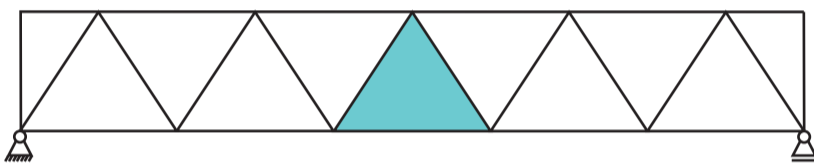


Untersuchung des Beulverhaltens dreieckförmiger Platten unter hydrostatischer Beanspruchung

Johannes Hasselmann

1. Einleitung

Plattenartige Bauteile können durch Beulen versagen, ein sogenanntes Stabilitätsversagen, das weit vor Erreichen der Materialfestigkeiten eintritt. Ein Beispiel für ein beulgefährdetes Plattenbauteil sind die Dreieckelemente in dem durch die PERI Vertrieb Deutschland GmbH entwickelten Träger, der eine Mischform aus Fachwerkträger und Vollwandträger darstellt. Im Eurocode 3 ist das Stabilitätsverhalten von dreieckförmigen Plattenbauteilen nicht erfasst.



2. Stabilitätstheorie

Die Stabilität eines Plattenbauteils definiert sich über die sogenannte Beullast p_k . Diese kann analytisch ermittelt werden, indem die am verformten System aufgestellte Differentialgleichung des Plattenbeulens

$$K\Delta\Delta w - (n_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2n_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + n_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}) = 0$$

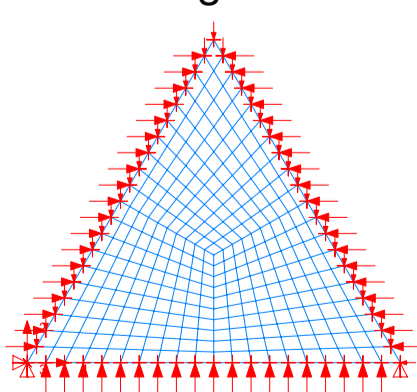
für das vorliegende System gelöst wird. K steht hier für die Plattensteifigkeit, w für die Verformung normal zur Plattenebene, n_x , n_y für die Normalkräfte und n_{xy} für die Schubkräfte. Bei der numerischen Umsetzung des Stabilitätsproblems mit der FEM wird das vorliegende Eigenwertproblem gelöst:

$$[K_{lin.} + \Lambda_i K_{n.lin.}] \Phi_i = 0$$

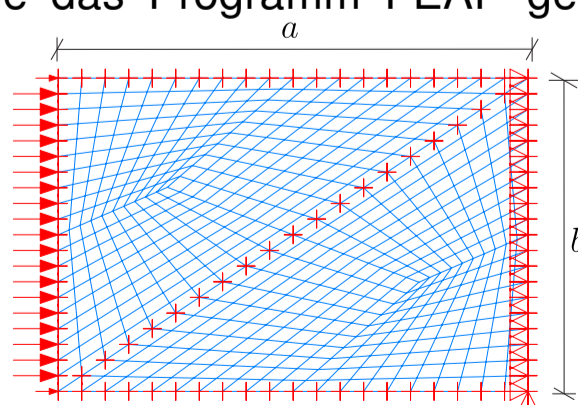
Dafür ist es notwendig, die tangentielle Steifigkeitsmatrix K_T aufzustellen, die aus linearen und nichtlinearen Anteilen besteht. Bei der ingenieurmäßigen Betrachtungsweise des EWP wird ein lineares Vorbeulverhalten angenommen ($p_k \sim \Lambda K_{n.lin.}$), damit die Eigenwerte als Laststeigerungsfaktoren der aufgebrachten äußeren Belastung interpretiert werden können. Eine Lösung $\Lambda = 1$ sagt aus, dass die aktuelle Last zu einem Stabilitätspunkt des Systems gehört.

3. Parameterstudien

In dieser Arbeit wurden zwei Parameterstudien durchgeführt, eine an hydrostatisch belasteten gleichschenkligen und rechtwinkligen Dreieckplatten, darauffolgend an einer uniaxial belasteten diagonal ausgesteiften Rechteckplatte. Zur Modellierung und Berechnung der ersten vier Eigenwerte wurde das Programm FEAP genutzt.

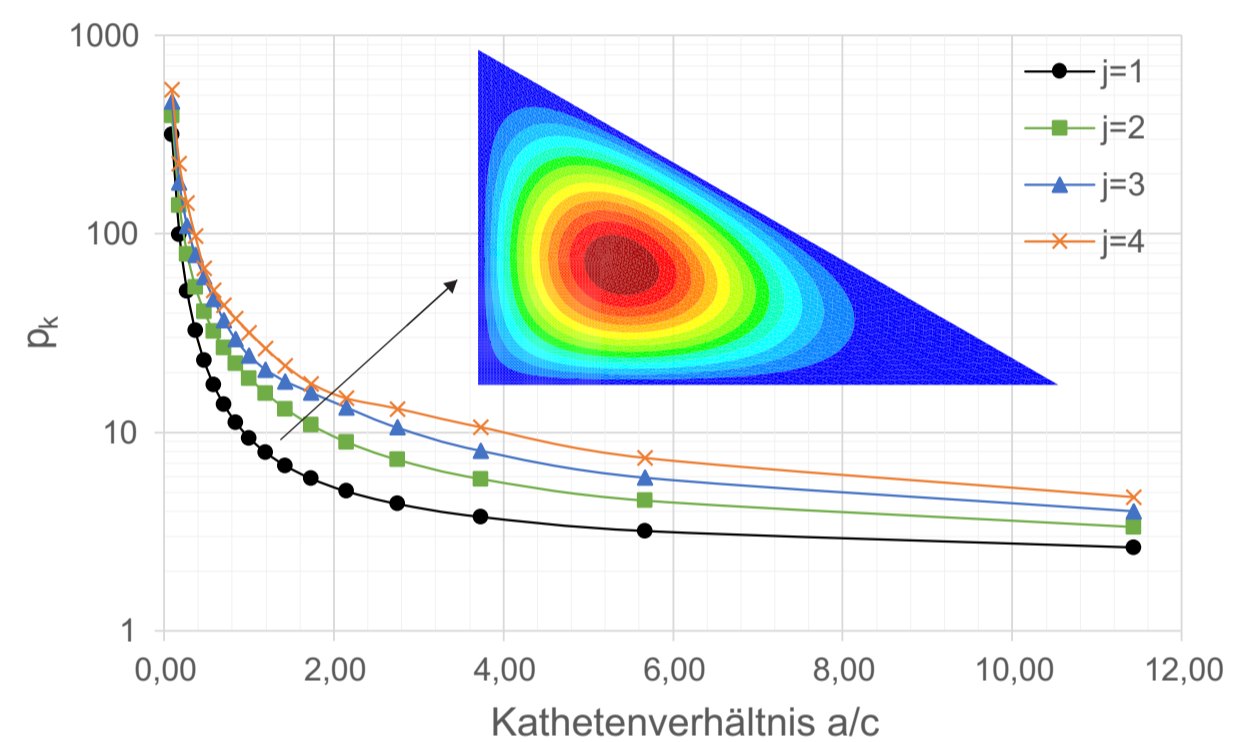


Dreieckplatte unter hydrostatischer Belastung



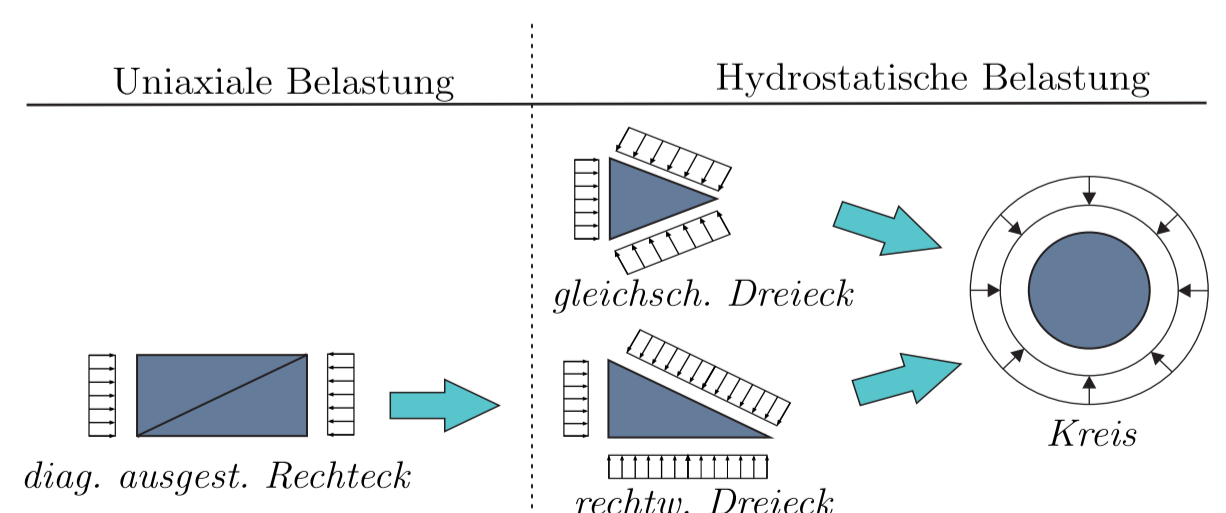
Diagonal ausgesteifte Rechteckplatte unter uniaxialer Belastung

Diese ersten vier Beullasten p_k sowie eine typische Beulfigur sind weiter unten dargestellt. Ein Anwendungsfall für Dreieckplatten, hier konkret für die rechtwinklige, ist beispielsweise eine diagonal ausgesteifte Rechteckplatte. Es wurde aufgrund der geometrischen Ähnlichkeit untersucht, inwiefern eine Relation zwischen den beiden untersuchten Bauteilen und Belastungen besteht. Durch eine Regressionsanalyse konnte für das Verhältnis beider Beullasten ϑ für das Seitenverhältnis $0,7 \leq a/b \leq 1,4$ eine lineare Beziehung gefunden werden.



4. Näherung durch Inkreisplatte

Die Beullast der rechtwinkligen und gleichschenkligen Dreieckplatte lässt sich durch die bekannte analytische Lösung einer Kreisplatte ($p_{k,Kreisplatte} = \frac{4,20K}{R^2}$) in der Größe des Inkreises innerhalb sinnvoller Abweichungen für die mittleren Dreieckgeometrien annähern. Das hier für die rechtwinklige Dreieckplatte eingegrenzte Intervall zur Annäherung durch die Inkreisplatte entspricht dem weiter oben definierten Intervall, wodurch die diagonal ausgesteifte Rechteckplatte teilweise auch durch die Inkreisplatte angenähert werden kann.



$$p_{k,ausgest.REPL} \approx (22,11 \frac{a}{b} + 11,04) \left(\frac{K}{(a+b-\sqrt{a^2+b^2})^2} \right), \quad \frac{a}{b} \in [0,7; 1,4]$$

Mit den Abweichungen:

$\delta^+ = +2,5\%$ (Überschätzen der kritischen Beullast)

$\delta^- = -5,0\%$ (Unterschätzen der kritischen Beullast)