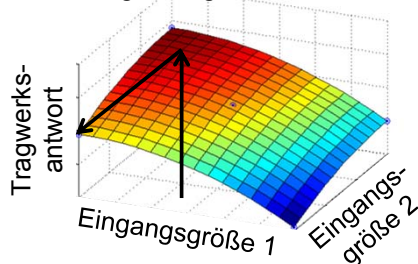


Effiziente probabilistische Sicherheitsanalyse mithilfe der Antwortflächenmethode

Masterarbeit von Silja Hanke

Die Versagenswahrscheinlichkeit eines Bauwerks im Erdbebenfall hängt von den Unsicherheiten auf der Einwirkungs- und Widerstandsseite ab.

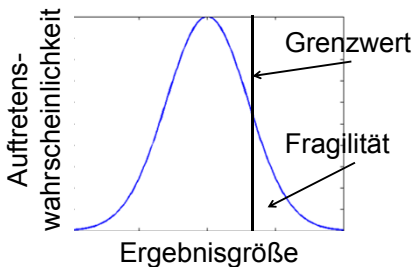
Eine vollprobabilistische Berechnung dieser Versagenswahrscheinlichkeit durch eine Monte-Carlo Simulation (MCS) erfordert eine hohe Zahl von Tragwerksberechnungen (mehrere hundert bis mehrere tausend). Eine Möglichkeit, diesen Rechenaufwand zu verringern, ist die Verwendung der Response Surface Method (RSM), die einen funktionalen Zusammenhang zwischen Tragwerksantwort und relevanten Eingangsgrößen herstellt und somit eine analytische Auswertung der Tragwerksantwort ohne weitere numerische Berechnung ermöglicht.



Antwortfläche als mathematische Funktion, die die Tragwerksantwort (z.B. Dachverschiebung) zwei statistischen Eingangsgrößen (z.B. E-Modul und Etagenmasse) zuordnet

Die Auswertung der probabilistischen seismischen Sicherheitsanalyse erfolgt in Form von Fragilitätskurven. Fragilitätskurven stellen den Zusammenhang zwischen Erdbebenintensität und Versagenswahrscheinlichkeit dar.

Die Fragilität ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Antwortgröße einen Grenzwert, dessen Überschreitung einen Schaden zur Folge hat, überschreitet.



Fragilität als Fläche unter der Wahrscheinlichkeitsverteilung der statistischen Ergebnisgröße für den Bereich der Grenzwertüberschreitungen

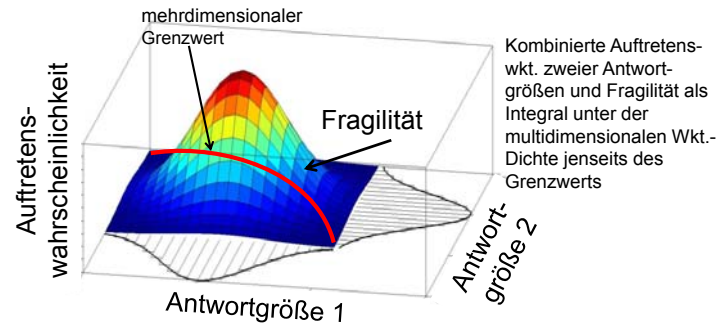
Bei der Berechnung der Gesamtfragilität eines Mehrkomponentensystems können verschiedene Grenzwertüberschreitungen zu einem Schaden führen. So könnte z.B. sowohl eine zu große Etagenverschiebung, als auch eine zu starke Beschleunigung eines Tanks zu einer Schädigung des Systems führen. Zusätzlich können zwischen den zugehörigen Grenzwerten Interaktionen bestehen, die die Versagenswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems beeinflussen. Diese Grenzwertinteraktionen können nach dem multidimensionalen Grenzwert nach Cimellaro et al. berücksichtigt werden:

$$L(R_1, \dots, R_n) = \left(\frac{R_1}{r_{lim,1}}\right)^{N_1} + \left(\frac{R_2}{r_{lim,2}}\right)^{N_2} + \dots + \left(\frac{R_n}{r_{lim,n}}\right)^{N_n} - 1 = 0$$

R_i = Wert der i-ten Antwortgröße

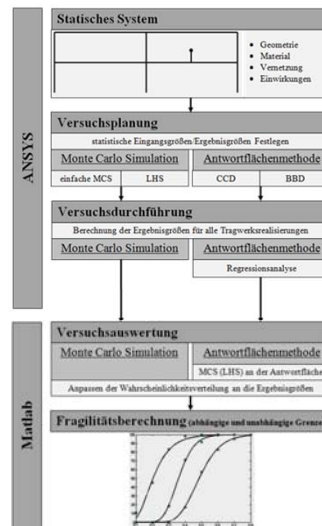
$r_{lim,i}$ = Grenzwert der Antwortgröße, dessen Überschreitung zum Schaden führt

N_i = Interaktionsbeiwerte, die die Form der Grenzwertfunktion bestimmen; $N_i \geq 1$

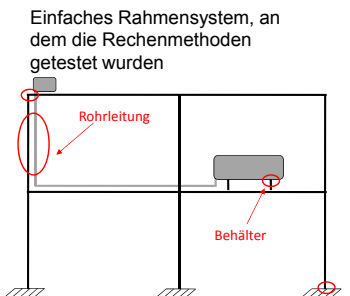


Kombinierte Auftretenswkt. zweier Antwortgrößen und Fragilität als Integral unter der multidimensionalen Wkt.-Dichte jenseits des Grenzwerts

Die Berechnung der Systemfragilität für Mehrkomponentensysteme wurde im Rahmen dieser Arbeit in ANSYS und MATLAB parametrisiert umgesetzt. Die Rechenroutine ermöglicht sowohl eine Berechnung der Fragilität über die MCS als auch eine Berechnung der Fragilität mit der RSM.

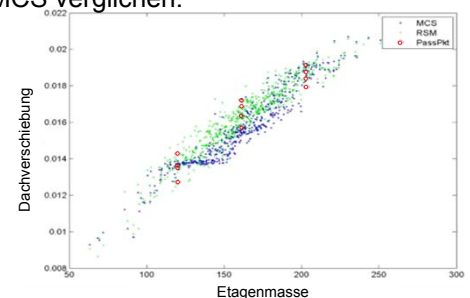


Flussdiagramm der Rechenroutine für die vollprobabilistische Tragwerksberechnung



Mithilfe der Rechenroutine wurde innerhalb dieser Masterarbeit die RSM an einem einfachen Rahmensystem getestet und mit der MCS verglichen.

MCS und RSM im Vergleich: Dachverschiebung für 500 Tragwerksrealisierungen aufgetragen über die Etagenmasse (Freifeldbeschleunigung 0,6 m/s²)



Monotone Tragwerksantworten lassen sich mit der RSM mit geringen Abweichungen und einer Zeitersparnis von 80 % im Vergleich zur MCS berechnen. Für nicht monotone Tragwerksantworten müssen die Passpunkte der Antwortfläche besser über den Versuchsraum verteilt werden.

Die Auswirkungen der Grenzwertinteraktionen auf die Fragilitätskurven des Beispielrahmens wurden ebenfalls prototypisch getestet. Werden die Grenzwertinteraktionen bei der Berechnung der Systemfragilitäten ignoriert, führt dies zu unsicheren Ergebnissen.

Dr.-Ing. Britta Holtschoppen

Raum 627 | 0241-80 25088 | Holtschoppen@LBB.RWTH-Aachen.de

Thomas Kubalski, M.Sc.

Raum 626 | 0241-80 25090 | Thomas.Kubalski@LBB.RWTH-Aachen.de