

PERSONENDATEN

Nachname: Lindlbauer

Vorname: Paul

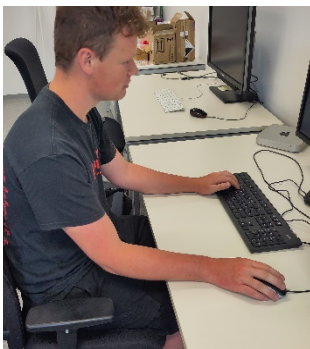
TU Wien, Institut für Angewandte Physik
Wiedner Hauptstraße 8-10/E134
1040 Wien

1. KURZFASSUNG

Während meines Praktikums zur Unterstützung einer Diplomarbeit über Vorderbeinprothesen für Pferde habe ich zunächst gelernt, wie man wissenschaftlich recherchiert. Nach einigen Rechercharbeiten habe ich die Grundlagen in Anatomie, Physiologie und Biomechanik erlernt. Mit diesen Grundlagen lernte ich wie ich das 3D-Design Programm FreeCAD bedienen kann und habe dies durch Aufgaben festigen können. Als ich diese Aufgaben abgeschlossen habe, wurde ich mit dem Programm Rhino und innerhalb von Rhino mit der Parametrischen Programmieroberfläche Grasshopper bekannt gemacht. In diesem Programm habe ich eine grundlegende Pferdeprothese erstellt. Zusätzlich habe ich eine Einführung in den 3D-Druck erhalten. Danach haben wir noch über FEA gesprochen und wie dies in FreeCAD benutzt werden kann. Zu guter Letzt habe ich noch einige Probedrucke mittels dem privaten 3D-Drucker von Herrn Hammel ausführen können.

2. ORGANISATION UND BETREUUNG

Während meines Praktikums hatte ich die Gelegenheit, ein Teil der Arbeitsgruppe von Frau Professor Gebeshuber im Institut für Angewandte Physik der Technischen Universität Wien zu sein, welche sich auf das Themengebiet der Bionik, wo natürliche Phänomene und Prozesse untersucht werden, um innovative technische Lösungen zu entwickeln, spezialisiert. Mein Praktikum wurde von Herrn August



Hammel betreut, einem Masterstudenten im Bereich Biomedical Engineering, dessen Diplomarbeit ich dabei unterstützen sollte. Für das Praktikum arbeitete ich teils in den Büros der TU Wien, teils auch an dem privaten PC von Herrn Hammel. Dies war notwendig, da bestimmte spezialisierte Programme, die für meine Aufgaben erforderlich waren, nur auf seinem Gerät verfügbar waren. Zudem konnte ich gelegentlich auch auf meinem eigenen Laptop arbeiten. Ein Großteil meiner Arbeitszeit wurde ich betreut, so konnte ich jederzeit Fragen stellen und bekam regelmäßig wertvolles Feedback zu meinen Fortschritten. Aber es hat auch Arbeitsperioden gegeben, in welchen ich selbstständig Aufgaben bearbeitete, um eigenverantwortlich zu arbeiten und mein Verständnis der Materie zu vertiefen. Diese Phasen der Selbstständigkeit wurden immer durch gemeinsame Besprechungen abgeschlossen, in denen ich meine Ergebnisse präsentierte und wir gemeinsam mögliche Verbesserungen und nächste Schritte diskutierten.

3. PROJEKT UND TÄTIGKEITEN IM PRAKTIKUM

Im Rahmen meines Praktikums hatte ich die Gelegenheit, die Diplomarbeit von dem Masterstudent Herrn Hammel mitverfolgen zu können und habe eine Einführung in die unterschiedlichen Bereiche seiner Arbeit bekommen. Die Arbeit umfasst eine Prozessautomatisierung zur Erstellung einer Vorderbeinprothese für Pferde, die mittels additiver Fertigung hergestellt werden sollte.

Durch mein Praktikum habe ich einen Rahmen erstellt für das Programm, welches letztlich die Prothese erstellen soll. Dieser Rahmen sollte es ermöglichen, verschiedene Design- und Konstruktionsparameter so zu kombinieren, dass die Prothese individuell an das jeweilige Pferd angepasst werden kann. Zu Beginn meines Praktikums habe ich eine Führung durch die Universität erhalten, in welcher mir dann auch mein Arbeitsplatz ausführlich vorgestellt wurde.

Ein wesentlicher Bestandteil meiner Arbeit war das wissenschaftliche Recherchieren. Herr Hammel führte mich in die Methoden für korrektes wissenschaftliches Recherchieren ein. Hier habe ich gelernt auf was man besonders achten sollte, um gute Recherchearbeiten durchzuführen. Mit dieser neuen Fähigkeit habe ich unterschiedliche Nachforschungen in Themen wie Gangarten des Pferdes oder Federtypen im 3D-Druck durchgeführt. Bei allen weiteren Aufgaben habe ich parallel auch immer wieder Recherchen betrieben.

Nach diesen ersten Recherchen habe ich mich mit Herrn Hammel mit den Grundlagen der für die Arbeit relevanten Anatomie des Pferdes besprochen und darauffolgend auch die Physiologie und die Biomechanik. Mit den nötigen Grundinformationen konnte dann die erste Einführung in *FreeCAD* beginnen. Dies war des erste der 3D-Design Programme, welche den Hauptarbeitsbereich meines Praktikums darstellen sollten. Um die Grundlagen zu computergestütztem Design zu erlernen, designten wir zuallererst eine Trinkflasche. Dabei nutzten und verglichen wir die zwei in *FreeCAD* wichtigsten Arbeitsbereiche *Part*, zur Erstellung von Objekten mittels Grundgeometrien, und *Part Design*, zur Erstellung von Objekten mittels technischer Skizzen. Nachdem die Trinkflasche fertig war, bekam ich die

Aufgabe zu versuchen eine erste Art Prothese selbstständig zu erstellen. Dazu wurde mir ein 3D-Scan des Skeletts vom rechten Vorderbein eines Pferdes zur Verfügung gestellt. Mit diesem Skelett habe ich in Part Design Geometrische Skizzen erstellt, welche meinen Vorstellungen entsprachen. Diese Skizzen konnte ich dann durch additive loft zu dem finalen Gegenstand machen (Abbildung 2). Damit habe ich den Umgang mit FreeCAD festigen können und mein Betreuer konnte gleichzeitig erkennen was mein Verständnis von Prothesen allgemein und Prothesen bei Pferden im Speziellen umfasst. Wir haben dann das Design durchgesprochen und anhand dessen die Anforderungen von Pferdeprothesen im Detail analysiert.

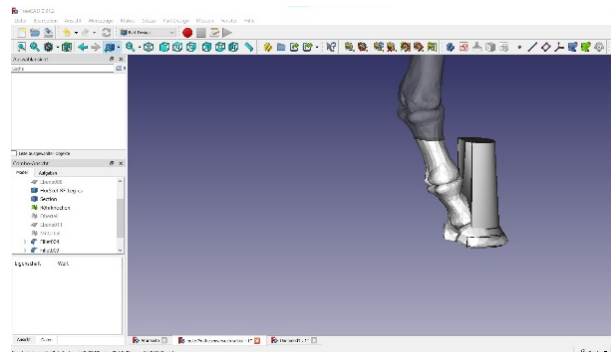


Abbildung 2: Erstes Hufteil-Design in FreeCAD

Ein weiteres 3D-Design Programm, mit dem ich vertraut gemacht worden bin, ist das Programm *Rhino*, innerhalb welchem ich mit der parametrischen Programmieroberfläche *Grasshopper* gearbeitet habe. *Grasshopper* wird in der Diplomarbeit verwendet, um eine Vorderbeinprothese automatisiert zu erstellen, welche sich mit wenigen Eingabeparametern individuell an ein Pferd anpassen lässt. Wir begannen damit, das Skelettbein, das bereits zuvor in FreeCAD verwendet wurde, zu importieren und am zu amputierenden Knochen mehrere Schnittebenen einzufügen. An die Mittelpunkte der so erzeugten Querschnitte wurde eine Gerade angepasst, welche die Achse in dem zu amputierenden Knochen des Pferdes darstellt (Abbildung 3). Das ermöglichte es, die Prothese präzise und automatisch am Knochen zu positionieren. Die Amputationshöhe haben wir mittels einer weiteren Schnittebene, die in diesem Fall senkrecht zur Knochenachse steht, festgelegt. So haben wir einen perfekten Schnitt erhalten, an dem wir die Prothese ansetzen konnten. Das ermöglicht es, dass die Prothese bei jedem neuen Knochen-Scan, welcher zum Beispiel durch ein CT erhalten werden kann, durch Eingabe der Knochenposition und Amputationshöhe automatisch die richtige Größe hat.

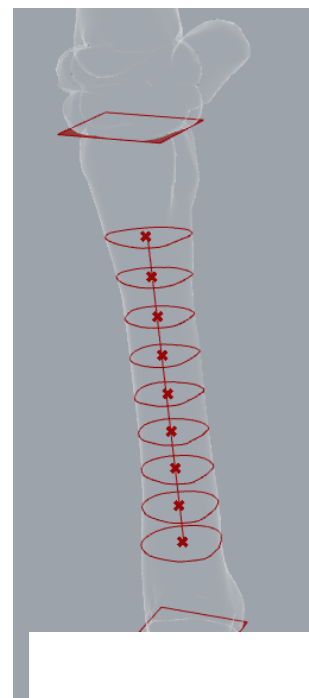


Abbildung 3: Begrenzung des Knochens und Setzen der Schnittebenen mit anschließendem Fitten einer Gerade durch die Mittelpunkte in Grasshopper.

Darauffolgend habe ich wieder selbstständig anhand des zuvor erhaltenen Feedbacks zur Prothese in FreeCAD eine verfeinerte Form in *Grasshopper* erstellt. Die Prothese in *Grasshopper* ist dreigeteilt in folgende Abschnitte: das obere Beinteil, welches eine Sanduhrform besitzt und als primäre Funktion das Körpergewicht tragen soll, das Hufteil, welches das korrekte Abrollverhalten

gewährleisten soll, und dazwischen ein Feder-Dämpfer-System, das die durch das Gehen und Auftreten entstehenden Stöße dämpfen soll, welches im späteren Verlauf eingefügt wird. Als erstes habe ich drei Punkte durch Vektoren erstellt, die ich durch Arc SED zu einer Kurve verbunden habe. Dann habe ich durch den obersten Punkt dieser Kurve und einem zweiten Punkt eine Linie erstellt, welche ich dann mit Merge und Join Curves mit der Kurve verbunden habe. Diese Linie habe ich dann durch Revolution und Close Brep zu meinem Huftteil gemacht, gezeigt in Abbildung 4 unten. Anschließend habe ich den höchstgelegenen Punkt des Huftteils genommen, diesen mit einem Eingabewert addiert, mit welchem man die Höhe bestimmen kann. Der neu entstandene Punkt und der alte Punkt durch eine Linie verbunden ergeben die Höhe des Abstands in der man die Feder einfügen kann. Diesen Abstand habe ich dadurch erhalten, indem ich die Linie durch Revolution zu einem Zylinder gemacht habe. Mit demselben Punkt, den man hier aus der Addition erhält, habe ich auch meinen Startpunkt des Oberteils festgelegt, somit verschiebt sich der obere Teil automatisch, wenn man den Federplatz verändert. Außerdem habe ich noch zwei zusätzliche Punkte eingefügt, mit denen ich wieder durch Arc SED eine Kurve erstellt habe und diese habe ich durch Revolution und Cap Holes wieder zu einem geschlossenen Körper gemacht, welcher meinen Oberteil widerspiegelt, gezeigt in Abbildung 4 oben. Dann habe ich noch ein Rautengitter durch diagrid structure erstellt, habe eine Kopie dessen dann versetzt, um eine Querschnittsfläche mit vorbestimmter Dicke zu erhalten, und Zylindersymmetrisch einmal um die Prothesenachse rotieren lassen (Abbildung 5).

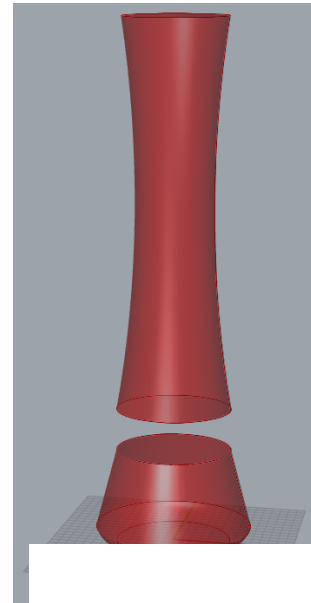


Abbildung 4: Oberteil und Huftteil der in Grasshopper erstellten Prothese.

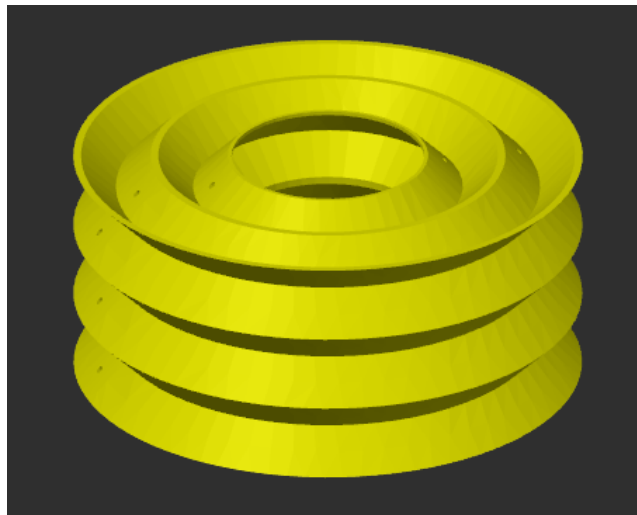


Abbildung 5: Um die senkrechte Achse rotiertes Rautengitter als Feder.

Zwischendurch habe ich eine Einführung in den 3D-Druck bekommen, in welcher wir durchbesprochen haben welche Verfahren es gibt und welche Vorteile und Nachteile die einzelnen Verfahren beherbergen. In Prusa Slicer kann man 3D Dateien öffnen und diese in eine druckbare 3D Datei mit Stützstrukturen und einer bestimmten Dichte verändern. Bei der Einführung bediente ich selbst einen Filament-3D-Drucker (Abbildung 6) und konnte eine verkleinerte Testversionen einer Tellerfeder und eine Testversion der Rautengitterfeder aus PLA drucken. Anhand der Testdrucke konnte

ich dann die Schwierigkeiten mit Skalierungsproblemen, Schichthaftungsproblemen Probleme und Notwendigkeit von Stützstrukturen, sowie die sehr deutlichen mechanischen Unterschiede von den verschiedenen Federstrukturen in der Praxis erfahren.

Daraufhin haben wir die unterschiedlichen Grundlagen in Materialverhalten besprochen. Dies hat das Erstellen und Interpretieren von Spannungs-Dehnungs-Diagrammen umfasst. Außerdem beschäftigten wir uns auch noch mit den verschiedenen Arten wie man Materialtests durchführen kann. Anschließend haben wir noch die Finite-Elemente-Analyse besprochen die hauptsächlich für Analyseverfahren in Mechanik, Fluidodynamik, Wärmefluss und Ausbreitung Elektromagnetischer Felder verwendet wird. Mit der FEA können auch Optimierungsverfahren wie Topologieoptimierung, Soft Kill Option oder TopShape an dem Objekt durchgeführt werden. Sie können dazu verwendet werden, um zum Beispiel den Materialverbrauch auf das Nötigste zu verringern. Das erstere der genannten Verfahren, Topologieoptimierung, wurde ebenso näher besprochen.



Das Vorgehen von Finite-Elemente-Analyse ist im Programm *Inspire* von *Altair Engineering* gezeigt worden, aber weil es für *Inspire* keinen Gratis- oder Testzugang für SchülerInnen gibt, habe ich im weiteren Verlauf die FEA in *FreeCAD* gelernt und angewandt.

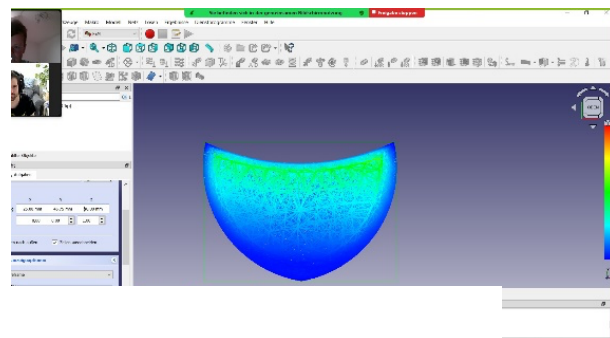


Abbildung 7: Finite Elemente Analyse am Beispiel des ersten Hufteil-Designs in *FreeCAD*.

Dazu habe ich zuerst sechs verschiedene Schraubenfedern erstellt. Eine mit rundem, eine mit rechteckigem Querschnitt, jeweils mit unterschiedlichen Windungszahlen. Diese habe ich dann anschließend selbst mittels FEA analysiert und die Ergebnisse in einer Excel Datei gesammelt. Mit diesen Daten haben wir dann zuerst wissenschaftliche Datenverarbeitung besprochen und dann speziell die Ergebnisse durchgearbeitet. Um die Theorie mit der Praxis zu verbinden haben wir dann vor dem Druck noch eine



Abbildung 8 Verschiedene Federtypen; v.l.n.r.: Spiralfeder mit quadratischem, rechteckigem und kreisrundem Querschnitt, S-Feder, Wellenfeder, Tellerfeder.

Wellenfeder erstellt und diese gemeinsam mit einer Auswahl aus den sechs Schraubenfedern wieder in einer kleineren Testversion 3D gedruckt.

Anhand dieser Drucke wurde noch die Interpretation der Ergebnisse der FEA erläutert. Der geeignetste Kandidat wurde schließlich zum Schluss in Grasshopper zwischen dem von mir erstellten Beinteil und Huftteil eingebaut und inklusive des Skeletts gedruckt.

Zum Abschluss wurde mir gezeigt, wie man korrekt ein Protokoll schreibt. Darüber hinaus habe ich auch gelernt auf was man bei Präsentationen achten sollte und wie man Artikel oder Vorträge auf Richtigkeit überprüfen kann.

4. MEINE PERSÖNLICHEN EINDRÜCKE

Ich persönlich glaube, dass ich in dieser Zeit des Praktikums sehr viele Sachen auf einmal lernen konnte, was teilweise herausfordernd war, aber genau diese Herausforderung habe ich sehr genossen. Mir hat es auch besonders gut gefallen, dass ich mir in vielen Bereichen ein sehr ausgeprägtes Grundwissen aneignen konnte, was ich im späteren Leben sicher verwenden kann.

Ich habe meine allgemeinen PC-Kenntnisse verbessern können, was mir in meiner Schullaufbahn helfen könnte. Natürlich hilft mir die Recherchearbeiten auch bei meiner anstehenden VWA. Ebenfalls nützlich bei der VWA und allgemein in den Naturwissenschaften ist die Protokollierung und auch die Datenverarbeitung, welche ich hier theoretisch und praktisch gelernt habe.

Das Arbeiten mit FreeCAD ist sehr hilfreich, weil ich so ein besseres Verständnis für 3D Modelle bekommen habe. Außerdem kann ich es jederzeit zur Erstellung von Körpern benutzen, wegen der Kostenfreiheit des Programms. Rhino und somit auch Grasshopper sind zwar kostenpflichtig, aber ich habe in der Praktikumszeit das Arbeiten mit diesem Programm stark bevorzugt, weil ich persönlich finde, dass die Netze in der Grasshopper-Übersicht viel übersichtlicher sind als die Listen in FreeCAD. Zusätzlich finde ich, dass man sich schneller und besser in Grasshopper zurechtfindet, weil man durch die eingebaute Suche alles schnell und einfach findet.

Durch die unterschiedlichen 3D Design Programmen habe ich einen guten Grundstein für Berufe, in welchen man mit solchen Programmen arbeiten muss und



Abbildung 9: Abnehmbares Miniatur-Prothesenmodell mit Spiralfeder, und amputiertes Skelettbein, 3D-gedruckt mit PLA

ich habe auch erkannt, dass mir das Programmieren mit Grasshopper viel Spaß macht. Durch diese Erkenntnis könnte sich meine berufliche Orientierung möglicherweise verändern, da ich mir das Erstellen von 3D Objekten nicht so abwechslungsreich und unterhaltsam vorgestellt habe.

Den 3D Druck habe ich auch sehr interessant gefunden, weil ich noch nie in echt einen Druck mitverfolgen konnte. Außerdem habe ich auch die Informationen zum 3D Druck ausgesprochen interessant gefunden und die Ergebnisse hatten mich überrascht, wie detailreich sie waren.

Ich finde es sehr schade, dass das mechanische Testen wegen mangelnden Budgets nicht zum Verwirklichen war, weil die Theorie dahinter sehr informativ war und das ganze auch einmal betrachten zu können, wie so ein Verfahren verläuft, hätte sehr aufschlussreich sein können.

Mein persönliches Highlight war das selbstständige Programmieren in Grasshopper. Grasshopper hat mir am besten gefallen, weil es sehr einfach zu handhaben ist, wenn man es einmal verstanden hat und auch sehr gut zu sortieren ist und man somit sehr leicht den Überblick behalten kann.

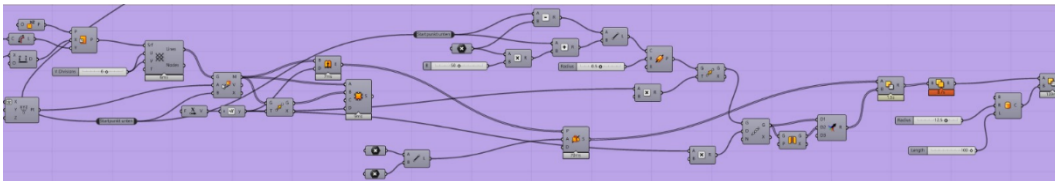


Abbildung 10: Designen in Grasshopper

Alles in allem konnte ich durch dieses Praktikum viele Sachen entdecken. Außerdem erlernte ich einige Eigenschaften, welche mir im späteren Leben eine große Hilfe sein könnten. Durch alldem habe ich einen guten Einblick in diesen Bereich bekommen und konnte mir ein eigenes Bild erstellen.