# 1. Einleitung

Bis Mitte des 20. Jahrhunderts wurde zunächst die theoretische Grundlage der Finite-Elemente-Methode (FEM) gebildet. Dank der Fortschritte von Rechnern ist das Lösen das komplexe theoretische Gleichungssystem möglich. Heutzutage ist FEM in der festigkeitsmäßigen Auslegung von Bauteilen weit verbreitet. Die FEM basiert auf dem Lösen von unterschiedlichen Differenzialgleichungen mittels numerischen iterativen Verfahren. Ein Bauteil wird in endlich viele Elemente, die mit einfacher und nicht überlappender Form gekennzeichnet ist, aufgeteilt. Dazu spielen sowohl die Form der Elemente als auch die Größe der Elemente eine entscheidende Rolle. Deswegen erfordert FEM entsprechend qualifiziertes Fachpersonal. Das Lösen einer Variante von Bauteilen kann manchmal stundenlang dauern. Die benötigte Bearbeitungszeit ist abhängig von Geometrie und Rechenleistung. Vorteil der FEM liegt daran, dass nach einer Berechnung alle Spannungen und dazu entsprechende Verformungen herauskommen. Bei parametrisierbaren Geometriemodellen, welche individuell auf eine maximale Zielverformung hin, ausgelegt werden soll, ist die FEM aufwendig.

Das Interesse für künstliche neuronale Netze (KNN) setzte bereits in den frühen 1940er Jahren ein, also etwa gleichzeitig mit dem Einsatz programmierbarer Computer in angewandter Mathematik (David Kriesel, 2005, S. 27). Aber wegen die Beschränkung der Reichenleistung entwickelte sich die KNN sehr langsam. Bereits 1974 entwickelte Paul Werbos für seine Dissertation die Backpropagation bzw. die Fehlerrückführung (Paul Werbos, 1974). Das Modell war aber erst später von einer größeren Bedeutung. Neuronales Netz (NN) ist heutzutage ein sehr erfolgreicher Ansatz aus dem Bereich des maschinellen Lernens, welcher auf Basis von verfügbaren Wissen verallgemeinert. D.h. es lernt nicht das verfügbare Wissen auswendig, sondern erkennt. Auf Grund der Fortschritte die Rechenleistung von CPU und GPU entsteht die Möglichkeit, tieferes und tieferes Neuronales Netz zu antrainieren. Typische eingesetzte Beispiele von maschinellen Lernen sind Klassifikation von Bildern, Text- und Spracheübersetzung, und Empfehlungssystem. Dazu kommt spezielle Struktur des Netzes, z.B. Convolutional Neural Network (CNN) und Rekurrentes neuronales Netz (RNN).

Im Rahmen der Arbeit soll untersucht werden, ob wissensbasierte Methoden (Support Vector Maschine - SVM, Neuronale Netze - NN) ähnlich qualifizierte Aussagen treffen können, wie die numerische Simulation. Diese Arbeit konzentriert sich darauf, wie die maximale Verschiebung eines Bauteils unter bestimmten Lasten vorhergesagt werden kann. Dazu sind an mehreren parametrischen Bauteilen entsprechende SVM und NN aufzustellen, zu dimensionieren und zu validieren. Die benötigten Daten bzw. Wissen wird durch ein Addin-Modul „Simulation“ in einer CAD Software SolidWorks erzeugt. Um die Datengenerierung automatisch laufen zu können, ist die Anruf von SolidWorks durch „Application Programming Interface“ (API) in C# nötig. Die entsprechenden Wertebereiche für Bauteildimensionen und Lasten sind sinnvoll einzuschränken.

Die Arbeit ist anhand der Vorgehensweise der Erzeugung eines Vorhersagemodells eingegliedert. Zuerst müssen die benötigten Daten bzw. Wissen durch ein automatisiertes Skript erfassen werden. Danach wird die ansammelte Daten in einem bestimmten Regeln erkundet. Dann folgt das Erstellen eines Vorhersagemodells. Dazu sind mehre Modelle mit unterschiedlichen Strukturen und Parametern sich voneinander verglichen. Im letzten Teil ist die Vertiefungsrichtung dargestellt.

# 2. Erfassung der FEM-basierten Daten

## 2.1 Allgemeines von FEM

Die Methode der finiten Elemente (FEM) ist ein durch numerische Iterationen berechnetes Verfahren, das in vielen Anwendungsbereiche des Maschinenbaus und Elektromagnets zum Einsatz kommt. Die Grundgleichungen zur Beschreibung strukturmechanischer Probleme wie Deformationen, Spannungen, Geschwindigkeiten, Druck, Temperaturen usw., sind gewöhnlich oder partielle Differenzialgleichungen (DGLn) bzw. Differenzialgleichungssysteme (Friedrich U. Mathiak, 2010, S 1.1).

Der Grundgedanke von FEM besteht darin, dass die uns interessierende Bereiche in eine endliche Anzahl einfacher Teilbereiche. In FEM wird dieser Prozess Diskretisierung genannt, in der die großen Bereiche zu zerkleinern. Die Differenzialgleichungen, die das physikalische und mechanische System beschreibt, werden auf der endlichen Anzahl von Elementen gelöst.

## 2.2 Vorgehensweise einer FEM-Analyse

Im Ingenieurbereich stehen vielseitige Simulationssoftwaren zur Verfügung, die eine FEM-Analyse durchführen zu können. Z.B. ABAQUS, ANSYS und SolidWorks (mit Simulation-AddIn). Obwohl es viele Auswahl im Markt gibt, haben alle sehr ähnliche Vorgehensweise. Die beispielsweise in SolidWorks-Simulation können in 7 Schritte eingegliedert (Michael Brand, 2016, S 7).

● Erstellen einer Studie

In der SolidWorks-Simulation Zusatzanwendung stehen nicht nur konventionale lineare Mechanikanalyse, sondern auch mehre Einsatztype zur Verfügung, z.B. Thermische Analyse, Frequenzanalyse, Knickenanalyse usw. (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Einsatztype in SolidWorks Simulation

● Anwenden des Materials

Einige am häufigsten eingesetzte Materialien sind in der Bibliothek vordefiniert und mit dazu entsprechend Name gekennzeichnet. Die benötigten Kennwerte von Werkstoff, z.B. Elastizitätsmodul und Schubmodul, sind auch dazu verbunden. In der Arbeit wird nur ein Material „AISI 1020“ (DIN C22) als Beispiel untersucht.

● Einspannungen definieren

Ziel davon ist die Bewegungen eines Bauteils im Raum ein oder mehr Freiheitsgrad einzuschränken. Im Allgemeine heißt es auch Randbedingungen Definieren. Der Grund liegt daran, dass die Differenzialgleichungen der Mechanik die Randbedingungen benötigen, um gelöst werden zu ermöglichen. Die Type der Einspannung ist je nach dem einzelnen Szenario der Anwendung. In der Arbeit wird eine Stirnfläche als fixiert betrachtet.

● Lasten definieren

Im Ingenieurbereich gibt’s unterschiedliche Lasten. Davon sind die äußeren Kräfte und Momente als allgemeine Lasten betrachtet. In der Arbeit sind nur Kräfte als bestimmte Lasten berücksichtigt.

● Modell vernetzen

Im Rahmen der FEM ist die Vernetzung eines Bauteils entscheidend. Damit entstehen diese endlichen Elemente. Je nach Form, Größe und Anzahl der Elemente können die entsprechenden Ergebnisse sich voneinander abweichen.

Theoretisch stehen in der FEM vielseitige Elementtypklasse zur Verfügung, nämlich für Linienelemente gibt’s Stab und Balken, für Flächenelemente gibt’s Dreieck und Viereck, für Volumenelemente gibt’s Hexaeder und Tetraeder.

Bei SolidWorks Simulation sind drei grundlegende Vernetzungstype verfügbar: shell mesh, beam mesh und solid mesh (Glenn Whyte, 2018). Folgendes steht die Eigenschaft der typischen Vernetzungstype (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich der Vernetzungstype bei SolidWorks Simulation

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Solid Mesh | Shell Mesh | Beam Mesh |
| Elementtype | Tetraeder | Dreieck | Balken |
| Einsätze | Für alles andere  (als standardmäßige Voreinstellung) | Dünne Bauteile | Bauteile mit konstanter Abschnitt |

Für Solid Mesh bei SolidWorks Simulation bittet der Lieferant keine andere Elementtype, sondern nur Tetraeder. D.h. in der Arbeit spielt der Elementtyp keine Rolle.

Die Größe und die Anzahl der Elemente sind sich voneinander abhängig. Je kleiner die Elemente sind, desto größere Anzahl der Elemente ist.

In der Abb. 2 wird Einfluss der Elementsgröße auf FEM Ergebnisse (maximale Verschiebung) gezeigt. Elementsgröße 0,2mm ist als angenommene Richtige bzw. Referenz betrachtet. Es weist eine Tendenz auf, dass mit absteigenden Elementsgröße neigt es dazu, größere Ergebnisse zu erzielen. Im Vergleich zu großen Elementsgröße besitzen die Vernetzungen, die mit kleinen Elementsgröße versehen sind, einen deutlichen Unterschied zur Referenz, dazu zählen sowohl die Verteilung als auch die Differenz. In der Arbeit wird der Unterschied nicht weiter qualitativ untersucht, sondern nehmen wir eine quasi vernünftige Elementsgröße 0.2mm als Beispiel. Die ist nach der Abeichung zwischen Genauigkeit und Rechenzeit.



Abb. 2: Einfluss der Elementsgröße auf FEM Ergebnisse (maximale Verschiebungen)

● Studie ausführen

Wenn alle benötigten Eingangsdaten (Geometrie, Material, Lasten, Vernetzung usw.) zugewiesen sind, dann kann das Berechnungsverfahren selbst automatisch durchlaufen.

● Ergebnisse analysieren

Beim Standard stehen 3 verformungsrelevante Ergebnisse zur Verfügung, nämlich vonMises Spannungen, resultierende Verschiebungen und äquivalente Dehnungen. In der Arbeit uns interessieren die vonMises Spannungen und resultierende Verschiebungen.

## 2.3 Automatisierung der Vorgehensweise durch SolidWorks-API mittels C# Programmierung

2.3.1 Allgemeines um SolidWorks-API

API heißt auch Programmierschnittstelle, mit der von einem Softwaresystem die anderen Programme zur Anbindung an das System zur Verfügung gestellt wird.

Literaturverzeichnis

David Kriesel, Ein kleiner Überblick über Neuronale Netze, www.dkriesel.com, 2005

Paul Werbos, Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences, Dissertation, Harvard University, 1975

Michael Brand, FEM-Praxis mit SolidWorks, Springer Vieweg, 2016

Glenn Whyte, Ins and outs on meshing elements for SOLIDWORKS SIMULATION, https://hawkridgesys.com/blog/ins-and-outs-on-meshing-in-solidworks-simulation, 2018