\right)} \quad (3.3e)$$

Sofern die empirische Streuung größer ist als die unterstellte Streuung $s^2(k)$ empfiehlt sich wiederum eine Schätzung für eine unbekannte Streuung in k Losen.

4. Neuere Baustoffe

4.1 Auswertung von Güteprüfungen

Als "neuere" Baustoffe gelten hier Baustoffe, die zum Zeitpunkt ihrer Herstellung schon einer Güteprüfung im heutigen Sinn unterlagen und für die die Überwachungsergebnisse zumindest noch teilweise vorliegen.

Eine statistische Aufbereitung dieser Ergebnisse, in der schon in Abschnitt 3.1 genannten Form liefert wieder

- Mittelwert m und Standardabweichung s_L (im Los)
- äquivalenter Stichprobenumfang n_e und Freiheitsgrad v_e

Für Beton sind die Ergebnisse einer derartigen Auswertung schon in /1/ dargestellt, wobei sich diese Auswertung - aufgrund einer anderen Fragestellung - nur auf die letzten Jahre beschränkt. Wie in Abschnitt 3.1 gilt es auch hier, zweckmäßige Teil-Populationen zur Erfassung zeitlicher Trends (ggf. auch regionaler Unterschiede) zu verfolgen.

Liegen in Einzelfällen die Überwachungsergebnisse für das zu beurteilende Bauwerk vor, können i.a. ausschließlich anhand dieser Ergebnisse Festigkeits-Kennwerte für das zu beurteilende Tragwerk abgeleitet werden. Können darüber hinaus für kritische Tragwerksteile die zugehörigen Überwachungsergebnisse identifiziert werden, können die berechneten Parameter für das Gesamt-Tragwerk als Vorinformation für das kritische Los zugrunde gelegt werden.

4.2 Festigkeitsprüfungen am bestehenden Tragwerk

Sofern die früheren Ergebnisse von Abnahmeprüfungen im Rahmen der Güteüberwachung dergestalt ausgewertet sind, wären Festigkeitsprüfungen am bestehenden Bauwerk nur noch dann erforderlich,

- wenn Unsicherheiten bezüglich etwaiger Alterungseinflüsse bestehen
- wenn vermutet wird, daß der Baustoff (bereichsweise) nicht den Abnahmebedingungen, wie sie der jeweiligen Gesamt-Population zugrunde liegen, genügt (und keine Überwachungsergebnisse für das spezielle Bauwerk vorliegen).

Allerdings muß erwähnt werden, daß in diesen Fällen die Parameter einer Gesamt-Population auch nur bedingt für die Beurteilung herangezogen werden können. Im erstgenannten Fall kann sich die Prüfung jedoch auf eine Mittelwert-Korrektur der Population beschränken; im zweiten Fall kann zunächst ein Identitätstest erfolgen. Wird dieser abgelehnt, ist zwangsläufig die Vorinformation nicht verwendbar.

5. Zusammenfassung

Die Beurteilung bestehender Bauwerke nimmt einen zunehmenden Anteil an den heutigen Ingenieurleistungen ein. Speziell den Detailaspekt der Beurteilung der Festigkeitseigenschaften betreffend,

- ist es erforderlich, daß die verfügbaren Informationen
- aus schon durchgeführten Baustoffprüfungen und/oder
 - noch vorhandenen Aufzeichnungen der Güteüberwachung
- entsprechend aufbereitet werden.

Eine solche Aufbereitung sollte Grundlage für die Festlegung von Bemessungswerten in jenen Fällen sein, wo keine speziellen Festigkeitsprüfungen durchgeführt werden. Für die Auswertung aktueller Festigkeitsprüfungen würde diese statistische Beschreibung der jeweiligen Gesamtpopulation als Vorinformation (Priori-Verteilung) dienen.

Mittels dieser Information können sich Festigkeitsprüfungen an bestehenden Gebäuden sinnvollerweise auf kritische Bereiche beschränken. In diesem Fall erfolgt die Probenentnahme in jenem Los, die den kritischen Bereichen zugeordnet werden kann. Ist eine solche Zuordnung nicht möglich, oder aber, sind ausgesprochen kritische Bereiche nicht identifizierbar, erfolgt eine über das Tragwerk verteilte Probenentnahme. Ein wesentlicher Informationsgewinn (gegenüber der Vorinformation - sofern sie zutreffend ist) wird in diesen Fällen nur erzielt, wenn die Gesamtpopulation eine ausgeprägte Heterogenität aufweist.

5. Literaturverweise

- /1/ Rachwitz, R. Predictive distribution of strength under control. Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Tragwerke. Sonderforschungsbereich 96, TU München (1982) H.66
- /2/ Joint Committee on Structural Safety. Basic Notes on Actions and Resistances (in Überarbeitung)
- /3/ Kersken-Bradley, M. Zum Problem der Definition von Baustoff-Losen. Forschungsbericht Institut für Bautechnik, Berlin, (1986), Nr.
- /4/ Pöhlmann, S., Rackwitz, R. Zwei Schätzprobleme bei Gaußschen Folgen. Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Tragwerke. Sonderforschungsbereich 96, TU München (1981) H.53
- /5/ Kendall, M. Stuart, A. The advanced theory of statistics Vol.1,2 London:Griffin&Comp. 1979
- /6/ Rackwitz, R. Zur Statistik von Eignungs- und Zulassungsversuchen für Bauteile. Bauingenieur 56 (1981), S. 103-107
- /7/ Kersken-Bradley, M., Diamantidis, D. Sicherheit von Baukonstruktionen. Handbuch der Sicherheitstechnik, Kap.1.7 Carl Hanser Verlag (1985)
- /8/ Institut für Bautechnik: Grundlagen zur Beurteilung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten im Prüfzeichen- und Zulassungsverfahren (1986)

VORINFORMATION BEI DER
STATISTISCHEN BEURTEILUNG VON LOSEN

1. Einführung
2. Vorangegangene Produktion
3. Rekursive Schätzung
4. Folgerung
5. Literaturverweise

VORINFORMATION BEI DER STATISTISCHEN BEURTEILUNG VON LOSEN

1. Einführung

Anerkanntermaßen dient die statistische Qualitätskontrolle in erster Linie der Sicherung des Qualitätsniveaus der Gesamtproduktion. Die tatsächliche Aussagekraft bezüglich der Qualität eines bestimmten Loses ist sehr begrenzt - allein schon aufgrund des begrenzten Stichprobenumfangs. Aufgrund dessen ist man bemüht verschiedene Arten der Vorinformation bei der statistischen Beurteilung von Losen zu erfassen.

Die gebräuchlichste Art der Vorinformation ist die Annahme "σ im Los bekannt". Vorinformation über die Heterogenität in einem Los kann durch entsprechende "geschichtete Stichprobenentnahme" berücksichtigt werden. Vorinformation über Schwachstellen führt zur Schwachstellen-Prüfung, usw. (siehe /1/).

Die Möglichkeit, Ergebnisse vorangegangener Prüfungen bei der Beurteilung eines aktuellen Loses zu berücksichtigen, wird dabei nur sehr zögerlich verfolgt. Ein Ansatz hierfür wird im Folgenden zur Diskussion gestellt.

2. Vorangegangene Produktion

Mathematische Methoden zur Beschreibung eines Produktionsangebotes aufgrund vorliegender Prüfergebnisse an Losen, beruhen auf einer Maximum-Likelihood Schätzung der Parameter m , s , n_e und v_e einer Normal-Gamma-Verteilung /2,3/. Für den Fall, daß die Streuung der interessierenden Eigenschaft im Los näherungsweise als konstant angenommen werden kann, vereinfacht sich die Schätzung zu den folgenden, weitläufig bekannten Formeln:

$$m = (\sum \bar{x}_i) / k \quad (2.1a)$$

$$sm^2 = \sum (\bar{x}_i - m)^2 / (k-1) \quad (2.1b)$$

$$s^2 = (\sum si^2)/k \quad (2.1c)$$

$$ne = (sm/s)^{-2} \quad (2.1d)$$

Liegen bislang Beobachtungen aus k Losen vor, kann die bisherige Produktion anhand vorgenannter Parameter beschrieben werden. Die bisherige Produktion kann gleichermaßen für die Beurteilung eines aktuellen Loses herangezogen werden: die Normal-Gamma-Verteilung mit den geschätzten Parametern, dient als Priori-Verteilung für den unbekanntem Mittelwert und die unbekanntem Streuung im Los. (Bei als konstant vorausgesetzter Losstreuung liefert die Normalverteilung mit vorgenannten Parametern entsprechend nur die Priori-Verteilung für den unbekanntem Mittelwert im Los).

Gemäß /4/ erfolgt z.B. die Schätzung des Mittelwerts im Los aufgrund des Stichprobenmittelwerts \bar{x}_i und Probenumfangs n u.B. der Vorinformation zu

$$\bar{x}'_i = (n \cdot \bar{x}_i + ne \cdot m)/n' \quad n' = n + ne \quad (2.2)$$

Verfolgt man die Wirkungsweise einer solchen Schätzung, so bewirkt die Schätzung mit Vorinformation aus der vorangegangenen Produktion grundsätzlich eine "Mittelung". Dies kann anhand der Streuung der Mittelwerte nachvollzogen werden. Bezeichnet sm^2 die Streuung der der Los- bzw. Stichprobenmittelwerte, verringert sich der Streuung der mit Vorinformation geschätzten Losmittelwerte gemäß

$$sm' = sm / (1 + (ne/n)) \quad (2.3)$$

Sofern es sich um einen streng stationären Prozess handelt, ist diese Wirkungsweise durchaus akzeptabel. Sofern Trends nicht auszuschließen sind, werden etwaige Trends jedoch mit entsprechender Verzögerung und eben auch nur abgemindert erfaßt.

3 . Rekursive Schätzung

Führt man in Gl.(2.2) anstelle des Mittelwerts m , wie er für die vorangegangene Produktion ermittelt wurde, den jeweils vorangegangenen Schätzer ein

$$\bar{x}'_i = (n \cdot \bar{x}_i + ne \cdot \bar{x}'_{i-1}) / n' \quad (3.1)$$

entspricht dies einer Gewichtung der vorangegangenen Produktion in Abhängigkeit ihres "Abstands" zum aktuellen Los. Dies wird deutlich, wenn man die resultierende Reihe anschreibt

$$\begin{aligned} \bar{x}'_i &= n \cdot (a^0 \cdot \bar{x}_i + a^1 \cdot \bar{x}_{i-1} + a^2 \cdot \bar{x}_{i-2} + \dots + a^k \cdot \bar{x}_{i-k} + \dots + a^{i-1} \cdot x_1) / n' \\ &= n \sum a^k \cdot \bar{x}_{i-k} / n' \end{aligned} \quad (3.2)$$

Dabei gilt für a

$$a = ne / n' \quad (3.3)$$

In der praktischen Anwendung bestimmt man sich aufgrund der Ergebnisse der vorangegangenen Prüfungen den äquivalenten Stichprobenumfang ne nach Gl.(2.1d). Dann berechnet man erstmals den Schätzer für das aktuelle Los nach Gl.(3.2). Für alle folgenden Lose verwendet man dann nurmehr den Schätzer nach Gl.(3.1) mit \bar{x}'_{i-1} dem jeweils vorangegangenen Schätzer.

Der Vorteil dieser Schätzung gegenüber der Schätzung nach Abschnitt 2 liegt darin, daß etwaige Trends schneller erfaßt werden. Vorausgesetzt wird bei dieser Schätzung allerdings, daß ne - das Verhältnis von Losstreuung zur Streuung der Losmittelwerte - keinen Trends unterliegt. Daher muß ne zwangsläufig in angemessenen Abständen überprüft und ggf. korrigiert werden. Alternativ bestünde auch die Möglichkeit die Streuung s_m ebenfalls u.B. des Abstands der vorangegangenen Ergebnisse zum aktuellen Los (iterativ) zu ermitteln (1. Schätzung für a , Ermittlung von s_m mit den Gewichten a, a, \dots . Berechnung von $ne = s^2 / s_m^2$ und $a = ne / n'$ für 2. Schätzung von a , usw)

Anzumerken ist, daß diese Vorgehensweise zur Beurteilung auch dann sinnvoll ist, wenn die Produktion keine ausgeprägten Lose aufweist, d.h. für große äquivalente Stichprobenumfänge n_e . Zweck der Beurteilung ist in diesem Fall, einem ungünstigen Trend (Abdriften) vorzubeugen.

4. Folgerung

Sofern bei der statistischen Beurteilung aktueller Lose Vorinformation aus der vorangegangenen Produktion eingebracht wird, sollte dies u.B. des "Abstands" vorangegangener Prüfergebnisse erfolgen. Die Gewichtung der vorangegangenen Prüfergebnisse - hier mit (n_e/n') - könnte verbessert werden, indem auch diese - dem aktuellen Kenntnisstand des Prozesses entsprechend fortgeschrieben wird, wobei ggf. auch die Autokorrelation der Mittelwertfunktion erfaßt wird.

5. Literatur

- /1/ NABau. Grundlagen zur Festlegung von Anforderungen und von Prüfplänen für die Überwachung von Baustoffen und Bauteilen. 1. Entwurf, 1985
- /2/ Rackwitz, R. Predictive distribution of strength under control. Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Tragwerke. Sonderforschungsbereich 96, TU München (1982) H.66
- /3/ Kendall, M. Stuart, A. The advanced theory of statistics Vol.1,2 London:Griffin&Comp. 1979
- /4/ Rackwitz, R. Zur Statistik von Eignungs- und Zulassungsversuchen für Bauteile. Bauingenieur 56 (1981), S. 103-107

DOKUMENTATION

LOTABWEICHUNG/SCHIEFSTELLUNG

1. Bestimmung des Bemessungswerts
der Lotabweichung
2. Diskussion
3. Folgerungen
4. Referenzen

DOKUMENTATION "LOTABWEICHUNG/SCHIEFSTELLUNG"

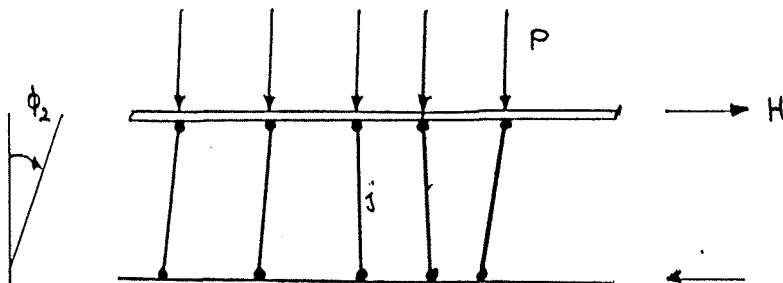
Im Folgenden sind die Überlegungen, die im Rahmen der Zusammenarbeit der NaBau Fachbereiche VII und VIII zum Thema Lotabweichung/Schiefstellungen erörtert wurden, zusammengestellt.

1. Bestimmung des Bemessungswerts der Lotabweichung

1.1 Vorgaben

Die Lotabweichung soll so festgelegt werden, daß die Auswirkung einer Schiefstellung von Geschoßstützen einem vorgegebenen Bruchwert entspricht. Dabei sind Stützenszahl und Geschoßzahl zu berücksichtigen.

1.2 Eingeschossige Rahmenkonstruktionen



$$H = P \sum \phi_j$$

$$mH = k * P * m\phi = 0$$

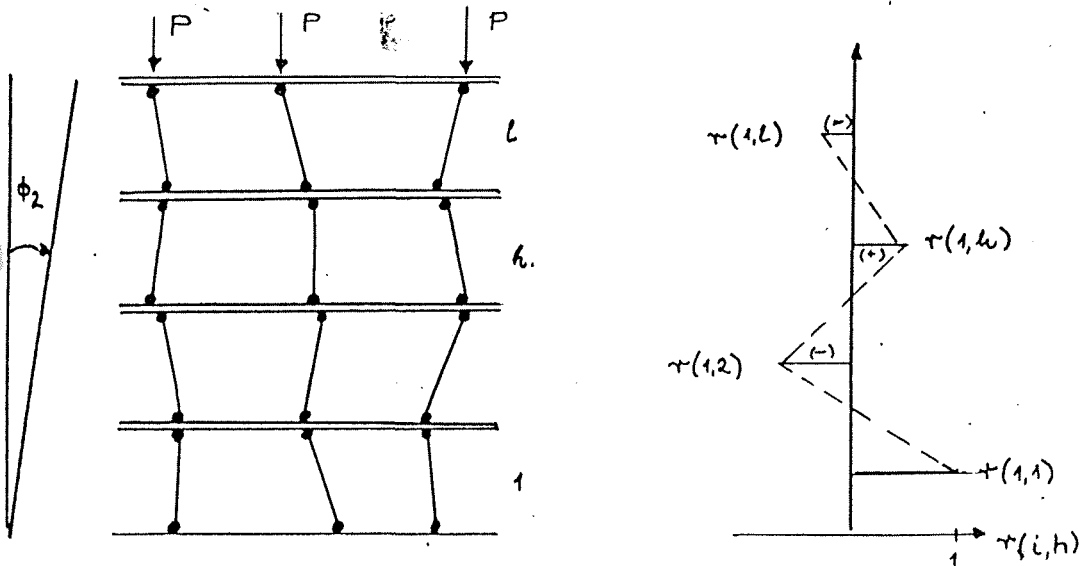
$$sH = k * P * s\phi * \sqrt{1/k + (1 - 1/k) * rh}$$

$$Hd = u_p * sH$$

$$\phi d_2 = u_p * s\phi * \sqrt{1/k + (1 - 1/k) * r}$$

Der Korrelationskoeffizient der Lotabweichung zwischen den Stützen übereinanderliegender Geschoße ist im allgemeinen negativ und wirkt sich hier "ungünstig" aus.

1.4 Mehrgeschossigen Rahmenkonstruktionen



Die hier günstig wirkende Korrelation zwischen den Stützen verschiedener Geschoße kann dahingehend interpretiert werden, daß der Korrelationskoeffizient $r_v = r(i,h)$ zwischen dem Geschoß i und dem Geschoß $h = i+1, i+3, \dots$ das Vorzeichen wechselt; daher kann hier $r_v = 0$ gesetzt werden; vgl. auch /1/.

$$M = P \cdot h \cdot (\phi(k), 1 + 2 \cdot \phi(k), 1-1 \cdot \dots \cdot 1 \cdot \phi(k), 1)$$

$$mM = P \cdot h \cdot m\phi \cdot k \cdot l \cdot (l+1)/2 = 0$$

$$sM = P \cdot h \cdot s\phi(k) \cdot \sqrt{1 \cdot (l+1) \cdot (2l+1)/6}$$

$$M_d = u_p \cdot sM$$

$$\phi d_2 = u_p \cdot s\phi \cdot \sqrt{1/k + (1 - 1/k) \cdot r_h} \cdot 2 \cdot \sqrt{(1/l + 1/(l+1))/6}$$

$$\leq u_p \cdot s\phi \cdot \sqrt{1/k + (1 - 1/k) \cdot r_h} \cdot 2/\sqrt{3 \cdot l}$$

wobei l Anzahl der Geschosse
 mM Mittelwert des resultierenden Biegemomentes M
 sM Standardabweichung des Biegemomentes
 $\phi(k)$ Lotabweichung bei k Stützen je Geschoß
 die anderen Bezeichnungen wie vor

2. Diskussion

2.1 Einfluß der Geschoßhöhe

Ein Einfluß der Geschoßhöhe auf die Lotabweichung von Einzelstützen erscheint plausibel. Mit der in /2/ vorgesehenen Abminderung

$$\phi(h) = \phi(5) \cdot \sqrt{5/h}$$

wobei h Geschoßhöhe
 $\phi(5)$ Lotabweichung für die Bezugs-Geschoßhöhe von 5m

erhält man

$$\phi_{d_2} < u_p \cdot s\phi \cdot \sqrt{1/k + (1 - 1/k) \cdot rh} \cdot 2/\sqrt{3} \cdot \sqrt{5/(h \cdot l)}$$

$$\phi_{d_2} = u_p \cdot s\phi \cdot \sqrt{1/k + (1 - 1/k) \cdot rh} \cdot 1/2 \cdot \sqrt{2 \cdot (1 - rv) \cdot 5/h}$$

wobei $h \cdot l = L$ Gebäudehöhe/Systemlänge

2.2 Einfluß der Stützenszahl

Der Hauptunterschied in den verschiedenen Ansätzen nach /1/, /2/ und beispielsweise /3/ liegt in der Behandlung der Stützenszahl je Geschoß:

$$/1/ \quad 1/\sqrt{k}$$

$$/2/ \quad 1/2 \cdot (1 + 1/k)$$

$$/3/ \quad 1$$

$$/4/ \quad 1/2 \cdot (1 + 1/k)$$

$$\text{hier:} \quad \sqrt{1/k + (1 - 1/k) \cdot rh}$$

mit $rh > 0$

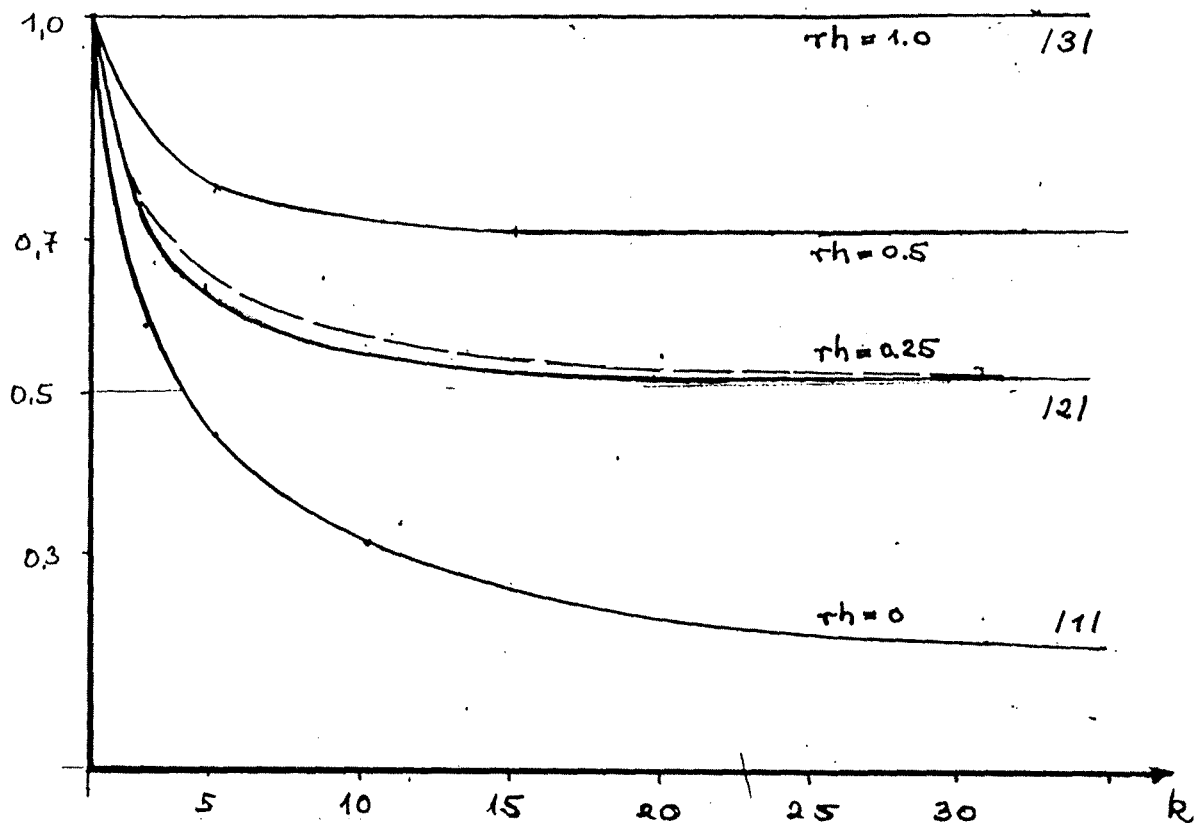


Bild 1 Einfluß der Stützenanzahl k je Geschoß auf die Lotabweichung des Gebäudes nach verschiedenen Ansätzen
 /1/ Stoffregen, König
 /2/ EC 3 Entwurf 1984
 /3/ DIN 1045
 /4/ Fachbereiche VII und VIII

Der Vorschlag gemäß /2/ entspricht näherungsweise jener Abhängigkeit, die sich für $rh = 0.25$ ergeben würde

$$1/2 * (1 + 1/k) \cong \sqrt{1/k + (k-1)/4*k}$$

Die Festlegung in /4/ mit

$$1/2 * (1 + 1/\sqrt{k})$$

entspricht einem Korrelationskoeffizienten $rh = 0.45 \dots 0.25$

2.3 Teilsysteme gegenüber Gesamtsystem

Bildet man das Verhältnis aus resultierender Horizontalkraft bei Betrachtung von Teilsystem nach Abschnitt 1.3 zur resultierenden Horizontalkraft bei Betrachtung des Gesamtsystems nach Abschnitt 1.4, erhält man

$$\begin{array}{ll}
 /1/ & H(\phi_1)/H(\phi_2) = (11.3 \cdot \sqrt{1})/(\sqrt{k \cdot 1} + 7) \\
 /2,4/ & 2 \cdot \sqrt{1} \qquad \qquad \text{wegen } \phi_1 = \phi_2 \\
 /3/ & \sqrt{1} \\
 \text{hier} & 1.76 \cdot \sqrt{1} \cdot \sqrt{1 - rv}
 \end{array}$$

Durch ϕ_1 sollen lokale Abweichungen von der Gesamtabweichung abgedeckt werden, so daß Grundsätzlich $H(\phi_1) \geq H(\phi_2)$ sein sollte. Dies ist für Extremfälle in /1/ nicht der Fall, wobei allerdings für $mv = 0$ und sonst gleichbleibenden Annahmen in /1/ man auch hier ein Verhältnis von $1.62 \cdot \sqrt{1}$ erhielte.

In /2/ und /4/ wird nicht zwischen ϕ_1 und ϕ_2 unterschieden; dies entspricht einem - aus dieser Verhältnisbildung abgeleiteten - Korrelationskoeffizient von $rv = -0.35$ zwischen übereinanderstehenden Stützen - eine durchaus plausible Annahme.

3. Folgerungen

Die Festlegungen in /4/ können aufgrund dieser Überlegungen wie folgt interpretiert werden:

Der Grundwert der Schiefstellung ϕ_0 wäre somit

$$\phi_0 = up \cdot so \cdot 2/\sqrt{3}$$

und bezieht sich auf einen Einzelstab mit der Länge 5m. Abweichende Stablängen werden durch

$$\alpha_1 = \sqrt{5.0/h}$$

erfaßt und die Anzahl 1 der Geschosse geht mit $\sqrt{1}$ ein, so daß allgemein

$$\alpha_1 = \sqrt{5.0/(h \cdot 1)} = \sqrt{5.0/L}$$

Der Faktor

$$\alpha_2 = 1/2 \cdot (1 + 1/\sqrt{k})$$

erfaßt die günstige Auswirkung einer nicht vollständigen Abhängigkeit der Schiefstellung von Stützen eines Geschosses; er berücksichtigt aber noch eine durchschnittliche Korrelation von 0.45 bei nur wenig Stützen ($k \geq 2$) bis zu 0.25 bei sehr vielen Stützen.

Es wird nicht hinsichtlich der anzusetzenden Größe der Schiefstellung unterschieden, ob es sich um eine Betrachtung von Teilsystemen oder Gesamtsystemen handelt (vgl. Abschnitt 1.3 und 1.4). Das entspricht näherungsweise einem Korrelationskoeffizienten von - 0.35 zwischen übereinander stehenden Stützen zweier Geschosse.

4. Referenzen

- /1/ Stoffregen, U., König, G. Schiefstellung von Stützen in vorgefertigten Skelettbauten. Beton- und Stahlbetonbau, H.1, 1979
- /2/ Eurocode 3, Entwurf 1984
- /3/ DIN 1045
- /4/ NaBau Fachbereiche VII und VIII, Stellungnahme zu Eurocode 2 und 3, August 85

AUSWERTUNG VON VERSUCHSERGEBNISSEN
BEI BERÜCKSICHTIGUNG VON RECHENMODELLEN

- zur Beschreibung der Einflußgrößen -

1. Fragestellung
2. Grundidee der Auswertung
3. Bestimmung der Einflußgrößen
4. Berücksichtigung des Fehlers der
indirekten Messung
5. Auswertung aufgrund der Nennfestigkeiten
6. Schlußbemerkung
7. Literaturverweise

AUSWERTUNG VON VERSUCHSERGEBNISSEN BEI BERÜCKSICHTIGUNG VON RECHENMODELLEN

- ZUR BESCHREIBUNG DER EINFLUSS-GRÖSSEN -

1. Fragestellung

In /1/ wurde eine Vorgehensweise für die Auswertung von Versuchsergebnissen erarbeitet, bei der auch die Ergebnisse von Rechenmodellen Berücksichtigung finden. Dieser Ansatz ist mittlerweile in /2/ und /3/ übernommen worden. Die Grundidee der Auswertung ist in /4/ ausführlich beschrieben und wird daher hier nur kurz umrissen.

In diesem Beitrag geht es um die Beschreibung der Einflußgrößen des Rechenmodells. Idealerweise werden die Einflußgrößen direkt am Versuchskörper bestimmt. Demgegenüber können Einflußgrößen häufig nur indirekt gemessen werden und bei der Auswertung schon vorliegender Versuchsergebnisse sind entsprechende Angaben oft nicht verfügbar.

2. Grundidee der Auswertung

Es liege ein Rechenmodell zur Beschreibung der Beanspruchbarkeit eines Bauteils (oder einer Verbindung oder eines Teilsystems) vor. Dieses Rechenmodell ist in der Tendenz zutreffend, d.h. es enthält die wichtigsten Einflußgrößen und verknüpft diese dergestalt, daß eine Änderung der Einflußgrößen eine in der Tendenz zutreffende Änderung der Beanspruchbarkeit bedingt. Dieser Zusammenhang zwischen den Einflußgrößen $X = (X_1, \dots, X_j, \dots)$ und der Beanspruchbarkeit R_t , wird abkürzend mit

$$R_t = R(X) \quad (1.1)$$

bezeichnet. Nun seien die Einflußgrößen X des Modells hinsichtlich ihrer charakteristischen Werte x_k im Geltungsbereich der Versuchsaussage bekannt. Dann kann der charakteristische Wert r_{tk} der rechnerischen Beanspruchbarkeit näherungsweise aus

$$r_{tk} = R(x_k) \quad (1.2)$$

bestimmt werden. In den bisherigen Veröffentlichungen wird davon ausgegangen, daß die Einflußgrößen X des Modells auch an jedem Versuchskörper (vor, während oder nach dem Versuch) meßbar sind. Mit den Werten x_i der Einflußgrößen für jeden Versuchskörper i , kann jeweils ein Rechenwert

$$r_{ti} = R(x_i) \quad (1.3)$$

bestimmt werden. Dieser Rechenwert r_{ti} kann nun dem jeweiligen, im Versuch ermittelten Wert für die Beanspruchbarkeit r_{vi} gegenübergestellt werden (vgl. Bild 1).

Aufgrund der Wertepaare r_{ti} und r_{vi} kann man mit den üblichen statistischen Verfahren eine (lineare) Regressionsbeziehung zwischen r_v und r_t ermitteln:

$$r_v = a + b * r_t \quad (1.4)$$

Die Abweichungen der Werte r_{vi} von dieser linearen Beziehung beträgt jeweils

$$d_i = r_{vi} / (a + b * r_{ti}) \quad (1.5)$$

Bildet man die Logarithmen der Abweichungen $d_i' = \ln(d_i)$, gilt

$$m_{d'} = (\sum d_i') / n \quad (1.6a)$$

$$s_{d'}^2 = \sum (d_i' - m_{d'})^2 / v \quad \text{mit } v = n - 2 \quad (1.6b)$$

Der charakteristische Wert der "Streukorrekturgröße d ", nämlich d_k berechnet sich aus

$$d_k = \exp (m_{d'} - K_s * s_{d'}) \quad (1.7)$$

wobei K_s der entsprechende Fraktillfaktor ist, der u.B. der statistischen Unsicherheit bei beschränktem Stichprobenumfang festgelegt wird. Analog kann der Bemessungswert d_d der Streukorrekturgröße bestimmt werden, indem der Faktor K_s für eine entsprechend modifizierte Fraktile ($u_p = 0.32 * \beta$ statt $u_p = 1.64$) berechnet wird.

Mit dem charakteristischen Wert (oder dem Bemessungswert) der Streukorrekturgröße, wird die Regressionsbeziehung modifiziert:

$$rv = (a + b * rt) * dk \quad (1.8a)$$

$$rv = (a + b * rt) * dd \quad (1.8b)$$

Den gesuchten charakteristischen Wert (oder Bemessungswert) der Beanspruchbarkeit erhält man dann, indem man den charakteristischen Wert der rechnerischen Beanspruchbarkeit r_{tk} nach Gl.(1.2) oder den entsprechenden Bemessungswert r_{td} einführt

$$r_k = (a + b * r_{tk}) * dk \quad (1.9a)$$

$$r_d = (a + b * r_{td}) * dd \quad (1.9b)$$

Eine entsprechende graphische Darstellung findet sich in Bild 1.

3. Bestimmung der Einflußgrößen

Die Brauchbarkeit dieses Konzepts hat sich schon verschiedentlich bestätigt. Allerdings ist eine wesentliche Voraussetzung bei der praktischen Anwendung häufig nicht erfüllt oder erfüllbar: die Forderung, daß die Einflußgrößen X des Modells an jedem Versuchskörper direkt meßbar sein sollen, so daß mit den Werten x_i für jeden Versuchkörper i die rechnerische Beanspruchbarkeit r_{ti} nach Gl.(1.3) bestimmbar ist.

Sofern es um die Auswertung schon vorliegender Versuchsergebnisse geht, sind die Messungen seinerzeit nicht durchgeführt oder nicht protokolliert worden. Aber auch bei neu zu planenden Versuchen ist eine direkte Bestimmung der Eigenschaften am Probekörper häufig nicht möglich. Dies betrifft im Wesentlichen die Festigkeits-eigenschaften, die in der Regel anhand genormter Probekörper bestimmt werden.

Dabei stellen sich verschiedene Probleme:

3.1 Die Festigkeitseigenschaften streuen innerhalb des Versuchskörpers

a) Theoretisch sollten die Festigkeitseigenschaften genau an jener Stelle ermittelt werden, die für die Beanspruchbarkeit maßgebend ist. Im Falle von Traglastversuchen bedeutet dies an jener Stelle, an der das Versagen des Versuchskörpers eingeleitet wurde. Dies ist bekanntlich nicht möglich, so daß man sich auf eine Probenentnahme in der "Nähe" dieser Stelle beschränken muß, wobei auch noch eine geringe Beanspruchung des Bereichs aus dem die Probe entnommen wird, gegeben sein muß.

Genaugenommen, handelt es sich schon bei dieser Art der Messung um eine "indirekte Messung". Der Fehler der indirekten Messung hängt ab vom Abstand zwischen eigentlich maßgebender Stelle und Ort der Probenentnahme, sowie der Autokorrelation der jeweiligen Einflußgröße innerhalb des Versuchskörpers.

Praktisch kann der Fehler e^2 dieser indirekten Messung wie folgt abgeschätzt werden

$$e^2 = \sigma^2 (1 + 1/n_j) \quad (2.1)$$

wobei σ^2 die geschätzte Streuung der jeweiligen Einflußgröße (Festigkeitseigenschaft) im Versuchskörper
 n_j Anzahl der indirekten Messungen

Dabei wird die Einflußgröße mit dem (indirekten) Meßwert bzw. mit dem Mittelwert der n_j Meßwerte in die Auswertung eingeführt.

b) Kann keine isolierte Stelle des Versuchskörpers identifiziert werden, der die Beanspruchbarkeit maßgebend begrenzte, sind die mittleren Festigkeitseigenschaften des Versuchskörpers maßgebend, wobei auch die Streuung innerhalb des Versuchskörpers zu berücksichtigen ist. D.h. gegenüber dem Idealfall, daß der Einflußgröße X_j genau ein Wert zugeordnet werden kann, ist auch hier ein "Fehler"

$$e^2 = \sigma^2 / n_j \quad (2.2)$$

anzusetzen wobei σ und n_j wie vor definiert sind.

Man erkennt, daß bei geringer Streuung der Einflußgröße innerhalb des Versuchskörpers, der Fehler dieser indirekten Messung vernachlässigbar ist.

3.2 Die Einflußgröße kann an "Vergleichskörpern" bestimmt werden

Häufig kann eine Probekörperentnahme aus dem Versuchskörper gar nicht durchgeführt werden und eine Bestimmung der betreffenden Einflußgröße muß an Vergleichskörpern erfolgen. Dabei handelt es sich idealerweise z.B. um eine Probenentnahme aus dem gleichen Stahlblech, wie für die geprüfte Verbindung verwendet, oder zumindest um Würfelprüfungen aus der gleichen Beton-Mischerfüllung, oder wenigstens um Stähle der gleichen Charge. Nach Möglichkeit sollten mehrere Proben aus dem Vergleichskörper geprüft werden, so daß Mittelwert und Streuung der Einflußgröße im Vergleichskörper zuverlässig geschätzt werden. Der Fehler dieser indirekten Messung ist für die Fallunterscheidung a) und b) nach Abschnitt 3.1 anzusetzen:

a) lokaler Wert der Einflußgröße ist maßgebend

$$e^2 = \sigma^2 (1 + 1/nj) + \sigma_M^2 \quad (2.3)$$

b) Mittelwert der Einflußgröße im Versuchskörper ist maßgebend

$$e^2 = \sigma^2/nj + \sigma_M^2 \quad (2.4)$$

wobei σ^2 die geschätzte oder beobachtete Streuung der Eigenschaft im Vergleichskörper

nj der Stichprobenumfang zur Bestimmung der Einflußgröße

σ_M^2 die geschätzte Streuung der Mittelwerte der Einflußgröße zwischen Versuchskörper und etwaigen Vergleichskörpern

Die Einflußgröße wird wieder mit dem (indirekten) Meßwert bzw. mit dem Mittelwert der Meßwerte in die Berechnung eingeführt. Man erkennt, daß bei geringer Streuung zwischen Versuchskörper und Vergleichskörpern und vernünftigen Stichprobenumfang nj der Fehler zumindest im Fall b) in der Regel vernachlässigbar ist.

3.3 Es liegen nur Angaben aus der Grundgesamtheit der Einflußgröße vor

Auch diesen Fall kann man als indirekte Messung interpretieren: Anstelle eines (oder mehrerer) spezifischer Vergleichskörper, die im Zuge des aktuellen Versuchs geprüft werden, liegen Messungen von anderen "früher untersuchten Vergleichskörpern" vor. Die Einflußgröße wird mit dem Mittelwert in der Grundgesamtheit angesetzt; der Fehler dieser indirekten Messung ist nun allerdings beträchtlich: er entspricht der Streuung der Einflußgröße in der Grundgesamtheit

$$e^2 = \sigma_L^2 (1 + 1/ne) \quad (2.5)$$

wobei σ_L^2 die durchschnittliche Streuung in einem Baustoff-Los darstellt

ne die Streuung zwischen Losen in der Grundgesamtheit charakterisiert: $ne = \sigma_W^2 / \sigma_L^2$

4. Berücksichtigung des Fehlers der indirekten Messung

Die indirekte Messung bedeutet, daß die betreffende Einflußgröße bei der Berechnung von r_{ti} nicht einen festen Wert aufweist sondern eine Zufallsgröße ist, mit dem in der indirekten Messung bestimmten Mittelwert und einer Streuung, die dem Fehler der indirekten Messung nach Abschnitt 3 entspricht.

Strenggenommen, wäre diese Streuung schon bei der Ermittlung der Regressionsbeziehung (siehe Gl. (1.4)) zu erfassen, indem die Streuung der Rechenwerte zur Bestimmung der Regressionsparameter a und b um den Fehler der indirekten Messung zu vergrößern wäre:

$$s_{rt}^2 = (\sum r_{ti}^2 - n \bar{r}^2) / n + e^2 / n \quad (3.1)$$

Die Auswirkung auf die Regressionsparameter ist i.a. jedoch vernachlässigbar und muß nicht verfolgt werden.

Die Abweichung d_i nach Gl.(1.5) ist nun eine Zufallsgröße mit

$$D_i' = \ln(r_{vi}) - \ln(a + b \cdot R_{ti}) \quad (3.2)$$

Für kleine Werte a gilt für die Streuung von D_i' näherungsweise

$$D^2(D_i') \approx D^2(R_{ti}') \quad (3.3)$$

und bei Rechenmodellen bei denen die indirekt gemessene Einflußgröße multiplikativ mit den anderen Einflußgrößen verknüpft ist erhält man

$$D^2(D_i') = D^2(X_{j'}) = e'^2 \quad (3.4)$$

wobei e' der für logarithmierte Größen bestimmt Fehler der indirekten Messung ist, der näherungsweise mit

$$e' = e/m_{xj}$$

angesetzt werden kann. Für die Streuung der Streukorrekturgröße ist anstelle von sd' nach Gleichung (1.6b) jetzt der Erwartungswert von

$$SD'^2 = (\sum D_i'^2 - n \cdot \bar{D}'^2)/v \quad (3.5)$$

zu setzen:

$$\begin{aligned} E(SD'^2) &= (\sum E(D_i'^2) - n \cdot E(\bar{D}'^2))/v \quad (3.6) \\ &= (\sum E^2(D_i') - n \cdot E^2(\bar{D}') + (1 - 1/n) \sum D^2(D_i'))/v \\ &\approx sd'^2 + (n-1) \cdot e'^2/v \end{aligned}$$

Mit dieser Streuung werden dk , dd , rk und rd nach Abschnitt 2 berechnet.

Man erkennt, daß bei einer Auswertung bei der die Einflußgrößen nur in ihrer Grundgesamtheit bekannt sind, sich beispielsweise rk um einen Faktor von etwa $\exp(K_s \cdot VR)$ verringert, wobei VR der Variationskoeffizient der rechnerisch bestimmten Beanspruchbarkeit darstellt.

5. Auswertung aufgrund der Nennfestigkeiten

Sofern Einflußgrößen nur hinsichtlich ihrer statistischen Beschreibung in der Grundgesamtheit bekannt sind, wird gelegentlich vorgeschlagen, die Auswertung - insbesondere der Regressionsbeziehung - anhand der entsprechenden Nennwerte vorzunehmen.

Anhand von Bild 2 ist zu erkennen, daß (für Nennwerte, die unterhalb des Mittelwerts liegen, d.h. untere Fraktilwerte darstellen) eine Festlegung der Regressionsbeziehung anhand der Nennwerte zu einer deutlichen "Überschätzung" der Beanspruchbarkeit führen kann. Eine solche Auswertung kann nur dann gerechtfertigt sein, wenn bei der Herstellung der Versuchskörper bewußt minderwertige Baustoffe verwendet wurden. Dabei sollte die Minderwertigkeit durch indirekte Merkmale (z.B. Astigkeit bei Bauholz) erkennbar sein, oder durch entsprechende Herstell- oder Entnahmeanweisungen begründbar sein.

Auch in diesen Sonderfällen, für die eine Festlegung der Regressionsbeziehung anhand der Nennwerte gerechtfertigt ist, muß dennoch eine Fehlergröße e bei der Berechnung von dk eingeführt werden, welche berücksichtigt, daß einzelne Versuchskörper doch noch eine - über dem Nennwert liegende Festigkeit aufweisen könnten.

Allerdings muß auch auf den gegenteiligen Fall dringend hingewiesen werden: Ist nicht auszuschließen, daß die Versuchskörper aus besonders hochwertigen Baustoffen hergestellt wurden, darf die Regressionsbeziehung nicht einmal mit dem Mittelwert der Einflußgröße in der Grundgesamtheit - wie in Abschnitt 3 vorgeschlagen, festgelegt werden. In diesem Fall muß die Beziehung mit einem höheren Fraktilwert (z.B. 95 % Fraktile) ermittelt werden. Ggf. darf dann eine zusätzliche Fehlergröße e unberücksichtigt bleiben.

6. Schlußbemerkung

Der wesentliche Vorteil einer Auswertung von Versuchsergebnissen mithilfe von Rechenmodellen ist, daß die Versuchskörper hinsichtlich jener Einflußgrößen, die durch das Modell erfaßt werden, nicht repräsentativ sein müssen. Dies gilt aber nur, wenn diese Einflußgrößen zumindest an Vergleichskörpern bestimmt werden können, die herstellungstechnisch dem eigentlichen Versuchskörper eindeutig zugeordnet werden können. Ist die Einflußgröße nur hinsichtlich ihrer statistischen Beschreibung in der Grundgesamtheit bekannt, müssen Versuchskörper weiterhin bezüglich dieser Einflußgröße repräsentativ sein.

Sind die Versuchskörper nachvollziehbar aus minderwertigen Baustoffen hergestellt, dürfen Regressionsbeziehungen anhand der (unteren) Nennwerte festgelegt werden, sofern entsprechende Fehlergrößen bei der Auswertung berücksichtigt werden. Besteht der Verdacht, daß die Versuchskörper aus hochwertigen Baustoffen gefertigt sind, ist die Regressionsbeziehung für die geschätzten Maximalwerte der Einflußgröße auszulegen.

Hinzuweisen ist jedoch darauf, daß bei der Planung neuer Versuche, maßgebende Einflußgrößen so direkt wie möglich bestimmt werden sollten.

7. Literaturverweise

- /1/ NaBau Fachbereiche VII und VIII. Deutsche Stellungnahme zu den Entwürfen für Eurocode 2 und 3, Anhang 2, 1985
- /2/ CEB/EKS Kooperation. Note no. 10 and 11: Design by testing and evaluation of test results, 1985
- /3/ Institut für Bautechnik, Berlin. Grundlagen zur Beurteilung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten im Prüfzeichen und Zulassungsverfahren, Mai 1986
- /4/ Maier, W., Kersken-Bradley, M. Experimentelle Bestimmung der Tragfähigkeit von Bauteilen - Grundideen zur Auswertung. Baukonstruktion und Holzbau. Professor Dr.-Ing. Bodo Heimeshoff zum 60. Geburtstag, TU München, 1986

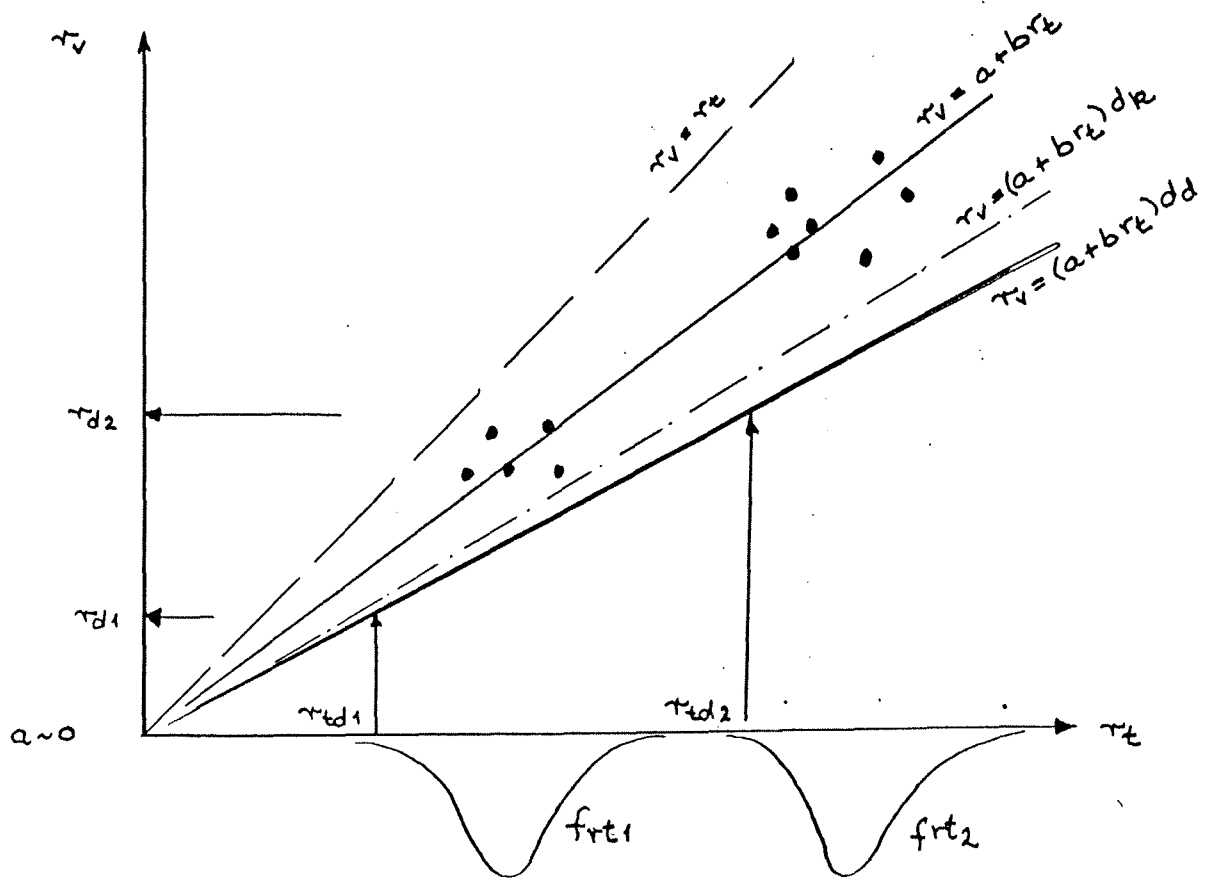


Bild 1 Gegenüberstellung von Versuchswerten r_{vi} und Rechenwerten r_{ti}

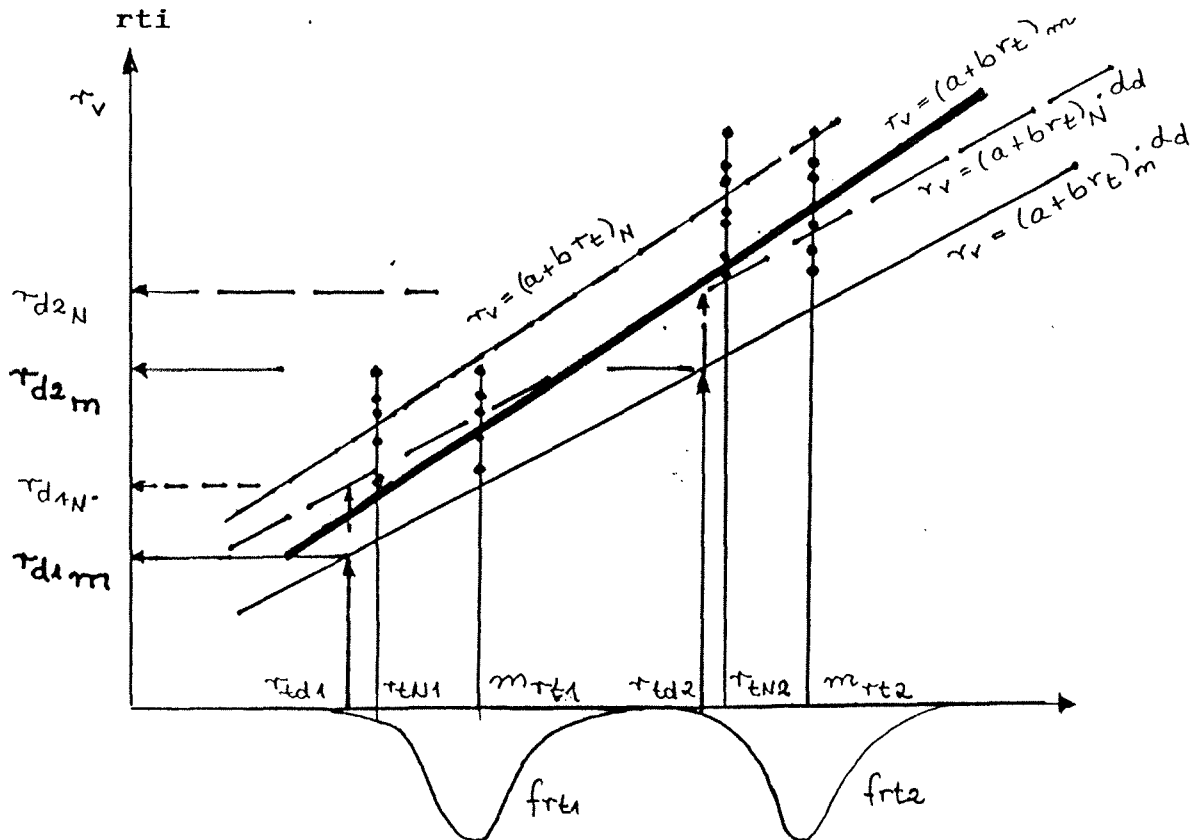


Bild 2 Festlegen der Regressionsbeziehung aufgrund von Mittelwerten gegenüber Nennwerten von Festigkeitseigenschaften

DIE EINFÜHRUNG VON BAUWERKSKLASSEN
ANSTELLE VON SICHERHEITSKLASSEN

1. Einleitung
2. Anpassung von Teilsicherheitsbeiwerten
3. Abstufung in der derzeitigen Praxis
4. "Bautechnische Kategorien"

1. EINLEITUNG

Die konzeptionelle Grundlage für eine Abstufung von Sicherheitsanforderungen wie sie z.B. in den "Grundlagen" /1/ beschrieben ist kann zwar als zutreffend, nicht aber als ausreichend angesehen werden. Das JCSS Dokument "A Statement on Safety and Serviceability Differentiation in Relation to Buildings and Other Structures" /2/ gibt eine umfassende, wenn auch nicht abschließende Kommentierung der Problematik. In diesem Dokument werden die folgenden Einflüsse genannt, mit denen eine Veränderung der Zuverlässigkeit von Tragwerken erzielt werden kann:

- "- Änderungen der generellen Gestaltung und ggf. des Standortes eines geplanten Bauwerks
- Änderungen bei den Nachweismethoden und -verfahren
- Änderungen der Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit
- Änderungen der Teilsicherheitsbeiwerte für Lasten, Materialeigenschaften und geometrische Größen
- Änderungen bei den charakteristischen oder repräsentativen Werten vorgenannter Größen
- Anzahl der verschiedenen Lasten und Lastkombinationen, die bei der Bemessung zu berücksichtigen sind
- Änderungen bei der Qualitätskontrolle von Baustoffen und der Ausführung
- Änderungen bei der Qualitätssicherung im weitesten Sinn, einschließlich aller Vorkehrungen gegen Fehler (human error) bei der Projektierung, Bauausführung, Erhaltung und Nutzung von Bauwerken".

Die Gesamtheit aller Einflüsse, welche die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit betreffen, wird im folgenden abgekürzt als "Maßnahmenpaket" bezeichnet.

2. ANPASSUNG VON TEILSICHERHEITSBEIWERTEN

Ausgangspunkt sei die in /1/ und in anderen vergleichbaren Dokumenten vorgeschlagene Einteilung in Sicherheitsklassen, die sich an den Folgen eines Versagens orientiert. In der Regel wird folgende Zuordnung, hier in abgekürzter Form, vorgenommen:

Klasse 1: nicht erheblich

Klasse 2: erheblich

Klasse 3: von großer Bedeutung für die Öffentlichkeit

Eine solche Einteilung kann sich auf das gesamte Bauwerk beziehen, oder aber auf einzelne Bauteile oder Bauvorgänge.

Die Eichung von Sicherheitselementen, die Genauigkeit der verwendeten Nachweismethoden, Konstruktionsregeln, Kontrollvorgaben (d.h. das vorgenannte Maßnahmenpaket) erfolgt üblicherweise für Bauwerke bzw. Bauteile der Klasse 2 und ergibt somit ein Maßnahmenpaket für den "Regelfall".

Es wird allgemein die Auffassung vertreten, daß die Bemessung eines gesamten Tragwerkes mit größeren Sicherheitsbeiwerten, als für den Regelfall vorgesehen, insbesondere dann nicht zu einer wirksamen Erhöhung der Zuverlässigkeit führt, wenn die anderen Einflußgrößen des Maßnahmenpakets unverändert bleiben.

Für spezielle Bauwerke, die aufgrund ihrer Funktion der Klasse 3 zugeordnet werden könnten (z.B. weitgespannte Brücken, Dämme) werden die entsprechenden Anwendungsregeln der Normen beispielsweise genauere Berechnungsverfahren (oder mehr auf der sicheren Seite liegende Verfahren), aufwendigere Konstruktionsregeln, strengere Toleranzvorschriften, usw. vorschreiben. Eine darüber hinausgehende Erhöhung von Teilsicherheitsbeiwerten sollte auf jene Anwendungen beschränkt werden, bei denen tatsächlich eine wirksame Erhöhung der Zuverlässigkeit aufgrund einer entsprechenden Dimensionierung erwartet werden kann. In diesem Zusammenhang ist aber auch zu berücksichtigen, daß die Anzahl unterschiedlicher Sicherheitsbeiwerte vernünftig begrenzt sein sollte um unnötige Risiken aus einer fehlerhaften Anwendung zu vermeiden. Im Rahmen künftiger Bemessungswertkonzepte könnte allerdings eine solche Differenzierung eher praktikal werden.

Eine Bemessung von Bauwerken der Klasse 1 mit kleineren Sicherheitsbeiwerten als für den Regelfall vorgesehen, könnte dann angebracht sein, wenn die Baukosten wesentlich von den Materialkosten bestimmt

werden und wenn andere Möglichkeiten um die Materialkosten oder den Materialverbrauch zu verringern nicht praktikabel sind. Dabei muß aber darauf hingewiesen werden, daß die Materialkosten nur selten dominieren und daß über die anderen in Abschnitt 1 genannten Maßnahmen i.d.R. Baukosten einschließlich Materialkosten wirksamer verringert werden. Allerdings sind derartige Kostenüberlegungen sehr unvollständig, sofern sie nur die momentanen Baukosten und nicht die Gesamtkosten während der Lebensdauer, einschließlich einer etwaigen Erneuerung des Bauwerks berücksichtigen.

3. ABSTUFUNG IN DER DERZEITIGEN PRAXIS

Wie eingangs erwähnt, ist die konzeptionelle Einführung von Sicherheitsklassen im Sinne klassifizierter Größenordnungen von Folgen im Falle eines Versagens durchaus sinnvoll. Hierdurch wird richtungsweisend der Gedanke der Optimierung sowohl von Normen als auch bei der Projektierung eingeführt. Die derzeitigen Auswirkung einer solchen Klassifizierung im Rahmen der Normung sind jedoch sehr begrenzt, nicht zuletzt um eine verwirrende Vielfalt von Regelungen zu vermeiden. Auch ist man sich im Klaren, daß das tatsächliche Zuverlässigkeitsniveau von Einflüssen maßgebend bestimmt wird, die derzeit noch nicht explizit quantifizierbar sind. Dies betrifft all jene Einflüsse die derzeit summarisch mit "Qualitätssicherung" umschrieben werden.

Diese letzteren Einflüsse betreffend findet eine Differenzierung in der derzeitigen Praxis aber sehr wohl statt - wenn vielleicht auch nicht mit der erforderlichen Konsequenz.

Es bleibt zu erörtern

- ob eine Formalisierung dieser Differenzierung jetzt schon, (d.h. vor einer theoretischen Erfassung und Modellierung der bislang nicht quantifizierbaren Einflüsse der Qualitätssicherung) vorgenommen werden soll
- und wenn ja, wie diese Formalisierung vorgenommen werden könnte-

Angenommen, eine Formalisierung sei notwendig. Dann sei die folgende Hypothese eingeführt:

Es bestehe ein enger Zusammenhang zwischen vorgenannter Klassifizierung von Bauwerken im Hinblick auf mögliche Versagensfolgen, und der folgenden Einteilung, die sich an der Ingenieursachkunde (engineering skill) orientiert, die erforderlich ist, um ein Bauwerk zu projektieren und auszuführen:

1. einfach
2. normal
3. anspruchsvoll

Diese Klassifizierung wird in EC 7 (Gründungen) im Zuge der "Geotechnischen Kategorien" eingeführt. Es wird vorgeschlagen, diesen Gedanken auch außerhalb des Grundbaus aufzugreifen und entsprechende "bautechnische Kategorien" einzuführen.

Eine solche Klassifizierung hat ihre Entsprechung in Honorarordnungen und vertraglichen Regelungen (VOB) und entspricht somit einer Differenzierung wie sie in Praxis vollzogen wird, besser als eine abstrakte - und dennoch unzureichende Klassifizierung nach Versagensfolgen ALLEIN.

4. BAUTECHNISCHE KATEGORIEN

Hinweis: Der folgende Text wurde mehr oder minder wörtlich von EC 7 übernommen, mit geringen Ergänzungen oder Weglassungen.

4.1 Grundgedanke

Um die Mindestanforderungen an den Umfang und die Qualität der Leistungen bei Planung, Bemessung und Ausführungskontrollen festzulegen, muß der Schwierigkeitsgrad und die Komplexität eines Projektes klar definiert werden. Um dies zu erleichtern, werden drei "bautechnische Kategorien" definiert.

Die folgenden Aspekte sind bei der Festlegung der maßgebenden bautechnischen Kategorie zu berücksichtigen:

- Art und Größe des Bauwerks
- mögliche Folgen im Falle einer Beeinträchtigung des Tragverhaltens
- regionale Seismizität
- vorherrschende Art der Belastung
- Unfall-Einwirkungen oder -Situationen, die zu berücksichtigen sind
- handelt es sich um eine neues oder bestehendes Bauwerk?
- inwiefern sind Regeln des Codes direkt anwendbar ?
- erforderliche Nachweisverfahren
- sind besondere Fachkenntnisse erforderlich ?
- sind experimentelle Nachweise erforderlich ?
- bedarf es projektspezifischer Kontrollpläne ?
- Komplexität des Baustellenbetriebs
- Empfindlichkeit des Bauwerks hinsichtlich der Ausführungs-
genauigkeit
- ...

Die Zuordnung eines Bauvorhabens in seine bautechnische Kategorie muß schon im Entwurfsstadium erfolgen; die Kategorie kann sich im Zuge der Durchführung ändern; wichtig ist es jedoch, daß die Zuordnung jederzeit eindeutig ist.

Verfahren höherer Kategorien - als festgelegt - können manchmal verwendet werden um wirtschaftlichere Lösungen zu rechtfertigen oder wo hinreichend qualifizierte Ingenieure sie für erforderlich halten.

4.2 Bautechnische Kategorie 1

Diese Kategorie umfaßt nur kleine und verhältnismäßig einfache Bauwerke, bei denen die entsprechenden Anforderungen mithilfe einfacher Nachweise und aufgrund von Erfahrung eingehalten werden können und für die die üblichen Handwerksregeln bei der Ausführung ausreichend sind.

(Durch spezielle Kriterien zu ergänzen)

4.3 Bautechnische Kategorie 2

Diese Kategorie umfaßt alle Bauwerke des üblichen Hochbaus für die die üblichen Verfahren der Tragwerksplanung und und Bauausführung verwendet werden. Dies bedingt die Beteiligung qualifizierter Ingenieure mit entsprechender Erfahrung

(Durch spezielle Kriterien zu ergänzen)

4.4 Bautechnische Kategorie 3

Bauwerke, die nicht der Kategorie 1 oder 2 zugeordnet werden können, fallen in die bautechnische Kategorie 3. Dies bedingt die Beteiligung qualifizierter Ingenieure und Unternehmungen mit spezieller Erfahrung.

Kategorie 3 umfaßt sehr große oder ungewöhnliche Bauwerke, Tragwerke die ungewöhnlichen Beanspruchungen ausgesetzt sind, Bauwerke die mit ungewöhnlichen Risiken verbunden sind und Bauwerke in spezifischen Erdbebengebieten.

Die Code-Festlegungen für die Kategorie 2 stellen eine untere Grenze für den Umfang und die Qualität notwendiger Untersuchungen, Berechnungen und Kontrollverfahren dar; darüber hinaus werden allerdings keine detaillierten Regeln für die Kategorie 3 gegeben. Im Rahmen dieses Codes war man auch nicht bemüht, eine strenge Grenze zwischen der bautechnischen Kategorie 2 und 3 zu ziehen.

Beispiele für Bauwerke, die der Kategorie 3 zugeordnet werden können : (zu ergänzen)

- /1/ NaBau im DIN, Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen, Beuth Verlag, Berlin Köln, 1981
- /2/ Joint Committee on Structural Safety (JCSS), A statement on on safety and serviceability differentiation in Relation to buildings and other structures, Lissabon, 1983

ZUR ROBUSTHEIT VON TRAGWERKEN
(A VIEW ON ROBUSTNESS)

1. Introduction
2. Detailed Analysis vs. Simplified Analysis
3. Actions not explicitly Considered in Design
4. Collapse Modes

1. Introduction

The following contribution is a response to various attempts in the context of precodification and codes, to develop more specific concepts and rules of application relating to "robustness".

A rather peculiar aspect in this context is the fact, that the notion of robustness is ill-defined, not to say, not defined. Hence, this contribution is only concerned with possibly those features of design, which are not comprehensively covered by a normal structural analysis and which thus deserve particular consideration by some means.

2. Detailed Analysis vs. Simplified Analysis

A detailed analysis of a structure would be performed considering

- seismic actions
- structural response to heat exposure in fire
- various impact events
- various local failure events
- corresponding failure paths and collapse modes
- associated displacements and vibrations
- etc.

including an assessment of the potential consequences of structural damage (i.e. losses) and of the possibilities for reducing losses.

The basic criterion for this assessment in conceptual terms would be something like:

"The structure should be designed such, that it is not damaged by an event to an extent disproportionate to the original cause of damage having due regard to the consequences of damage and the costs for reducing losses".

In common reliability understanding this criterion refers to the optimization of structures (causes vs. consequences). It may be considered as a fundamental requirement, or even as THE ONLY fundamental requirement - with an arbitrary improvement of wording.

For common structures the analysis is simplified and some additional provisions are necessary, which - in a rough manner - substitute a detailed analysis as briefly outlined above. From this follows, that any specific "robustness" criterion is not a fundamental requirement, but only a substituting provision, i.e. even the whole concept of robustness - whatever it means - is only an aid to avoid extensive analysis.

One approach could be, that all features of a detailed analysis were pursued in a qualitative manner, i.e. ensuring by structural detailing that the structure has a potential capacity to withstand all conceivable types of actions and events - not with regard to a specific magnitude but only with regard to the type of effect. However, without extensive guidance this approach has too many open ends for practical application in the near future.

For practical application it may be helpful to distinguish two aspects:

- * actions not explicitly considered in design
- * collapse modes

3. Actions not explicitly considered in design

This refers to compensations for not considering seismic actions, vehicle impact, gas explosions and fire (if only considered by grading structural members), etc., or more general, not considering accidental actions in detail.

The effect of mechanical (accidental) actions may be considered in a substituting manner by

- a) applying lateral/horizontal forces or
 - b) by considering geometrical imperfections applied to the entire structure (not only in the context of 2.order analysis)
- with a request to pursue the respective effects throughout the structure as appropriate for the specific structural system.

Both approaches can be made compatible with regard to their effects. The first approach - mainly promoted by the UK - has the advantage of more clearly emphasizing the actual intention.

The second approach allows for a more differentiated modelling according to possible deformation figures in failure states. Furthermore, existing inconsistencies in the treatment of sway and non-sway structures and different degrees of bracing are easily overcome.

Additional provisions for avoiding "lifting-off" from supports may be required, regardless of aforementioned approaches.

4. Collapse modes

One feature refers to material-related rules for avoiding brittle failure and promoting ductility, which is important, but basically only affects the failure mode of components.

One may argue, that apart from this elementary feature, no other design rules or structural requirements are suitable for codification. Any attempt, e.g.

- "avoid collapse due to minor local failure"
 - "provide for alternative loadpaths"
 - "ensure prewarning by symptoms (deformations, acoustic signals, ...)
- needs always the supplement "where possible", hence they are only recommendations, or frankly, are an issue for education.

In terms of codification, the only leeway may be, to require that the designer compiles the various collapse modes of a structure. For collapse modes depending only on one incident, he is obliged to give some justification. Critical components which are identified in the compilation of collapse modes shall be of particular concern in detailing and should be identified in the control plan and possibly maintenance plan.

Whether operational guidance for identifying collapse modes can be given within a code text and whether material independent rules are sensible, needs to be investigated.

Anlage 9

IMPERFEKTIONSANSÄTZE UND TOLERANZEN

1. Fragestellung
2. Beschreibung geometrischer Größen und Parameter
3. Maßgebende Grundgesamtheit
4. Numerische Zusammenhänge
5. Literaturverweise

IMPERFEKTIONSANSATZE UND TOLERANZEN

1. Fragestellung

Dieser Beitrag behandelt den Zusammenhang zwischen Imperfektionsansätzen in der Bemessung und Toleranzvorgaben für die Bauausführung. Dabei werden ausschließlich Abweichungen von geometrischen Größen behandelt, die einen maßgebenden Einfluß auf das Tragverhalten haben können, so beispielsweise Abweichungen von den planmäßigen Achsen des Tragwerks.

2. Beschreibung geometrischer Größen und Parameter

Alle geometrischen Größen sind Zufallsgrößen und sind analog zu den Einwirkungen und Materialeigenschaften statistisch anhand von Verteilungsfunktionen beschrieben, welche die Abweichungen vom planmäßigen Wert (=Nennwert) der geometrischen Größe darstellen.

Sowohl für die praktische Anwendung als auch für die statistische Beschreibung empfiehlt sich jedoch folgende Unterscheidung:

- a) skalare geometrische Größen, wie Querschnittswerte, Bauteillängen, Überdeckung, usw., bei denen Abweichungen einfach zu einer Vergrößerung oder Verkleinerung der geometrischen Größe führen

Diese Größen werden zweckmäßigerweise wie folgt modelliert:

$$A = aN \cdot Y$$

wobei aN den Nennwert bezeichnet und Y die zufällige Abweichung von diesem Nennwert, mit einem Mittelwert der i.d.R. nahe bei 1.0 liegt. Der Bemessungswert dieser geometrischen Größen beträgt dann

$$ad = aN \cdot yd$$

Unter Berücksichtigung der funktionalen Verknüpfung der geometrischen Größe mit den anderen Einflußgrößen der Grenzzustandsfunktion kann yd , wie bisher üblich, dann beim Bemessungswert z.B. der Materialeigenschaften erfaßt werden - sofern yd nahe bei 1.0 liegt und/oder nur geringfügig von der jeweiligen Grenzzustandsfunktion abhängt.

b) geometrische Größen, welche die Achsen des Tragwerks (oder innerer Kräfte) beschreiben, bei denen Abweichungen nur in Verbindung mit einem Modell für die imperfekte Form des Tragwerks quantifiziert werden können.

Die imperfekte Form wird durch eine räumliche Funktion beschrieben, deren Parameter nun Zufallsgrößen sind. Dabei genügt es in der Regel nur

- * die imperfekte Lage von Knotenpunkten und

- * die imperfekte Form zwischen den Knotenpunkten

zu modellieren. Diese zufälligen Lage- oder Formparameter werden hier mit Z bezeichnet. Sie haben im allgemeinen den Mittelwert 0 und eine symmetrische Verteilung. Die Bemessungswerte z_d bestimmen die der Berechnung zugrundezulegende imperfekte Form des Tragwerks.

Somit ist genaugenommen zwischen geometrischen Größen und geometrischen Parametern zu unterscheiden, wobei Letztere eine Modellbildung bedingen.

3. Maßgebene Grundgesamtheit

Die Verteilung der geometrischen Größen und Parameter hängt davon ab

- ob Abweichungen herstelltechnisch/montagetchnisch begrenzt sind
- ob Toleranzgrenzen vorgegeben sind
- inwiefern Toleranzgrenzen kontrolliert werden.
- inwiefern, hinsichtlich der geometrischen Parameter, Toleranzgrenzen und Modellannahmen die imperfekte Form betreffend aufeinander abgestimmt sind

Werden Toleranzgrenzen vollständig kontrolliert, d.h. an jedem Tragwerk und Bauteil, muß mit Werten außerhalb dieser Grenzen nur infolge von Meßfehlern gerechnet werden. Bei nur stichpunktartiger bzw. stichprobenartiger Überprüfung erhöht sich entsprechend die Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung der Grenzen. Werden Toleranzgrenzen nicht vorgegeben oder nicht überprüft, erhält man eine beliebige Zufallsverteilung der geometrischen Größen und Parameter.

Sofern Toleranzgrenzen vollständig (mit kleinem Meßfehler) kontrolliert werden und die entsprechenden Grenzwerte noch eine wirtschaftliche Bemessung erlauben, können diese Werte als Bemessungswerte der geometrischen Größen angesetzt werden. Für geometrische Parameter gilt dies nur, wenn Toleranzgrenzen und Modellannahmen der Bemessung aufeinander abgestimmt sind.

Andernfalls muß die Verteilung von geometrische Größen und Parametern durch Messungen an ausgeführten Tragwerken bzw. in Betrieben ermittelt werden. Derartige Untersuchungen sind schon vielfach durchgeführt worden. Als Beispiel seien nur /1,2,3/ genannt.

Für künftige Datensammlungen und Auswertungen sollte jenen Erfahrungen und Erkenntnissen Rechnung getragen werden, die zwischenzeitlich aus dem Bereich der Materialeigenschaften vorliegen. So sollten beispielsweise statistische Parameter so geschätzt werden, daß die Heterogenität der geometrischen Größen in der Grundgesamtheit erfaßt wird (Maximum-Likelihood-Schätzung), d.h. es wird unterschieden zwischen der Streuung innerhalb eines Tragwerks oder Loses und der Streuung zwischen verschiedenen Tragwerken oder Losen.

Desweiteren ist zu berücksichtigen, ob für die jeweils gemessenen Größen oder Parameter Toleranzgrenzen vorgegeben waren und ob sie ggf. vor der Meßwertaufnahme schon korrigiert waren oder ob einzelne Lose schon "rückgewiesen" waren.

Sofern für alle Daten jeweils die gleichen Toleranzvorschriften galten, ist die ermittelte statistische Beschreibung eben unter der Bedingung dieser Toleranzvorschrift gültig. Eine Änderung der Toleranzvorschrift wird in der Regel auch eine Änderung der Streuung der geometrischen Größen bedingen.

Eine Zusammenfassung von Daten für die verschiedene Toleranzvorschriften galten, bildet nur die durchschnittliche Ausführungsqualität innerhalb des Beurteilungszeitraumes ab. Es ist durchaus

möglich anhand eines solchen Mischkollektives, Bemessungswerte abzuleiten. In diesem Fall ist es jedoch erforderlich, in engeren Zeitabschnitten zu überprüfen, ob sich die durchschnittliche Ausführungsqualität ungünstig verändert.

4. Numerische Zusammenhänge

4.1 Statistische Beschreibung

In Anlehnung an /4/ genügt für den Bemessungswert einer geometrischen Größe nach Abschnitt 2a) ein Wert der etwa der 10%-Fraktile entspricht ($u_p = 0.4 \cdot 0.8 \cdot \beta = 1.28$ für $\beta=3.8$).

In der Annahme, daß geometrische Größen dieser Art wohl kaum einen dominierenden Streuungseinfluß haben, ist diese Festlegung wohl hinreichend.

Bei den geometrischen Parametern nach Abschnitt 2b) wäre eine stärkere Differenzierung gerechtfertigt. Allerdings erscheint es wirksamer, einer unterschiedlichen Empfindlichkeit von Tragwerken gegenüber Imperfektionen durch unterschiedliche Verfolgung der möglichen imperfekten Formen Rechnung zu tragen, als durch unterschiedliche Bemessungswerte (z_d). Dabei bestehen dennoch zwei Optionen für die Festlegung von Bemessungswerten

1. dem Vorschlag in /5/ folgend wird z_d so festgelegt, daß der Wert z_d beispielsweise der $(m-2 \cdot s)$ -Grenze entspricht
2. z_d wird so festgelegt, daß die Schnittkräfte infolge der imperfekten Form beispielsweise der $(m-2 \cdot s)$ Grenze entsprechen, um somit zumindest überschlägig auch beim Bemessungswert die unterschiedliche Auswirkung imperfekter Formen zu erfassen.

Hinsichtlich etwaiger Empfehlungen für künftige Datenauswertungen seien folgende Hinweise gegeben (am Beispiel der Parameter Z , analog für die Größen Y)

- a) Bestimmung des Mittelwerts \bar{z}_j und der Standardabweichung s_j je untersuchtem Tragwerk (j), nach den üblichen Verfahren, wobei die Abweichungen zur Berechnung der Mittelwerte mit ihrem tatsächlichen Vorzeichen, d.h. nicht mit ihren Absolutwerten einzuführen sind
- b) Zusammenfassung aller Tragwerke zur Bestimmung des Mittelwerts m_z in der Grundgesamtheit, wobei in der Regel $m_z=0$ ist und die Streuung s_z^2 in der Grundgesamtheit wie folgt bestimmt wird

$$s_z^2 = (\sum n_j \bar{z}_j^2 + \sum (n_j - 1) s_j^2) / (n - 1) \quad (4.1)$$

$$= \bar{s}_j^2 (1 + 1/n_e)$$

Sofern die Streuung s_j^2 je Tragwerk näherungsweise konstant ist, kann der Parameter Z in der Grundgesamtheit durch eine Normalverteilung beschrieben werden. Für geometrische Größen Y können aber auch un-symmetrische Verteilungen angebracht sein.

Sofern für die Festlegung des Bemessungswertes z_d obengenannte zweite Option verfolgt wird, braucht man Information über die Korrelation zwischen den Parametern Z_i für verschiedene Bauteile eines Tragwerks.

Idealerweise sollte diese Korrelationen aufgrund von Messungen bestimmt werden (siehe z.B. /2/). Liegen nicht genügend Daten vor, oder kann keine räumliche Zuordnung der Daten vorgenommen werden, kann ein durchschnittlicher Korrelationskoeffizient wie folgt abgeschätzt werden

$$r = 1 - (s_j/s_z)^2$$

wobei man jedoch keinen Anhaltspunkt für etwaig alternierende Korrelationen über z.B. verschiedene Geschosse hinweg erhält.

Unter Ansatz der jeweiligen imperfekten Form und mit entsprechenden Angaben über die jeweiligen Korrelationen können Bemessungswerte z_d dann so festgelegt werden, daß die resultierenden Schnittkräfte aufgrund der imperfekten Form, der $(m-2*s)$ -Grenze entsprechen.

4.2 Auswirkung von Toleranzvorschriften

Bei der Beurteilung der Auswirkung von Toleranzvorschriften, ist - wie in Abschnitt 2 schon erwähnt - zu prüfen ob die vorliegende statistische Beschreibung (nach Abschnitt 4.1) aufgrund von Messungen

- an unkontrollierten Bauteilen
- oder an kontrollierten Bauteilen

bzw. Tragwerken ermittelt wurde. Im zweiten Fall kann nur eine Verschärfung der Toleranzvorschriften, gegenüber jener, die den gemessenen Bauteilen zugrunde lag, verfolgt werden.

a) statistische Kontrollen

Statistische Kontrollen kommen im Wesentlichen nur für die Kontrolle von Fertigteilen oder werksmäßig montierter Bauteile in Betracht. Sofern nicht ohnehin eine vollständige Kontrolle angebracht ist, gelten für die statistische Kontrolle von Toleranzen, jene Zusammenhänge wie sie allgemein für die Kontrolle von Eigenschaften von Baustoffen und Bauteilen z.B. in /6/ beschrieben sind.

b) vollständige Kontrolle

Wird jedes Bauteil bezüglich einzuhaltender Toleranzgrenzen kontrolliert, erhält man eine Überschreitungswahrscheinlichkeit (p_u) für diese Toleranzgrenzen (z_N) und zwar in Abhängigkeit des jeweiligen Meßfehlers e^2 . Für normalverteilte Größen gilt

$$p_u = \left(\Phi(z_N/sz) - \Phi\left(z_N/\sqrt{sz^2 + e^2}\right) \right) * 2 \quad (4.2)$$

wobei eine Kontrolle oberer und unterer Grenzwerte unterstellt wurde. Anahnd von Gl.(4.2) kann der zulässige Meßfehler festgestellt werden, der einzuhalten ist, damit die Toleranzgrenze z_N als Be-

messungswert angesetzt werden kann. Ist der tatsächliche Meßfehler größer oder erheblich kleiner als der zulässige Meßfehler, ist analog zu Gl.(4.2) die Verteilung von Z u.B. des Meßfehlers zu bestimmen, um anhand dieser Verteilung z_d zu ermitteln.

c) selektive Kontrollen

Als selektive Kontrollen werden beispielsweise Kontrollen der Lotabweichung je Geschoß oder der Gesamt-Lotabweichung eines Tragwerkes bezeichnet, d.h. nicht jedes Bauteil wird kontrolliert, sondern die resultierende Imperfektion von Teilsystemen und Gesamtsystemen.

Ist diese Kontrolle direkt dem Imperfektionsmodell, wie es bei der Bemessung zugrundeliegt, zugeordnet, bedeutet dies, daß die entsprechenden Parameter der Bemessung wiederum vollständig kontrolliert werden. Für die Überschreitungswahrscheinlichkeit von Toleranzgrenzen gilt somit Gl.(4.2) analog. Da hierbei die Parameter u.B. der Modellbildung (im Zuge der Kontrolle) ermittelt werden kann bei $p_{\bar{u}} \leq 2 * \Phi(-2.0)$ der Bemessungswert z_d gleich der Toleranzgrenze z_N gesetzt werden.

5. Literaturverweise

- /1/ Stoffregen, U., König, G. Schiefstellung von Stützen in vorgefertigten Skelettbauten. Beton- und Stahlbetonbau, H.1, 1979
- /2/ Maaß, G. Rackwitz, R. Maßabweichungen bei Ortbetonbauten. Beton- und Stahlbetonbau, H.1, 1980, S.9-13
- /3/ Zur Statistik der Lage und Größe der Vorspannbewehrung, Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke, SFB 96, TU München H.23, 1976
- /4/ König, G. Hosser, D., Schobbe, W., Sicherheitsanforderungen für die Bemessung von baulichen Anlagen nach den Empfehlungen des NABau, Bauingenieur 57, 1982
- /5/ NABau, Fachbereiche VII und VIII, Bauartübergreifende Stellungnahme zu den Eurocode Entwürfen 1-3, 1985