

Verdeutlichung von Herleitungen und Aufgaben in der virtuellen Realität

1 Antragsteller/in

Arbeitsgruppe Strömungsmechanik
Dr.-Ing. Konrad Boettcher

2 Kurzbeschreibung des Projektes

Der Zugang zu schwierigen Sachverhalten soll Studierenden durch die Ausnutzung der Vorteile der virtuellen Realität erleichtert werden. Dazu sollen Herleitungen, Sachverhalte und Aufgaben gehören, die häufig darstellungsbasierte Verständnisschwierigkeiten verursachen.

3 Details zum Projekt

3.1 Istzustand vor Beantragung

Im Ingenieurwesen und insbesondere in der Strömungsmechanik werden häufig numerische Berechnungsprogramme verwendet, um einen besseren Einblick in physikalische Sachverhalte zu erlangen und Informationen zu erhalten, die experimentell nicht zugänglich sind. In der Vorlesung und Übung zur Strömungsmechanik werden solche Simulationen eingesetzt, um Sachverhalte zu verdeutlichen. Dabei können Studierende nur konsumieren, da bspw. nur starr aufgezeichnete Filme betrachtet werden können. Werden die Berechnungsergebnisse hingegen in der virtuellen Realität (VR) abgebildet, können Studierende selbst die Strömung aus verschiedenen Blickwinkeln nach eigenen Wünschen und mit eigener Geschwindigkeit handlungsorientiert erforschen. Dabei ist keine Einarbeitung in eine CFD-Software notwendig und die Ergebnisse werden in der VR durch eingeblendete Informationen und Erklärungen physikalisch interpretierbar.

Die grundlegenden Kenntnisse zur Darstellung berechnungsbasierter Sachverhalte in der VR liegen vor. Durch die Verwendung der Unreal-Engine 4 konnte eine einfache typische Kanalströmungsform bereits in der VR dargestellt werden. Die Kenntnisse zur Darstellung von Feldgrößen (Druck, Geschwindigkeitskomponenten) und Stromlinien, die Möglichkeit der Interaktion durch Einflussnahme auf die Strömung und das Setzen von Erklärungen mit der Unreal-Engine 4 sind dabei vorhanden.

3.2 Projektziel/Projektbeschreibung

Darstellungsbasierte Schwierigkeiten im Verständnis von Herleitungen, Aufgaben und Sachverhalten sollen durch „Erleben“ und Erklärungen in der VR beseitigt werden und die Informationsaufnahme durch handlungsorientiertes, spielerisches Entdecken und Erlernen erleichtert und vertieft werden. Dabei soll, aufgrund der Vorkenntnisse, die Open-Source Unreal-Engine 4 verwendet werden. Für die darzustellenden Sachverhalte sollen jeweils kurze eigenständige Programme erzeugt werden. Die Reichweite des Projektes ist durch die Besucher/innen der Pflichtveranstaltungen SM1, SM2 und FMHT gegeben.

3.3 Einzelmaßnahmen, Schritte etc.

Für jeden geplanten darzustellenden Sachverhalt sind folgende Schritte durchzuführen:

- Identifikation geeigneter alternativer Sachverhalte
- Ablaufplanung und pädagogischer Aufbau des Lerninhaltes, Aufbau der Lernsituation

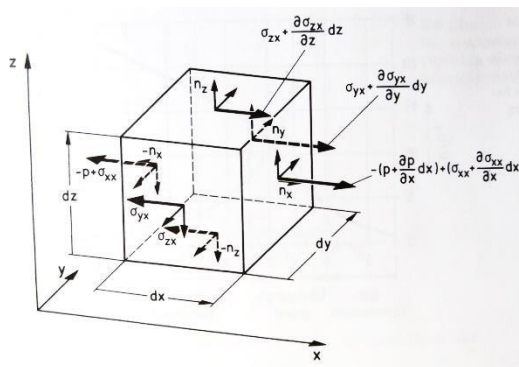
- CFD (Geometrieerzeugung, Vernetzung, Pre- und Postprocessing, Lösung), analytische/numerische Berechnung der Strömungsfelder für verschiedene Parameter wie Dichte, Viskosität, Geschwindigkeit, Zirkulation, ...
- Export, Parametrisierung und Mapping der mittels CFD erhaltenen Daten
- Erzeugung der Spielwelten in der Unreal-Engine 4 (Terrain-Editing, Interaktionsprogrammierung)
- Übertragung der generierten 3D-Berechnungen in die virtuelle Umgebung
- Implementierung der Einflussmöglichkeiten, Erklärungen, Fragen etc.
- Übersetzung ins Englische

Geplante Sachverhalte:

1. Herleitung von Erhaltungsgleichungen

Bei der Herleitung der Navier-Stokes Gleichung tritt ein vektorielles Gleichgewicht von 6 Druckkräften, 18 viskosen Spannungen, 6 Impulskräften, 3 Komponenten der Volumenkräfte und 3 Komponenten der Trägheitskräfte auf. Damit lägen an dem Würfel 36 Pfeile vor, deren zugeordnete Größen zu aller Unmut teilweise auch noch Taylorentwickelt werden müssen. In der Abbildung sind lediglich die 18 viskosen Spannungen und somit die Hälfte der für das Verständnis notwendigen Pfeile eingetragen. Da die Verwirrung mit der Anzahl der Pfeile (und der möglichen Seiten an denen diese angreifen können) steigt, ist hier Abhilfe wünschenswert.

Ziel: In der VR können die Kräfte nach Belieben hinzu- und weggeschaltet werden. Durch das Herumlaufen/-fliegen um den Würfel werden zudem die Wirkflächen und Richtungen durch die gesteigerte räumliche Wahrnehmbarkeit klarer. Die Herleitung wird grundlegend, vom zweiten



newtonschen Gesetz ausgehend, erläutert. Der Würfel soll an verschiedene Stellen einer einfachen Beispielströmung geschoben werden können. Damit können die Zusammenhänge der einzelnen Kraftanteile sowie der Sinn der Taylorentwicklung erkannt und verstanden werden. Mit dem zu erstellenden VR-Programm kann durch leichte Abänderungen auch die Herleitung der Hydrostatik und der Euler-Gleichung abgedeckt werden.

2. Erklärung der Herleitung der Stromfadengleichung

Ähnlich der obigen Erhaltungsgleichungen soll aus einem beispielhaften Strömungsfeld eine Stromröhre herausgeschnitten und zu einem Stromfaden abstrahiert werden. Hier liegen die Probleme der Studierenden in der stromfadeneigenen Koordinate s , sowie der Kräftebilanz in Normalenrichtung. Ein Durchlaufen und Verschieben der Stromröhre, sowie die Darstellung der beiden Bilanzierungsrichtungen ermöglicht das intuitive Verstehen und spätere Anwenden der mächtigeren Anteile dieses Werkzeugs.

3. Erklärung der Grenzschichttheorie

Die Grenzschichttheorie wird für eine angeströmte Platte in der VR abgebildet. Dabei soll die Grenzschicht durchlaufen werden können. Feldgrößen sollen ausgewählt und auf den Boden

gemappt werden. Die unterschiedlichen Eigenschaften der unterschiedlichen Strömungsbereiche sollen erfahrbar gemacht werden, indem die Spielenden auch zwangsweise der Strömung folgen.

Im Bereich der ungestörten Umströmung (außerhalb der Grenzschicht) wird die Verdrängungswirkung der Grenzschicht durch eine erzwungene Bewegungskomponente der Spielenden von der Plattengrenzschicht weg erfahren. Wie in der Realität (und wie oft leider nicht verstanden), klingt diese Komponente mit dem Grenzschichtabstand nicht ab. In der Grenzschicht wirkt die Reibung, welche durch eine Verlangsamung der Bewegungsfähigkeit erfahrbar gemacht werden soll, gleichzeitig versetzt die Reibung den Spielenden in Eigendrehung, womit die fehlende Drehungsfreiheit dargestellt werden soll. Die Einflussnahme auf die Bewegungsfähigkeit muss noch erarbeitet werden. Dargestellt werden soll zudem die korrekte Lösung (CFD oder semianalytisch) sowie die Ergebnisse verschiedener Ansatzprofile (linear, parabolisch etc.) und die Auswirkungen auf verschiedene integrale Aussagen (Grenzschichtdicke, Geschwindigkeitsprofil, Reibungskraft, Stromlinienverlauf, ...).

Zusätzlich soll für die Veranstaltung FMHT der PSE-Master die Temperaturgrenzschicht auf ähnliche Weise dargestellt werden.

4. Erklärung unterschiedlicher Visualisierungsformen: Bahn-, Strom-, Streich- und Zeitlinien

In der Strömungsmechanik gibt es 4 Möglichkeiten der Visualisierung einer Strömung. Die Unterschiede bereiten bei einer instationären Strömung vielen Studierenden Probleme. Für ein erlebbares Verständnis soll in der VR der Ort der Teilchenzugabe (Seeding) variabel gestaltet werden können. Mit der Variation der Zugabefrequenz sollen so Bahn-, Strom-, Streich- und Zeitlinien erzeugt werden. Um zudem die Unterschiede zwischen stationärer und instationärer Strömung auf die Visualisierungsformen erlebbar zu machen, erscheint hier die Darstellung der Umströmung einer bewegten und nichtbewegten Kugel sinnvoll.

Hier müssen noch für die Darstellung der Streich-, Zeit und Bahnlinien grundlegende Methoden der Implementierung erarbeitet werden.

5. Spezielle Aufgaben

Es sollen zwei spezielle Aufgaben in der VR abgebildet werden.

- a) Injektorpumpe: Hier soll die Injektorpumpe begangen werden können. Die Strömung lässt sich in verschiedene Bereiche aufteilen, welche mit unterschiedlichen Werkzeugen bearbeitet werden können. Zur Lösung der Aufgabe ist ein dreidimensionales Vorstellungsvermögen nötig, was erfahrungsgemäß vielen Studierenden Schwierigkeiten bereitet. Teil der Aufgabe ist eine Vermischung, wobei auch deren Auswirkungen auf die verwendbaren Werkzeuge verdeutlicht werden soll. Als Einflussmöglichkeit soll auch die Saughöhe variiert werden und sich der Lerneffekt einstellen, dass bspw. Wasser nur 10 Meter tief abgesaugt werden kann.
- b) Wirbel: Auch hier ist das Zusammenspiel von verschiedenen Werkzeugen wichtig: So sind die Potentialtheorie, Stromfadentheorie, Euler-Gleichung und Hydrostatik anwendbar und teilweise gekoppelt anzuwenden, was häufig Unverständnis auslöst. Verglichen werden soll der Potentialwirbel zudem mit einem Starrkörperwirbel, wobei auch direkt die

„Drehungsfreiheit“ anhand der von außen auf die Spielfigur aufgeprägte Drehung erfahrbar gelehrt werden soll.

6. Trägheit, Reibung und Ähnlichkeitsmechanik in typischen Strömungsgeometrien

Für verschiedene typische Geometrien soll die Strömung in der VR erlebbar und begehbar sein. Es soll dabei durch Variation der Parameter Geschwindigkeit, Dichte, Viskosität und Größe das Zusammenspiel von Trägheit und Reibung dargestellt werden. Damit soll das Grundkonzept der Ähnlichkeitsmechanik erläutert und erfahrbar werden. Zu den Geometrien sind vorstellbar: gerader Kanal, Rohrkrümmer, unetstige Erweiterung, Diffusor, Düse, Blende und die Strömungsbereiche der LavalDüse im Überschall mit und ohne Verdichtungsstoß.

3.4 Geplante Laufzeit

April 2019 – Dezember 2019, die Grenzschicht und NS-Gleichung sollen direkt in die im Sommersemester laufende Veranstaltung Strömungsmechanik 2 integriert werden.

3.5 Indikatoren zur Evaluation des Projektes

- A6: Klarheit und Verständlichkeit bei der Erklärung von Sachverhalten
- A7: Verbesserung der Verständlichkeit durch geeignete Beispiele und Visualisierungen
- C1: Nutzen veranstaltungsbegleitender Materialien für VL und Ü
- C2: Inhaltlicher und formeller Wert als Ergänzung zu VL und Ü
- E1: Erwerb fachlichen Wissens
- E3: Förderung des Interesses
- E4: Förderung des Bezugs zur Praxis
- E5: Nutzung alternativer Methoden der Wissensvermittlung

3.6 Nachhaltigkeit/Verstetigung:

Nach erfolgreichem Projektabschluss stehen mehrere Programme dauerhaft zur Verfügung, mit welchen Herleitungen, Erklärungen, Definitionen und Zusammenhänge selbst spielerisch erlebt und erfahren werden können. Die Programme werden in der Moodle-Plattform zu Lehrzwecken veröffentlicht und könnten im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit und Studierendenwerbung verwendet werden.

Mittelfristig könnte diese VR-Verwendung sinnvollerweise in weiteren berechnungsintensiven Lehrfeldern wie im Apparatedesign, der technischen Mechanik oder in der Reaktionstechnik Anwendung finden.