

Zusammenfassung mit Wertung für die praktische Anwendung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde Anwendbarkeit des Aussteifungskriteriums nach DIN 1045 auf die Besonderheiten der Mauerwerksbauweise überprüft. In diesem Zusammenhang sollten die Einflüsse einer realitätsnahen Bestimmung der Biegesteifigkeit EI^{II} von aussteifenden Mauerwerkswandscheiben ermittelt, sowie ein Vorschlag zur Modifizierung des Aussteifungskriteriums an die Besonderheiten der Mauerwerksbauweise erarbeitet werden.

Der Nachweis der räumlichen Steifigkeit und Stabilität im Mauerwerksbau und Stahlbetonbau ist auf den Nachweis der DIN 1045 vom Juli 1988 zurückzuführen (siehe Gleichung (1)).

$$\alpha = h_{\text{ges}} \cdot \sqrt{\frac{N_k}{EI}} \begin{array}{ll} \leq 0,6 & \text{für } n \geq 4 \\ \leq 0,2 + 0,1 \cdot n & \text{für } 1 \leq n < 4 \end{array} \quad (1)$$

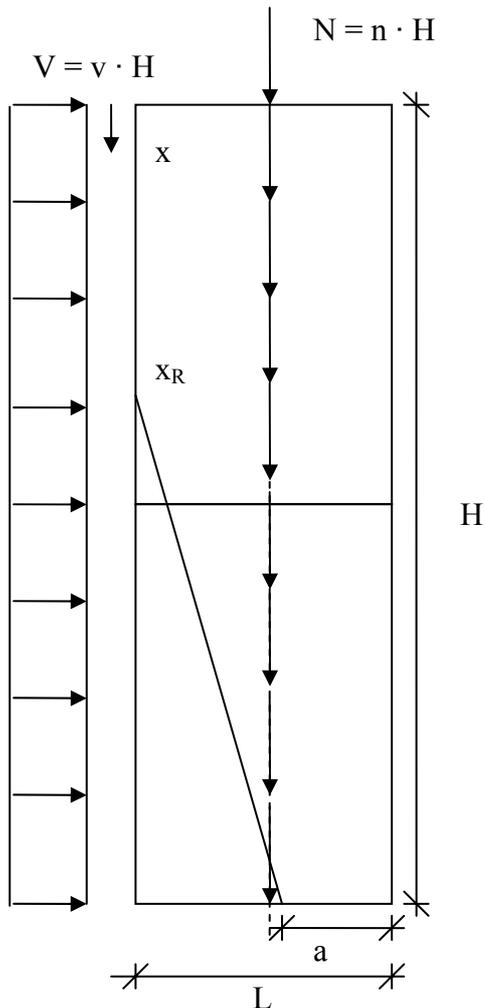
mit:

- h_{ges} : Gebäudehöhe ab der rechnerischen Einspannebene
- N_k : Summe aller charakteristischen Vertikallasten (g_k+q_k) des Gebäudes in Höhe der rechnerischen Einspannebene ($\gamma_F = 1,0$)
- EI : Summe der Nennbiegesteifigkeit aller lotrecht aussteifenden Bauteile im Zustand I, nach der Elastizitätstheorie, die in der betrachteten Richtung wirken
- n : Anzahl der Geschosse ab der rechnerischen Einspannebene

Das α -Kriterium, nach welchem der Knicksicherheitsnachweis für die aussteifenden Bauteile entfallen darf, findet sich in unveränderter Form in der DIN 1045-1, in DIN 1053-1, sowie in DIN 1053-100 wieder. Ist der Nachweis nicht eingehalten, müssen genauere rechnerische Nachweise der Normalkraft- und Schubbeanspruchung geführt werden, d.h. für vertikale Tragglieder ist ein Nachweis nach Theorie II. Ordnung (Knicksicherheitsnachweis) erforderlich, da der Schnittgrößenzuwachs infolge der Tragwerksverformungen größer ist als 10% der Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die wissenschaftlichen Hintergründe und die Herleitung des Aussteifungskriteriums genauer untersucht, um zu zeigen, in welcher Form der globale Sicherheitsbeiwert und die Steifigkeitsabminderung in das Labilitätskriterium mit eingehen.

Zur Bestimmung einer realitätsnahen Biegesteifigkeit EI^{II} im gerissenen Zustand wurden verschiedene Wandmodelle mit typischen Anwendungslastfällen betrachtet. Es werden Wandscheiben als Kragarm mit horizontalen und vertikalen Einzellasten, sowie Wandscheiben mit über die Höhe verteilten Linienlasten (siehe Abbildung 1) untersucht.



mit:

- N: Gesamtnormalkraft [kN]
n: Normalkraft über die Höhe verteilt [kN/m]
V: Gesamthorizontallast [kN]
v: Horizontallast über die Höhe verteilt [kN/m]
H: Wandhöhe
L: Wandlänge
x: Laufvariable über die Wandhöhe
 x_R : Aufreißen des Querschnitts
a: überdrückte Länge der Wand

Abbildung 1: Wandscheibe mit über die Höhe verteilten Linienlasten

Auf der Grundlage, dass beim Klaffen des Querschnittes die Steifigkeit signifikant abnimmt, wurde ein analytisches Modell unter Berücksichtigung der überdrückten Länge des Querschnitts entwickelt. Wird also eine Kragsscheibe durch eine Kopfverschiebung beansprucht, führt die Wand vereinfacht eine Kippbewegung um den unteren Eckpunkt aus, mit entsprechend großen Verdrehungen am Wandkopf. Der überdrückte Bereich wird kleiner und die Steifigkeit der Wand nimmt entsprechend ab. Es konnte ein Zusammenhang zwischen der Steifigkeitsabminderung und der bezogenen Schlankheit ermittelt werden, in die sowohl die Geometrieverhältnisse als auch die Lastansätze mit einfließen. Neben der analytischen Lösung wurden die verschiedenen Wandmodelle mit einer Finite Elemente Berechnung nach Theorie I. Ordnung und Theorie II. Ordnung mit nichtlinearem Materialmodell überprüft, wobei eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Modellen festgestellt werden konnte.

Der Zusammenhang zwischen der Steifigkeitsabminderung (abgebildet durch die Abminderungszahl α_{EI}) und der bezogenen Schlankheit lässt sich in einem Abminderungsdiagramm (siehe Abbildung 2) darstellen, mit dem sämtliche Anwendungsfälle gerader Aussteifungs-

wände (I-förmiger Grundriss) mit über die Höhe verteilten Linienlasten abgedeckt werden können. Die bezogene Schlankheit für einzelne Wände lässt sich nach Gleichung (2) bestimmen:

$$\bar{\lambda}_{\text{Last}} = 10 \cdot \frac{h_{\text{ges.}}}{L} \cdot \frac{V_k}{N_k} \quad (2)$$

mit:

$h_{\text{ges.}}$: Wandhöhe ab rechnerischer Einspannebene [m]

L : Wandlänge [m]

V_k : Summe der charakteristischen Horizontallasten [kN]

N_k : Summe der charakteristischen Vertikallasten [kN]

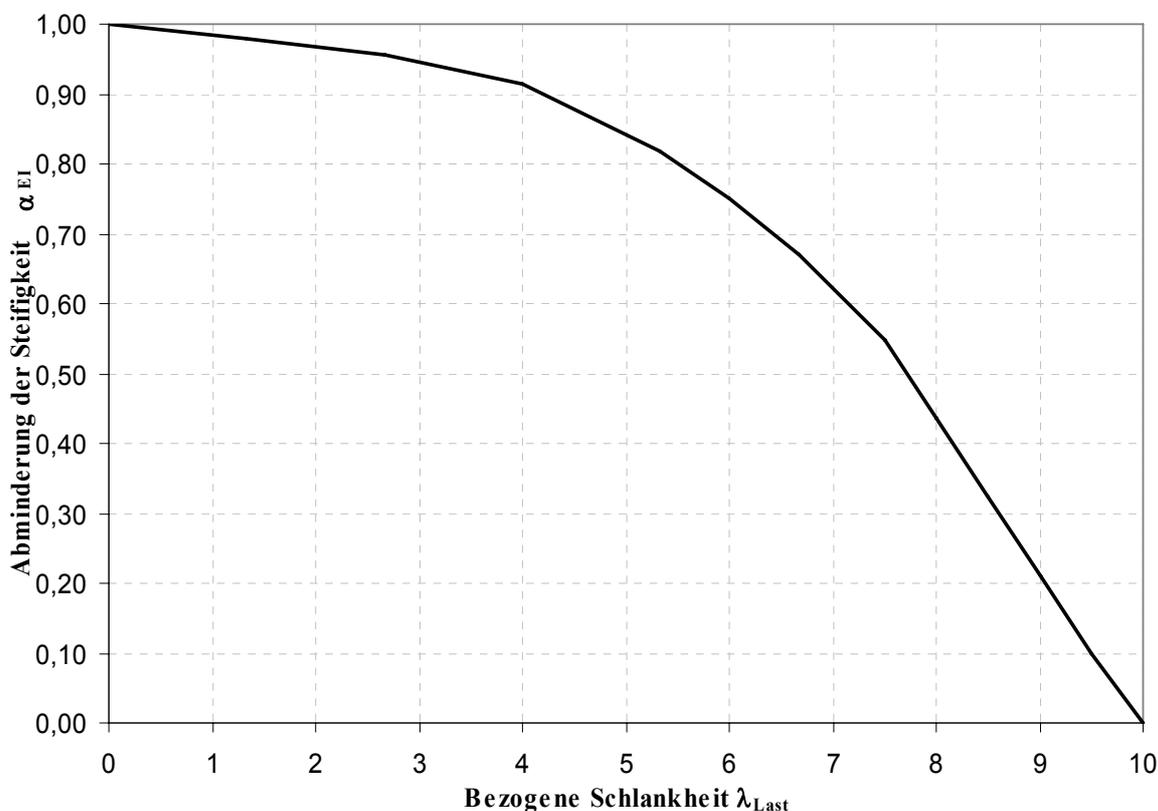


Abbildung 2: Abminderungsfaktor α_{EI} für Einzelwände mit aufgetragenen Linienlasten

Die Anwendung des Abminderungsbeiwertes α_{EI} ist auf gerade Einzelwände begrenzt. Als Abminderungsbeiwert für das neue Labilitätskriterium wird das gewichtete Mittel der Beiwerte der einzelnen zur Aussteifung herangezogenen Bauteile verwendet. In Abhängigkeit der einzelnen Bauteilsteifigkeiten ergibt sich näherungsweise über die Gleichung

$$S_{y,i} = H_{y,i} \cdot \frac{EI_{y,i}}{\sum EI_{y,i}} \text{ bzw. } S_{z,i} = H_{z,i} \cdot \frac{EI_{z,i}}{\sum EI_{z,i}} \quad (3)$$

der Abminderungsbeiwert für die jeweilige Richtung

$$\alpha_{EI,y} = \sum_i S_{y,i} \cdot \alpha_{EI,i} \text{ bzw. } \alpha_{EI,z} = \sum_i S_{z,i} \cdot \alpha_{EI,i} \quad (4)$$

Es wird das Mittel der Einzelabminderungen bezogen auf den jeweiligen Anteil am Horizontallastabtrag gebildet.

Um eine möglichst praktikable Anwendung des Aussteifungskriteriums zu gewährleisten, kann die Abminderungskurve nach Abbildung 2 in drei Bereiche eingeteilt und für jeden Bereich eine Beziehung angegeben werden, die die Abminderungskurve möglichst genau abbildet (Abbildung 3). Mit den ermittelten Gleichungen lässt sich das modifizierte Aussteifungskriterium in analytischer Form angeben.

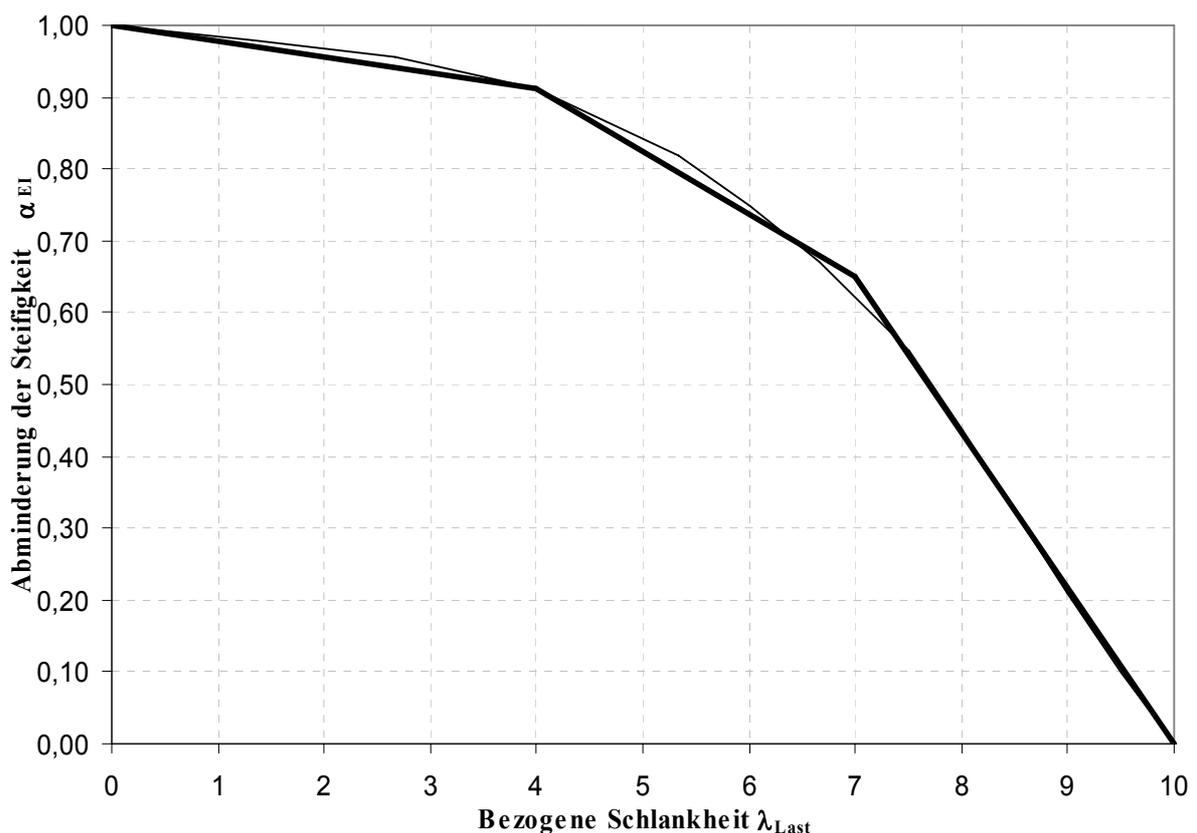


Abbildung 3: Angenäherte Kurve der Abminderung

Die Gleichungen für die einzelnen Abschnitte lauten:

$$\begin{aligned}\alpha_{EI} &= -0,02 \cdot \bar{\lambda}_{Last} + 1,00 & \text{für} & \quad 0 \leq \bar{\lambda}_{Last} \leq 4 \\ \alpha_{EI} &= -0,09 \cdot \bar{\lambda}_{Last} + 1,28 & \text{für} & \quad 4 \leq \bar{\lambda}_{Last} \leq 7 \\ \alpha_{EI} &= -0,22 \cdot \bar{\lambda}_{Last} + 2,19 & \text{für} & \quad 7 \leq \bar{\lambda}_{Last} \leq 10\end{aligned}\quad (5)$$

Mit dem Einbau der Abminderungszahl α_{EI} wurde ein Vorschlag zur Modifizierung des Aussteifungskriteriums an die Besonderheiten der Mauerwerksbauweise erarbeitet, mit dem der jeweilige Steifigkeitsabfall am konkreten System berechnet werden kann.

$$\alpha_{mod} = h_{ges} \cdot \sqrt{\frac{N_k}{EI'}} \leq 0,64 \cdot \sqrt{\alpha_{EI}} \quad (6)$$

mit:

h_{ges} : Gebäudehöhe ab der rechnerischen Einspannebene

N_k : Summe aller charakteristischen Vertikallasten des Gebäudes in Höhe der rechnerischen Einspannebene ($N_k = n_k \cdot h_{ges}$)

EI' : Summe der Nennbiegesteifigkeit aller lotrecht aussteifenden Bauteile im Zustand I, nach der Elastizitätstheorie, die in der betrachteten Richtung wirken

α_{EI} : Beiwert der Steifigkeitsabminderung für die einzelnen Schlankheitsbereiche:

$$\begin{aligned}\alpha_{EI} &= -0,02 \cdot \bar{\lambda}_{Last} + 1,00 & \text{für} & \quad 0 \leq \bar{\lambda}_{Last} \leq 4 \\ \alpha_{EI} &= -0,09 \cdot \bar{\lambda}_{Last} + 1,28 & \text{für} & \quad 4 \leq \bar{\lambda}_{Last} \leq 7 \\ \alpha_{EI} &= -0,22 \cdot \bar{\lambda}_{Last} + 2,19 & \text{für} & \quad 7 \leq \bar{\lambda}_{Last} \leq 10\end{aligned}$$

$\bar{\lambda}_{Last}$ Bezogene Schlankheit für die einzelne Wand $\bar{\lambda}_{Last} = 10 \cdot \frac{h_{ges}}{L} \cdot \frac{V_k}{N_k}$

mit:

L: Wandlänge [m]

V_k : Summe der charakteristischen Horizontallasten [kN]

N_k : Summe der charakteristischen Vertikallasten [kN]

Damit können sowohl Tragreserven aktiviert werden, die eine genauere Berechnung erübrigen, als auch Sicherheitsrisiken abgedeckt werden, die unter bestimmten Last- und Geometriekombinationen nach dem bestehenden Labilitätskriterium vorhanden sind. Diesbezüglich lässt sich festhalten, dass im üblichen Mauerwerksbau eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung in den meisten Fällen nicht erforderlich ist und nur in Ausnahmefällen (bei sehr schlanken Bauteilen mit geringer Auflast) ein Sicherheitsdefizit zu erkennen ist.

Der erhebliche Rechenaufwand für das neue Verfahren mit der Bestimmung des jeweiligen Steifigkeitsabfalls der Einzelwände in Abhängigkeit von Geometrie und Lastansätzen ist

somit in den meisten Fällen nicht erforderlich, so dass aufgrund der einfacheren Anwendbarkeit empfohlen wird, das bestehende Aussteifungskriterium in den normativen Regelwerken zunächst beizubehalten. Es bleibt zu erwähnen, dass bei den vorliegenden Untersuchungen lediglich ein globaler Sicherheitsbeiwert berücksichtigt wurde. Die Auswirkungen des semi-probabilistischen Teilsicherheitskonzeptes konnten bisher nicht untersucht werden.