

## PraxisRegelnBau

Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V.  
Kurfürstenstraße 129 ■ 10785 Berlin



### Verbesserung der Praxistauglichkeit der Baunormen durch pränormative Arbeit – Teilantrag 5: Mauerwerksbau

**BBSR-Forschungsvorhaben**

**Az.: II 3-F20-10-1-085\_PG5 / SWD-10.08.18.7-13.11**

**Zuwendungsbescheid vom 15.05.2013**

## ABSCHLUSSBERICHT (Kurzfassung)

**Berichtszeitraum:**

Mai 2013 bis Mai 2015

**Forschende Stelle:**

**Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V.  
10969 Berlin, Kochstraße 6-7**

**Aufgestellt:** 11.05.2015

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner (ab 12.2014)  
Dr.-Ing. Christoph Alfes (bis 11.2014)

**Bearbeiter:** Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Brameshuber    Teilprojekt 1  
Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner    Teilprojekt 2  
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger    Teilprojekt 3  
Prof. Dr.-Ing. Werner Seim    Teilprojekt 4  
Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner    Projekt 5

*Die Forschungsvorhaben 1 bis 4 werden mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.*

*Das Forschungsprojekt 5 wird ausschließlich mit Eigenmitteln der Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. gefördert.*

*Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim jeweiligen Autor.*

Dieser Bericht umfasst 21 Seiten.

**Vorstand:** Prof. Manfred Nußbaumer (München), Dr. Hans-Peter Andrä (Stuttgart), Dr. Volker Cornelius (Darmstadt)  
**Geschäftsführer:** Dr. Lars Meyer (Berlin)  
**Sitz des Vereins:** Der Verein ist eingetragen unter VR 30946 B beim Vereinsregister am Amtsgericht Charlottenburg von Berlin.

## Inhaltsverzeichnis

Verfasser des Abschnitts

- |          |   |                   |
|----------|---|-------------------|
| <b>0</b> | <b>Überblick</b>  | Prof. Graubner    |
| <b>1</b> | <b>Teilprojekt 1 Materialkennwerte</b>                                    | Prof. Brameshuber |
|          | 1.1 Anlass und Ausgangslage   |                   |
|          | 1.2 Gegenstand des Forschungsvorhabens                                    |                   |
|          | 1.3 Fazit   |                   |
| <b>2</b> | <b>Teilprojekt 2 Knicken</b>  | Prof. Graubner    |
|          | 2.1 Anlass und Ausgangslage   |                   |
|          | 2.2 Gegenstand des Forschungsvorhabens                                    |                   |
|          | 2.3 Fazit   |                   |
| <b>3</b> | <b>Teilprojekt 3 Großer Scheibenschub</b>                                 | Prof. Jäger       |
|          | 3.1 Anlass und Ausgangslage   |                   |
|          | 3.2 Gegenstand des Forschungsvorhabens                                    |                   |
|          | 3.3 Fazit   |                   |
| <b>4</b> | <b>Teilprojekt 4 Kleiner Scheibenschub</b>                                | Prof. Seim        |
|          | 4.1 Anlass und Ausgangslage   |                   |
|          | 4.2 Gegenstand des Forschungsvorhabens                                    |                   |
|          | 4.3 Fazit   |                   |
| <b>5</b> | <b>Projekt 5: Analyse verschiedener nationaler Anhänge zum Eurocode 6</b> | Prof. Graubner    |
|          | 5.1 Anlass und Ausgangslage   |                   |
|          | 5.2 Beispielhafte Darstellung einer Analyse eines NDPs                    |                   |
|          | 5.3 Fazit   |                   |

## 0 Überblick

Im Rahmen der der Forschungsinitiative Bau des BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, jetzt BMUB) wurde über PRB ein Forschungsvorhaben „Verbesserung der Praxistauglichkeit der Baunormen – Teilantrag 5: Mauerwerksbau“ mit einer Laufzeit von zwei Jahren bewilligt.

Ziele des Forschungsvorhabens sind Vereinfachungen oder Verbesserungen des Eurocode 6. Die Auswahl der gewählten Forschungsthemen liegt darin begründet, dass die vier Themenbereiche

- Materialkennwerte                      Teilprojekt 1
- Knicken                                      Teilprojekt 2
- Großer Scheibenschub                  Teilprojekt 3
- Kleiner Scheibenschub                  Teilprojekt 4

die höchste Relevanz für die Baupraxis aufweisen.

Den Bezug der einzelnen Teilprojekte zu den verschiedenen Teilen von DIN EN 1996 zeigt Tabelle 0.1.

Tabelle 0.1: Übersicht - Bezug der Teilprojekte zu den Eurocode 6-Teilen

Teil-Projekt	Thema	Forscher	Bezug zu den Normen		
			EC 6-1-1	EC 6-2	EC 6-3
TP 1	Materialkennwerte	Prof. Brameshuber	X	X	
TP 2	Knicken	Prof. Graubner	X		X
TP 3	Großer Scheibenschub	Prof. Jäger	X		X
TP 4	Kleiner Scheibenschub	Prof. Seim	X		
P 5	Nationale Anhänge	Prof. Graubner	X	X	X

**TP 1** Forschungsvorhaben „Materialkennwerte“ - Prof. Brameshuber

Das Teilprojekt 1 bezieht sich auf DIN EN 1996-1-1 und DIN EN 1996-2 (siehe Tabelle 0.1) und soll die Normenteile entflechten. Dies deckt sich mit dem PRB-Ziel „Ease of use“.

**TP 2** Forschungsvorhaben „Knicken“ - Prof. Graubner

Ziel des Vorhabens ist die Überprüfung und Überarbeitung der im genaueren Nachweisverfahren von DIN EN 1996-1-1 angegebenen Traglastfaktoren bei Stabilitätsversagen unter gleichzeitiger Analyse der anzusetzenden Knicklängen. Im Vergleich zum bisherigen Berechnungsmodell, dass bei realistischer Modellierung des Last-Verformungs-Verhaltens bei schlanken Wänden eine signifikante Steigerung der Traglasten. Mit dem neuen Bemessungsvorschlag ist weiterhin eine Reduzierung der NDPs möglich ist. Darüber hinaus wurden Besonderheiten des Knicknachweises bei teilaufliegenden Decken untersucht, um hier pränormativ zu agieren.

**TP3** Forschungsvorhaben „Großer Scheibenschub“ - Prof. Jäger

Beim Teilprojekt 3 bezieht sich die Forschung auf die Gebäudeaussteifung durch Mauerwerkswänden nach DIN 1996-1-1 (siehe Tabelle 0.1). Geplantes Ziel beim Teilprojekt 3 ist die Verbesserung der Praxistauglichkeit der Berechnung und des Nachweises von Aussteifungsscheiben in Mauerwerksbauten bei Berücksichtigung des gerissenen und/oder plastischen Zustands.

**TP 4** Forschungsvorhaben „Kleiner Scheibenschub“ - Prof. Seim

Das Teilprojekt 4 bezieht sich auf DIN EN 1996-1-1 (siehe Tabelle 0.1). Es sollen Unschlüssigkeiten bei der Definition geometrischer Größen sowie eine gewisse Unübersichtlichkeit bei den einzelnen Nachweisen beseitigt werden. Dies entspricht den PRB-Zielen, die Klarheit in der Anwendung und Baupraxis zu erhöhen. Ein konkreter Vorschlag für einen vereinfachten Schubnachweis wird vorgelegt.

**P 5** Forschungsvorhaben „Nationale Anhänge“ - Prof. Graubner

Ein Forschungsprojekt 5 „Analyse der verschiedenen nationalen Anhänge zum Eurocode 6“ beschäftigt sich mit der Harmonisierung der nationalen Anhänge zum Eurocode 6.

## **1 Teilprojekt 1 „Materialkennwerte“ (Prof. Brameshuber)**

### **1.1 Anlass und Ausgangslage**

Der EC 6 wurde in den vergangenen 15 Jahren entwickelt, um einen einheitlichen Standard in Europa für die Ausführung und Bemessung von Mauerwerk zu erzielen. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Produkte bei den Mauersteinen hat man sehr früh Anforderungen an die Mauersteine und den Mauer Mörtel in den EC 6 aufgenommen und Kategorien, z. B. bzgl. der Lochanteile, gebildet. Dies führte zu einer Vermischung von Produktanforderungen und der Bemessung, was aus heutiger Sicht eine erhebliche Verkomplizierung darstellt. Eine Entzerrung stellt einen sehr wichtigen Schritt für die Handhabung des EC6 dar. Der Bemessende muss sich nur mit Werkstoffkennwerten befassen, die für die Statik und Konstruktion erforderlich sind. Wie diese Kenngrößen zustande kommen, interessiert dabei nur in zweiter Linie und ist daher in der Produktnorm geregelt. Eine derartige Aufteilung ist auch für Mauerwerk sinnvoll. Derzeit wird die europäisch vereinbarte Aufteilung in Steinklassen von Deutschland abgelehnt, da eine völlige Umgruppierung existierender Produkte erfolgen müsste, mit dem Nachteil, dass die mit bestimmten Steinfestigkeitsklassen/Steinarten bislang erzielbare Mauerwerkdruckfestigkeit völlig andere Werte erreichen würde, teilweise viel niedriger. Dies zeigt, dass über alle Mauersteine hinweg ein globales Konzept, wie es im derzeitigen EC 6 enthalten ist, nicht funktionieren kann.

Ein weiteres Beispiel für die Notwendigkeit der Entzerrung von Bemessungsregeln und Produkteigenschaften sind die Anforderungen an die Haftscherfestigkeit. Dies sind Materialeigenschaften, die bekanntermaßen von den Steinen stark beeinflusst werden. Eine derzeitige Pauschalierung wird den verschiedenen Produkten nicht gerecht, und führt bei der Biege- und Schub-bemessung zu extrem konservativen werden. Eine produktgerechte Berücksichtigung von Haftscherfestigkeiten ist aber sowohl im EC 6 als auch im zugehörigen NA nicht umsetzbar. Bei einer Regelung der Anforderungswerte in einer Produktnorm wäre jede Steinart selbst für die Ermittlung und Angabe der Grundwerte verantwortlich.

## 1.2 Gegenstand des Forschungsvorhabens

Das Konzept sieht vor, dass in der Bemessungsnorm ein Bemessungswert der Werkstoffkenngröße, wie z. B. der Druckfestigkeit des Mauerwerks, als charakteristische Größe eingeführt wird.

Der EC 6 mit dem nationalen Anhang wird von allen materialspezifischen Beschreibungen befreit. In einem ersten Schritt soll dann beispielhaft an einer Steinart die Form der Produktnorm erarbeitet werden. Ziel dieser Produktnorm ist die Festlegung der Herstellung, Prüfung und Festlegung charakteristischer Kenngrößen. Inwieweit innerhalb der Produktnorm dann Klassen gebildet werden, bleibt offen. Je nach Steinart und Lochbildvarianten kann dies durchaus praktikabel sein. Hier sollen mehrere Varianten erarbeitet werden, die zu diskutieren sind.

Wichtiger Bestandteil dieser Aufgabe ist die Diskussion mit der betroffenen Industrie, der Bauaufsicht und den planenden Ingenieuren. Die Konzepte werden daher frühzeitig in Workshops vorgestellt und diskutiert. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Vorgehensweise zur Ermittlung eines charakteristischen Werts abhängig gemacht werden muss von dem zu betrachteten Material.

### 1.3 Fazit

Ziel des Vorhabens ist die Schaffung der Voraussetzungen für eine strikte Trennung von EC 6 und Produktnormen. Beim Mauerwerk sind daher mindestens sechs Produktnormen, die in irgendeiner Form zu einer beschreibenden Produktkennzahl/-klasse kommen, so zu gestalten, dass der Bemessende mit dieser Kennzahl arbeiten kann, unabhängig davon, welche Stein-/Mörtelkombination bei der Ausführung dann gewählt werden soll. Zu betrachten sind dabei Ziegel, Kalksandstein, Beton- und Leichtbetonsteine, Porenbeton, Natursteine und der Mörtel.

Im ersten halben Jahr der Bearbeitung wurde ein Konzept für die Trennung der entsprechenden Normenteile erarbeitet, und die Vorbereitungen für die Erstellung eines sogenannten Schnipsel-Exemplars getroffen.

Im zweiten halben Jahr wurde das Schnipsel-Exemplar fertiggestellt. Der EC6 wurde von allen produktbezogenen und ausführungstechnischen Inhalten bereinigt. Die ausführungstechnischen Inhalte wurden in den EC6 Teil 2 überführt. Ganz wenige Inhalte müssen sowohl in Teil 1-1 als auch in Teil 2 redundant aufgeführt werden. Alle produktbezogenen Inhalte wurden in eine Zwischennorm ENXXX, wie im Bericht zum ersten Halbjahr erläutert, aufgenommen. Diese Inhalte können später noch in die Produktnormen integriert werden.

Wesentlich ist, dass die ursprüngliche Gruppeneinteilung vom Grundsatz her übernommen wurde. Bei einigen Steinarten wurde die Einteilung feiner unternommen, da im Nachgang festgestellt wurde, dass mancher Stein nicht in die Gruppen eingeordnet werden kann. Auch für Vollsteine wurde eine Gruppe gebildet. Letztendlich wurde in dem jetzigen Bearbeitungsstand die derzeitige Festlegung des NA zu den  $f_k$ -Werten übernommen. Dabei wird noch nicht die Gruppeneinteilung des EC6 übernommen. Dies soll im nächsten Bearbeitungsschritt versucht werden.

Im EC6 selbst wird lediglich eine Klasseneinteilung für die Druckfestigkeit von Mauerwerk, die Anfangsscherfestigkeit und die Steinzugfestigkeit vorgenommen. Das Prinzip sieht dann so aus, dass der Statiker die Klassen vorgibt, und der Ausführende muss auf der Basis der Kennwertermittlung in ENXXX und der Produktnorm die richtige Stein/Mörtelkombination heraussuchen.

In einem letzten Schritt wurde nun noch die Möglichkeit der Erweiterung der Produktnorm um steinspezifische Kennwerte (Haftscherfestigkeit, Steinzugfestigkeit) aufgezeigt werden. Damit besteht für den jeweiligen Steinhersteller die Möglichkeit, nicht die untere Grenze der charakteristischen Werte zu wählen, sondern bei Bedarf, z. B. bei erforderlicher höherer Ausnutzung der Materialeigenschaften, materialspezifische Kennwerte zu wählen. Es sollte dem jeweiligen Steinhersteller überlassen bleiben, ob er auf relativ konservative, normative Werte zurückgreift (die derzeit festgelegten Haftscherfestigkeiten) oder auf normative, individuelle, die er dann zu deklarieren hätte.

Ein erster Vorschlag zur Neustrukturierung von Eurocode 6 mit Kommentaren zur besseren Nachverfolgbarkeit der Umstrukturierung befindet sich im Anhang des Abschlussberichts.

## **2 Teilprojekt 2 „Knicken“ (Prof. Graubner)**

### **2.1 Anlass und Ausgangslage**

In diesem Forschungsvorhaben wird das Knickverhalten von Mauerwerkswänden untersucht und mit Hilfe neuerer Erkenntnisse zum nichtlinearen Materialverhalten im Fall des Stabilitätsversagens [1] ein einfaches praxisnahes Bemessungsverfahren entwickelt. Zusätzlich soll die bei teilaufliegenden Decken anzusetzende Knicklänge analysiert und ein entsprechender Vorschlag erarbeitet werden.

### **2.2 Gegenstand des Forschungsvorhabens**

Die infolge Stabilitätsversagen erforderliche Abminderung der zentrischen Tragfähigkeit unter Berücksichtigung von Schlankheit und Lastausmitte erfolgt mit Hilfe des Traglastfaktor  $\Phi_m$ . Die aktuelle Regelung ist umfangreich und für eine Handrechnung nur bedingt geeignet. Es sind viele Eingangsparameter, welche in den einzelnen Ländern unterschiedlich geregelt sein können und aus verschiedenen Tabellen abgelesen werden müssen, nötig um die Bemessung durchzuführen. Im Sinne der Grundsätze der Normungsarbeit [2] sollen Optimierungsparameter, mit denen eine genauere Anpassung an verschiedene Baustoffe erfolgt, vermieden werden. Dies wird erreicht, indem der neue Bemessungsvorschlag unabhängig vom  $E_0/f_k$ -Verhältnis, der Endkriechzahl  $\varphi_\infty$  und der Grenzschlankheit  $\lambda_c$  ist. Dadurch kann die Traglastfunktion baustoffübergreifend verwendet werden. Die baustoffspezifischen Eigenschaften werden integral in der Traglastfunktion erfasst. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass die Norm praxistypischer wird, da wesentlich weniger Eingangsparameter zu berücksichtigen sind, was wiederum zur Folge hat, dass die national festlegbaren Parameter reduziert bzw. gestrichen werden können. Des Weiteren wird die Handrechnung erheblich vereinfacht, da der Bemessungsvorschlag lediglich eine einfache lineare Traglastfunktion verwendet.

In der Tabelle 2.1 ist die aktuell gültige Regelung dem im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten und validierten neuen Bemessungsvorschlag gegenübergestellt. Um die Traglastfunktion von DIN EN 1996-1-1 [3] beim Stabilitätsversagen vereinfachen zu können, wurden umfangreiche Vergleichsberechnungen durchgeführt. In den Bildern 2.1 und 2.2 werden die Ergebnisse des neuen Bemessungsvorschlags (rote Kurven) beispielhaft dem aktuell gültigen Bemessungskonzept von DIN EN 1996-1-1 (blaue Kurven) und dem genaueren nichtlinearen Bemessungskonzept (schwarze Kurven) nach [1] gegenübergestellt. Der Ergebnisvergleich erfolgt beispielhaft für zwei praxistypische Stein-Mörtel-Kombinationen und zeigt die hohe Güte des einfachen Bemessungsansatzes. Gleichzeitig können gewisse Sicherheitsdefizite des komplexen Ansatzes nach DIN EN 1996-1-1 Anhang G bei großen planmäßigen Lastexzentrizitäten eliminiert werden.



Tabelle 2.1: Gegenüberstellung der Regelungen von EN 1996-1-1 mit dem neuen Bemessungsvorschlag

EN 1996-1-1	Neuer Bemessungsvorschlag
<p><b>Anhang G (1)</b></p> $\Phi_m = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}}$ <p>Dabei ist</p> $A_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t}$ $u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}}$ <p>mit</p> $\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{\frac{f_k}{E}} = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{K_E}$	<p><b>Anhang G (1)</b></p> $\Phi_m = 1,10 \cdot \left( 1 - 2 \cdot \frac{e_m}{t} \right) - 0,021 \cdot \lambda$ $\leq 1 - 2 \cdot \frac{e_m}{t}$ <p>mit</p> $\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}}$
<p><b>6.1.2.2 (1) (ii)</b></p> $e_{mk} = e_m + e_k \geq 0,05 \cdot t$ <p>mit</p> $e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init}$ $e_k = 0,002 \cdot \phi_{\infty} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m}$	<p><b>6.1.2.2 (1) (ii)</b></p> $e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{mit} \geq 0,05 \cdot t$ <p>(<math>M_{md}</math> beinhaltet die Momente in halber Wandhöhe infolge horizontaler Lasten z. B. Wind)</p>

Folgende Gleichungen und Parameter konnten reduziert bzw. eliminiert werden:

- Wegfall der Gl. (6.6) und (6.8) von EN 1996-1-1
- Reduzierung des NDP 3.7.4(2) zu EN 1996-1-1
- Wegfall des NDP 3.7.2(3) und NDP 6.1.2.2(2) zu EN 1996-1-1

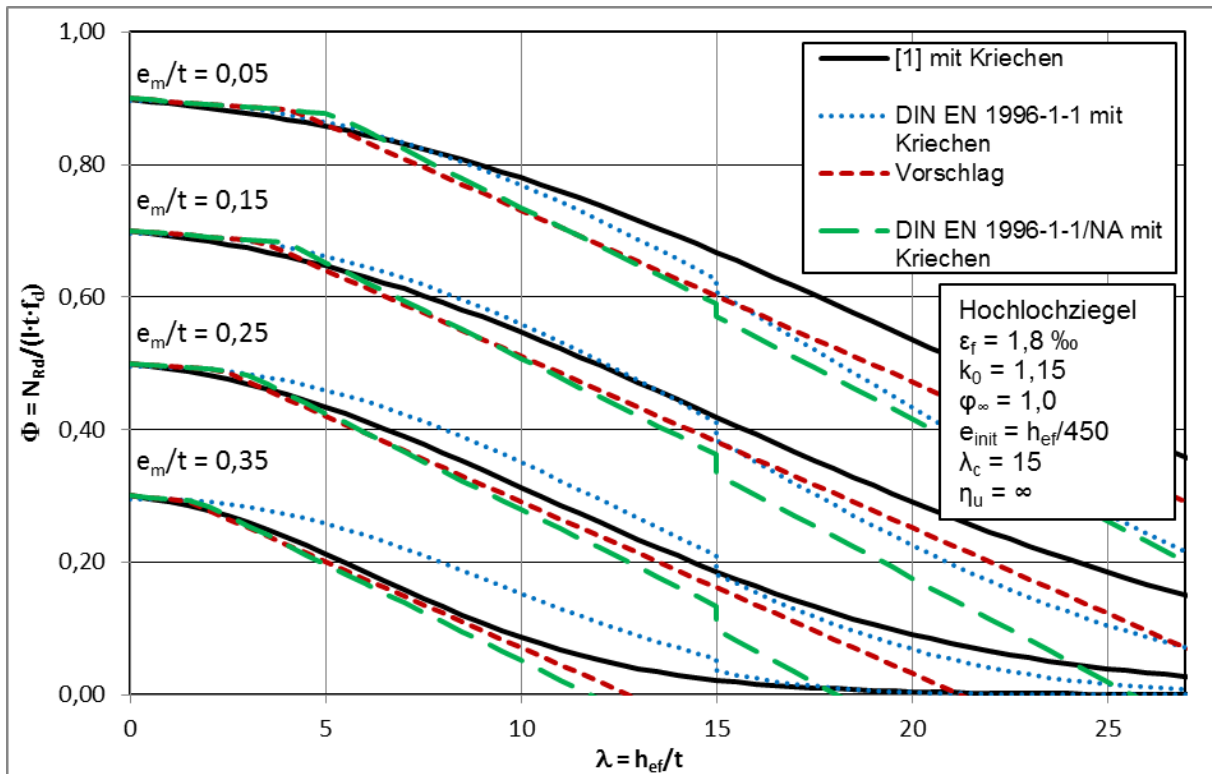


Bild 2.1: Vergleich der Traglastfunktionen für Mauerwerk aus Hochlochziegeln

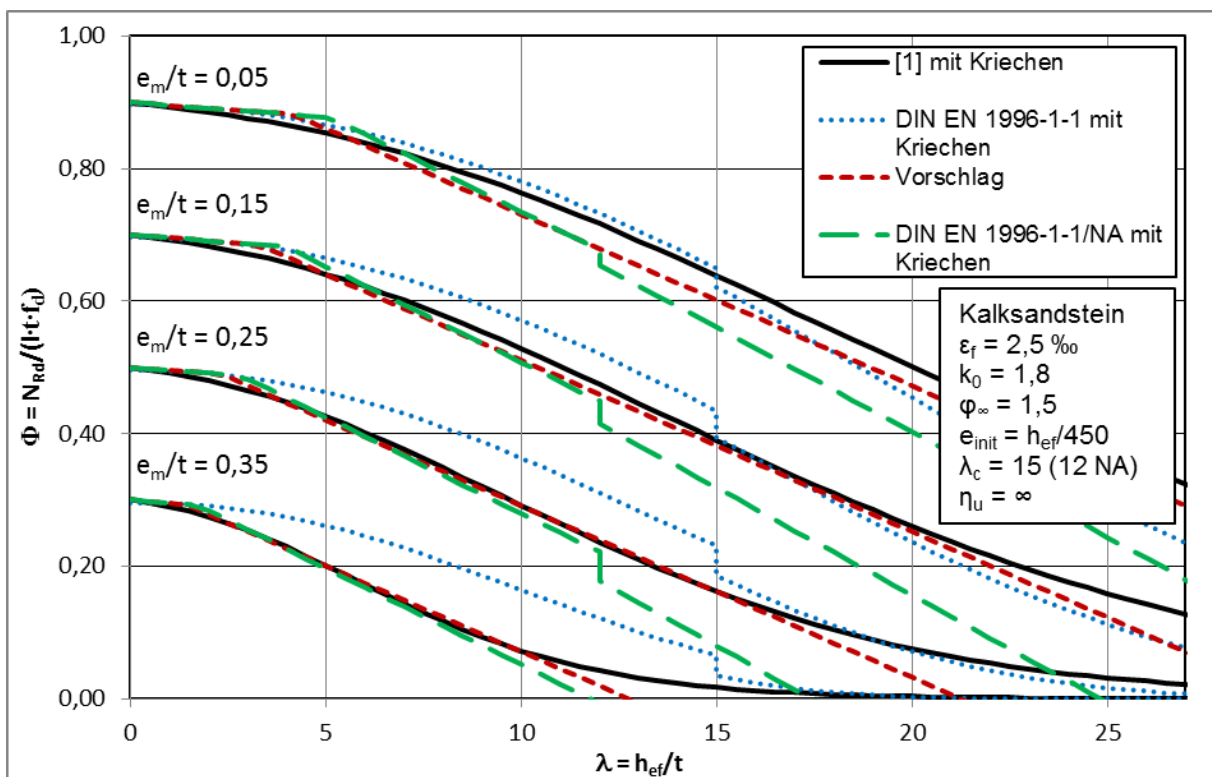


Bild 2.2: Vergleich der Traglastfunktionen für Mauerwerk aus Kalksandstein

Seitens des Landes Dänemark liegt ein Einspruch hinsichtlich der Traglastfaktoren nach Anhang G von DIN EN 1996-1-1 vor. Im Forschungsprojekt wurde gezeigt, dass im Falle großer Wandschlankheit ( $\lambda > 20$ ) mit dem Nachweisverfahren nach Anhang G bei bestimmten Stein-Mörtel-Kombinationen (kleines Verhältnis  $E_0/f_k$ ) die rechnerische Tragfähigkeit mit zunehmender Druckfestigkeit des Materials tatsächlich abnimmt. Allerdings ist dieser als „Defekt“ zu bezeichnende Effekt in aller Regel nicht praxisrelevant. Darüber hinaus wurde durch umfangreiche Untersuchungen mit realitätsnaher Modellierung des Tragverhaltens nachgewiesen, dass die mit dem Neuvorschlag ermittelten Traglasten stets konservativ sind. Mit dem neuen Bemessungskonzept kann also eine mögliche Verkomplizierung der aktuellen Regelung infolge einer Korrektur des „Defektes“ vermieden werden.

Auf europäischer Ebene hat die Erweiterung von EN 1996-3 [4] auf Mauerwerk mit teilweise aufliegenden Stahlbetondecken oberste Priorität [5]. Um komplizierte Regelungen abzuwenden und das vereinfachte Nachweisverfahren europaweit zu platzieren, wurde prä-normativ agiert und das Knickverhalten bei derartigen Beanspruchungssituationen analysiert. Bei der Ermittlung der Knicklänge von Wänden mit nur teilweise aufliegenden Decken sind zwei gegenläufige Mechanismen festzustellen. Zum einen wird beim Nachweis von Wänden unter nur teilweise aufliegenden Decken gemäß DIN EN 1996-1-1 die Wanddicke rechnerisch reduziert, was zu Folge hat, dass die Steifigkeit der Wand herabgesetzt wird. Bei den vorliegenden statisch unbestimmten Systemen bewirkt dies eine Reduktion der Einspannmomente der Decken am Wankopf/Wandfuß und somit auch eine geringere Exzentrizität der Lastresultierenden nach Th. I. Ordnung. Im Falle des Stabilitätsversagens wandert gleichzeitig die Lastresultierende infolge der Verformungen nach Th. II. O. weiter in Richtung des Querschnitts und erzeugt somit rückdrehende Momente. Dies verschiebt die Wendepunkte der Verformungskurve der Wand und würde damit eine Reduzierung der Knicklänge rechtfertigen. Dem entgegen steht jedoch, dass auf Grund der nur teilweisen Auflagerung der Decke am Wankopf- und fuß nicht die gesamte Wanddicke im Stabilitätsfall mitwirken kann. Näherungsweise kann dieser Sachverhalt durch einen Stab mit über die Stablänge veränderlichem Querschnitt werden. Ein solcher Stab weist jedoch eine wesentlich geringere kritische Knicklast auf.

Eine tiefer gehende Analyse beider Mechanismen ist im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht erfolgt, da für die Knotenmomentermittlung sowie für Ermittlung der rückdrehenden Momente wenige bis keine gesicherten Informationen vorliegen. Ohne weitere umfangreiche Untersuchungen des Sachverhalts wird daher empfohlen, die einfachen Regelungen zur Knicklängenbestimmung, die sich in Deutschland über die Jahre bewährt haben, auch bei teilaufliegenden Decken als Vorschlag in die europäische Normung zu übernehmen.

## 2.3 Fazit

Ziel des Vorhabens ist die Vereinfachung der im genaueren Nachweisverfahren von EN 1996-1-1 angegebenen Traglastfunktion bei Stabilitätsversagen unter gleichzeitiger Analyse der anzusetzenden Knicklängen. Der neue Vorschlag zur Ermittlung der Traglastfaktoren vereinfacht die Bemessung, da dieser werkstoffunabhängig und zudem mathematisch einfacher zu handhaben. Durch ersteren können mehrere nationale festzulegende Parameter eliminiert bzw. reduziert werden. Die Analyse der anzusetzenden Ersatzstablänge bei teilaufliegenden Decken zeigt, dass die europäische Regelung Defizite aufweist. Ein entsprechender Vorschlag zur Knicklängenermittlung wird unterbreitet.

## Literatur

- [1] Glock, C.: Traglast unbewehrter Beton- und Mauerwerkswände; Dissertation am Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt; 2004
- [2] Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e. V. (i. G.): Grundsätze bei der Normungsarbeit nach einem Beschluss des PRB-Lenkungsausschusses vom 6. April 2011. PRB-LA\_0030. Berlin.
- [3] EN 1996-1-1:2010-12 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. Berlin: Beuth-Verlag.
- [4] EN 1996-3:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten. Berlin: Beuth-Verlag.
- [5] CEN/TC 250/SC 6 N 490; Dokument zur Sitzung des Ausschusses CEN/TC 250/SC 6 am 04.05.2012 in Paris.

### **3 Teilprojekt 3 „Großer Scheibenschub“ (Prof. Jäger)**

#### **3.1 Anlass und Ausgangslage**

Die Aufteilung der horizontalen Kräfte auf die Aussteifungsbauteile eines Wandsystems geht von einem elastischen (nicht gerissenen und nicht plastischen) Zustand aus. Die Berücksichtigung des gerissenen und/oder plastischen Zustands soll künftig durch ein verformungs-basiertes Vorgehen statt des bisher angewandten steifigkeitsbasierten Vorgehens erfolgen. Eine Stabformulierung wird für den linearen und gerissenen Zustand hergeleitet und umgesetzt.

#### **3.2 Gegenstand des Forschungsvorhabens**

Es ist allgemein üblich, die Aufteilung der horizontalen Kräfte auf die Aussteifungsbauteile eines Skelett- oder Wandsystems über die Biegesteifigkeiten der aussteifenden Bauteile im ungerissenen Zustand vorzunehmen. Es wird davon ausgegangen, dass die Deckenscheiben unendlich steif sind und sich nicht verformen. Den gerissenen Zustand kann man sicher unter Verwendung reduzierter Steifigkeitswerte abbilden, jedoch nur sehr ungenau. Nichtlineare Effekte und Umlagerungen können auf diese Weise nicht erfasst oder berücksichtigt werden.

Der Übergang auf das semiprobabilistische Bemessungskonzept hat im Mauerwerksbau zu erheblichen Problemen geführt, weil die Fakturierung der Einwirkungen für z.B. Wind mit einer relativ großen Spreizung erfolgt. Es sind im vergangenen Jahrzehnt erhebliche Anstrengungen unternommen worden, um diesen theoretischen Defekt zu kompensieren, z.B. durch Erschließung von Tragreserven. Die Bemessungsmethode geht von Grenzzuständen aus, die im Falle der Tragfähigkeit gegen den Versagenszustand – genau genommen des Bauwerks – absichert. Dieser Zustand muss im Mauerwerksbau aber noch lange nicht erreicht sein, wenn die ersten Risse auftreten. Die Denkweise des Absicherns gegen Risse führt zu einer Unterschätzung der Tragfähigkeit und damit zu unwirtschaftlichen Konstruktionen. Nichtlineare Materialeffekte und das Gesamtverhalten bleiben dabei i.d.R. auf der Strecke.

In DIN EN 1996-3/NA:2012-01 heißt es unter NDP zu 4.1(1)P „Auf einen rechnerischen Nachweis der Aussteifung darf verzichtet werden, wenn ... in Längs- und Querrichtung des Gebäudes eine offensichtlich ausreichende Anzahl von genügend langen aussteifenden Wänden vorhanden ist, ...“. Die Quantifizierung von Tragreserven der Aussteifungssysteme dieser Gebäude kann Zweifeln auf europäischer Ebene an dieser Regel entgegenwirken.

Beschreibung des verformungsbasierten Vorgehens:

Im Erdbebeningenieurwesen hat sich eine Beurteilungsmethode des Tragverhaltens etabliert, die als Kapazitätsspektrum-Methode bekannt geworden ist. Sie hat das Verhalten des Bauwerkes unter Einwirkung von Erdbebenkräften zum Inhalt und kombiniert Verformung und Festigkeit als Kriterien. Sie setzt eine Push-Over-Kurve voraus, die das Last-Verformungs-Verhalten des Bauwerkes unter Berücksichtigung von Lastumlagerung, Fließgelenken, plastischen Zonen etc. beschreibt. Dabei wird die horizontale Einwirkung auf das

Bauwerk inkrementell gesteigert und die Verformung eines oder mehrerer markanter Punkte des Bauwerkes beobachtet, bis ein gesetzter Grenzwert erreicht ist oder eben Bauteile bzw. das Gesamtsystem versagen.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, das verformungsbasierte Vorgehen unter Berücksichtigung struktureller und materieller Nichtlinearitäten auf den statischen Nachweis von Mauerwerksbauten mit steifen Stahlbetondeckenscheiben zu übertragen, um zukünftig die Bemessung mit einer wirklichkeitsnäheren Lastverteilung vornehmen zu können.

Beschreibung der Stablösung (Deformationsmethode):

Für die Idealisierung als Stabwerk wird angenommen, dass die Wandscheiben an die Decken jeweils über Gelenke angeschlossen sind, wodurch eine Übertragung von Momenten aus den Decken senkrecht zur Wandebene ausgeschlossen wird. Parallel zur Wandscheibe wird der Anschluss als eingespannt-eingespannt oder eingespannt-gelagert angenommen, siehe Bild 3.1.

Die Herleitung der Steifigkeitsmatrizen der einzelnen Wandscheiben basiert auf die Herleitung der Steifigkeitsmatrix für einen eben wirkenden Stab mit konstantem Rechteckquerschnitt unter Berücksichtigung der Querkraftgleitung (Stabtheorie nach Timoschenko). Diese Formulierung wurde um gerissene und plastifizierte Wandbereiche erweitert. Eine Berechnung des in Bild 3.3 dargestellten Beispielsystems mit Geschossen mit und ohne Umlagerungsmöglichkeiten zeigt Tragreserven von bis zu 115 % durch Umlagerung im gerissenen Zustand.

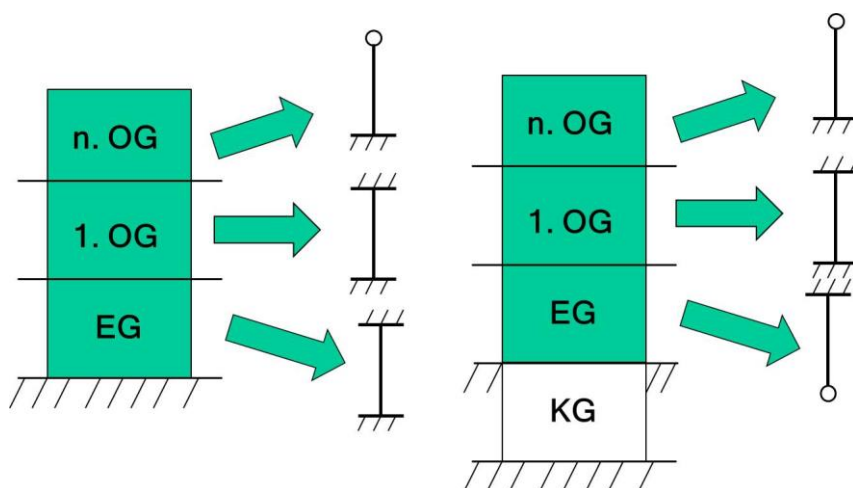


Bild 3.1: Stabwerksidealisation der Wandscheiben

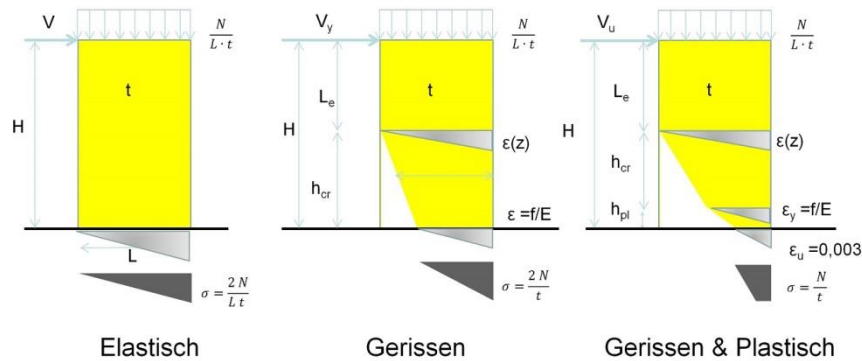


Bild 3.2: Wandscheibe: elastisch, gerissen, gerissen & plastisch

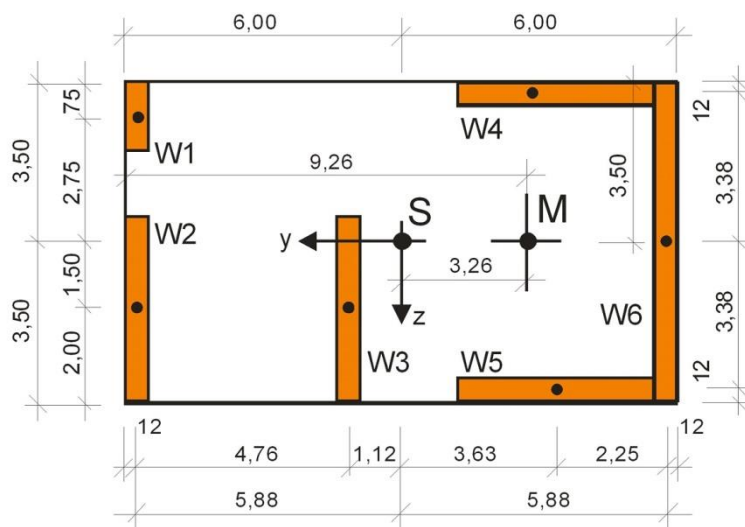


Bild 3.3: Beispielsystem: Grundriss

### 3.3 Fazit

Geplante Ziele: Verbesserung der Praxistauglichkeit der Baunormen durch Berücksichtigung des gerissenen und/oder plastischen Zustands der Aussteifungsbauteile.

Erreichte Ergebnisse:

- detaillierte Beschreibung des verformungsbasierten Vorgehens einschließlich Programmablaufplänen
- Herleitung der Stabsteifigkeitsmatrizen für Stäbe mit teilweise gerissenem und/oder plastischem Querschnitt, Berücksichtigung der Schubverformungen nach Timoschenko
- Programmierung in Matlab & Fortran
- durch Schnittkraftumlagerung infolge der Berücksichtigung des gerissenen Zustands, können Tragreserven von bis zu 115 % erreicht werden
- diese Tragreserven rechtfertigen den Verzicht auf einen Nachweis der Aussteifung bei offensichtlich ausgesteiften Gebäuden in DIN EN 1996-3/NA:2012-01



## 4 Teilprojekt 4 „Kleiner Scheibenschub“ (Prof. Seim)

### 4.1 Anlass und Ausgangslage

Das Teilprojekt 4 befasst sich mit dem „Kleinen Scheibenschub“. Mit diesem Titel ist die Auseinandersetzung mit den Nachweisformaten und –regeln zum Schubnachweis gemauerter Scheiben gemeint. Unter dem Begriff „Scheibenschub“ wird in diesem Zusammenhang das Tragverhalten gemauerter Wandscheiben zusammengefasst, welche horizontale und vertikale Kräfte in der Scheibenebene abtragen. Dabei wird das Tragverhalten und die Tragfähigkeit bei Mauerwerkswänden aufgrund der in der Regel nicht vorhandenen Bewehrung ganz entscheidend von der Interaktion vertikaler und horizontaler Einwirkungen bestimmt.

Die Ausgangslage für das Teilprojekt ist durch folgende Situation gekennzeichnet:

- Der Schubnachweis für gemauerte Wandscheiben soll auf der Grundlage der bekannten Regeln der Technischen Mechanik geführt werden. Dabei soll es möglichst keine Vermischung unterschiedlicher Prinzipien und unterschiedlicher Bezugsebenen (Kraft bzw. Spannung) geben.
- Die Anwendbarkeit der Nachweiskonzepte sollen durch einfache Bemessungsgleichungen und durch grafische Auswertungen verbessert werden.
- Es sollen nicht mehr als zwei Einwirkungskombinationen betrachtet werden.
- Die Vorgehensweise und die Bezeichnungen bei Einzelnachweisen soll so gewählt werden, dass eine Durchgängigkeit über Baustoffgrenzen hinweg erreicht wird. Das betrifft insbesondere die Schnittstellen Stahlbeton – Mauerwerk – Gründung.
- Die vorgeschlagenen Regelungen sollen einen Verzicht auf eine eigenständige deutsche Regelung vorbereiten.

Durch Inkonsistenzen auf der einen und Doppelungen der Regelungen auf der anderen Seite werden wesentliche Grundsätze für einfache und anwendungsfreundliche Normen verletzt.

### 4.2 Gegenstand des Forschungsvorhabens

Mit Bezug auf die „Grundsätze bei der Normungsarbeit“ [1] können folgende übergeordnete Zielsetzungen für das Teilprojekt 4 definiert werden:

- Der Schubnachweis für gemauerte Wandscheiben soll auf der Grundlage der bekannten *Regeln der Technischen Mechanik* geführt werden. Dabei soll es möglichst keine Vermischung unterschiedlicher Prinzipien und unterschiedlicher Bezugsebenen (Kraft bzw. Spannung) geben.
- Die Anwendbarkeit der Nachweiskonzepte sollen durch *einfache Bemessungsgleichungen und durch grafische Auswertungen* verbessert werden.
- Es sollen nicht mehr als *zwei Einwirkungskombinationen* betrachtet werden.
- Die Vorgehensweise und die Bezeichnungen bei Einzelnachweisen soll so gewählt werden, dass eine *Durchgängigkeit über Baustoffgrenzen* hinweg erreicht wird. Das betrifft insbesondere die Schnittstellen Stahlbeton – Mauerwerk – Gründung.

- Die vorgeschlagenen Regelungen sollen einen *Verzicht auf eine eigenständige deutsche Regelung* vorbereiten.

In einem ersten Schritt (Anamnese) wurden auf der Grundlage einer umfassenden Zustandserfassung die Unterschiede zwischen europäischen und deutschen Regeln dokumentiert und es wurden die Inkonsistenzen bei der Anwendung mechanischer Prinzipien herausgearbeitet. Es wurden durch Vergleichsberechnung die Konsequenzen dargestellt, welche sich aus den unterschiedlichen Regelungen hinsichtlich der rechnerisch anzusetzenden Tragfähigkeit einzelner schubbeanspruchter Wandscheiben ergeben. Dabei wurde anschaulich die sehr unterschiedliche Bewertung der Schubfestigkeit auf europäischer und deutscher Ebene dargestellt.

Im Sinne einer Therapie wurden folgende konkrete Vorschläge ausgearbeitet:

Alle Gleichungen zur Ermittlung der Schubfestigkeit wurden *auf die „Kraftebene“ umgestellt*. Damit ergibt sich eine durchgängige auf die einfachen Grundlagen der technischen Mechanik bezogene Betrachtungsweise. Einwirkungen können auf der Grundlage von Stabwerksanalogien ermittelt werden. Der Lastfluss bleibt anschaulich und nachvollziehbar. Die Vermischung von Elastizitätstheorie und Plastizitätstheorie bei der Spannungsermittlung entfällt.

Durch die *Einführung eines Vorfaktors  $k_v$*  werden unterschiedliche – auf mehr oder weniger empirischer Basis eingeführte – Korrekturwerte zusammengefasst. Die eigentliche Nachweisgleichung wird dadurch von nicht oder nur schwer nachvollziehbaren Beiwerten befreit. Sollte die angestrebte Vereinheitlichung des Schubnachweises auf europäischer Ebene nicht glücken, so bietet der Vorfaktor die Möglichkeit den Unterschied bei den nationalen Regelungen in diesen Faktor zu „packen“.

Zur Vereinfachung des Schubnachweises wurde das Prinzip der *Interaktionsdiagramme* aufgegriffen [2]. In allgemeiner Form wurden die Gleichungen zur Erstellung von Interaktionsdiagrammen aufbereitet. Dies sowohl für die europäische als auch für die deutsche Variante des Schubnachweises. Es wurden beispielhafte Interaktionsdiagramme erstellt. Diese können direkt für die einfache Bemessung genutzt werden und stellen gleichzeitig eine hervorragende Grundlage dar, um unterschiedliche Regelungen zum Schubnachweis direkt und anschaulich zu vergleichen.

#### **4.3 Fazit**

Die Ermittlung der Tragfähigkeit von Mauerwerksscheiben unter horizontalen und vertikalen Einwirkungen ist aufgrund der Anisotropie des Werkstoffs keine triviale Aufgabe. Vor diesem Hintergrund erscheinen die derzeitigen Regelungen hinsichtlich des Umfangs als angemessen. Der Schwerpunkt des Projektes lag somit darin, die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der vorhandenen Regelungen zu verbessern und deren Anwendung zu vereinfachen.

#### **Literatur**

- [1] Grundsätze bei der Normungsarbeit, PRB-LA\_00030, 2011.
- [2] SIA 266; Schweizer Norm Mauerwerk. Schweizerischer Architekten- und Ingenieurverein. 2003.

## **5 Zusatzprojekt: Analyse der nationalen Anhänge zum Eurocode 6 in anderen europäischen Ländern (Prof. Graubner)**

### **5.1 Anlass und Ausgangslage**

Die Eurocodes werden in den einzelnen europäischen Staaten üblicherweise an den Stellen ergänzt, an denen Öffnungsklauseln vorhanden sind. Dabei handelt es sich um sogenannte NDPs (Nationally Determined Parameters), d. h. um national zu bestimmende Kenngrößen. Mit den NDPs werden national-staatlich wichtige bestehende Regelungen fortgeschrieben, die sich aus der Bautradition ergeben und die das jeweilige Sicherheitsniveau und -empfinden der Länder berücksichtigen. Weiterhin werden nationalstaatlich sogenannte NCIs (Non-Conflicting Information) ergänzt. Damit werden Regelungen fortgeschrieben, die bislang im jeweiligen europäischen Land galten und die nicht im Widerspruch zu den neuen Eurocode-Regelungen stehen.

Wichtig für eine Durchsetzung der deutschen Position in Europa ist es, die Interessenlage der anderen europäischen Länder zu verstehen. Dies soll durch eine Analyse der Anhänge zum Eurocode 6 erfolgen. Die Länderauswahl bezieht sich auf die Anrainerstaaten sowie die im europäischen Mauerwerksbau wichtigen Länder (England und Italien):

- Deutschland (DE)
- Österreich (AT)
- Belgien (BE)
- Technische Republik (CZ)
- Dänemark (DK)
- England (GB)
- Frankreich (FR)
- Italien (IT)
- Niederlande (NL)
- Polen (PL)
- Schweiz (CH)

Untersucht werden die Teile 1-1; 2 und 3 von EN 1996.

Nachfolgend ist die Anzahl der zu untersuchenden NDPs der einzelnen Normenteile aufgelistet:

- EN 1996-1-1      20 NDPs
- EN 1996-2        5 NDPs
- EN 1996-3        8 NDPs

Zu Beginn des Forschungsvorhabens mussten die verschiedenen nationalen Anhänge aus den unterschiedlichen Ländern (31 Dokumente) beschafft werden. Die meisten nationalen Anhänge liegen nur in der jeweiligen Landessprache vor. Da im Speziellen bei Normen die exakten Formulierungen von großer Bedeutung sind, erschwert dieser Umstand die Untersuchungen enorm.

## 5.2 Beispielhafte Darstellung einer Analyse eines NDPs

Nachfolgend wird anhand des NDP 3.7.2 (2) beispielhaft dargestellt wie Regelungen der einzelnen Länder gegenübergestellt werden.

Tabelle 5.1: NDP 3.7.2 (2) Kennzahl zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls ( $E = K_E \cdot f_k$ )

	Kennzahl $K_E$				
	Mauerziegel	Kalksandsteine	Leichtbetonsteine	Betonsteine	Porenbetonsteine
DE	1.100	950	950	2.400	550
AT	1.000				
BE	1.000				
CZ	1.000		700	1.000	700
DK	für Mörtel mit Kalk als Bindemittel (ohne Zementanteile): $150 \cdot f_m^{1)}$ für Mörtel mit Zement als Bindemittel: $\min(20 \cdot f_b; 400 \cdot f_m; 1.000)$		1.000	-	450
GB	1.000				
FR	1.000				
IT	1.000				
NL	700				
PL	wenn $f_m \geq 5,0$ N/mm <sup>2</sup> : 1.000 (außer Porenbeton) wenn $f_m < 5$ N/mm <sup>2</sup> : 600				
CH	1.000				

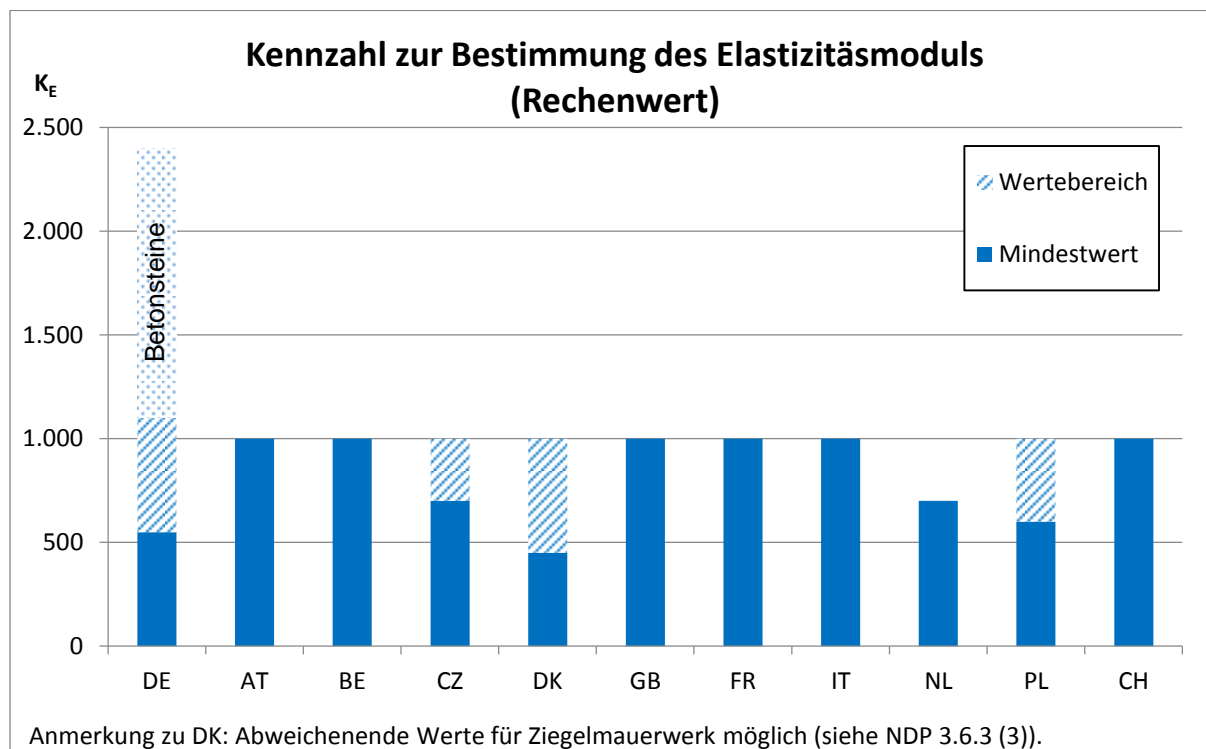


Bild 5.1: Kennzahl zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls

#### Zwischenfazit:

Während in Deutschland eine starke Differenzierung der Kennzahlen zur Elastizitätsmodulermittlung vorgesehen ist, kommen in vielen anderen Ländern einheitliche, steinunabhängige Kennzahlen zur Anwendung.

Die Einstufung erfolgt als mittleres Harmonisierungspotential.

### 5.3 Fazit

Die gesamte Analyse und Auswertung aller NDPs von DIN EN 1996 Teil 1-1; 2 und 3 erfolgt analog zu dem dargestellten Beispiel. Zusätzlich werden die einzelnen Normenteile bzw. die dazugehörigen NDPs hinsichtlich ihres Harmonisierungspotentials analysiert und anschaulich dargestellt. Durch die direkte Gegenüberstellung der Regelungen der verschiedenen Länder werden die unterschiedlichen Interessenlagen deutlich. Dies soll die zukünftige europäische Normungsarbeit erleichtern.