



Traditio et Innovatio

Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik Lehrstuhl für Fertigungstechnik

Bachelorarbeit

Animation der Astronomischen Uhr der St.-Marien-Kirche zu Rostock

vorgelegt von:	Richard Wandsleb
Matrikel-Nr.:	210207364
Bachelor-Studiengang:	Maschinenbau
Bearbeitungszeitraum:	4 Monate
Erstgutachter:	Prof. DrIng. MC. Wanner
Zweitgutachter:	M.Ing. L. Knaack

Rostock, 23. September 2013

In	ha	Its	ve	rze	eic	hn	is

Abbildungsverzeichnis			
Tabellenverzeichnis	V		
Abkürzungsverzeichnis	. VI		
1 Einleitung	1		
2 Zur Rostocker Astronomischen Uhr	2		
2.1 Geschichte	2		
2.2 Aufbau und Bestandteile der Uhr	4		
2.2.1 Oberer Aufsatz und seitlicher Rahmen	5		
2.2.2 Obere Anzeigen des Zeitzifferblattes) 0		
2.2.3 Untere Anzeigen des Kalendahums	0 Q		
3 Software und Datengrundlage	.12		
3.2 Rhinoceros 3D 4.0	. 12		
3.3 Autodesk 3ds Max 2013	.13		
3.4 Adobe Photoshop CS6	.13		
3.5 Adobe After Effects CS6	.13		
3.6 Apple iMovie	.14		
3.7 Datengrundlage	.14		
4 Durchführung	.16		
4.1 Vorüberlegungen	.16		
4.2 Bearbeitung der Kalenderscheibentextur	.17		
4.3 Neumodellierung einzelner Teile	.18		
4.4 Vereinigung und Übergabe der Modelle	.19		
4.5 Modellaubereilung mit Sus Max	. 22		
4.5.2 Farbaebung	.27		
4.5.3 Texture Mapping	.28		
4.5.4 Glaskörpersimulation	.31		
4.5.5 Erweiterung des Uhrenaufsatzes	.31		
4.5.6 Korrektur fehlerhafter Darstellungen	.33		
4.6 Drehbucherstellung	.36		
4.7 Animation mit 3ds Max	.37		
4.7.1 Demmuon der fühlten Zusammennange	.31		
4.7.2 Therstellung der Lichtverhältnisse	42		
4.7.4 Bewegungsanimation der Uhrenteile	.45		
4.8 Erstellung des Videos	.48		
4.8.1 Rendering mit 3ds Max	.48		
4.8.2 Rendering mit After Effects	.49		
4.8.3 Hinzufügen der Audiospur und Fertigstellung mit iMovie	.50		
5 Ergebnisdarstellung	.51		
5.1 Funktionsweise des Uhrwerks	.51		
5.2 Zusammenspiel der Uhrscheibenanzeigen	.54		
5.3 Beschreibung der Apostelszenerie	.59		

Į	5.4	Informationen der Kalenderscheibe	60	
6	Zu	sammenfassung	64	
7	Au	sblick	65	
Da	inks	agung	66	
Lit	erat	tur- und Quellenverzeichnis	67	
Eic	Eidesstattliche Erklärung			
An	han	ngA	\-1	

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Astronomisches Uhrenpaar, in Danzig (links) und in Rostock	2
Abb. 2.2: Die neue Kalenderscheibe	4
Abb. 2.3: Die Rostocker Astronomische Uhr	5
Abb. 2.4: Der obere Aufsatz	6
Abb. 2.5: Die quadratische Uhrscheibe	7
Abb. 2.6: Der Kalenderraum	8
Abb. 2.7: Das Hauptwerk der Uhr	10
Abb. 2.8: Stundenschlag- und Musikwerk im gemeinsamen Rahmen (links) mit	
Glockenspiel	11
Abb. 3.1: computergrafische Modelle: v.l. Hauptwerk mit Zeigerwerk, Chorpfeiler	u.
inneres Balkenwerk, Außenfassade der Uhr, Apostelumlauf	15
Abb. 4.1: Retuschieren des verdeckenden Zeigers	17
Abb. 4.2: unabhängiges Modell einer neu angefertigten Tür	19
Abb. 4.3: Vollständig definierte Uhr vor dem Pfeiler-Modell	21
Abb. 4.4: Programmoberfläche von Rhino mit importiertem Gesamtmodell	22
Abb. 4.5: Benutzeroberfläche von 3ds Max mit unbearbeitetem Modellrohling	23
Abb. 4.6 Material-Editor mit einer ersten Standardvorauswahl	24
Abb. 4.7: Farbauswahlfenster	25
Abb. 4.8: Material-/Map-Browser und Bitmap-Auswahl	25
Abb. 4.9: Mit Bitmap verknüpfte Materialkachel	26
Abb. 4.10: Optionsfenster für die Lichtwechselwirkung	27
Abb. 4.11: Erste braun eingefärbte Teile der Uhr	28
Abb. 4.12: Auswahl der Mondphasenscheibe	29
Abb. 4.13: Säulenzylinder mit angepassten Bitmaps	30
Abb. 4.14: Drei der 6 seitlichen Fenster	31
Abb. 4.15: Platzierung der bearbeiteten Jesusfigur	32
Abb. 4.16: Der erweiterte Aufsatz des Modells	32
Abb. 4.17: v.l. Vorschau, fehlerhaftes und korrigiertes Renderbild des rechten	
Pfeilers	34
Abb. 4.18: Fertig eingefärbtes und mit Texturen belegtes 3D-Modell	35
Abb. 4.19: Option zur Veränderung des Körperdrehpunktes	38

Abb. 4.20: Auswahlreihenfolge für die Zuweisung von Parameterabhängig	gkeiten39
Abb. 4.21: Fenster für die Parameterverknüpfung	40
Abb. 4.22: Lichtquellen	43
Abb. 4.23: Kamera und deren Pfad	44
Abb. 4.24: Bewegungskurvenverlauf des Pendels	45
Abb. 4.25: Die zu animierenden Teile des Uhrwerks	46
Abb. 4.26: Die Animation des Apostelumgangs	47
Abb. 4.27: Der Rendering-Prozess in 3ds Max	48
Abb. 4.28: After-Effects-Oberfläche mit eingefügter Bildsequenz	49
Abb. 4.29: Aufnahme der Tonspur in iMovie	50
Abb. 5.1: Animiertes Hauptwerk mit Zeigerwerk, Frame #1398	52
Abb. 5.2: Schema des Haupt- und Zeigerwerks	53
Abb. 5.3: Animierte Uhrscheibenanzeigen, Frame #2710	54
Abb. 5.4: Vergrößerte Darstellung der animierten Sebes-Scheibe	57
Abb. 5.5: Vergrößerte Darstellung der animierten Planetenuhr	58
Abb. 5.6: Erweiterter und animierter Apostelumlauf, Frame #3920	60
Abb. 5.7: Vergrößerte Darstellung der animierten Kalenderscheibe	61
Abb. A-1: Erläuterte Benutzeroberfläche von 3ds Max	A-1

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Übersetzungsverhältnisse für das Hauptwerk	41
Tabelle 4.2: Übersetzungsverhältnisse für die Uhrscheibenanzeige	42
Tabelle A-2: Drehbuch	45

Abkürzungsverzeichnis

0	Grad
2D/3D	zweidimensional/ dreidimensional
3DS	Speicherformat von Autodesk 3ds Max
ASM	Assembly
CAD	Computer-Aided Design
CS	Creative Suite
d	Durchmesser
DXF	Drawing Interchange Format
f	Frequenz
GB, kB, MB	Gigabyte, Kilobyte, Megabyte
GIF	Graphics Interchange Format
h, s	Stunde, Sekunde
HDTV	High Definition Television
i	Übersetzungsverhältnis
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
JPEG	Joint Photographic Experts Group
kg	Kilogramm
m, cm, mm	Meter, Zentimeter, Millimeter
MOV	QuickTime Movie
n	Anzahl
NURBS	Non-Uniform Rational B-Spline
PRT	Part
r	Radius
Rhino	Rhinoceros 3D
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
Strg	Steuerungs-Taste der Computertastatur
t	Zeit
UVW	Bezeichnung eines Alternativkoordinatensystems
VRML	Virtual Reality Modeling Language
XYZ	Bezeichnung des kartesischen Koordinatensystems
z	Zähnezahl eines Zahnrades

1 Einleitung

Diese Arbeit widmet sich einem komplexen technischen System, der Astronomischen Uhr der St.-Marien-Kirche zu Rostock, welches zum Zeitpunkt der Gründung der Universität Rostock (12.11.1419) in ebendieser Kirche bereits dort vorhanden war. Es steht für eine Epoche, in der die Kirchen nicht nur die Funktion sakraler Gebäude erfüllten, sondern auch Begegnungsstätten des damaligen gesellschaftlichen Lebens wurden. Mit dem zunehmenden Bedürfnis nach einem getaktet organisierten Handel wuchs gleichzeitig der Wunsch nach Wohlstand und Weltoffenheit.

Rostocks Stellung im hansischen Bund und das damit verbundene wirtschaftliche und kulturelle Streben nach Neuheiten bildeten eine gute Grundlage, um das ambitionierte Vorhaben eines solchen Uhrenbaus zu verwirklichen. Die technische Umsetzung mit den Möglichkeiten jener Zeit stellt bis heute ein Faszinosum dar, das Tausende von Besuchern pro Jahr immer wieder in seinen Bann zieht.

Das Fraunhofer Anwendungszentrum Großstrukturen in der Produktionstechnik wurde vom Förderverein "Stiftung St.-Marien-Kirche zu Rostock" e.V. angesprochen durch Messungen, Modellierungen und Visualisierungen den einzigartigen Charakter dieser Uhr multimedial aufzuarbeiten. Der Förderverein setzt sich für den Schutz dieses zeitlosen Wunderwerks ein und hat das Ziel, es perspektivisch in die Liste des UNESCO Weltkulturerbes aufnehmen zu lassen, um es nachhaltig zu bewahren.

So entstand die Aufgabe die Astronomische Uhr anhand mittlerweile gegebener, virtueller Nachbauten zu animieren.

Die dafür erforderlichen Planungs- und Realisierungsschritte sollen mit dieser Arbeit beispielhaft dokumentiert werden.

2 Zur Rostocker Astronomischen Uhr

2.1 Geschichte

Die ersten Belege einer monumentalen Uhr in Rostock finden sich im Rechnungsbuch der Stadt für das Jahr 1379/80. Wahrscheinlich wurde sie schon damals im Chorumgang der Rostocker Hauptpfarrkirche St. Marien platziert, wie es zu jener Zeit in hansischen Kirchen üblich war. Der erwiesene Guss einer Glocke für die Marienkirche aus demselben Jahr (1379) bestärkt diese Annahme. Während des Umbaus von der Hallenkirche zur Basilika wurde die ursprüngliche Uhr vermutlich 1398 stark beschädigt und zunächst vernachlässigt.

Rostock pflegte in der Hansezeit vielfältige politische, wirtschaftliche und kulturelle Beziehungen mit Danzig. So ist es durchaus denkbar, dass der Uhrmacher Hans Düringer, der 1463/70 in Danzig eine Monumentaluhr in der dortigen Marienkirche erbaut hatte, von den Rostockern beauftragt wurde, ihnen eine noch prunkvollere Uhr zu schaffen. Eine Ablassurkunde von 1472, in der zur Spende für die Vollendung der neuen Rostocker Uhr aufgerufen wird, legt die Vermutung nahe, dass die Uhr in jenem Jahr fertiggestellt wurde.



Abb. 2.1: Astronomisches Uhrenpaar, in Danzig (links) und in Rostock ([SCH10], S.11)

Die Schauuhren in Rostock und Danzig (Abb 2.1) ähneln sich in vielen Punkten bezüglich Anzeigen, Größe und Gestaltung, jedoch wurde die Rostocker Uhr erweitert. Die heutigen Verzierungen des oberen und seitlichen Abschlusses stammen aus der Zeit von 1641/43 und geben die Neugestaltung im Zuge der großen inneren sowie äußeren Instandsetzung und Erweiterung während des Dreißigjährigen Krieges wieder. Ikonografisch sind die Ausschmückungen in die Spätrenaissance bzw. in den manieristischen Frühbarock einzuordnen. Gut erkennbare Spuren von Veränderungen deuten darauf hin, dass eine unbekannte ursprüngliche Umrahmung zu jener Zeit ersetzt wurde. Sie zeugen gleichzeitig vom Wechsel von der Marienverehrung zur lutherischen Auffassung des christlichen Glaubens nach der Reformation.

Aufgrund erforderlich gewordener Gewölbearbeiten im Chorumgang kam die Uhr ab 1835 durch Schutt und Staub zum Stillstand. Die Kalenderscheibenbeschriftung verlor zum Ende des Jahres 1877 ihre Gültigkeit und wurde erst 1885 erneuert. Diese Neubeschriftung war die vierte in der Geschichte der Uhr und reicht bis in das Jahr 2017.

Dass die Astronomische Uhr mit ihrem historischen Wert auch der Zerstörung durch den Zweiten Weltkrieg entging, ist maßgeblich dem Kirchendiener Friedrich Bombowski und seiner Tochter Ursula zu verdanken, die während der Bombenangriffe 1942 durch ihren aufopferungsvollen Einsatz die Marienkirche und somit auch deren Inneres vor einem verheerenden Brand bewahrten.

Daraufhin wurde die Uhr 1943 vorsorglich eingemauert und erst 1951 wieder freigelegt. Die letzten Restaurierungsarbeiten fanden von 1974 bis 1977 statt. In dieser Zeit wurden alle Uhrwerke von dem Berliner Metallrestaurator Wolfgang Gummelt gründlich und schonend aufgearbeitet, sodass die Uhr seit dem Wiederzusammenbau in allen ihren Teilen geht. Prof. Dr. Manfred Schukowski, der sich seit Jahrzenten öffentlichen astronomischen Uhren verschrieben hat, übergab 1994 die neu berechneten Kalenderdaten an die Stadt und die Kirche. Die neue Kalenderscheibe wurde 2009 durch den Restaurator Marcus Mannewitz gefertigt (s. Abb. 2.2). Sie steht seitdem in der Marienkirche und wird Ende 2017 vor die jetzige Scheibe gesetzt. (Vgl. [SCH04], 26-30; [SCH06], 94-96; [SCH10], 17-26; [AstroUhr01])



Abb. 2.2: Die neue Kalenderscheibe ([AstroUhr02])

2.2 Aufbau und Bestandteile der Uhr

Die nachfolgenden Ausführungen beruhen zu großen Teilen auf den Veröffentlichungen von Prof. Dr. Manfred Schukowski. (Vgl. [SCH04]; [SCH06]; [SCH10]; [SCH12])

Zwischen den beiden östlichen Scheitelpfeilern des Binnen-Chores ragt die Astronomische Uhr 11 m in die Höhe empor und lässt sich klar in ihre verschiedenen Elemente unterteilen.

Die für den Betrachter sichtbaren Details beschränken sich auf das Äußere der Rostocker Kunstuhr. Uhrscheibe im oberen und Kalenderraum im unteren Teil werden durch künstlerische Figuren und biblische Darstellungen, welche oberhalb und seitlich der Anzeigen angeordnet sind, eingerahmt.

Im Inneren, direkt hinter der Uhrenfassade, befinden sich über drei Etagen miteinander verbunden die 6 Uhrwerke. Diese sind jedoch aufgrund des sehr beschränkten Raumes zwischen Pfeilern und Altarrückwand nicht für Gäste zugänglich.



Abb. 2.3: Die Rostocker Astronomische Uhr

2.2.1 Oberer Aufsatz und seitlicher Rahmen

Die Rostocker Astronomische Uhr ist äußerlich genau wie andere Monumentaluhren in Kirchen vom mittelalterlichen Weltbild geprägt. Sie zeugt vom Stand der Wissenschaft zu ihrer Entstehungszeit und dem damaligen Religionsverständnis. Diese Vermittlungsrolle übernimmt die reichverzierte Uhreneinrahmung.

In der Mitte des Aufsatzgeschosses (Abb. 2.4) befindet sich eine halbkreisartige Bühne, die Schauplatz des zweimal innerhalb von 24 Stunden stattfindenden Apostelumgangs ist, jeweils einmal zur Mittagsstunde um 12 Uhr und einmal um Mitternacht.

Über der Szenerie des Gottessohnes und seinen Sendboten bekrönt eine dreigeschossige Laterne mit einer Höhe von 1,55 m den oberen Uhrenabschluss. Eine zweite, größere Laterne stand früher auf dem Rahmen von Stundenschlag- und Musikwerk, um das oberste Uhrengeschoss in das Kirchenschiff hinein sichtbar zu machen. Heute ist dieser, der kleinen Laterne sehr ähnliche Turm, funktionslos, da die 1720 neu aufgebaute, höhere Altarwand den freien Blick auf den Uhrenkasten verhindert. Zur Entlastung des Werkrahmens wurde sie darum nach der Restaurierung von 1974/77 nicht auf diesen zurückgesetzt und steht nun gleich hinter der Altarwand.

Zusätzlich schmücken zwei 1,47 m hohe, dreieckige, geschnitzte Zierstücke den oberen Uhrenabschluss. Sie zeigen in ihren zentral angelegten Spiegeln Adam und Eva und werden neben weiteren Verzierungen, wie fantasievollen Figuren und geschnitzten Ornamenten, von Engeln umrahmt. Diese aufwendigen Schnitzereien setzen sich an der seitlichen Begrenzung fort. Die Fratzen, Köpfe, Putten und Früchte werden überdacht von Personifikationen zweier damals wie heute bedeutsamer Wissenschaften. Zum einen wird links die Mathematik durch eine weibliche Halbfigur versinnbildlicht, die mit einem Zirkel die Erdkugel vermisst. Zum anderen verkörpert auf der rechten Seite eine Gelehrtendarstellung, welche mithilfe eines Jakobsstabes Himmelsobjekte anvisiert, die Astronomie.

An den Seiten des Rahmens sind 12 Fenster aus flämischem Glas angebracht, die jeweils waagerecht in drei Teile gegliedert sind und diagonal von Bleiruten durchlaufen werden.



Abb. 2.4: Der obere Aufsatz ([SCH10], S.47)

2.2.2 Obere Anzeigen des Zeitzifferblattes

Die Uhrenscheibe ist quadratisch ausgeführt. Mit ihren Seitenlängen von 4,07 m besitzt sie eine Fläche von rund 16,5 m².

In den Ecken sind die vier Evangelisten durch Symbole und dazugehörige Namensschriftbänder abgebildet. Oben wird links Matthäus als Engel und rechts Johannes als Adler gezeigt, unten sieht man links Markus als geflügelten Löwen und rechts Lukas als geflügelten Stier. Wahrscheinlich stammen die Evangelistensymbole auch aus der Zeit um 1641/43. Unter den beiden oberen Symbolen sind zwei mittlerweile funktionslose Türen zu erkennen, welche vermuten lassen, dass beim damaligen Uhrenumbau vorhandene vorreformatorische Bühnenszenen ersatzlos entfernt wurden.

Alle restlichen Bestandteile der Uhrscheibe sind noch von 1472 und erinnern in vielerlei Hinsicht an die 1470 fertiggestellte Danziger Schwester-Uhr.

Das Zusammenspiel der Anzeigen ermöglicht nicht nur ein Ablesen der Uhrzeit, sondern gibt außerdem Aufschluss über das ungefähre Datum und wichtige astronomische bzw. astrologische Daten, wie z.B. den Stand der Sonne und des Mondes im Tierkreis. Die verschiedenen Angaben lassen sich anhand einer Reihe von Ringen und Scheiben mit dazugehörigen Zeigern ablesen.



Abb. 2.5: Die quadratische Uhrscheibe ([SCH06], S.96)

2.2.3 Untere Anzeigen des Kalendariums

Der umfassende Kalender ist gegenüber der Uhrscheibe um etwa einen Meter nach hinten versetzt. Jeweils zwei hölzerne Säulen links und rechts schließen den Kalenderraum seitlich ab (s. Abb. 2.6). Oberhalb der zurückgesetzten Nische weist eine Inschrift, die sich über 5 Holztafeln zieht, auf die umfangreichen Umbauarbeiten von 1641/43 hin: "GOTT dem Herrn zu Ehren – der Kirchen zur Zierde – und der allgemeinen – Bürgerschaft zum Besten – erneuert ANNO 1643."

Auf gleicher Höhe blicken zwischen den verzierten Säulen zwei Gaffköpfe hindurch.

Das Herzstück des Uhrenkalenders stellt eine drehbare, eichene Scheibe von etwa zwei Metern Durchmesser dar. Zusammen mit dem sie umgebenden Zodiakus (Tierkreis) ergibt sich sogar ein Kreisdurchmesser von ca. 2,7 m. Dieses Maß entspricht der Seitenlänge des einrahmenden Quadrates, dessen Ecken von vier Astronomen eingenommen werden. Im Gegensatz zu den beiden linken tragen die beiden rechten "Weltweisen" einen Bart. Sie alle halten Schriftbänder, auf denen Teile zweier Bibelzitate (Psalm 19,3 und Jes Sir 7,40) niedergeschrieben stehen:

"Ein Tag saget's den andern. – Und eine Nacht thut's kund den andern."

"O Mensch bedenk' das Ende, - So wirst du nimmer übel thun."

Links in der Kalendernische ist der sogenannte Kalendermann positioniert, der mit einem Stab auf das betreffende Datum hinweist.

Eine Vielzahl von Ringen liefert die für das Jahr und den gegenwärtigen Tag relevanten Informationen.



Abb. 2.6: Der Kalenderraum

2.2.4 Das Innere der Uhr

Die biblischen Darstellungen, Uhr- und Kalenderanzeigen können während einer Besichtigung in der St. Marien-Kirche gut nachvollzogen werden. Was sich im Inneren dieses faszinierenden mechanischen Systems abspielt, bleibt der Mehrheit allerdings verborgen.

In der Literatur gegebene Ausführungen und eigene Begehungen machten es dennoch möglich, sich einen Eindruck vom Innenleben der Uhr zu verschaffen.

Durch seitliche Eingänge auf der Altarseite gelangt man in das mehrgeschossige Balkenwerk, dessen Etagen über teils sehr schmale Holztreppen miteinander verbunden sind. Dort besteht ein Zugang zu den Uhrwerken, welche die gesamte Anzeigenkonstruktion der Astronomischen Uhr antreiben.

Vermutlich stammen fast alle inneren Teile aus der Ursprungszeit um 1472 bzw. gehen auf die Restaurierungsarbeiten von 1641/43 zurück. Ausschließlich die heutige Pendel-Haken-Hemmung des Hauptwerks wurde aus Gründen der Effektivität 1710 anstelle der bis dato verwendeten Spindel-Waag-Hemmung neu installiert.

Die 6 Werke umfassen das Haupt-/Gehwerk, das Zeigerwerk, das Kalenderwerk, das Stundenschlagwerk, das Musikwerk und das Apostelwerk. Bis auf das Zeigerwerk verfügt jedes Werk über einen eigenen Gewichtsantrieb.

Der pausenlose Gang der rein mechanischen Antriebe wird überwiegend durch tägliches Aufziehen per Hand sichergestellt - ein in seiner Schlichtheit, Stetigkeit und Wirkung sehr wichtiger und würdevoller Vorgang, der ein Stück der Jahrhunderte alten Wissenschafts- und Technikgeschichte immer wieder würdigt und neu belebt.

Allein beim Kalenderwerk reicht ein wöchentlicher Aufzug aus.

Das Hauptwerk aus Abbildung 2.7 ist der Kern der Uhr. Es ist am größten und umfangreichsten und zudem Ausgangspunkt für die Auslösung der anderen Werke. Von der Getriebegruppe des Hauptwerks aus wird das direkt hinter der Uhrscheibe gelagerte Zeigerwerk angetrieben. Lediglich der Stundenzeiger hat eine unmittelbare Verbindung zum Tagesrad.



Abb. 2.7: Das Hauptwerk der Uhr ([AstroUhr04])

In der obersten der drei Etagen befinden sich neben dem Stundenschlagwerk auch das Musikwerk und das Apostelwerk.

Das Musikwerk ist mit dem Stundenschlagwerk in einem gemeinsamen Rahmen verbaut (s. Abb. 2.8) und wurde dem Uhrenkasten 1641/43 durch den Rostocker Uhrmachermeister Lorenz Borchardt hinzugefügt. Am auffallendsten ist seine Metallwalze, die nach dem Stundenschlag für etwa eine Minute in Bewegung gesetzt wird. Die Mantelfläche dieser Walze von rund 78 cm Durchmesser und 27 cm Breite besitzt 3612 Vierkantlöcher. Sie sind in 129 Zeilen und 28 Reihen angeordnet und können zum Einstecken von Stiften genutzt werden. Derzeit befinden sich über 23 der 28 Reihen Metallwinkel, die während der Drehung von den Stiften bewegt werden. Über Drahtzüge und hölzerne Winkelhebel führt die Bewegung der Metallwinkel zum Anschlagen von 24 Schalenglocken mit unterschiedlichen Maßen (Durchmesser von 12,5 cm bis 27 cm). Je nachdem wo die einzelnen Stifte sitzen, ergeben sich verschiedene Melodien. Die Platzierung in den Zeilen bestimmt die von den Hämmern geschlagenen Glocken und somit die Tonhöhe. Der Abstand der besetzten Trommellochreihen gibt die Tonabstände vor. Durch das Umstecken der Auslösestifte mit eigens dafür vorhandenen Lehren ist eine vielseitige Programmierung des Musikwerks möglich.



Abb. 2.8: Stundenschlag- und Musikwerk im gemeinsamen Rahmen (links) mit Glockenspiel ([SCH10], S. 57)

1974/77 wurde während der jüngsten Instandsetzung der Uhrwerke eine zusätzliche Mechanik eingebaut, die es erlaubt Stundenschlag und Glockenspiel auszuschalten ohne dafür die Uhr anhalten zu müssen. Dies ist eine sehr praktische Ergänzung für den ungestörten Ablauf von kirchlichen Veranstaltungen und Konzerten.

Das Werk für die umlaufenden Apostelfiguren befindet sich hinter der kleinen Laterne des Uhrenaufsatzes. Es wird mittags um 12 Uhr und zur Mitternachtsstunde vom Stundenschlagwerk ausgelöst. Nach dem Stundenschlag, mit beginnendem Glockenspiel, werden die großen Türen in den Bögen rechts und links der Christusfigur geöffnet. Daraufhin setzt sich die Welle mit den an ihr befestigten Speichen, auf denen die Figuren stehen, in Bewegung. Unterhalb der Figurenachsen angebrachte Metallbügel stoßen während des Umgangs gegen Stifte, so dass sich 5 der 6 Heiligen Christus zuwenden, der gleichzeitig seine von der Mechanik ausgelöste Segensgeste ausführt.

Die beschriebenen Werke beruhen auf denkbar einfachsten mechanischen Prinzipien und sind aufgrund ihrer eisernen Ausführung recht robust gebaut. Dennoch laufen sie nur dank des Sachverstandes und der fürsorglichen Pflege ihrer Wärter seit Jahrhunderten von Tag zu Tag aufs Neue zuverlässig.

3 Software und Datengrundlage

3.1 PTC Creo Parametric 1.0; 2.0 (ehemals Pro/ENGINEER)

Creo Parametric ist eine parametrische 3D-CAD-Software, die zu einer Handvoll weiterer Ergänzungsanwendungen des Herstellers Parametric Technology Corporation (PTC) gehört. Mithilfe der integrierten, flexiblen Konstruktionswerkzeuge können Bauteile sowohl einzeln, als auch im Verbund produktiv erstellt und analysiert, sowie deren geplante Bewegungsfunktionen simuliert werden. Das Programm beinhaltet u.a. folgende Funktionen (Vgl. [PTC]):

- 3D-Volumenkörpermodellierung
- Dokumentation mit 2D- und 3D-Zeichnungen
- Freiformkonstruktion
- Flächenkonstruktion
- Baugruppenmodellierung
- Modellierung und Dokumentation von Schweißkonstruktionen
- Design Animation

Es wird zur Modellierung und Vereinigung der Teilmodelle verwendet.

3.2 Rhinoceros 3D 4.0

Das Unternehmen Robert McNeel & Associates bietet mit seinem auch als Rhino bekannten Programm ebenfalls eine 3D-CAD-Software am Markt an. Trotz der Tatsache, dass dieses System vergleichsweise kostengünstig ist, zeichnet es sich besonders durch seine hohe Kompatibilität aus. Es dient als Datentransferwerkzeug. Rhino umfasst u.a. die folgenden Möglichkeiten für Anwender (Vgl. [Rhino]):

- Erzeugung, Bearbeitung, Analyse und Konvertierung von 3D-NURBS-Kurven,
 -Flächen und -Volumenkörpern
- Unterstützung von Polygonnetzen und Punktewolken

• umfassende Import- Exportfunktionalität, z.B. von STEP-Formaten

3.3 Autodesk 3ds Max 2013

3ds Max ist eine 3D-Animations-Software aus dem Hause Autodesk. Sie bietet ein breites Spektrum an Kreativ-Werkzeugsets für 3D-Modellierung, Animation, Simulation und Rendering¹, mit denen in den Bereichen Spiele, Film und Motion Graphics hochqualitative Ergebnisse erzielt werden können. Besonders das weitreichende Integrieren physikalischer Phänomene lässt die gestalteten Objekte professionell und realistisch aussehen. (Vgl. [Autodesk])

Die Animation findet komplett in der Arbeitsumgebung dieser Anwendung statt.

3.4 Adobe Photoshop CS6

Adobe Photoshop ist das marktführende Bildbearbeitungsprogramm vom Herausgeber Adobe Systems. Es gehört als eigentlicher Grundbaustein zu einer Reihe von anderen mit "Creative Suite" (CS) angebotenen Erweiterungen wie z.B. Adobe After Effects. Die unterschiedlichen Bearbeitungswerkzeuge der Software erlauben u.a. das Zuschneiden, Retuschieren und Effektverstärken von Bildern. Hinzukommend unterstützt Photoshop den unkomplizierten Import verschiedenster Foto-Dateiformate und bietet gleichzeitig regelbare Exporteinstellungen. (Vgl. [Adobe])

Es wird für die Vorbereitung der Texturbilder genutzt.

3.5 Adobe After Effects CS6

Adobe After Effects ist eine vielseitige Animations- und Compositions-Software, die es ermöglicht, Filmaufnahmen und andere bewegte Bilder mit effektvollen Extras auszustatten. Ähnlich wie in Photoshop können umfangreiche 2D- bzw. 3D-Kreationen erstellt und/oder bearbeitet werden. Zudem zeigt die Benutzeroberfläche von vornherein eine Video-Zeitleiste an, die das Arbeiten mit Keyframes vereinfacht.

¹ Vorausberechnung (von zu entwickelnden Produkten) am Computer mithilfe einer dreidimensionalen virtuellen Darstellung. ([Duden])

Die angelegten Projekte können anschließend per Rendering-Export in beliebigen Videoformaten abgespeichert werden. (Vgl. [Adobe])

In After Effects werden die entstehenden Einzelbilder zum Video umgewandelt.

3.6 Apple iMovie

Das Videobearbeitungsprogramm iMovie ist ein ideales Hilfsmittel für die Erstellung von Clips und Filmen. Es besitzt eine im Vergleich zu professionellen Schnittprogrammen vereinfachte Bedienoberfläche und liefert für nicht allzu anspruchsvolle Aufgaben dennoch die ausreichenden Werkzeuge. Die in der Zeitleiste angezeigten Videoabschnitte können direkt durch Übergänge, Effekte und Audiospuren ergänzt werden. Nach Fertigstellung stehen umfangreiche Exportmöglichkeiten zur Verfügung.

Mit iMovie erfolgt die Tonaufnahme des gesprochenen Textes und die Endproduktion.

3.7 Datengrundlage

Wie der Aufgabenstellung zu entnehmen ist, soll die Animation zur Verbildlichung der Uhrenfunktionen mithilfe bereits vorliegender dreidimensionaler Modelle erfolgen. Diese sind im Zuge vier unterschiedlicher studentischer Arbeiten im Zeitraum von Oktober 2011 bis März 2013 angefertigt worden und bilden somit einige der wesentlichen Grundlagen für die neue Ausarbeitung.

In einer ersten Bachelorarbeit beschäftigte sich Christine Möschner mit der Vermessung, computergrafischen Nachbildung und Betriebsanimation des Hauptwerks der Astronomischen Uhr.

Die Brüder Martin und Ronny Rohs erstellten mit ihren Projektarbeiten umfassende Modelle zum Innenraum und zur Außenfassade der Uhr. Das Prinzip des terrestrischen Laserscannings half ihnen bei der Datenerfassung der nötigen Messwerte, auf deren Basis anschließend die digitalen Nachbauten entstanden.

Mit dem Ergebnis des Projektes Maschinenbau von André Behrndt, Marcus Münzner und Stephan Seidler wurde neben der Visualisierung der bis dato vorhandenen Modelle auch ein Prinzipmodell des Apostelumlaufes geliefert. Alle vier Einzelbaugruppen (Uhrwerk, Inneres, Äußeres, Apostelumlauf [s. Abb. 3.1]) wurden mit Versionen der 3D-CAD-Software Pro/ENGINEER bzw. Creo Parametric entworfen und liegen mit jeglichen Einzelbauteilen vollständig vor. Die Konvertierung der finalen Modelldateien wurde in den damaligen Arbeiten nicht notwendigerweise vorgenommen. So existieren sämtliche Komponenten in ihrer ursprünglich abgespeicherten Form. Das bedeutet, dass die Datensätze in den von der Software eigenen Formaten PRT (Part) und ASM (Assembly) zur Verfügung stehen. PRT-verschlüsselte Dateien enthalten die in bestimmter Weise definierten Bauteile, wie z.B. eine einfache Scheibe. Eine Assembly-Datei stellt einen Zusammenschluss mehrerer Part-Dateien dar, sodass bei dem Aufruf eines solchen Files z.B. die komplette Uhrenaufsatz-Baugruppe geöffnet wird. Da das Programm ein festgelegtes Arbeitsverzeichnis für ein Projekt benötigt, finden sich sowohl die PRTs als auch die übergeordneten ASMs in demselben Ordner wieder. Dementsprechend setzt sich die Modellbasis aus insgesamt vier einzelnen Verzeichnissen zusammen, aus denen es ein Komplettverzeichnis anzulegen gilt.



Abb. 3.1: computergrafische Modelle: v.l. Hauptwerk mit Zeigerwerk, Chorpfeiler u. inneres Balkenwerk, Außenfassade der Uhr, Apostelumlauf

4 Durchführung

4.1 Vorüberlegungen

Bevor der Animationsprozess beginnen kann, muss zunächst eine grobe Abhandlungsübersicht der für die Umsetzung relevanten Arbeitsschritte entstehen. Hierbei hilft es sich zuerst zu vergegenwärtigen, was durch die Aufgabenstellung verlangt wird. Da laut dieser neben der reinen Modellvisualisierung auch die Funktionsweise der Einzelkomponenten im Original berücksichtigt werden soll, ist es essentiell wichtig die verschiedenen funktionalen Zusammenhänge der Uhrwerke, Zeiger und Scheiben zu verstehen. Eine persönliche Führung in das technische Innere der Uhr und das Studium der Literatur, die sich diesem Thema zuwendet, halfen beim Verständnis der stetigen Uhrwerkvorgänge.

Die nun nachfolgenden Schritte fanden iterativ statt und setzten eine gewisse Einarbeitungsphase in die verschiedenen, zur Visualisierung notwendigen Programme voraus.

Bei der Sichtung des bestehenden Materials werden die Einzelmodelle auf ihre Animationstauglichkeit untersucht, indem die freie Beweglichkeit der erforderlichen Einzelteile geprüft wird. Um Teile der Uhr in die Zielsoftware 3ds Max importieren zu können, sind Konvertierungen, die im Kapitel 4.4 näher erläutert werden sollen, unausweichlich. Erste Tests der unveränderten Bauteilbeziehungen ergeben, dass Teile des Stundenzeigers, die Kalenderscheibe und die Türen des Apostelumgangs nicht ausreichend unabhängig definiert worden sind, um im Animationsprogramm unkompliziert ausgewählt und in ihrer Lage verändert werden zu können. Die Kalenderscheibe muss zusätzlich in zwei Teilen (Deckscheibe und Ringscheibe) angelegt werden, damit sich die tägliche Drehbewegung bei gleichzeitig ortsfester Deckscheibe animieren lässt. Für ein erleichtertes Anwählen der quadratischen Verzierungsreliefs ist es ratsam auch hier freigestellte Flächen auf der Uhrscheibe und im Kalenderraum vorzusehen.

Folglich müssen die aufgezählten Elemente aus ihren PRT-Dateien losgelöst und neu angelegt werden. Außerdem ist die zur Kalenderscheibe gehörende Textur insofern zu optimieren als sich bei einer Rotation der aus der Mitte kommende Zeiger nicht mitbewegt, so wie es mit der bisherigen Abbildung der Fall wäre.

4.2 Bearbeitung der Kalenderscheibentextur

Die Fototexturen im GIF-Format, die für die bisherigen Arbeiten genutzt wurden, eignen sich bis auf eine Ausnahme für die Funktionsdarstellung der Scheiben und Zeiger. Auf dem Bild der Kalenderscheibe ist noch der an der Deckscheibe befestigte Zeiger zu erkennen, der die Sonnenaufgangszeit anzeigt. Für die geplante Drehung der Datenscheibe sollen alle Tagesangaben individuell gezeigt werden können, sodass der Zeiger aus der Abbildung entfernt werden muss.

Den Bereich der verdeckten Inschriften durch ein zweites Bild zu reparieren, ist eine mögliche Lösung. In Photoshop besteht die Möglichkeit zwei Aufnahmen übereinanderzulegen und so die Fehlstellen auszubessern. Dafür wird das zweite Bild, in dem der Zeiger nicht über den Schriftzügen steht, mit einer sogenannten Maske verknüpft. Sie ermöglicht unter Anwendung des Pinsel-Tools nur die gewünschten Bildausschnitte des Reparaturfotos sichtbar zu lassen (s. Abb. 4.1). Im Ergebnis liegt der übrig bleibende Bildbereich der oberen Abbildung exakt platziert über dem Zeiger.

Zusätzlich können noch Farbfilteranpassungen vorgenommen werden, um die unterschiedlichen Weißtöne der Scheibengrundierung anzugleichen.



Abb. 4.1: Retuschieren des verdeckenden Zeigers

4.3 Neumodellierung einzelner Teile

Wie in den Vorüberlegungen angedeutet, müssen einige Teile der Uhr von ihren ursprünglichen Bauteilverbänden getrennt werden.

Die folgende Aufzählung beinhaltet alle geplanten Neudefinitionen:

- die sich für die Apostel öffnenden vier Türen im Uhrenaufsatz
- die Sebes-Scheibe
- die Planetenuhrscheibe
- die Kalenderscheibe (in zwei Teilen/Dateien)
- das Kalenderscheibenquadrat
- das Uhrscheibenquadrat

Mit Creo 2.0 wird zunächst die Modellierung der Außenfassade in ihrer Komplettausführung geöffnet. Sie enthält alle oben genannten Bauteile, die in den unterschiedlichen Baugruppen auftauchen. Die Modellbaumpfade werden soweit durchlaufen bis die jeweilige Datei erscheint, die das/die gesuchte/n Detail/s einschließt. Diese Datei wird separat aufgerufen, worauf die Selektion der entworfenen Definition erfolgt und ihr sämtliche Maße entnommen und notiert werden. Daraufhin wird die Komponente aus ihrer Umgebung gelöscht.

Als nächstes wird je eine neue Teil-Datei erstellt und damit begonnen den Körper mithilfe des Extrudieren-Tools zu modellieren. Es handelt sich ausschließlich um Scheiben und Platten, daher ist nach dem Festlegen der Grundflächengestalt nur noch die Materialstärke vorzugeben. Um einen problemlosen Einbau in das Gesamtmodell zu gewährleisten, werden die einfachen Geometrien vorbereitend mit Bezugsachsen und/oder -ebenen ausgestattet. Beispielhaft seien hier die in den Scharnier-Kanten der Türen verlaufenden Achsen genannt (s. Abb. 4.2).

Eine erneute Belegung mit eventuell im Ursprungsmodell vorhandenen Texturbildern ist fürs Erste nicht notwendig, da diese während der anstehenden Formatübersetzungen verloren gehen.

Die fertigen Neuteile werden in einem gemeinsamen Ordner gespeichert und ergeben ein 5. überschaubares Arbeitsverzeichnis.



Abb. 4.2: unabhängiges Modell einer neu angefertigten Tür

4.4 Vereinigung und Übergabe der Modelle

Das Zielprogramm 3ds Max lässt keinen direkten Import der ASM- bzw. PRT-Dateien zu. Es bietet allerdings verschiedene Möglichkeiten für das Zuführen softwarefremder Formate, z.B. für IGES-, DXF-, VRML- und 3DS-Files. Mit den Creo-Versionen können Kopien der Modelle u.a. in Form von IGES-, DXF- und STEP-Exporten abgespeichert werden. Die naheliegende Vermutung, man könne den Datentransfer mittels IGES- oder DXF-Dateien vornehmen, stellt sich jedoch als äußerst unproduktiv heraus. So benötigt das Konstruktionsprogramm recht lange, die entsprechenden Kopien zu erzeugen. Der Importprozess in das Programm 3ds Max ist ebenfalls ein sehr zeitintensiver Vorgang. Dies hängt mit den Dateiumfängen der beiden Formate zusammen, die aufgrund der hinterlegten Informationsstrukturen bei komplexeren Modellen rasch zu großen Dateimengen führen.

Daher wird die Datenübergabe unter Zuhilfenahme eines weiteren Programms realisiert. Die erforderliche Umwandlung des weniger umfangreichen STEP-Duplikates in ein für die Animationssoftware lesbares Format wird in Rhino 3D vorgenommen. Dank der hohen Flexibilität und Kompatibilität gegenüber auszutauschender Geometrieinformationen eignet sich Rhino sehr gut als Modifikationswerkzeug. Die Software wird darum in diesem speziellen Fall für ein einmaliges Öffnen und Umspeichern der Modellbaugruppen verwendet.

Um dennoch nicht alle Elemente einzeln übergeben zu müssen, sollen die Teilmodelle vorerst zu einem Komplettmodell zusammengeführt werden. Dieser Vorgang findet noch in Creo statt, da auf dessen Oberfläche leicht eindeutige, vollständige Beziehungen zwischen den Baugruppen und Teilen definiert werden können.

Zu Beginn werden die Außenfassade und der Innenraum mit Creo 1.0 miteinander vereinigt und im Anschluss durch das Einfügen des Uhrwerks weiter ergänzt. Der Versuch, die Apostel und deren Stabkonstruktion hinzuzufügen, scheitert jedoch in der Version 1.0. Daher wird die bisher nur angedeutete Vorgehensweise in Creo 2.0 wiederholt und soll im folgenden Abschnitt näher skizziert werden.

Das Programm ist nur dann in der Lage die zu verbindenden Komponenten in einer zusammenhängenden Darstellung aufzurufen, wenn deren Dateiursprung in einem gemeinschaftlichen Verzeichnisordner liegt. Aus diesem Grunde werden alle angelegten Einzelteile und die sie zusammenfassenden Baugruppendateien aus den 5 isolierten Mappen in ein allumfassendes Arbeitsverzeichnis kopiert. Dabei treten die Dateinamen "sonnenscheibe.prt.x"² und "zeiger.prt.x" doppelt auf, da sie sowohl für die Außenfassade, als auch für das Uhrwerk angefertigt und gleich benannt wurden. Creo 2.0 greift über die im Modellbaum einer ASM-Gruppe angegebenen Parts auf die gleichnamigen PRT-Files zu und benötigt deswegen eindeutige Vorgaben in Form von einmalig vergebenen Bauteilnamen. Die Ausführungen der Uhrwerkbaugruppe können bedenkenlos gelöscht werden, weil ihre Darstellungen schematischen Charakter besitzen. Des Weiteren ohnehin ist die Datei "mondphasenscheibe.prt.x" zu entfernen, denn auch diese Scheibe wird im Uhrwerkmodell nur prinzipiell angedeutet und findet ihre realitätsnahe Gestalt in der Uhrmodellierung unter dem Namen "mondscheibe.prt.x".

Die Baugruppen der Außenfassade und des Innenraumes, die deren vollständige Bauteilsammlungen enthalten, haben ebenfalls die gleiche Bezeichnung mit "astrouhr.asm.x". Nachdem als erstes die Astro-Uhr-ASM des Innenraums geöffnet wurde, muss die zweite, gleich lautende Datei des Uhrmodells umbenannt werden. Als neue Bezeichnung wird "astronomischeuhr.asm.x" gewählt. Nun kann diese nächste große Bauteilzusammensetzung unter dem Befehl "Einbauen" dem Projekt hinzugefügt werden.

Das Programm verlangt daraufhin die vollständige Definition der neuen Baugruppe. Damit ist die Ausrichtung bezüglich des bereits vorhandenen Modells des Uhrbalkenwerks gemeint. Über die automatische Handhabung der ausgewählten Bezugselemente, z.B. Eckpunkte der Grundplatte und der Uhrenbasis, erfolgt eine

² Das "x" der Dateiendungen steht für eine von Creo automatisch angehängte Zahl für eine fortlaufende Zählung der Speichervorgänge.

unkomplizierte und dennoch eindeutige Platzierung der Uhr vor den Pfeilern, die mit dem grünen Häkchen bestätigt werden kann. Im Anschluss wechselt die in Abb. 4.3 erkennbare gelbliche Darstellung der eingebauten Baugruppe zu ihrer textuierten Gestalt.



Abb. 4.3: Vollständig definierte Uhr vor dem Pfeiler-Modell

Für das Uhrwerk und den Apostelumgang wird gleichermaßen verfahren, wobei hier der Bezug über Achsen und Ebenen hergestellt wird. Beim Uhrwerk muss beachtet werden, dass es ein Zahnrad besitzt, das sich frei in einer Aussparung des hölzernen Grundrahmens bewegt. Die Bezüge ergeben sich infolge dessen so, dass es zu leichten Materialdurchdringungen im Bereich der Zeigerwerkaufhängung und dem Balkenkreuz hinter der Uhrscheibe kommt, was aber keine funktionalen Einschränkungen nach sich zieht. Zu guter Letzt werden die neu angefertigten Teile an ihren Bestimmungsorten positioniert.

Das entstandene Gesamtmodell wird abschließend mit den Einstellungsvorgaben "Volumenkörper" und "Schalen" in STEP-Form abgespeichert und ist für den Rhino-Import bereit. In Rhino erscheint das STEP-Modell als Gitternetz in umgekehrter vertikaler Ausrichtung (s. Abb 4.4) und wird daher um 180 ° gedreht. Die jetzt vollständige und korrekt im Raum stehende Geometriedefinition kann somit in der für das Zielprogramm geeigneten 3DS-Form exportiert werden, für die lediglich noch die Feinheit des Polygonnetzes eingestellt werden muss.



Abb. 4.4: Programmoberfläche von Rhino mit importiertem Gesamtmodell

4.5 Modellaufbereitung mit 3ds Max

Sowohl die Bearbeitung der Optik, als auch die ab Kapitel 4.7 beschriebene Entwicklung der bewegten Bilder wurden in der 3D-Animationssoftware 3ds Max vorgenommen.

In Abbildung 4.5 ist die Arbeitsoberfläche des Programms zu sehen. Am oberen Rand befindet sich die Hauptarbeitsleiste, u.a. mit Schaltflächen zum Objektverknüpfen, -bewegen, -drehen und -skalieren, sowie zum Öffnen weiterer Einstellungsfenster, wie dem Material-Editor und dem Render-Setup. Im Anzeigenzentrum werden wahlweise vier verschiedene kleine oder eine einzelne große Ansicht präsentiert. Die rechte Seite wird von umfassenden Optionseinstellungen zum Kreieren und Bearbeiten von Geometrien, Lichtquellen und Kameras eingenommen. Der untere Rand zeigt eine regelbare Zeitleiste für die Animationsdauer. Alle tiefer gehenden Funktionsumfänge der Software werden an entsprechender Stelle im Fortlauf dieser Arbeit beschrieben. Ein beschriebener Überblick der Hauptarbeitsumgebung ist im Anhang A-1 gegeben.



Abb. 4.5: Benutzeroberfläche von 3ds Max mit unbearbeitetem Modellrohling

Das zusammengefügte Komplettmodell bedarf nach dem Import in 3ds Max einer umfassenden Aufbereitung. Seine oben abgebildete Erscheinung ist geometrisch zunächst richtig, jedoch sind sämtliche Oberflächen in dem für 3D-Animationsprogramme üblichen Grauton eines Rohlings dargestellt.

3ds Max bietet unzählige Spielräume was die äußerliche Körpergestaltung anbelangt. Es verfügt über einen äußerst vielseitigen Material-Editor, mit dessen Hilfe jede Art von Fläche mit den verschiedensten optischen Eigenschaften ausgestattet werden kann. Diese Palette reicht von einer einfachen Einfärbung über die Belegung mit Bildern bis hinzu realitätsnahen Simulationen von physikalischen Phänomenen wie z.B. der Lichtdurchlässigkeit.

Damit der Corpus der animierten Uhr seinem Original möglichst ähnlich sieht und dennoch der Aufwand für die Dekoration in überschaubarem Rahmen bleibt, werden drei Arten von Körperoberflächen festgelegt und dementsprechend ausstaffiert.

Eine erste Gruppe, dies betrifft den Großteil des Bauwerks, ist durch die vorangegangenen Bachelor-/Studien-/Projektarbeiten in ihrer Erscheinung weitgehend am Original orientiert modelliert und benötigt daher nur ein ungefähres Angleichen ihrer Farbe an das wirkliche, überwiegend hölzerne Material. Zu der zweiten Gruppe von Flächen zählen sämtliche Anzeigen des oberen und unteren Teils der Uhr, sowie einzelne Verzierungen. Die Informationen tragenden Scheiben und Zeiger sind teilweise derart detailliert, dass ein computergrafisches Nachempfinden in keinem Falle produktiv wäre bzw. zu keinem signifikanten Informationsgewinn für das Gesamtverständnis führen würde. Darum werden für diese Gruppe Fotografien und Bilder als Vorlage genutzt, eventuell nachbearbeitet, passend skaliert und schlussendlich auf die betreffenden Modellteile gelegt. In der Computergrafik nennt man diesen Schritt "Texture Mapping".

Die dritte Oberflächenart bezieht sich ausschließlich auf die seitlichen Fenster. Um Licht- und Schattenverhältnisse schaffen zu können, die der gewohnten Wahrnehmung gleichkommen, müssen die Glaskörper neben einer gewissen Tönung den Gesetzen der Physik entsprechen. Auch diesen Anforderungen kann der nachfolgend ausführlich erklärte Material-Editor in vollem Maße gerecht werden.

4.5.1 Material-Editor

Der angesprochene Material-Editor von 3ds Max ist eine Art Tafel, auf der Oberflächenfarben und Texturabbildungen übersichtlich angelegt werden können, um anschließend den markierten Körpern zugewiesen zu werden. Im sogenannten Material-/Map-Browser kann aus einer Fülle von Voreinstellungen ausgewählt werden. Darunter befinden sich Standardfarben und -materialien, genauso wie realistisch mit Licht wechselwirkende Substanzsimulationen. Diese Vorauswahlen werden aus dem Browser per Drag'n'Drop in die View1-Übersicht (s. Abb 4.6) gezogen und dort als Kachelfenster abgelegt.



Abb. 4.6 Material-Editor mit einer ersten Standardvorauswahl

Mit einem Doppelklick in den Titelbereich der Materialkachel öffnet sich deren Parameterfenster im rechten Teil der Anzeige. Dort kann im oberen Textfeld ein Name für das Material eingegeben werden. Das ist besonders bei vielen verschiedenen Materialkacheln nützlich, um den Überblick über die vergebenen Farb- und Bildbelegungen zu behalten. Für die simplen Einfärbungen und Texturen reicht es völlig aus mit der "Standard"-Vorgabe aus den "Standard-Materials" zu arbeiten. Unter dem Stichwort "Blinn³ Basic Parameters" kann u.a. eine Veränderung der "Diffuse-Color" (Streufarbe) (Abb. 4.7) vorgenommen werden.



Abb. 4.7: Farbauswahlfenster

Wird anstatt des Farbauswahlfeldes von "Diffuse" das rechts daneben liegende graue Quadrat (s. Abb. 4.6, S.23) angewählt, öffnet sich erneut der Material-/Map-Browser. Dieser enthält unter anderem in der Kategorie "Standard" die Schaltfläche "Bitmap" (s. Abb. 4.8), über die man in den Windows-Explorer gelangt und ein passendes Bild für die zu gestaltende Oberfläche festlegen kann.



Abb. 4.8: Material-/Map-Browser und Bitmap-Auswahl

³ angelehnt an James F. Blinn, Pionier der Computergrafik

Die nachfolgende Abbildung zeigt die einer Materialkachel zugewiesene Bitmap-Datei.



Abb. 4.9: Mit Bitmap verknüpfte Materialkachel

Bei den Glasfenstern benötigt die Materialdefinition noch weitere einstellbare Größen. Trifft man im Material-/Map-Browser die Vorauswahl "Architectural", bietet der Editor die nötigen physikalischen Eigenschaften an. Es ist dem Nutzer überlassen, ob er eine unter "Templates" vorhandene Mustervorlage verwendet oder selbstständig die Werte für den Glanz, die Durchsichtigkeit, die Lichtdurchlässigkeit und die Lichtbrechung ("Shininess, Transparency, Translucency, Refraction") durch Probieren festlegt (s. Abb. 4.10).

Glasfenster (Architectural) x					
Glasfenster					
- Templates					
		User D	efined 🔻		
-	Physic	al Qualit	ties		
Diffuse Color:			*		
Diffuse Map:	10,0	\$₹	None		
Shininess:	100,0	‡⊻	None		
Transparency:	95,0	\$₹	None		
Translucency:	90,0	‡⊻.	None		
Index of Refraction:	1,5	¢			
Luminance cd/m²:	0,0	1	None		
	<u>></u>				
2-Sided Raw Diffuse Texture					
+ Special Effects					
Г. + А	+ Advanced Lighting Override				
+ SuperSampling					
+ mental ray Connection					

Abb. 4.10: Optionsfenster für die Lichtwechselwirkung

Um die Materialien zum Schluss auf den Volumen- und Flächenmarkierungen im Modell-Ansichtsfenster sichtbar zu machen, wird in der oberen Leiste der Material-Tafelübersicht der Befehl "Show Shaded Material in Viewport" aktiviert. Die Zuweisung des Materials erfolgt ebenfalls in dieser Leiste über die Wahl der "Assign Material to Selection"-Anweisung.

Zwar bietet 3ds Max noch viel weitreichendere Möglichkeiten zur Gestaltung realistisch wirkender Szenen, doch sollen die beschriebenen Möglichkeiten für diese Arbeit genügen.

4.5.2 Farbgebung

Der erste Schritt für die farbliche Umgestaltung eines Körpers bzw. einer Fläche besteht in der eindeutigen Auswahl der gewünschten Abmessungen, auf die sich die Veränderung der optischen Parameter auswirken soll. Im Animationsprogramm ist es möglich die unterschiedlichen Volumina der Uhrenteile sowie deren einzelne Polygone anzuwählen, aus denen sie zusammengesetzt sind. Für diesen Arbeitsschritt erweist es sich als sehr hilfreich, dass nach der Datentransformation jede ursprüngliche PRT-Datei auch weiterhin als unabhängige Komponente erhalten bleibt. Im einfachsten Fall, wie z.B. für die großen Kirchenpfeiler, wird das Objekt also ausgewählt und kann ohne weiteren Zwischenschritt eingefärbt werden. Zu der überwiegend dunkelbraunen Farbgebung des Uhrgehäuses (s. Abb. 4.11) kommen in bestimmten Bereichen des Aufsatzes, der Uhrscheibe und des Kalenderraums noch ausschmückende Rot- und Grüntöne hinzu. Die für die Einzelauswahl von Leisten und Ringen vorzunehmende Folge von Arbeitsvorbereitungen wird im folgenden Kapitel unter dem Stichwort "Polygon" näher beschrieben.



Abb. 4.11: Erste braun eingefärbte Teile der Uhr

4.5.3 Texture Mapping

Das sogenannte Texture Mapping beschreibt die Belegung von dreidimensionalen Modellen mit zweidimensionalen Bildern. Es erleichtert eine detailgetreue Wiedergabe der Oberflächengestalt, denn es ist nicht notwendig, dass das Relief des Modells vollständig dem der Vorlage angepasst werden muss. Vielmehr empfiehlt es sich die eigens dafür angelegten Grundgeometrien in Form von plattengleichen Quadern und scheibenartigen Zylindern zu verwenden. Je nach Platzierung und perspektivischer Sichtbarkeit der Elemente muss ein Ausschnitt des Körpernetzes, z.B. die Deckfläche, ausgewählt werden, um eine rückseitige Bildbelegung zu vermeiden. Das Programm stellt hierfür die Funktion bereit das markierte Objekt in ein bearbeitbares Vieleck (Polygon) umzuwandeln. Dies geschieht durch das mit einem Rechtsklick aufgerufene Auswahlfenster, in dessen unterster Zeile der Schritt "Convert to: Convert to Editable Poly" aktiviert werden muss. Daraufhin erscheint in der rechten Befehlsleiste unter anderem ein Dialog mit roten Symbolen, von denen das vorletzte, das rote "Poly"-Quadrat, auszuwählen ist. Ist dieses Quadrat gelb hinterlegt, wie in Abbildung 4.12, lassen sich Teile der Geometrie markieren, indem Dreiecke einzeln oder, bei gehaltener Strg-Taste, im Verband rot hervorgehoben werden können. Auf der getroffenen Auswahl kann dann das vorbereitete Bild platziert werden.



Abb. 4.12: Auswahl der Mondphasenscheibe

Der erste Eindruck zeigt eine stark verzerrte, kaum erkennbare Textur. Die richtigen Seitenverhältnisse und Ausdehnungen werden durch ein Anpassen der Einstellungen im rechten Befehlsfenster erreicht. Im "Modify"-Reiter gelangt man in die "Modifier List", die unter anderem die Option "UVW Map" enthält. Übernimmt man diese in das kleine Übersichtsfenster der Befehle, eröffnen sich dem Anwender
verschiedene einstellbare Parametervorgaben für das Mapping, deren Vorauswahl ("Planar, Cylindrical, … ,XYZ to UVW") durch eigene Werte für die Tiefen-, Breitenund Höhenausdehnungen ("Length, Width, Height") konkretisiert werden können. Besonders benutzerfreundlich ist außerdem die Funktion "Fit" (passend) im Feld "Alignment" (Ausrichtung). Diese vereinfacht z.B. die Anpassung der Verzierungstexturen an den Umfang der Säulenzylinder, welche in der Abbildung 4.13 alleinstehend dargestellt sind.



Abb. 4.13: Säulenzylinder mit angepassten Bitmaps

Bis auf jene Zylinder, bei denen die Vorauswahl "Cylindrical" erfolgt, wird für alle anderen Texturoberflächen die Voreinstellung "Box" gewählt; mit der Annahme, dass es sich um eine vernachlässigbar kleine Kastentiefe handelt. Da ein Kasten im Regelfall zueinander rechtwinklige Seitenflächen besitzt, wird die "Map" in ihrer wahren 2D-Erscheinung gezeigt und bedeckt den Untergrund von nun an unverzerrt. Im Ergebnis erhält die 3D-Darstellung umgehend einen realitätsgetreuen Miniaturcharakter.

4.5.4 Glaskörpersimulation

Die 12 Fenster der seitlichen Uhreneinrahmung sollen in der Animation im Zusammenspiel mit Licht an eine wirkliche Szene erinnern. Aus diesem Grunde reicht es nicht aus den dünnwandigen Fensterquadern einen weißen bis hellgrünen Farbton zu geben. Sie müssen mit weiteren regelbaren Parametern versehen werden, die ihnen die typischen Eigenschaften eines Glaskörpers verleihen. Dies geschieht im Material-Editor, in dem die bereits genannten Größen der optischen Physik (s. Abb. 4.10, S. 26) aufeinander abgestimmt werden.

In der Abbildung 4.14 sind die inneren Teile der Uhr gut durch die Fenster sichtbar.



Abb. 4.14: Drei der 6 seitlichen Fenster

4.5.5 Erweiterung des Uhrenaufsatzes

Der Aufsatz trägt im Original neben den bereits grob modellierten, umlaufenden Aposteln noch weitere Figuren. Dazu gehören 6 ergänzende Jüngerdarstellungen in den Bögen und die zentrale Christusfigur, welche in den bisherigen Arbeiten vernachlässigt wurden. Diese sollen nach der Vorlage der Apostelmodellgruppe entstehen und an die richtigen Plätze im oberen Uhrenabschluss gesetzt werden. In 3ds Max lassen sich Körper auf einfache Art und Weise kopieren und bewegen. Die neu gewonnenen Figuren für die Bögen werden nicht weiter verändert und an die entsprechenden Stellen gerückt. Bei der Halbfigur von Jesus erfolgt eine lineare Vergrößerung des Körpervolumens zu allen Seiten und zusätzlich werden die Beinteile nach dem Markieren über die Poly-Funktion entfernt. Unter Berücksichtigung der Orientierung an der realen Darstellung wird die Modellfigur leicht vorgebeugt ausgerichtet (Abb. 4.15).



Abb. 4.15: Platzierung der bearbeiteten Jesusfigur

Im Anschluss erhalten alle neuen Vervielfältigungen eigene, an die echten Farben angelehnte Kolorierungen, welche in der folgenden Abbildung 4.16 gezeigt werden.



Abb. 4.16: Der erweiterte Aufsatz des Modells

4.5.6 Korrektur fehlerhafter Darstellungen

Die komplett überarbeitete Modelloberfläche wird in der realistischen Vorschauansicht an einigen Stellen mit fast völlig schwarzen, flimmernden Flächen angezeigt. Obwohl diese Bereiche ebenso wie die übrigen, richtig dargestellten Oberflächen bereits mit Farben bzw. Texturen ausstaffiert wurden, wird ihre Gestalt auch bei erneuter Zuweisung nicht korrekt wiedergegeben.

Es handelt sich dabei um die folgenden Bestandteile:

- rechter Pfeiler
- kleine Laternenkuppel
- vier obere Laternenverzierungen
- einige römische Ziffern des Zifferblattes
- Sonnenzeiger
- Uhrwerketage
- Zwischenetage
- Deckscheibenring mit Zeiger

In der Darstellung der testweise gerenderten Bildausschnitte wird der Fehler noch deutlicher. Wie im mittleren Ausschnitt von Abbildung 4.17 deutlich erkennbar ist, scheinen die zugewiesenen Farben wie von innen an die Außenhaut der Volumenkörper gelegt zu sein.

Verantwortlich dafür sind abweichende Vorgaben der zugehörigen Flächennormalen, die noch aus der Konstruktionserstellung stammen. Um die optische Ausgabe der eingefärbten Geometrien zu berichtigen, bestehen verschiedene Lösungsvarianten. Entweder wählt man im Material-Editor für die zugewiesene Farbe die Option "2-sided" (s. Abb. 4.6, S. 23) oder kehrt die Richtung der Flächennormalen um. Das Programm 3ds Max ermöglicht die Orientierung der Normalen über die Folge "Modifier-List: Normal: Flip Normals" zu ändern.



Abb. 4.17: v.l. Vorschau, fehlerhaftes und korrigiertes Renderbild des rechten Pfeilers

Da diese Funktionen erst zu einem späteren Zeitpunkt entdeckt werden, findet die Fehlerbeseitigung über einen alternativen Weg statt:

Je nach Bauteil wird eine Überführung von IGES- bzw. DXF-Formaten des einzelnen Elementes vorgenommen (s. Kap. 4.4, S. 18) oder die gleichartige Geometrie in 3ds Max vervielfältigt und gegebenenfalls gespiegelt. Deckungsgleiche Komponenten werden anschließend in allen Ansichten exakt übereinandergesetzt, worauf die Erstdarstellungen gelöscht werden können.

Die erneute Materialzuweisung ergibt das optisch fertig aufbereitete Gesamtmodell aus Abbildung 4.18.



Abb. 4.18: Fertig eingefärbtes und mit Texturen belegtes 3D-Modell

4.6 Drehbucherstellung

Im Drehbuch wird vorab festgelegt, welche Kameraperspektiven und Bildabfolgen im späteren Animationsvideo zu sehen sein sollen. Es ist freigestellt, welche Blickwinkel eingenommen werden und welche Fahrten die Kamera ausführt. Da in dem Video technische Zusammenhänge und Informationsträger veranschaulicht werden sollen, müssen Einstellungen gefunden werden, die eine bestmögliche Überschaubarkeit gewährleisten. Zudem setzt der in der Aufgabenstellung verlangte Videoflug eine schnittfreie Szene voraus.

Im Idealfall bringt die Animation dem Betrachter die Funktionsweise der Uhr in einer logischen Reihenfolge näher. Die Szenen sind folglich so angelegt, dass während der Aufnahme eine Erzählerstimme erklärende Informationen liefern kann. Im Anhang A-2 ist das fertige Drehbuch gegeben, für das die vorab genannten Punkte beachtet wurden.

Aus diesem kann die Szenenabfolge mit den geplanten Übergängen entnommen werden. Es liefert darüber hinaus Informationen zur Dauer der gezeigten Detailsequenzen. Werden diese summiert, ergibt sich eine Gesamtdauer t von drei Minuten und 30 Sekunden. Diese Angabe hat Auswirkungen auf die Anzahl der Einzelbilder der Animation, die für eine fließende Bewegungswiedergabe nötig sind. Zusammen mit der Bildwechselfrequenz (im Engl. Framerate) $f_{Framerate}$ multipliziert, ergibt sich eine zu produzierende Gesamtmenge an Bildern. Im Falle der Animation der Astronomischen Uhr wird ein Wert von 25 fps (Frames per Second) gewählt, die sich an der klassischen Fernsehausstrahlung orientiert. (Vgl. [MAC00], S. 260)

Dementsprechend ergibt sich die folgende erforderliche Gesamtbildanzahl n_{gesamt} :

$$n_{gesamt} = f_{Framerate} \cdot t$$
$$= \frac{25}{s} \cdot 210s$$
$$= 5250$$

Die Zeitleiste der Animationsarbeitsfläche muss daraufhin über die Eingabe der Bildanzahl im später beschriebenen Render-Setup angepasst werden.

4.7 Animation mit 3ds Max

Nachdem die optische Aufbereitung des Modells und die Planung der Visualisierung abgeschlossen sind, kann sich nun der eigentlichen Animation der Astronomischen Uhr zugewandt werden. In Vorbereitung auf die bewegten Aufnahmen müssen jedoch noch weitere Punkte abgearbeitet werden, die in den folgenden Abschnitten verdeutlichend aufgeführt sind.

4.7.1 Definition der funktionalen Zusammenhänge

Ein großer Vorteil der zu bewegenden Einzelkomponenten besteht darin, dass deren Bewegungen allesamt rotatorisch verlaufen. Dies vereinfacht die Bezugnahme der Positions- und Orientierungsveränderungen in hohem Maße. Gleichzeitig bedeutet dies aber auch, dass die Zentren der Drehbewegung sehr genau definiert sein müssen.

Alle in 3ds Max integrierten Teile besitzen jeweils einen eigenen Drehpunkt, der anhand seiner drei verstellbaren Koordinatenachsen frei im Raum platziert und ausgerichtet werden kann. Für die geplanten Bewegungen müssen diese Drehpunkte bei allen betreffenden Teilen in deren wirklichen Rotationszentren liegen. Die korrekte Lage jener Punkte muss für jedes Teil einzeln vorgenommen werden, da zu Beginn eine universelle Definition besteht, die keinerlei technische Zusammenhänge berücksichtigt.

In der rechten Befehlsleiste kann unter der Registerkarte "Hierarchy" Einfluss auf das Drehzentrum (im Engl. Pivot) genommen werden, indem die Schaltfläche "Affect Pivot Only" aktiviert wird (s. Abb. 4.19). Das Verschieben und/oder Drehen des körperzugewiesenen Koordinatensystems hat dann keine unmittelbaren Auswirkungen auf das markierte Teil. Bei einer Vielzahl der Komponenten kann vereinfachend der Befehl "Center to Object" genutzt werden, denn das Programm erkennt den ehemaligen Konstruktionsmittelpunkt der Scheiben, Räder und Wellen von allein. Einige Drehzentren müssen dennoch manuell an die richtigen Stellen gelegt werden, wie z.B. in die Pendelaufhängung für das Pendel.



Abb. 4.19: Option zur Veränderung des Körperdrehpunktes

Damit auch Rotationen, die sich auf zwei unterschiedliche Achsen beziehen, vollführt werden können, bedarf es außerdem der hierarchischen Verknüpfung einiger Objekte. Beispielhaft hierfür ist die Bewegung der 5 ersten Apostel während ihres Umgangs. Neben der Kreisbewegung mit den Speichen sollen sie zwischenzeitlich zwei zusätzliche Drehungen um ihre Körperachse ausführen: Eine Drehung um 90° nach rechts, hin zur zentralen Jesusfigur, und eine Drehung um 90° nach links, wieder zurück in Laufrichtung.

Mit der gegebenen Verkettungsfunktion (siehe erstes Symbol links oben in der Hauptarbeitsleiste in Abb. 4.5, S. 22) lässt sich diese Abhängigkeit der Elemente untereinander herstellen. Nachdem das untergeordnete Teil markiert wurde, wird das übergeordnete Teil angewählt und gilt von nun an als Orientierungsursprung. Die Zuordnungen können beliebig viele Hierarchiestufen haben. Diese Funktion bietet sich besonders an, wenn z.B. mehrere Zahnräder und Triebe auf einer Welle sitzen und sich mit dieser bewegen sollen, ohne dass für jedes Einzelteil der Drehwinkel verstellt werden muss.

Des Weiteren ist es möglich, Rotationen in bestimmte Abhängigkeiten voneinander zu setzen. Für das gesamte Uhrwerk bestehen mathematische Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Wellen, die in der Realität über die verschieden großen Zahnräder und Laternentriebe mechanisch hergestellt werden. Im Animationsprogramm reagieren die Körperoberflächen nicht aufeinander, sondern durchdringen sich, sodass eine funktionsechte Weitergabe der Drehbewegung simuliert werden muss. Dies geschieht über die Eingabe von Parameterabhängigkeiten, die u.a. auf Rotationen um Drehpunktachsen bezogen werden können.

Aufgrund des sehr hohen Stellenwertes dieses Arbeitsschrittes wird nachfolgend die genaue Reihenfolge der nötigen Operationen beschrieben und durch Abbildung 4.20 unterstützt:

- erstes, in Abhängigkeit zu setzendes Objekt markieren
- Auswahlfenster in Arbeitsansicht durch Betätigen der rechten Maustaste aufrufen
- "Wire Parameters"-Option wählen
- über "Transform: Rotation: X/Y/Z Rotation" Rotationsachse festlegen
- zweites Objekt markieren und vorherige Navigation wiederholen

Viewport Lighting and Shadows				
Isolate Selection				
Unfreeze All				
Freeze Selection				
Unhide by Name				
Unhide All				
Hide Unselected				
Hide Selection				
Save Scene State				
Manage Scene States				
display				
transform				
Move				
Rotate				
Scale				
Select				
Select <u>S</u> imilar				
<u>C</u> lone				
Object Properties				
Curve Editor	Transform	•	Position +	
Dope Sheet	Modified Object	•	Rotation +	X Rotation
Wire Parameters	Material #121	•	Scale	Y Rotation
Convert To:				Z Rotation

Abb. 4.20: Auswahlreihenfolge für die Zuweisung von Parameterabhängigkeiten

Anschließend öffnet sich das in Abbildung 4.21 erkennbare "Parameter Wiring"-Fenster. Dort kann die Richtung der Beeinflussung und das Übersetzungsverhältnis vorgeschrieben werden.



Abb. 4.21: Fenster für die Parameterverknüpfung

Das Übersetzungsverhältnis *i* passt die Rotationsgeschwindigkeiten der Zahnräder einander an und ist wie folgt definiert:

$$\boldsymbol{i} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2} \left(= \frac{r_1}{r_2} \right)$$

Dabei ist d der wirksame Durchmesser des beteiligten Zahnrades, z dessen Zähnezahl und r dessen Radius.

Die vorhandenen Wälzkreisdurchmesser der Getriebepaarungen sind durch Tab. 4.1 gegeben und weichen geringfügig von den idealen Verhältnissen der Zähnezahlen ab. Da beide Kennzahlen bei Betrieb relativ schnell zu Materialdurchdringungen führen, wird versucht, eigene Werte für die jeweiligen Übersetzungen zu finden. Dafür werden mithilfe des im Programm integrierten Messsystems die Radien der Wälzkreise möglichst genau erfasst, diese mit den alten Werten verglichen und die Abhängigkeiten daraufhin aktualisiert.

Paarung	Komponente	Wälzkreisdurcl in mm/ Verhältn	hmesser , is	Zähne- /Stecken- anzahl	ideales Verhältnis	wirksamer Radius (gemessen) in LE
1	Ankertrieb	83,8	0 20293	10	0 20000	42,0
·	50er Zahnrad	412,95	0,20200	50	0,20000	209,3
2	2. Trieb	67,1	0.08024	12	0.08333	33,6
-	Stundenrad	836,2	0,00021	144	0,00000	418,0
3	3. Trieb	48,3	0.04360	12	0 04167	24,3
Ĵ	Tagesrad	1107,74	0,01000	288	0,01101	554,3

Taballa 44. Ilbara Muuna ayaya wa Sifu ia a		مرم بمصريه ما ملما مرام م	INACEANI C	· ^^
Tanelle 4 1. Linersetzlindsvernaltniss	se tur das Hauntwerk (in Anienniind an		5.51
		III AINCINIAING AII		
U U				

In der späteren Animation wird das Uhrwerk für eine knappe Minute zu sehen sein. Während dieser Zeit soll es in Realgeschwindigkeit arbeiten und zeigt daher schon für das Stundenrad nur eine verschwindend geringe Winkelveränderung. Es genügt daher vollkommen, die Rotationsabhängigkeiten bis zum Tagesrad zu definieren und das Zeigerwerkgetriebe in diesem Punkt außer Acht zu lassen.

Von der Ankerradwelle bis zum Tagesrad ergeben sich somit drei Abhängigkeiten. Die Pendelbewegung des Hakenankers und das Schwingen des Pendels an sich werden analog miteinander in Verbindung gesetzt, aber nicht direkt mit den übrigen Übersetzungen verknüpft. Die Anfangsausrichtung des Ankerrades wird an die maximale Auslenkung des Ankers angepasst. Ausgehend von dieser wird in der späteren Animation die Visualisierung der realen Bewegungsübertragungen erfolgen.

Die Drehungen der Sonnen- und Mondscheibe auf der Uhrenfront werden nach der gleichen Vorgehensweise in Beziehung zueinander gesetzt. Die nötigen Werte können Tabelle 4.2 entnommen werden, die zusätzlich die Bewegungsverhältnisse zwischen dem Stundenzeiger und den auf ihm gelagerten Scheiben aufführt, welche ebenfalls mittels der Parameterzuweisung auf die Elemente übertragen werden.

Paarung	Komponente	Übersetzungs- verhältnis
4	Sonnenscheibe Mondscheibe	27,32 365
5	Sebes-Scheibe Stundenzeiger	-1
6	Planetenuhr Stundenzeiger	$\frac{24}{28}$

Tabelle 4.2: Übersetzungsverhältnisse für die Uhrscheibenanzeige

4.7.2 Herstellung der Lichtverhältnisse

Das Äußere der Uhr wird in der Kirche durch viele verschiedene Lichtquellen beleuchtet. Die Front ist von einer Reihe hoher Fenster umgeben und wird zusätzlich durch Scheinwerfer angestrahlt. In das Innere dringt dagegen nur sehr wenig Licht.

Für die Animation sollen alle Bereiche der Uhr gut ausgeleuchtet werden. Außerdem sind eine realitätsnahe Lichtstreuung und das Entstehen von Schatten wünschenswert, da sie die Bilder natürlicher wirken lassen. Die Wahl und Platzierung der virtuellen Lichtquellen muss gut überlegt stattfinden, denn von ihnen hängt maßgeblich die Ergebnisoptik ab.

Über die rechte Befehlsleiste können in der Kategorie "Create" verschieden gerichtete Lichttypen erzeugt werden, darunter Spotlights, sowie Lichter, die in alle Richtungen strahlen. Das Programm bietet zusätzlich die Möglichkeit ein vorde-finiertes System eines Tageslichtes auszuwählen, welches nach der Positionierung im Raum die reale Sonneneinstrahlung und deren Teilreflektion an Flächen simuliert. Diese Lichtquelle erweist sich als die geeignetste und wird in gewissem Abstand auf der Vorder- und Rückseite der Uhr jeweils einmal eingerichtet.

Um eine zufriedenstellende Detailausleuchtung von Uhrwerk, Apostelumgang und Kalenderraum zu erreichen, werden noch drei weitere sog. "Omni Lights" (Rundum-Lichter) in unmittelbarer Nähe zu den Objekten geschaffen. Für alle Lichtquellen wird die Schattenentstehung zugelassen und teilweise wird ihre Intensität variiert. Die Prismen in Uhrennähe aus Abbildung 4.22 zeigen die Rundumlichter an, während die schirmartige Darstellung am linken Rand das Tageslichtsystem wiedergibt.

Das Rendern von Testbildern bewirkt nach und nach ein Annähern an den gewünschten Idealzustand.



Abb. 4.22: Lichtquellen

4.7.3 Festlegen der Kamerafahrt

Die nachgestellte Szenerie soll schlussendlich gefilmt werden und dem Betrachter nacheinander die vorgestellten Einzelfunktionen veranschaulichen. Laut Drehbuch ist die Kameraführung in einem durchgehenden Rundumflug geplant, während dem an einzelne Bereiche näher herangefahren wird. Um der durch ein mögliches Zoomen hervorgerufenen Krümmung von Linien vorzubeugen, wird eine feste Brennweite des fiktiven Objektives von 25 mm definiert. Der Kamera muss demzufolge ein Pfad zugewiesen werden, der seinen Abstand zum Filmobjekt, der Astronomischen Uhr, verändert.

Als Ausgangspfad dient ein einfacher Kreis auf Höhe der Uhrscheibe. Diesem wird die Kamera zugewiesen, sodass die Bildaufnahme durchweg von Punkten des Kreises stattfindet. Durch ein Verändern des Pfadverlaufes und testweise aufgenommene Bilder wird allmählich die Bewegungsbahn der Kamera festgelegt. Das Ergebnis der Pfaderstellung ist eine recht komplexe Linie (s. Abb. 4.23), die jedoch alle gewünschten Blickwinkel und Bildausschnitte umsetzt.

Die ausgewählte "Target Camera" richtet sich während ihrer Aufnahme durchgehend auf ein definierbares Ziel. Bei der Annäherung an die Objekte sollen diese in jedem Fall im Zentrum der Aufnahme stehen. Darum ist es notwendig unterschiedliche Ziele vorgeben zu können.

Unter Verwendung eines zweiten Pfades kann das Ziel verändert werden, indem seine Position entlang des Pfades verschoben wird.

Der Arbeitsschritt wird abgeschlossen, indem über die im folgenden Kapitel beschriebene Keyframe-Animation konkrete Kamerapositionen und -ausrichtungen entlang der beiden Pfade zu bestimmten Zeiten festgelegt werden.



Abb. 4.23: Kamera und deren Pfad

4.7.4 Bewegungsanimation der Uhrenteile

Infolge der definierten Kamerafahrt ergeben sich für die darzustellenden Objekte vorbestimmte Zeitfenster, in denen ihre Funktionsweise vermittelt werden soll. Die Dauer der einzelnen Animationsszenen wurde bereits im Drehbuch vorgemerkt und berücksichtigt den Aspekt einer audio-visuellen Umsetzung.

Der finale Kurzfilm wird aus mehreren tausend Einzelbildern bestehen, sodass eine Bild-zu-Bild-Vorgehensweise wie bei früheren Comic-Animationen zu unproduktiv wäre. Über die Vorgabe von Schlüsselbildern (im Engl. Keyframes), z.B. am Anfang und Ende einer Detailansicht, können Bewegungsveränderungen der Einzelkomponenten unkompliziert realisiert werden. Dieses Prinzip erleichtert die Arbeit dahingehend, dass das Programm die fehlenden Bilder für die erkennbare Bewegungsausführung interpoliert. Werden also eine Start- und eine Zielausrichtung eines Elementes definiert, animiert das Programm die Bewegung in Abhängigkeit der dazwischenliegenden Zeit mit einer resultierenden Geschwindigkeit automatisch.

Der Verlauf der Koordinatenänderung vom Objektbezugspunkt, dessen Anstieg die Geschwindigkeit wiedergibt, wird dem Anwender wahlweise in einem separaten Fenster angezeigt (s. Abb. 4.24). Dort kann direkt Einfluss auf die Kurven genommen werden, beispielsweise auf das Beschleunigen oder Bremsen der Bewegung. Zudem können Kurvenverläufe kopiert und eingefügt werden, was besonders für das harmonische Schwingen des Pendels hilfreich ist.



Abb. 4.24: Bewegungskurvenverlauf des Pendels

Nach der Gesamtansicht zeigt die in einem Bogen um das Modell geführte Kamera zuerst das Uhrwerk. Das Schwingen des Pendels und die Bewegung des Getriebes sollen bereits bei erster Sicht ausgeführt werden. Daher wird ein Startzeitpunkt für die Hauptwerk-Animation gewählt, bei dem die Uhrwerkteile noch vom Pfeiler verdeckt werden. In Abbildung 4.25 sind die rotierenden Uhrwerkteile für ein erleichtertes Animieren vom Rest der Uhr separiert dargestellt.



Abb. 4.25: Die zu animierenden Teile des Uhrwerks

Um eine bessere Sichtbarkeit der arbeitenden Räder und Triebe zu gewährleisten, werden einige Teile aus der Umgebung zwischenzeitlich vom Gesamtmodell gelöst und aus dem Sichtfeld genommen. Dies geschieht ebenfalls über eine Keyframe-Animation und betrifft das Gerüst der Altarrückwand, ein Geländer und einen Pfeiler. Im Anschluss an die etwa einminütige Rückseitenaufnahme richtet sich der Fokus auf die Anzeigen der Uhrscheibe. Das Zusammenspiel der Sonnen- und Mondscheibe, sowie der Stundenzeiger mit seinen beiden Scheiben werden per Schlüsselbildvorgabe nacheinander animiert. Zu Anschauungszwecken werden die Rotationen nicht in Echtzeit, sondern über entsprechend größere Drehwinkelveränderungen in Zeitraffer wiedergegeben. Für den Umlauf des Stundenzeigers wird ein gleichförmiger Geschwindigkeitsverlauf definiert.

Die Endstellung des Stundenzeigers weist auf die Mittagsstunde hin, worauf im Video wie im Original der Apostelumlauf beginnt. Zu Beginn wird das Öffnen und Schließen der Türen animiert, gefolgt von der Drehung der Speichen. Nachdem diese Bewegungen zeitlich aufeinander abgestimmt sind, werden den ersten 5 Figuren ihre Teildrehungen zugewiesen, die das Zuwenden zur Christusfigur erzeugen. Die folgende Abbildung 4.26 zeigt ein Bildschirmfoto der Apostel-szenenanimation.



Abb. 4.26: Die Animation des Apostelumgangs

Die Kalenderscheibe wird als letztes Detail näher beleuchtet, bevor die Kamera wieder in ihre Ausgangsposition für eine abschließende Gesamtansicht fährt. Auch diese Scheibendrehung wird mit beschleunigtem Tempo animiert und erfolgt wie alle vorangegangen Detailanimationen über die Festlegung von Keyframes.

4.8 Erstellung des Videos

4.8.1 Rendering mit 3ds Max

Mit dem Rendering erfolgt der erste Schritt zur Umwandlung der Modelldarstellung aus einer 3D-Umgebung in eine universelle 2D-Ausgabe. Das im Kapitel Drehbucherstellung angesprochene Render-Setup von 3ds Max (s. Abb. 4.27, Mitte) ermöglicht dem Benutzer, den Umfang der zu berechnenden Bilder, deren Speicherort und Format, sowie deren Qualität festzulegen. Laut [Autodesk] werden die besten Bildergebnisse unter Verwendung der "mental ray Renderer"-Voreinstellung erzielt, die sich am unteren Ende der "Common"-Registerkarte im Feld "Assign Renderer" auswählen lässt. Diese computergrafische Bildberechnungsmethode berücksichtigt auch die von Flächen zurückgeworfenen Lichtstrahlen und führt so zu einer natürlicheren Erscheinung der Oberflächen und Schatten. Im gleichen Zug benötigt das Programm mehr Zeit für die Berechnung des einzelnen Bildes, welches als JPEG-Datei im Format HDTV 1920x1080 Pixel gespeichert werden soll.

Das Rendern von Testbildern aus der Animation ergibt eine Prozessdauer zwischen 16 s und 48 s pro Bild. Mit dem Durchschnittswert von 32 s pro Bild ergibt sich eine Gesamtberechnungsdauer von knapp zwei Tagen. Nachdem ein Speicherort für die Bildersammlung eingerichtet wurde, beginnt der Berechnungsdurchlauf des Computers, welcher in Abbildung 4.27 gezeigt wird.



Abb. 4.27: Der Rendering-Prozess in 3ds Max

Die tatsächliche Dauer erreicht am Ende relativ genau den überschlagenen Wert. Anstatt der prognostizierten 46,67 h verläuft der Prozess letztendlich über 47,57 h. Die entstandenen Bilder besitzen eine Dateigröße zwischen 373 kB und 1,3 MB, sodass sich ein Gesamtumfang des Bilderverzeichnisses von 4,88 GB ergibt.

Im folgenden Abschnitt wird beschrieben wie aus den Einzelbildern das Video entsteht.

4.8.2 Rendering mit After Effects

In After Effects wird ein weiterer Rendering-Schritt durchgeführt. Hier wird die Umwandlung der Bilderfolge zum Video vorgenommen. Das Programm unterstützt den Import von Sequenzen, die aus durchlaufend nummerierten Bildern bestehen. Da alle Einzelbilder der Animation in einem gemeinsamen Ordner abgespeichert sind, benötigt After Effects nichts weiter als die Markierung des ersten Bildes, sowie eine Vorgabe der Bildwechselfrequenz und lädt anschließend alle 5250 Dateien automatisch in seine Arbeitsoberfläche.

Die Dauer des Videos ergibt folgerichtig wie geplant drei Minuten und 30 Sekunden und wird unmittelbar nach Abschluss des Importvorgangs angezeigt. Verschiebt man den Regler in der Zeitleiste, entstehen im Vorschaufenster erstmalig fließende Bewegungen der Animationsszenen.

Das Video kann dann durch die Auswahl eines Export-Formates und einen Speicherort innerhalb weniger Minuten produziert werden.

In Abbildung 4.28 ist die Benutzeroberfläche von After Effects mit bereits importierter Sequenz zu sehen.



Abb. 4.28: After-Effects-Oberfläche mit eingefügter Bildsequenz

4.8.3 Hinzufügen der Audiospur und Fertigstellung mit iMovie

Um den erstellten Videoflug um die Astronomische Uhr informativ abzurunden, erfolgt eine stimmliche Untermalung des bis hierher stummen Animationsfilmes. Diese szenenbezogenen Ausführungen sind synchron zur Drehbucherstellung geplant worden und werden mithilfe von iMovie umgesetzt.

Das Programm bietet mit seiner integrierten Voiceover-Funktion eine sehr einfache Möglichkeit, selbst erstellte Videos mit persönlich Gesprochenem zu ergänzen. Die Sprachaufnahme kann schrittweise erfolgen und beliebig unterbrochen werden. Wie in Abb. 4.29 zu erkennen ist, wird die aufgenommene Tonspur in der gleichen Zeitleiste wie der Animationsfilm visualisiert. Durch diese Darstellungsweise wird die zeitliche Abstimmung zwischen Bild und Ton erleichtert. Es können außerdem Korrekturen für den Passageneinsatz vorgenommen werden.

Zu Beginn des Videos wird ein Titel eingeblendet, der das Thema vorstellen soll. Das Ende zeigt ein kurzes Standbild, das ins Schwarze ausgeblendet wird.

Mit dem finalen Export im MOV-Format findet die endgültige Fertigstellung der nun vertonten Animation statt.



Abb. 4.29: Aufnahme der Tonspur in iMovie

5 Ergebnisdarstellung

Der entstandene Videoflug zeigt nacheinander die Modellteile in ihrer Gesamtheit und im Einzelnen. Hinzukommend werden durch eine hinterlegte Stimme nebenbei ausgewählte Informationen gegeben, die die Visualisierung nachvollziehbarer machen sollen.

Im Folgenden sind die Detailerläuterungen schriftlich festgehalten und im Vergleich zum Video stellenweise noch ausführlicher dargelegt. Sie orientieren sich an der Reihenfolge der in der Animation gezeigten Uhrenteile. Das wortgenaue Skript der Audiospur befindet sich im Anhang unter A-3.

Die zugrunde liegende Literatur liefert Prof. Dr. Manfred Schukowski mit seinen umfangreichen Publikationen ([SCH04]; [SCH06]; [SCH10]; [SCH12]).

5.1 Funktionsweise des Uhrwerks

Im Original ergeben 29 größere Rahmenteile, welche handgeschmiedet wurden, miteinander ein Gesamtgebilde von 1,62 m Höhe, 1,22 m Breite und 0,79 m Tiefe. Der eiserne Rahmen ist auf Balken aus Eichenholz im zweiten Geschoss platziert. Von den Grundbalken der darüber liegenden Etage hängt das dort verankerte Uhrenpendel herab.

Das Modell ist ein, wenn auch vereinfachter, maßstäblicher Nachbau und besitzt alle für die Funktionsdarstellung notwendigen Bestandteile. Für die eindeutige Veranschaulichung und die erleichterte Beschreibung wurden vier Zahnräder in der Animation mit unterschiedlichen Farben ausgestattet, die in der Realität nicht vorhanden sind. Dem Stundenrad wurde ein Grün-, dem Tagesrad ein Blau-, dem Jahresrad ein Gelb- und dem siderischen⁴ Monatsrad (Mondphasenrad) ein Violett-Farbton verliehen (s. Abb. 5.1). Die nicht näher erläuterten Getriebeteile wurden in einem hellen Grau gehalten, um sich klar von den restlichen Uhrwerkkomponenten abzuheben.

⁴ bezogen auf die Umlaufzeit eines Himmelskörpers auf seiner Bahn, in diesem Falle des Mondes



Abb. 5.1: Animiertes Hauptwerk mit Zeigerwerk, Frame #1398

In den nächsten Absätzen wird versucht, die Funktionsweise des Uhrwerks in einfacher Art und Weise zu erläutern. Das Schema in Abbildung 5.2 soll die Zusammenhänge unterstützend verbildlichen.

Eine Hebelvorrichtung verbindet die oberste bewegliche Achse des Gehwerks mit dem angeregten Pendel, welches in drei Sekunden eine komplette Schwingung vollzieht und dabei den Hakenanker bewegt. Dieser hemmt das Ankerrad und gibt es anschließend wieder frei, sodass sich eine ganze Umdrehung der 20 Zähne nach einer Minute ergibt. Auf einer Welle mit dem Ankerrad sitzend gibt ein Laternentrieb mit 10 Stecken die Bewegung an ein 50-zähniges Rad weiter, welches sich folglich nach 5 Minuten einmal vollständig dreht. Ein weiterer Laternentrieb mit 12 Stecken rotiert zusammen mit dem letztgenannten Zahnrad und wandelt dessen 5-Minuten-Rhythmus durch die Bewegungsweitergabe an das 144 Zähne tragende Stundenrad in die 60 Minuten einer Zeitstunde um. Die Stundenradwelle ist ebenso mit einem 12-Stecken-Laternentrieb versehen und bewirkt mit der Übertragung ihrer Rotation auf die 288 Zähne des 24-h-Rades dessen einmal täglich vollführten Umlauf. Nach [DRE63] lässt sich vom Ankerrad zum Tagesrad mit den beschriebenen Übersetzungen folgende Formel aufstellen:

$$\frac{n_{Tagesrad}}{Tag} = \frac{n_{Ankerrad}}{Stunde} \cdot 24 Stunden \cdot \frac{10}{50} \cdot \frac{12}{144} \cdot \frac{12}{288}$$
$$= \frac{60}{Stunde} \cdot 24 Stunden \cdot \frac{10}{50} \cdot \frac{12}{144} \cdot \frac{12}{288}$$
$$= 1$$

n bezeichnet die Umdrehungen und wird auf die angegebenen Zeiten bezogen.

Das Zeigerwerk besteht aus 5 Zahnrädern und vier Trieben und sorgt mit seiner etwas komplizierteren Übersetzung für die zyklische Drehung des Sonnenzeigers (360° nach 365 Tagen) und des Mondzeigers (360° nach 27,32 Tagen).



Abb. 5.2: Schema des Haupt- und Zeigerwerks ([AstroUhr04])

Der folgend beschriebene Mechanismus ist aufgrund fehlender Modellteile in der Animation nicht zu sehen, sei aber dennoch verständnishalber hinzugefügt:

Durch einen Zapfen am Tagesrad wird um Mitternacht über einen Seilzug die Hebelkonstruktion des in der darunterliegenden Etage befindlichen Kalenderwerks bewegt, worauf die etwa 75 kg schwere Eichenholzscheibe um einen von 365 Zähnen weitergedreht wird.

5.2 Zusammenspiel der Uhrscheibenanzeigen

Die Erscheinung der Uhrscheibenanzeigen entspricht aufgrund der Texturbelegungen mit Fotos und der wirklichkeitsgetreuen Geometrie-Modellierungen nahezu 1:1 ihrer realen Vorlage; deutlich in Abbildung 5.3 zu erkennen.



Abb. 5.3: Animierte Uhrscheibenanzeigen, Frame #2710

Ganz außen enthält der erste von vier festen Ringen zweimal die römischen Ziffern von I bis XII in spätgotischen Minuskeln für die Stundenanzeige. Dieser 24-Stunden-Ring zeigt die XII jeweils einmal oben und einmal unten und wird im Laufe eines vollen Tages vom später beschriebenen Stundenzeiger umkreist. Nach innen folgen unter anderem zwei breite Figurenringe, die durch einen schmalen Ziffernring (alle drei ebenfalls fest) von der Stundenanzeige abgegrenzt werden.

Der äußere Figurenring ist der Tierkreisring, welcher mit dem waagerecht, rechts platzierten Widder beginnend, entgegen dem Uhrzeigersinn angefertigt ist. Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Waage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann und Fische ergänzen den aufwendig geschnitzten Tierkreis (Zodiakus). Der zwischen Stundenanzeige und Zodiakus liegende Ziffernring unterteilt alle 12 Tierkreiszeichen in bis 30 zählende 5°-Abschnitte und verläuft hierfür ebenfalls im Gegenuhrzeigersinn.

Innerhalb des Tierkreisringes befindet sich der Monatsring. Auf ihm werden für den Monat typische Abbildungen von damaligen Arbeiten in Stadt und Land gezeigt. Zwischen den einzelnen, Tätigkeiten verrichtenden Figuren geben lateinische Schriftbänder den Monat an. Auch hier verlaufen die nachfolgend zugeordneten Schnitzereien entgegen der Uhrzeigerrichtung:

Januar	vornehmer, tafelnder Herr
Februar	sich am Feuer wärmender Mann
März	Mann pflanzt zwei Bäume
April	umgrabende Frau
Mai	säender Bauer
Juni	Gras mähender Schnitter mit Sense
Juli	Getreide sichelnde Bäuerin
August	Korn dreschender Bauer mit Flegel
September	Winzer bei der Weinlese
Oktober	Äpfel pflückender Mann
November	Holz hackender Mann
Dezember	Mann schlachtet ein Schwein

In der Mitte der festen Ringe drehen sich unter dem Stundenzeiger zwei übereinander liegende Scheiben. Beide sind mit einem Originaldurchmesser von 1,78 m gleich groß, wobei die obere Scheibe einen kreisrunden Ausschnitt von ungefähr einem Viertel ihrer Gesamtfläche besitzt.

Die im Ganzen sichtbare Scheibe ist die Sonnenscheibe. Sie zeigt einen von Sternen umgebenen Drachen und hat außen einen Ziffernring, der in 29 von 30 Teilen die arabischen Zahlen von 1 bis 29 trägt. Das 30. Feld ist ohne Beschriftung, jedoch ist an diesem Feld ein Zeiger mit einem Sonnenbildnis angebracht. Dieser Sonnenzeiger ragt bis in den Gradeinteilungsring am Rande der Figurenringe hinein und durchläuft einmal jährlich alle Tierkreiszeichen und Monatsbilder. Dafür vollzieht er täglich eine Linksdrehung von knapp einem Grad ($^{360}/_{365}$).

Die ausgeschnittene Freifläche der Sonnenscheibe ermöglicht eine teilweise Sicht auf die darunterliegende Mondphasenscheibe. Dem Mondalter entsprechend erkennt man durch den Kreisausschnitt den wie in der Natur zu- oder abnehmenden Mond. Bei Neumond sieht man ein dunkles, bei Vollmond ein goldgelbes Mondgesicht und in den Phasen dazwischen gibt ein mehr oder weniger großes Stück des hellen Mondes die derzeitig sichtbare Mondfläche wieder. Außen an der Mondscheibe ist ein Zeiger befestigt, der einen kleinen Mond trägt.

Mondzeiger und Sonnenzeiger überdecken sich bei Neumond. Für eine volle, entgegen dem Uhrzeigersinn stattfindende Umdrehung benötigt die Mondscheibe 27,32 Tage, was einem siderischen Monat gleichkommt. Während dieser Zeit dreht sich auch die Sonnenscheibe in gleicher Richtung und so treffen sich Sonnen- und Mondzeiger erneut nach 29,53 Tagen (= ein synodischer⁵ Monat).

Das aktuelle Mondalter, also die Anzahl der vergangenen Tage seit dem letzten Neumond, lässt sich durch die Stellung des Mondzeigers zum Außenring der Sonnenscheibe ablesen. Stehen beide Zeiger übereinander, hat der Mond ein Alter von null, erkennbar an der Position des Mondzeigers im unbeschrifteten Feld. Stehen sich beide Zeiger gegenüber, d.h. es ist gerade Vollmond, beträgt das Mondalter ungefähr 15 Tage und der Mondzeiger befindet sich im 15. Feld des Ringes. Bei zuoder abnehmendem Halbmond stehen die Zeiger ungefähr in einem rechten Winkel zueinander.

Mittig in den beiden Scheiben gelagert dreht sich der Stundenzeiger, der als Doppelzeiger ausgeführt ist. Das sich am Tag über die obere Ziffernringhälfte hinwegbewegende Zeigerende deutet mit einer Hand auf die Uhrzeit. Am anderen Ende, das mit einem Stern ausgestattet ist, kann die gleiche Stunde abgelesen werden, doch bewegt sich dieses erst während der Nacht in der oberen Hälfte des Zifferblattes.

Des Weiteren bestücken zwei kleine Scheiben den Doppelzeiger. Sie befinden sich, leicht versetzt, ungefähr auf der Höhe der Monatsbilder an der jeweiligen Zeigerhälfte und sind drehbar gelagert. Nahe dem mit dem Stern versehenen Ende zeigt die etwas kleinere der beiden Scheiben ein Bildnis des ehemaligen Rostocker Senators Zacharias Sebes (1601-1650). Er nahm die Berechnungen der damals neu gebauten Musik- und Stundenschlagwerke vor und ist darum ehrwürdigend verewigt. Ihn umgibt ein Ring mit der Zahlenfolge von 1 bis 24; die 12 steht dabei über seinem Kopf (s. Abb. 5.4). Auf der Rückseite der Scheibe ist unten, hinter der 24, ein Massestück fixiert, sodass das Senatorenbild stets senkrecht ausgerichtet bleibt. Die Rotation des Stundenzeigers führt dazu, dass eine weitere kleine, auf dem Stab befestigte Hand den Rand des 24-Stunden-Ringes im Tagesverlauf einmal

⁵ bezogen auf die Stellung von Himmelskörpern untereinander, in diesem Fall auf Erde und Mond

vollständig umkreist. Das bedeutet die Uhrzeit kann nicht nur auf dem großen Zeitzifferblatt abgelesen werden, sondern wird zusätzlich auch in der für die Wissenschaft gebräuchlichen, durchgehenden Zählweise angezeigt.



Abb. 5.4: Vergrößerte Darstellung der animierten Sebes-Scheibe

Die gegenüberliegende Zeigerhälfte wird durch eine astrologische Stundenuhr ergänzt, in deren Mitte ringförmig "HORAS PLANETARUM" (die Stunden der Planeten) geschrieben steht (s. Abb. 5.5). Diese Planeten- oder Stundenregentschaftsuhr ist viermal mit den Symbolen und lateinischen Namen der 7 Wandelsterne beschriftet:

Soll (Sonne) Venus Merkur Luna (Mond) Saturn Jupiter Mars



Abb. 5.5: Vergrößerte Darstellung der animierten Planetenuhr

Ein in Richtung des großen Stundenzeigers fest stehender, roter Zeiger gibt den aktuellen Stundenregenten an. Derjenige Himmelskörper, der die erste Stunde nach Mitternacht regiert, ist gleichzeitig der Tagesregent (Possessor), woraus sich die Namen der 7 Wochentage ableiten lassen:

Sonntag	Sonne
Montag	Mond
Dienstag/Tuesday/mardi	Mars (Ziu/Tiu, Tyr)
Mittwoch/Wednesday/mercredi	Merkur (Wodan)
Donnerstag/Thursday/jeudi	Jupiter (Donar, Thor)
Freitag/Friday/vendredi	Venus (Freya)
Sonnabend/Saturday	Saturn

Zusätzlich zu einem Massestück wird die Scheibendrehung durch ein rückseitig gelagertes Getriebe beeinflusst. So wird gewährleistet, dass täglich nur 24 der 28 Sektoren vom einseitig leicht geschwungenen Zeiger durchlaufen werden.

5.3 Beschreibung der Apostelszenerie

Im Gegensatz zur ursprünglichen Aufsatzbaugruppe aus Pro/ENGINEER trägt der in 3ds Max erweiterte, obere Uhrenabschluss die angedeuteten Gestalten der bisher fehlenden biblischen Figuren.

Zentral platziert ist die gelbe Halbfigur des Christus. Rechts und links neben ihr stehen jeweils in den äußeren zwei Bögen der Stirnseite und an den Seitenflächen der Bekrönung 6 der 12 Apostel.

Die Identifizierung für die original hölzernen Darstellungen ist jedoch aufgrund fehlender oder z.T. verlorengegangener Attribute nicht durchweg eindeutig möglich. Nur die beiden Figuren der linken Front haben in der Kirche noch ihre kennzeichnenden Gegenstände und liefern so Anhaltspunkte zu ihrem Abbild. Außen könnte Philippus dargestellt sein und rechts daneben steht Simon Zelotes. Auch trotz der Tatsache, dass für die übrigen vier Gestalten keine namentliche Zuordnung getroffen werden kann, ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um weitere Apostel Jesu handelt, die zusammen mit den folgend beschriebenen 6 umlaufenden Figuren die bekannte Anzahl von den 12 Jüngern aus dem Neuen Testament ergeben.

Während des Umgangs öffnen sich zwei Türen in den direkt neben Jesus benachbarten Pilasterbögen. Aus der rechten Tür treten dann nacheinander Petrus, Johannes, Jacobus der Jüngere, Jacobus der Ältere, Paulus und Judas Ischariot hervor. Sie alle haben eine Originalgröße von ungefähr 38 cm und besitzen bzw. besaßen ihre typischen Ausstattungsattribute, z.B. trägt Petrus ein Schlüsselbund und Judas hält einen Geldbeutel. Die 5 Erstgenannten sind in rote und grüne Gewänder gehüllt und wenden sich im Laufe des Umgangs Christus zu.

In der echten Szene empfangen sie durch die Hebung seiner rechten Hand dessen Segen und verschwinden durch die linke Tür wieder in das Uhrenaufsatzinnere. Dieser Mechanismus für die Armbewegung wurde im Video nicht umgesetzt, da er mit der gegebenen Jesusfigur schwer realisierbar ist.

Vor dem grau eingefärbten Judas schlägt die Tür am Ende zu. Er wendet sich vorher nicht zur Mitte, wird auch nicht gesegnet und muss bis zum folgenden Umgang vor der verschlossenen Himmelspforte ausharren.

Aufgrund der nur silhouettenhaft modellierten Körper, sind die in der Animation gezeigten Apostel nicht wirklichkeitsgetreu wiedergegeben. Sie sollen aber mit den ihnen verliehenen Farben (s. Abb. 5.6) an die realen Vorlagen erinnern.



Abb. 5.6: Erweiterter und animierter Apostelumlauf, Frame #3920

5.4 Informationen der Kalenderscheibe

Am Ende des Animationsfilmes wird kurz die Kalenderscheibe mit ihrer Fülle an Daten vorgestellt. Sie dreht sich in einem festen, sie einrahmenden Quadrat und hat in ihrer Mitte eine ebenfalls feste Abdeckung. Ein Sonnenrelief ist Mittelpunkt dieser Deckscheibe. Außerdem wird sie von Barock-Lettern verziert, die zwei eingelassene Sichtfenster einrahmen, in die je eine von zwei aus der Mitte kommenden Händen mit ausgestrecktem Zeigefinger weist. Die schwungvollen Inschriften erklären die ablesbaren Angaben in den Fensterchen. Zur Linken steht "Allhier sieht man zu aller frist Wie lang der tag von stunde ist," und zur Rechten "Allhier wird dir auch fürgebracht Wie lang von stunde ist die nacht.". Damit werden links die Stunden zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang und rechts die Stunden zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang angezeigt. Gemäß Rostocks geografischer Breite schwanken die Tages- und Nachtdauer zwischen 7 und 17 Stunden, weshalb zwei abwechselnd hoch- und runterzählende Ziffernreihen auf zwei unter den

Zeigefingern liegenden Ringen aufgetragen sind. Nach innen werden die gewiesenen Zeiträume durch rot-weiße 15-Minuten-Aufteilungen konkretisiert.

Die Bewegung dieser Ziffernringe ist in der Animation nicht dargestellt, denn bis dato existiert keine vollständige Textur eines zusammengesetzten Fotos oder einer Nachbildung.

Mit der starren Zentralscheibe ist ein Stabzeiger fest verbunden, der auf den an späterer Stelle beschriebenen 6. Ring der sich drehenden Scheibe verweist. Der Ring mit den Tierkreiszeichen ähnelt sehr dem der Uhrscheibe, nur verläuft er im Uhrzeigersinn und beginnt mit dem Widder auf der linken Seite. Auch bei diesem Tierkreisring wird jedes der 12 Zeichen durch einen weiteren schmalen Außenring in 6 Abschnitte von je 5° geteilt (|5, 1|0, 1|5, 2|0, 2|5, 3|0).

Die folgende Abbildung 5.7 zeigt die bisher genannten und nachstehend beschriebenen Ringe der animierten Kalenderanzeige.



Abb. 5.7: Vergrößerte Darstellung der animierten Kalenderscheibe

Der äußerste aller drehbaren Scheibenringe ist der Monatsring mit dem lateinischen Namen und der Anzahl von Tagen des betreffenden Monats (z.B. MAIUS, HABET DIES 31). Er ist der erste von 6 Ringen, die für alle 365 Tage des Gemeinjahres spezifische Angaben aufweisen und nacheinander in Richtung Mitte zu lesen sind. In der Realität auf Kupferblech aufgetragen, deckt er den Spalt zwischen beweglicher, hölzerner Kalenderscheibe und feststehendem Raum ab. An ihm ist obendrein auf Höhe des 25. Februars ein Sonnenzeiger verankert, der im Jahresverlauf mit einer Rechtsdrehung alle Tierkreiszeichen durchwandert. Zu Frühlingsbeginn steht dieser zwischen den Zeichen Fische und Widder.

Ein ringförmiger Streifen mit weißen und roten Tagesfeldern im Wechsel folgt innerhalb des Monatsringes. Um trotz der ungeraden Zahl von 365 Jahrestagen die durchgehende Farbabwechslung der Felder zu erlangen, wurden - kaum auffallend - für die drei Tage vom 25.-27. März vier Tagesfelder angefertigt.

Der dritte tagesbezogene Ring gibt für die 12 Monate das Tagesdatum selbst an.

Darauf folgt ein Ring mit den Tagesbuchstaben A-G, die abhängig vom Sonntagsbuchstaben für einen der 7 Wochentage stehen.

An vorletzter Stelle der Tagesdaten tauchen die im 5. Ring festgehaltenen Tages-Heiligen oder Namen der datumsfixen Festtage auf. Hinzukommen die kleinen Symbolbilder des Tierkreises, die zum vorgegebenen Datum das Eintreten der Sonne in ein neues Kreiszeichen kennzeichnen.

Der 6. Ring enthält abschließend die Sonnenaufgangszeiten für Rostock nach damalig üblicher Ortszeit ohne Zonenberücksichtigung. Die Zeitangaben gelten jeweils für zwei aufeinander folgende Tage und liegen zwischen 3:29 Uhr für die Tage vom 20.-23. Juni und 8:31 Uhr für den 19./20. Dezember. Einzig und allein dem Neujahrstag ist eine eigene Uhrzeit zugeordnet.

Alle übrigen 7 Ringe der Kalenderscheibe liefern Daten, welche eine feste Zuordnung zu den 133 dokumentierten Jahren haben und zeilenweise abgelesen werden müssen.

"Die Gülden Zahl" ist die erste jahresspezifische Angabe und gibt mit der fortan neu beginnenden Ziffernfolge von 1 bis 19 die Erkenntnis wieder, dass die Mondphasen alle 19 Jahre auf dieselben Tage fallen. Im Mittelalter fehlte die "Goldene Zahl" an keinem Kalender, da es für die Errechnung des Osterdatums nötig war die Mondphase zu kennen. Der zweite Kranz der jährlich fortlaufenden Datengruppe vermittelt "Das Jahr Christi" und zählt die Jahre von 1885 bis 2017 auf.

An dritter Position legt der Ring mit der Aufschrift "Der Sontags Buchstabe" denjenigen Buchstaben fest, dem für das angegebene Jahr der Sonntag zugeordnet wird. Dabei hat jedes vierte Jahr als Schaltjahr zwei Buchstaben, von denen der erste bis zum 28. Februar und der zweite ab dem 1. März gilt. In diesen Jahren wird die Weiterdrehung der Scheibe für einen Tag pausiert. Zieht man den bereits erwähnten Ring der Tagesbuchstaben hinzu, ergibt sich aus den Abstandsbeziehungen zwischen Sonntags- und Tagesbuchstabe für jedes einzelne Datum der 133 angelegten Jahre der tatsächliche Wochentag.

Es schließt sich "Der Sonnen Circkel" an, der mit seiner Zahlenfolge von 1 bis 28 den Zeitraum in Jahren wiederspiegelt, der vergeht, bis die Wochentage wieder auf die gleichen Monatsdaten fallen.

Die als nächstes verzeichnete "Römer Zins Zahl" ist auf den 313 n.Chr. durch Kaiser Constantin d. Gr. eingeführten Steuerzyklus zurückzuführen. Sie erhöht sich in Einerschritten von der 1 startend bis auf 15 und verdeutlicht, dass gleiche Zahlen für gleiche Steuer- und Zinsverpflichtungen standen.

Mit "Woch:u:Tag:zw:Weih:u:Fastn" abgekürzt, trägt der vorletzte der Jahresdatenringe das sogenannte Intervallum zwischen Weihnachtstag und Fastnachtsdienstag. Diese Zeitspanne ist in Wochen und Tagen (...w...t) angegeben und kann zwischen 40 und 75 Tagen liegen (5w5t ... 10w5t).

Der innerste Ring grenzt an die Deckscheibe und teilt den "Termin d. Ostern.", also den Osternachtstermin, mit.

6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war die Erstellung einer Animation von vorhandenen Teil-3D-Modellen, die in einem Gesamtmodell zusammengefasst werden sollten.

Der Prozess begann mit einer Analyse der umfangreichen Datengrundlage, welche unter Beachtung erster Umsetzungsideen auf notwendige Optimierungserfordernisse untersucht wurde. Dabei stellte sich heraus, dass an den gegebenen Modellierungen teilweise Änderungen vorgenommen werden mussten.

Die konstruktiven Umgestaltungen wurden in Creo 2.0 durchgeführt und verliefen unkompliziert. Das Programm wurde zudem als Werkzeug für die Zusammenfügung der verschiedenen Einzeldateien gewählt. Schwierigkeiten bereitete zunächst die Auswahl eines für 3ds Max lesbaren, aufwandsangemessenen Formates. Unter Verwendung von Rhinoceros 4.0 wurde das Komplettmodell letztendlich erfolgreich für die weitere Verarbeitung umgewandelt.

Im weiteren Verlauf nahm die Einarbeitung in die komplexe und tiefreichende Bedienung der Animationssoftware viel Zeit in Anspruch. Deren Oberfläche wurde aber nach und nach verinnerlicht, und so konnten sogar in der Aufgabenstellung nicht vorgegebene Modellerweiterungen realisiert werden. Die Aufbereitung der Modelloptik wurde dank der durch die vorangegangenen Arbeiten angefertigten Fotos erleichtert, war aber dennoch zeitintensiv.

Mithilfe eines Drehbuchs wurde die eigentliche Animation geplant, deren effektive Verwirklichung mit den verfügbaren Programmfunktionen sehr gut stattfinden konnte. Die computertechnische Berechnungsdauer der animierten Bilder betrug insgesamt rund zwei Tage und musste überwacht werden, da der Vorgang zu Beginn mehrmals

systemseitig abgebrochen wurde.

Die Umwandlung der tausenden Einzelbilder zum Video, das noch mit einer Audiosequenz ausgestaltet wurde, erwies sich als einfachster Arbeitsschritt.

Entstanden ist ein informativer Animationsfilm, in dem versucht wird, einen guten Kompromiss zwischen der zeitlichen Kompaktheit und der Menge vermittelter Fakten zu finden.

7 Ausblick

Während der Arbeit wurde auf eine bestmögliche Detailtreue und richtige Wiedergabe der Modelle geachtet. Da das Ergebnis jedoch nicht besser als seine Basis sein kann, weist die vorliegende Animation kleinere visuelle Verbesserungspotenziale auf bzw. erfasst noch immer nicht die gesamte künstlerische und technische Bandbreite des Originals.

Die nicht realitätsgetreu oder (noch) nicht modellierten Bestandteile stellen ein Potenzial zur weiteren Annäherung an das Vorbild dar. Die Angaben der Stundendauer für Tag und Nacht in den Fenstern der Kalenderdeckscheibe könnten durch die Erstellung einer eigenen Ringabbildung ergänzt werden. Eine qualitativ hochwertige Aufnahme des Kalendersonnenzeigers fehlt ebenso.

Für die Verzierungen des Rahmens könnten entsprechende Fotos aufgenommen und/oder Scandaten erfasst werden.

Zudem würde eine genaue Vermessung der Figuren des Aufsatzes die Apostelszenerie deutlich aufwerten. Es könnte ähnlich wie im Falle des Kalendermanns verfahren und mittels speziell verzerrter Bilder eine Texturgrundlage erarbeitet werden.

Das funktionale Defizit beschränkt sich für die Uhrenfront neben den nicht rotierenden Ringe unter der Deckscheibe auf den fehlenden Mechanismus der Segensgeste vom Jesusabbild.

Das Uhreninnere bietet dagegen noch große Erweiterungsspielräume, da bisher nur zwei der 6 am Gang der Uhr beteiligten Werke computergrafisch nachempfunden wurden.
Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während meiner Bachelorarbeit unterstützt haben.

Ich bedanke mich beim Fraunhofer Anwendungszentrum Großstrukturen in der Produktionstechnik und seinen Mitarbeitern für die Möglichkeit dieser Bearbeitung und in besonderem Maße bei Frau M.Ing. Lisa Knaack für die Formulierung meiner Aufgabenstellung und Betreuung meiner Arbeit.

Ich bedanke mich bei Georg Martini, der mir das faszinierende Innere der Astronomischen Uhr zeigte.

Ich bedanke mich bei Wolfgang Bergt für den inspirierenden Vortrag in der Rostocker Sternwarte vom 23. Juni 2013.

Ich bedanke mich beim IT- und Medienzentrum der Universität Rostock für die Bereitstellung der Medienressourcen.

Und zu guter Letzt bedanke ich mich für die Geduld meiner Familie, Freunde und Freundin.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Literatur:

- [MAC00] Mach, Rüdiger: 3D-Visualisierung: Optimale Ergebnispräsentation mit AutoCAD und 3D Studio Max. Bonn: Galileo Press GmbH, 2000
- [MOE12] Möschner, Christine: Bachelorarbeit: Digitalisierung und Modellierung eines historischen Uhrwerks einer astronomischen Uhr. Rostock: Universität Rostock, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, Lehrstuhl für Fertigungstechnik, 2012
- [SCH04] Schukowski, Manfred: Die astronomische Uhr der St.-Marienkirche zu Rostock. Rostock: Stiftung St. Marien-Kirche zu Rostock e.V., 2004
- [SCH06] Schukowski, Manfred: Wunderuhren: Astronomische Uhren in Kirchen der Hansezeit. Schwerin: Thomas Helms Verlag, 2006
- [SCH10] Schukowski, Manfred: Die Astronomische Uhr in St. Marien zu Rostock. 2., erweiterte und aktualisierte Auflage. Königstein im Taunus: Hans Köster Verlagsbuchhandlung KG, 2010
- [SCH12] Schukowski, Manfred / Helms, Thomas: Sonne Mond und zwölf Apostel: Die Astronomische Uhr in der Marienkirche zu Rostock. Schwerin: Thomas Helms Verlag, 2012

Internetquellen:

[Adobe] adobe.com (2013) Online Link: http://www.adobe.com/de/ (September 2013)

- [Autodesk] autodesk.com (2013) Online Link: http://www.autodesk.de (August 2013)
- [AstroUhr01] astronomischeuhr.de (2013) Online Link: http://www.astronomischeuhr.de/files/geschichte.htm (17.09.2013)
- [AstroUhr02] astronomischeuhr.de (2013) Online Link: http://www.astronomischeuhr.de/files/aufbau2.htm (17.09.2013)
- [AstroUhr04] astronomischeuhr.de (2013) Online Link: http://www.astronomischeuhr.de/files/aufbau4.htm (17.09.2013)
- [DRE63] Drews, Klaus Dieter: Mathematische Aspekte im Werk der Astronomischen Uhr von St. Marien zu Rostock. Rostock, Universität Rostock, Institut für Mathematik, Rostock. Math. Kolloq. 63, 3-24 (2008).
 URL: http://ftp.math.uni-rostock.de/pub/romako/heft63/drews63.pdf (24.06.2013)
- [Duden] duden.de (2013) Online Link: http://www.duden.de/rechtschreibung/Rendering (18.09.2013)
- [PTC] de.ptc.com (2013) Online Link: http://de.ptc.com/product/creo/ (August 2013)
- [Rhino] rhino3d.com (2013) Online Link: http://www.rhino3d.com (August 2013)

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Richard Wandsleb, die vorliegende Bachelorarbeit "Animation der Astronomischen Uhr in der St.- Marien-Kirche zu Rostock" selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Literatur- und Internetquellen verfasst zu haben. Wörtlich oder sinngemäß anderen Werken entnommene Passagen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Rostock, 23. September 2013

(Richard Wandsleb)

Anhang

Main Toolbar
The main toolbar provides quick access to tools and dialogs for many of the most common tasks in 3ds Max.

(1) Graphite Modeling Tools Graphite Modeling Tools combines a weakh of new polygon-modeling features, including freedrm scubling and powerful loop-modeling tools, with the tried and true toolest in a dynamic, configurable new "ribbon" interface

1 Quad Menu (1) Quad Menu When you click the right mouse button anywhere in an active viewport, except on the viewport label, a quad menu is displayed. The options available in the quad menu depend on the selection.

(9) Viewport When you start 3ds Max, the main screen contains four viewports showing the scene from different apples, You can also empty advanced but easyst-to-use Review standow view of the scene, and you can also empty advanced but easyst-to-use Review fatures such as hadowa (hard-sdgad or soft-adgad), exposure control, and ambient occlusion to dipply highly realistic, near-rendered results in real time.

(2) Command Panel The command panel comprises six user-interface panels that give you access to most of the modeling features of 3ds Max, as well as some animation fautures, display horidose, and micelaneous utilities. To switch between the different panels, click their respective tab at the top of the command panel.

(3) Time Slider The time slider lets you navigate along the timeline and jump to any animation frame in your scene. You can quickly set position and rotation or scale keys by right-ticking the time slider and choosing the desired key from the Create Key Galog.



(•) Status Bar Controls The 3ds Max window contains an area at the bottom for prompt and status information about your scene and the active command. To its right, is the coordinate display area, in which you can manually enter transform values. To its left, is the MXXScript litencer window, where you input single-line scripts.

5 Animation & Time Controls

Between the status bar and the viewport navigation controls are the animation controls, along with the time controls for animation playback within viewports. Use these controls to affect your animation over time.

6 Animation Playback Controls Use these buttons to see your scene in motion through time.

(7) Viewport navigation controls Use these buttons to navigate your scene within the viewports.

Rendered Frame Window The rendered frame window displays a rendering of your scene. Press F9 to trigger the rendering process. Using Rendered Frame Window controls, you can change render presets, lock the rendering to a single viewport, render regions of the viewport for faster feedback, and change mental ray sattings such as final gather and reflections without having to access other portions of the program.

(3) State Material Editor The Slate Material Editor, which you open with the M key, provides functions to create and edit materials and maps. Materials are assigned to objects and create greater realism in a scene by using different maps.

Abb. A-1: Erläuterte Benutzeroberfläche von 3ds Max ([Autodesk])

Tabelle A-2: Drehbuch

ungefähre Kameraeinstellung	Beschreibung	Zeit in s
	DURCHGEHENDER VIDEOFLUG OHNE SCHNITT Anfang: Gesamtansicht danach langsames Umfahren der rechten Modellseite auf kreisähnlicher Bahn; keine Höhenveränderungen; gleichbleibende Ausrichtung auf Zentrum der Uhr; allgemeine Informationen zur Rostocker Astronomischen Uhr	25
	auf Rückseite langsames Heranfahren an das Hauptwerk; simultanes Ausbauen der Altarbalken, des Geländers und des Pfeilers; Uhrwerk ab Sichtbarkeit arbeitend; gleiche Höhe; gleiches Kameraziel	15
	Detailaufnahme perspektivisch von rechts; stetige Werksbewegung in Echtzeit; nähere Erläuterungen einzelner Teile; anschließend schnelle Fahrt Richtung Vorderseite; gleiche Höhe; gleiches Kameraziel; informative Überleitung zu Uhrschiebe	35
	Uhrscheibenansicht; Erklärung des Zusammenspiels von Sonnen- und Mondscheibe bei beschleunigter Drehung der Scheiben; danach Stundenzeigerdrehung in Zeitraffer; realitätsgetreue Bewegung der kleinen Scheiben; Erläuterungen zu den kleinen Scheiben; bei Zeigerstellung 12 Uhr Übergang zu Aposteln	55
	Kameraausrichtung auf Umlaufbühne; langsam hochfahrende Kamera; öffnende Türen; Umlauf und Christuszuwendung der Figuren; Kamera umfährt Szene in kleinem Bogen; Figurenbeschreibung; Kamera fährt gegen Umlaufende schon runter; Türen schließen; Kamera und Kameraziel folgen Pfaden nach unten	50
	Kamera umfährt Kalenderraum in leichter Überkopfhöhe; Scheibe dreht sich beschleunigt über den Zeitraum von gut 4 Monaten; allgemeine Ausführungen zu den angezeigten Daten; Rauszoomen auf Ausgangsposition Ende: Gesamtansicht	30

Skript der gesprochenen Audiospur

Die Astronomische Uhr der St.-Marien-Kirche zu Rostock.

Die hier zu sehende Darstellung ist ein detailgetreu nachgebautes Computermodell der Originaluhr. Ihre heutige Gestalt im Renaissance-Stil erhielt sie 1643. Großteile der Uhr stammen aber schon aus dem Jahre 1472 oder gehen vielleicht sogar auf eine Vorgängeruhr von 1379 zurück.

Die im Innern stetig arbeitende Mechanik hat sich über die Jahrhunderte bewährt. Unmittelbar hinter der Uhrscheibe sitzen das Hauptwerk und das Zeigergetriebe. Durch das Schwingen eines Pendels wird die potentielle Energie eines Gewichtsantriebes kontrolliert in eine Drehbewegung von Zahnrädern und Trieben umgewandelt. Dabei ergibt sich infolge der Übersetzungsverhältnisse für das blaue Stundenrad eine komplette Umdrehung nach 60 Minuten. Das grüne Tagesrad vollzieht eine 360°-Drehung binnen 24 Stunden. Dessen Rotation wird zum einen mittels einer durchgehenden Welle direkt auf den Stundenzeiger der Uhrscheibe übertragen. Zum anderen erfolgt über ein zwischengeschaltetes Getriebe die Bewegungsweitergabe an das gelbe Jahresrad und das violette Mondphasenrad. Diese beiden Zahnräder sind jeweils über eine Hohlwelle mit einer der beiden großen Scheiben in der Uhranzeigenmitte gekoppelt.

Die Drehung der oberen, komplett sichtbaren Sonnenscheibe dauert ein Jahr, während dem ihr Sonnenzeiger alle Monatsbilder und Tierkreiszeichen durchläuft. Darunter rotiert die Mondphasenscheibe deutlich schneller und benötigt nur gute 27 Tage für eine volle Umdrehung. Der im Ausschnitt erkennbare Teil der Scheibe zeigt die aktuelle Mondphase an – Neumond und rund 15 Tage später Vollmond. Der als Doppelzeiger ausgeführte Stundenzeiger besitzt zwei weitere, kleine Scheiben. Eine davon trägt ein Porträt, das durch ein Massestück dauerhaft senkrecht steht und zeigt mit den von einer kleinen Hand gedeuteten Ziffern von 1 bis 24 abermals die Uhrzeit an. Die gegenüberliegende Scheibe ist eine Planetenuhr. Sie ist viermal mit den 7 Wandelsternen beschriftet, von denen der gewiesene der sogenannte Stundenregent ist. Um täglich nur 24 der 28 Sektoren abzulaufen, wird

die Rotation durch ein kleines Getriebe beeinflusst.

Weisen die Hand und der Stern des Stundenzeigers auf die römische XII, beginnt der zweimal täglich stattfindende Apostelumgang. Nachdem sich die Türen an den Seiten der Aufsatzbühne geöffnet haben, treten nacheinander 6 der 12 Apostel heraus. Darunter Petrus, Johannes, Jacobus der Jüngere, Jacobus der Ältere, Paulus und zuletzt Judas. Die Figuren stehen auf Speichen, die mit einer gemeinsamen, rotierenden Welle verbunden sind. Dadurch bewegen sie sich in einem Bogen um die in ihrem Zentrum platzierte Christusfigur. Während ihres Umlaufes wenden sich die ersten 5 Jüngerdarstellungen kurz zur Mitte. Die Judasfigur führt diese Bewegung nicht aus. Sie ist die einzige Figur, die nicht bis in das Aufsatzinnere gelangt, denn vor ihr schlagen am Ende die Türen zu. Im unteren Teil der Uhr befindet sich die eindrucksvolle Kalenderscheibe. Sie ist u.a. mit den 365 Tagen des Gemeinjahres beschrieben und dreht sich um Mitternacht von jeher um eine Datumszeilenbreite weiter. Das betreffende Datum wird von der linken Seite aus vom sogenannten Kalendermann angezeigt. Die Scheibe liefert zusätzlich die Ostertermine für die 133 auf ihr dokumentierten Jahre. Ihr am Rande befestigter Sonnenzeiger durchwandert im Laufe eines Jahres einen nur an dieser Monumentaluhr zu findenden zweiten Tierkreis, der mitverantwortlich für die Einzigartigkeit dieses Wunderwerks ist.

Inhalt der DVD

Animationsvideo

Bachelorarbeit als PDF

Creo 2.0 Partverzeichnis mit allen alten und neuen Modellierungen, separat und zusammengefasst

Dateitransformationen des Gesamtmodells

Fototexturen

Animationsdateien des Gesamtmodells

Rendering-Bildersammlung

Universität Rostock Studiengang Maschinenbau Lehrstuhl Fertigungstechnik

Aufgabenstellung

Thema: Animation der Astronomischen Uhr der St.-Marien-Kirche zu Rostock

Eingereicht von:	Richard Wandsleb
Matrikelnummer:	
Studiengang:	Maschinenbau
Ausgabedatum:	10.05.2013
Betreuung:	Prof. DrIng. M.C. Wanner
	M.Eng. Lisa Knaack

Aufgabenstellung:

Zur Dokumentation der erhaltenen und funktionstüchtigen astronomischen Uhr der St.-Marien-Kirche zu Rostock aus dem Jahr 1472 soll im Zuge der Bachelorarbeit "Animation der Astronomischen Uhr der St.-Marien-Kirche zu Rostock" anhand der vorliegenden 3D-Modelle und Teilanimationen eine Animation der Astronomischen Uhr erfolgen. Ziel ist es die Teilmodelle zu einem Videoflug zusammen zufügen, der sowohl den Außenbereich mit dem Apostelrundgang als auch den Innenbereich mit dem Haupt- und Zeigerwerk visualisiert. Dabei soll auch die Funktionsweise der Einzelkomponenten berücksichtigt werden.

Dazu sind folgende Schwerpunkte zu bearbeiten:

- Beschreibung der Zielstellung auf Basis dieser Aufgabenstellung
- Beschreibung des Standes der Technik (z.B. Aufbau der Uhr, Software, Schaffung der Datengrundlage)
- Beschreibung der Vorgehensweise zur Erstellung der Animation (Animationsprozess)
- Ergebnisdarstellung (Videoflug mit Erläuterung der gezeigten Komponenten)
- Abrundung durch eine Zusammenfassung