HSLU Hochschule Luzern

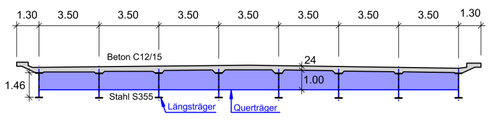
Technik & Architektur
Konstruktion und Tragwerk

Master-Thesis Studiengang Bauingenieurwesen

Probabilistische Bemessung mit Finiten Elementen

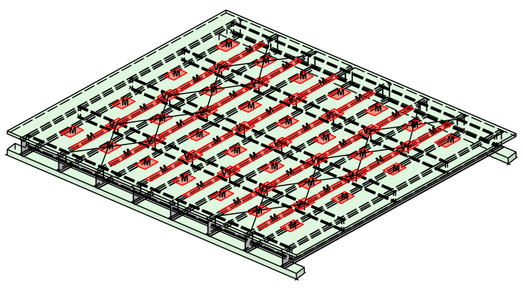
Brücke von 1940

Querschnitt



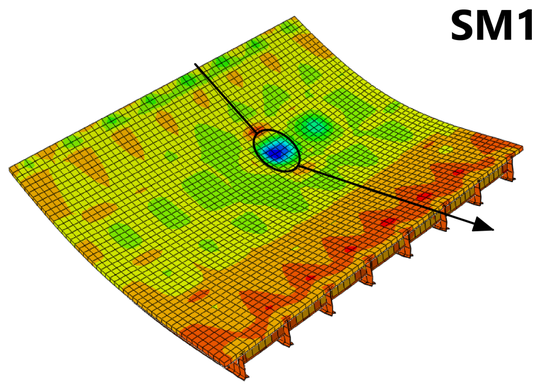
Defizite:

- M Problemstellen Biegung
- V Problemstellen Schub



3D-Darstellung der Strassenbrücke

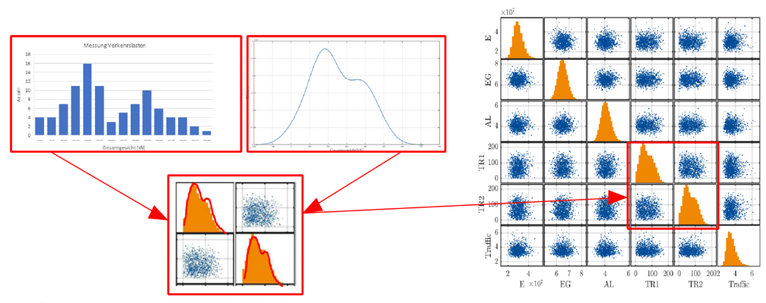
Modell in ABAQUS



SM1: Biegemoment in X-Richtung

Basisvariablen definieren

X(1), X(2), ..., X(N): μ, σ, Verteilung, Korrelationen
Materialparameter, E-Moduli, Lasten,...

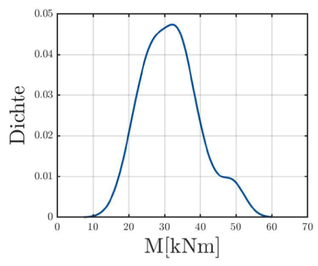


Reale Modellierung der Verkehrslasten!

UQ-Link

Abaqus über UQ-Lab

Datensätze generieren mit LHS

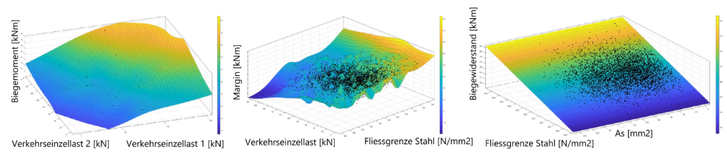


Surrogate Model als Annäherung
-Polynominal Chaos Expansion (PCE)
-Polynominal Chaos Kriging (PCK)

Grenzzustandsfunktion

-Als numerischer Wert
-Als Grenzzustandsfunktion mit Surrogate Model:

Einwirkung → **Grenzzustandsfunktion** ← **Widerstand R**

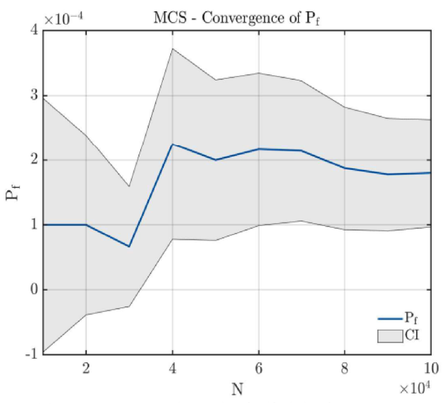


Bending Resistance kNm/m

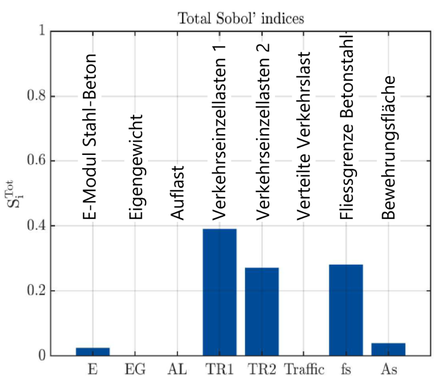
```
R = X(:,7).*X(:,8).*(204-X(:,7).*X(:,8)./(20*1000*2))/10^6;

% The limit state,defined as R - SurrModel(Xinput)
Y = R - abs(uq_evalModel(myPCE,Xtruss));
```

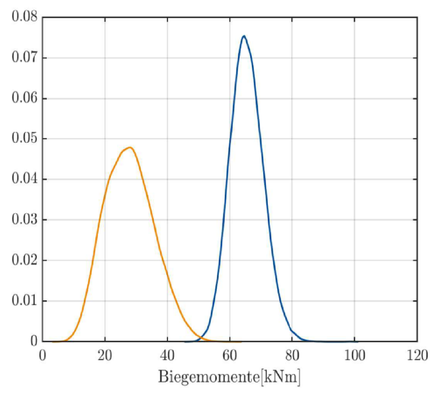
Reliability Analysis → FORM, MCS, AK-MCS,... → P_f, β_{MC}, Sensitivity



Versagenswahrscheinlichkeit



Sensitivitätsanalyse

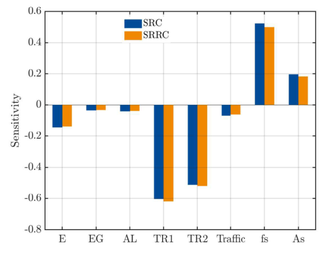


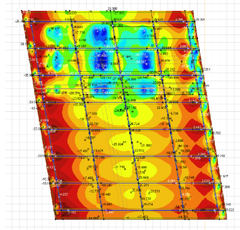
Widerstand - Einwirkung

Schlussfolgerung

- Aussagen zu Restnutzungsdauer
- Angepasste Teilsicherheitsbeiwerte
- Verstärkungsmassnahmen

Durch angepasste Teilsicherheitsbeiwerte:
Verwendung von gängigen Softwares wie Axis und Cubus mit semi-probablistischen Nachweisen!





Workflow einer probabilistischen FEM-Analyse eines bestehenden Bauwerks.

Problemstellung

Probabilistische Methoden der Bauwerksüberprüfung gewinnen mehr und mehr an Bedeutung. Dies besonders bei wichtigen Infrastrukturen wie Strassenbrücken. Zahlreiche Brücken in der Schweiz und in ganz Europa wurden mehrheitlich zwischen den 1960er und 1980er Jahren erbaut und haben in absehbarerer Zeit die damals geplante Nutzungsdauer erreicht. Ausserdem haben sich die Normen und auch das Verkehrsaufkommen verändert. In Deutschland entsprechen zum Beispiel nur gerade 5.5% aller Strassenbrücken den aktuellen Normen. Die Bauwerkserhaltung hat gerade in der heutigen Zeit einen sehr grossen Stellenwert. Von den über 2000 Milliarden der schweizerischen Bausubstanz fallen ca. 2% als jährliche Unterhaltskosten auf.
Die Ausgabekosten für den Unterhalt sollen minimiert werden, während dem man alternde Brücken noch immer nützen möchte. Hier kommen probabilistische Bemessungskonzepte zum Zuge. Dies beinhaltet das statistische Modellieren von Einwirkung und Widerstand aufgrund vor Ort vorgenommener Messungen und Auswertungen oder aus Aktualisierungen. Mit der probabilistischen Bemessung sollen Aussagen zur Sicherheit und Restnutzungsdauer gemacht werden können.

Lösungskonzept

Während die Anforderungen und Lasten auf die Brückenbauwerke immer grösser werden, steigt auch die Leistung der zu Verfügung stehenden Softwares. Mit nichtlinearen Finite-Element-Programmen ist eine sehr realitätsnahe Abbildung des Bauwerkes möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine bestehende Strassenbrücke im FE-Programm *Abaqus* modelliert, darauf wurde die Software mit dem Tool UQLab (UQLink) verknüpft. Es wurden streuende Parameter auf der Widerstands- und Einwirkungsseite definiert und so diverse Simulationen des FE-Modells ausgeführt. Mit der Definition einer Grenzzustandsfunktion (z.B. Biegewiderstand, Querkraftwiderstand) sind Aussagen über die Versagenswahrscheinlichkeit und Zuverlässigkeit möglich. Dieses Verfahren wurde im Rahmen des Master-Studiums an einem konkreten baupraktischen Beispiel entwickelt und erweitert. Ein bimodales Verkehrsmodel wurde implementiert, welches ein möglichst reales, bauwerksbezogenes Lastmodell generiert.
Aus der FORM-Analyse resultieren ausserdem angepasste Teilsicherheitsbeiwerte. Zur Verbesserung der Zuverlässigkeit wurde schliesslich eine Verstärkungsmassnahmen in Form von UHFB und deren Einfluss diskutiert.

Aus den drei Thesen des Masterstudiums wurde ein Konzept für die probabilistischen Bemessung entwickelt. Da tausende Brücken in den nächsten Jahren überprüft werden müssen, lohnen sich probabilistische Verfahren mehr und mehr und es können somit grosse Kosten für unnötige Verstärkungsmassnahmen gespart werden, indem man Einwirkung und Widerstand mit stochastischen Prozessen abbildet.
Die realitätsnahe Bewertung der Zuverlässigkeit mit FE-Modellen durch Abbildung des nicht-linearen Verhaltens ist mit den geeigneten Softwares möglich und liefert sehr gute Resultate bei verhältnismässig wenigen Simulationen.
Auch kann mit den aus den Analysen gewonnenen angepassten Teilsicherheitsbeiwerten auf das semi-probabilistische Nachweiskonzept geschlossen werden, was die Anwendung von herkömmlichen Statik-Softwares erlaubt.

Timon Zeder

Betreuer:
Prof. Dr. Michael Baur, HSLU
Prof. Dr. Pierino Lestuzzi, EPFL