

Kurzbericht zum Forschungsvorhaben:

Probabilistisch fundierte Analyse von Tragreserven bei Mauerwerksgebäuden zur kostengünstigeren Bemessung von Druckgliedern und Biegebauteilen unter Eigenlast

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Dipl.-Ing. Simon Glowienka

Mit der Einführung der DIN 1053-100 (2006) kommt auch im Mauerwerksbau das Teilsicherheitskonzept zur Anwendung, wodurch zukünftig die Sicherheitskoeffizienten auf die Werkstoff- und Einwirkungsseite verteilt werden. Für die Massivbauweise ist der erforderliche Sicherheitsbeiwert für Eigenlasten dabei von besonderem Interesse, da der Anteil des Eigengewichtes an der Gesamteinwirkung besonders hoch ist und deshalb einen signifikanten Einfluss auf die Bemessung und die Zuverlässigkeit entsprechender Bauteile hat.

Im Rahmen des Projektes sollte der Einfluss des Konstruktionseigengewicht auf die Zuverlässigkeit von unbewehrtem, druckbeanspruchtem Mauerwerk analysiert und die ggf. vorhandenen Reserven des Teilsicherheitsbeiwertes γ_G für das Konstruktionseigengewichtes (bei ungünstiger Wirkung) quantifiziert werden. Da die Analyse auf Basis probabilistischer Verfahren erfolgt, müssen zunächst die hierzu benötigten statistischen Kenngrößen des Konstruktionseigengewichtes analysiert werden. Im Rahmen des Projektes wurden ausschließlich massive Konstruktionen in Verbindung mit Stahlbetondecken behandelt, da dies die typische Bauweise in der überwiegenden Zahl der Mauerwerksgebäude darstellt. Die anschließende Analyse des Teilsicherheitsbeiwertes γ_G erfolgte für den ungünstigsten Fall der alleinigen Wirkung des Eigengewichtes im Bemessungsfall, wobei zur Abrundung auch auf die Auswirkungen einer kombinierten Beanspruchung infolge Nutzlast und Konstruktionseigengewicht eingegangen wurde.

Die Analyse der erforderlichen Größe des Teilsicherheitsbeiwertes γ_G muss auch die Einhaltung des Gesamtzuverlässigkeitsniveaus nach DIN 1055-100 (2001) umfassen. Daher wurde abschließend das Zuverlässigkeitsniveau von Mauerwerkskonstruktionen, die gemäß DIN 1053-100 (2006) bemessen wurden, analysiert, wobei auch auf den Einfluss einer kombinierten Einwirkung aus Nutzlast und Konstruktionseigengewicht unter baupraktischen Randbedingungen eingegangen wurde. Im Rahmen des Projektes erfolgte eine Zuverlässigkeitsanalyse auf Querschnittsebene unter zentrischem und exzentrischem Lastangriff. Beanspruchungen infolge Querkrafteinwirkung wurden im Rahmen des Projektes nicht behandelt.

Im ersten Schritt des Projektes wurden gegebene Modelle zur stochastischen Modellierung des Konstruktionseigengewichtes entwickelt. Hierbei wurde das Konstruktionseigengewicht einer Mauerwerkswand mit allen Komponenten (Stein, Mörtel, Putz etc.) aufwendig stochastisch modelliert. Um die Vielfalt an Steinen und Materialien zu berücksichtigen wurde der Einfluss verschiedener Variationskoeffizienten der Steine auf die Streuung des Gesamtwandseigengewichtes untersucht. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die Berücksichti-

gung der Modellunsicherheiten gelegt. Einen ebenfalls wichtigen Einfluss auf die Streuung des gesamten Konstruktionseigengewichtes hat darüber hinaus die Streuung des Deckeneigengewichtes, welches auch stochastisch modelliert wurde. Es zeigte sich, dass die Gesamtstreuung des Wandeigengewichtes inklusive der Modellunsicherheiten mit $V_{G,tot} = 8\%$ abgeschätzt werden kann. Für sehr große Streuungen der Steinwichte kann die Gesamtstreuung bis auf $V_{G,tot} = 10\%$ ansteigen, unter Berücksichtigung von baupraktischen Randbedingungen zwischen Wand- und Deckeneigengewicht, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1 $V_{G,tot}$ in Abhängigkeit von $V_{G,Wand}$ und c

Variationskoeffizient des Konstruktionseigengewichtes $V_{G,tot}$ ²⁾³⁾							
$c^{1)}$	Variationskoeffizient des Wandeigengewichtes $V_{G,Wand}$						
	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200
0,0	0,07	0,09	0,11	0,14	0,16	0,18	0,21
0,1	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,19
0,2	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17
0,3	0,06	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15
0,4	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13
0,5	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
0,6	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10
0,7	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09
0,8	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08
0,9	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
1,0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

$c = G_{Decke} / (G_{Wand} + G_{Decke})$
 $V_{DG,Decke}$ beträgt 6 %
 Inkl. $V_{Modellunsicherheit} = 5 \%$

Im nächsten Schritt wurde die Streuung des Tragwiderstandes von druckbeanspruchtem Mauerwerk analysiert, da für die zuverlässigkeitstheoretische Beurteilung sowohl die stochastischen Eigenschaften der Einwirkungsseite wie auch der Widerstandsseite benötigt werden. Der erste zu untersuchende Parameter auf Materialseite ist die Mauerwerksdruckfestigkeit, die sich aus den Parametern Steindruckfestigkeit und Mörteldruckfestigkeit ergibt. Für beide Eingangsgrößen liegt eine ausreichend große Datenbasis an Versuchen vor (siehe Jäger et al. (2007)). Auf dieser Grundlage wurden die statistischen Momente der Mauerwerksdruckfestigkeit bestimmt. Unsicherheiten bezüglich der stochastischen Modellierung des Tragwiderstandes wurden auf Basis der Empfehlungen des JCSS (2003) wie für Betontragwerke abgeschätzt. Danach folgte die Analyse des erforderlichen Teilsicherheitsbeiwertes γ_g für das Eigengewicht bei der Bemessung von zentrisch belastetem Mauerwerk. Zunächst wurden Teilsicherheitsbeiwerte für das Eigengewicht auf Basis geschätzter Sensitivitätsbeiwerte für Einwirkung und Widerstand bestimmt. Dies machte die Bestimmung des erforderlichen Teilsicherheitsbeiwertes ohne eine umfangreiche Zuverlässigkeitsanalyse möglich. Die Vermutung, dass der Teilsicherheitsbeiwert γ_G Reserven birgt, bestätigte sich. Es zeigte sich jedoch auch, dass diese Reserven vorhandene Defizite des Teilsicherheitsbeiwertes γ_M auf Materialseite aus-

gleichen. Um eine wirkliche Aussage über die Zuverlässigkeit von Mauerwerksquerschnitten treffen zu können, wurden aber auch baupraktische Randbedingungen und exzentrisch wirkende Lasten untersucht. Dabei zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit des Zuverlässigkeitsniveaus von der vorhandenen Exzentrizität. Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen das Zuverlässigkeitsniveau in Abhängigkeit der Exzentrizität.

Außerdem zeigte sich, dass in vielen Fällen eine Absenkung des Teilsicherheitsbeiwertes von $\gamma_g = 1,35$ auf $\gamma_g = 1,25$ möglich ist, ohne den in DIN 1055-100 geforderten Zielwert des Zuverlässigkeitsniveaus ($\beta = 3,8$ bei einem Bezugszeitraum von 50 Jahren) zu unterschreiten. Insgesamt kann ein Zuverlässigkeitsindex $\beta = 3,2$ als unterer akzeptabler Grenzwert angenommen werden, da dies der Empfehlung des JCSS (2001) für einfache Gebäude mit überschaubarem Schadenspotenzial entspricht.

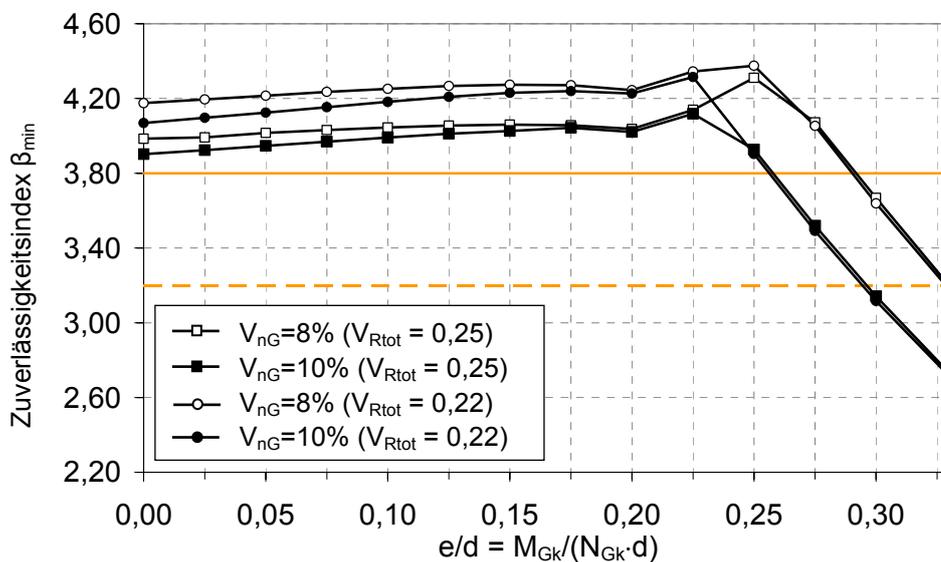


Abbildung 1 Tragfähigkeit gemauerter Querschnitte in Abhängigkeit der Ausmitte und zugehöriger Zuverlässigkeitsindex β_{min} für einen Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_G = 1,35$

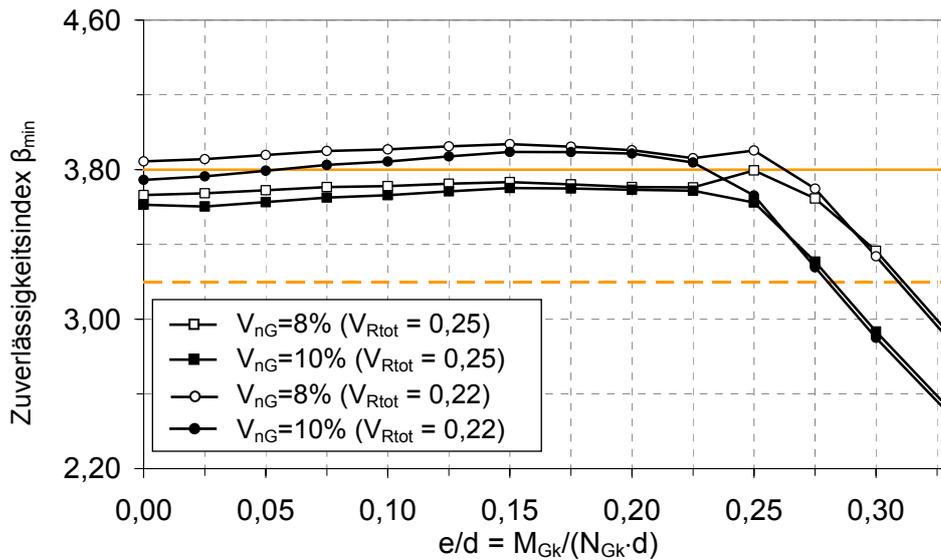


Abbildung 2 Tragfähigkeit gemauerter Querschnitte in Abhängigkeit der Ausmitte und zugehöriger Zuverlässigkeitsindex β_{\min} für einen Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_G = 1,25$

Für kleine und mittlere Exzentrizitäten wurde ein dominierender Einfluss des Widerstandes und der Modellunsicherheiten des Tragwiderstandes auf das Zuverlässigkeitsniveau festgestellt. Die gleichzeitige Wirkung von Nutzlasten führt unter mauerwerkstypischen Randbedingungen zu einer Steigerung der Zuverlässigkeit bei kleiner und mittlerer Lastexzentrizität, siehe Abbildung 2.

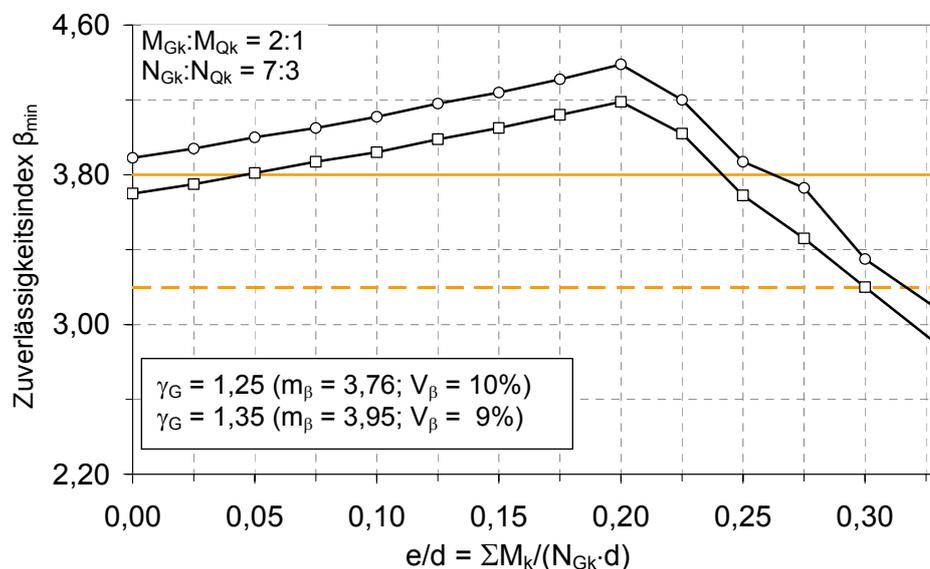


Abbildung 2: Tragfähigkeit gemauerter Querschnitte in Abhängigkeit der Ausmitte und zugehöriger Zuverlässigkeitsindex β_{\min} für verschiedene Teilsicherheitsbeiwerte γ_G bei kombinierter Beanspruchung aus Konstruktionseigengewicht und Nutzlasten

Im Gegensatz dazu, wird die Versagenswahrscheinlichkeit bei großen Lastexzentrizitäten von der Streuung der Einwirkungen bestimmt, was mit einem nicht unerheblichen Einbruch des Zuverlässigkeitsniveaus einhergeht. Alle Analysen wurden zunächst für unabhängige Schnittgrößen durchgeführt, was näherungsweise der Nachweissituation am Wandfuß entspricht. Eine vorhandene Korrelation zwischen Normalkraft und Biegemoment – wie sie in der Praxis häufig auftritt – führt bei günstiger Wirkung der Normalkräfte, d.h. bei großen und sehr großen Exzentrizitäten zu einer signifikanten Steigerung der Zuverlässigkeit. Allerdings ist eine realistische Quantifizierung der vorhandenen Korrelation bzw. des Korrelationskoeffizienten schwierig, da die Schnittgrößen sich aus mehrfach statisch unbestimmten Rahmensystemen ergeben.

Insgesamt kann auf Basis der durchgeführten Analysen und der angenommenen Streuungen festgestellt werden, dass die Bemessung gemäß DIN 1053-100 (2006) und DIN 1055-100 (2001) unter Berücksichtigung von mauerwerkstypischen Randbedingungen, das in DIN 1055-100 (2001) baustoffübergreifend definierte Zuverlässigkeitsniveau sicherstellen. Die unvermeidbaren Abweichungen vom Zielwert $\beta_T = 3,80$ (für einen Bezugszeitraum von 50 Jahren) in Einzelfällen liegen innerhalb akzeptabler Grenzen, die auf Basis der Empfehlungen des JCSS (2003) und der GruSiBau (1981) festgelegt wurden. Für eine Gesamtstreuung des Konstruktionseigengewichtes von $V_{G,tot} \leq 8\%$ ist, auf Basis der durchgeführten Analysen, eine Absenkungen des Teilsicherheitsbeiwertes für das Konstruktionseigengewicht bei ungünstiger Wirkung auf $\gamma_G = 1,25$ bis zu einer Exzentrizität der Last von $e/d = 0,25$ möglich. Alternativ könnten bei druckbeanspruchtem Mauerwerk die ermittelten Reserven zur Absenkung des Teilsicherheitsfaktors γ_M genutzt werden, was zum einen normativ leichter umsetzbar sein sollte und zum anderen eine geringerer Beeinflussung des Zuverlässigkeitsniveaus bei großen und sehr großen Exzentrizitäten mit sich bringt. Für eine generelle Aussage bezüglich einer möglichen Absenkung von Teilsicherheitsfaktoren im Mauerwerksbau sind jedoch weiterführende Untersuchungen unter Berücksichtigung der Wandschlankheit sowie unter Schubbeanspruchung erforderlich.

Literatur

DIN 1053-1 (1996): Mauerwerk, Teil 1: Berechnung und Ausführung, Beuth-Verlag, Berlin

DIN 1055-100 (2001): Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, Beuth-Verlag, Berlin

DIN 1053-100 (2006): Mauerwerk, Teil 100: Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts, Beuth-Verlag, Berlin

GruSiBau (1981): Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen, Beuth-Verlag, Berlin

Jäger, W. Pflücke, T., Schöps, P., Hofmann, J. (2007): Nationaler Anhang zur europäischen Mauerwerksnorm EN 1996-1-1, Forschungsbericht im Auftrag des DIBt, Berlin.

JCSS (2001): Probabilistic Assessment of Existing Structures, RILEM Publications, S.A.R.L.

JCSS (2003): Probabilistic Model Code, Joint Committee on Structural Safety, www.jcss.ethz.ch