

Ausgabe 2021/7

**Praxisreifmachung der General Method (Allgemeines Verfahren nach Kap. 6.3.4 - EC3-1-1) zum Nachweis der Stabilität von beliebigen Balken- und Rahmentragwerken aus der Ebene
AiF Nr.: 20751 N**

Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF Nr.: 20751 N

Die Stabilitätsbemessung von Stabwerken aus Stahl ist in DIN-EN 1993-1-1 geregelt. Das Kapitel 6.3.4 der DIN-EN 1993-1-1 (8.3.4 in prEN1993-1-1) befasst sich mit dem „Allgemeinen Verfahren“ zum Nachweis von Stabilitätsproblemen bei in der Ebene belasteten Rahmen oder Balken. Für den allgemeinen Fall einer kombinierten Momenten- und Normalkraftbelastung bietet das Verfahren zwei verschiedene Ansätze zur Bestimmung des Abminderungsfaktors x_{op} für das Knicken aus der Ebene. Es werden in die Sonderfälle des Biegedrillknickens („LTB“ - d.h. nur mit Moment) und des Biegeknickens („FB“ - d.h. nur mit Normalkraft) unterschieden. Dies führt jedoch in der Regel zu Inkonsistenzen, mit der beabsichtigten Allgemeinheit der Formulierung und schließlich zu nichtzutreffenden Ergebnissen führen. Denn die individuell kombinierten Einwirkungen aus Moment und Normalkraft an der Struktur unter Verwendung eines eigenformaffinen Imperfektionsansatzes sind die Ursache für die Instabilität aus der Ebene, dabei sind Moment und Normalkraft sowie die daraus entstehende Eigenform als Gesamtheit auf-

zufassen und nicht mehr in einzelne Beanspruchungen aufteilbar. Das Instabilitätsphänomen erfordert eine Reduktion des Bauteilwiderstands unter Berücksichtigung der kombinierten Lasten. Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, Lösungen für dieses Problem zu finden, um die Einwirkungen in der Ebene und aus der Ebene in einem allgemeinen Ansatz zusammenzufassen. Mit dem in diesem Forschungsbericht präsentierten Lösungsansatz - der sog. „General Method“ (kurz: „GenMeth“) - wird eine allgemeine Knickkurve für den Fall eines kombinierten Moments und Normalkraft abgeleitet, die mit den Knickkurven der Sonderfälle (reines Biegeknicken bzw. reines Biegedrillknicken) übereinstimmt. Auf diese Weise kann das allgemeine Verfahren in verbesserter Form formuliert werden. Über die Vereinheitlichung entsteht eine allgemeine und konsistente Lösung, die es gestattet, den Stabilitätsnachweis z.B. eines gesamten Rahmensystems direkt über eine modifizierte Knickkurve und ohne Interaktionsfaktoren zu führen (wie beim Ersatzstabverfahren). Ferner erlaubt das Verfahren den Verzicht einer nicht-linearen räumlichen Traglast-Berechnungen, so ist nur noch eine Berechnung in der Ebene sowie eine Ermittlung der Ver-

zweigungslast aus der Ebene notwendig, die mit gängigen Stabwerksmodellen lösbar sind. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes erfolgte zunächst eine Aufarbeitung der Projektergebnisse des Vorgängerprojektes „ALLVER“ (IGF-Projekt Nr. 17943 N). Es wurde ein analytisches Verfahren entwickelt, das zur Ableitung von geometrischen Ersatzimperfectionen anhand von Bauteilversuchen dient: der sog. „erweiterten Southwell-Methodik“. Weiterhin wurden die so gewonnenen Ersatzimperfectionen in den Lösungsansatz der „GenMeth“ überführt und verprobt. Damit ließ sich die Leistungsfähigkeit der „GenMeth“ anhand von Versuchsdaten überprüfen. In einem separaten Schritt wurde außerdem der Imperfectionsansatz nach DIN EN 1993-1-1 Abschnitts 5.3.2 [1] so erweitert, dass er auch bei einer Interaktion von Normalkraft und Moment sowie für nichtprismatische Querschnitte angewendet werden kann. Da die „GenMeth“ im ursprünglichen Sinne für den Bemessungsfall mit Belastungen in der Ebene konzipiert war, lag eine besondere Herausforderung in der Erweiterung der „GenMeth“, sodass auch Lasten aus der Ebene (d.h. affin zur Eigenform) in das Nachweisformat aufgenommen werden konnten. Hierzu wurde ein Verfahren zur Differenzierung von Verschiebungsvektoren präsentiert, die dann erlaubt, die wirksamen Ebenen zu definieren, um so eine Aufteilung in der Ebene und aus der Ebene wieder zu ermöglichen. Diese Aufteilung der Verschiebungsvektoren ist Basis der Schnittgrößen bzw. Spannungsermittlung in verschiedenen Ebenen, die in das Nachweisformat an den entsprechenden

Stellen einfließen. Es konnte gezeigt werden, dass durch diese Methodik auch Belastungen aus der Ebene implementiert werden konnten und Vergleichsberechnungen mit geometrisch nicht-linearen Berechnungen unter Verwendung von Imperfectionen und werkstofflicher Nichtlinearität (GNMIA) die Ergebnisse bestätigen. Das Vorgehen und die Anwendung der „GenMeth“ wurde in einem Bemessungsleitfaden aufbereitet. Mithilfe von Subroutinen konnte die „GenMeth“ auch für Schalen- und Volumenelemente erweitert werden, sodass im weiteren Verlauf auch komplexere Strukturen untersucht werden konnten. Bevor es zu umfangreichen Vergleichsberechnungen kam, wurden verschiedene Voruntersuchungen angestellt, die die Leistungsfähigkeit der „GenMeth“ erprobten. Dabei konnten verschiedene Einflüsse identifiziert werden, die einen Effekt auf die GNMIA haben und zu einem steiferen Lastverformungsverhalten gegenüber dem Ausgangssystem führen. Etwaige auftretende Abweichungen der „GenMeth“ im Vergleich zur GNMIA haben hier in der Regel ihren Ursprung. Weiterhin wurden umfangreiche numerische Studien und Vergleichsberechnungen durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Lagerungsarten, wie bspw. gebundene Drehachsen und federelastische seitliche Halterungen untersucht und mit Vergleichsberechnungen verprobt. Des Weiteren wurde auch die Anwendung der „GenMeth“ auf nichtprismatische und monosymmetrische Querschnitte sowie Klasse 4 Querschnitte überprüft. Es konnte hier ebenfalls gezeigt werden, dass mithilfe der „GenMeth“ Lösungsmöglichkeiten für den Stabilitätsnachweis von räumlichen Systemen besteht. Grundsätzlich wurde immer nach demselben Analyseschema verfahren. Auf

Untersuchungen, die mit der „GenMeth“ durchgeführt wurden, folgte stets die geometrisch nichtlineare Vergleichsberechnung (GNIA/GNMIA). In allen Vergleichen lag eine sehr gute Übereinstimmung von GNIA/GNMIA und dem Lösungsansatz der „GenMeth“ vor. In einem abschließenden Schritt wurden zwei Bemessungsbeispiele detailliert aufbereitet und der Stabilitätsnachweis mithilfe der „GenMeth“ geführt. Es handelte sich dabei um den Nachweis einer besonderen Konstruktion mit veränderlichen Querschnitten, die vorwiegend auf Druck belastet ist und zum anderen um den Nachweis eines Hallenrahmens mit gevouteten Stützen- und Riegelprofilen.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages