

Konzept und Umsetzung zur technischen sowie interaktiven Dokumentation einer astronomischen Großuhr

Studienarbeit

Eingereicht an der Institut:	Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik der Universität Rostock Fraunhofer Anwendungszentrum Großstrukturen in der Produktions- technik
Vorgelegt von:	Ulrich Streckfuß
Vorgelegt am:	25.02.2016
Matrikelnummer:	211207328
Studiengang:	Maschinenbau
Erstgutachter:	Prof. Dr.-Ing. Martin-Christoph Wanner
Zweitgutachter:	Dipl.-Ing. (FH) Michael Geist

Inhalt

Abbildungen	II
Tabellen	II
Abkürzungen	II
1 Einleitung	1
2 Vorhandene Dokumentationen	2
3 Konzept zur technischen sowie interaktiven Dokumentation	5
3.1 Themen und Inhalte	5
3.2 Einsetzbare Medien.....	6
3.3 Gegenüberstellung: Inhalt – Medien.....	8
3.4 Zusammenfassung zu Arbeitskomplexen	9
4 Umsetzung der technischen sowie interaktiven Dokumentation	11
4.1 Analyse der Zielgruppe	11
4.2 Äußere Bedingungen für die Umsetzung.....	12
4.3 Erstellung der Inhalte	13
4.4 Präsentationstechnik.....	13
4.5 Strukturierung der Arbeitskomplexe	15
4.6 Umfang einzelner Arbeitspakete.....	16
5 Zusammenfassung	18
Literatur	19
Eidesstattliche Erklärung	20
Anhang.....	A-1

Abbildungen

Bild 2-1: Das Räderwerk des Hauptwerkes von der Aufzugseite gesehen ([Koc15], S. 7)	2
Bild 2-2: 3D-Modell der Uhrenfassade ([Roh12], S.51)	3
Bild 2-3: Zusammengesetztes 3D-Modell des Hauptuhrwerkes ([Mös12] in [Wan13], S.52) ...	3
Bild 4-1: Terminal mit berührungsempfindlichem Bildschirm im kulturhistorischen Museum Rostock	14
Bild 4-2: Strukturierung der Arbeitskomplexe mit einem Netzplan	15-1
Bild 4-3: Netzplanpfad zur Erstellung der Plastik	15
Bild 4-4: Netzplanpfad Arbeitskomplex Technik.....	16

Tabellen

Tabelle 1: Bewertungsschema der Medieneignung	8
Tabelle 2: Gegenüberstellung Inhalte – Medien	9

Abkürzungen

AGP	Anwendungszentrum Großstrukturen in der Produktionstechnik
CAD	englisch: computer aided design
GUI	englisch: graphical user interface; deutsch: grafische Benutzeroberfläche
IPA	Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
QR-Code	englisch: quick response code; ein zweidimensionaler Code, der sehr schnell maschinell ausgelesen werden kann, eine quadratische Matrix mit weißen und schwarzen Quadraten zur binären Codierung
STL	Stereolithography (Dateiformat)
UNESCO	englisch: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; deutsch: Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur
WLAN	englisch: wireless local area network; deutsch: drahtloses, lokales Netzwerk

1 Einleitung

Die astronomische Großuhr in der St. Marien-Kirche zu Rostock ist ein bedeutendes Zeugnis menschlicher Schaffenskraft. Sie vereint, wie alle astronomischen Uhren, komplexe astronomische Berechnungen und mittelalterliche Handwerkskunst. Darüber hinaus zeichnet sich das Rostocker Exemplar durch einige Besonderheiten aus:

- Die Werke befinden sich technisch im Originalzustand ihrer jeweiligen Bauzeit.
- Die Uhr ist bis auf wenige kurze Ausnahmen durchgängig in Betrieb gewesen.
- Die Werke der Uhr werden seit über 500 Jahren jeden Tag von Hand aufgezogen.

Diese bedeutenden Eigenschaften machen sie aus Rostocker Perspektive weltweit einzigartig, weshalb das langfristige Ziel formuliert wurde, sie zum Weltkulturerbe¹ ernennen zu lassen. Die zugehörige Bewerbung erfordert eine ausführliche Dokumentation der Uhr. Für den technischen Bestandteil dieser Dokumentation (Zeichnungen, Erläuterungen zur Mechanik usw.) liegen bereits ausführliche Unterlagen vor. Mit der Bewerbung verbunden ist aber weiterhin, die astronomische Uhr öffentlichkeitswirksam zu präsentieren. Als Unterziele sind zu formulieren:

- Staunen beim Besucher erzeugen
- Mehr Bewusstsein für die Uhr wecken
- Kennenlernen der Uhr ermöglichen, obwohl der örtliche Zugang beschränkt ist

Schlussendlich soll eine interaktive Dokumentation den Besuchern die Uhr näherbringen und erlebbar machen. Die vorliegende Studienarbeit verfolgt daher die Ziele:

- Dokumentationsaufgaben zu bilden und zu strukturieren,
- Voraussetzungen und Bedingungen für eine besucherwirksame Präsentation zu klären und
- einen Leitfaden für die spätere Erstellung der interaktiven Dokumentation zu formulieren.

Zunächst wird aufgezeigt, welche aktuellen Dokumentationen bereits vorhanden sind. Anschließend werden in einem Konzept die neu anstehenden Dokumentationsaufgaben in Arbeitskomplexen zusammengefasst. Im nächsten Kapitel werden Bedingungen für die Realisierung der interaktiven Dokumentation erarbeitet. Mithilfe des Konzepts und der Bedingungen wird ein Netzplan erstellt, der als Leitfaden für die Erstellung der interaktiven Dokumentation verwendet werden kann. Eine kurze Zusammenfassung bildet den Abschluss der Studienarbeit.

¹ Erläuterungen zur Definition von „Weltkulturerbe“ finden sich im Anhang 2

2 Vorhandene Dokumentationen

Dieses Kapitel ermöglicht einen kurzen Überblick über die bereits vorhandenen Dokumentationen rund um die astronomische Uhr. Allgemeine Angaben über die Uhr, z.B. zu Historie und Funktion werden hier allerdings nicht erläutert. Vielmehr steht die Ausgangsbasis für eine spätere interaktive Dokumentation im Fokus.

Gutachten über den technischen Zustand

Im Sommer 2015 wurde durch den Uhrensachverständigen E. Koch der technische Zustand der astronomischen Uhr Rostock begutachtet. Nach Sichtung der einzelnen Werke und in Gesprächen mit den fünf UhrenaufzieherInnen wurden die Schwachstellen der Uhr identifiziert. Daraus wurden Empfehlungen für zukünftige Reparaturaufgaben abgeleitet, wobei die Instandsetzung des Apostelwerks noch im selben Jahr durchgeführt wurde. Weitere Restaurierungsaufgaben werden in den nächsten Jahren sukzessiv umgesetzt.

In dem Gutachten werden außerdem die technischen Funktionen aller Werke im Detail und mit zahlreichen Fotos erläutert, Bild 2-1. Basis hierfür sind die Ausarbeitungen von Prof. Schukowski, wobei durch aktuelle Fotos die Dringlichkeit einer zeitnahen Instandsetzung deutlich wird. Auf den notwendigen Finanzbedarf für diese Arbeiten kann in einer interaktiven Dokumentation hingewiesen werden, um die Besucher entsprechend zu sensibilisieren. Das Gutachten ist in seiner technischen Präzision hinreichend und bedarf keiner weiteren Ergänzungen.



Bild 2-1: Das Räderwerk des Hauptwerkes von der Aufzugseite gesehen ([Koc15], S. 7)

Digitale Dokumentation

Das Fraunhofer IPA AGP hat im Jahr 2012 die Fassade der Uhr mittels 3D-Laserscanner messtechnisch erfasst. Bei diesem Verfahren werden von mehreren Standpunkten aus eine

Vielzahl von rasterförmig angeordneten Oberflächenpunkten vermessen ($\approx 10^9$ Punkte pro Standpunkt). Diese Punkte werden anschließend am Computer zu einem Oberflächenmodell mit geschlossenen Flächen zusammengefügt. Ergänzend dazu werden Farbinformationen von Kameraaufnahmen mit dem Oberflächenmodell (CAD-Modell) verschmolzen, sodass insgesamt ein farbechtes 3D-Modell der Uhrenfassade am Computer erstellt wird, Bild 2-2.



Bild 2-2: 3D-Modell der Uhrenfassade ([Roh12], S.51)

Auch das Hauptuhrwerk der Uhr ist im selben Jahr am Computer rekonstruiert worden. Durch die räumliche Enge des Uhrwerks konnte der Laserscanner hier keine zuverlässigen Ergebnisse liefern. In aufwendiger Handarbeit wurden alle Bestandteile mit einfachen Messmitteln erfasst (Zollstock, Stahllineal, Messschieber), um anschließend 3D-Modelle der einzelnen Konstruktionselemente zu erstellen, darunter u.a. 9 Wellen, 16 Zahnräder sowie die Aufzieh-Mechanik und das Pendel, Bild 2-3.



Bild 2-3: Zusammengesetztes 3D-Modell des Hauptuhrwerkes ([Mös12] in [Wan13], S.52)

In einem anschließend produzierten Video werden die Funktionen des Hauptuhrwerks anhand des animierten Modells gezeigt und auf einer eingesprochenen Tonspur erläutert. Hierfür wurden zusätzlich noch der Apostelumgang und die Kalenderscheibe animiert, jedoch ohne eine vorherige 3D-Vermessung und Rekonstruktion wie für die Elemente des Hauptuhrwerks. Diese zwei Teile der Animation sind nur als Dummy im CAD-Modell modelliert worden.

Weitere Quellen

Zur astronomischen Uhr existieren eine Vielzahl an Bücher und Broschüren. Eine kleine Auswahl ist im Anhang 1 aufgeführt. Zusätzlich sind speziell für Besucher aufbereitete Dokumente in der Marienkirche verfügbar, die für eine interaktive Dokumentation als Quelle verwendet werden können.

Auf der Homepage der astronomischen Uhr werden zusammenfassende Texte mit passenden Fotos präsentiert, die auch in Form einer Anwendung für Smartphones kostenpflichtig zum Download bereit steht. Quelle für die dort gezeigten Informationen sind wiederum die Bücher von Prof. Schukowski, der auch Mitautor von Homepage und Anwendung ist.

3 Konzept zur technischen sowie interaktiven Dokumentation

Das zu erstellende Konzept einer interaktiven Dokumentation verfolgt das Ziel, alle zukünftig anfallenden Dokumentationsaufgaben zu definieren und voneinander zu trennen. Eine Orientierung am zu vermittelnden Inhalt ist hierfür maßgebend; daher werden in diesem Kapitel zunächst die relevanten Inhalte aufgeführt. Anschließend werden mögliche Medien für die Vermittlung der Informationen gesammelt und den Inhalten gegenübergestellt. Hierbei wird festgestellt, welche Medien für welche Inhalte geeignet sind. Aus der Eignung ergibt sich für jeden inhaltlichen Gliederungspunkt eine Auswahl an zu verwendenden Medien. Aus diesen Kombinationen können schlussendlich einzelne Arbeitskomplexe bzw. Dokumentationsaufgaben abgeleitet werden.

3.1 Themen und Inhalte

Für eine vollständige Darstellung aller relevanten Inhalte ist eine Strukturierung und Zusammenfassung zu Unterpunkten zweckmäßig und notwendig. Die folgende Aufstellung ermöglicht die Zuordnung aller vorhandenen Quellen zu einem der genannten Gliederungspunkte:

- Technische Funktion und Uhrwerke:
Es werden die Mechanik und die Mechanismen der Uhr betrachtet und erklärt. Die Funktion dieses mittelalterlichen Meisterwerks wird dem Besucher näher gebracht.
- Aufbau und Anzeige:
In engem Zusammenhang zum ersten Unterpunkt erscheint die Erklärung des Aufbaus der Uhr sowie der Bedeutung und Details der einzelnen Anzeigen.
- Chronologie und historischer Überblick:
Die Geschichte der Uhr und der wichtigsten Ereignisse werden in diesem Teil vorgestellt.
- Kunstgeschichte und Ikonografie:
Die künstlerische Bedeutung der Uhr und theologisch wichtige Details finden in diesem Kapitel Platz.
- Zeitauffassung und –verständnis:
Das Zeitverständnis speziell in Europa ist historisch gewachsen und unterlag immer wieder Umbrüchen. In diesen Kontext werden die astronomische Uhr und ihre Bedeutung für das Zeitverständnis eingeordnet.
- Dokumentationsprozess:
Die jüngsten Arbeiten zur Dokumentation der Uhr, u.a. die messtechnische Erfassung und Weiterverarbeitung durch das Fraunhofer IPA AGP, werden in diesem Teil erläutert.

- **Erhaltungszustand und Restaurierungsstatus:**
Durch den Uhrensachverständigen E. Koch ist ein umfangreiches Bild des Erhaltungszustands im Jahr 2015 entstanden. Daraus können Teile für Besucher von Interesse sein – auch, um für den finanziellen Bedarf des Restaurationsobjektes „Astronomische Uhr“ zu sensibilisieren.
- **Vergleich mit anderen astronomischen Großuhren:**
Regional, national und international gibt es einige erhaltene und teilweise funktionsfähige Großuhren. Ein Vergleich mit diesen kann die Einzigartigkeit der Rostocker Uhr hervorheben.

Bei einer interaktiven Dokumentation erfasst diese Aufstellung alle inhaltlichen Elemente, die in einer Präsentation den Besuchern zugänglich sein werden. Sie bilden die unterste und detaillierteste Ebene der Informationen ab. Eine Zusammenfassung einzelner Punkte erscheint zielgruppenabhängig sinnvoll und wird im Kapitel 4, das sich mit der Umsetzung der Dokumentation beschäftigt, näher betrachtet.

3.2 Einsetzbare Medien

Die Präsentation der Inhalte geschieht in Form von Medien. Für die Darstellung der astronomischen Uhr sind folgende Medien grundsätzlich denkbar, die anschließend kurz erläutert werden:

- Foto
- Video
- 3D-Animation
- Text geschrieben
- Text gesprochen
- Plastik
- Audiogeräusche

Foto

Es existieren bereits eine Vielzahl von aktuellen sowie historischen Fotografien der Uhr und ihrer Bestandteile. Für die jeweiligen Inhalte stehen ausreichend Fotos zur Verfügung und können für eine interaktive Dokumentation verwendet werden. Falls für sehr detaillierte Gliederungspunkte keine Fotos bereit stehen, so sind diese mit geringem Aufwand und kurzfristig erstellbar. Fotos vermitteln vor allem vom nicht zugänglichen Inneren und von kleinen Details einen anschaulichen Eindruck.

Video

Es gibt bisher nur eine professionelle Filmaufnahme der astronomischen Uhr Rostock. Im Jahr 2012 wurde vom lokalen Fernsehsender MV1 ein etwa vier minütiger Film produziert, der einen kurzen Einblick in die Uhr erlaubt.² Nach Möglichkeit sollte dieser Film auch in einer interaktiven Dokumentation zur Verfügung stehen.

Grundsätzlich erlauben Filme eine sehr anschauliche Vorstellung der Uhr im Gegensatz zu statischen Fotos. Der Aufwand für die Erstellung von Filmen ist aber ungleich höher.

3D-Animation

Für das Hauptuhrwerk sowie die Fassade der astronomischen Uhr wurden in den vergangenen Jahren CAD-Modelle durch das Fraunhofer IPA AGP erstellt. In mehreren Schritten wurden diese Modelle zusammengesetzt und in einem Animationsvideo verarbeitet. Dieses Video ist allerdings nicht interaktiv, sondern rein demonstrativ.

Denkbar wäre, dass Besucher an berührungsempfindlichen Bildschirmen das 3D-Modell drehen oder vergrößern können, um ein besseres Verständnis der einzelnen Funktionen und Anzeigen zu erlangen. Einzelne Bauteile könnten ausgeblendet oder mit zusätzlichem Text, Fotos und Videos erläutert werden. Von außen nicht sichtbare Teile des Uhrwerks können so den Besuchern näher gebracht werden. Allerdings existieren solche 3D-Modelle nicht für alle Teile der Uhr. So ist der Apostelumgang bislang nicht (vollständig) digitalisiert.

Text geschrieben

Zur astronomischen Uhr existieren bereits zahlreiche Texte, die für einige der Themen aus Kapitel 3.1 bereits in geeigneter Länge und Detailtiefe verfügbar sind. Die Werke von Prof. Schukowski sind hier die grundsätzliche Referenz. Zusammenfassungen davon sind auf der Homepage der astronomischen Uhr sowie in der Marienkirche als Printversion verfügbar. Geschriebenes hat im Allgemeinen einen sehr hohen und präzisen Informationsgehalt.

Text gesprochen

Für die Präsentation der Texte ist auch ein Vorlesen denkbar. Die gesprochenen Texte sollten identisch mit den geschriebenen sein, um keine Verwirrung hervorzurufen. Notwendigen Audiospuren müssen im Anschluss an die finale Textproduktion erzeugt werden.

Plastik

Da bereits CAD-Modelle der Uhrenfassade existieren, wäre eine Reproduktion in kleinem Maßstab denkbar. Eine aufgestellte Plastik erzeugt zusätzliche Aufmerksamkeit, welche sich anschließend auf die reale Uhr überträgt.

² Das Video ist bei YouTube abrufbar: „Die Astronomische Uhr“, veröffentlicht am 02.11.2012, zuletzt aufgerufen am 15.01.2016 unter: <https://www.youtube.com/watch?v=IFW6kk1B09s>

Für die astronomische Uhr der St.-Nikolai-Kirche in Stralsund ist ein komplettes Modell inklusive Uhrwerk nachgebaut worden³. Microcontroller steuern dort Schrittmotoren, welche die Zeigerbewegungen ausführen. Solch ein funktionsfähiges Modell ist sehr aufwendig zu entwerfen und zu fertigen. Für die astronomische Uhr in Rostock kommt ein statisches Oberflächenmodell ohne Funktionalität derzeit eher in Betracht. Zur Herstellung eignen sich additive Fertigungsverfahren, z.B. 3D-Druck. Hierbei wird in ein Bett aus PMMA-Pulver (Polymethylmethacrylat) ein Bindematerial schichtweise eingebracht. An diesen Stellen härtet das Bindemittel aus und hinterlässt letztendlich die zu erzeugende Struktur. In der Regel besitzt ein derart hergestelltes Modell keine Texturen, diese müssten anschließend manuell hinzugefügt werden. Das fertige Modell könnte in einem Gehäuse aus Plexiglas in der Kirche präsentiert werden.

Audiogeräusche

Zusätzlich zu den bisher primär visuellen Medien sind Geräusche denkbar, die dem Besucher aus dem alltäglichen Leben der Uhr einen auditiven Eindruck vermitteln. Aufnahmen des Tickens der Uhr, der Glockenwerke der Uhr und des Kirchturms sind hierfür denkbar. Zum klanglichen Alltag gehört aber auch moderner Umgebungsschall, der durch Besucher oder die vorbeifahrende Straßenbahn erzeugt wird und Teil des heutigen Gesamtbildes der Uhr ist.

3.3 Gegenüberstellung: Inhalt – Medien

Die erläuterten Inhalte und vorgestellten Medien werden in diesem Kapitel in einer Tabelle gegenübergestellt. In jeder Zelle dieser Matrix erfolgt eine Bewertung der Fähigkeit des jeweiligen Mediums, die Inhalte des jeweiligen Gliederungspunkt besucherwirksam zu präsentieren. Ein Bewertungsschema wird verwendet, um die einzelnen Abstufungen der Bewertung voneinander abzugrenzen, Tabelle 1.

Tabelle 1: Bewertungsschema der Medieneignung

Attribut	Machbarkeit	Aussagekraft	Eignung	Begeisterung
--	Nein			
-	Ja	Nein		
o	Ja	Ja	Nein	
+	Ja	Ja	Ja	Nein
++	Ja	Ja	Ja	Ja

Dieses Schema liest sich beispielhaft wie folgt:

Wenn die Bewertung mit dem Attribut „o“ erfolgt, so ist das Medium für den zugeordneten

³ Ansprechpartner hierfür ist Dipl.-Ing. (FH) Matthias Bartelt, M.Sc. von der TU Chemnitz

Inhalt technisch umsetzbar und besitzt auch Aussagekraft. Allerdings ist es nicht geeignet (i.d.R. weil ein anderes Medium besser geeignet ist). Bei der Bewertung mit „++“ erfüllt das Medium die gleichen Anforderungen wie das mit „o“ bewertete Medium, ist zusätzlich als geeignet einzustufen und schafft es oben drauf noch, beim Besucher Begeisterung auszulösen.

Mithilfe des Schemas (Tabelle 1) wird nun die Gegenüberstellung von Inhalte und Medien für jede mögliche Kombination mit einem Attribut bewertet, Tabelle 2.

Tabelle 2: Gegenüberstellung Inhalte – Medien

Themen und Inhalte \ Medien	Foto	Video	3D-Animation	Text geschrieben	Text gesprochen	Plastik	Audio-geräusche
Technische Funktion und Uhrwerke	o	+	++	o	+	+	+
Aufbau und Anzeige	+	o	-	+	++	--	--
Chronologie und historischer Überblick	+	-	--	+	++	--	--
Kunsthistorie und Ikonografie	+	o	--	+	++	--	--
Zeitauffassung und -verständnis	--	--	--	o	+	--	--
Dokumentationsprozess	+	+	o	o	+	--	--
Erhaltungszustand und Restaurierungsstatus	+	+	o	o	+	--	--
Vergleich mit anderen Uhren	+	o	--	o	+	--	--

Für jeden inhaltlichen Punkte lassen sich nun die Medien als geeignet einstufen, die mit „+“ oder „++“ bewertet wurden. Die so identifizierten Medien erlauben eine gute Darstellung der jeweiligen Inhalte; die Vermittlung der Inhalte wird sichergestellt.

3.4 Zusammenfassung zu Arbeitskomplexen

Im Ergebnis der Gegenüberstellung sind für die Gliederungspunkte geeignete Medien identifiziert worden. Je nach Thema sind unterschiedlich viele Medien für die Darstellung geeignet, wobei die endgültige Anzahl noch durch zusätzliche Bedingungen beeinflusst wird, die im nächsten Kapitel erläutert werden. Um dem Konzept der interaktiven Dokumentation eine erste Struktur zu geben, werden zunächst die bewerteten Elemente zu Arbeitskomplexen

zusammengefasst. Diese Arbeitskomplexe zeichnen sich durch große inhaltliche Abhängigkeiten aus.

Arbeitskomplex Technik

Zu *Technische Funktion und Uhrwerke* sind zu erstellen:

Video, 3D-Animation, gesprochener Text, Plastik, Audiogeräusche

Zu *Aufbau und Anzeige* sind zu erstellen:

Fotos, geschriebener Text, gesprochener Text

Arbeitskomplex Historie

Zu *Chronologie und historischer Überblick* sind zu erstellen:

Fotos, geschriebener Text, gesprochener Text

Zu *Kunsthistorie und Ikonografie* sind zu erstellen:

Fotos, geschriebener Text, gesprochener Text

Zu *Zeitauffassung und –verständnis* ist zu erstellen:

gesprochener Text

Arbeitskomplex Welterbedokumentation

Zum *Dokumentationsprozess* sind zu erstellen:

Fotos, Videos, gesprochener Text

Zu *Erhaltungszustand und Restaurierungsstatus* sind zu erstellen:

Fotos, Videos, gesprochener Text

Zu *Vergleich mit anderen Uhren* sind zu erstellen:

Fotos, gesprochener Text

Eine strikte Trennung der Inhalte wird es in der finalen Dokumentation vermutlich nicht geben, da die Übergänge teilweise fließend sind. In der Konzepterstellung wurde eine inhaltliche Unterteilung gewählt, um systematisch alle Inhalte erfassen und abbilden zu können. Eine logische Strukturierung unter Beachtung einer durchzuführenden Reihenfolge der einzelnen Arbeitsaufgaben folgt im nächsten Kapitel, nachdem dort die weiteren Bedingungen für die Umsetzung der interaktiven Dokumentation erläutert wurden.

4 Umsetzung der technischen sowie interaktiven Dokumentation

Nachdem das Konzept für die technische und interaktive Dokumentation erarbeitet wurde gilt es nun, die Umsetzung der Arbeitskomplexe zu entwickeln. Dafür wird die Zielgruppe der Dokumentation analysiert und aufgezeigt, welche Schlussfolgerungen sich daraus für die Umsetzung ergeben. Anschließend folgen zu berücksichtigende Bedingungen bei der Gestaltung einer interaktiven Dokumentation. Aus den gegebenen Bedingungen sowie mit den bekannten Medien und Inhalten aus dem vorangegangenen Kapitel werden Überlegungen zur Präsentationstechnik erarbeitet. Eine logische Reihenfolge der Bearbeitung der Arbeitspakete wird aufbauend mit einem Netzplan festgelegt. Abschließend wird versucht, die gebildeten Arbeitspakete in ihrem Umfang abzuschätzen.

4.1 Analyse der Zielgruppe

Zunächst muss analysiert werden, wer sich hinter dem Begriff des Besuchers verbirgt. Daher wird nun versucht „den Besucher“ zu charakterisieren, um direkt Rückschlüsse für die Präsentation der Inhalte und die Verwendung der Medien zu gewinnen. Folgende Faktoren müssen Berücksichtigung finden:

Herkunft der Besucher

Erfreulicherweise können nicht nur deutschsprachige Besucher in der Marienkirche begrüßt werden. Leider können nicht alle benötigten Sprachen mit einem vertretbaren Aufwand Berücksichtigung finden. Als guter Kompromiss haben sich die Sprachvarianten in Deutsch, Englisch und Spanisch bereits in der touristischen Präsentation der Marienkirche bewährt. Diese sollten auch bei einer interaktiven Dokumentation der astronomischen Uhr Verwendung finden.

Tiefe des Interesses

Nicht jeder Besucher möchte Zeit und Willen aufbringen, sich mit allen Details einer interaktiven Dokumentation eingehend zu beschäftigen. Dieser Umstand kann berücksichtigt werden, indem für eine überblicksartige Präsentation eine Kurzform erarbeitet wird. Hierbei werden nicht alle Gliederungspunkte von Kapitel 3.1 behandelt bzw. können einige zusammengefasst werden. Ergänzend dazu ist eine Langform verfügbar, in der alle inhaltlichen Themen präsentiert und abgerufen werden können. Für die Umsetzung der interaktiven Dokumentation sind somit für jeden inhaltlichen Gliederungspunkt eine Kurz- und eine Langversion zu erstellen.

Alter der Besucher

Den Großteil der Besucher machen Erwachsene aus. Doch auch Kindern muss die astronomische Uhr leicht zugänglich gemacht werden. Neben der vorgeschlagenen Kurz- und Langform der Präsentation ist auch eine komprimierte Form der interaktiven Dokumentation denkbar, die die Anforderungen an den jüngsten Teil der Zielgruppe erfüllt. Das könnte z.B. durch einen leichter verständlichen Text und ein anderes Bild-Text-Verhältnis geschehen.

Barrierefreiheit

Die astronomische Uhr der St. Marienkirche zu Rostock soll für alle Besucher erlebbar sein – unabhängig von körperlichen oder geistigen Einschränkungen. Bei allen Arbeitsaufgaben ist zu prüfen, inwiefern ein barrierefreier Zugang für alle Besucher ermöglicht werden kann. Dazu gehören insbesondere:

- **Einschränkungen der Beweglichkeit:** Besucher mit Rollstuhl müssen einen ungehinderten Zugang zu den Medien erhalten. Eventuell verwendete Bildschirme dürfen nicht zu hoch angebracht werden.
- **Farbenblindheit:** Wenn erklärende Texte zu Bildern, Videos und Animationen sich auf Details im visuellen Medium selber beziehen, so ist sicherzustellen, dass diese Details durch entsprechenden Kontrast sichtbar werden und nicht durch unterschiedliche Farben.
- **Höreinschränkungen:** Vorgelesene Texte müssen deutlich und langsam gesprochen werden. Die Lautstärke muss am Ausgabegerät durch den Besucher einstellbar sein. Für höreingeschränkte Menschen können Hintergrundgeräusche sehr störend sein. Insofern sind Geräusche im Hintergrund vorgelesener Texte zu vermeiden.
- **Hör- und Seheinschränkungen:** Generell ist darauf zu achten, dass vorgelesene Texte auch immer mit angezeigt werden. Dann ist sichergestellt, dass höreingeschränkte Besucher den Text lesen können und gleichzeitig seheingeschränkte Menschen Zugang zu den Informationen bekommen. Ferner können Besucher mit Analphabetismus oder Leserechtschreibschwäche ebenfalls alle Inhalte erfassen.

4.2 Äußere Bedingungen für die Umsetzung

Bei der Umsetzung der Arbeitskomplexe sind zusätzlich Randbedingungen zu berücksichtigen, die durch folgende zwei Einflussgrößen definiert werden.

Spannungsfeld: Museum – sakraler Raum

Die Marienkirche ist ein fast 800 Jahre alter sakraler Raum und darf durch eine interaktive Dokumentation – gleich welcher Ausgestaltung – nicht mit einem Museum verwechselt werden. Der sakrale Charakter ist nicht nur zu erhalten, sondern möglichst wenig zu stören. Die

räumliche Position der Uhr hinter dem Hauptaltar kommt einer diskreten Präsentation der Dokumentation zwar entgegen, dennoch sollte eine technische Ausrüstung den Kirchenraum nicht belasten. Ferner sollte eine Vermittlung von Audiogeräuschen oder gesprochenem Text nur über Kopfhörer ermöglicht werden.

Auflagen Weltkulturerbe

Für die Dokumentation einer Welterbestätte sind von Seiten der UNESCO keine weiteren Auflagen zu erfüllen. Allerdings werden u.U. Teile der Dokumentation im späteren Aufnahmeverfahren für die Tentativ-Liste berücksichtigt. Hierbei muss klar der Charakter als Welterbe-Kandidat – also die Erfüllung der Aufnahmekriterien – zu erkennen sein. Das sollte sich an den entsprechenden Stellen auch im Text der Dokumentation wiederfinden.

4.3 Erstellung der Inhalte

Die bisher erstellten 3D-Modelle von Uhrenfassade und Hauptwerk können sehr gut für eine interaktive Dokumentation verwendet werden, da diese auch für Laien die technische Funktion anschaulich erläutern. Weiterhin werden für den Besucher nicht zugängliche Bereiche der Uhr sicht- und erlebbar. Ergänzende 3D-Modelle der restlichen Werke würden die Präsentation komplettieren. Allerdings ist die Aufnahme und Erstellung solcher Modelle sehr aufwendig. Für die interaktive Dokumentation wird daher vorgeschlagen, zusätzlich zum bisherigen Stand nur noch den Apostelumgang inklusive dazugehöriger Mechanik vollständig aufzunehmen. Damit wären alle von außen sichtbaren Teile der Uhr und die augenscheinlich wichtigsten Werke in der interaktiven Dokumentation nachvollziehbar. Nach der Vermessung kann das 3D-Modell der Uhr vervollständigt und das bereits vorhandene Animationsvideo überarbeitet werden.

Die weiteren, in einer interaktiven Dokumentation gezeigten Inhalte (Text, Abbildungen, Fotos usw.) werden aus den vorhandenen Quellen generiert (Kapitel 2). Für alle Arbeitskomplexe sind das Gutachten von E. Koch sowie sämtliche Werke von Prof. Schukowski als geeigneter Bezug zu verwenden.

4.4 Präsentationstechnik

Zur Darstellung der Medien kommen grundsätzlich mehrere Möglichkeiten in Betracht:

- Monitore: Diese können Inhalte lediglich anzeigen und erlauben keine Benutzereingaben. Daher sind sie für eine interaktive Dokumentation ungeeignet.
- Tablet-Computer: Diese erlauben ein interaktives Erlebnis, erfordern aber im täglichen Betrieb viele Kapazitäten für Wartung, Reinigung und Reparatur. Ferner sind

weder Räumlichkeiten noch Personal vorhanden, um die Ausgabe der Geräte an einzelne Besucher zu organisieren.

- Smartphones: Über ein lokal zu installierendes WLAN oder über Mobilfunk wäre es möglich, durch in der Kirche anzubringende QR-Codes o.Ä. das Abrufen von Inhalten zu ermöglichen. Allerdings verfügen nicht alle Besucher über ein Smartphone oder wollen ihres bewusst nicht in einer Kirche verwenden. Ferner läge die Kontrolle über die Audioausgabe bei den Besuchern und könnte für andere Gäste als störend empfunden werden.
- Terminals mit berührungsempfindlichen Bildschirmen: Diese Geräte eignen sich für eine interaktive Dokumentation am besten und werden daher für den Betrieb in der Marienkirche empfohlen. Im Folgenden werden sie näher betrachtet.

Stationäre Terminals werden über einen berührungsempfindlichen Bildschirm vom Besucher gesteuert. Auf einer noch zu programmierende Benutzeroberfläche werden alle erläuterten Inhalte abrufbar sein: es können Videos, Animation, Bilder und Texte verknüpft werden. Im kulturhistorischen Museum Rostock werden solche Geräte bereits verwendet und sollen hier beispielhaft gezeigt werden, Bild 4-1.

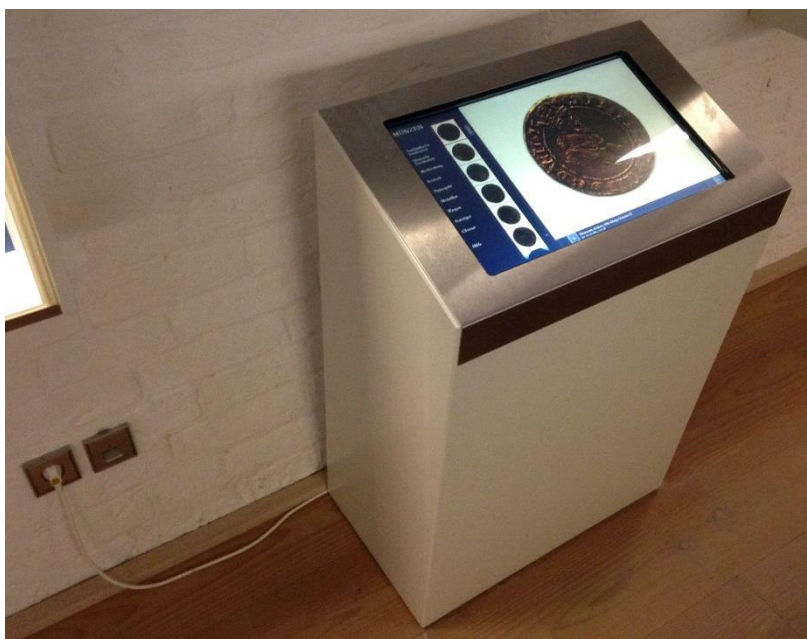


Bild 4-1: Terminal mit berührungsempfindlichem Bildschirm im kulturhistorischen Museum Rostock

Die Audioausgabe kann über zusätzliche Kopfhörer erfolgen. Für den Bereich der Museumsgestaltung gibt es eine Vielzahl Anbieter mit unterschiedlichen Lösungen, die ihre Geräte mit verschiedenen Hard- und Software-Optionen anbieten. So ist bei manchen Herstellern eine Software-Lösung Bestandteil des Produkts, in der mit einfachen Drag&Drop-Aktionen (Ziehen und Ablegen) Benutzeroberflächen erzeugt werden können. Konfigurationen der Hardware umfassen z.B. unterschiedliche Bildschirmgrößen, die Anzahl der anschließbaren Kopfhörer oder eine Höhenverstellung des gesamten Terminals.

Vermutlich würde ein einzelnes Terminal der Menge der Besucher (gerade in den Sommermonaten) nicht gerecht werden. Unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten sollten mehrere Geräte in der Nähe der Uhr aufgestellt werden. Zu beachten ist, dass jedes Gerät auch Wartung, Pflege und Reinigung benötigt – aber der Aufwand dafür muss gering gehalten und bereits bei der Auswahl der Geräte bedacht werden.

Mit berührungsempfindlichen Terminals können die genannten Anforderungen an die Umsetzung der Dokumentation gut Berücksichtigung finden. Gleichzeitig erlauben sie eine einfache und interaktive Art der Informationsvermittlung.

4.5 Strukturierung der Arbeitskomplexe

Die erarbeiteten und zusammengefassten Arbeitskomplexe aus Kapitel 3.4 liegen in einer Aufzählung vor. Zusammen mit den Bedingungen und Vorschlägen für die Umsetzung der Dokumentation, die bisher in diesem Kapitel erfasst wurden, kann eine strukturierte Darstellung erarbeitet werden, die Abhängigkeiten und Reihenfolgen zwischen den und innerhalb der Komplexe ebenfalls berücksichtigt. Mithilfe eines Netzplans kann diese Übersicht gelingen, Bild 4-2: Strukturierung der Arbeitskomplexe mit einem Netzplan. Im Folgenden werden ausgewählte Pfade des Netzplans kurz erläutert:

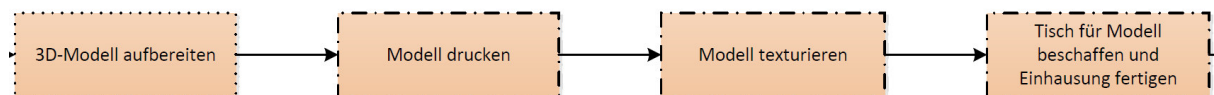


Bild 4-3: Netzplanpfad zur Erstellung der Plastik

Zielführend ist es, das Medium „Plastik“ aus dem ursprünglichen Arbeitskomplexe Technik heraus zu lösen, Bild 4-3. Dieses nimmt eine Sonderstellung ein und wird als separat durchzuführende Aufgabe betrachtet, die ohne weitere Bedingungen in folgender Reihenfolge sofort begonnen werden kann:

- Aufbereitung des 3D-Modells: Umwandeln des vorhandenen Modells in das STL-Format; anschließend Behebung der typischen Fehler wie Überlappungen, Lücken oder Fehlorientierungen (Arbeitsschritt unabhängig vom später gewählten Fertigungsverfahren)
- Modell mit einem gewählten Fertigungsverfahren drucken (i.d.R. einfarbig, u.U. mehrfarbig)
- Gedrucktes Modell texturieren: zur besseren Anschauung das Modell mit verschiedenen, realitätsnahen Farben versehen
- Tisch für Modell beschaffen, Einhausung fertigen und zum Aufstellungsort transportieren

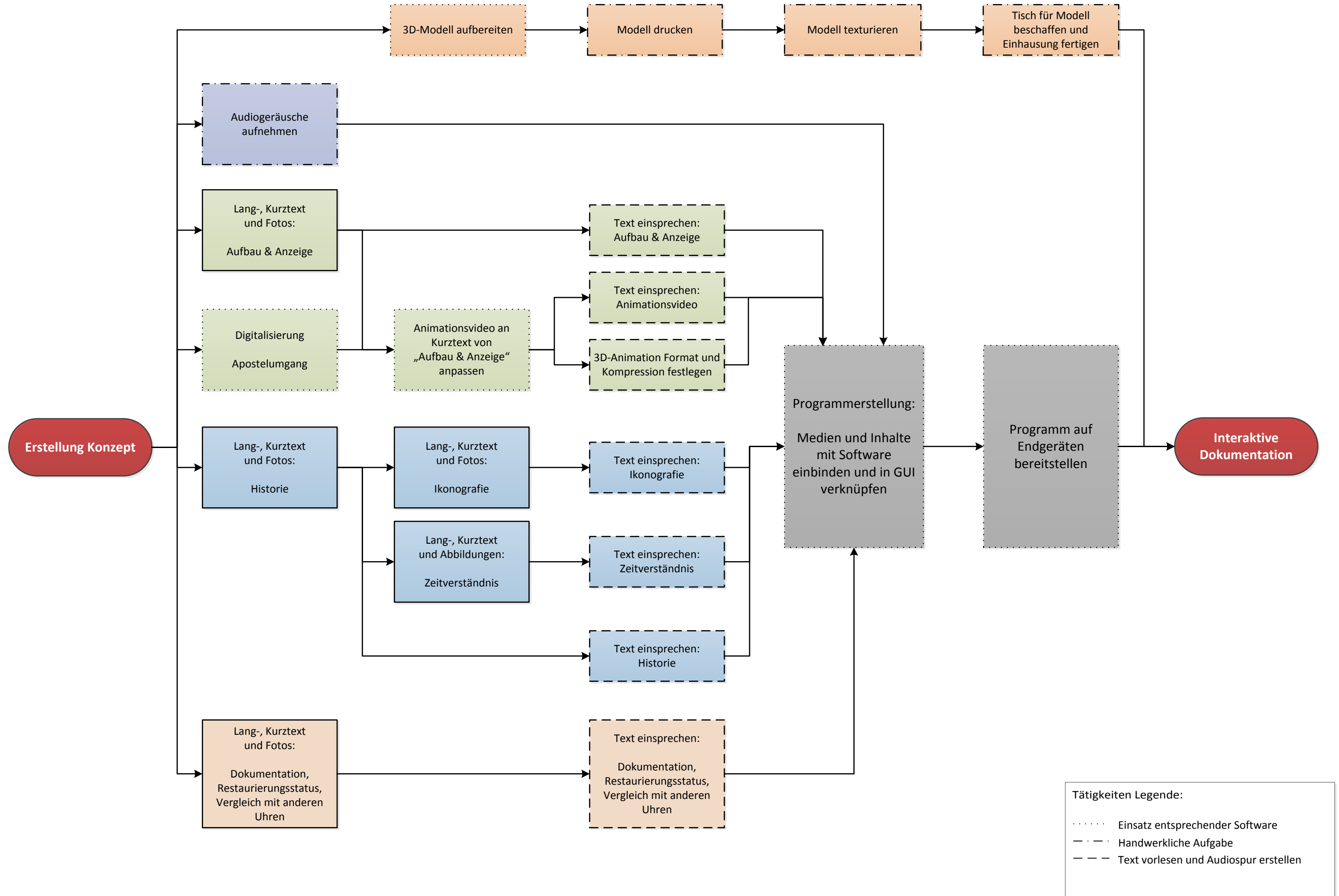


Bild 4-2: Strukturierung der Arbeitskomplexe mit einem Netzplan

Auch das Medium „Audiogeräusche“ kann unabhängig von den Inhalten bereitgestellt werden. Ähnlich wie die Plastik wird diese Aufgabe aus den anderen Aufgabenkomplexen herausgelöst betrachtet, da hierfür keine weiteren Bedingungen erfüllt werden müssen.

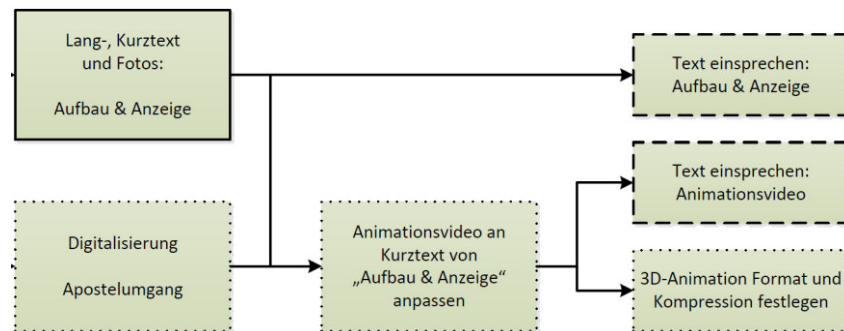


Bild 4-4:Netzplanpfad Arbeitskomplex Technik

Die Digitalisierung des Apostelumfangs kann sofort begonnen werden, Bild 4-4. Parallel dazu können Texte mit Abbildungen zu dem Thema Technik formuliert werden. Das Animationsvideo wird dann auf die Länge der Texte angepasst. Im Anschluss werden die Texte eingesprochen und stehen dann für die Implementierung im Programm zur Verfügung.

Die Arbeitskomplexe Historie und Welterbedokumentation (in Bild 4-2 unter Arbeitskomplex Technik) bestehen aus der jeweiligen Texterstellung und dem anschließenden Einsprechen der Audiospuren. Schließlich kann das Programm erstellt werden, welches auf den späteren Endgeräten abrufbar sein wird. Hierfür wird eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) entwickelt, auf der alle Inhalte dargestellt und abgerufen werden können. Auch bereits fertig Elemente, wie die Fernsehaufnahmen des Senders MV1, werden hier zu finden sein.

Entgegen der Anforderung aus Kapitel 4.1 auch eine Kinderversion zu erstellen, ist diese Aufgabe im Netzplan (Bild 4-2) vorerst nicht vertreten. Für eine didaktisch zielführende Dokumentation für Kinder wäre die vollständige Erwachsenenversion inhaltlich aber zu umfangreich. Vorgeschlagen wird daher, nach Fertigstellung der vollständigen Version eine separate Dokumentation für Kinder zu erarbeiten, die die wichtigsten Inhalte aus den verschiedenen Kapiteln zusammenfasst. Zusätzlich können hier auch spielerische Möglichkeiten der Inhaltsvermittlung Anwendung finden.

4.6 Umfang einzelner Arbeitspakete

Der erstellte Netzplan definiert eine logische Reihenfolge in der Bearbeitung, um eine konsistente Dokumentation sicherzustellen. Da die Arbeitsaufgaben nun voneinander abgegrenzt sind, kann der Arbeitsumfang für einzelne Pakete abgeschätzt werden. Aufbauend kann eine Eignung für studentische Arbeiten festgestellt und Ansprechpartner können benannt werden.

Aufgabe: Digitalisierung des Apostelumgangs und Anpassung des Animationsvideos	Studiengang: B. Maschinenbau	Studentische Arbeit: Bachelor-Arbeit (12 CP) oder Projekt Maschinenbau für 2 Studenten (2 x 6 CP)
Ansprechpartner: Michael Geist, Lisa Knaack (Fraunhofer IPA AGP)		

Aufgabe: Erstellung der Plastik aus vorhandenem 3D-Modell	Studiengang: B. Maschinenbau	Studentische Arbeit: wissenschaftliche oder studentische Hilfskraft
Ansprechpartner: Michael Geist, Lisa Knaack (Fraunhofer IPA AGP) Mark Schult (Lehrstuhl Mikrofluidik) – siehe Anhang 3		

Aufgabe: Kurz- und Langtexterstellung für alle Arbeitskomplexe	Studiengang: Geschichte, Lehramt	Studentische Arbeit: Seminarleistung, Hausarbeit, studentische Hilfskraft
Ansprechpartner: Michael Geist, Lisa Knaack (Fraunhofer IPA AGP) (Prof. Dr. Oliver Plessow (Geschichtsdidaktik))		

Aufgabe: Erstellung einer interaktiven Dokumentation für Kinder	Studiengang: Grundschullehramt	Studentische Arbeit: Leistung im Seminar „Historisches Lernen“
Ansprechpartner: Dr. Ricarda Grübler (Lehrstuhl Grundschulpädagogik)		

Aufgabe: Programmerstellung: GUI und Verknüpfung der Inhalte	Studiengang: B. Maschinenbau, B. Informatik	Studentische Arbeit: Bachelor-Arbeit (12 CP) oder Projekt Maschinenbau für 2 Studenten (2 x 6 CP)
Ansprechpartner: Michael Geist, Lisa Knaack (Fraunhofer IPA AGP)		

Aufgabe: Audiogeräusche aufnehmen	Studiengang: -	Studentische Arbeit: -
Ansprechpartner: Prof. Dr. Fedor Mitschke		

5 Zusammenfassung

Die astronomische Uhr in der St.-Marienkirche zu Rostock ist ein technisches Erbe von Welt-rang. Ihre Einzigartigkeit muss einem breiten Publikum zugänglich und verständlich gemacht werden. Hierfür ist eine interaktive Dokumentation zu erarbeiten, die die heutigen techni-schen Möglichkeiten der Vermittlung berücksichtigt.

Dafür wurde in dieser Studienarbeit zunächst ein Konzept erarbeitet, um den inhaltlichen Themen passende Medien zuzuordnen. Anschließend wurden Bedingungen für die Umset-zung dieses Konzepts formuliert. Die Erstellung der Inhalte der interaktiven Dokumentation geschieht auf Basis der vorhandenen, vielfältigen Quellen. Als Präsentationstechnik werden Terminals mit berührungsempfindlichen Bildschirmen vorgeschlagen, da diese die genann-ten Bedingungen am besten erfüllen können. Zur Strukturierung der Arbeitskomplexe steht ein Netzplan zur Verfügung, der als Leitfaden für die Abfassung der interaktiven Dokumenta-tion verwendet werden kann. Abschließend formulierte Aufgabenbeschreibungen erlauben dafür ein zielgerichtetes Vorgehen und eine Orientierung für studentische Arbeiten.

Eine interaktive Dokumentation kann die astronomische Uhr einem breiteren Publikum zu-gänglich machen und trägt somit zum Staunen über und Bewusstsein für dieses großartige Werk bei.

Literatur

- [Isg16] Innerstadtgemeinde Rostock (Hrsg.): Die astronomische Uhr der St. Marien-Kirche zu Rostock: Der Kalenderraum, zuletzt aufgerufen am 05.01.2016, 21:46 Uhr, URL: <http://www.astronomischeuhr.de/files/aufbau2.htm>
- [Koc15] Koch, Ekkehard: Die Astronomische Uhr in der St.-Marien-Kirche zu Rostock, Gutachten über den Zustand, für die Pflege und Empfehlungen für eine Restaurierung der astronomischen Uhr und deren Werke, Teil I Das Hauptwerk, „Gehwerk“, Georgsmarienhütte, 31.07.2015
- [Mös12] Möschner, Christine: Digitalisierung und Modellierung eines historischen Uhrwerks einer astronomischen Uhr, Bachelorarbeit an der Universität Rostock, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, 26.03.2012
- [Roh12] Rohs, Ronny: Erstellung eines 3D-Modells der Astronomischen Kirchenuhr (Außenfassade) zu Rostock, basierend auf Daten von terrestrischem Laserscanning, Projektarbeit an der Universität Rostock, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, 31.08.2012
- [Une16] UNESCO (Hrsg.): Kriterien für die Aufnahme in die UNESCO-Welterbeliste, zuletzt aufgerufen am 05.01.2016, 21:10 Uhr, URL: <http://www.unesco.de/kultur/welterbe/welterbe-richtlinien/welterbe-aufnahmekriterien.html>
- [Wan13] Wandsleb, Richard: Animation der Astronomischen Uhr der St.-Marien-Kirche zu Rostock, Bachelorarbeit an der Universität Rostock, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, 23.09.2013

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Studienarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Studien- oder Prüfungsleistung war.

Rostock, 25.02.2016

Ulrich Streckfuß

Anhang

1. Literaturhinweise

Endert, R.: Eine Uhr erzählt, Thomas Helms Verlag, Schwerin 2014

Schukowski, M.: Wunderuhren. Astronomische Uhren in Kirchen der Hansezeit, Thomas Helms Verlag, Schwerin 2006, Hier: zahlreiche weitere Literaturhinweise

Schukowski, M.: Die astronomische Uhr der St.-Marien-Kirche zu Rostock, Schriftenreihe der St.-Marien-Kirche zu Rostock, 2015

Schukowski, M.: Die Astronomische Uhr in St. Marien zu Rostock, Die blauen Bücher, Königstein/Taunus 2010

Schukowski, M.; Helms, T.: Sonne, Mond und zwölf Apostel, Thomas Helms Verlag, Schwerin

2. Definition Weltkulturerbe

Die astronomische Uhr in Rostock ist in ihrer historischen Echtheit und Unversehrtheit weltweit einmalig. Zwar gibt es durchaus Uhren die älter sind⁴ und viele erhaltene Uhren, die bis heute ihren Dienst verrichten⁵. Die Rostocker Uhr aber ist im technischen Originalzustand und wird noch heute jeden Tag per Hand aufgezogen. Für astronomische Uhren hat sie ein sehr detailreiches Astrolabium und Kalendarium. In dieser Kombination ist sie einzigartig.

Der Weg zum Titel „UNESCO-Welterbestätte“ ist lang (i.d.R. 5-10 Jahre bis zur Anerkennung) und keineswegs einfach oder von geringer Komplexität. Die Kriterien zur Aufnahme auf die Vorschlagsliste (Tentativ-Liste) eines Landes sind primär: Einzigartigkeit, Authentizität (historische Echtheit) und Integrität (Unversehrtheit) [Une16]. Der außergewöhnlich universelle Wert eines Gutes wird ferner durch ein oder mehrere der folgenden Kriterien belegt. Güter sollten:

- i. „ein Meisterwerk der menschlichen Schöpferkraft darstellen

⁴ Die astronomische Uhr in Stralsund bspw. wurde um das Jahr 1390 erbaut und ist damit zwar älter als das aktuelle Rostocker Exemplar. Jedoch hat sie ihre Funktion bereits vor etwa 500 Jahren wieder eingestellt und erinnert als stiller Zeuge in St. Nikolai an längst vergangene Zeiten.

⁵ Zum Beispiel die astronomische Uhr am Rathaus von Prag von 1410. Sie blieb in ihrer langen Geschichte oft stehen und wurde im Rahmen einer Modernisierung und Reparatur 1967 mit elektrischen Aufzügen versehen.

- ii. für einen Zeit- oder in einem Kulturgebiet der Erde einen bedeutenden Schnittpunkt menschlicher Werte in Bezug auf Entwicklung (...) der Technik (...) aufzeigen
- iii. ein einzigartiges oder zumindest außergewöhnliches Zeugnis von einer kulturellen Tradition (...) darstellen
- iv. ein hervorragendes Beispiel eines (...) technologischen Ensembles (...) darstellen, die einen oder mehrere bedeutsame Abschnitte der Menschheits-Geschichte versinnbildlichen...“ [Une16]

Die interaktive Dokumentation, die mit der vorliegenden Arbeit strukturiert erstellt werden kann, wird im besten Fall den Bewerbungsprozess um den Welterbetitel unterstützen können. Gewiss aber wird im Angesicht dieser möglichen Auszeichnung die Bedeutung der astronomischen Uhr für die Hansestadt Rostock sichtbar.

3. Herstellung der Plastik

Für die Herstellung der Plastik wird aus mehreren Gründen 3D-Druck empfohlen:

- Die Geometrie des Uhrwerks ist sehr komplex und daher mit konventionellen Fertigungsverfahren (Drehen, Fräsen) sehr aufwendig zu erstellen.
- Am Lehrstuhl für Mikrofluidik der Universität Rostock stehen einige Maschinen zur additiven Herstellung zur Verfügung. Die Maschine mit dem größten Bauraum ist die Voxeljet VX500 mit möglichen Modellabmessungen von 500x400x300 mm. Diese arbeitet nach dem 3D-Druck-Verfahren: Bindemittel wird punktuell in ein Bad aus PMMA-Pulver (Polymethylmethacrylat) eingebracht und härtet aus.
- Mit 3D-Druck hergestellte Teile sind mechanisch nicht sehr belastbar, sondern lediglich für Anschauungszwecke geeignet – und damit für ein Modell der astronomischen Uhr
- Das fertige Modell ist relativ leicht zu texturieren.

Zu beachten ist weiterhin:

- Der zur Verfügung stehende Bauraum kann nicht ganz verwendet werden (1 mm Reserve)
- Die kleinsten Elemente des Modells sollten mindestens 1 mm dick sein, da diese sonst beim Drucken abbrechen können
- Bei der Zeitplanung zum Drucken Vorlaufzeit von mindestens 4 Wochen beachten
- Ansprechpartner Mark Schult, M.Sc. erklärt weitere Verfahrenshinweise