

# Evaluation von Photogrammetrie 3D-Scan für CFD-Simulationen

Peter Kuhn

2024-05-26

## Contents

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aufbau</b>	<b>2</b>
2.1	Geometrie . . . . .	2
2.2	3D-Scan Workflow . . . . .	3
2.3	Material . . . . .	4
2.4	Randbedingungen . . . . .	4
2.5	Handrechnung . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Vorstudien</b>	<b>5</b>
3.1	Rechenintervalle . . . . .	6
3.2	Grösse der simulierten Luft . . . . .	7
3.3	Netzfeinheit . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>9</b>
4.1	Plausibilität . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>9</b>

## 1 Einleitung

Das Ziel ist es zu bewerten, wie geeignet ein Photogrammetrie 3D-Scan für eine CFD-Simulation ist.

Dazu wird eine Simulation mit 3D-gescannten Objekten und eine Simulation mit den Originaldimensionen des Objekts gemacht.

Als Objekt wurde die Kuh gewählt. Für viele Beispiele der theoretischen Physik ist die Annahme, dass eine Kuh sphärisch ist, typisch. Im Jahr 2015 gab es das Meme, das den Luftwiderstand einer Kuh mit dem eines Jeeps verglichen hat. Um diesen Witzen Ehre zu erweisen, ist es das Ziel, den  $c_d$ -Wert einer 3D gescannten Kuh zu ermitteln.



Figure 1: 3D-gedruckte Kuh, angemalt

Der Widerstandsbeiwert  $c_d$  ist definiert als

$$c_d = \frac{2F_d}{\rho u^2 A} \quad (1)$$

wobei:

- $F_d$  die Widerstandskraft ist, die per Definition die Kraftkomponente in Richtung der Strömungsgeschwindigkeit ist;
- $\rho$  die Massendichte des Fluids ist;
- $u$  die Strömungsgeschwindigkeit des Objekts relativ zum Fluid ist;
- $A$  die Referenzfläche ist.

## 2 Aufbau

### 2.1 Geometrie

Um einen Vergleich der Geometrie zu machen, braucht es zwei Geometrien. Hierfür wurde zum einen eine frei verfügbare Low-Poly-Kuh und zum anderen der Scan des 3D-Drucks der Low-Poly-Kuh gemacht.

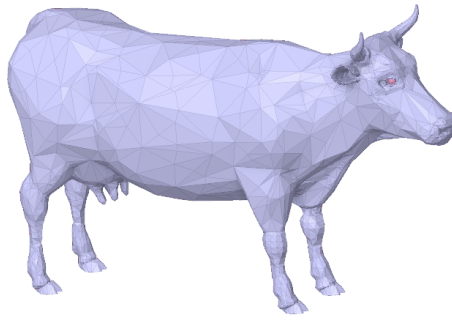


Figure 2: Original STL aus dem Internet

## 2.2 3D-Scan Workflow

Um die gescannte Geometrie zu bekommen, wurden verschiedene Techniken ausprobiert. Hier ist der funktionierende Ablauf beschrieben:

1. STL 3D-Datei im Internet finden Kuh
2. Mit Prusa Slicer das STL in G-Code übersetzen
3. Mit 3D-Drucker Ultimaker 2+ G-Code in physisches Objekt umwandeln
4. 3D-Druck weiss und schwarz anmalen, um Reflexionen zu vermeiden und Tracking-Punkte zu setzen
5. Mit Smartphone und externen LEDs mit der Software Polyscan 130 Bilder auf externen Servern in OBJ-Datei erstellen und exportieren
6. Mit Blender OBJ bearbeiten, Boden entfernen, als STL exportieren
7. In ANSYS Spaceclaim mit der Funktion Shrinkwrap ein zusammenhängendes STL erstellen
8. In nTop aus STL eine implizite Geometrie erstellen
9. In nTop aus impliziter Geometrie eine Konstruktion ableiten als STEP
10. In NX die Konstruktion der Luft um die Kuh als prt (siehe Abbildung 4) erstellen und als STEP exportieren
11. In ANSYS importieren und vernetzen

Dieser Prozess ist schwierig, weil es keine universell einsetzbaren 3D-Dateiformate gibt. Ich hoffe, dass sich hier in der Zukunft etwas verbessert.

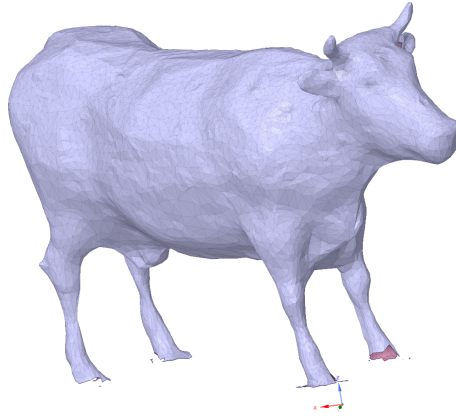


Figure 3: 3D-Scan nach Shrinkwrap, die Euter sind zum Beispiel nicht mehr abgebildet

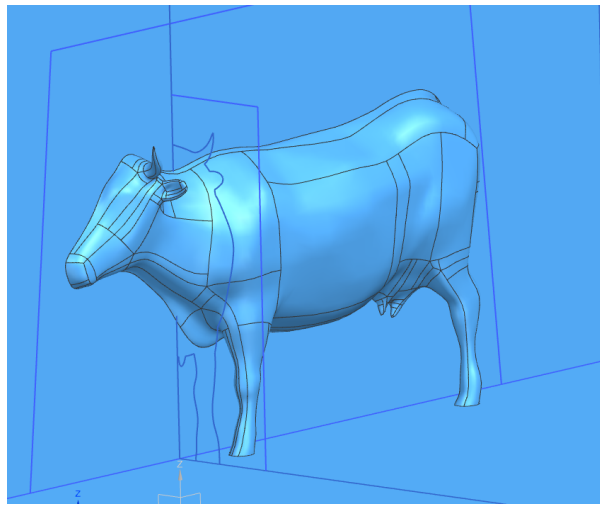


Figure 4: Die Originalgeometrie als prt in NX

## 2.3 Material

Es wird Luft bei 25 Grad an einem schönen Frühlingstag für die Simulation gewählt.

## 2.4 Randbedingungen

Die  $c_d$  in der Literatur sind bei einer Reynolds-Zahl zwischen  $10^4$  und  $10^6$  angegeben. Das heisst, die Luftgeschwindigkeit  $u$  wird so gewählt, dass die Reynolds-Zahl in diesen Bereich fällt.

$$Re = \frac{\rho u L}{\mu} \quad (2)$$

Für die Simulation kann die Symmetrie der Kuh genutzt werden. Die Kuh ist als Wall no slip definiert, die Wände als Wall free slip, Inlet ist mit einer konstanten Geschwindigkeit definiert, Outlet ist als 0 Pa Druck definiert.

## 2.5 Handrechnung

Für die Handrechnung wird die Annahme aus 1 benutzt. Der  $c_d$ -Wert einer Kugel kann in der Literatur nachgeschlagen werden und ist

$$c_d = 0.47$$

## 3 Vorstudien

Die Expression, die als Monitorpunkt benutzt wird, ist

$$force_y@cow$$

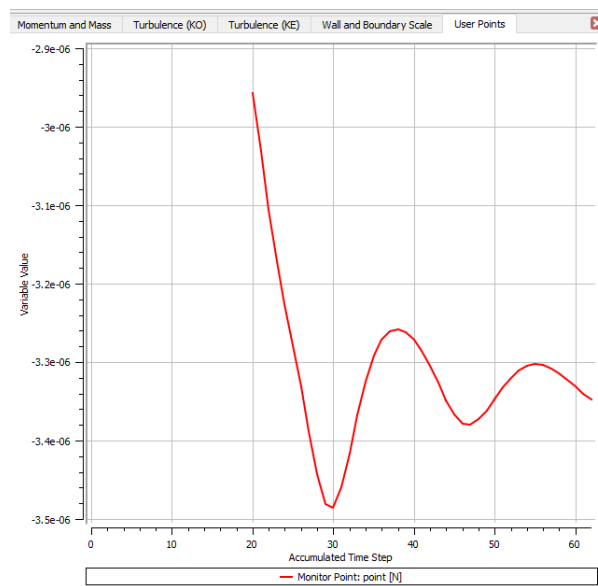


Figure 5: Kraft auf die Fläche der Kuh

Auch in Abbildung 5 kann gesehen werden, dass es sich leider nicht um eine laminare Strömung handelt. Um einen Wert zu bekommen, der mit dem Wert aus 2.5 verglichen werden kann, wird der Durchschnitt in den letzten Schwingungen ausgewertet.

Um die Referenzfläche  $A$  der Kuh zu erhalten, wird in NX ein Schatten der Kuh gemessen. In Abbildung 6 ist zu sehen, dass zum Beispiel nicht mehr berücksichtigt wird, dass eine Kuh Vorder- und Hinterbeine hat.

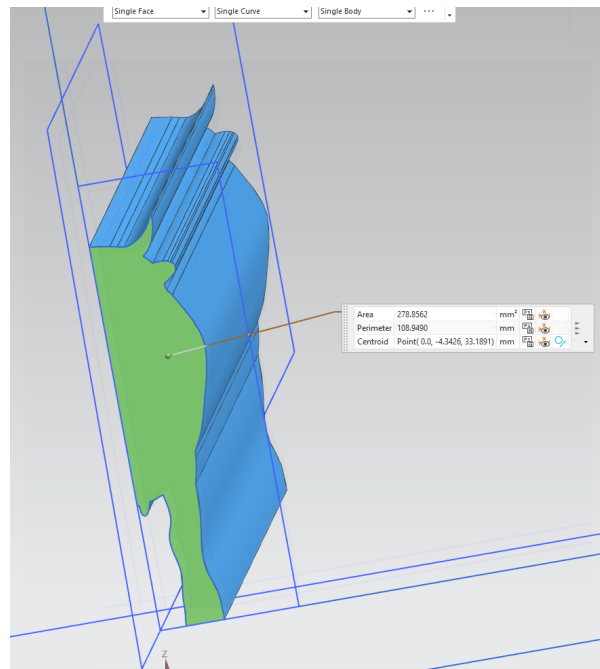


Figure 6: Referenzfläche der Kuh

### 3.1 Rechenintervalle

Der RMS-Error in Abbildung 7 ist nicht am konstanten Abnehmen, sondern zeigt die Eigenschaften einer Kármánschen Wirbelstrasse. Meine Vermutung ist, dass die dünnen Beine der Kuh und der massige Körper der Kuh nicht die Vorgaben der Reynolds-Zahl und keine Wirbelablösung gleichzeitig aufweisen können.

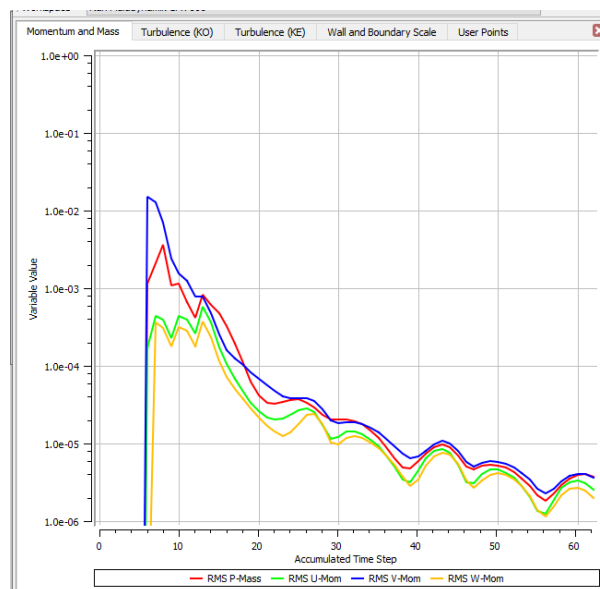


Figure 7: RMS-Fehler, die nicht konvergieren

## 3.2 Grösse der simulierten Luft

Um sicherzustellen, dass die Simulation eine Kuh auf freiem Feld abbildet, muss sichergestellt werden, dass die Wände der Simulation einen vernachlässigbaren grossen Einfluss auf das Ergebnis haben. Für die Evaluation des 3D-Scans wurde eine Grösse gewählt, die dem Bauchgefühl nach ausreichend ist. Die Luft war für beide Simulationen genau gleich.

In Abbildung 8 kann gesehen werden, dass die Druckverteilung nicht bis an die Wände inhomogen ist, das heisst, die Wände haben tatsächlich keinen Einfluss auf die Kuh.

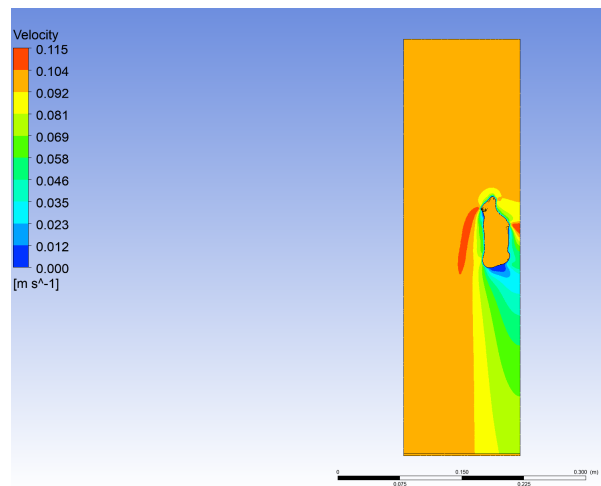


Figure 8: Druckverteilung über die Symmetrieffläche

### 3.3 Netzfeinheit

Die Netzfeinheit wird bei jedem neuen Import/Export neu definiert. Um das Modell sehr gut abzubilden, ist eine Netzfeinheit von 0.2 mm nötig. In Abbildung 9 ist diese Feinheit zu sehen. Um mit der limitierten Hardware des VDIs ein Ergebnis erzielen zu können, musste eine Netzfeinheit von 2 mm gewählt werden. In Abbildung 10 ist diese Feinheit zu sehen. Die sehr hohe Auflösung des ursprünglichen 3D-Scans stellt eine erhebliche Herausforderung für eine Simulation dar.

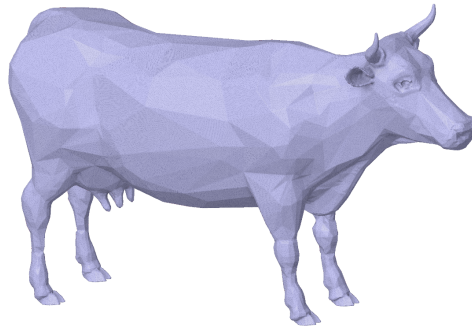


Figure 9: Originaldatei nach Shrinkwrap, mit Netzfeinheit 0.2 mm

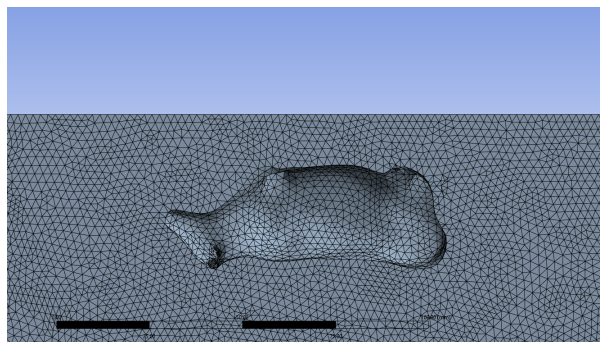


Figure 10: Simuliertes Netz, suboptimal aber konstant



## 4 Ergebnisse

Es wird ein  $c_d$  Originalwert von 0.88 und ein  $c_d$  Scanwert von 0.91 simuliert. Die Werte sind in der gleichen Grössenordnung wie die Handrechnung mit  $c_d$  Kugel und das ist alles, was der theoretische Physiker braucht.

### 4.1 Plausibilität

Die Vergleichbarkeit des Originals mit dem Scan ist schwierig, da sowohl das Original als auch der Scan durch mehrere Programme transformiert wurden. Aber es zeigt trotzdem, wie gut ein *gratis* 3D-Scanner sein kann, den man immer in der Hosentasche hat.

In der Literatur Youtube wurde das gleiche Original STL für eine Berechnung benutzt und ein  $c_d$  Youtube-Wert von 0.5 ermittelt.

## 5 Fazit

Es konnte in dieser selbst gestellten Testaufgabe ein Workflow entwickelt werden, um mit einem Photogrammetrie-3D-Scanner eine CFD-Simulation durchzuführen. Die grösste Herausforderung des Workflows ist die Inkompatibilität der verschiedenen 3D-Dateitypen.

Die Simulation leidet an Turbulenzen, so konnten keine exakten Werte für den Luftwiderstand einer Kuh berechnet werden. Die beiden Simulationen und die Handrechnung sind in der gleichen Grössenordnung, somit kann in der theoretischen Physik ohne Probleme die Annahme getroffen werden, dass eine Kuh eine Kugel ist.