

Erstellung einer Plastik der Astronomischen Uhr in St. Marien zu Rostock mittels 3D-Druckverfahren

Studienarbeit

Daniel Humpert

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. M.-C. Wanner

Zweitgutachter: Frau M. Eng. Lisa Knaack

Eingereicht am: 24.01.2017



Gliederung

- 1. Einleitung**
- 2. Stand der Technik**
- 3. Bewertung und Auswahl eines 3D-Druckverfahrens**
- 4. Konstruktive Anpassung des CAD-Modells**
- 5. Herstellung der Plastik**
- 6. Zusammenfassung**
- 7. Ausblick**

Einleitung

Astronomische Uhr:

- Weltweit einzigartige Sehenswürdigkeit
- Fast alle Originalteile sind seit über 500 Jahren funktionstüchtig

Ziel:

- Verbesserte Präsentation der Uhr in der Kirche
 - Herstellung einer Plastik
 - Veranschaulichung des Uhreninnenlebens



Astronomische Uhr in St.
Marien zu Rostock

Quelle: tambiente.de

Stand der Technik

Additive Fertigungsverfahren:

- Formgebung durch das Aneinanderfügen von Volumenelementen
- Objekt wird direkt aus 3D-Daten generiert

Vorteile:

- Günstige Herstellung komplexer Strukturen
- Große gestalterische Freiheiten
- Teilweise vollfarbiger Druck möglich



Vollfarbiger Reifen (SDL-Verfahren)

Quelle: A.Gebhardt, Generative
Fertigungsverfahren



Bewertung und Auswahl eines 3D-Druckverfahrens

Vorgehen:

- In Anlehnung an VDI-Richtlinien 2221 und 2222
- Erstellung Anforderungsliste
- Erstellung Bewertungsliste
 - Bewertungskriterien für die 3D-Drucker ableiten und gewichten
- Geeignete 3D-Drucker auswählen, bewerten und vergleichen
- Entscheidung für einen 3D-Drucker

Bewertung und Auswahl eines 3D-Druckverfahrens

Name	Firma	Druckverfahren	Besonderheit	Bewertung
VX 500	Voxeljet	3D-Printing	in der Universität verfügbar	1,73
ZPrinter ProJet 860Pro	3DSystems	3D-Printing	Vollfarbiger Druck	1,66
Object 1000Plus	Stratasys	PolyJet	Sehr großer Bauraum	1,95
			Mehrfarbig	
ProX 950	3DSystems	SLA	Sehr großer Bauraum	2,13
Ultimaker 2 Extended	Ultimaker	FDM	Im Fraunhofer verfügbar	1,11

Konstruktive Anpassung des CAD-Modells

Datengrundlage:

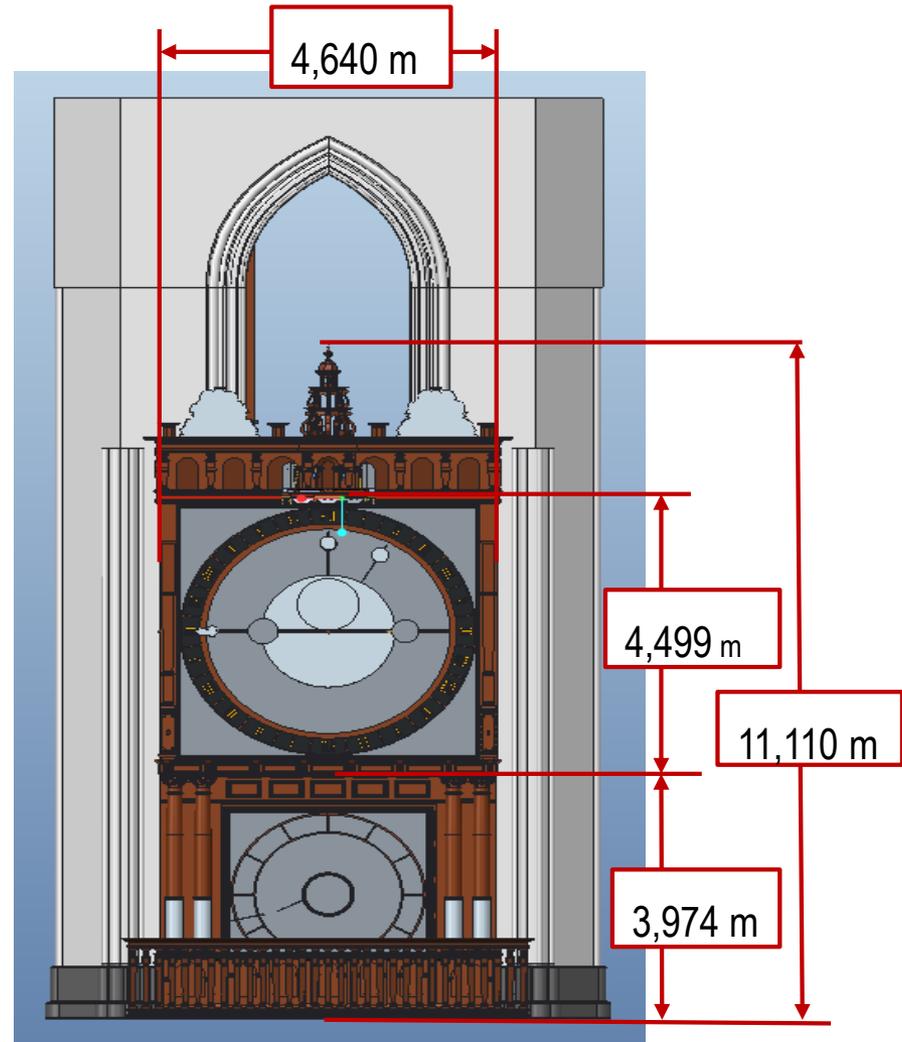
- CAD-Modell der Uhr bereits vorhanden
- Beinhaltet Uhrenfassade, Haupt- und Zeigerwerk

Probleme:

- Größendifferenz zwischen gesamtem Modell und Uhrwerk immens

Lösung:

- Uhrenausschnitt drucken (Maßstab 1:10)



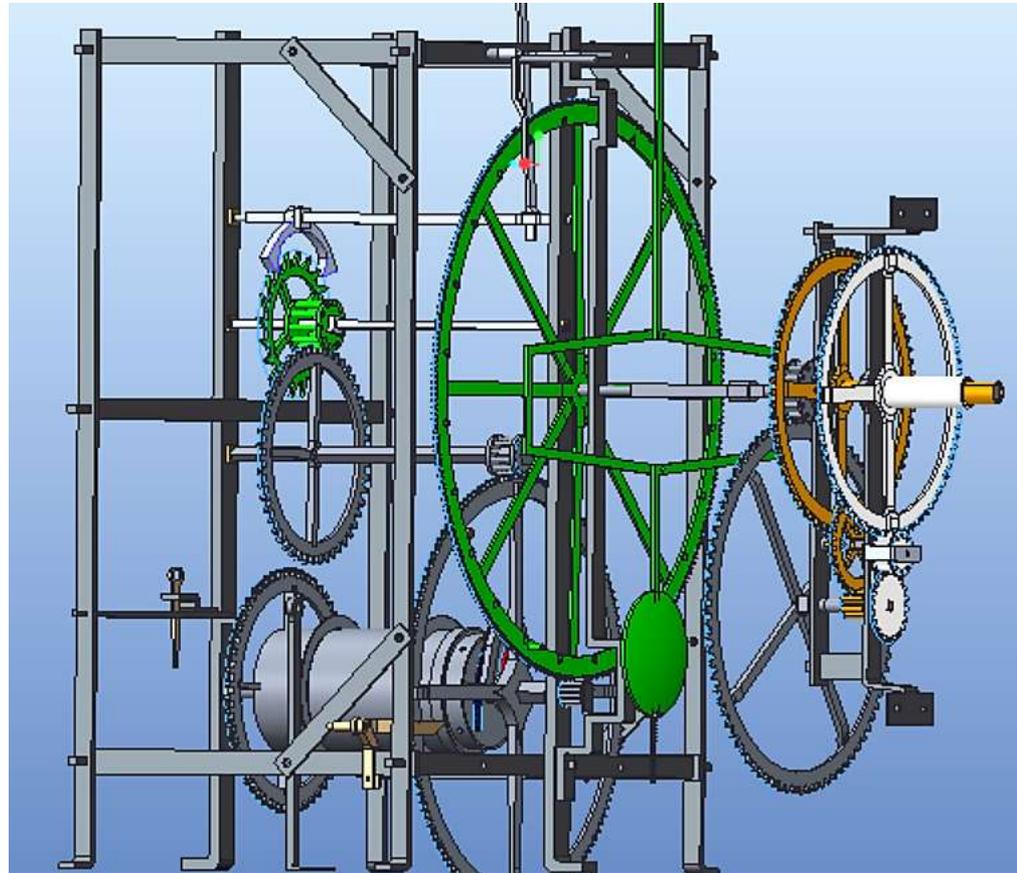
Konstruktive Anpassung des CAD-Modells

Erste Versuchsreihe:

- Gedruckte Testkörper sind grün hervorgehoben

Untersucht:

- Stabilität
- Farbgebung
- Harzsystem
- Genauigkeit



Konstruktive Anpassung des CAD-Modells

Ergebnisse:

- Zahnräder min. 2 mm dick
- Ampreg 22 als Harzsystem geeignet
- Farbgebung mittels Harz funktioniert gut
- Genauigkeit und Detailierungsgrad sind auch nach Infiltration gegeben



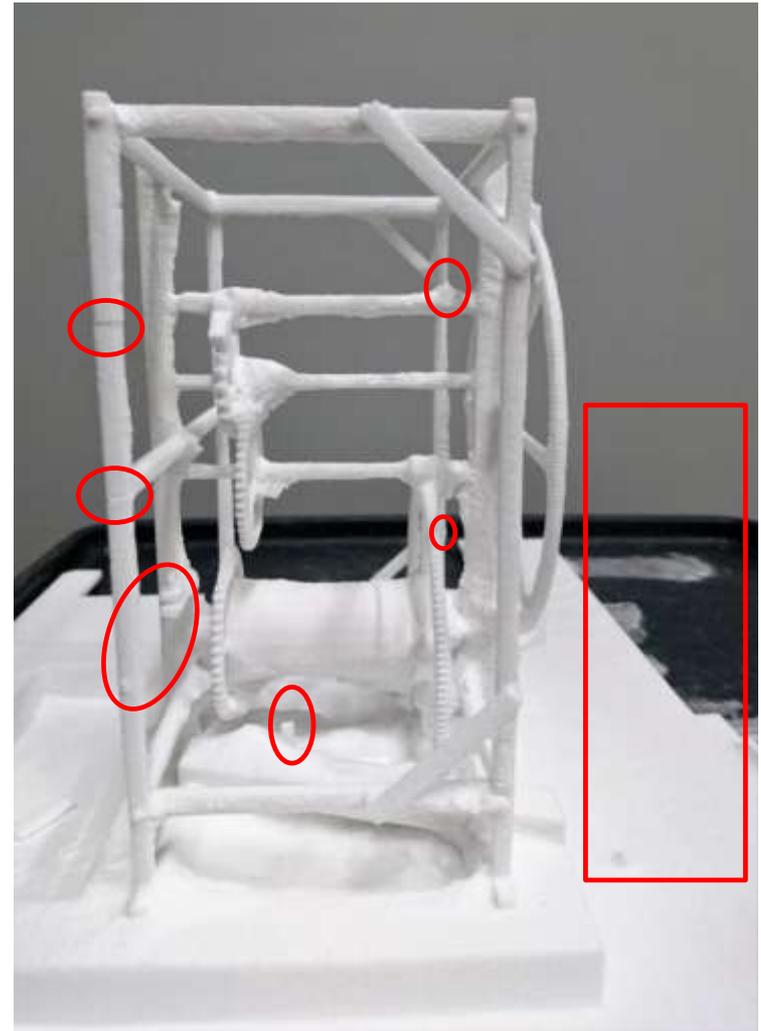
Konstruktive Anpassung des CAD-Modells

Zweite Versuchsreihe:

- Testdruck des gesamten Uhrwerks

Ergebnisse:

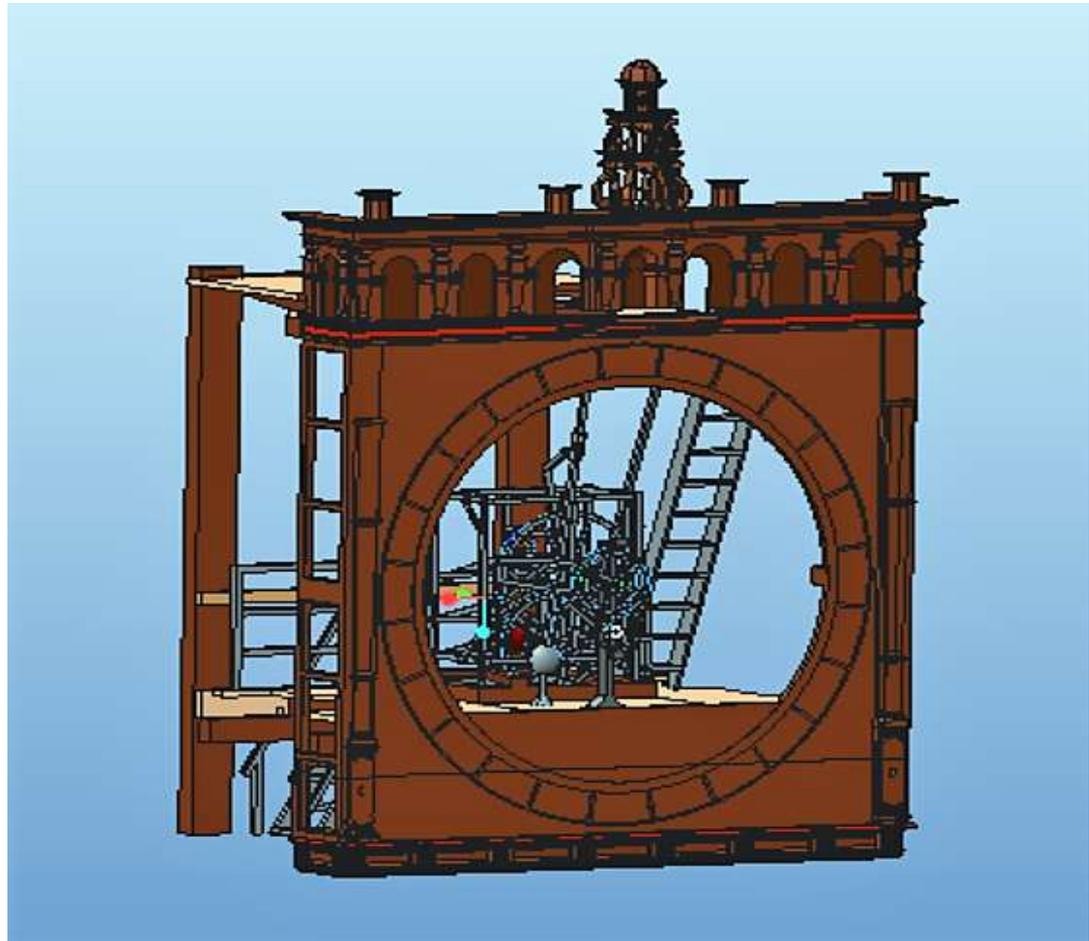
- Komponenten weiter verstärken
- Uhrwerk mit kleinerem Uhrenausschnitt drucken



Konstruktive Anpassung des CAD-Modells

Resultierendes CAD-Modell:

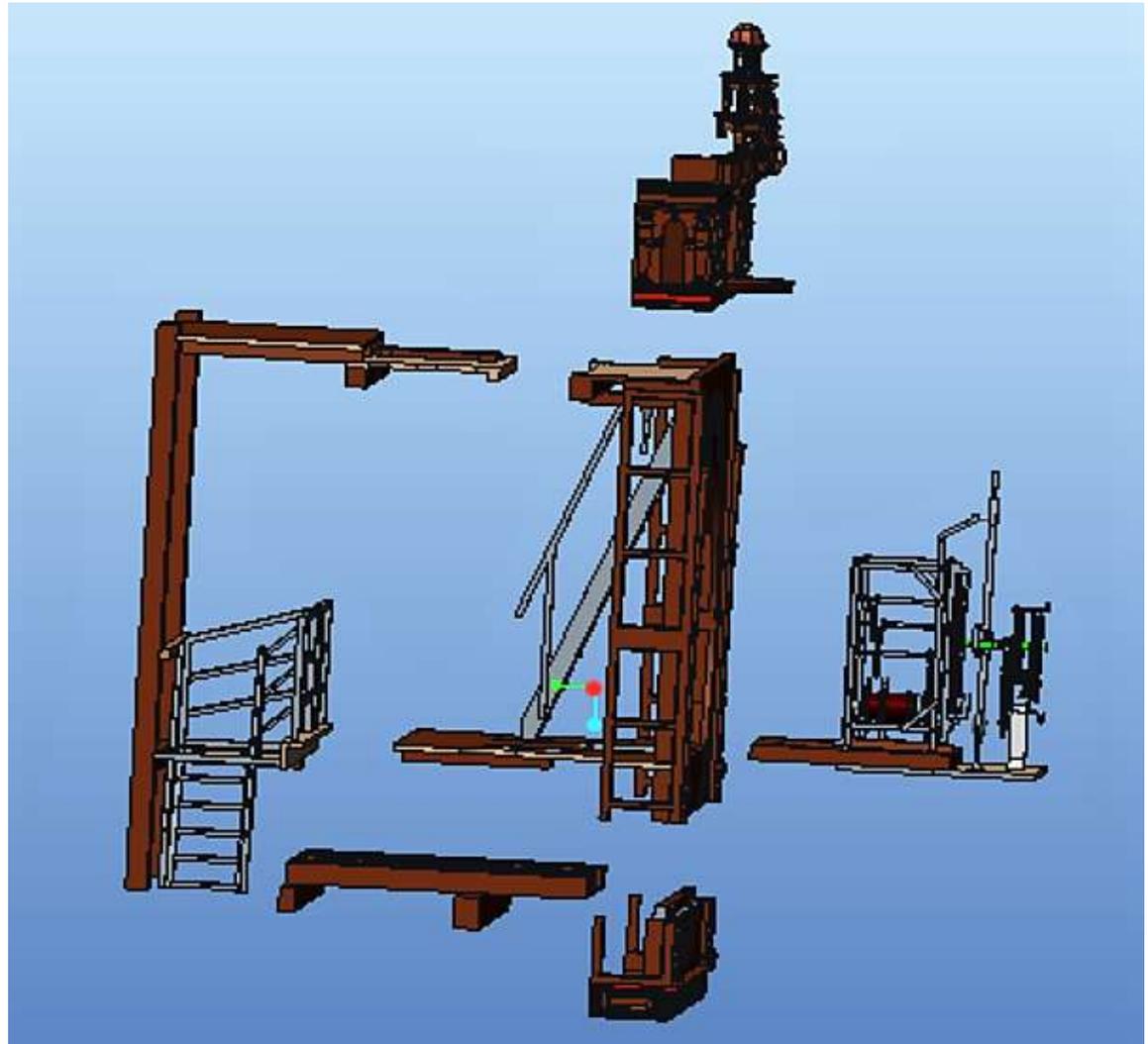
- Offene Darstellung
- 24h-Ziffernblatt ist angedeutet
- Bereich unter Bodenplatte geschlossen
- Maßstab 1:10



Konstruktive Anpassung des CAD-Modells

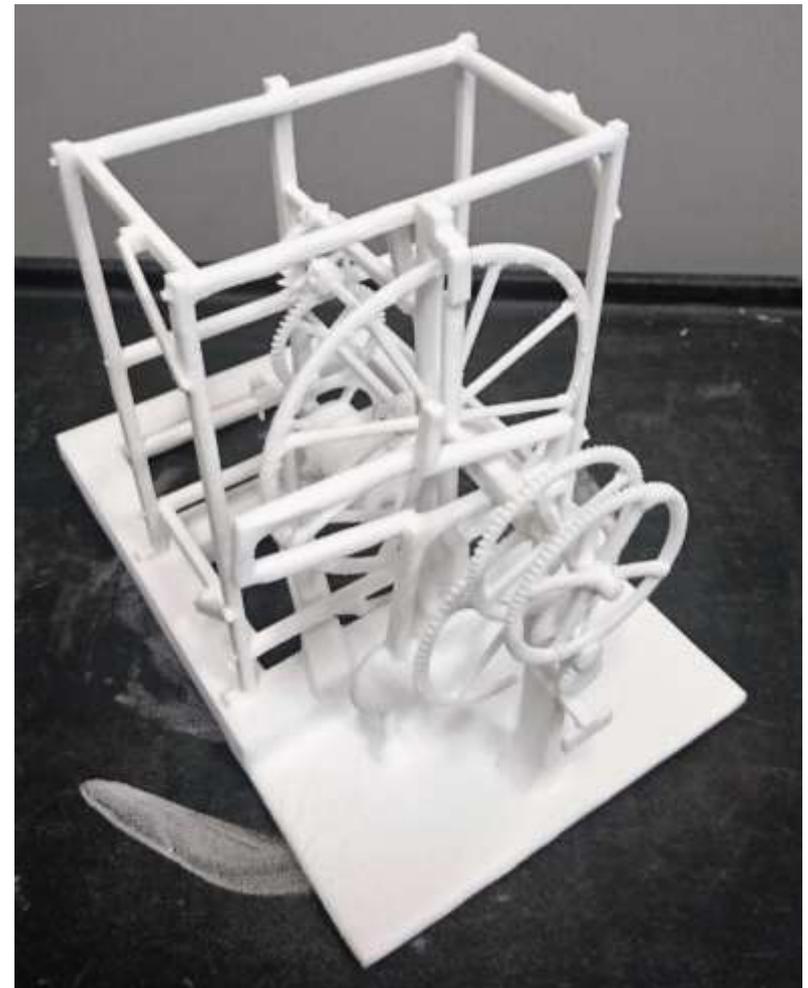
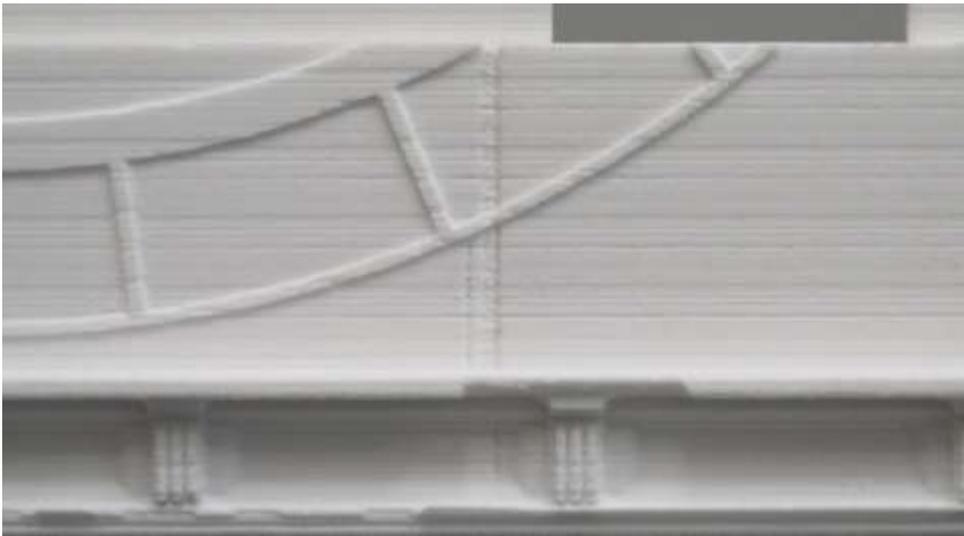
Druckteile:

- Modell besteht aus 6 Druckteilen
- Bodenplatte wird mit Front verklebt
- Untere Front und Rückseite werden gleichzeitig hinzugefügt
- Uhrwerk wird von vorne eingeschoben



Herstellung der Plastik

- Druck der Bauteile
- 2 Tage in Druckbox entgasen des Bindemittels
- Entpacken
- Infiltration mit Harzsystem
- Verkleben der Uhrkomponenten



Zusammenfassung

- Das 3D-Printing Verfahren eignet sich zur Herstellung
- Entpacken der filigranen Bauteile ist der kritischste Arbeitsschritt bei der Modellherstellung
- Proportionsgetreue Skalierung der Uhr nicht möglich
 - Enorme Größenunterschiede zwischen Fassade und Uhrwerken
- Texturierung während der Additiven Herstellung nur extern möglich und kostenintensiv
- Texturierung im Post-Processing erfordert künstlerisches Geschick



Ausblick

- Fehlende Plastikteile drucken und zusammenbauen
- Texturiertes Uhrwerk herstellen
- Bewegliches/funktionsfähiges Uhrwerk herstellen
 - Bei bestehendem Verfahren Uhrwerkskomponenten weiter verstärken
 - Anderes Additives Fertigungsverfahren bzw. stabilere Materialien verwenden
- Modell um Kalenderwerk ergänzen



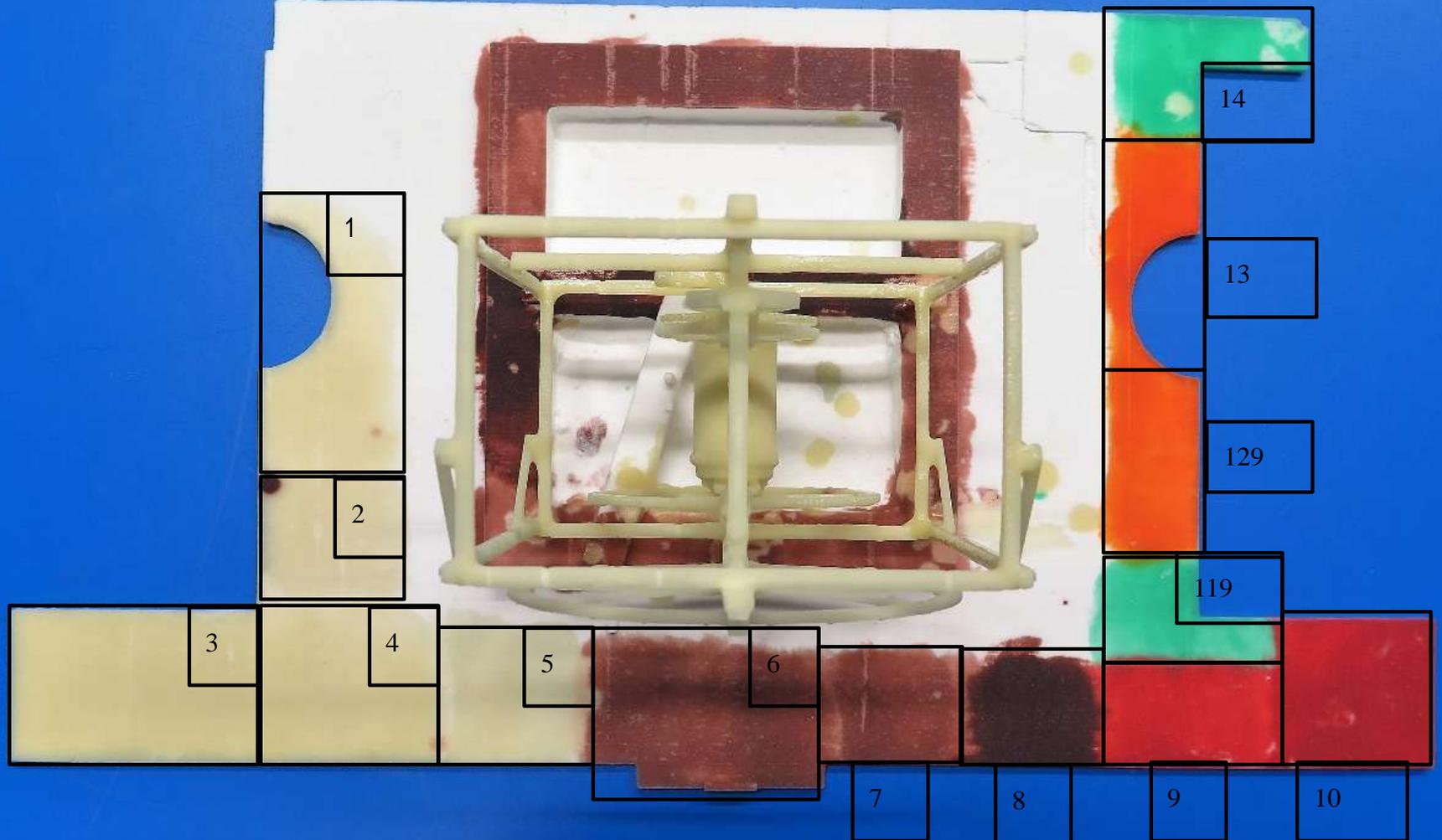
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Kriterium	Anforderung (F) / Wunsch (W) / Rahmenbedingung (R)
Große Geometriefreiheit	Uhrwerk ist geometrisch komplex, insgesamt viele Überhänge im Modell, offene Darstellung des Uhreninnenlebens (F)
Hohe Druckauflösung	Hoher Detaillierungsgrad (F), Zahnräder mit Zähnen darstellen (W)
Hohe Oberflächengüte	Hoher Detaillierungsgrad (F), viele filigrane Details in Oberfläche
Großer Bauraum	Höhe der Plastik (F), Grundfläche (F), Proportionen beibehalten (F), Vermeidung von Klebstellen (W)
Einfaches Post-Processing	Einfache Herstellung der Plastik, Reduzierung der Gefahren, sie zu zerstören (R)
Hohe Stabilität	Pendel ausgelenkt darstellen (F)
Einfache Texturierung	Farbliches kenntlich machen von beweglichen und starren Elementen (W), Auswahl einer Grundfarbe für die Plastik (W)
Niedrige Herstellungskosten	Günstiges Modell (F)

Bewertungskriterium	Gewichtungsfaktor	Eigenschaftsgröße	Einheit
Große Geometriefreiheit	15 %	Stützstruktur	
Hohe Druckauflösung	15 %	X-Y-Achse	dpi
Hohe Oberflächengüte	12 %	Schichtstärke	μm
Großer Bauraum	18 %	Länge x Breite x Höhe	mm^3
Einfaches Post-Processing	10 %	Verfahren	
Hohe Stabilität	8 %	Bauteilfestigkeit	
Einfache Texturierung	12 %	Farbliche Gestaltung	
Niedrige Herstellungskosten	10 %	Betriebskosten	€
Summe der Gewichtungsfaktoren	100 %		

Bewertungs-kriterium	Zahlenwerte			
	3	2	1	0
Große Geometrie-freiheit	Uneingeschränkt Ohne Stützstruktur	Uneingeschränkt mit Stützstruktur	Eingeschränkt mit Stützstruktur	Nicht vorhanden
Hohe Druck-auflösung	$> 1000 \text{ dpi}$	$> 600 \text{ dpi}$	$> 400 \text{ dpi}$	$< 400 \text{ dpi}$
Hohe Oberflächen-güte	$\leq 50 \mu\text{m}$	$\leq 100 \mu\text{m}$	$\leq 150 \mu\text{m}$	$> 150 \mu\text{m}$
Großer Bauraum	1000 mm x 600 mm x 400 mm	Ein Maß zu klein	zwei Maße zu klein	Alle Maße zu klein
Einfaches Post-Processing	Keins notwendig	Wasserlösliches Material/schnell	langsam	Nur schwer entfernbar
Hohe Stabilität	Hoch	Mittel	Gering	Sehr gering
Einfache Texturierung	Vollfarbiger Druck	Mehrfarbiger Druck	Manuelle Kolorierung	Keine farbliche Gestaltung
Niedrige Herstellungs-kosten	Gering	Mittel	Hoch	Sehr hoch

Bewertungskriterium	Eigenschaftsgröße	VX500 (3D-Printing)	
		Eigenschaft	Wert
Große Geometriefreiheit	Stützstruktur	Ohne Stützstruktur	3
Hohe Druckauflösung	X-Y-Ebene [dpi]	600 x 600	2
Hohe Oberflächengüte	Schichtstärke [μm]	150	1
Großer Bauraum	Länge x Breite x Höhe [mm^3]	500 x 400 x 300	1
Einfaches Post-Processing	Verfahren	Pulver entfernen	1
Hohe Stabilität	Bauteilfestigkeit	Mittel	2
Einfache Texturierung	Farbliche Gestaltung	Manuelle Kolorierung	1
Niedrige Herstellungskosten	Betriebskosten [€]	Gering	3



Farbbereich	Härter	Farbe	Konzentration [%]
1	Standard	Weiß	3
2	Standard	Neutral	-
3	Slow	Neutral	-
4	Slow	Weiß	3
5	Slow	Weiß	9
6	Standard	Braun	3
7	Slow	Braun	3
8	Slow	Braun	9
9	Standard	Rot	3
10	Slow	Rot	3
11	Standard	Türkis	3
12	Standard	Goldgelb	3
13	Slow	Goldgelb	3
14	Slow	Türkis	3

Konstruktive Anpassung des CAD-Modells

- Uhrwerk wird in Frontansicht „eingeschoben“
- Uhrwerk von unten offen für besseres Entpacken und Infiltrieren

