
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Fakultät Geoinformation
Bachelorstudiengang Geomatik
Modul G612 – 3D-Modellierung

Belegarbeit

3D-Druck des LGS-Gebäudes

Eingereicht von
Gregor Erdmann, 49279
Robert Landrock, 49283
Alexander Mutz, 50068
Seminargruppe: 20/060/61

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Christian Clemen

Eingereicht am: 07.07.2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung.....	1
2 Ablauf.....	2
2.1 Ausgangsdaten.....	2
2.2 Zielstellung.....	3
2.3 Arbeitsablauf	3
3 Bearbeitung des Modells in <i>Revit</i>	5
3.1 <i>Typ bearbeiten</i>	5
3.2 <i>Familieneditor</i>	6
3.3 Geländer.....	7
3.4 <i>Revit</i> Export	8
4 Bearbeitung des Modells in <i>AutoCAD</i>	9
4.1 Veränderungen des Modells	9
4.2 Löschen nicht benötigter Einzelteile	9
4.3 Abtrennen der Feuerleiter.....	9
5 Bearbeitung des Modells in <i>Magics</i>	10
5.1 Skalierung.....	10
5.2 Schnitte.....	10
5.3 Lochfüllmodus.....	11
5.4 Extrusionen.....	12
5.5 Schrumpffolie	13
5.6 Positionierung im Bauraum	15
5.7 Druckanweisung mit <i>PSW 3.6 Formig</i>	16
6 Druckprozess.....	17
6.1 Drucker	17
6.2 Anordnung im Bauraum	18
6.3 Probedruck	18
6.3.1 Auspacken des Bauraumes	19
6.3.2 Ergebnis des Probedrucks.....	20
6.4 Finaldruck.....	21

7	Bewertung des Drucks.....	23
8	Zusammenfassung und Fazit	24
	Literaturverzeichnis.....	25
	Abbildungsverzeichnis.....	26
	Tabellenverzeichnis	26
	Erklärung über die eigenständige Erstellung der Arbeit.....	27

1 Einleitung

ALEXANDER MUTZ

Obwohl „3D-Drucken“ für den Studiengang Geomatik kein typisches Thema ist, bei dem es mehr um die Vereinfachung, Generalisierung und Reduzierung von Informationsmodellen geht, fand sich unser Team aus Interesse an genau dieser speziellen Weiterführung von Modellen zusammen.

Im Modul „G612 3D-Modellierung“ ergab sich die Möglichkeit, sich, im Rahmen eines Projekts über das Semester hinweg, ein ausstellbares 3D gedrucktes Gebäudemodell eines Campusgebäudes der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden zu produzieren. Ein bereitgestelltes „Building Information Modeling“ (BIM) Modell des „Laborgebäude Schnorrstraße“, nachfolgend LGS oder Modell genannt, sollte im Maßstab 1:250 als Anschauungsobjekt gedruckt werden. Die Forschungsfragen, die sich uns ergaben, waren: „Wie muss das BIM-Modell vereinfacht und reduziert werden, damit es druckbar wird?“ und „Welche Software benötigt man, um einen 3D-Druck durchzuführen?“

Dieses Modell wies einige Unzulänglichkeiten auf, sowohl in Hinblick auf die zugrundeliegende BIM-Struktur als auch geometrische. Die Klärung der Notwendigkeit der Verwendung eines Softwaresystems und die Erkundung der sich bietenden Möglichkeiten zur Bearbeitung mit den verwendeten Softwaresystemen nahm mindestens die gleiche Zeit in Anspruch wie die eigentliche Bearbeitung des LGS. Dieser iterative und mit einigen Sackgassen versehene Prozess gipfelte in der Verwendung von *Autodesk Revit 2022 (Revit)* für die meisten geometrischen Änderungen, der CAD-Software *Autodesk AutoCAD 2023 (AutoCAD)* für Problemlösungen beim Export und der feineren Bereinigung des Modells und schließlich der „Druckbarmachung“ mittels *Materialise Magics 26.0 (Magics)* und der Druckersoftware *PSW 3.6 FORMIG*. Der Druck selbst erfolgte mit dem „FORMIGA P110“ der Firma EOS, einem industriellen selektiven Lasersinterdruckers, der für diesen Zweck seit mehreren Jahren von der Fakultät Geoinformation genutzt wird.

Dieser Beleg unserer Arbeit umfasst detaillierte Erläuterungen der vorgenommenen Arbeitsschritte in den jeweiligen vorgestellten Programmen, eine Erklärung des Druckverfahrens und die Analyse des Drucks.

Name	Gregor Erdmann	Robert Landrock	Alexander Mutz
Kapitel	3, 5, 6, 7, 8	2, 3, 5	2, 3, 4, 5

Tabelle 1: Bearbeitungsübersicht

2 Ablauf

ROBERT LANDROCK, ALEXANDER MUTZ

2.1 Ausgangsdaten

ALEXANDER MUTZ

Die Ausgangsdaten umfassten das in Abbildung 1 dargestellte BIM-Modell im Format *.rvt, dem Standardformat der BIM-Software *Revit*. Frau Schäfer stellte uns das im Maßstab 1:1 modellierte Modell des LGS zur Verfügung.



Abbildung 1: Originales *Revit*-Modell des LGS

Building Information Modeling zielt darauf ab ein geplantes oder zu planendes Gebäude möglichst detailreich und fachgerecht darzustellen, sodass zum Beispiel Bauteillisten für die bauausführenden Fachgewerke, wie zum Beispiel laufende Meter an Leitungen für die Elektriker, sehr schnell und leicht generiert werden können. Auch Analysen zur Wärmedämmung oder dem Lichteinfall in das Gebäude sind möglich, genauso wie die dauerhafte Anwendung des BIM-Modells im Facility Management, um Wartungsintervalle im Überblick zu behalten oder auf Anhieb die richtigen Ersatzteile vorhalten zu können. „[...] BIM [integriert] strukturierte, multidisziplinäre Daten, um eine digitale Darstellung eines Objekts über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu erstellen – von der Planung über den Entwurf bis hin zum Bau und Betrieb“ (Autodesk (Hrsg.), 2023). Die geometrischen Daten müssen selbstverständlich korrekt wiedergegeben sein, dennoch besteht das Modell aus Einzelteilen, die sich einzeln in Form und Lage bearbeiten lassen. Wie erst dieses Jahr durch Kommilitonen festgestellt wurde, weist speziell das Dach des Modells eine falsche Geometrie auf. Der Mittelteil des Dachs steht in der Realität höher als die seitlichen Überdachungen.

Um einen guten 3D-Druck, egal mit welchem Verfahren herzustellen, muss es sich „[b]ei dem exportier[t]en [sic] Modell [...] um ein geschlossenes Solid-Modell oder um ein wasserdichtes Volumenmodell handeln“ (Konstruktionsbude (Hrsg.), 2021), was völlig contraire zum Ansatz des BIM-Modells steht.

2.2 Zielstellung

ALEXANDER MUTZ

Die Hauptaufgabe, die sich uns also stellte, war die Bereinigung des LGS-Modells, mittels Zusammenfassens der Einzelteile in ein geschlossenes, wasserdichtes Volumenmodell. Bei fortschreitender Arbeit wurden leider immer mehr Probleme mit den Ausgangsdaten offensichtlich, die dieses Unterfangen komplizierter als nötig machten. Durch die Skalierung auf 1:250 sind auch Generalisierungen nötig. Details des LGS, die der Drucker aufgrund seiner Druckauflösung von 0,1 mm pro Schicht und 0,04 mm in der Lage nicht abbilden kann, wurden entweder entfernt, um Problemen vorzubeugen, oder vergrößert, um druckbar zu bleiben. Für diese vergrößerten Bauteile wurde von unseren Vorgängern Fricke und Weber eine Mindestdicke von 9 cm im ursprünglichen Modell errechnet, die sich bereits bewährt hat.

Ferner gab es die Forderung, der als Auftraggeberin auftretenden Frau Schäfer, dass die Fenster und Glasfassaden, wenn möglich entfernt würden, um in das Modell hineinsehen zu können. Außerdem sollten das Dach und die obere Etage abnehmbar gestaltet werden.

2.3 Arbeitsablauf

ROBERT LANDROCK

Wir haben bei unserem Projekt auffällig viele Schritte in der Bearbeitung durchgeführt, die sich im Endeffekt als Sackgassen herausgestellt haben. Dies ist unter anderem der Anforderung geschuldet, ein „besseres“ Modell als das Vorgängermodell zu drucken. Schon deswegen konnten wir dem gradlinigen Arbeitsablauf unserer Vorgänger nicht nachgehen und haben überwiegend nach dem Prinzip Trial-and-Error arbeiten müssen. Da wir dennoch viel Aufwand in die Bearbeitung gesteckt haben, wollen wir unseren Arbeitsablauf so gut es geht veranschaulichen (Abbildung 2).

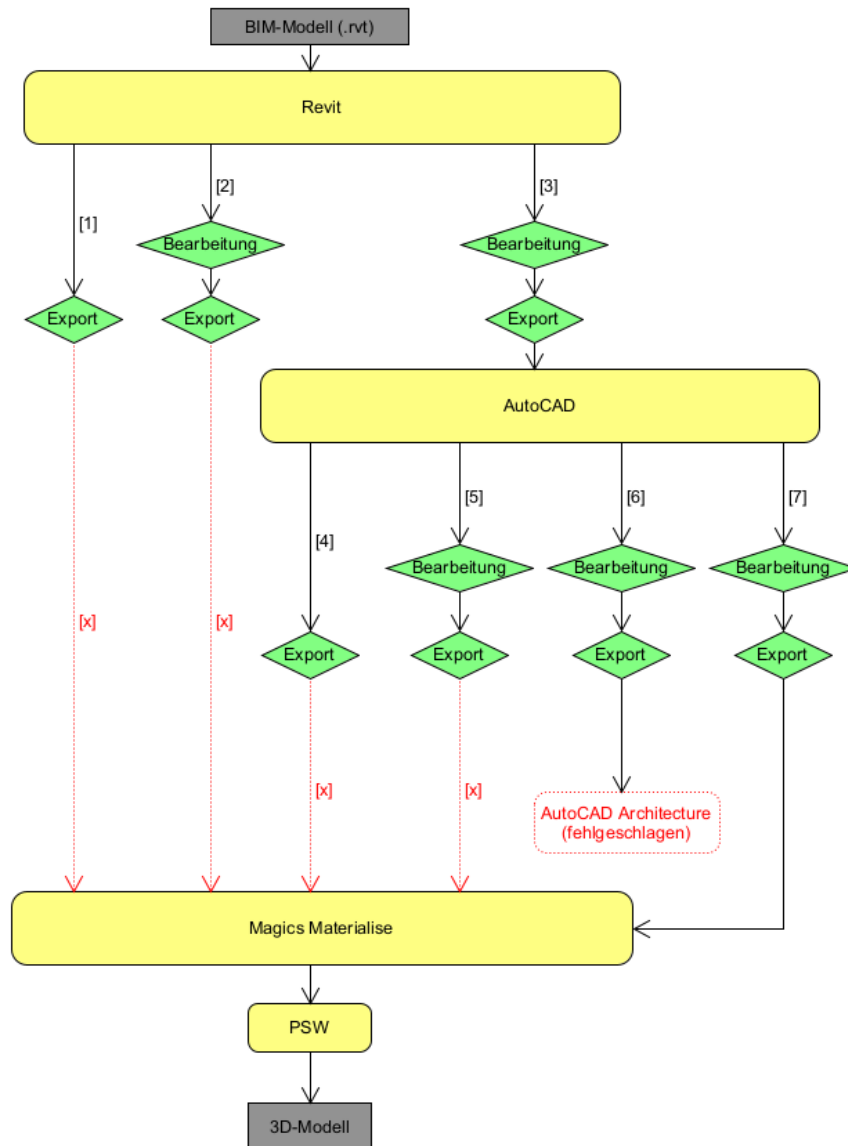


Abbildung 2: Übersicht Arbeitsablauf

Bei der Bearbeitung ist hauptsächlich die Datenumwandlung eines BIM-Modells im Dateiformat *.rvt in eine druckbare *.sli Datei gemeint. Um eine *.sli Datei zu erzeugen wird *Magics* verwendet. Der direkte Export von *Revit* nach *Magics* war für uns nicht umsetzbar (Abbildung 2, [1] und [2]). Da wir selbst mit Bearbeitungen in *Revit* keinen Export nach *Magics* durchführen konnten, verwendeten wir *AutoCAD*, da *Magics* auch das Dateiformat *.dxf lesen kann. Zunächst [4] wurde noch der Export nach *.stl mittels *AutoCAD* versucht, dieser scheiterte jedoch an den *Blöcken* die automatisch erstellt wurden. Auch eine Bearbeitung mittels *Ursprung* dieser Blöcke führte beim *.stl-Export zu keinem Ergebnis [5]. Im Internet hat ein Nutzer (Claudio, 2008) des Forums *CAD.de* das Problem mittels *MASSELEMENTCONVERT* gelöst. Dieser Befehl ist aber nur in *AutoCAD Architecture* vorhanden, was dazu führte, dass diese Version der Software ausprobiert wurde. Der Befehl hat das Problem für uns jedoch nicht gelöst. Daher wird der Ablauf der Stränge [3] und [7] im Beleg erläutert.

3 Bearbeitung des Modells in *Revit*

GREGOR ERDMANN, ROBERT LANDROCK, ALEXANDER MUTZ

In diesem Abschnitt widmen wir uns den verschiedenen Möglichkeiten, die geboten werden, um das Modell dem Ergebnis näher zu bringen. Aus den in Kapitel 2.1 genannten Gründen begannen wir mit *Autodesk Revit 2022*.

3.1 *Typ bearbeiten*

GREGOR ERDMANN, ALEXANDER MUTZ

Als erster Schritt auf Grundlage der Druckauflösung und dem Herantasten an die Bearbeitung mittels *Typ bearbeiten*, wurden die zu dünnen Streben, Balken und Geländer der Feuerleiter bearbeitet. Die angedeuteten Sprossen wurden nicht bearbeitet und würden entfernt werden, weil schon früh entschieden wurde die Feuerleiter als gesondert anzubringendes Bauteil zu gestalten.

Typ bearbeiten ermöglicht es einzelne Teile und auch Teile eines Komposits, z. B. einer *Familie* zu verändern. Wie im Unterschied zwischen Abbildung 3 und Abbildung 4 zu erkennen, kann man wiederkehrende Bauteile verändern, die im gesamten Modell die gleiche Veränderung erfahren, egal welchem Extrusionspfad sie folgen. Zum Beispiel die Streben des Schutzkorbes, die alle verschieden sind, aber auf dem gleichen Typ basieren.

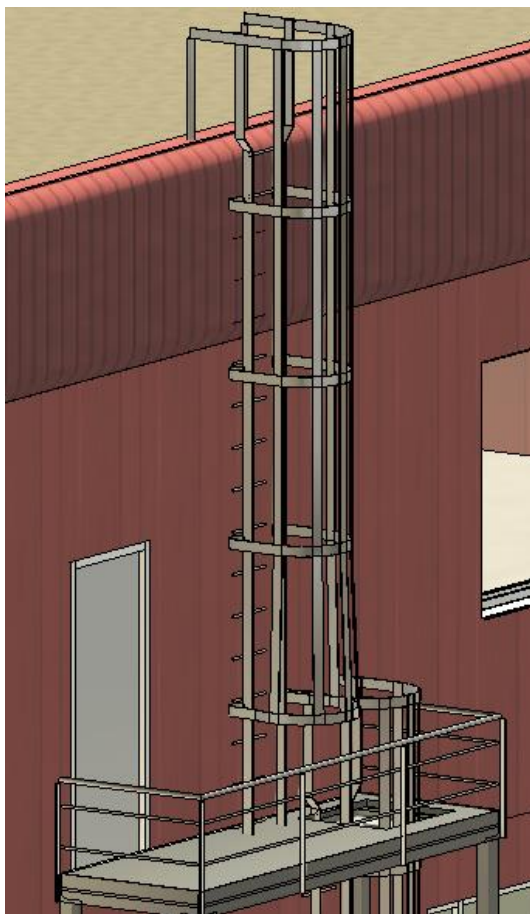


Abbildung 3: unbearbeitetes Geländer

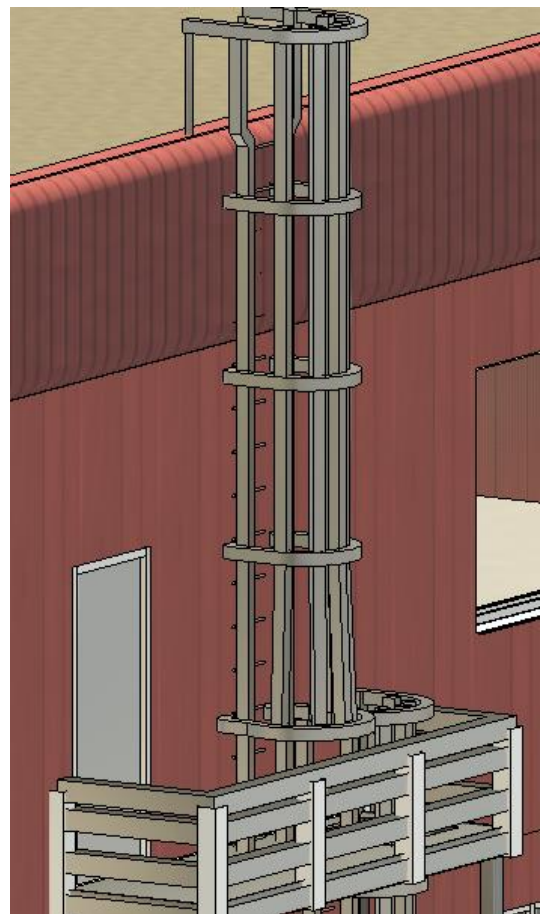


Abbildung 4: bearbeitetes Geländer

Veränderungen der Geometrie wurden auch an den Pfosten der Fassaden vorgenommen (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6), was erste Herausforderungen der ursprünglichen Modellierung offenbarte. Die Sprossen der mittleren Fassadenleiter im trapezförmigen Glasvorbau sind nun nicht mehr mit den Standpfosten verbunden. Theoretisch sollte jeder dieser Pfosten eine angepasste Form aufweisen. Leider sind an dieser Stelle nur Quader vorhanden, die die seitlichen Leitern stützen. Diese nun schwebenden Teile werden im Kapitel 5.4 erneut bearbeitet.

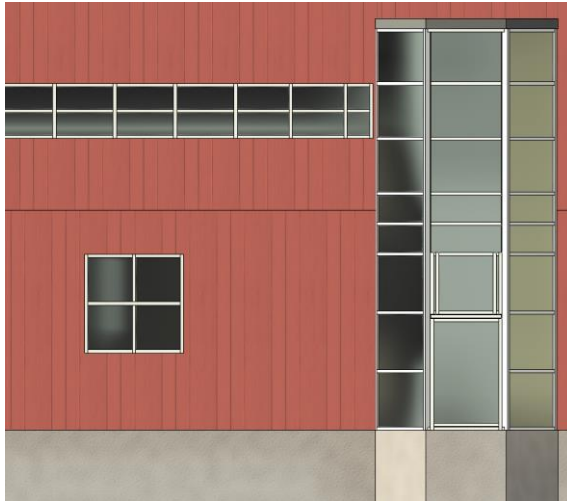


Abbildung 5: originale Fassade



Abbildung 6: bearbeitete Fassade

Außerdem fällt die Fassadenfensterrahmenkonstruktion auf, die nun aus sich überlappenden Pfosten besteht. Zu diesem Zeitpunkt ist es aber das Ziel Überlappung oder zumindest Berührung der Einzelteile zu generieren, denn mit Anbringen der *Schrumpffolie* in Abschnitt 5.5 werden Einzelteile zusammengefasst.

3.2 *Familieneditor*

ALEXANDER MUTZ

Revit Familien sind parametrisierbare Bauteilgruppen, wie zum Beispiel Fenster. Das Fenster kann an einer beliebigen Stelle, mit beliebigen Maßen in Höhe, Breite und Tiefe in eine Wand eingesetzt werden. Ähnlich wie beim *Typ bearbeiten* kann man also die *Familie* mit dem *Familieneditor* bearbeiten, um sämtliche auf dieser *Familie* aufbauenden Instanzen zu verändern. Bei den Fenstern lässt sich auf diese Weise ohne weitere Schwierigkeiten die Glasscheibe löschen. (Siehe Abbildung 7 und Abbildung 8)

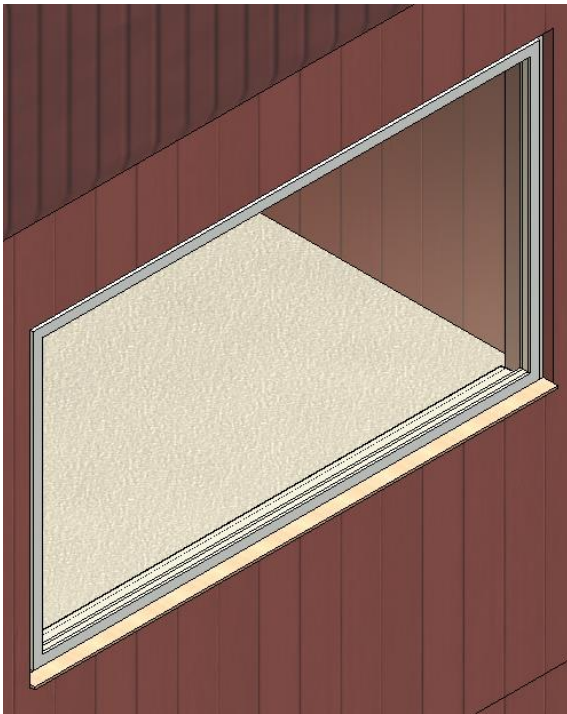


Abbildung 7: originales Fenster



Abbildung 8: Fenster ohne Glasscheibe

3.3 Geländer

ROBERT LANDROCK

Aus eigenem Ansporn heraus wollten wir zunächst die vorhandenen Geländer des Modells ebenfalls in den Druck einbringen. Da auch das Geländer die Mindestdicke von 9 cm nicht erfüllte, mussten Anpassungen im *Familieneditor* vorgenommen werden.

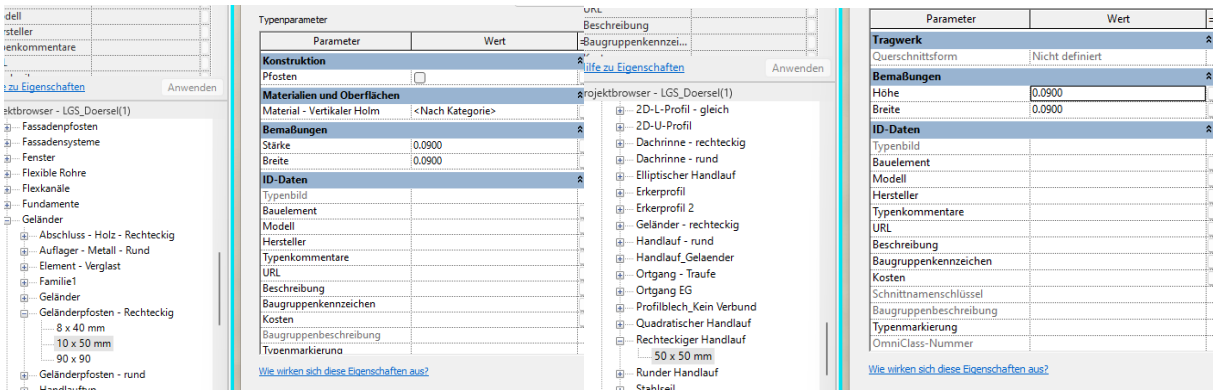


Abbildung 9: Typeigenschaften Pfosten (links), Typeigenschaften Handlauf (rechts)

Das Duplikat des Profils „Rechteckiger Handlauf 50 x 50 mm“ wurde bearbeitet und mit der neuen Höhe und Breite von 90 mm (Rechteckiger Handlauf 90 x 90 mm) gespeichert (Abbildung 9). Dieses Profil wurde für den Holm und die beiden unteren Handläufe verwendet. Für die Pfosten wurde die *Familie* „Geländerpfosten - Rechteckig“ dupliziert, das Duplikat bearbeitet und mit der neuen Stärke und Breite von 90 mm (Geländerpfosten - Rechteckig 90 x 90 mm) gespeichert (Abbildung 9). Die neu erstellte Pfostenfamilie konnte über die Typeigenschaften des Geländers selektiert werden.

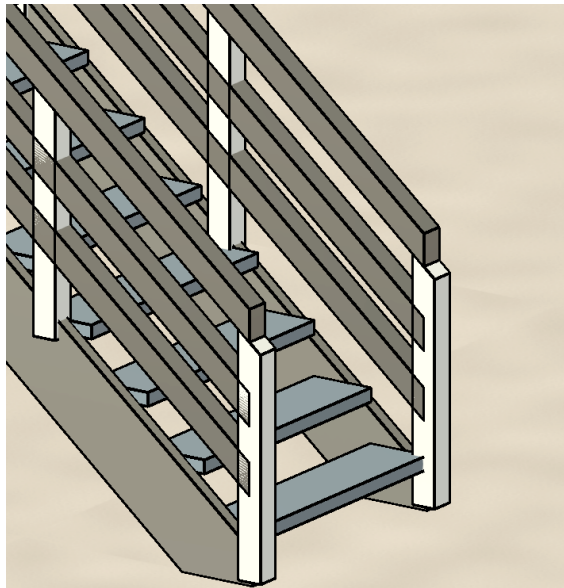


Abbildung 10: verstärktes Treppengeländer

Somit sollte ein druckbares und stabiles Geländer geschaffen worden sein. Jedoch fehlten beim Export von *AutoCAD* nach *Magics* die Pfosten des Geländers. Ohne Pfosten war die Stabilität des Geländers nicht mehr gewährleistet und wir entschieden uns dazu das Geländer aus dem Modell zu entfernen.

3.4 *Revit* Export

ALEXANDER MUTZ

Fassaden sind in *Revit* ein intuitiv zu erstellendes und „smarteres“ Bauteil. Sie gehören der Kategorie *Wände* an. Sie funktionieren als Wand mit Applikationen, wobei das Material eines Fassadenabschnitts zwar austauschbar, aber nicht entfernbar ist. Das Problem, dass sich dadurch für den 3D-Druck ergibt, ist, dass die gläsernen Fassadenbereiche nicht ohne weiteres in *Revit* entfernt werden können.

Dieser Umstand, und der Fakt, dass ein Export in das angestrebte **.stl* Format nicht funktionierte, führten, nach Überprüfung der Importmöglichkeiten von *Magics* zu der Entscheidung, den Export ins **.dxf* Format vorzunehmen. Dieser Zwischenschritt würde uns die Möglichkeit bieten mit *AutoCAD* weitere Veränderungen am Modell vornehmen zu können und Restriktionen von *Revit* zu umgehen.

4 Bearbeitung des Modells in *AutoCAD*

ALEXANDER MUTZ

Das aus *Revit* als *.dxf exportierte und geometrisch veränderte Modell wurde mit *Autodesk AutoCAD 2023* weiterbearbeitet.

4.1 Veränderungen des Modells

ALEXANDER MUTZ

Der Export in das CAD-Format verändert die Struktur des Modells grundlegend. Statt dass Instanzen von *Familien* anhand von Ebenen und Maßen, ausgehend von einem Bezugspunkt, zueinander ausgerichtet werden, werden die Bauteile in die für *AutoCAD* typischen *Layer* verteilt und erhalten Koordinaten im Raum. Dank dieser Umstrukturierung sind nun auch die Glasscheiben der *Revit-Fassaden* direkt anwählbar. Zusätzlich wandelt der Export die meisten Körper in *Vielflächennetze* um, die den Vorteil haben von *Magics* erkannt zu werden. Nicht erkannt werden dagegen die *Blöcke*, in denen der Großteil der komplexeren Bauteile abgespeichert wurde. Diese wählt man mit dem *Filter* Befehl layerübergreifend aus um sie anschließend durch *Ursprung* ebenfalls in *Vielflächennetze* umzuwandeln.

4.2 Löschen nicht benötigter Einzelteile

ALEXANDER MUTZ

Die *Layer*-Struktur von *AutoCAD* die durch den automatischen Export von *Revit* angelegt wurde, teilt die Einzelteile thematisch auf, unter anderen wurde jeweils ein *Layer* für Türen, einer für Türeglas, Fassadenpfosten, Fassadenglas, Inneneinrichtung und Waschbecken erstellt. Die genannten sind jeweils ausgewählt worden, während alle anderen *Layer* verborgen waren, und ihr Inhalt entfernt. Übrig blieb das, soweit wir erfassen konnten, vollständig bereinigte Modell, das an *Magics* übergeben werden konnte.

4.3 Abtrennen der Feuerleiter

ALEXANDER MUTZ

Wie bereits in Kapitel 3.1 erwähnt wurde sich aufgrund der filigranen Struktur der Feuerleiter schon früh im Prozess dazu entschieden, sie als einzelnes Teil zu drucken. An dieser Stelle wurde als letzter Schritt in *AutoCAD* durch geschicktes Ausblenden verschiedener *Layer* die Möglichkeit geschaffen alle Einzelteile der Feuerleiter gesondert, als zweite zu importierende Datei, neben dem hauptsächlichen Gebäudemodell, zu exportieren.

5 Bearbeitung des Modells in *Magics*

GREGOR ERDMANN, ROBERT LANDROCK, ALEXANDER MUTZ

In diesem Kapitel werden die Bearbeitungsschritte des als *.dxf exportierten Modells beschrieben und erklärt.

5.1 Skalierung

GREGOR ERDMANN

Der erste, in Magics erfolgte Arbeitsschritt, ist die Skalierung. Das gedruckte Modell soll im Maßstab 1:250 entstehen, dementsprechend ergibt sich der Faktor 0,004. Durch einen Faux-Pas skalierten wir zunächst nur mit 0,04. Die weitere Bearbeitung war davon nicht beeinträchtigt. Der Fehler fiel kurz vor der Schrumpffolienberechnung in Kapitel 5.4 auf.

5.2 Schnitte

GREGOR ERDMANN

Wie aus der Zielstellung aus 2.2 hervorgeht, war das Modell in mindestens 3 Teile zu zerlegen. Die einzelnen Geschosse müssen abnehmbar gestalten sein, sodass man in das Gebäude hineinschauen kann. Der erste *Basisschnitt* wurde unter dem Dach, an der Position 287,350 eingefügt, damit die Balken unter dem Dach vollständig erhalten blieben und weiter mit dem Dach verbunden sind, um dem Dach nach dem Druck noch weitere Stabilität zu geben. Der 2. Schnitt ist zwischen dem OG und dem EG, an der Position 140,500. Bei der Positionierung dieses Schnittes wurde darauf geachtet, dass keine horizontalen Balken der Fenster und Fassaden geschnitten werden. Der dritte und letzte Schnitt trennt das Fundament so ab, dass eine 0,1 mm dicke Bodenplatte erhalten bleibt. Die Schnittpositionen in Abbildung 11 sind durch die erste unvollständige Skalierung nicht in den finalen Modellmaßen.

VIELFACHSCHNITTE

Aktiv	Typ	Klappen	Farbe	Position	Schritt
<input checked="" type="checkbox"/>	Xv			287.350	1.000
<input checked="" type="checkbox"/>	Xv			140.500	1.000
<input checked="" type="checkbox"/>	Xv			-1.000	1.000
<input type="checkbox"/>	Yv			-1232.189	1.000
<input type="checkbox"/>	Zv			-347.848	1.000

Markieren Ausrichten Export

Abbildung 11: Position Schnitte

Leider ist an dieser Stelle offenkundig geworden, dass die Geländer nicht vollständig importiert werden konnten, wie in Kapitel 3.3 bereits erwähnt. Die fehlenden vertikalen Pfosten bestanden in *AutoCAD* aus den als exportierbar betrachteten Vielflächennetzen. Daher ist nicht nachvollziehbar, warum sie fehlen.

5.3 Lochfüllmodus

GREGOR ERDMANN, ROBERT LANDROCK

Durch die gesetzten Schnitte für die jeweiligen Stockwerke entstanden Löcher entlang der Schnittebenen an den betroffenen Bauteilen. Da das Modell eine geschlossene Oberfläche benötigt, um die Schrumpffolienberechnung korrekt durchführen zu können und somit das Modell druckbar zu gestalten, mussten diese Löcher mittels Autofix „planare Löcher“ (Abbildung 12) geschlossen werden. Nur wenige Löcher sind unberührt geblieben (Abbildung 13), die mit dem *Repair-Tool* „Lochfüllmodus“ manuell geschlossen wurden. *Magics* bietet außerdem ein automatisches *Auto-Repairtool* an. Jedoch wurden dadurch auch viele freizulassende Flächen gefüllt. Diese Funktion war zur Lösung des Problems dementsprechend nicht nutzbar.

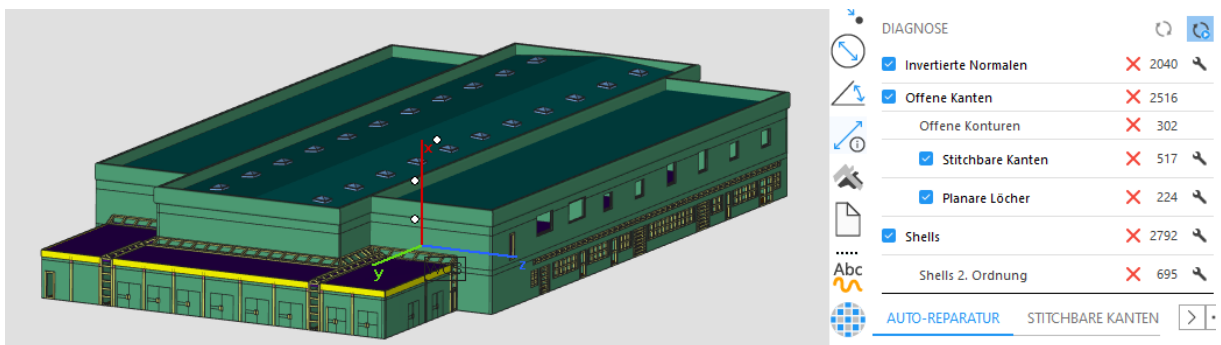


Abbildung 12: Fehlerstatus nach Schnitten

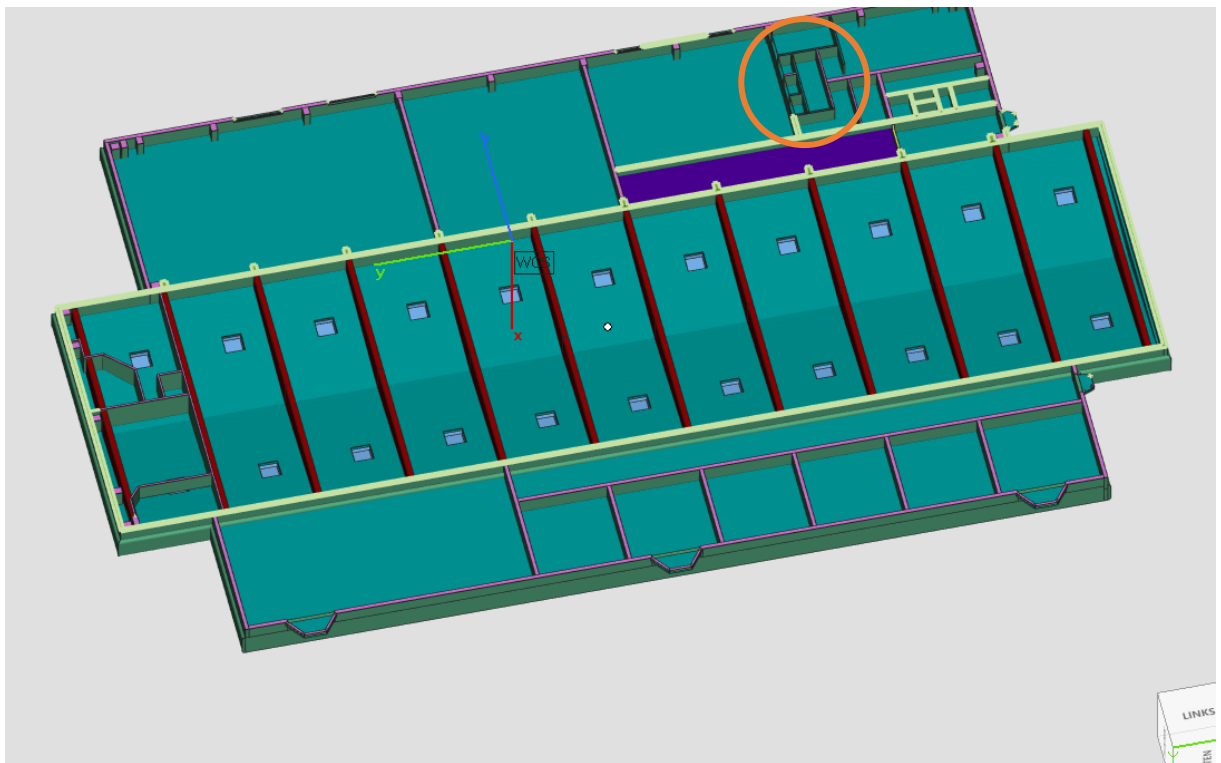


Abbildung 13: Modell nach Autofix planare Löcher

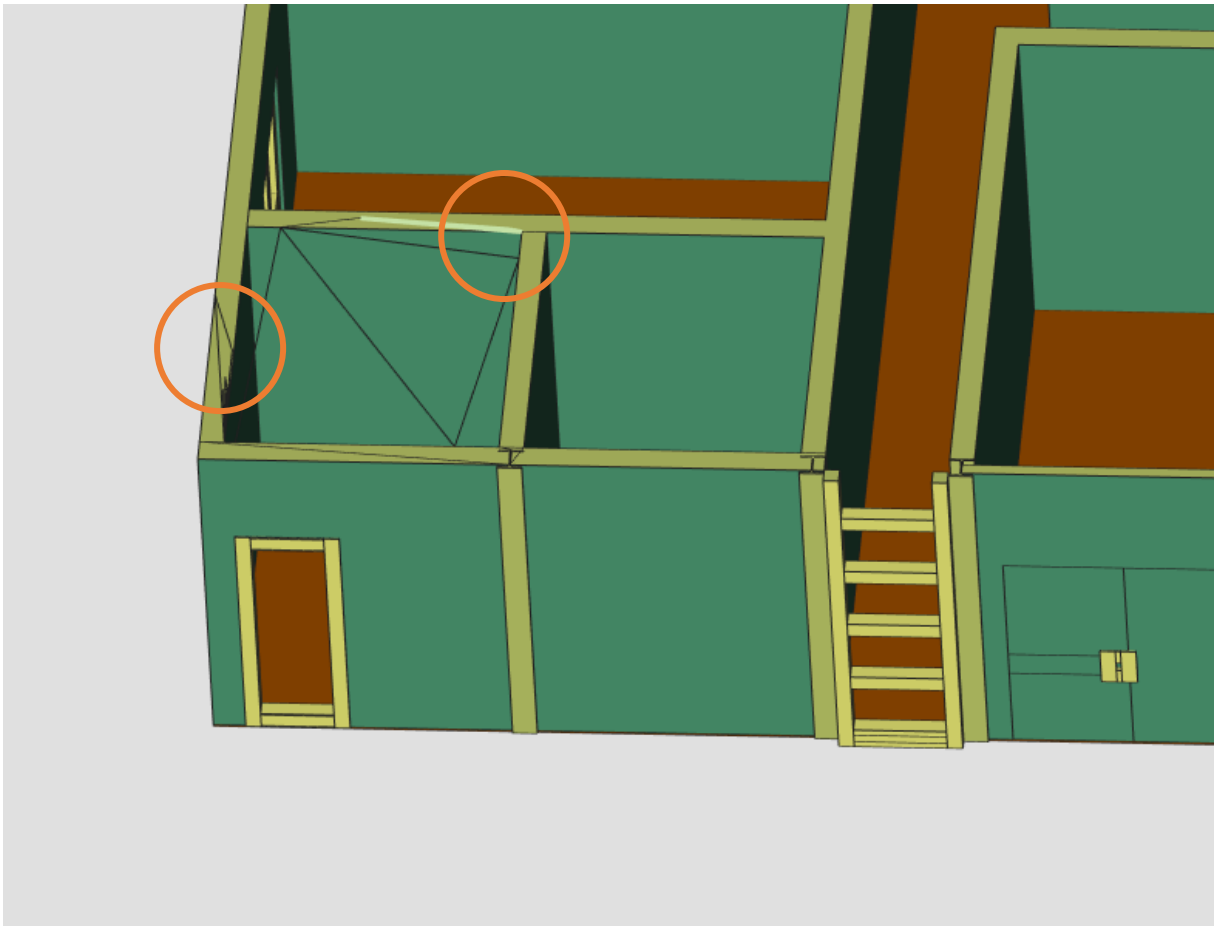


Abbildung 14: Modellausschnitt nach Bereinigung fehlerhafter Lochfüllung

Im Nachgang fiel auf, dass selbst der halbautomatische *Lochfüllmodus* freizulassende Fläche gefüllt hat. Es wurde z.B. ein Raum als Loch erkannt und mit einer Fläche abgedeckt. Diese Fläche musste mit den Werkzeugen *Dreiecke trimmen* und *Netzverfeinerung* so bearbeitet werden, dass nur die ungewünschte Fläche entfernt werden konnte. Leider gestaltete sich die Selektion der Fläche als problematisch und es mussten Teile der Wandoberseite mit entfernt werden. Die wieder neu entstanden Löcher in der Wandoberseite konnten nun ohne Fehler mit dem *Lochfüllmodus* geschlossen werden. Spuren dieser Bearbeitung sind in Abbildung 14 als kleine Dreiecke in der Wandoberfläche zu erkennen.

5.4 Extrusionen

ROBERT LANDROCK, ALEXANDER MUTZ

Da die Gläser des Glasvorbaus entfernt wurden, fiel auf, dass die Sprossen der Gitterkonstruktion nur vereinzelt mit den Pfosten verbunden waren. Dies stellt im Druck eine mögliche Fehlerquelle dar und deshalb wurden die Sprossen einzeln in Richtung der Pfosten extrudiert (Abbildung 15). *Extrusion* in *Magics* setzt an die ausgewählten Dreiecksflächen einen Körper mit der angegebenen Dicke und Extrusionsrichtung an. Die Stirnflächen der Sprossen erhielten also eine Verlängerung durch zusätzliche Körper.

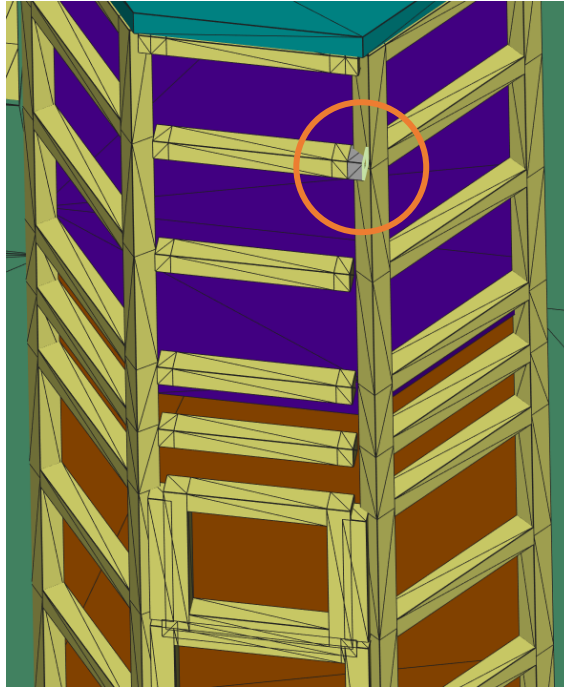


Abbildung 15: Extrusion der Sprossen

Außerdem bestand zwischen der Ummantelung des Vordachs und der Vordachplatte keine Verbindung. Für eine stabile Konstruktion musste die Ummantelung in Richtung der Dachplatte extrudiert werden (Abbildung 16). Es wurden die Dreiecke der Innenseite der gelben Dachkante angewählt.

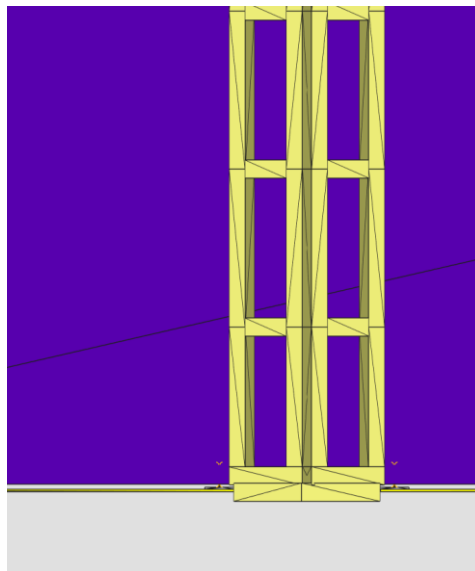


Abbildung 16: Lücke an der Dachkante des Vordachs

5.5 Schrumpffolie

ROBERT LANDROCK

Damit ein Modell gedruckt werden kann, muss das gesamte Modell eine geschlossene Oberfläche darstellen. Anderenfalls kann es zu Fehlern im Druckprozess kommen, da

eventuell einzelne Bauteile nicht korrekt miteinander verbunden sein könnten. In diesem Fall sollte jedes Stockwerk als einzelne sogenannte *Shell* vorliegen

Die Diagnose von *Magics* zeigte jedoch an, dass das Modell aus 2792 einzelnen *Shells* besteht (Abbildung 12). Weitere Diagnosebereiche von *Magics* sind Invertierte Normalen, Offene Kanten, Stitchbare Kanten und Planare Löcher. Durch umfangreiches Austesten der *Auto-Repair-Tools* konnten schließlich alle Fehler behoben werden. Dennoch betrug die Anzahl der *Shells* 27. Durch den gesetzten Schnitt zwischen Erdgeschoss und Obergeschoss wurden Säulen geschnitten, die aus dem Erdgeschoss in das Obergeschoss ragten. Der überstehende Rest der Säulen im Obergeschoss stand in keinem Kontakt mit anderen Bauteilen (Abbildung 17). Somit wurden die 24 Reste der Säulen als einzelne *Shells* erkannt. Da die überstehenden Reste keinen statischen Zweck erfüllten, wurden diese entfernt und die Schrumpffolienberechnung konnte beginnen.

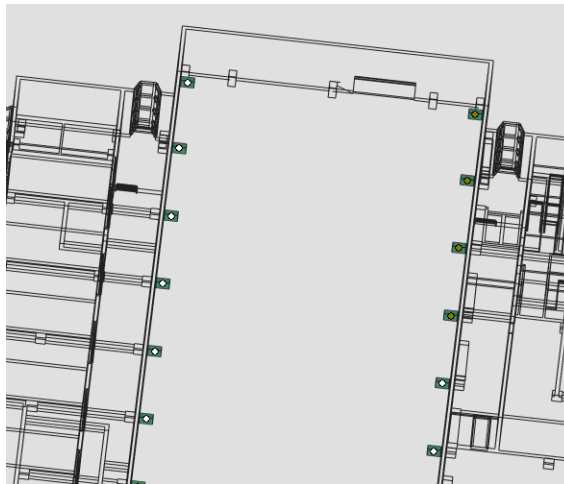


Abbildung 17: Stützen als lose Shells

Bei den ersten Versuchen der Berechnung der Schrumpffolie, mit unterschiedlichen Rechengenauigkeiten, wurde festgestellt, dass das Vordach des Gebäudes nach der Berechnung nicht mehr vorhanden war (Abbildung 18). Dies lag daran, dass das Vordach eine Dicke $< 0,1$ mm aufwies und somit die eingestellten Genauigkeiten $> 0,1$ mm der Schrumpffolienberechnung die Dicke übergang und nicht in die Berechnung mit einbezog. Eine Verdickung des Vordachs mittels *Offset* in beide X-Richtungen löste dieses Problem. *Offset* funktioniert dahingehend anders als *Extrusion*, dass anstatt einen zusätzlichen Körper aufzubringen der vorhandene in seiner Geometrie verändert wird.

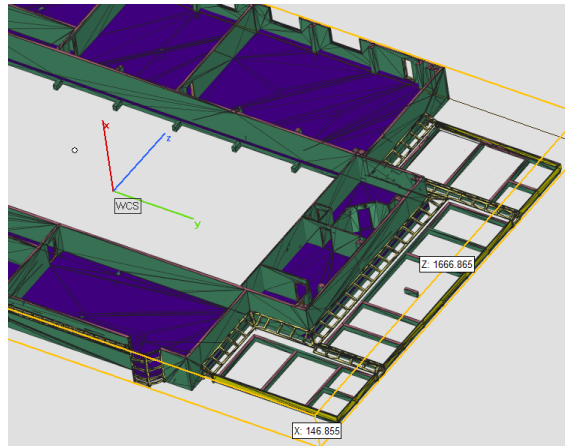


Abbildung 18: Fehlberechnung des Vordaches

Genauigkeitswerte $< 0,1$ mm konnten mit dem Laborrechner nicht ohne erheblichen Zeitaufwand berechnet werden, da die Leistung nicht ausreichte. Bei Werten $< 0,3$ mm kam es weiterhin zu kleineren Fehlern und fehlenden Bauteilen. Der Grund für diese Fehler war nicht ersichtlich. Bei der schließlich gewählten Genauigkeit von $0,4$ mm kam es nur zu einer invertierten Fläche an der Unterkonstruktion des Vordaches (Abbildung 19), doch dieser Fehler konnte mit anschließender Nutzung der *Auto-Repair-Tools*, speziell die *Invertierten Normalen* betreffend, bereinigt werden.

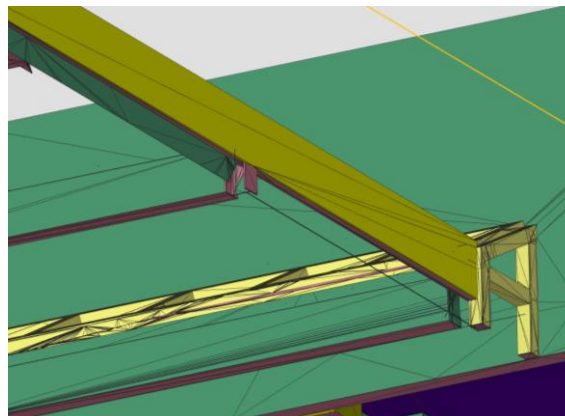


Abbildung 19: invertierte Fläche an Unterkonstruktion

5.6 Positionierung im Bauraum

ROBERT LANDROCK, ALEXANDER MUTZ

Nachdem die Berechnung der Schrumpffolie abgeschlossen war, mussten die vier Bauteile für den Druck im Bauraum positioniert werden. *Magics* bietet eine automatische Anordnung auf einer vorher festgelegten Z-Ebene, jedoch lagen dafür beim Einladen die Modelle falsch im Raum. Für die Ausrichtung der Bauteile wurde das Tool „Unterseite/Oberseite“ verwendet (Abbildung 20).

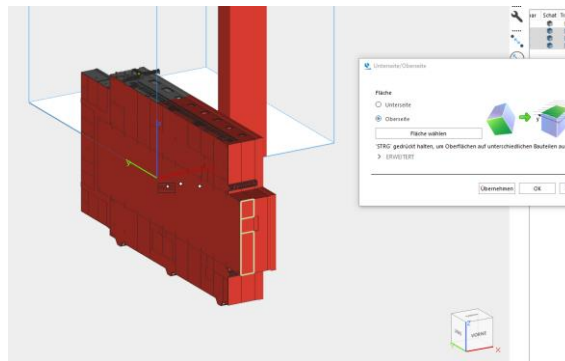


Abbildung 20: Festlegen der Oberseite

Anschließend konnten die drei Bauteile als Dateiformat **.sli* exportiert werden.

5.7 Druckanweisung mit *PSW 3.6 Formig*

ROBERT LANDROCK, ALEXANDER MUTZ

Die exportierten Slices konnten nun in die Druckereigene Software *PSW 3.6 Formig* eingeladen und die Daten an den Drucker übergeben werden.

Die Ansicht der einzelnen Slices (Abbildung 21) ermöglicht eine letzte Kontrolle der Anweisungen, die der Drucker ausführt. Die blauen Linien bedeuten abgefahrene Linien, während rote Umrandungen für Flächen stehen, die in der jeweiligen Schicht vollständig gesintert werden (in unserem Bild leider nicht zu sehen). Der rot markierte Bereich in Abbildung 21 unten und auch in Abbildung 20 als roter Körper zu erkennen, ist ein Schutzraum für die Sensorik des Druckers.

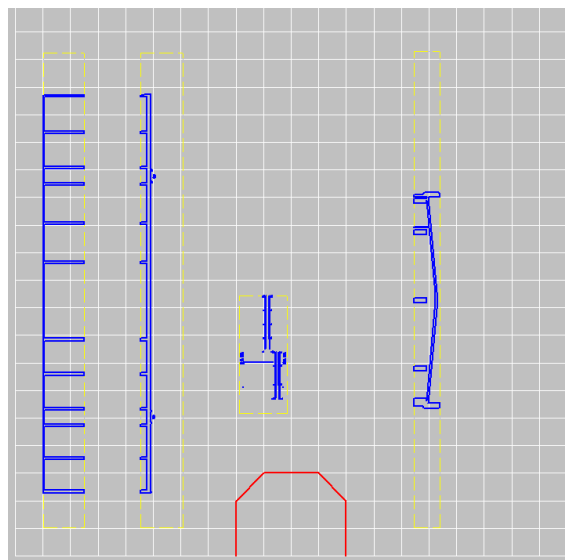


Abbildung 21: Ansicht in PSW 3.6 FORMIG

Die kontrollierten Slices konnten an den Drucker geschickt und am Drucker selbst per Tastendruck gestartet werden.

6 Druckprozess

GREGOR ERDMANN

In diesem Abschnitt beschäftigen wir uns mit dem Drucker und seiner Arbeitsweise, dem Druckprozess, dabei aufgetretenen Fehlern und dem Ergebnis des Drucks.

6.1 Drucker

GREGOR ERDMANN

Der verwendete Drucker ist ein FORMIGA P110 von der Firma EOS GmbH (Abbildung 22).



Abbildung 22: FORMIGA P110

Dieses Modell ist ein selektiver Laser-Sinter-Drucker, kurz SLS-Drucker. „Das selektive Lasersintern (SLS) basiert auf dem Schmelzen eines Kunststoffpulvers mit einem Laser.“ (3dnatives.com, 2022) Das verwendete Material bei unserem Druck ist PA12, auch genannt PA2200. „Polyamid 12 (PA 12) ist ein thermoplastischer, teilkristalliner und linear aufgebauter Kunststoff. Er ist zugleich der leichteste aller Polyamid-Kunststoffe. Die Dichte des kompakten Materials liegt nur wenig über 1.“ (Reichelt Chemietechnik GmbH + Co. (Hrsg.)) Das Material wird im Drucker vorgeheizt auf eine Temperatur von 150 °C. Sobald das Material die Temperatur erreicht hat, beginnt der Druck. Dabei erhitzt ein CO₂ Laser das Material schichtweise weiter auf 170 °C. Nachdem eine Schicht fertig ist, wird eine neue Schicht Pulver aufgetragen, dabei fährt eine Rakel von rechts nach links, bzw. von links nach rechts und verteilt das Material gleichmäßig. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis die oberste Schicht des Modells gedruckt ist. Danach kühlt das Material langsam ab. Es entstehen feste Gebilde, an den Stellen, welche vom Laser erhitzt wurden. Das nicht gesinterte, aber erhitzte Pulver verbleibt lose in der Druckkammer und wird im Anschluss

an den Druck entfernt. Dieses Altpulver konnten wir nutzen, um Probedrucke durchzuführen, damit die Materialkosten gering bleiben und nicht bei jedem Druck teures Neupulver verwendet werden muss. Der Druckprozess findet im sogenannten Bauraum statt. Dieser hat die Maße 200 x 250 x 330 mm.

6.2 Anordnung im Bauraum

GREGOR ERDMANN

Damit das Modell gedruckt werden kann, muss es passend im Bauraum angeordnet werden. Die addierten Maße unseres Modells betragen in der Länge 302,741 mm, in der Breite 173,299 mm und in der Höhe 41,301 mm. Damit ist es zu groß, um horizontal gedruckt zu werden. Der horizontale Druck würde den Vorteil bringen, dass die Stabilität des Modells sich erhöhen würde, da eine lange Gerade nun in der aktuellen Ebene gedruckt werden kann, hier sind das die Außenwände. Wir entschieden uns das Modell vertikal zu drucken. Bei einer windschiefen Anordnung befürchteten wir Verzug im Modell. Beim vertikalen Druck werden die langen Außenwände auf sehr vielen Ebenen einzeln gedruckt. Die Feuerleiter des LGS wurde separat im Bauraum positioniert, damit diese als ein Bauteil gedruckt werden kann und Schnitte an dieser vermieden werden.

6.3 Probedruck

GREGOR ERDMANN

Nach endgültiger Bearbeitung wurde das Modell als *.sli in den Drucker FORMIGA P110 geladen. Die berechnete Druckzeit betrug 13 Stunden. Der Probedruck erfolgte mit Altpulver, dies ist Material, welches bereits mindestens einmal und maximal dreimal durch den Drucker gelaufen ist. Beim Probedruck ist ein Fehler bei der Materialverteilung (Abbildung 23) um die Ebene 731 (Abbildung 24) aufgetreten. Mögliche Ursachen für diesen Fehler sind das Altpulver, welches verklumpt sein kann, und eine Unreinheit an der rechten Rakel.

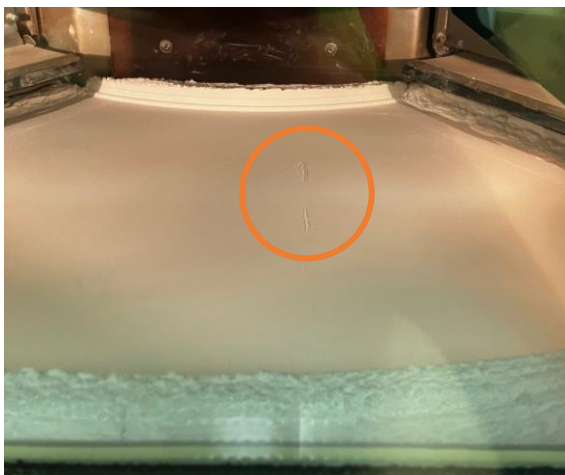


Abbildung 23: Fehler bei Materialverteilung



Abbildung 24: Druckeranzeige

Der Probedruck wurde an einem Freitagmorgen gestartet, in Absprache mit Frau Schäfer entschieden wir uns am Sonntag um 13 Uhr zu treffen, um den Probedruck auszupacken. Frau Schäfer stellte später fest, dass die HTW am Sonntag geschlossen ist und eine Anmeldung erforderlich ist, welche so kurzfristig nicht mehr erfolgen konnte. Deshalb wurde der Termin um 24 Stunden nach vorne verlegt. Damit einher verkürzte sich auch die Abkühlzeit von 40 Stunden auf 16 Stunden.

6.3.1 Auspacken des Bauraumes

GREGOR ERDMANN

Nach dem Drucken ist es erforderlich den Bauraum auszupacken. Dabei wird das nicht verwendete Pulver vom Modell entfernt. Nach den 16 Stunden Auskühlzeit war das Material noch sehr warm, daraus folgende negative Erscheinungen konnten nicht festgestellt werden. Das Auspacken erfolgte unter einem Luftabzug und mit Schutzkleidung, in diesem Fall FFP-2 Atemmaske und Latexhandschuhen. Das Modell ist zunächst komplett vom Pulver bedeckt und muss vorsichtig davon befreit werden. Die dazu genutzten Werkzeuge sind Rakel, Nadel, Pinsel, Druckluft und Sandstrahler. In Abbildung 25 und ist Abbildung 26 ist zu sehen, wie das Modell vom Pulver befreit wird.



Abbildung 25: Aufbrechen des Pulverkuchens



Abbildung 26: Auspacken des Modells

Nachdem alle Bauteile aus dem Bauraum entfernt wurden, muss das festgesetzte Pulver noch entfernt werden. Bereits beim Entfernen des Pulvers sind Sprossen an den Außen-elementen abgebrochen. Diese sind sehr dünn und ragen zusätzlich noch weiter nach außen als die Wand.

Das Pulver ist vor allem in den Räumen des Modells, aber auch den Außenwänden und am Boden haftet noch Pulver. Damit das Pulver entfernt werden konnte, wurde es mit der Nadel vom Modell gelöst, teilweise wurde dies dann bereits vom Absauger entfernt. Das meiste Pulver musste jedoch noch mit dem Pinsel aus den Räumen herausgestrichen werden wie in Abbildung 27 zu sehen ist. Nach diesem Prozess befinden sich noch Rückstände in den Ecken der Räume und in schmalen Spalten, wie Lücken zwischen Treppenstufen oder der Feuerleiter (Abbildung 28). Um dieses Pulver zu entfernen, wurde die Luftdruck genutzt. Pulver, das selbst damit nicht entfernt werden konnte, wurde mit dem Sandstrahler entfernt. Der Sand konnte dann problemlos mit der Druckluft entfernt werden.

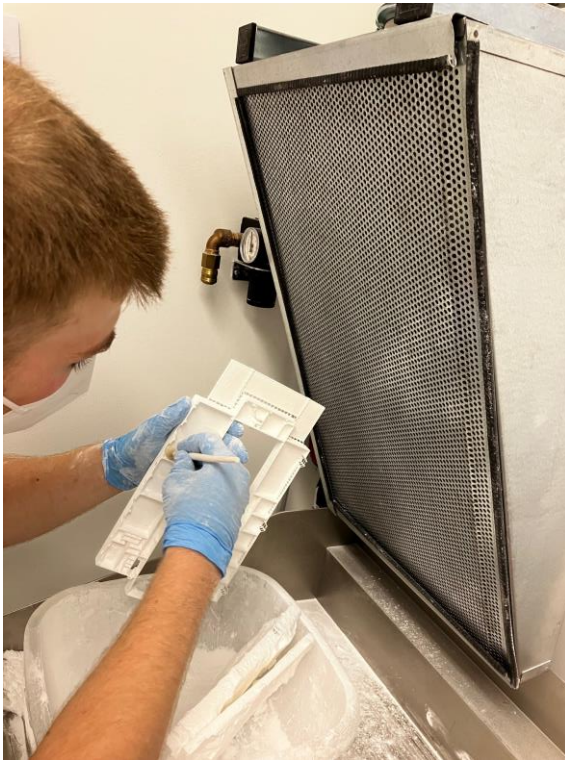


Abbildung 27: Säuberung der Teile

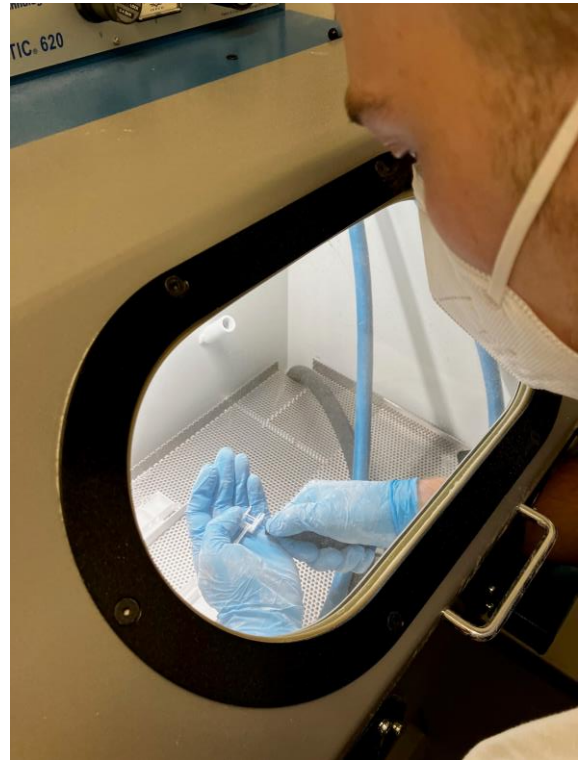


Abbildung 28: Druckluftreinigung

6.3.2 Ergebnis des Probedrucks

GREGOR ERDMANN

Alle 4 Bauteile wurden beim Probedruck ordentlich gedruckt. Es kam zu leichten Verformungen am Dach, diese sind jedoch auf das Altpulver zurückzuführen. Das Dach hatte sich jedoch verzogen (Abbildung 29). Zunächst vermuteten wir, dass dies an der kurzen Abkühlzeit liegt. Beim späteren Finaldruck ist dasselbe Problem, trotz längerer Abkühlzeit, aber auch aufgetreten. Bei der Feuerleiter (Abbildung 30) kam es zu Verschmelzungen des

Materials zwischen den Streben der Leiter und ebenfalls zwischen denen des Geländers. Auch hier vermuteten wir das Altpulver als Ursache.

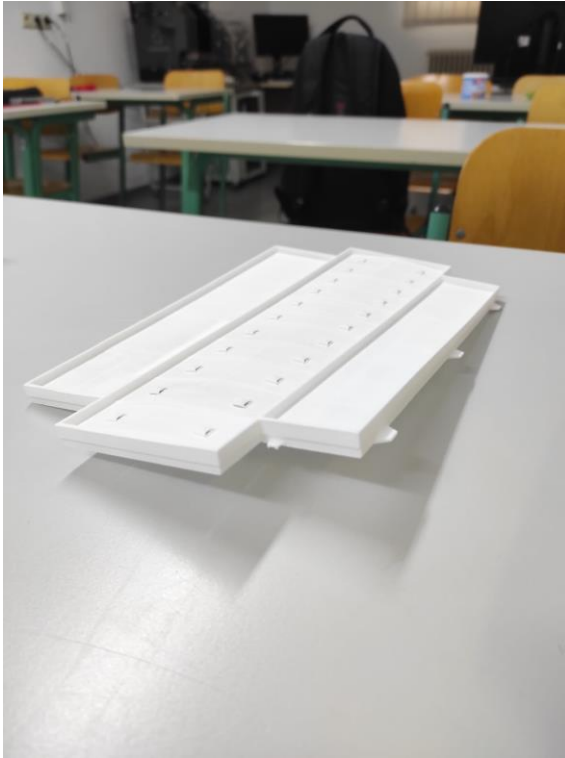


Abbildung 29: verzogenes Dach

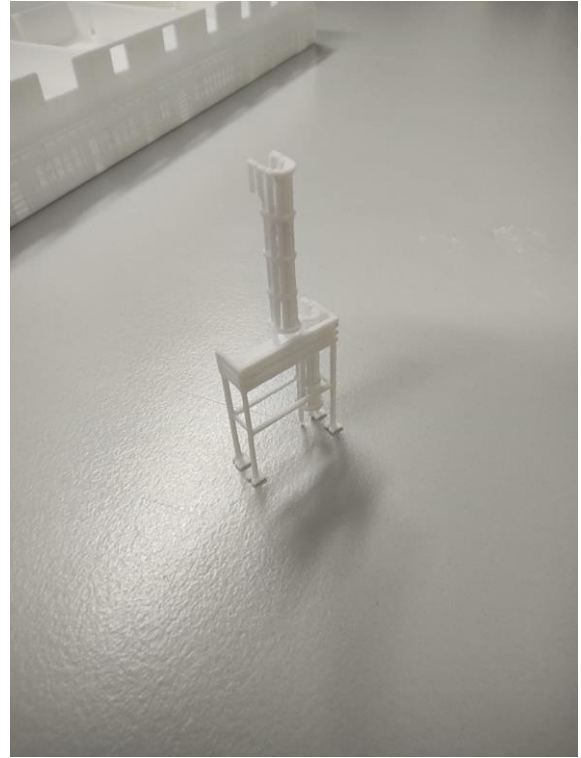


Abbildung 30: filigrane verschmolzene Feuerleiter

Im Gesamten waren wir mit dem Probedruck zufrieden, da die Details, wie Fenster, Türen, Treppen und Fassadenelemente gut erkennbar waren. Wir entschieden uns das Modell, so wie es zum Probedruck war, für den Finaldruck freizugeben.

6.4 Finaldruck

GREGOR ERDMANN

Der Finaldruck erfolgte mit demselben Modell, wie der Probedruck. Der Bauraum wurde nochmal etwas angepasst, jedoch musste das Modell weiterhin vertikal gedruckt werden. Die berechnete Druckzeit betrug 18 Stunden. Die darauffolgende Auskühlzeit war diesmal länger, als bei dem Probedruck, mit der Vermutung, dass das Dach sich bei längerer Auskühlzeit nicht oder zumindest weniger verziehen würde. Die Auskühlzeit betrug 29 Stunden. Das Auspacken erfolgte analog wie in Kapitel 6.3.1 beschrieben. Das Dach war trotz längerer Abkühlzeit und der Verwendung des Neupulvers weiterhin verzogen. Um dem Verzug entgegenzuwirken, wurde das Dach mit einem Werkzeugkasten beschwert. Dies hatte bereits beim Probedruck weitergeholfen. Auch hier sind ebenfalls zwei Sprossen an verschiedenen Fassaden (Abbildung 31) abgebrochen.

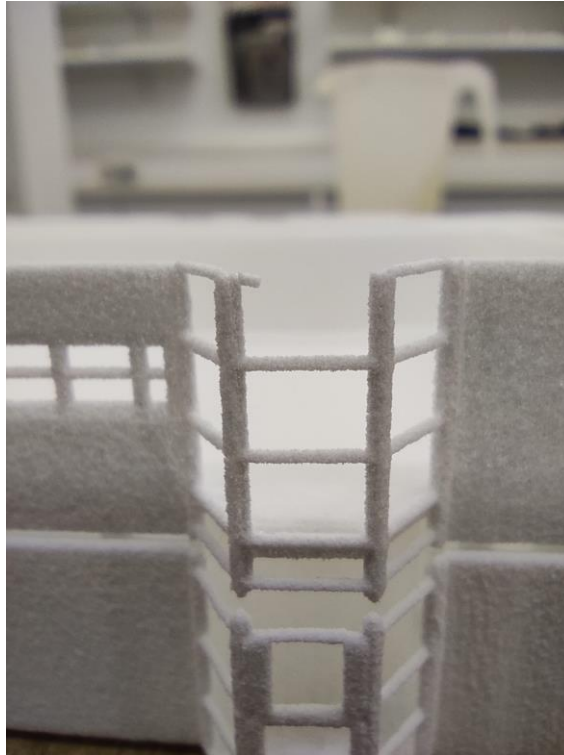


Abbildung 31: abgebrochene Sprosse eines Fassadenbereichs

Dies geschah einmal beim Entfernen des Pulvers im Bauraum, bevor ersichtlich war, dass die Sprosse an dieser Stelle ist. Die andere Sprosse ist abgebrochen, als mit einem Pinsel das Pulver vorsichtig aus dem Fenster gestrichen wurde. Eine mögliche Ursache für die fehlende Stabilität dieses Elements, ist die L-Verbindung, die dort zu finden ist. Die mittleren Sprossen haben eine T-Verbindung zu den Stützen und weisen somit eine höhere Stabilität auf. Die Beschädigungen wären zwar vermeidbar gewesen, jedoch nur durch eine Umkonstruktion, da zu jedem Zeitpunkt vorsichtig und sorgfältig gearbeitet wurde.

7 Bewertung des Drucks

GREGOR ERDMANN

Der Druck sollte folgende Anforderungen der Auftraggeber, Herr Prof. Clemen und Frau Schäfer, erfüllen:

1. Fensterscheiben sind zu entfernen, damit Sicht von außen in das Modell hinein besteht.
2. Es sind Schnitte anzulegen, durch die jede Etage einzeln abgenommen werden kann und die Räume im Inneren einsehbar sind.
3. Die Geometrie des Gebäudes ist Best möglichst zu erhalten.

Unter diesen Maßgaben entstanden Probleme. Die Wände sind sehr dünn. Für eine optimale Stabilität müssten, vor allem die Außenwände, breiter gedruckt werden. Damit würde sich jedoch die originale Geometrie des Gebäudes verändern. Für die Anwendung des Modells ist die Stabilität jedoch ausreichend, da es vor allem zur Anschauung dient und keine komplexeren Aufgaben erfüllen soll. An Pfosten, Stangen und ähnlichen Elementen musste die Druckauflösung beachtet werden. Da die meisten Elemente nach der Skalierung kleiner waren als die druckbaren 0,1 mm, wurden diese verstärkt. Damit ist die Geometrie nicht exakt erhalten geblieben. Dass die Elemente weiter vorhanden sind, ist in diesem Fall aber wichtiger als die exakte Geometrie.

Das verzogene Dach ist nicht das erwünschte Ergebnis. Nach der Finalpräsentation gab es Rückmeldungen von Kommilitonen und eine Idee wurde eingebracht Querverstrebungen, als Supports, im Dach anzubringen. Dies sollte ein etwaiger Nachfolger testen.

Die Verschmelzung des Materials zwischen Geländerstreben und an der Feuerleiter sind vermeidbare Fehler. Für einen optimalen Druck müssen Abstände höher gewählt werden.

Im Gesamten sind wir mit dem Druck sehr zufrieden. Die Details an Fenstern und Fassade sind gut erkennbar und es sind keine groben Druckfehler aufgetreten. Durch die entfernten Fensterscheiben wirkt das Modell wertiger als das Vorgängermodell. Die Stabilität von Treppen und Feuerleiter sind ausreichend. Speziell die Treppe in der Haupthalle des LGS könnte mittels Supports an Stabilität gewinnen. Komplexere Schnitten könnten die Etagenstabilität zueinander und die Stabilität verschiedener Kleinteile ebenfalls erhöhen.

8 Zusammenfassung und Fazit

GREGOR ERDMANN

In diesem Abschnitt werden die Forschungsfragen, welche in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich erklärt und beantwortet wurden, nochmal kurz zusammengefasst.

Wie muss das BIM-Modell vereinfacht und reduziert werden, damit es druckbar wird?

Die Zielstellung eines BIM ist es komplexe Modelle für komplexe Anwendungen der Fachgewerke zu erstellen. Ein solches BIM besteht aus vielen verschiedenen Einzelteilen, damit die Funktionalität im Modell gewährleistet ist. Bei einem 3D-Druck gilt es ein einzelnes, geschlossenes Modell zu erzeugen. Deshalb muss das komplexe BIM vereinfacht werden. Dazu wurden Generalisierungen angewendet. Das vereinfachte Modell wurde in unserem Fall in *AutoCAD* geladen, damit Flächen und Körper zusammengefasst werden können. Weitere Zusammenfassungen erfolgten im Programm *Magics*, welches nur mit Dreiecken, in einer *.stl Datei arbeitet. Am Ende der Bearbeitungen erhielten wir 4 einzelne, in sich geschlossene Bauteile. Das Erdgeschoss, das Obergeschoss, das Dach und die Feuerleiter.

Welche Softwaresysteme benötigt man, um einen 3D-Druck durchzuführen?

In unserer Lösung benutzten wir die Programme *Autodesk Revit 2022*, *Autodesk AutoCAD 2023*, *Materialise Magics 26.0* und *PSW 3.6 FROMIG*.

Für den Allgemeinfall wird eine BIM-Software benötigt, mit der man das Modell vereinfachen und generalisieren kann. Optional sind auch CAD-Softwaresysteme. Diese sollten vor allem dann eingesetzt werden, wenn der Export und die Bearbeitung im CAD effektiver sind als die Lösung von Problemen in der BIM-Software. Es wird eine Slicer-Software benötigt, mit der die Modelle überprüft und Schnitte angefertigt werden können. Als letzte Software wird die druckereigene Software benötigt.

Literaturverzeichnis

3dnatives.com. (14. Juli 2022). Abgerufen am 28. Juni 2023 von

<https://www.3dnatives.com/de/sls-drucker-220320181/#!>

Autodesk (Hrsg.). (2023). *BUILDING INFORMATION MODELING*. Abgerufen am 1. Juli 2023 von BAUPLANUNG UND -AUSFÜHRUNG MIT BIM:

<https://www.autodesk.de/solutions/bim>

Claudio. (25. März 2008). *CAD.de*. Abgerufen am 06. Juli 2023 von CAD.de:

<https://ww3.cad.de/foren/ubb/Forum54/HTML/019453.shtml>

Konstruktionsbude (Hrsg.). (26. Oktober 2021). *Konstruktionsrichtlinien für den 3D-Druck (FDM)*. Abgerufen am 1. Juli 2023 von Konstruktionsbude:

<https://konstruktionsbude.de/konstruktionsrichtlinien-3d-druck/>

Reichelt Chemietechnik GmbH + Co. (Hrsg.). (kein Datum). *rct-online.de*. Abgerufen am 27. Juni 2023 von <https://www.rct-online.de/de/RctGlossar/detail/id/10>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Originales <i>Revit</i> -Modell des LGS	2
Abbildung 2: Übersicht Arbeitsablauf	4
Abbildung 3: unbearbeitetes Geländer	5
Abbildung 4: bearbeitetes Geländer	5
Abbildung 5: originale Fassade	6
Abbildung 6: bearbeitete Fassade	6
Abbildung 7: originales Fenster	7
Abbildung 8: Fenster ohne Glasscheibe	7
Abbildung 9: Typeigenschaften Pfosten (links), Typeigenschaften Handlauf (rechts)	7
Abbildung 10: verstärktes Treppengeländer	8
Abbildung 11: Position Schnitte	10
Abbildung 12: Fehlerstatus nach Schnitten	11
Abbildung 13: Modell nach Autofix planare Löcher	11
Abbildung 14: Modellausschnitt nach Bereinigung fehlerhafter Lochfüllung	12
Abbildung 15: Extrusion der Sprossen	13
Abbildung 16: Lücke an der Dachkante des Vordachs	13
Abbildung 17: Stützen als lose Shells	14
Abbildung 18: Fehlberechnung des Vordaches	15
Abbildung 19: invertierte Fläche an Unterkonstruktion	15
Abbildung 20: Festlegen der Oberseite	16
Abbildung 21: Ansicht in PSW 3.6 FORMIG	16
Abbildung 22: FORMIGA P110	17
Abbildung 23: Fehler bei Materialverteilung	18
Abbildung 24: Druckeranzeige	18
Abbildung 25: Aufbrechen des Pulverkuchens	19
Abbildung 26: Auspacken des Modells	19
Abbildung 27: Säuberung der Teile	20
Abbildung 28: Druckluftreinigung	20
Abbildung 29: verzogenes Dach	21
Abbildung 30: filigrane verschmolzene Feuerleiter	21
Abbildung 31: abgebrochene Sprosse eines Fassadenbereichs	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bearbeitungsübersicht	1
--	---

Erklärung über die eigenständige Erstellung der Arbeit

Hiermit erklären wir, dass wir die entsprechend gekennzeichneten Teile der vorgelegten Gruppenarbeit mit dem Titel

3D-Druck des LGS-Gebäudes


selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit als solche und durch Angabe der Quelle gekennzeichnet haben. Dies gilt auch für Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen sowie für Quellen aus dem Internet.

Uns ist bewusst, dass die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden Prüfungsarbeiten stichprobenartig mittels der Verwendung von Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft.

Gregor Erdmann

Dresden, 08.07.2023

Ort, Datum



Unterschrift Studenten

Robert Landrock

Dresden, 08.07.2023

Ort, Datum



Unterschrift Studenten

Alexander Mutz

Dresden, 08.07.2023

Ort, Datum



Unterschrift Studenten