

Numerische Stabilitätsuntersuchung von Plattenstrukturen mit zufallsverteilten geometrischen Imperfektionen

Franziska Wöhler

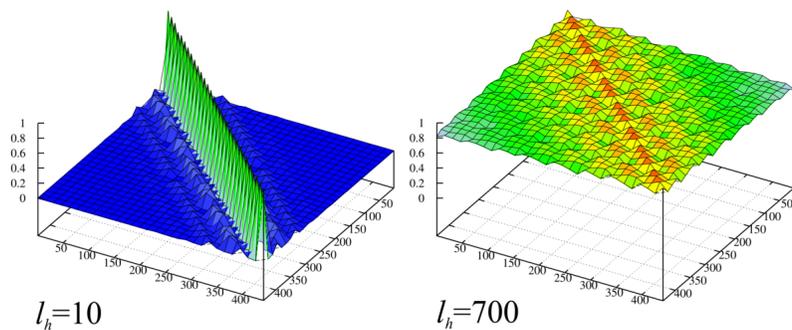
1. Einleitung

In der Industrie und der Architektur werden Strukturen gefordert, die eine hohe Festigkeit besitzen und gleichzeitig durch dünne Bauweisen Gewicht einsparen können. Aufgrund der geringen Plattendicke ist *Plattenbeulen* das wesentliche Kriterium der Standsicherheit und Stabilität für ebene Strukturen. Da bereits bei der Herstellung und beim Transport oder der Montage Imperfektionen materieller und geometrischer Art erzeugt werden, gilt es diese imperfekten Strukturen in Simulationen darzustellen und das Verhalten unter Belastung vorherzusagen. Plattenbeulen beschreibt das Ausweichen der Struktur senkrecht zur Ebene.

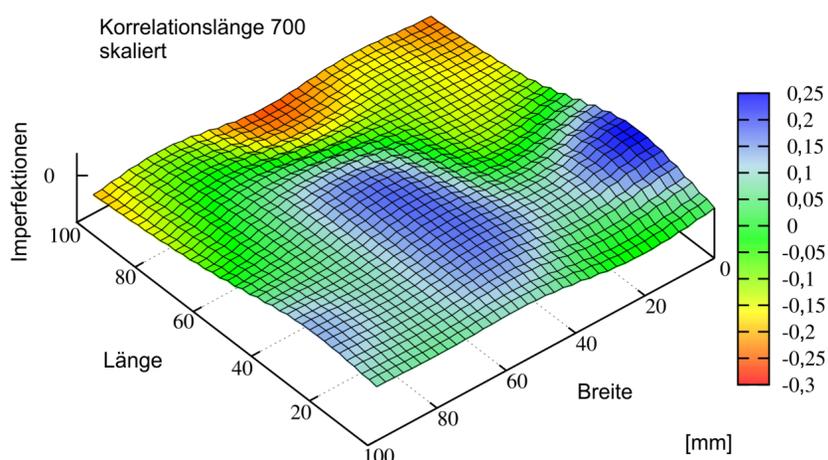
2. Geometrische Ersatzimperfektionen

Um geometrische und materielle Imperfektionen in FE-Simulationen abzubilden, dürfen nach DIN EN 1993-1-5 geometrische Ersatzimperfektionen verwendet werden. Diese werden mit Hilfe eines korrelierten Zufallsfeldes dargestellt. Eine unkorrelierte Standardnormalverteilung ($\mu = 0, \sigma = 1,0$) wird über $X^c = E_i \cdot \sqrt{\lambda_i} \cdot X$ in ein korreliertes Zufallsfeld transformiert, wobei E_i die Eigenform der Transformationsmatrix, hier Kovarianzmatrix, und λ_i der dazugehörige Eigenwert ist. Die Form der Kovarianzmatrix wird über die Korrelationslänge l_h gesteuert, wie abgebildet.

Kovarianzmatrix: $C(x_1; x_2) = \sigma^2 \exp\left(-\frac{\sqrt{(x_1-x_2)^2 + (y_1-y_2)^2}}{l_h}\right)$

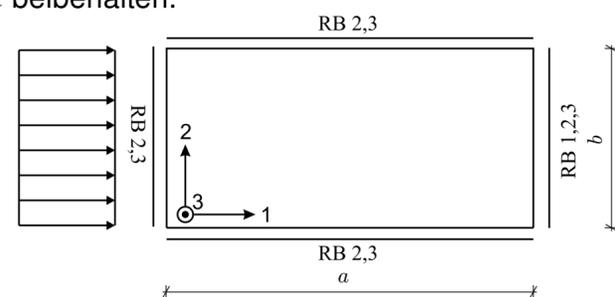


Da die Ausmittendifferenzen je Korrelationslänge und Geometrie stark schwanken wird eine Skalierung auf eine Amplitude von $1/200$ der kürzeren Seitenlänge in der DIN vorgeschrieben. Die aufgebrachten Imperfektionen sind beispielhaft abgebildet.

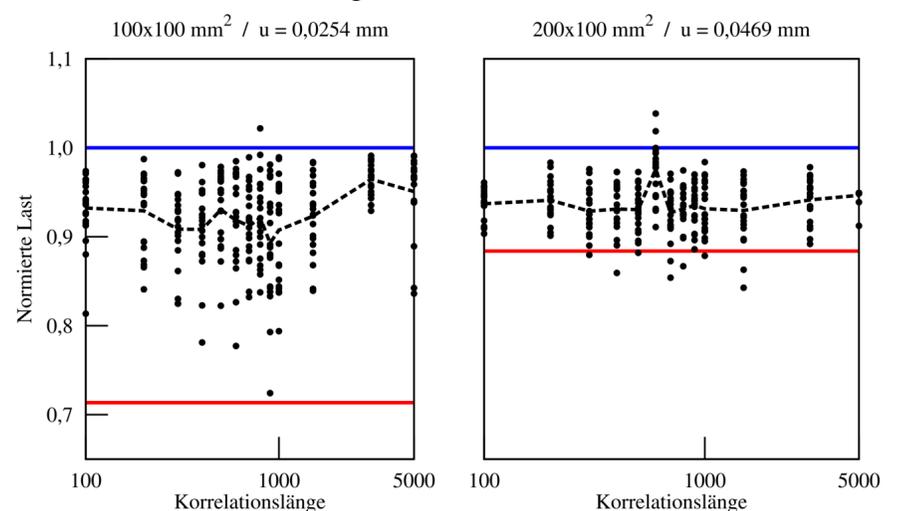


3. Numerische Beispiele

Es wurden unterschiedliche Geometrien untersucht, wobei die Strukturen gemäß dem dargestellten Aufbau gelagert sind und unter konstantem Druck belastet werden. Die Plattendicke wurde konstant mit $t = 1,0\text{mm}$ beibehalten.



Für einen Vergleich der Beullasten imperfekter Strukturen (Punkte) wird die kritische Verschiebung u der ideellen Beullast aufgebracht und die bis dahin aufnehmbaren Lasten verglichen, indem eine Normierung auf die kritische Last der perfekten Struktur vorgenommen wird. Die ideelle Beullast (blaue Linie) und die Verschiebung u wurden anhand einer linearen Beulanalyse an der perfekten Struktur ermittelt. Die Last nach DIN (rote Linie) entspricht jener aufnehmbaren Last, bei der die erste Beulform der perfekten Struktur als anfängliche Imperfektion auf die Struktur aufgebracht wird und ebenfalls bis zur kritischen Verschiebung belastet wird.



4. Ergebnisse

Zur Bestimmung realistischer Korrelationslängen sind die Eigenwerte und Eigenformen der Kovarianzmatrix zu betrachten, welche die Bildung der Imperfektionen beeinflussen. Weiter können anfänglichen Imperfektionen auf eine geringere Beullast hinweisen, sofern sie der ersten Beulform der Struktur ähnlich sind. Die bestimmten Imperfektionen sind somit hinsichtlich einer realistischen Darstellung einzuordnen. Ein generelles Minimum der aufnehmbaren Lasten bei imperfekten Strukturen trat bei allen untersuchten Geometrien zwischen den Korrelationslängen $l_h = 700$ und $l_h = 1500$ auf. Beim Vergleich zur DIN-Last ist erkennbar, dass die DIN eine konservative Annahme trifft, jedoch in Abhängigkeit der Geometrie von einigen Beullasten imperfekter Strukturen unterschritten wird.