

Stabilitätsuntersuchungen von Plattenstrukturen aus Faserverbundmaterial mit zufallsverteilten materiellen Imperfektionen

Lukas Panther

1. Einleitung

Im Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik finden vermehrt Faserverbundwerkstoffe Anwendung, da sie sehr hohe Festigkeiten bei vergleichsweise geringem Gewicht aufweisen. Bei Plattenstrukturen ist aufgrund der geringen Dicke ein Stabilitätsversagen in Form von Plattenbeulen maßgebend. Von großer Bedeutung sind vor allem Imperfektionen solcher Strukturen. Materielle Imperfektionen beschreiben dabei Streuungen von Materialeigenschaften wie dem E-Modul oder Schubmodul. In der FE-Berechnung können diese imperfekten Materialparameter durch diskrete Zufallsfelder berücksichtigt werden.

2. Erzeugung zufallsverteilter materieller Imperfektionen

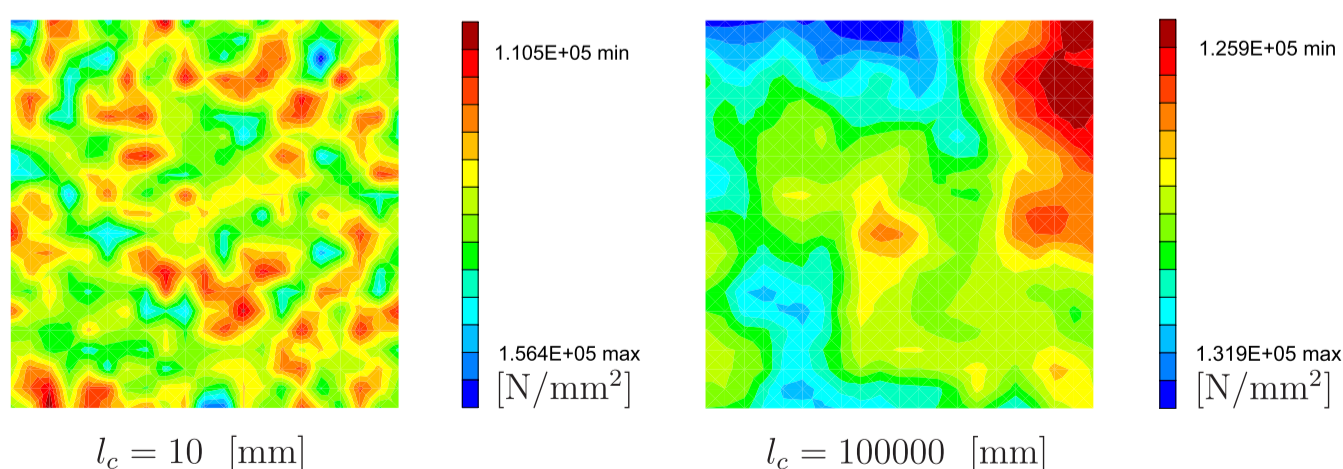
Die materiellen Imperfektionen werden als korreliertes Zufallsfeld aufgefasst. Durch die Karhunen-Loève-Expansion kann solch ein stochastisches Feld in der Form

$$H(\mathbf{x}, \theta) = \mu + \sigma \sum_{i=1}^n \sqrt{\lambda_i} \phi_i(\mathbf{x}) \xi_i(\theta)$$

dargestellt werden. Als Stützstellen dieses Zufallsfeldes dienen die Gauß-Punkte der finiten Elemente. Die Korrelation zwischen allen Diskretisierungspunkten des Zufallsfeldes ist durch die Kovarianzmatrix C gegeben.

$$C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \exp\left(-\frac{d(i, j)}{l_c}\right)$$

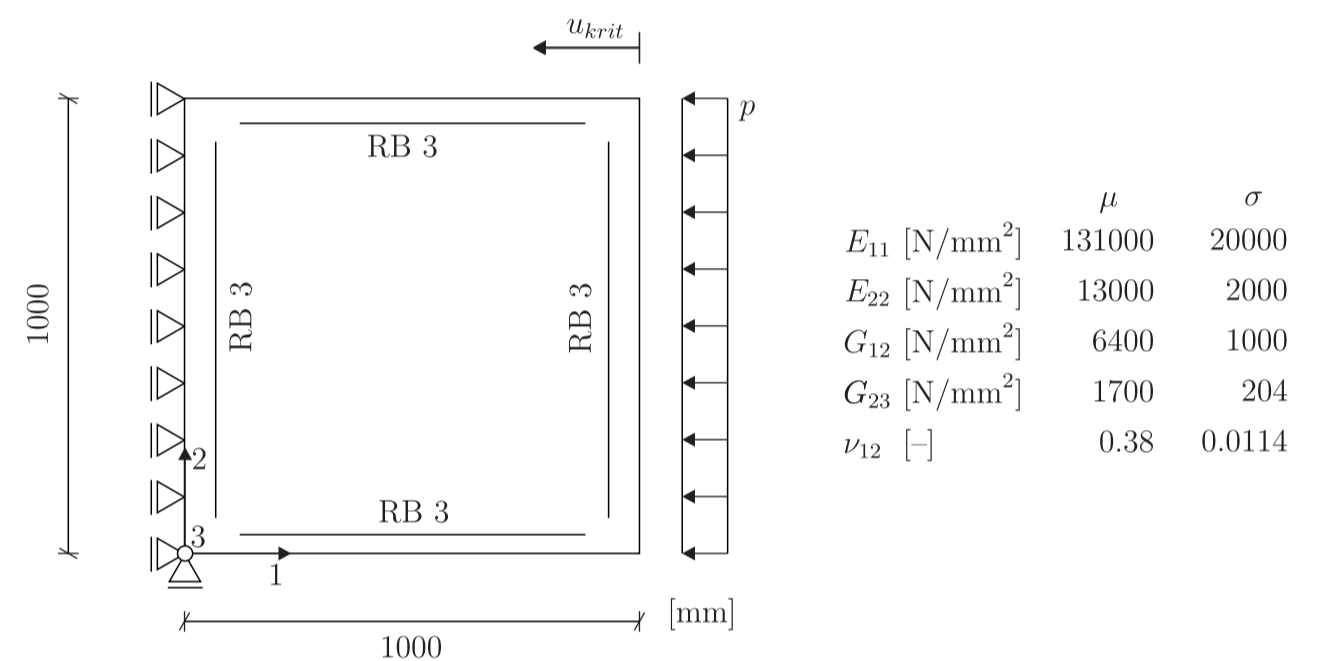
Direkt benachbarten Punkten wird dadurch eine große Korrelation zugeordnet, die mit zunehmendem Abstand $d(i, j)$ der jeweiligen Punkte i und j exponentiell abfällt. Um die Kovarianzmatrix und somit die Ausprägung der materiellen Imperfektionen zu steuern, kann die sogenannte Korrelationslänge l_c variiert werden. Ihr Einfluss wird anhand der zwei folgenden E-Modul-Verteilungen einer Plattenstruktur deutlich.



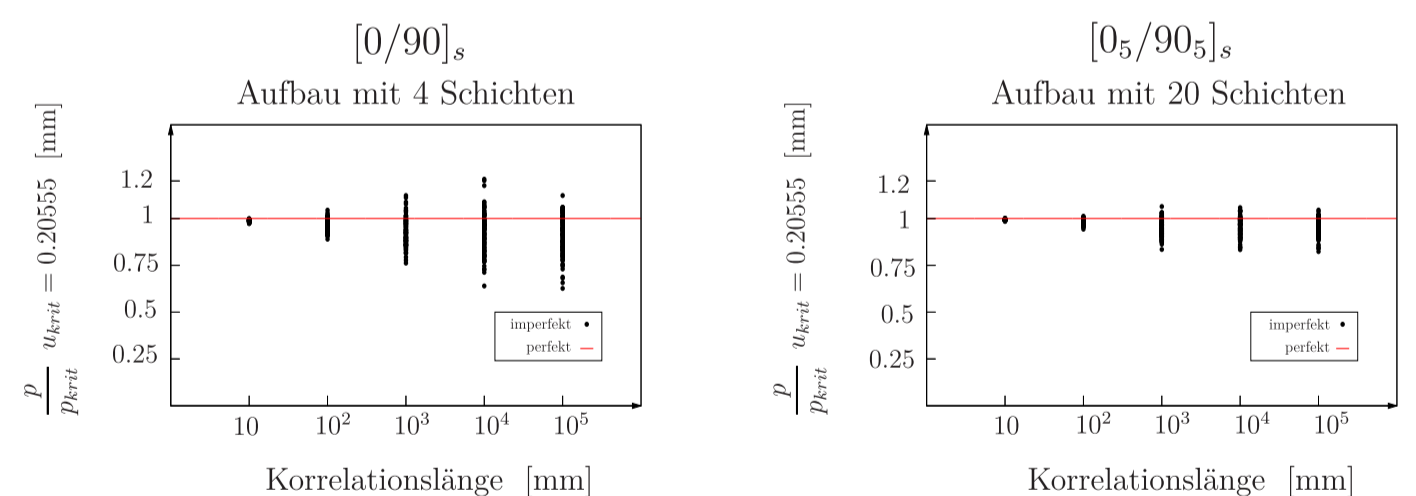
Für sehr kleine Korrelationslängen entsteht ein sehr ungleichmäßiges Zufallsfeld. Große Werte für l_c führen zu einem langsamen Abfall der Korrelation, was eine gleichmäßige Ausprägung des stochastischen Feldes bewirkt.

3. Numerisches Beispiel

Als numerisches Beispiel dient ein mehrschichtiges Laminat mit einem symmetrischen Aufbau und einer Gesamthöhe von $h = 10$ [mm], welches entsprechend dem nachstehendem Aufbau gelagert und belastet ist.



Als materielle Imperfektion wird hier nur der E-Modul E_{11} in Faserichtung variiert. Die kritische Verschiebung u_{krit} und die zugehörige ideale Beullast der Struktur ergeben sich aus einer linearen Eigenwertanalyse. Um den Einfluss der imperfekten E_{11} -Verteilung beurteilen zu können, wird die Verschiebung u_{krit} aufgebracht und die aufnehmbare Last ausgewertet. Für die Simulation wird sowohl ein Aufbau mit 4 Schichten als auch ein Aufbau mit 20 Schichten betrachtet. Die einzelnen E-Modul Verteilungen jeder Laminatschicht sind dabei unterschiedlich.



4. Ergebnisse

Das Ergebnis zeigt, wie mit zunehmender Korrelationslänge die Streuungen der aufnehmbaren Lasten zunehmen. Die materiellen Imperfektionen können sich gegenseitig ausgleichen, wenn jede Laminatschicht der Faserverbundplatte eine unterschiedliche Ausprägung besitzt. Je mehr Schichten die Struktur aufweist, desto größer ist dieser Ausgleichseffekt zwischen den einzelnen Schichten der Faserverbundplatte. Das Laminat mit 20 Schichten weist im Vergleich zu dem vierschichtigen Laminat deshalb eine geringere Streuung der aufnehmbaren Lasten bei allen Korrelationslängen auf.