



Philipp Heinrich WESTEBBE

**Dokumentation  
über die  
Komplettierung des Leuchters aus  
der Magdalenenklausen im Schloßpark Nymphenburg**

Inv. Nr.: Ny. M. B. 1



Bayerische Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen  
Möbelrestaurierungswerkstatt Residenz München  
unter der Leitung von Dipl.-Restaurator (FH) Heinrich PIENING

Residenz  
Max Joseph-Platz 3  
D-80539 München  
Tel.: + 49 (0)89 / 2 90 67-259  
Fax: + 49 (0)89 / 2 90 67-225

Dozent: Prof. Dipl.-Restaurator Erwin EMMERLING

München, Oktober 2001

## Inhaltsverzeichnis:

<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>3</b>
1.1 Aufhängungsort.....	4
1.2 Inventarnummer.....	4
1.3 Maße.....	4
1.4 Beschreibung.....	4
1.5 Eigentümer.....	4
<b>2. KONSTRUKTION DES LEUCHTERS NACH RAMSL</b> .....	<b>5</b>
2.1 Holzartenbestimmung nach Ramsl.....	6
2.2 Weitere Materialien.....	6
2.3 Drechseltechniken nach Ramsl.....	6
2.4 Oberflächenüberzug des Leuchters nach Ramsl.....	7
2.5 Kartierung des Leuchters (Ebene [A : B : C]) nach Ramsl.....	8
2.6 Kartierung der drei Ebenen nach Ramsl.....	8
2.7 Beschreibung des Leuchters vor der Restaurierung : Ebene [A].....	9
2.8 Verlorene Substanz.....	10
<b>3. ÄLTERE KONSERVIERUNGS- UND RESTAURIERUNGSMASSNAHMEN</b> .....	<b>11</b>
3.1 Argumente für die Ergänzung fehlender Arme und Laternen am Leuchter.....	11
3.2 Vorbilder für mögliche Rekonstruktionen der Ebene [A] des Leuchters.....	11
<b>4. RESTAURIERUNGS- UND REKONSTRUKTIONSKONZEPT</b> .....	<b>14</b>
4.1 Zusammenfassung des vorangegangenen Konzepts von Ramsl über die Rekonstruktionen am Leuchter aus Buchsbaum und dessen Umsetzung durch Huber.....	14
4.2 Neues Restaurierungs- und Rekonstruktionkonzept der Ebene [A] des Leuchters.....	14
4.3 Voruntersuchungen.....	16
4.3.1 Anwendung von Silikonkautschuk zur Herstellung von Gußformen.....	16
4.3.2 Voruntersuchung vierer Silikone für die spätere Verwendung zur Herstellung von Abgußformen.....	16
4.3.3 Untersuchung über das Löslichkeitsverhalten von Zinnfolien aus vier verschieden Silikonen.....	17
4.3.4 Untersuchung über das Löslichkeitsverhalten von Schrauben aus vier verschiedenen Silikonen.....	17
4.3.5 Untersuchung über rückständige Luftblasen während der Aushärtung an der Luft und im Vakuum.....	18
4.3.6 Untersuchung über die Ausbreitung der Silikonzusatzstoffe auf einer Dünnschichtchromatographie:.....	18
4.3.7 UV-VIS-Spektroskopie gemessene Fluoreszenzerscheinungen von Silikon auf einer Referenzprobetafel aus Elfenbein.....	19
4.4 Eigenschaften des Silikons Elastosil® M 4514 + 5 Gew.-% Härter T21 : Firma Wacker - Chemie GmbH.....	23
4.4.1 Vorteile von Elastosil® M 4514 mit 5 Gew.-% T Härter 21 für die Herstellung von Abgußformen.....	23
4.4.2 Verarbeitung des Silikons Elastosil® M 4514 mit 5 Gew.-% Härter T21.....	23
4.5 Mögliche Anwendung von Rapid Prototyping – Stereolithographie - in der Restaurierung.....	24
4.5.1 Rapid Prototyping – Stereolithographie – Verfahrensbeschreibung.....	25
4.5.2 Präzision, Genauigkeit und Qualität der Stereolithographie.....	26
4.5.3 Weitere mögliche Materialien für eine Reproduktion mit der Stereolithographie.....	26
<b>5. MASSNAHMEN</b> .....	<b>27</b>
5.1 Manuelle Rekonstruktion eines Paraboloiden aus Zinnblech.....	27
5.2 Herstellung von Abgußformen und Gießlinge.....	29
5.2.1 Brechungsindex (n).....	30
5.2.2 Verwendete Trennmittel für die Herstellung der Gußformen direkt am Leuchter aus Buchsbaum.....	31
5.2.3 Verwendete Trennmittel auf der Zierlaterne aus Elfenbein zur Herstellung von Gußformen aus Silikonkautschuk.....	32
5.2.4 Das Abgießen der Vorlagen direkt am Leuchter aus Buchsbaum zur Herstellung der Gußformen aus Silikonkautschuk.....	33
5.3 Reinigung der Oberfläche am Leuchter aus Buchsbaum.....	34
5.4 Nachbearbeitung der selektierten Gießlinge.....	35
5.5 Die Ausbohrungen der einzelnen Gießlinge für eine spätere Gewichtsreduzierung der tragenden Arme.....	36
5.6 Berechnung der Bohrwinkel und Bohrlochtiefe am Leuchter.....	36
5.7 Die Bohrungen in die [Punkte B] der Bruchstellen und Rekonstruktionen.....	39
5.8 Die farblichen Tönungen der Rekonstruktionen und ihre Oberflächenüberzüge.....	41
5.9 Unterlaufende Fehler am Leuchter aus Buchsbaum und Elfenbein während der Restaurierung und Rekonstruierung.....	42
<b>6. TRANSPORT DES LEUCHTERS IN DIE MAGDALENENKLAUSE</b> .....	<b>43</b>
<b>7. PRÄSENTATION DES LEUCHTERS IN DER MAGDALENENKLAUSE</b> .....	<b>43</b>
<b>8. VERWENDETE MATERIALIEN</b> .....	<b>44</b>
<b>9. LITERATUR</b> .....	<b>44</b>
<b>10. INTERNETQUELLEN</b> .....	<b>45</b>

## 1. EINLEITUNG

Vermutlich wurde der Leuchter aus Buchsbaumholz von Kurfürst Max III. Josef (reg. 1745-1777) gedrechselt. Dem Kurfürsten wird ein nahezu identischer jüngerer Leuchter aus Elfenbein aus dem Spiegelkabinett der Reichen Zimmer (Raum 61) der Münchner Residenz zugeschrieben, der das Monogramm des Kurfürsten mit der Jahreszahl 1767 trägt.<sup>1</sup>

In der Möbelrestaurierungswerkstatt der Bayerischen Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen arbeitete Christine RAMSL, Studentin an der Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/n/Göttingen [Fachbereich Restaurierung, Studienrichtung Holzobjekte mit veredelter Oberfläche, während ihres Praxissemesters] von Oktober 1999 bis Februar 2000. Als Facharbeit erstellte sie ein Konservierungs- und Restaurierungskonzept und beschäftigte sich intensiv mit modernen gießbaren Reproduktionsmassen für eine mögliche Rekonstruktion fehlender Teile des Leuchters aus Buchsbaum.

Der damalige Praktikant Paul HUBER setzte ihre Erkenntnisse von Februar bis Mai 2000 um und rekonstruierte einen fehlenden Kerzenarm. Zuvor befasste er sich mit der Herstellung der benötigten Abgussformen, um eine gute Nachbildung zu gewährleisten.

Die folgend beschriebenen Arbeiten wurden von Philipp H. WESTEBBE, Student am Lehrstuhl für Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft an der Technischen Universität München während der Semesterferien im SS 2000 in der Zeit 01/08/2000 bis 30/09/2000 und in den WS 2000/01 in der Zeit 01/03/2001 bis 31/03/2001 in einem studienbegleitenden Praktikum durchgeführt und im Oktober 2001 dokumentiert. Wegen einer neuen Aufgabenstellung – im Hinblick auf die Rekonstruktion fünf fehlender Laternen und der Erstellung zweier Abgussformen fest am Leuchter montierter Teile – musste das zuvor erstellte Konzept in einigen Punkten verändert werden.

Die vierteilige Dokumentation über die durchgeführte Konservierung und Restaurierung des Leuchters ist in der Möbelrestaurierungswerkstatt der Residenz München<sup>2</sup> deponiert:



1. Teil: RAMSL, Christine: *Leuchter - Dokumentation der Untersuchung und Konservierung*, Oktober 1999 bis Februar 2000
2. Teil: RAMSL, Christine: *Ein gedrechselter Holzleuchter aus dem 18. Jahrhundert - Ergänzung fehlender Teile mit modernen, gießbaren Kunststoffen*, Facharbeit zur Diplomprüfung im Fach Restaurierungstechniken und -Verfahren an der Fachhochschule Hildesheim/ Holzminde/n/Göttingen, WS 2000/01
3. Teil: HUBER, Paul: *Herstellung von Abgussformen zur Nachbildung eines fehlenden Armes von einem gedrechselten Leuchter aus der Magdalenenklausen/ Schloß Nymphenburg*, Mai 2000
4. Teil: WESTEBBE, Philipp Heinrich: *Dokumentation über die Komplettierung des Leuchters der Magdalenenklausen im Schloßpark Nymphenburg*, Oktober 2001

<sup>1</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 4-5, 7-8 ; RAMSL: 1. Teil, S. 3.

<sup>2</sup> Anschrift: Möbelrestaurierungswerkstatt Residenz München : Max Joseph-Platz 3 · D-80539 München · Tel.: + 49 (0)89 / 29067-259 · Fax: +49 (0)89 / 29067-225.

## 1.1 Aufhängeort

Der Leuchter aus Buchsbaumholz hängt unter der Decke in der Mitte des Speisesaals (Raum 5) der Magdalenenklausen im Schloßpark Nymphenburg.<sup>3</sup>

Zum 1 April - 31. September sind alle Räume für die Besucher der Magdalenenklausen zugänglich.



## 1.2 Inventarnummer

Inv. Nr.: Ny. M. B. 1

## 1.3 Maße<sup>4</sup>

Höhe: 1372 mm  
max. Durchmesser: 1000 mm  
Umfang: ca. 3140 mm

## 1.4 Beschreibung



Der Leuchter zeichnet sich durch seine aufwendige plastische Gestaltung und hochwertige Drechselarbeiten aus.<sup>5</sup>

Er ist durch gleichmäßig um die profilierte Mittelsäule angeordnete, S-förmig geschwungene Kerzenarme und Zierlaternen auf S- und U-förmig geschwungenen Armen in drei horizontale, kreisförmige Ebenen unterteilt, deren Durchmesser von unten nach oben abnimmt. Die beiden unteren Ebenen bestehen jeweils aus acht Kerzenarmen mit je einem schirmförmigen Tropfenfänger und einer Kerzentülle. Die oberste Ebene besteht aus abwechselnd U- und S-förmig geschwungenen Armen, die, soweit vorhanden, kleine Laternen als krönende Zierung tragen.

Die Mittelsäule ist mit geometrischen Mustern und einer netzartigen Struktur überzogen. Die Oberflächen der Leuchterarme und der Kerzentüllen weisen Riffelmuster und perlenstabähnliche Kanten auf. Diese gedrechselten Formen sind so aufwendig gestaltet, dass der Leuchter seit seiner Fertigstellung zu den beeindruckendsten Werken der Drechselkunst gezählt wird.

## 1.5 Eigentümer

Eigentümer des Leuchters ist die Bayerische Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen.

Anschrift:

Bayerische Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen

Schloß Nymphenburg Eingang 16

D-80638 München

Tel. + 49 (0)89/ 17908-0

Fax: + 49 (0)89/ 17908-154

E-mail: [info@bsv.bayern.de](mailto:info@bsv.bayern.de)

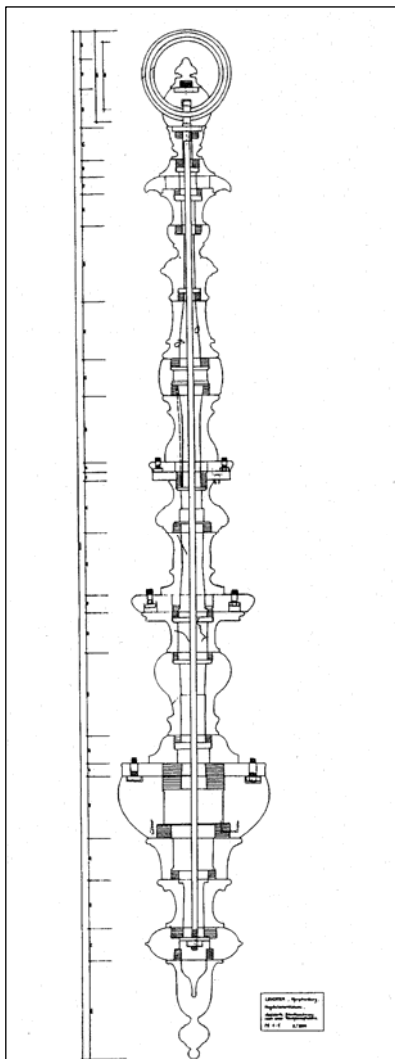
Homepage: <http://www.schloesser.bayern.de/>

<sup>3</sup> Dia 37.

<sup>4</sup> Höhe, Durchmesser und maximaler Umfang von RAMSL und HUBER gemessen.

<sup>5</sup> Dia 46, 48, 55, 69, 72, 84, 87, 92 und 94.

## 2. KONSTRUKTION DES LEUCHTERS NACH RAMSL



Die Mittelsäule des Leuchters, sowie einige lose Kerzenarme, wurden nach seiner Überführung aus der Magdalenenklause in der Werkstätte der Residenz München mittels Radiographie durchleuchtet.<sup>6</sup> Dabei sollten Kenntnisse über den von außen nicht sichtbaren, konstruktiven Aufbau des Kunstwerks gesammelt werden.<sup>7</sup>

... „Die Aufnahme der Mittelsäule zeigt in der Mitte deutlich eine Eisenstange, die jeweils oben und unten mit einem Gewinde versehen ist, auf Muttern sitzen. Die gedrehten Holzteile sind auf dieser Achse „aufgefädelt“ und untereinander mit Holzgewinden verbunden. Soweit auf der Röntgenaufnahme zu erkennen, handelt es sich um 24 einzelne Teile, die, vermutlich um das Gewicht zu reduzieren, größtenteils in der Mitte ausgedreht sind. Der Leuchter wurde vermutlich von oben nach unten zusammgebaut. Das stark gebauchte Teil, an dem die untersten Leuchterarme befestigt sind, ist aus mehreren Holzstücken zusammengesetzt. Diese werden durch verdeckte Metallklammern zusammengehalten. Die Klammern sind nur auf der Röntgenaufnahme zu erkennen.

Die Leuchterarme bestehen ebenfalls aus mehreren Teilen und sind durch Holzgewinde miteinander verbunden. Die kerzentragenden Arme bestehen aus einem kurzen Verbindungsstück, jeweils zwei ungleichgroßen Bögen, die durch ein Mittelstück verbunden sind, einem birnenförmigen Anschlussstück, einem Teller und einer vasenförmigen Kerzenhalterung. Obwohl die Bögen unsymmetrisch wirken, bilden beide fast einen Halbkreis. Die optische Verzerrung entsteht durch die unterschiedlichen Kreisdurchmesser und das querverschobene Verbindungsstück.

Mit Gewinden versehene Elfenbeindübel stellen die Verbindung zwischen den Armen und der Mittelsäule her. Die im Arm fest eingedrehten Dübel sitzen in einem scheibenförmigen

Teil der Mittelsäule und werden von unten mit einer Mutter aus Messing fixiert. Die Arme wurden vor dem Zusammensetzen der einzelnen Teile der Mittelsäule auf dieser Scheibe montiert und die Muttern von unten durch das darauf folgende Holzteil verdeckt. Es besteht so keine Möglichkeit die Arme im zusammengesetzten Zustand zu entfernen. Wohl aber sind die Arme beweglich, d. h. sie lassen sich ein Stück weit nach rechts oder links drehen. Diese bewegliche Befestigung der Leuchterarme verhindert ein allzu leichtes Abbrechen der Arme bei Berührung. ...

Als Aufhängung für den Leuchter dient ein mit Holz ummantelter Eisenring der mit der Eisenstange verbunden ist.<sup>8</sup> ...



<sup>6</sup> Firma art-ray - c.o.: HEIDGER, Clemens: Friedrich-Loy-Str. 9 · D-80796 München · Tel. + 49 (0)89 / 301593 · E-mail: heidgen@art-ray.de · Homepage: <http://www.art-ray.de>.

<sup>7</sup> RAMSL: „Konstruktionszeichnung“ (siehe Anhang).

<sup>8</sup> RAMSL: 1. Teil, S. 4-5.

## 2.1 Holzartenbestimmung nach RAMSL

RAMSL konnte durch mikroskopische Holzartenbestimmung<sup>9</sup> widerlegen, dass es sich bei dem Holz des Leuchters, wie im Inventar von 1769 und im aktuellen Führer über Schloß Nymphenburg beschrieben, um ‚Olivenholz‘ handele, sondern dass für seine Herstellung Buchsbaumholz (*Buxus sempervirens* L.) verwendet wurde.

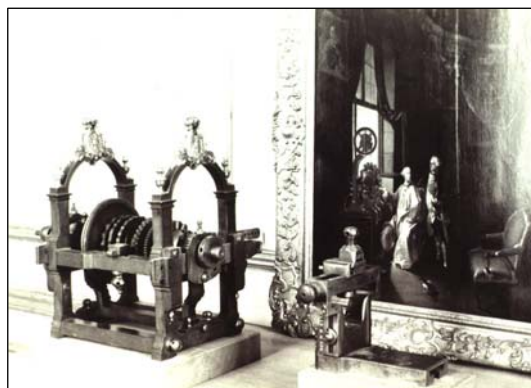
## 2.2 Weitere Materialien<sup>10</sup>

„Die Mittelstange mit dazugehörigen Muttern und der Ring, an dem der Leuchter aufgehängt ist, bestehen vermutlich aus Eisen.<sup>11</sup>...

Elfenbein konnte durch eine technoskopische Untersuchung aufgrund der typischen Linienführung dieses Materials identifiziert werden. Bei den dazugehörigen Muttern handelt es sich wahrscheinlich um Messing.<sup>12</sup>

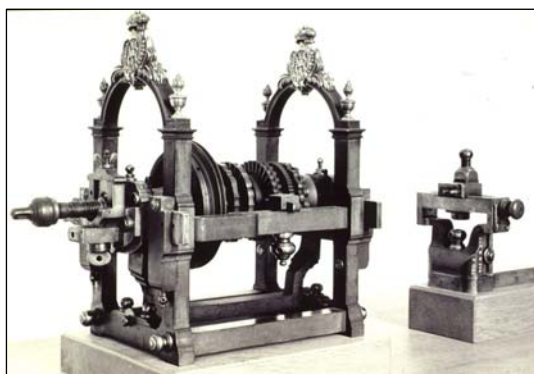
## 2.3 Drechseltechniken<sup>13</sup> nach RAMSL

RAMSL untersuchte die Herstellungstechnik des Leuchters: „Die Tätigkeit des Drechsels war im gesamten europäischen Raum über mehrere Jahrhunderte hinweg ein wichtiger Bestandteil der fürstlichen Erziehung. Das sog. Kunstdrehseln war auch am Hof der Wittelsbacher in München besonders im 17. und 18. Jahrhundert ein fürstlicher Zeitvertreib. Eine für den Kurfürsten Max Emanuel von Bayern gebaute Drehbank ist im Bayerischen Nationalmuseum in München erhalten. Sie wurde von dem Franzosen Francois HOUARD im Jahre 1712 gefertigt und trägt auf beiden Bügeln das kurfürstliche Wappen.<sup>14</sup> An einer ähnlichen Drechselbank ließ sich 1765 der Kurfürst Max III Josef zusammen mit dem Grafen von Salern porträtieren.<sup>15</sup>...



Die am Leuchter angewendeten Drechseltechniken sind auch durch eine Vielzahl von Elfenbeinpokalen bekannt. Das Werkstück rotiert hierbei in einer speziellen Kunstdrehbank.

Bei der sog. Längspassigdreherei findet eine Verschiebung der sich drehenden Spindel in Längsrichtung statt. Die Verschiebung erfolgt durch eine Schablonenreihe am Ende der Spindel. Vermutlich wurde in dieser Art das Verbindungsstück zwischen den Bögen der Leuchterarme hergestellt.



Für das Querpassigdrehen benötigt man ebenfalls eine sog. Patrone an der die Spindel geführt wird und sich während ihrer Umdrehung auch horizontal, also quer zur Drehachse bewegt. Beide Techniken können miteinander kombiniert werden. Um die dafür benötigten Schablonen herzustellen bedarf es einer genauen Planung und Herstellung dieser Schablonen. Dies ist die eigentlich schwierige Arbeit. Das eigentliche Drehseln erfolgt bei einer sehr langsamen Arbeitsgeschwindigkeit, bei der das Werkzeug eher schabend eingesetzt wird. Bei komplizierten Stücken kann es notwendig sein, das Werkstück zu fixieren.

<sup>9</sup> RAMSL: 1. Teil, S. 5, 9f..

<sup>10</sup> RAMSL: 1. Teil, S. 5.

<sup>11</sup> Dia 27, 75, 87, 92 und 94.

<sup>12</sup> RAMSL: #

<sup>13</sup> Ausführliche Beschreibung: RAMSL: 2. Teil, S. 7-9 ; RAMSL: 1. Teil, S. 5.

<sup>14</sup> Dia 61.

<sup>15</sup> Dia 57 und 60.

Weiter bearbeitet wurden einzelne Teile des Leuchters, so z. B. die Kanten der Kerzenteller durch das sog. Rändeln. Hierbei werden rotierende, in einer Gabel laufende Stahlrädchen verwendet, die in das Werkstück ein perlen- oder riffelartiges Muster einprägen. Das gleiche Muster findet sich auf dem Fußstück eines Elfenbeinpokals.

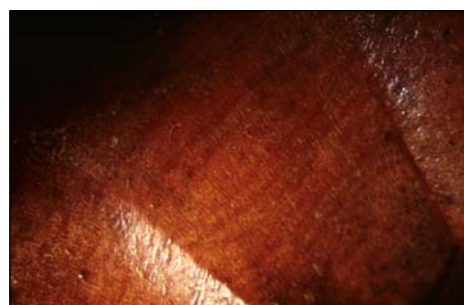
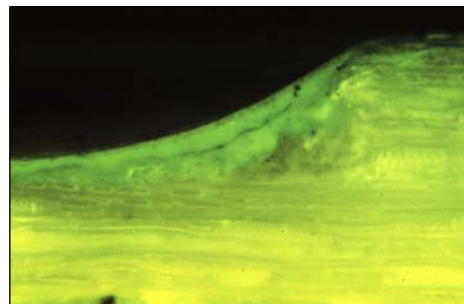
Bei der Herstellung solcher Werke kann es also weniger auf die Geschicklichkeit des Drechslers, als vielmehr auf die genaue Planung und Anfertigung der dazu benötigten Hilfsmittel an. Waren die Schablonen gefertigt, konnten beliebig viele gleiche Stücke gedreht werden. Es ist zu vermuten, dass für die Herstellung des Holz- und des Elfenbeinleuchters die gleichen Schablonen verwendet wurden. Vergleichende Messungen von jeweils einem Arm der beiden Leuchter bestätigen durch gleiche Maße diese Vermutung.“

## 2.4 Oberflächenüberzug des Leuchters nach RAMSL

RAMSL untersuchte den Oberflächenüberzug. Querschliffproben<sup>16</sup> zeigten einen zweischichtigen Aufbau.<sup>17</sup> ... „Zwischen dem originalen Lack und einem späteren Überzug, der vermutlich einen hohen Schellackanteil besitzt, liegt eine deutlich zu erkennende Schmutzschicht. Bevor der zweite Überzug aufgebracht wurde, muss einige Zeit vergangen sein, in der sich eine relativ dicke Schmutzkruste bilden konnte. Ohne diese abzunehmen wurde der gesamte Leuchter lackiert. So erklärt sich auch, dass die Unterseiten der Leuchterteile heller erscheinen als die Oberseiten. Die aufliegende Schmutzschicht wurde mit eingearbeitet, bzw. liegt als Trennmittel zwischen den Schichten. An einigen Stellen ist der zweite Lack abgesprungen, darunter erscheint eine hellbraune Lackschicht. Möglicherweise war der Originallack etwas eingetönt, da der Holzleuchter, wie oben erwähnt, als Olivenholz bezeichnet wurde. Frischer Buchsbaum mit einem transparenten Überzug erscheint jedoch sehr hell, etwas weiß-gelblich. Deshalb vermute ich, dass der erste Überzug eingefärbt war. Dies lässt sich allerdings nicht nachweisen.“<sup>18</sup>

... „Bei einem Löslichkeitstest zeigte sich, dass die oberste Schicht nicht in Benzinen wohl aber in Ketonen und noch besser in Alkoholen löslich ist.

Auffällig sind die Unterseiten der ausladenden Teile, z. B. die der Kerzenarme – sie sind heller als deren Oberseiten. Um den Oberflächenüberzug näher zu untersuchen, wurden an vier Stellen Proben entnommen und in Kunstharz eingegossen. Die Probenentnahme erfolgte an Bruchflächen eines Armes aus der obersten Ebene (Ebene [A]) und eines Armes aus der mittleren Ebene (Ebene [B]). Diese Querschliffproben wurden bei 100 bis 400facher Vergrößerung unter dem Mikroskop betrachtet. Hierbei waren besonders bei Probe Nr. 2 deutlich zwei Schichten zu erkennen, die durch eine dunkle Schicht (vermutlich Schmutz) getrennt waren. Die direkt auf dem Holz aufliegende Schicht fluoreszierte hellblau, die oberste Schicht jedoch deutlich orange. Die gleich orange Fluoreszenz zeigt



<sup>16</sup> Siehe Kartierung zur Lokalisierung von entnommenen Proben aus der Oberfläche: RAMSL : 2. Teil, Abb. 1.

<sup>17</sup> Dia 106 und 107.

<sup>18</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 7.

die Oberfläche bei der Untersuchung mit einer UV-Handlampe. Das der Lack, bzw. die Lackschichten, nicht gleichmäßig aufgetragen sind zeigt sich ebenfalls in den Querschliffen. In den Vertiefungen hat sich deutlich mehr Lack angesammelt.<sup>19</sup> ...

## 2.5 Kartierung des Leuchters (Ebene [A : B : C]) nach RAMSL

In Hinblick auf die Mittelsäule und die geschwungenen Arme mit oder ohne Laterne war es vor einer Zustandsbeschreibung des Leuchters und der damit zusammenhängende Restaurierung wichtig, die einzelnen Ebenen, Kerzenarme und Laternen zu kartieren, damit durchgeführte Maßnahmen später nachvollziehbar sind und die hinzugefügten Rekonstruktionen vom Originalbestand, falls nötig mit Hilfe dieser Dokumentation unterschieden werden können.

Die von RAMSL in drei Ebenen erfolgte Kartierung<sup>20</sup> der Verbindungspunkte zwischen den Kerzenarmen und der Mittelsäule und der Bruchstellen, die zum Verlust von Armen und Laternen führten, sind dieser Dokumentation beigelegt. Sie wurde auch in dieser Dokumentation zur leichteren Beschreibung der durchzuführenden Restaurierung und zur besseren Auffindbarkeit der bevorstehenden Rekonstruktionen übernommen.

Die Zuschreibungen innerhalb jeder Ebene verlaufen entgegen dem Uhrzeigersinn. Die Verbindungspunkte der beiden identischen unteren Ebenen [C] und [B] liegen übereinander, während die der oberen (Ebene [A]) davon abweichen.

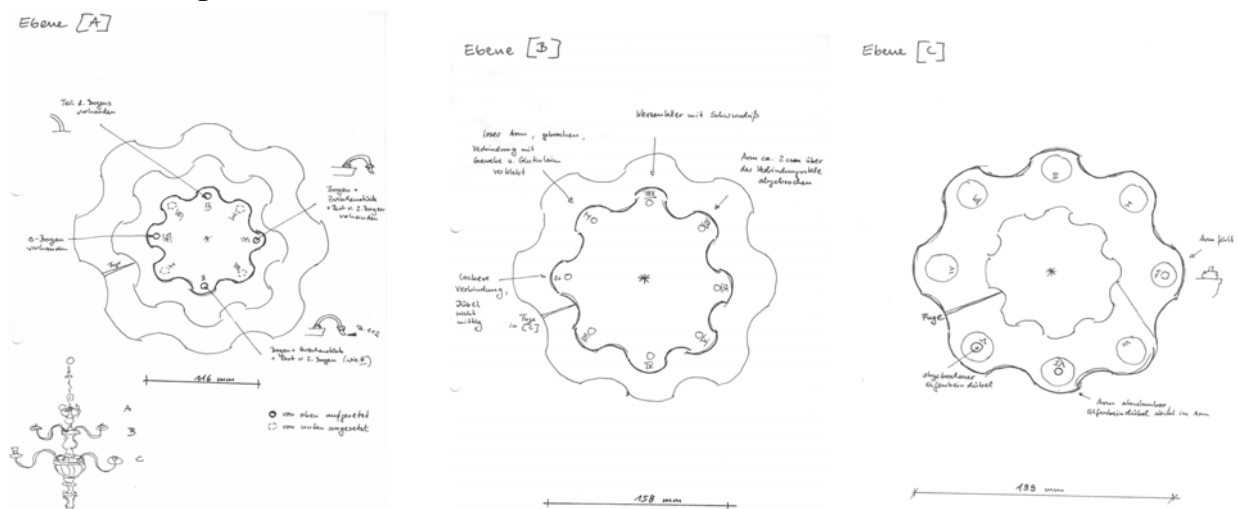
Ebene [A] ist die Oberste

Ebene [B] ist die Mittlere

Ebene [C] ist die Untere

Die Arme sind mit der Mittelachse durch Elfenbeindübel verbunden. Unter jedem einzelnen Elfenbeindübel der hölzernen Kerzenarme finden sich eingravierte römische Zahlen (I bis VIII). Anhand dieser Nummern können die Positionen der Verluste beschrieben werden. Sie wurden in die Kartierung zur Bestimmung der Position übertragen. „Auch alle Einzelteile der Arme tragen diese Nummerierung.“<sup>21</sup> In der Ebene [B] bildet die arabische Ziffer „2“ auf dem Elfenbeindübel des entsprechenden Kerzenarms die Ausnahme.

## 2.6 Kartierung der drei Ebenen nach RAMSL



<sup>19</sup> RAMSL: 1. Teil, S. 6.

<sup>20</sup> RAMSL: 1. Teil : ,8. Zeichnungen’.

<sup>21</sup> RAMSL: 1. Teil, S. 4.



## 2.7 Beschreibung des Leuchters vor der Restaurierung : Ebene [A]



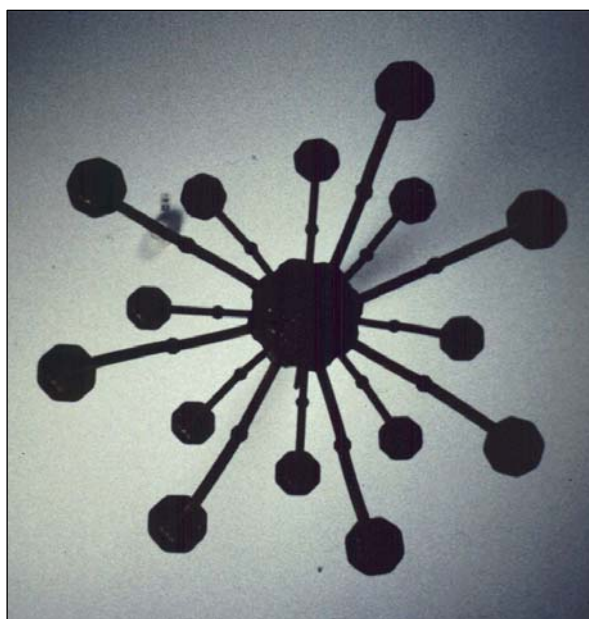
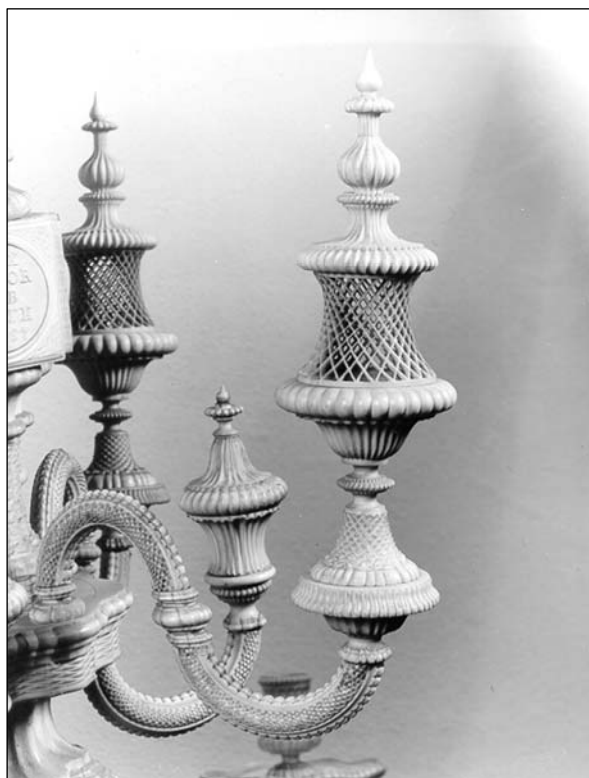
Der Leuchter hing mit Haushaltskerzen bestückt in der Magdalenenklause. Die Beläge auf der Oberfläche waren zum Teil verkrustet, darüber befand sich lose aufliegender Staub.

An der Mittelsäule gab es keine Fehlstellen, allerdings einige Schwundrisse.

In der obersten Etage (Ebene [A]) fehlt bei den U-förmig gebogenen Armen eine Laterne und ein Stück vom Arm. Von den S-förmig geschwungenen Armen sind drei nur noch als Halbkreis vorhanden und lediglich ein Arm als S-Bogen. Bei allen vier Armen fehlen jedoch die Aufsätze.<sup>22</sup> Vergleicht man diese Stelle mit dem Elfenbeinleuchter, haben hier vermutlich aufwendig durchbrochene Laternen gesessen.<sup>23</sup>

In der darunter liegenden Ebene (Ebene [B]) fehlt kein Stück. Allerdings wurde Arm Nr. I bei einer früheren Maßnahme schon einmal bearbeitet. Die ehemalige Schraubverbindung zur Mittelsäule wurde mit einem Gewebestück überdeckt und verleimt. Diese Verleimung hatte sich wieder gelöst. Der Elfenbeindübel sitzt in der Mittelsäule und kann nicht herausgedreht werden, da sich die Messingmutter mitdreht. Der Arm kann nur gesteckt werden und wurde separat gelagert. Vermutlich auch weil der Kerzenteller und ein Stück des Bogens abgebrochen waren. Eine ebenfalls gelöste Verbindung befindet sich zwischen Arm „2“ und der Mittelsäule. Der Arm hängt nach unten und ist nur eingesteckt. Das

Gewinde für den Elfenbeindübel befindet sich nicht in der Mitte des Armes. Möglicherweise handelt es sich um eine Korrektur, die schon bei der Herstellung vorgenommen wurde. Der Elfenbeindübel steckt im Arm, die Mutter ist nach unten Abgefallen. Abgebrochen ist der Arm VII ca. 3 cm über der Verbindungsstelle zur Mittelsäule. Offenbar handelt es sich um eine schon früher gebrochene Stelle. Aus der Bruchfläche ragt ein später eingesetzter Elfenbeinstift. Der Kerzenteller des Armes VIII zeigt einen deutlich sichtbaren Schwundriss, der vermutlich auf die schlechte Holzauswahl zurückzuführen ist.



<sup>22</sup> Dia 42, 72, 75, 87 und 99.

<sup>23</sup> Dia 40, 41 und 43.

Der Arm der untersten Ebene (Ebene [C]) ist abgebrochen. Der Elfenbeindübel ist an der Verbindungsstelle abgebrochen. Arm Nr. VI lässt sich herausziehen. Offenbar hat sich die Mutter gelockert und ist nach unten abgefallen. So kann der Arm mit dem Elfenbeindübel herausgezogen werden. Vom Arm mit der Nr. VIII ist nur noch der Ansatz des Bogens vorhanden. Es steht noch ein Holzdübel hervor, dessen Gewinde abgearbeitet ist.

Einige Leuchterarme sind bei einer früheren Bearbeitung geleimt worden. Diese Verbindungen waren durch überschüssigen Leim, der als Wulst auf der Leimfuge sitzt, deutlich sichtbar. Die Teile waren zum Teil nicht exakt vorgeleimt.

In einigen Bereichen zeigte der später aufgebrachte Überzug ein deutliches Craquelé. Die Haftung auf dem Untergrund erscheint jedoch ausreichend.

## 2.8 Verlorene Substanz

Verluste<sup>24</sup> in der Ebene [A]:

Laterne I:	Laterne mit ca. 2cm des U-förmig geschwungenen Armes.
Laterne II:	Halbbogen ab Mittelstück des ursprünglich S-förmig geschwungenen Armes einschließlich Zierlaterne.
Laterne IV:	Halbbogen ab Mittelstück des ursprünglich S-förmig geschwungenen Armes einschließlich Zierlaterne.
Laterne VI:	Halbbogen mit Mittelstück des ursprünglich S-förmig geschwungenen Armes einschließlich Zierlaterne.
Laterne VIII:	ca. 1cm des S-förmig geschwungenen Armes einschließlich Zierlaterne.

Lediglich die Ebene [B] ist vollständig.

Verlust<sup>25</sup> in Ebene [C], rekonstruiert<sup>26</sup> von HUBER:

Laterne VIII:	Halbbogen mit Mittelstück des S-förmig geschwungenen Armes
---------------	--

---

<sup>24</sup> Dia 42, 72, 075, 87 und 99.

<sup>25</sup> Dia 73.

<sup>26</sup> Dia 84.

### 3. ÄLTERE KONSERVIERUNGS- UND RESTAURIERUNGSMASSNAHMEN

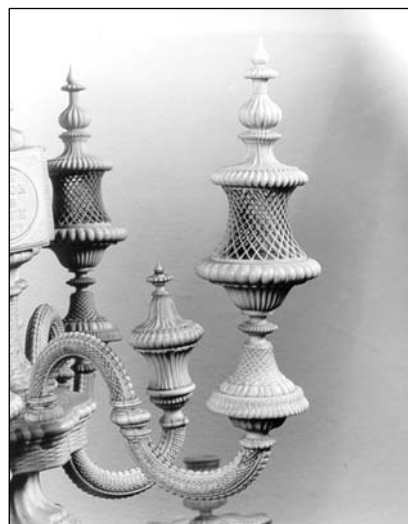
Die von RAMSL und HUBER durchgeführten Restaurierungsmaßnahmen am Leuchter aus Buchsbaum sind den entsprechenden Dokumentationen zu entnehmen<sup>27</sup> und werden im folgenden nicht erneut beschrieben.

#### 3.1 Argumente für die Ergänzung fehlender Arme und Laternen am Leuchter

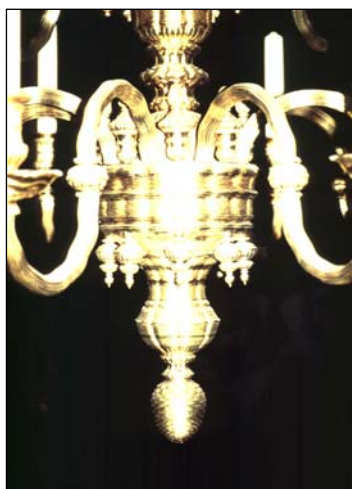
... „Der symmetrische Aufbau des Leuchters, als wichtiger Bestandteil des Gestaltungskonzepts, ist gestört. Eine Ergänzung der fehlenden Teile erscheint notwendig, um den ästhetischen Gesamteindruck des Leuchters zu verbessern. Besonders das Fehlen eines großen Kerzenarms [(Ebene [C] : Arm VIII)] erscheint sehr störend.“<sup>28</sup> ...

„Die Nachbildung verlorener Originalsubstanz wird“ nach HUBER „damit begründet, dass das optische Erscheinungsbild des Leuchters wesentlich beeinträchtigt ist. So ist der präzise und symmetrische Aufbau des Objektes ein wichtiger Bestandteil in der Gesamtkonzeption des Kunstwerkes.

Da das ursprüngliche Aussehen der nicht mehr vorhandenen Teile durch identisch gestaltete Partien und am erhaltenen Elfenbeinleuchter rekonstruierbar ist, scheint ihre Reproduktion gerechtfertigt, weil sie das Kunstwerk in seiner ursprünglichen optischen Erscheinung wieder herstellt.“<sup>29</sup> ...



#### 3.2 Vorbilder für mögliche Rekonstruktionen der Ebene [A] des Leuchters



Zwei Leuchter wurden als Vorbild für eine Rekonstruktion der fehlenden Laternen herangezogen und alle drei miteinander verglichen. Dabei handelte es sich zum einen um einen jüngeren Leuchter aus dem Spiegelkabinett der Reichen Zimmer in der Münchner Residenz, der aus Elfenbein gefertigt ist,<sup>30</sup> und zum anderen um einen vergoldeten Bronzeleuchter aus der Zeit um 1760, der sich im ehemaligen Schlafzimmer der Kurfürstin (Raum 28) in der Residenz München befindet.<sup>31</sup> Der Leuchter aus Elfenbein und der Leuchter aus Buchsbaum sind nahezu



identisch.

Lässt man bei einem direkten Vergleich zwischen dem älteren Leuchter aus Buchsbaum und dem jüngeren Leuchter aus Elfenbein die oberste Ebene [A] des erstgenannten aufgrund seiner Fehlstellen und etwas anders verzierten Laternen außer acht, so wird deutlich, dass beide Kunstwerke in ihrer gestalterischen Ausführung und in ihren Maßen identisch sind.<sup>32</sup>

<sup>27</sup> RAMSL: 1. Teil, S. 7-8 ; RAMSL: 2. Teil, S. 10 ; HUBER: 3. Teil, S. 8.

<sup>28</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 11.

<sup>29</sup> HUBER: 3. Teil, S. 8.

<sup>30</sup> Dia 40, 41, 43 und 97.

<sup>31</sup> Dia 86, 88 und 89.

<sup>32</sup> Dia 40, 75 und 87.

RAMSL geht wegen des Monogramms des Kurfürsten mit Jahreszahl von 1767 auf der Mittelsäule des Elfenbeinleuchters<sup>33</sup> und der Tatsache, dass dieser in seiner Ausführung und seinen Maßen mit dem Holzleuchter übereinstimmt, davon aus, dass der Holzleuchter „möglicherweise [...] als Probestück gedient haben“ könnte, „bevor man diese aufwendige Drechseltechnik in einem so wertvollen Material wie Elfenbein ausführte. So ist zu vermuten, dass der Kurfürst auch an dem Holzleuchter mit Hand anlegte.“<sup>34</sup>

Diese Aussage wird noch durch ein Elfenbeinpokal<sup>35</sup> des Bayerischen Nationalmuseums in München unterstützt, dessen „Sockel die gleiche Form [zeigt], die am Leuchter als Kerzenteller zu sehen ist“<sup>36</sup> und dadurch, dass das Kunstdrechseln im 17. und 18. Jahrhundert ein fürstliches Privileg war, und am Hofe der Wittelsbacher als Zeitvertreib galt.<sup>37</sup>

Bei einem direkten Vergleich der Leuchter wird deutlich, dass es sich in beiden obersten Ebenen [A] um die gleichen U-förmig geschwungenen Arme mit unterschiedlich verzierten Zierlaternen handelt.<sup>38</sup> Aufgrund dieser großen Ähnlichkeit ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass es sich bei dem Holzleuchter bei den vier fehlenden Zierlaternen der vorhandenen, S-förmig geschwungenen Arme um die gleichen handeln könnte, die den Elfenbeinleuchter bekrönen. Die Laternen aus Elfenbein bestehen jeweils aus sechs hohl gedrechselten Einzelteilen, die sich ineinander verschrauben lassen. Von unten nach oben betrachtet besitzt das unterste und somit erste Laternenteil an seinen Verbindungsstellen zum Arm und zum nächst oberen Teil auf seiner Innenfläche jeweils ein eingeschnittenes Gewinde. Das nächste folgende Laternenteil besitzt dagegen an seiner Unter- und Oberseite ein eingeschnittenes Gewinde auf seinen Außenflächen. Durch diese Kombination können die auf- und einschraubbaren Einzelteile zu einer sechsteiligen Zierlaterne zusammengesetzt werden.<sup>39</sup>

Das mit Abstand am schwierigsten und aufwendigsten herzustellende Elfenbeinteil war der vierte Körper jeder Laterne, der die Form eines Paraboloiden aufweist.<sup>40</sup> Er musste zuerst konkav und anschließend hohl gedrechselt werden. Er verfügt über eine maximale Höhe von 42,5 mm bei einer Wandstärke von ca. 1 mm. Aus der Mantelfläche sind 288 streng geometrische, rautenförmige Durchbrechungen ausgesägt. Dadurch entsteht in der Mantelfläche eine äußerst filigrane, S-förmig geschwungene und sich kreuzende Gitterstruktur. Durch die geometrische Anordnung wird bei einer Betrachtung des Paraboloiden durch die Deckungsgleichheit zwischen vorderen und hinteren Durchbrechungen der Mantelfläche ein optischer Effekt hervorgerufen.<sup>41</sup>

Durch zwei Stege mit unterschiedlichem Umfang werden die Durchbrechungen jeweils unten und oben begrenzt. Auf beiden Stegen läuft das S-förmig geschwungene Gitterwerk in einer gleichen Anzahl von Punkten zusammen. Aufgrund eines größeren Umfangs des unteren Steges liegen die Abstände dieser Kreuzungspunkte hier weiter auseinander als beim oberen. Das hat zur Folge, dass die konkave Mantelfläche bei einer seitlichen Betrachtung des Paraboloiden eine gleichmäßige Parabel bildet, deren



<sup>33</sup> Dia 41 und 43.

<sup>34</sup> RAMSL: 1. Teil, S. 3.

<sup>35</sup> Nach RAMSL im Bayerischen Nationalmuseum: München 1770, Inv. Nr.: R 4884. In : MAURICE, Klaus: *Der drechselnde Souverain*. Zürich 1985, S. 87, Abb. 101.

<sup>36</sup> RAMSL: 1. Teil, S. 3.

<sup>37</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 7-10.

<sup>38</sup> Dia 41, 42, 43 und 72.

<sup>39</sup> Dia 3, 5, 9, 11, 101.

<sup>40</sup> Dia 101.

<sup>41</sup> Dia 41 und 43.

Scheitelpunkt sich nicht in der Mitte, sondern - von unten nach oben betrachtet - auf ungefähr  $\frac{2}{3}$  der Höhe befindet. Hier sind auch die kleinsten rautenförmigen Durchbrechungen vorzufinden, und dies ist zugleich der Punkt der Mantelfläche mit dem geringsten Umfang. Eine aus sechs in sich verschraubten Einzelteilen bestehende Elfenbeinlaterne hat eine Höhe von ca. 175 mm. Durch den unterschiedlichen Umfang der den Paraboloiden begrenzenden Stege und dessen geschwungener und sich kreuzender Gitterstruktur kommt es zu einer Anordnung von rautenförmigen Durchbrechungen, in der Art, dass deren Größe von beiden Stegen ausgehend zur Mitte hin abnimmt.

Es bleibt fraglich, ob es dem Kurfürsten Max III. Josef möglich war, die vier hohlen Paraboloiden des jüngeren Elfenbeinleuchters auch aus einem weniger dichten und somit schwächeren Material wie Buchsbaum zu drechseln. Wahrscheinlicher ist, dass beim älteren Leuchter die gleichen Techniken und daraus entstehende Formen verwendet, die Paraboloiden aber massiv ohne Durchbrechungen ausgearbeitet wurden.

## 4. RESTAURIERUNGS- UND REKONSTRUKTIONSKONZEPT

### 4.1 Zusammenfassung des vorangegangenen Konzepts von RAMSL über die Rekonstruktionen am Leuchter aus Buchsbaum und dessen Umsetzung durch HUBER

RAMSL beschäftigte sich in ihrem Restaurierungskonzept<sup>42</sup> intensiv mit modernen giessbaren Reproduktionsmassen für eine mögliche Rekonstruktion fehlender Teile:

- Anforderungen an das Reproduktionsmaterial
- Kunststoff als Reproduktionsmaterial
- Versuchsreihen mit fünf ausgewählten Gießharzen
- Bewertung der Proben
- Anfertigung der Ergänzung (Arm VIII : Ebene [C]):
  - Herstellung einer Reproduktion
  - Oberflächenbehandlung der Ergänzung
  - Montage am Leuchter

HUBER setzte die Erkenntnisse um und rekonstruierte in der (Ebene [C]) den fehlenden Halbbogen samt Mittelstück des VIII. S-förmigen Kerzenarms. Um einen guten Abguss zu gewährleisten, befasste er sich zunächst mit der Herstellung der benötigten Formen.<sup>43</sup>

### 4.2 Neues Restaurierungs- und Rekonstruktionskonzept der Ebene [A] des Leuchters

Die von WESTEBBE durchgeführten Restaurierungsmaßnahmen bezogen sich nur auf die oberste Ebene [A] des Buchsbaumleuchters, und damit auf vier gleiche Laternen an S-förmig geschwungenen Armen und einer andersartigen Laterne an einem U-förmigen Arm.<sup>44</sup>

Das Ziel bei der anstehenden Konservierung und Restaurierung des Leuchters war die Komplettierung des Leuchters, wobei die fünf fehlenden Laternen samt der benötigten Arme rekonstruiert werden sollten, um sie anschließend ohne einen Substanzverlust an die Bruchstellen des Leuchters zu montieren.<sup>45</sup> Diese Ergänzungen sollten dem fragilen Erscheinungsbild<sup>46</sup> so genau angepasst und eingefügt werden, dass der historische Wert des Kunstwerks bewahrt bleibt, der Leuchter aber im Gesamteindruck ästhetisch aufgewertet wird.<sup>47</sup> Die anstehende Restaurierung und Rekonstruktion sollte den Leuchter als Kunst- und Geschichtsdokument nicht verfälschen. Die Rekonstruktionen sollten bei eventuell zukünftigen Neuauffassungen ethischer Grundsätze von Restaurierung problemlos wieder entfernt werden können<sup>48</sup> ohne das Kunstwerk zu schädigen.

Die fehlenden Laternen im oberen Bereich des Leuchters<sup>49</sup> werfen die Frage nach dem ursprünglichen Erscheinungsbild auf. Obwohl nicht eindeutig belegt werden kann, dass es sich bei den vier fehlenden Zierlaternen des älteren Leuchters aus Elfenbein um die gleichen Formen handelt, wie bei der obersten Ebene [A] des jüngeren Leuchters aus Buchsbaum, wurden diese für den Abguss übernommen,<sup>50</sup> da der direkte Vergleich der Leuchter diese Vermutung nahe legte.

Für die Rekonstruktion dieser fehlenden Teile und der Laterne am U-förmigen Arm<sup>51</sup> gab es verschiedene Überlegungen zur Vorgehensweise, da die entsprechenden Vorbilder einmal aus Buchsbaum und einmal aus Elfenbein bestanden. Die Auswahl geeigneter Rekonstruktionstechniken richtete sich insbesondere nach den unterschiedlichen Materialeigenschaften, Konstruktionen und benötigter Stückzahl. Fünf Verfahren kamen dafür in Frage, wobei drei während des Praktikums gleichzeitig umgesetzt werden konnten.

<sup>42</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 12-53.

<sup>43</sup> HUBER: 3. Teil, S. 10-13.

<sup>44</sup> Dia 42, 72 und 99.

<sup>45</sup> Siehe in dieser Dokumentation: ‚Berechnung der Bohrwinkel und Bohrlochtiefe am Leuchter‘, S. 36 ; ‚Die Bohrungen in die [Punkte B] der Bruchstellen der und die der Rekonstruktionen‘, S. 39.

<sup>46</sup> Dia 42, 72, 75 und 87.

<sup>47</sup> Dia 15, 21, 22, 24, 25, 27, 55, 78, 80, 92, 94 und 96.

<sup>48</sup> Dia 21, 22, 24, 25, 33, 67 und 80.

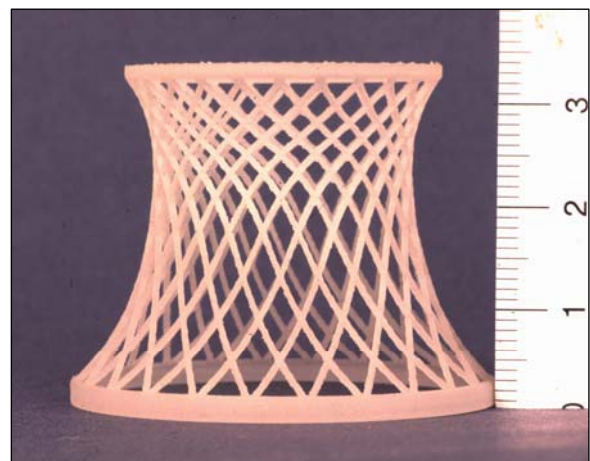
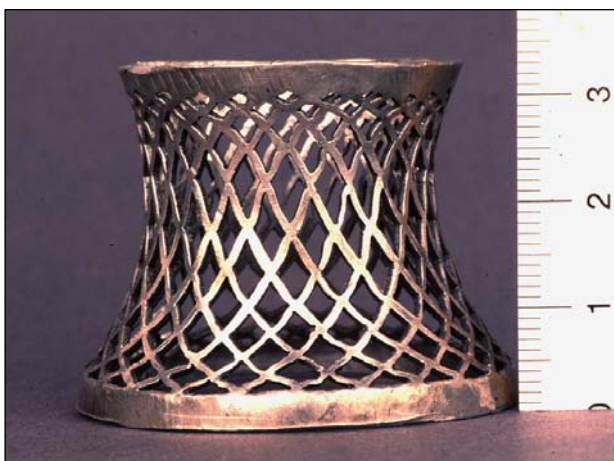
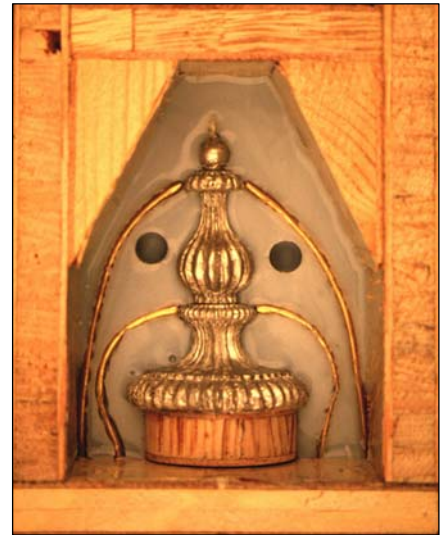
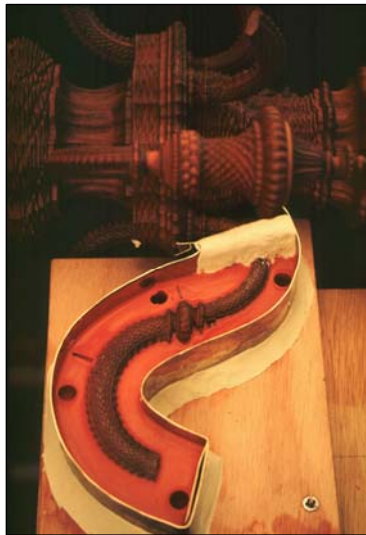
<sup>49</sup> Dia 42 und 72.

<sup>50</sup> Dia 41, 43 und 72.

<sup>51</sup> Dia 39 und 42.

- 1) Herstellung von Abgussformen einer Laterne und eines S-förmig geschwungenen Armes direkt am Leuchter aus Buchsbaum<sup>52</sup>
- 2) Herstellung von Abgussformen der „massiven“ Einzelteile einer Zierlaterne des Leuchters aus Elfenbein
- 3) manuelle Herstellung eines Paraboloiden<sup>53</sup> [um Abgußformen erstellen zu können (nicht realisiert)]
- 4) manuelle Herstellung von vier Paraboloiden (nicht realisiert)
- 5) Herstellungen von Rekonstruktionen durch Rapid Prototyping – Stereolithographie<sup>54</sup>

Zum einen musste ein Konzept gefunden werden, das es ermöglichte, von den Elfenbeinteilen einen Abguss zu erstellen, mit dem Ziel, keine Zusatzstoffe der Abformmasse in die originale Oberfläche eindringen zu lassen. Das Vorbild für diese Rekonstruktion - das authentische Dokument,<sup>55</sup> war zu respektieren; ansonsten hätte aufgrund einer möglichen Änderung der Brechungsindizes des Elfenbeins nach der Rückführung des Originals an seinen ursprünglichen Ort das gesamte Erscheinungsbild des Elfenbeinleuchters beeinflusst werden können. Zum anderen sollten die fehlenden Arme und die fünfte Zierlaterne dadurch rekonstruiert werden, indem Abgussformen direkt am Buchsbaum erstellt werden.<sup>56</sup>



<sup>52</sup> Dia 1 und 49.

<sup>53</sup> Dia 17.

<sup>54</sup> Dia 36.

<sup>55</sup> Dia 41 und 43.

<sup>56</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Das Abgießen der Vorlagen direkt am Leuchter aus Buchsbaum zur Herstellung der Gußformen aus Silikonkautschuk‘, S. 33 ; ‚Verwendete Trennmittel auf der Zierlaterne aus Elfenbein zur Herstellung von Gußformen aus Silikonkautschuk‘, S. 32 ; HUBER: 3. Teil, S. 10-13 ; RAMSL: 2. Teil, S. 42.

## 4.3 Voruntersuchungen

### 4.3.1 Anwendung von Silikonkautschuk zur Herstellung von Gussformen

Die verwendete Abgusstechnik zur Herstellung der Gussformen aus Silikonkautschuk greift auf das von RAMSL und HUBER erstellte Konzept<sup>57</sup> zurück. RAMSL beschäftigte sich mit modernen gießfähigen Reproduktionsmassen für eine Rekonstruktion fehlender Teile, HUBER befasste sich mit der Herstellung benötigter Abgußformen.

HUBER verwendete für die Abformung des S-förmig geschwungenen Armes (Ebene [C] : Arm VIII) Rhodorsil® RTV 573/ Katalysator 60R, ein niederviskoses Zweikomponenten-Elastomer, das durch Polykondensation vulkanisiert.<sup>58</sup> RAMSL verwendete den selben Silikonkautschuk, um bei der Herstellung von Probekörpern<sup>59</sup> zusätzlich bewerten zu können, „wie sich die Gussteile ausformen lassen und ob sich möglicherweise die Form verändert und von den Gießharzen angegriffen wird.“<sup>60</sup>

Nachträgliche Untersuchungen<sup>61</sup> ergaben, daß Elastosil® M 4514/ Härter T21 unter den getesteten der geeignete Silikonkautschuk war. Seine Begleitstoffe drangen am wenigsten in die Oberfläche der Vorlagen beider Leuchter ein.<sup>62</sup> Dieses Material wurde zur Herstellung der Gussformen verwandt. Im Zusammenhang mit den ursprünglichen Vorlagen und dessen zwangsläufigen Veränderungen in der Oberflächenstruktur, verursacht durch eingedrungene Zusatzstoffe während des Abgießens für die Herstellung benötigter Gussformen, wären in jedem Fall möglichst unveränderte Oberflächen qualitativ hochwertigeren Rekonstruktionen vorzuziehen; zumal Elastosil® M 4514 über ähnliche verarbeitungstechnische Eigenschaften verfügt.

### 4.3.2 Voruntersuchung vierer Silikone für die spätere Verwendung zur Herstellung von Abgussformen

Die verwendete VIS-Spektroskopie<sup>63</sup> ist eine Technik, die sich eignet um Aussagen bezüglich des Reflektions- und Absorptionsverhaltens von Oberflächen im Spektralbereich zwischen 350 nm (UV) und 1100nm (nahes IR) zu gewinnen. „Bei der VIS-Reflektionsspektroskopie wird die von einer zu untersuchenden Probe reflektierte Strahlung im VIS-Bereich (visueller Spektralbereich 400-800 nm) betrachtet. Hierzu wird die Probestfläche mit Licht einer definierten Wellenlängenverteilung – möglichst weißem Licht – für kurze Zeit (Millisekunden) bestrahlt und die reflektierte Strahlung mittels einer Diodenarraydetektors aufgenommen. Die spektrale Verteilung wird graphisch als Kurve von Wellenlänge (x-Achse) und Intensität (y-Achse) dargestellt. Die Rückstrahlung (Remission) wird unter Berücksichtigung des eingestrahlt Lichtes als Absorptionsspektrum dargestellt.“<sup>64</sup> Von den für die Rekonstruktion zur Verfügung gestellten Silikonprodukten wurden unterschiedliche Fluoreszenzerscheinungen auf einer Referenzprobetafel aus Elfenbein gemessen<sup>65</sup>:

- Rhodorsil® RTV 1556 A Trans mit 10 Gew.% RTV 1556 B Trans
- Rhodorsil® RTV 1556 A mit 10 Gew.% RTV 1556 B Rose
- Rhodorsil® RTV 573 mit 2 Gew.% Katalysator R 60
- **Elastosil® M 4514 mit 5 Gew.-% Härter T21**

<sup>57</sup> Siehe in dieser Dokumentation: ‚Zusammenfassung des vorangegangenen Konzepts von RAMSL über die Rekonstruktionen am Leuchter aus Buchsbaum und dessen Umsetzung durch HUBER‘, S. 13 ; RAMSL: 2. Teil, S. 12-53 ; HUBER: 3. Teil, S. 10-13.

<sup>58</sup> HUBER: 3. Teil, S. 10.

<sup>59</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 12-53.

<sup>60</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 25.

<sup>61</sup> Siehe in dieser Dokumentation: ‚Voruntersuchungen‘, S. 16-25.

<sup>62</sup> Siehe in dieser Dokumentation: ‚UV-VIS-Spektroskopie gemessene Fluoreszenzerscheinungen von Silikon auf einer Referenzprobetafel aus Elfenbein‘, S. 21.

<sup>63</sup> Anschrift: J&M Analytische Mess- und Regeltechnik GmbH: Robert-Bosch-Straße 83 · D-73431 Aalen · Tel.: + 49 (0)7361 / 92810 · Fax: + 49 (0)7361 / 928112 · Homepage: <http://www.j-m.de>

<sup>64</sup> Siehe SCHWARZ, Roswitha; PIENING, Heinrich: *UV-VIS-Spektroskopieuntersuchung*. In : RESTAURO, München 2001, Bd. 7, S. 538-541.

<sup>65</sup> Siehe in dieser Dokumentation: ‚UV-VIS-Spektroskopie gemessene Fluoreszenzerscheinungen von Silikon auf einer Referenzprobetafel aus Elfenbein‘, S. 21.



Um eine Beziehung zwischen differenzierenden Fluoreszenzspektren von möglicherweise eindringenden Zusatzstoffen der vier getesteten Silikone und der Probetafel aus Elfenbein zu erstellen, wurde als Ausgangspunkt für die Spektroskopiemessungen das Messgerät auf Bariumsulfat [BaSO<sub>4</sub>] geeicht. Jedes Silikon wurde auf die Probetafel aus Elfenbein aufgetragen und anschließend wieder entfernt, indem es abgezogen wurde. Die Spektren dieser Probeflächen wurden jeweils nach der Entfernung der Silikone und einer abschließenden Reinigung mit Toluol gemessen.

Das Ziel dieser Messungen war, durch Auswertung der Spektren, die geeignetste Abgußmasse unter den vier Silikonen, im Hinblick auf die geringsten Fluoreszenzabweichungen, zu finden. Die Auswertung ergab, dass es sich bei dem Silikon Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.% Härter T21 um das geeignete handelte. Die Probeoberfläche dieses Silikons zeigt nach dessen Entfernung und anschließender Reinigung im Verhältnis zur nicht behandelten Elfenbeinoberfläche das geringste Reflektions- und Absorptionsverhalten im gemessenen Spektralbereich.

Untersuchungen mittels der VIS-Spektroskopie ergaben aber, dass Elastosil<sup>®</sup> M 4514, nach dessen Entfernung und anschließender Reinigung von einer Probetafel aus Elfenbein, im Verhältnis zu nicht begossenen Probetafeloberflächen, das geringste Reflektions- und Absorptionsverhalten im gemessenen Spektralbereich aufweist. Elastosil<sup>®</sup> M 4514 war also von vier getesteten das geeignete, da es die geringsten Fluoreszenzabweichungen aufzeichnete. Theoretisch ist es also das Silikon, welches am wenigsten eigene Zusatzstoffe in die Oberfläche der Vorlagen beider Leuchter eindringen lassen würde.

#### 4.3.3 Untersuchung über das Löslichkeitsverhalten von Zinnfolien aus vier verschiedenen Silikonen

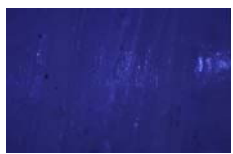



Die folgenden Untersuchungen waren für die Auswahl eines geeigneten Silikons ein wichtiges Kriterium.

Bewertung	sehr gut: + + + +	gut: + + +	befriedigend: + +	schlecht: +
-----------	-------------------	------------	-------------------	-------------

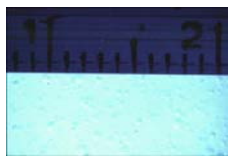
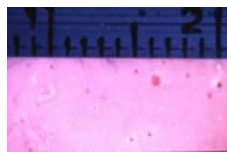

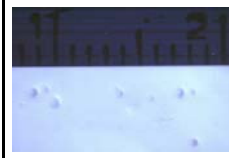

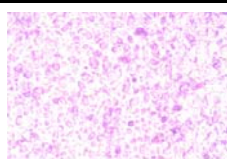
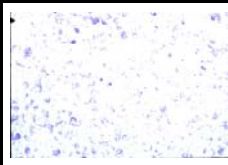

Bewertung	sehr viele: - - - -	viel: - - -	einige: - -	wenige: -
-----------	---------------------	-------------	-------------	-----------

<b>Silikone</b>	Rhodorsil <sup>®</sup> RTV 1556 A Trans	Rhodorsil <sup>®</sup> RTV 1556 A	Rhodorsil <sup>®</sup> RTV 573	Elastosil <sup>®</sup> M 4514
	mit	mit	mit	mit
<b>Medium</b>	10 Gew.-% RTV 1556 B Trans	10 Gew.-% RTV 1556 B Rose	2 Gew.-% Katalysator R 60	5 Gew.-% Härter T21
<b>Löslichkeitsverhalten von Zinnfolien aus Silikonen</b>	+	+ + + +	+ +	+ + +

#### 4.3.4 Untersuchung über das Löslichkeitsverhalten von Schrauben aus vier verschiedenen Silikonen

<b>Silikone</b>	Rhodorsil <sup>®</sup> RTV 1556 A Trans	Rhodorsil <sup>®</sup> RTV 1556 A	Rhodorsil <sup>®</sup> RTV 573	Elastosil <sup>®</sup> M 4514
	mit	mit	mit	mit
<b>Medium</b>	10 Gew.-% RTV 1556 B Trans	10 Gew.-% RTV 1556 B Rose	2 Gew.-% Katalysator R 60	5 Gew.-% Härter T21
				
<b>Löslichkeitsverhalten von Schrauben aus Silikonen</b>	+ + +	+ + +	+ +	+ + +

#### 4.3.5 Untersuchung über rückständige Luftblasen während der Aushärtung an der Luft und im Vakuum

<b>Silikone</b>	Rhodorsil® RTV 1556 A Trans	Rhodorsil® RTV 1556 A	Rhodorsil® RTV 573	Elastosil® M 4514
<b>Medium</b>	mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Trans	mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Rose	mit 2 Gew.-% Katalysator R 60	mit 5 Gew.-% Härter T21
<b>rückständige Luftblasen nach der Aushärtung an der Luft</b>	----	---	--	--
<b>Durchmesser der Luftblasen nach der Aushärtung an der Luft</b>	bis 0,4 mm	bis 0,7 mm	bis 1 mm	bis 0,5 mm
<b>Luftblasen</b>				
<b>Oberflächen</b>				
<b>Rückständige Luftblasen nach der Aushärtung im Vakuum</b>	---	---	--	-
<b>Durchmesser der Luftblasen nach der Aushärtung im Vakuum</b>	bis 0,3 mm	bis 0,3 mm	bis 0,3 mm	bis 0,1 mm

#### 4.3.6 Untersuchung über die Ausbreitung der Silikonzusatzstoffe auf einer Dünnschichtchromatographie:<sup>66</sup>

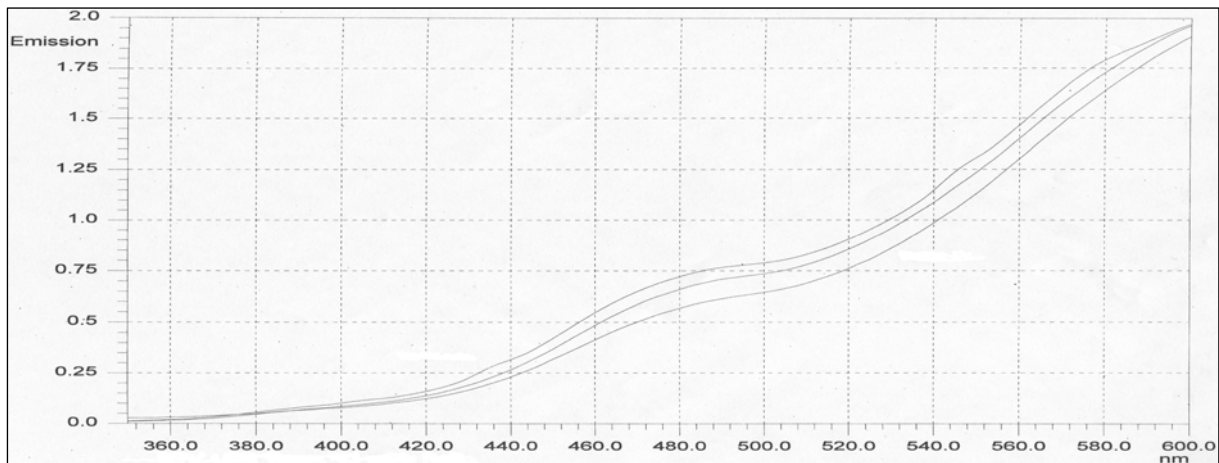
<b>Silikone</b>	Rhodorsil® RTV 1556 A Trans	Rhodorsil® RTV 1556 A	Rhodorsil® RTV 573	Elastosil® M 4514
<b>Medium</b>	mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Trans	mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Rose	mit 2 Gew.-% Katalysator R 60	mit 5 Gew.-% T Härter 21
<b>Ausbreitung von Zusatzstoffen auf einer Dünnschicht- chromatographie</b>	--	-	---	---

<sup>66</sup> Aluminiumplatte beschichtet mit Kieselgel oder Aluminiumoxid auf Aluminiumfolie : (DC, engl. TCL). In dieser Untersuchung wurde je ein Tropfen der oben genannten vier Silikone auf die Laufmittelfront eines Dünnschichtchromatographen aufgebracht. Dabei konnte ein Verlauf in der Kieselgelbeschichtung beobachtet werden, der vermutlich von den Silikonölen stammt. Die Ausbreitungen waren unterschiedlich groß. [Quelle: FONTAIN, PD Dr. Eric (Hrsg.): *Dünnschichtchromatographie – Einführung in die Organische Chemie für den Studiengang Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft*, TU München 2000].

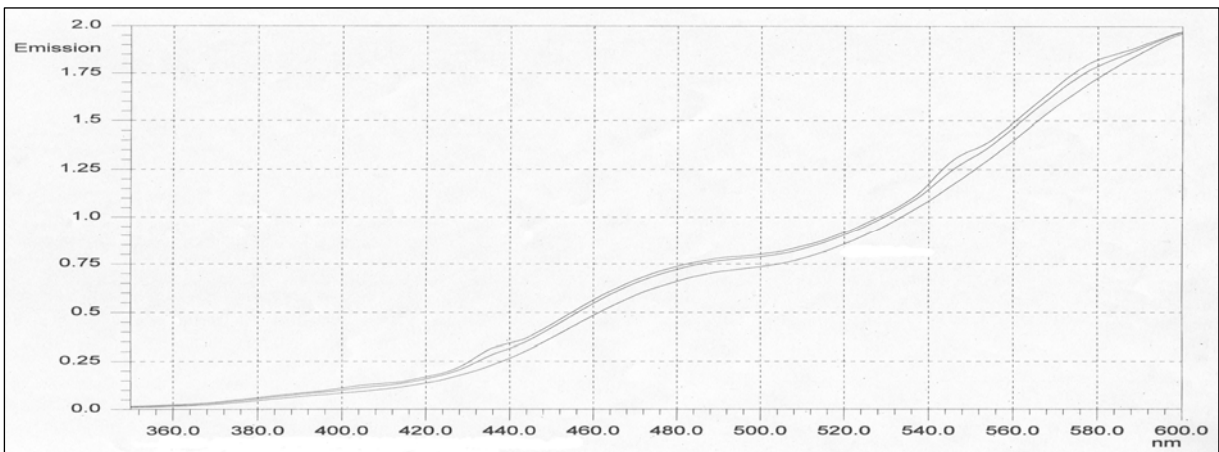
#### 4.3.7 UV-VIS-Spektroskopie<sup>67</sup> gemessene Fluoreszenzerscheinungen von Silikon auf einer Referenzprobetafel aus Elfenbein

- Probe Nr. 00: **Oberfläche, unbehandelt**
- Probe Nr. 01: **Messung des Trennmittels** (5 Gew.% Methylcellulose gelöst in destilliertem Wasser)
- Probe Nr. 01.1: **Messung von Rückständen des Trennmittels nach Reinigung mit Toluol**  
(5 Gew.% Methylcellulose gelöst in destilliertem Wasser)
- Probe Nr. 02: **Messungen von Rückständen nach Abziehen des Silikons der Oberfläche**  
(Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.% Härter T21)
- Probe Nr. 03: **Messungen von Rückständen nach Abziehen des Silikons der Oberfläche mit Trennmittel**  
(5 Gew.-% Methylcellulose gelöst in destilliertem Wasser/ Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.% Härter T21)
- Probe Nr. 04: **Messungen von Rückständen nach Abziehen des Silikons von der Oberfläche mit Trennmittel und Reinigung mit Toluol**  
(5 Gew.% Methylcellulose gelöst in destilliertem Wasser/ Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.% Härter T21)
- Probe Nr. 05: **Messung des Trennmittels**  
(Cosmoloid<sup>®</sup> H80 gelöst in Shellsol T)
- Probe Nr. 05.1: **Messung von Rückständen des Trennmittels nach Reinigung mit Toluol**  
(Cosmoloid<sup>®</sup> H80 gelöst in Shellsol T)
- Probe Nr. 07: **Messungen von Rückständen nach Abziehen des Silikons von der Oberfläche mit Trennmittel**  
(Cosmoloid<sup>®</sup> H80 gelöst in Shellsol T/ Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.-% Härter T21)
- Probe Nr. 08: **Messungen von Rückständen nach Abziehen des Silikons von Oberfläche mit Trennmittel und Reinigung mit Toluol**  
(Cosmoloid<sup>®</sup> H80 gelöst in Shellsol T/ Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.% Härter T21)
- Probe Nr. 09: **Messung des Trennmittels** (Vaseline)
- Probe Nr. 09.1: **Messung von Rückständen des Trennmittels nach Reinigung mit Toluol** (Vaseline)
- Probe Nr. 11: **Messungen von Rückständen nach Abziehen des Silikons von Oberfläche mit Trennmittel**  
(Vaseline/ Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.-% Härter T21)
- Probe Nr. 12: **Messungen von Rückständen nach Abziehen des Silikons von Oberfläche mit Trennmittel und Reinigung mit Toluol**  
(Vaseline/ Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.% Härter T21)
- Probe Nr. 13: **Messung des Trennmittels**  
(20 Gew.% Regalrez<sup>®</sup> und 2 Gew.% Tinuvin<sup>®</sup> gelöst in Siedegrenzbenzin 100° - 140° C)
- Probe Nr. 13.1: **Messung von Rückständen des Trennmittels nach Reinigung mit Toluol**  
(20 Gew.% Regalrez<sup>®</sup> und 2 Gew.% Tinuvin<sup>®</sup> gelöst in Siedegrenzbenzin 100° - 140° C)
- Probe Nr. 15: **Messungen von Rückständen nach Abziehen des Silikons von der Oberfläche mit Trennmittel**  
(20 Gew.% Regalrez<sup>®</sup> und 2 Gew.% Tinuvin<sup>®</sup> gelöst in Siedegrenzbenzin 100° - 140° C/ Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.% Härter T21)
- Probe Nr. 16: **Messungen von Rückständen nach Abziehen des Silikons von der Oberfläche mit Trennmittel und Reinigung mit Toluol**  
(20 Gew.% Regalrez<sup>®</sup> und 2 Gew.% Tinuvin<sup>®</sup> gelöst in Siedegrenzbenzin 100°-140° C/ Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.% Härter T21)

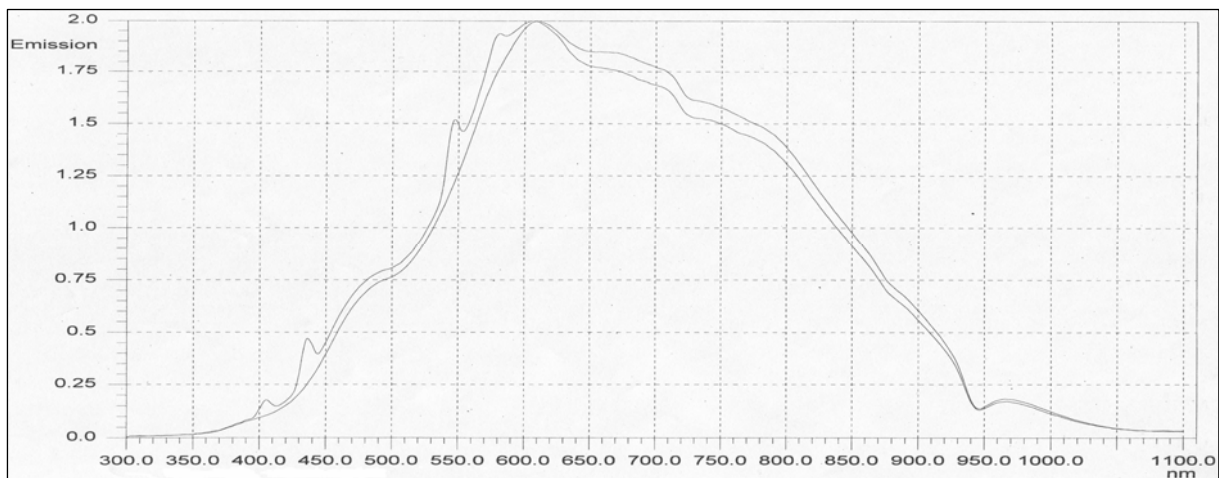
<sup>67</sup> SCHWARZ, Roswitha; PIENING, Heinrich: *UV-VIS-Spektroskopieuntersuchung*. In : RESTAURO, München 2001, Bd. 7, S. 538-541.



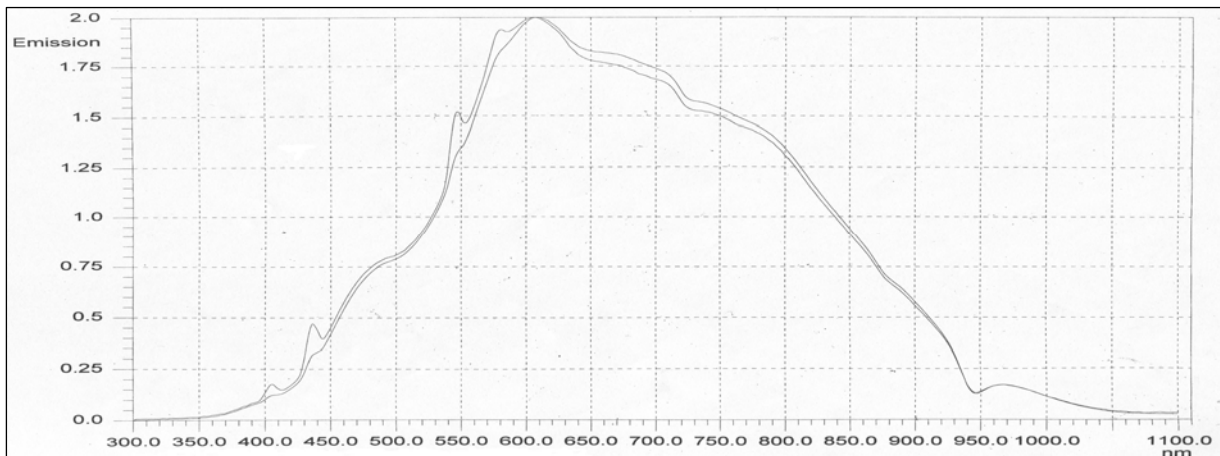
- obere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein nach Entfernung von Rhodorsil® RTV 1556 A Trans mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Trans
- mittlere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein nach Entfernung von Rhodorsil® RTV 1556 A Trans mit 0 Gew.-% RTV 1556 B Trans und Reinigung mit Tuluol
- untere Funktion (Emission nm/ nm): gemessene Oberfläche von Elfenbein ; unbehandelt



- obere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein nach Entfernung von Rhodorsil® RTV 1556 A Trans mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Trans
- mittlere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein nach Entfernung von Rhodorsil® RTV 1556 A Trans mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Trans und Reinigung mit Tuluol
- untere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein ; unbehandelt

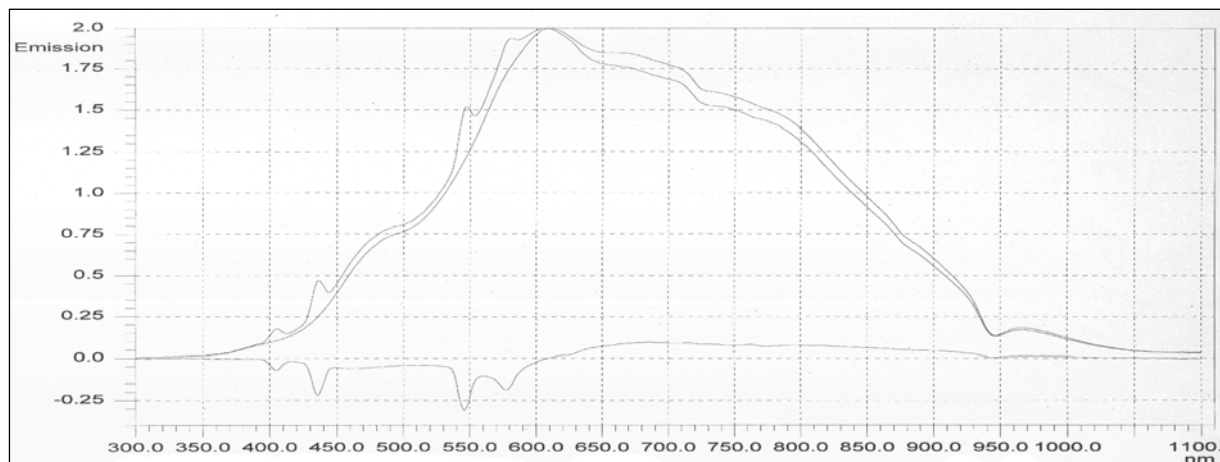


- obere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein nach Entfernung von Rhodorsil® RTV 1556 A Trans mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Trans
- untere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein ; unbehandelt



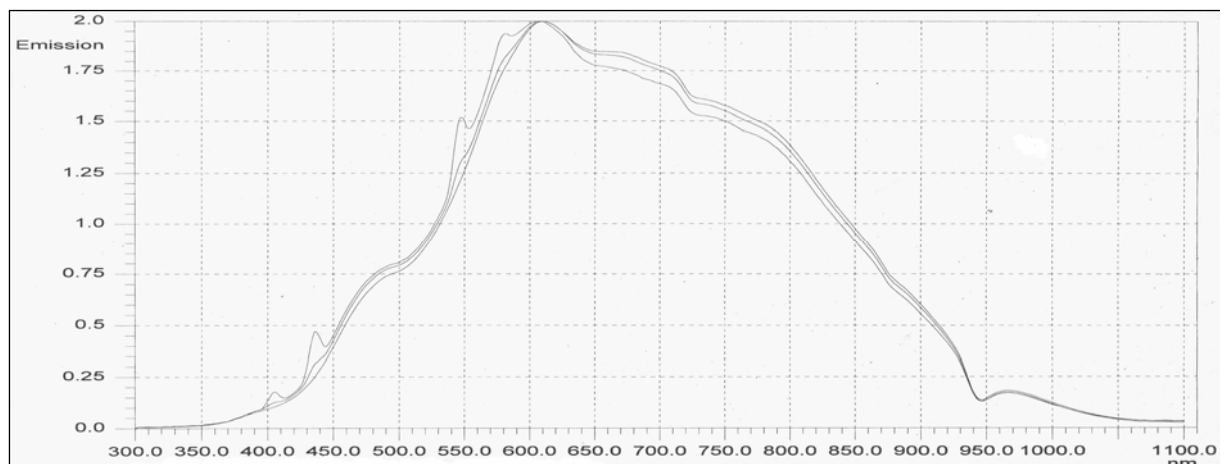
→ obere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein nach Entfernung von Rhodorsil® RTV 1556 A Trans mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Trans

→ untere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein ; unbehandelt



→ obere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein nach Entfernung von Rhodorsil® RTV 1556 A Trans mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Trans

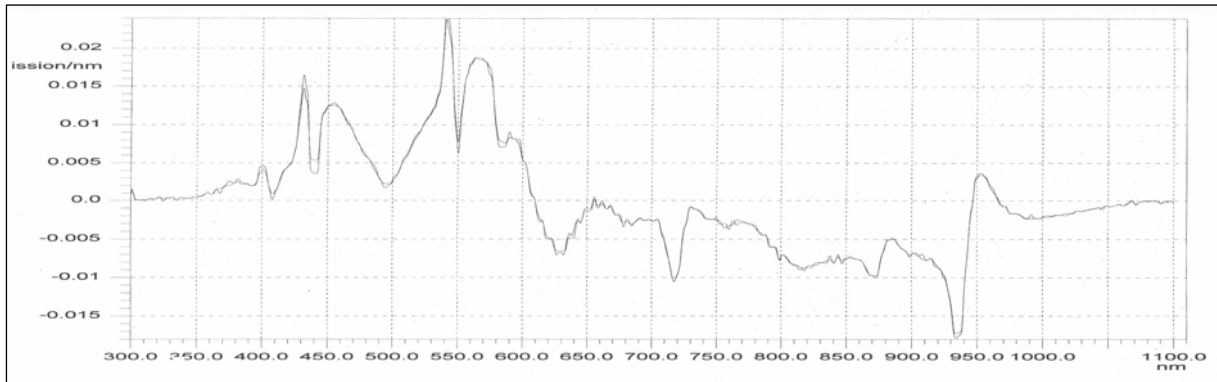
→ untere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein ; unbehandelt



→ obere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein : nach Entfernung von Rhodorsil® RTV 1556 A Trans mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Trans

→ mittlere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein : nach Entfernung von Elastosil® M 4514 mit 5 Gew.-% Härter T21

→ untere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein ; unbehandelt



→ obere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein: nach Entfernung von Rhodorsil® RTV 1556 A Trans mit 10 Gew.-% RTV 1556 B Trans

→ mittlere Funktion (Emission nm/ nm) : gemessene Oberfläche von Elfenbein : nach Entfernung von Elastosil® M 4514 mit 5 Gew.-% Härter T21

#### 4.4 Eigenschaften<sup>68</sup> des Silikons Elastosil<sup>®</sup> M 4514 + 5 Gew.% Härter T21 : Firma<sup>69</sup> Wacker - Chemie GmbH

Elastosil <sup>®</sup> M 4514 + 5 Gew.-% Härter T21	Konsistenz Vulkanisatfarbe	Vulkanisat: Eigenschaften	besondere Merkmale	Viskosität der Anwendungs- fertigen Mischung [mPa s]	Dichte (DIN 53479 A) [g/cm <sup>3</sup> ]
Kondensationsvernetzung	gießbar, weiß	weich, sehr hohe Dehnbarkeit und mechanische Festigkeit	ausgezeichnete Beständigkeit gegen Polyester- und Polyurethanharze	25000	1,25
Elastosil <sup>®</sup> M 4514 + 5 Gew.-% Härter T21	Härte Shore A (DIN 53505)	Reißfestigkeit (DIN 53504 S3 A) [N/mm <sup>2</sup> ]	Reißdehnung (DIN 53504 S3 A) [%]	Weiterreiß- Widerstand (ASTM D 624 B) [N/mm]	lineare Schrumpfung nach 7 Tagen [%]
Kondensationsvernetzung	25	4,5	450	>25	0,4

##### 4.4.1 Vorteile von Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.-% T Härter 21 für die Herstellung von Abgußformen

- das an der Luft ausgehärtete Silikon zeigt unter dem Stethoskop im Querschnitt wenige kleine sichtbare Luftblasen
- das im Vakuum ausgehärtete Silikon zeigt unter dem Stethoskop im Querschnitt keine Luftblasen
- Blasen nur auf der oberen Grenzfläche
- gutes Löslichkeitsverhalten des Silikons von Zinnfolie
- kleinste Einrisse im Silikon bei der Entfernung der Schraube
- sehr gute und genaue Abbildungsgenauigkeit ohne Anhaftungen
- sehr schnelle Abbindung des Silikons
- sehr gute Fließfähigkeit und Selbstentlüftung
- mittlere Härte
- hohe Dehnbarkeit und Elastizität
- sehr hohe Ein- und Weiterreißfestigkeit
- hervorragende Beständigkeit gegen Polyester- und Polyurethanharze für sehr hohe Abformzahlen

##### 4.4.2 Verarbeitung des Silikons Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.- % Härter T21

Für die Herstellung von Formen für die Verarbeitung von Epoxyd- und Polyurethanharze erfolgt die Verarbeitung von Elastosil<sup>®</sup> M 4514 durch einen Zusatz von 5 Gew.- % Härter T21 für längere Topf- und Vulkanisationszeiten.

Härter T21 Catalyst [Gew.-%/ wt %]	Verarbeitungszeit Pot life [min]	Vulkanisationszeit (klebfrei) Curing time (tack-free) [h]
5 % T21	60 – 90	8 – 10

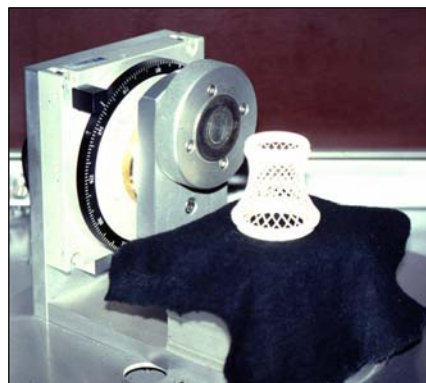
Die Firma Wacker-Chemie GmbH empfahl als Isolierschicht für Polyurethane und kondensationsvernetzende RTV-2-Silikonkautschuke wasserlösliche Kunstharze wie Methylcellulose, Polyvinylalkohol in wässrigen Verdünnungen (4-10 Gewichtsteile Feststoff auf 100 Gewichtsteile Wasser) oder Wacker Schutzfilm SF 18.

<sup>68</sup> Daten der Tabelle entsprechen dem Stand vom Juli 2000 und wurden aus der Druckschrift der Firma Wacker-Chemie GmbH: Abformmassen: „Elastosil<sup>®</sup> M, RTV-2 Silikonkautschuk“ entnommen. Diese Druckschrift enthält weitere kondensationsvernetzende und additionsvernetzende Silikone und wurden tabellarisch zusammengefaßt. Für einen direkten Vergleich der verschiedenen Elastosil<sup>®</sup> M Silikone wurde diese Druckschrift sowie die Sicherheitsdatenblätter dem Anhang der Dokumentation beigelegt.

<sup>69</sup> Anschrift: Wacker-Chemie GmbH : Geschäftsbereich Silicone : Hanns-Seidel-Platz 4 · D-81737 München · Tel.: + 49 (0)89 / 6279-01 · Fax: + 49 (0)89 / 6279-2888 · Homepage: <http://www.wacker.com>.

#### 4.5 Mögliche Anwendung von Rapid Prototyping – Stereolithographie - in der Restaurierung

Während eines Telefongesprächs im August 2000 mit Herrn STEINBICHLER von der Firma Steinbichler Optotechnik GmbH<sup>70</sup> wurde das Restaurierungskonzept und die Problematik bei der Reproduktion und die Problematik bei der Reproduktion von Paraboloiden besprochen. Bei dem folgenden Besuch der besagten Firma in Neubeuern wurde in Beisein von Herrn PIENING und mir mittels der Interferometrie und optischer Digitalisierungstechnik<sup>71</sup> ein berührungsfreies 3D-CAD-Volumenmodell vor dem Kunstwerk erstellt. Anschließend wurde der Datensatz an DEUKE von der Firma ALPHAFORM AG<sup>72</sup> überbracht, der mittels der Stereolithographie die Reproduktion durchführen konnte.



Die Verfahren beider Firmen befanden sich im August 2000 auf dem höchsten Stand der Rapid Prototyping- und Stereolithographie Technologie und wurden erstmals in dieser Konstellation zusammengebracht und angewandt um die Reproduktion der Paraboloiden durchzuführen. Die Realisierung des gemeinsamen Projekts lag im Interesse aller Beteiligten, und beiden Firmen seien für ihre kostenfreie Unterstützung gedankt. Auf das im Anhang beiliegende und im folgenden zusammengefasste finanzielle Angebot<sup>73</sup> sollte aber noch aus Interesse am Stereolithographie-Verfahren hingewiesen werden.

Angebot Nr.: 01002162 der Firma Alphaform AG für die Reproduktion durch das Stereolithographie-Verfahren				
Anzahl	Einheit	Bezeichnung	Art	Gesamtpreis Euro
4	Stück	Kerzenleuchter (Paraboloid)	Stereolithographie SOMOS 8120m	880,00 Euro
4	Stück	Kerzenleuchter (komplette Laterne)	Stereolithographie SOMOS 8120m	1500,00 Euro



<sup>70</sup> Anschrift: Steinbichler Optotechnik GmbH : Dr. Marcus STEINBICHLER · Am Bahnhof 4 · D-83115 Neubeuern · Tel.: + 49 (0)80 / 3587040 · Fax: + 49 (0)80 / 35 10 10 · E-mail: info@steinbichler.de · Homepage: www.steinbichler.de

<sup>71</sup> Weitere Informationen zur Interferometrie und optischer Digitalisierungstechnik der Firma Steinbichler Optotechnik GmbH unter Homepage: <http://www.alphaform.de>

<sup>72</sup> Alphaform AG Enabling Technologies & Services: Ralf DEUKE · Kapellenstraße 10 · D-85622 Feldkirchen · Tel.: + 49 (0)89 / 905002 0 · Fax: +49 (0)89 / 90500290 · E-mail: <http://www.alphaform.de/f120/internet/alphahome.nsf/index.html?OpenFrameSet> · Homepage: <http://www.alphaform.de>

<sup>73</sup> Eine Kopie der Rechnung ist im Anhang dieser Dokumentation vorzufinden.

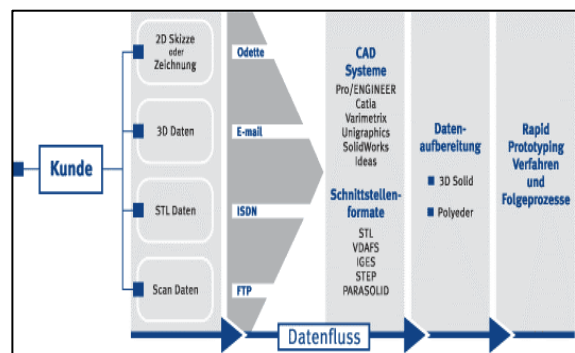
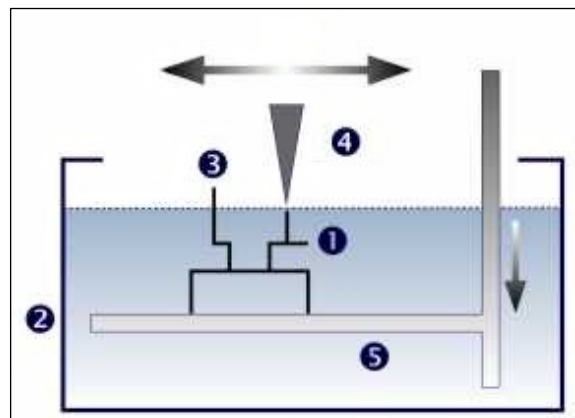
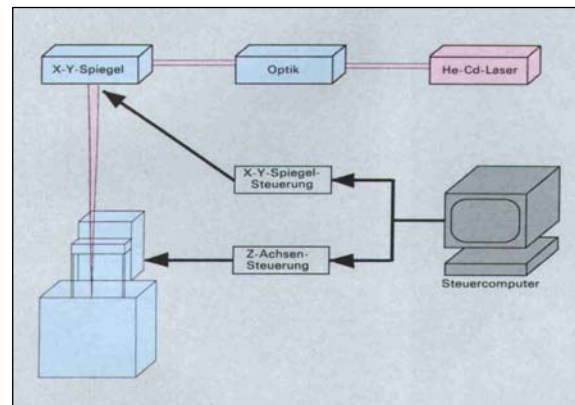


#### 4.5.1 Rapid Prototyping – Stereolithographie – Verfahrensbeschreibung<sup>74</sup>

Rapid Prototyping wurde 1982 von Charles HULL entwickelt und besteht aus einer Technik, die Laser, optische Scanner, Polymerchemie, Präzisionsmechanik und Computer-Anwendung miteinander vereinigt.<sup>75</sup> Mit Hilfe von Rapid Prototyping können Prototypen flexibel, zeit- und kostensparend gestaltet werden. Die erzielte Produktqualität ist hoch und oft besser als manuelle Fertigung. Dabei wird die Abbildungsgenauigkeit sowie die optische und technische Qualität eines Prototypen grundlegend vom eingesetzten Rapid Prototyping Verfahren bestimmt. Das mit Abstand exakteste und weit verbreitetste Rapid Prototyping Verfahren wird Stereolithographie genannt. Weitere Informationen zu den verschiedenen Verfahren und entsprechenden Dienstleistungspartnern sind im Internet<sup>76</sup> einzusehen.

Die Stereolithographie ist ein laserunterstütztes Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Kunststoffteile ohne Werkzeuge und ohne Formen. Sie bietet die Möglichkeit auch sehr komplexe Geometrien z. B. mit Hohlräumen, Hinterschneidungen und quadratischen Bohrungen zu realisieren. Heute sind unterschiedliche Rapid Prototyping Verfahren mit verschiedenen Schwerpunkten im Einsatz.

Zunächst wird das vorhandene 3D-CAD-Volumenmodell mit Hilfe der STL-Schnittstelle (Standard Transformation Language) in einen standardisierten Datensatz transformiert und in Querschnitte aufgeteilt. Dabei können Modelle oder Musterteile in fast jeder Größe automatisch und berührungslos hergestellt werden. Der STL-Datensatz beschreibt die Bauteilgeometrie durch sehr dünne Schichten<sup>77</sup> und wird auf den



<sup>74</sup> Weitere aktuelle Beschreibung [Feb. 2001] zum Stand der Rapid Prototyping- und Stereolithographie Technik sind im Anhang dieser Dokumentation in den folgenden Zeitschriften zu finden: Formikrosys Sonderteil 2001: SEITZ, Hermann: *Rapid Prototyping mit neuem Mikrodosiersystem*. In : Formikrosys Sonderteil 2001, Carl Hanser Verlag, München, S. 16-18 ; TILLE, Carsten: *Mehr Präzision in der Stereolithographie*. In : Formikrosys Sonderteil 2001, Carl Hanser Verlag, München, S. 19-21 ; Alphaform AG: *Enabling Technologies & Services*, S. 9-12 ; LARSON, H. John; MADDEN, Claire; SUTHERLAND, Ian: *Ince Blundell: the preservation of an important collection of classical sculpture*. In : J. Cult. Heritage 1 (2000), S. 79-87.

<sup>75</sup> Dia 54.

<sup>76</sup> Weiterführende Links im Internet zum Thema Rapid Prototyping - Stereolithographie:

(<http://www.agil.ch/>), (<http://www.alphaform.de/>), (<http://www.baumann-modellbau.com/>), ([http://www.cirp.de/home\\_d.html](http://www.cirp.de/home_d.html)), (<http://www.formikrosys.de/mstl.html>), ([http://www.forwis.uni-passau.de/projects/MicroSL/index.php?project\\_id=17](http://www.forwis.uni-passau.de/projects/MicroSL/index.php?project_id=17)), ([http://www.fzk.de/pmt/fertigungstechnologien/datenblaetter\\_deutsch/rlithographie.htm](http://www.fzk.de/pmt/fertigungstechnologien/datenblaetter_deutsch/rlithographie.htm)), (<http://www.hoerdler.de/stereolithographie/stereolithographie.htm#oben>) ; ([http://www.ikp2.uni-stuttgart.de/RP\\_IKP/SL.html](http://www.ikp2.uni-stuttgart.de/RP_IKP/SL.html)), (<http://www.kl-technik.com/stereolithographie.html>), (<http://www.lpr.e-technik.tu-muenchen.de/research/rtsg/RAPID/index.html>), (<http://www.plex.de/plex/verarb/proto/proto.htm>), (<http://www.protoc-prototyping.de/index.htm>), (<http://www.steinbichler.de/>), (<http://www.stereolithographie.de/stereolithographie-start.htm>), (<http://www.striggow.de>), (<http://www.voxel.de/stereolithographie.html>), (<http://www.wsp.fh-mannheim.de/gstlit.html>), ([http://www-itiv.etec.uni-karlsruhe.de/FORSCHUNG/f\\_rpt/top.html](http://www-itiv.etec.uni-karlsruhe.de/FORSCHUNG/f_rpt/top.html)), (<http://www.gubesch.de/html/prototypenbau.html>).

<sup>77</sup> ... „Die Querschnitte haben dabei eine 1 bis 2 Zehntel Millimeter.“ ... (Quelle: <http://www.hoerdler.de/rapid-prototyping/rapid-prototyping.htm>).

Prozessrechner der Stereolithographie-Maschine übertragen. Beim Stereolithographie-Prozeß wird die Oberfläche eines flüssigen Photopolymer-Harzes mit einem UV-Laserstrahl<sup>78</sup> gemäß dem STL-Datensatz selektiv belichtet und die Konturen der jeweiligen Schichten abgebildet. Das flüssige Monomer (Harz) härtet durch die Einwirkung des UV-Lasers an den belichteten Flächen zu einem Polymer aus. Dann wird die Bauteilplattform abgesenkt und eine neue dünne Schicht Photopolymer-Harz aufgetragen. Durch Wiederholung dieser Schritte werden die darüber liegende Schicht und schließlich die vollständige Geometrie von unten nach oben aufgebaut. Das so entstandene Bauteil wird abschließend nachgehärtet und entgratet. Stereolithographie-Bauteile zeichnen sich durch eine sehr hohe Maß- und Formhaltigkeit aus.

EIGENSCHAFTEN VON	DURAFORM/PA 2200	DURAFORM/PA 3200 GF
Werkstoff	Polyamid 12	Polyamid 12 glasgefüllt
Zug E-Modul	~1.600 N/mm <sup>2</sup>	~3.500 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit	~50 N/mm <sup>2</sup>	~47 N/mm <sup>2</sup>
Reißdehnung	~15%	~4%
Shore-Härte	D 80	■
Max. Temperaturbelastung	~140°C	~140°C
Typ. Toleranz	+/-0,25 mm +/-0,15%	+/-0,25 mm +/-0,15%

sich durch eine sehr hohe Maß- und Formhaltigkeit aus.

#### 4.5.2 Präzision, Genauigkeit und Qualität der Stereolithographie

Der schichtweise Bauprozess einerseits und der reaktionsbedingte Schwund der Photopolymere andererseits führen zu Maß- und Formabweichungen. Die Industrie sieht sich in der Lage, Herstellungsgenauigkeiten von +/- 0,05 mm auf 100 mm zu garantieren,<sup>79</sup> wodurch eine mehrfach identische Reproduktion ermöglicht wird (stereolithographische Bauteiltoleranzen nach DIN 7168 in einem Maßbereich von 30 bis 120 mm bedeutet eine Genauigkeit von +/- 0,2 mm). Ungeteilte Modelle von 600 \* 600 \* 400 mm können erstellt werden. Bei größeren Teilen können die einzelnen Segmente passgenau zusammengefügt werden.<sup>80</sup>

#### 4.5.3 Weitere mögliche Materialien für eine Reproduktion mit der Stereolithographie

Bei der Auswahl der geeigneten Materialien für den zu erstellenden Prototyp können je nach Anforderung thermisch belastbare, mechanisch bearbeitbare oder zähe Harze eingesetzt werden. Durch schwundarme photosensitive Harze<sup>81</sup> wie Acrylat-, Vinylether- oder Epoxyharze und durch optimierte Prozessführung kann die Bauteilgenauigkeit in der Stereolithographie entscheidend verbessert werden.

EIGENSCHAFTEN VON	DSM SOMOS 7120	DSM SOMOS 8120	DSM SOMOS 9120*
Werkstoff	Epoxyd - Harz	Epoxyd - Harz	Epoxyd - Harz
Biege E-Modul	~2.800 N/mm <sup>2</sup>	~680 N/mm <sup>2</sup>	1.180 - 1.870 N/mm <sup>2</sup>
Zug E-Modul	~2.700 N/mm <sup>2</sup>	~600 N/mm <sup>2</sup>	1.120 - 1.440 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit	~61 N/mm <sup>2</sup>	~25 N/mm <sup>2</sup>	27 - 33 N/mm <sup>2</sup>
Reißdehnung	~5%	~25%	11 - 13%
Shore-Härte	D 86	D 75 - 78	D 81
Max. Temperatur	97°C (HDT)	62°C (HDT)	50°C (HDT)
Typ. Toleranz	+/-0,1 mm; +/-0,1%	+/-0,1 mm; +/-0,1%	+/-0,1 mm; +/-0,1%

<sup>78</sup> „HeCd-Laser regelbar zwischen 10-20 mW bei einer Wellenlänge von 325 nm.“ (Quelle: <http://www.wsp.fh-mannheim.de/gstlit.html>).

<sup>79</sup> (<http://www.agil.ch/>).

<sup>80</sup> (<http://www.voxel.de/stereolithographie.html>).

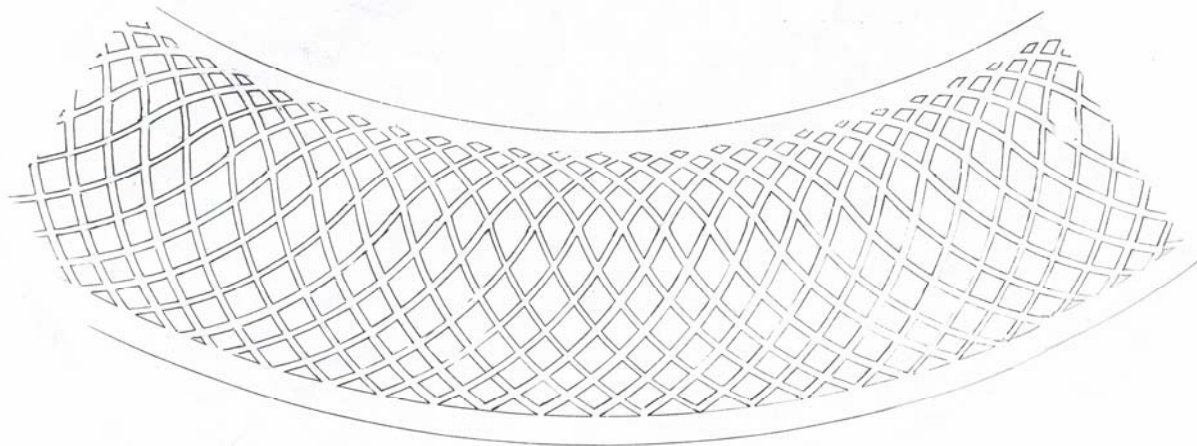
<sup>81</sup> Forschung über Polymerisationsschwund im RP-Verfahren: Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP) an der Universität Stuttgart im Rahmen des BMBF-Projektes: „Materialentwicklung im Rahmen des Rapid Prototyping Engineering (03M4081)“: ... „Bei der Messung des Schwunds beträgt die Genauigkeit 2µm.“ ... (Quelle: [http://www.ikp2.uni-stuttgart.de/RP\\_IKP/SL.html](http://www.ikp2.uni-stuttgart.de/RP_IKP/SL.html)).

## 5. MASSNAHMEN

### 5.1 Manuelle Rekonstruktion eines Paraboloiden aus Zinnblech

Aufgrund der physikalischen und chemischen Eigenschaften<sup>82</sup> wurde für die manuelle Rekonstruktion eines Paraboloiden aus Elfenbein Zinn in Form eines ca. 1mm starken Bleches gewählt, da es ein äußerst dehnbarer weicher Werkstoff ist, er sich kalt leicht verformen, bohren, schneiden, sägen, treiben und löten lässt. Der Paraboloid wurde mittels einer Schublehre vermessen. Die einzelnen Arbeitsschritte für die Herstellung eines Duplikats werden im Folgenden beschrieben.

Aufgrund der zentralperspektivischen Abbildungsgesetze ist es nicht möglich die abgewinkelte Mantelfläche eines dreidimensionalen, konkaven Paraboloiden in eine für die Herstellung benötigte zweidimensionale Zeichnung<sup>83</sup> umzusetzen. Daher muss die Mantelfläche des Paraboloiden mit Hilfe der abgegriffenen Maße zu einer Form idealisiert werden, die einem Kegelstumpf entspricht und damit eine verzerrungsfreie Zeichnung der rautenförmigen Durchbrechungen ermöglicht. Im Hinblick auf die Darstellung der Gesamtansicht der Mantelfläche musste die konkave Form vernachlässigt werden. Die zweidimensionale Zeichnung wurde in einem Maßstab von 5:1 angefertigt und anschließend für eine höhere Abbildungsgenauigkeit der zu erstellenden Vorlage durch Kopieren auf einen Maßstab von 1:1 verkleinert. Diese wurde auf das Zinnblech geklebt. Mit Hilfe eines 1mm starken Metallbohrers wurde durch alle Mittelpunkte der 288 vorgezeichneten Rauten der Vorlage und dem darunter liegenden Metall ein Loch gebohrt. Durch jedes Loch wurde das Metallsägeblatt einer kleinen Bügelsäge gesteckt. Nacheinander wurden alle Rauten ausgesägt.<sup>84</sup> Die Schwierigkeit dabei war, der Vorlage mit der Kopiersäge zu folgen, weil die Späne des weichen Metalls sich nach kurzer Zeit am Zahngrund des Sägeblattes festsetzten, und dadurch oftmals bloß eine feilende Wirkung erzielt wurde, die zum Verlaufen des Sägeblattes führte. Es war wichtig die Ecken und Seiten aller Rauten genau auszusägen, damit eine harmonische und filigrane S-förmig geschwungene Gitterstruktur nachgebildet werden konnte, die später zum gewünschten optischen Effekt führen sollte, der durch die Deckungsgleichheit zwischen vorderen und hinteren Durchbrechungen der Mantelfläche hervorgerufen wird.<sup>85</sup> Damit diese zweidimensionale Mantelfläche mit einem Hämmerchen nun in die konkave Form getrieben werden konnte, mußte zuvor ein Körper gedreht werden, der dem inneren



<sup>82</sup> Zinn (Sn): engl. (IUPAC): Tin; Symbol: Sn; Ordnungszahl: 50; relative Atommasse: 118,71  $\frac{g}{mol}$ ; Atomradius: 140,5 a pm; Kovalenzradius: 140 pm; Van-der-Waals-Radius: k.A. pm; Dichte: 7,29  $\frac{g}{cm^3}$ ; Schmelzpunkt: Celsius 232° C; Siedepunkt Celsius: 2270° C; Schmelzpunkt Kelvin: 505,118 K; Siedepunkt Kelvin: 2543 K; Elektronenkonfiguration: [Kr] 4d<sup>10</sup> 5s<sup>2</sup> 5p<sup>2</sup>; Oxidationszahlen: 4\*, 2\*; Elektronegativität: Allred: 1,7, Pauling: 1,96, Pearson: 4,30 eV (absolut); Säureeigenschaften: amphoterisch; Kristallstruktur: tetragonal; Vaporisationsenergie: 290,37  $\frac{kJ}{mol}$  (= Verdampfungsenthalpie); Fusionsenergie: 7,2  $\frac{kJ}{mol}$  (= Schmelzenthalpie); elektrische Leitfähigkeit: 8,7 \* 10<sup>6</sup>  $mg^{-1} cm^{-1}$ ; thermische Leitfähigkeit: 66,6  $Wm^{-1} K^{-1}$  (bei 300 K); spezifische Wärmekapazität: 0,228  $Jg^{-1} K^{-1}$  (bei 300 K); Atomvolumen: 16,30  $cm^3/mol$ ; erste Ionisierungsenergie: 7,344 eV. (Quelle: <http://periodensystem.andyhoppe.com/elemente/zinn.htm>).

<sup>83</sup> siehe zweidimensionale Planzeichnung (Mutterpause) im Anhang dieser Dokumentation.

<sup>84</sup> Dia 44.

<sup>85</sup> Dia 17.

hohl gedrechselten Volumen des Paraboloiden aus Elfenbein entsprach und zugleich als Auflagefläche diente.<sup>86</sup> Dieser konkave Körper wurde aus Kirschbaum gedrechselt und zunächst mit der hergestellten Mantelfläche in Form eines Kegelstumpfes umlegt. Die passgenauen offenen Enden der ausgesägten Gitterstruktur wurden mittels eines Zindrahtes zu einer geschlossenen Mantelfläche verlötet. Dabei ergab sich das Problem, dass aufgrund der physikalischen Eigenschaft von Zinn sich Blech und Draht beide zugleich beim Schmelzpunkt von 232° C schnell verflüssigten. Wegen einer stabilen Lötnaht wurde geringer Substanzverlust an der Gitterstruktur akzeptiert. Die durchbrochene Mantelfläche des Kegelstumpfes wurde mit einem Hammer über einen Holzdübel bis auf die Tiefe der darunter liegenden Oberfläche des gedrechselten Holzkörpers getrieben. Das Treiben erfolgte jeweils abwechselnd, vom oberen und unteren Steg aus zur Mitte der Gitterstruktur hin. Dabei wurde mit schwachen Schlägen die Mantelfläche gleichmäßig bis zum Scheitelpunkt des Holzkörpers getrieben, mit dem Ziel, die dabei zwangsläufig entstehende Oberflächenvergrößerung und Veränderung der Gitterstruktur möglichst gering zu halten.

Ein Kupferblech wäre im Hinblick für die Rekonstruktion eines Paraboloiden besser geeignet gewesen. Dieses Metall lässt sich aufgrund einer höheren Dichte<sup>87</sup> besser sägen, und man hätte dadurch schärfere Schnittkanten wegen der besseren Zerspannung des Werkstoffs erhalten. Folglich hätte die filigrane Gitterstruktur mit höherer

Abbildungsgenauigkeit ausgearbeitet werden können. Mit seiner höheren Dichte hätte Kupfer beim Treiben des Metalls einer höheren Beanspruchung ausgesetzt werden können. Dabei wären geringere Verformungen als beim Zinn und keine sichtbaren Risse aufgetreten. Eine höhere Dichte hätte aber den Nachteil eines höheren Gewichtes. Die zunächst stabile Befestigung der Zierlaternen an den dünnen Leuchterarmen könnte sich später eventuell negativ auf die Verbindung zwischen Originalsubstanz und Rekonstruktion auswirken, wie auch auf die Form der vorhandenen Holzteile.

Die Rekonstruktion des Paraboloiden aus Zinnblech hat vom Erfassen der Maße bis zu seiner Fertigstellung eine Woche gedauert. Für die Herstellung vier identischer Paraboloiden würden mindestens zwei weitere Wochen benötigt werden, was ebenso für eine Ausführung in Kupferblech zuträfe.

Der hohe Zeit- und Kostenaufwand wirft die Frage auf, ob es sinnvoller ist, manuell vier identische Paraboloiden aus Zinn- oder Kupferblech anzufertigen oder nach nur einem von diesen eine Abgussform zu erstellen für vier Abformungen in Polyurethan.<sup>88</sup> Beim Abguss einer Kupferform würde die höhere Dichte des Kupfers bedeutungslos, der Vorteil läge in einer größeren Abbildungsgenauigkeit. Die Herstellung einer Abgussform direkt vom originalen Paraboloiden aus Elfenbein kommt in keinem Fall in Frage, da es nicht möglich ist ein isolierendes Trennmittel oder ein



<sup>86</sup> Dia 53.

<sup>87</sup> Zinn (Sn): Dichte : 7,29 g/cm<sup>3</sup>. (Quelle: <http://periodensystem.andyhoppe.com/elemente/zinn.htm>).

Kupfer (Cu): Dichte : 8,92 g/cm<sup>3</sup>. (Quelle: <http://periodensystem.andyhoppe.com/elemente/kupfer.htm>).

<sup>88</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 12-14 ; in dieser Dokumentation im ‚Glossar‘ unter Polyurethane, S. 58-59.

anderes Material auf die komplex ausgearbeitete Gitterstruktur aufzutragen, ohne dabei die Oberfläche nachteilig zu verändern.

Gegen den Gebrauch von Silikon spricht der zu hohe Ausdehnungskoeffizient, aufgrund dessen die schon stark beschädigte Gitterstruktur zerstört werden könnte.

gemessene Maße <sup>89</sup> des Paraboloiden aus Elfenbein <sup>90</sup>		
max. Höhe		42,5 mm
oberes Gewinde	Höhe:	4,6 mm
	Durchmesser:	30,5 mm
	Umfang:	95,8 mm
oberer Steg	Höhe:	1,6 mm
	Durchmesser:	31,5 mm
	Umfang:	99,0 mm
Gitterstruktur	Höhe:	29,4 mm
	Wandstärke:	1,0 mm
	Durchmesser eines Gitters:	0,6 mm
	Durchbrechungen:	288 Stück
	Scheitelpunkt; Durchmesser auf $\frac{2}{3}$ Höhe:	auf etwa $\frac{2}{3}$ der Höhe: ca. 26,0 mm
unterer Steg	Höhe:	2,6 mm
	Durchmesser:	42,3 mm
	Umfang:	132,9 mm
unteres Gewinde	Höhe:	4,3 mm
	Durchmesser:	38,5 mm
	Umfang:	121,0 mm



## 5.2 Herstellung von Abgussformen und Gießlinge

Für die Rekonstruktion<sup>91</sup> der vier nur zum Teil erhaltenen S-förmig geschwungenen Arme (Ebene [A] : Arme: II, IV, VI, VIII) und der fehlenden Laterne (Ebene [A] : Laterne I) mit ca. 2 cm Bogenansatz, mussten die Silikonformen direkt am Leuchter aus Buchsbaum hergestellt werden,<sup>92</sup> da sich die zwei Originalvorlagen (Ebene [A] : Arm VIII und Laterne III) nicht ohne größere Eingriffe abnehmen ließen. Aufgrund des leichten Zugangs zur III. Laterne – die beiden angrenzenden Arme fehlen ab der Mitte und somit auch die Zierlaternen – wurde diese für die Herstellung einer Silikonform ausgesucht. Um zwei hochwertige Abgüsse zu gewährleisten, musste der hängende Leuchter mit seinen beweglichen, S-förmig geschwungenen Armen (Ebene [B] und [C]) zuerst in die Waagerechte gebracht werden. Die beweglichen Verbindungen zwischen der Mittelsäule und den 16 geschwungenen Kerzenarmen, als auch die Verbindungen in der Mitte, im Wendepunkt eines jeden S-förmig geschwungenen Armes, stellten sich als Problem dar. Beim Versuch, den Leuchter in eine waagerechte Lage zu bringen, würden sich alle Arme nach unten drehen.<sup>93</sup>

Demzufolge mussten zunächst die nebeneinander liegenden Arme zur Stabilisierung mit Bindfäden gegeneinander fixiert werden. Unterhalb des Kerzentellers wurden die Wendepunkte jedes S-förmig geschwungenen Armes miteinander verbunden. Als Stützen des Leuchters wurden drei Bretter mit Zwingen an Holzböcke befestigt. Die Hirnholzseiten dieser Bretter wurden individuell den Formen der Mittelsäule angepasst und gegen eine Beschädigung der Oberfläche gepolstert. Es erfolgte eine zusätzliche Sicherung, indem jeweils identische gepolsterte Holzformen von oben auf die unteren Bretter geschraubt wurden. Die Höhe der stützenden Bretter musste ein zweites Mal angepasst werden, damit sich nicht die Mittelsäule des Leuchters, sondern die abzugießende Laterne für die Herstellung der Silikonform in absolut waagerechter Lage befand. Nur durch eine exakte Ausrichtung der Laterne

<sup>89</sup> Ungefähre Maße wurden von einer Schublehre abgelesen und der Umfang ( $U = 2 * \pi * r$ ) berechnet.

<sup>90</sup> Dia 101.

<sup>91</sup> Dia 42 und 72.

<sup>92</sup> Dia 1 und 49.

<sup>93</sup> Dia 84.

konnten Hinterschnidungen in einer zweiteiligen Silikonform vermieden werden. Unter der Laterne wurde eine Ablagefläche gebaut, um auf dieser einen Holzkasten platzieren zu können.<sup>94</sup>

Der Kasten sollte die Laterne so umschließen, dass diese mit geringstem Materialverbrauch in zwei Schritten abgegossen werden konnte. Die entstehende Silikonform musste dabei in sich stabil genug werden.

Für die Herstellung einer zweiten Silikonform, die des S-förmig geschwungenen Armes,<sup>95</sup> mussten die von oben aufgeschraubten drei Bretter wieder gelockert, der Leuchter gedreht und die stützenden Bretter individuell auf der gewünschten neuen Höhe befestigt werden, um damit den Arm absolut in die Waagerechte zu bringen.

Bei der Lage des Leuchters in der Waagerechten ruhte das Eigengewicht jedes einzelnen S-förmig geschwungenen Armes jetzt auch auf seinen drehbaren Verbindungen, also in den zwei Wendepunkten. Das Eigengewicht eines jeden Armes wäre so hoch, dass diese sich, den natürlichen Gesetzen der Schwerkraft entsprechend, in Richtung Boden, sofern nicht durch eine gegenseitige Stabilisierung mittels Bindfäden dem entgegen gewirkt würde. Dafür wurden die einzelnen Kerzenteller und Wendepunkte eines jeden Armes mit den nächsten verbunden. So konnten mögliche Schäden an der Oberfläche vermieden werden, weil die Kerzenarme des Leuchters nicht nach unten hingen und sich nicht gegenseitig berührten. Trotzdem, desto höher ein Arm steht, umso größer ist das Gewicht, das er zu tragen hat.

### 5.2.1 Brechungsindex (n)

BRECHUNGSINDIZES (n)							
Methylcellulose: <sup>96</sup>  (n) <sub>1</sub> : 1,257		Wasser: <sup>97</sup>  (n) <sub>2</sub> : 1,330	Schellack: <sup>98</sup>  (n) <sub>3</sub> : 1,516	Luft: <sup>99</sup>  (n) <sub>4</sub> : 1	<sup>100</sup> Cosmoloid®H80 :  (n) <sub>5</sub> : 1,505		Shellsol® T: <sup>101</sup>  (n) <sub>6</sub> : 0,788-0,808
	5 Gew.-% Methylcellulose gelöst in 95 Gew.-% destillierten Wasser:  n) <sub>2</sub> : 1,32635					15 Gew.-% Cosmoloid® H80 Gelöst in 85 Gew.-% Shellsol T:  (n) <sub>7/8</sub> : 0,89555 bis 0,91255	
$n_4 - n_2 = 1,516 - 1,32635 = 0,18965$ $n_4 - n_{7/8} = (1,516 - 0,89555) \text{ bis } (1,516 - 0,91255) = 0,62045 \text{ bis } 0,60345$							

<sup>94</sup> Dia 1.

<sup>95</sup> Dia 49.

<sup>92</sup> [http://europa.eu.int/eur-lex/de/lif/dat/1978/de\\_378L0663.html](http://europa.eu.int/eur-lex/de/lif/dat/1978/de_378L0663.html).

<sup>97</sup> NICOLAUS 1998, S. 265.

<sup>98</sup> NICOLAUS 1998, S. 265.

<sup>99</sup> (Quelle: <http://www.kremer-pigmente.de>).

<sup>100</sup> (Quelle: <http://www.google.de/search?q=cache:MqbXUkLMr7sC:www.forelec.ch/fichiers/ShellsolTopkEC20.pdf+Brechungsindex+Shellsol+T&hl=de>).

<sup>101</sup> (Quelle: <http://www.kremer-pigmente.de>).

## 5.2.2 Verwendete Trennmittel für die Herstellung der Gußformen direkt am Leuchter aus Buchsbaum

HUBER erkannte,<sup>102</sup> dass ohne die Verwendung eines geeigneten Trennmittels es zu partiellen Haftungsschäden kommen könnte, die den zweischichtigen Lack des Leuchters aus Buchsbaum zerstören könnten. Außerdem hätte es dazu führen können, dass sich der Silikonkautschuk stellenweise nicht ablöst und deshalb nachträglich angequollen und von der Vorlage abgerieben werden müsste. Er verweist darauf, die Oberflächen der hölzernen Vorlagen vor der Beanspruchung durch Silikon mit einem flüssigen, wachshaltigen Trennmittel als isolierender Schicht (15% Cosmoloid® H80 gelöst in 85% Shellsol® T) zu schützen. HUBERS Untersuchungen belegen, dass dieses Mittel über eine gute und hohe Trennwirkung zwischen der Oberfläche der hölzernen Vorlagen und dem von ihm verwendeten Silikon verfügt, und eine gleichmäßige und blasenfreie Oberfläche erzeugt.



Bei der Verwendung eines Trennmittels erübrigt sich die Frage nach seiner reversiblen Entfernung, da selbst nach einer gezielten Reinigung - mit einem Lösungsmittel, das auf dem gleichen Medium wie das Bindemittel des Trennmittels basiert - sich die Isolierschicht nicht vollständig aus der zweischichtigen Oberfläche entfernen lässt.

Es ist nicht nur wichtig ein Trennmittel zu verwenden, das die Oberflächen der Vorlagen vor dem Silikon schützt, ebenso spielt die Brechzahl (n) der Isolierschicht<sup>103</sup> eine wichtige Rolle, da selbst nach einer Reinigung der hölzernen Vorlage der Glanzgrad noch beeinflusst werden könnte. HUBERS Konzept wurde nachträglich noch verbessert, indem zuerst eine Isolierschicht auf der Basis von Methylcellulose und erst anschließend das Cosmoloid® H80 in 85 % Shellsol® T auf die Oberfläche aufgestrichen wurde. Das hat für die abgegossenen hölzernen Vorlagen zur Folge, dass nach ihrer Reinigung der Glanzgrad der Oberfläche weniger beeinflusst wird, da die Brechzahl (n) der unteren Isolierschicht niedriger ist als die der zweiten. Der Brechungsindex ist ein Maß für die Größe der Ablenkung des Lichts beim Übergang in einen anderen Stoff. Ein großer Brechungsindex begünstigt eine starke Reflexion<sup>104</sup> und somit die Brillanz eines aufgetrockneten Trennmittels.

<sup>102</sup> HUBER: 3. Teil, S. 10-11.

<sup>103</sup> <http://www.schmucklexikon.de/sSchmucklexikon.htm>.

<sup>104</sup> Dia 46 und 69.

### 5.2.3 Verwendete Trennmittel auf der Zierlaterne aus Elfenbein zur Herstellung von Gussformen aus Silikonkautschuk<sup>105</sup>

Eine der vier Zierlaternen (Ebene [A]) des jüngeren Elfenbeinleuchters aus dem Spiegelkabinett der Reichen Zimmer (Raum 61) der Münchner Residenz<sup>106</sup> wurde zuvor von Herrn PIENING entfernt und galt als Vorbild in der Herstellung von Abgussformen, bzw. für die optische Komplettierung des Leuchters aus Buchsbaum durch Rekonstruktionen.<sup>107</sup> Diese Zierlaterne wurde in ihre sechs hohl gedrechselten und ineinander verschraubbaren Einzelteile<sup>108</sup> zerlegt,<sup>109</sup> um mit ihnen, wie zuvor beschrieben,<sup>110</sup> Gussformen aus Silikonkautschuk in Holzkästen herzustellen, mit dem Unterschied, dass aus ethischen Gründen<sup>111</sup> vor dem Abguss erstmals eine Zinnfolie auf fünf der sechs Teile mit destilliertem Wasser aufgelegt,<sup>112</sup> bevor nacheinander mit dem Auftrag der zwei flüssigen Trennmittel fortgefahren wurde.

Zierlaterne:	6. Teil	→	Gußform
	5. Teil	→	Gußform
	4. Teil [Paraboloid <sup>113</sup> ]		
	3. Teil	→	Gußform
	2. Teil	→	Gußform
	1. Teil : Trennmittel	→	
	1. Zinnfolie		
	2. Methylcellulose		
	3. Wachs (Cosmoloid® H80)→		Gußform



Die Abbildungsgenauigkeit war entscheidend abhängig davon, wie genau die Zinnfolie auf der auflag und letztendlich dazu führten, dass besonders der Gießlinge Ungenauigkeiten auftraten, da es sich hier als äußerst schwer herausstellte die Zinnfolie so „anzuschließen“, dass sie als Trennschicht genau auf der Oberfläche auflag. Aufgrund der Verwendung von Zinnfolie als aufgelegte reversible Trennschicht, einer flüssig aufgetragenen Methylcellulose und einem Wachs als Trennmittel für die fünf Einzelteile der Zierlaterne aus Elfenbein, entstand bei der späteren Herstellung der Gießlinge Oberflächenvergrößerungen, die sich im wesentlichen auf die Verwendung von Zinnfolie zurückführen lassen. Die Abbildungsgenauigkeit war entscheidend davon abhängig, wie gut die Zinnfolie durch das verdunstende Wasser und der dadurch entstandenen kohäsiven Kräfte auf der originalen Oberfläche auflag. Es war zu bemerken, dass besonders in den Tiefen der Vorlagen Ungenauigkeiten auftraten,<sup>114</sup> da es sich hier als äußerst schwer herausstellte die Zinnfolie anzuschließen.<sup>115</sup> Zusätzlich tendierten die anschließend mit einem Pinsel aufgestrichenen Trennmittel sich in den Tiefen auf der Zinnfolie zu sammeln, was möglichst gleichmäßige Überzüge voraussetzte.

<sup>105</sup> HUBER: 3. Teil, S. 10-13 ; RAMSL: 2. Teil, S. 42.

<sup>106</sup> Dia 41 und 43.

<sup>107</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Argumente für die Ergänzung fehlender Arme und Laternen am Leuchter aus Buchsbaum‘, S. 11.

<sup>108</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Vorbilder für mögliche Rekonstruktionen der (Ebene [A]) des Leuchters aus Buchsbaum‘, S. 11.

<sup>109</sup> Dia 3, 5, 9, 11 und 101.

<sup>110</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Das Abgießen der Vorlagen direkt am Leuchter aus Buchsbaumholz zur Herstellung der Gußformen aus Silikonkautschuk‘, S. 35.

<sup>111</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Neues Restaurierungs- und Rekonstruktionskonzept der (Ebene [A]) des Leuchters‘, S. 14

<sup>112</sup> Dia 2, 4, 10 und 14.

<sup>113</sup> Die insgesamt vier benötigten Paraboloiden wurden nach einem anderen Verfahren rekonstruiert. Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Mögliche Anwendung von Rapid Prototyping - Stereolithographie - in der Restaurierung‘, S. 26 ; ‚Rapid Prototyping - Stereolithographie - Verfahrensbeschreibung‘, S. 27.

<sup>114</sup> Dia 8, 47, 58, 90 und 91.

<sup>115</sup> Dia 2, 10 und 14.



#### 5.2.4 Das Abgießen der Vorlagen direkt am Leuchter aus Buchsbaum zur Herstellung der Gussformen aus Silikonkautschuk<sup>116</sup>

Der hängende Leuchter, bzw. die Mittelachse der abzugießenden Laterne (Ebene [A] : Laterne III) wurde möglichst exakt in die Waagerechte gebracht und unter dieser anschließend eine Ablagefläche mit samt eines beweglichen Holzkastens unterbaut, um in diesem eine zweiteilige Gußform aus Silikonkautschuk Elastosil<sup>®</sup> M 4514/Härter T21 herstellen zu können.<sup>117</sup> Zuvor wurden aber nacheinander zwei Isolierschichten als Trennmittel auf die Laterne aufgestrichen<sup>118</sup>:

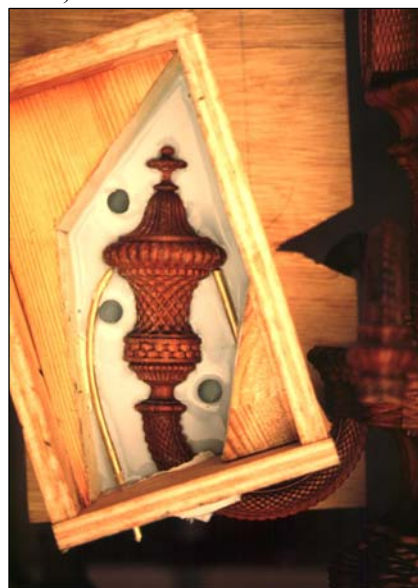
1. Methylcellulose: (5 Gew.% gelöst in destillierten Wasser)
2. Wachs, mikrokristallin: (15 % Cosmoloid<sup>®</sup> H80, gelöst in 85 % Shellsol<sup>®</sup> T)

Nachdem auch die oberste und zweite Isolierschicht getrocknet war, wurde das in den Holzkasten einfließende Silikonkautschuk, - vorerst - und zwar möglichst exakt, bewusst nur bis zur Mittelachse der Laterne aufgegossen, um nach seiner/dessen<sup>119</sup> Vulkanisationszeit [8-10(h)] in einem weiteren Arbeitsdurchgang ihre zweite und obere Hälfte vollständig und möglichst ohne Hinterschneidungen an der Grenzfläche abzugießen.

Während der Herstellung der unteren und ersten Gussform, wurden noch in der<sup>120</sup> Verarbeitungszeit des Silikonkautschuks [60-90(min)], dafür, senkrecht vier kleine Holzdübel – als Arretierungsnoppen – und waagrecht zwei dünne Messingstangen – als Luftkanäle – in seine Oberfläche hineingedrückt.

Die Arretierungsnoppen wurden nach der<sup>121</sup> Vulkanisationszeit [8-10(h)] wieder aus der unteren und ersten Gussform entfernt und diese Oberfläche mit Vaseline als Trennmittel bestrichen, bevor in einem weiteren Arbeitsdurchgang die andere Hälfte der Laterne vollständig abgegossen wurde; denn durch das Einbringen von Arretierungsnoppen und Luftkanäle in die zweiteilige Gußform wird, nach dem Vorbild, eine höhere Abbildungsgenauigkeit – vor allem im Grenzbereich – letztendlich (im/des) ? herzustellenden Gießling(s) gewährleistet.

Die Luftkanäle sind jeweils so anzulegen, dass das für die Herstellung von Rekonstruktionen verwendete und mit Mikropigmente<sup>122</sup> präparierte Polyurethan<sup>123</sup> (Ureol<sup>®</sup> 5202-1 A/B) beim Eingießen bestenfalls jegliche Luft aus den Hohlräumen zu verdrängen vermag. Beim Proportionieren des vulkanisierenden Polyurethans wird beim Erkalten des Materials mit Dehnspannungen in den Gussformen gerechnet. Für die Rekonstruktionen der einzelnen Teile der Zierlaternen aus Buchsbaum der (Arme I, II, IV, VI, VIII : Ebene [A])<sup>124</sup> wurde



<sup>116</sup> Weitere Beschreibung: HUBER: 3. Teil, S. 10-13 ; RAMSL: 2. Teil, S. 42-44.

<sup>117</sup> Dia 1.

<sup>118</sup> Dia 69.

<sup>119</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Verarbeitung des Silikons Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.- % Härter T21‘, S. 25.

<sup>120</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Verarbeitung des Silikons Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.- % Härter T21‘, S. 25.

<sup>121</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Verarbeitung des Silikons Elastosil<sup>®</sup> M 4514 mit 5 Gew.- % Härter T21‘, S. 25.

<sup>122</sup> Mikropigmente: Firma Ciba Spezialitätenchemie : Mikrolith<sup>®</sup>: braun 5R-T, gelb 3R-T, schwarz C-T (Merkblätter im Anhang dieser Dokumentation).

<sup>123</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 12-14, 25-28, 30-41, 43-44 ; Ureol<sup>®</sup> 5202-1 A/B : ‚Schnellgießharz-Sortiment Ureol<sup>®</sup> 5200 als Abgußmaterial‘ (Merkblätter im Anhang dieser Dokumentation).

<sup>124</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Verlorene Substanz‘, S. 10.

das Konzept von RAMSL aufgegriffen und Ureol® 5202-1 A/B verwendet; ein Produkt, das in seiner Materialdichte der Holzdichte des Buchsbaums nahezu entspricht.<sup>125</sup>

Die Herstellung der zweiteiligen Gussform des S-förmig geschwungenen Armes (Ebene [A] : Arm VIII) erfolgte nach dem selben Prinzip, mit dem Unterschied, dass anstelle eines Kastens aus Holz, einer gefertigt wurde, dessen Boden zwar ebenfalls aus Holz, seine Seiten aber aus Messing bestanden.<sup>126</sup> Durch die Verwendung eines biegsamen Metalls können die Seitenwände des Kastens der Form des S-förmig geschwungenen Armes angepasst werden und dadurch ein höherer Verbrauch an Silikonkautschuk eingespart werden.

### 5.3 Reinigung der Oberfläche am Leuchter aus Buchsbaum



Entfernung von Vaseline.<sup>128</sup>

Die Betrachtung der abgegossenen Laterne und des Armes unter UV-Licht vor der Reinigung ergab, dass Rückstände, von der als Trennmittel verwendeten Vaseline für die in zwei Arbeitsschritten aufgegossenen Silikone, sich auf der Höhe der Trennebene und somit auf dem zweiten Trennmittel (Ebene [A] : Laterne III und Arm VIII), also auf dem zuvor aufgestrichenen Wachs, aufgrund unterschiedlicher Fluoreszenzerscheinungen der Überzüge abzeichneten.<sup>127</sup> Die Betrachtung der Oberflächen unter UV-Licht nach der Reinigung mittels destillierten H<sub>2</sub>O verdeutlichte den Erfolg der



<sup>125</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 12.

<sup>126</sup> Dia 49.

<sup>127</sup> Dia 12, 56 und 71.

<sup>128</sup> Dia 45 und 68.

#### 5.4 Nachbearbeitung der selektierten Gießlinge



Eine größere Anzahl als nötig wurde von Gießlingen aller Formen erstellt,<sup>129</sup> um durch eine möglichst große Auswahl, die besten für eine optische Komplettierung des Leuchters aus Buchsbaum verwenden zu können. Dennoch wiesen selbst die Auserwählten auf ihren Oberflächen zusätzlich noch andere Unebenheiten in Form kleiner Luftblasen auf.<sup>130</sup> Diese entstanden zum einen dadurch,



das, während des Proportionierens des Silikons in vorgefertigte Holzkästen zur Herstellung von Gussformen, sich die in diesem befindlichen Luftblasen zu den Oberflächen der Vorlagen aufstiegen und dort an den Grenzflächen ansammeln konnten. Eine weitere Ursache war, dass während der Vulkanisation des mit Mikropigmenten<sup>131</sup> präparierten Polyurethans (Ureol® 5202-1 A/B)<sup>132</sup> eingerührte Luftblasen nicht vollständig aus den Luftkanälen und den Eingusslöchern der Silikonformen entweichen konnten. Alle sich auf den Oberflächen selektierter Gießlinge befindlichen Ungenauigkeiten mussten partiell nachgegossen oder nachbearbeitet werden, um möglichst den Formen der Vorbilder zu entsprechen. Für eine erhöhte Abbildungsgenauigkeit der Gießlinge<sup>133</sup> wurden diese mit kleinen rotierenden Fräsern und Bohrern, Schnitzeisen und Schleifpapier nachbearbeitet,<sup>134</sup> in den Tiefen allerdings, größtenteils auf rotierende Werkzeuge verzichtet, da diese das Ausarbeiten von Ecken und Kanten nicht ermöglichten. Vor allem die in den Tiefen der Gießlinge entstandenen Oberflächenvergrößerungen<sup>135</sup> wurden durch die Verwendung unterschiedlicher Fasen von Schnitzeisen entfernt.



<sup>129</sup> Dia 23.

<sup>130</sup> Dia 8, 47, 58, 90 und 91.

<sup>131</sup> Mikropigmente: Firma Ciba Spezialitätenchemie : Mikrolith®: braun 5R-T, gelb 3R-T, schwarz C-T (Merkblätter im Anhang dieser Dokumentation).

<sup>132</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 12-14, 25-41.

<sup>133</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Verwendete Trennmittel auf der Zierlaterne aus Elfenbein zur Herstellung von Gussformen aus Silikonkautschuk‘, S. 33.

<sup>134</sup> Zur Ansicht siehe Dia 8, 18, 29, 30, 38, 47, 58 und 91.

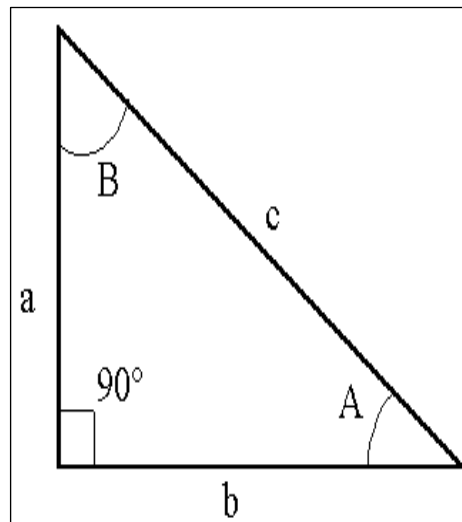
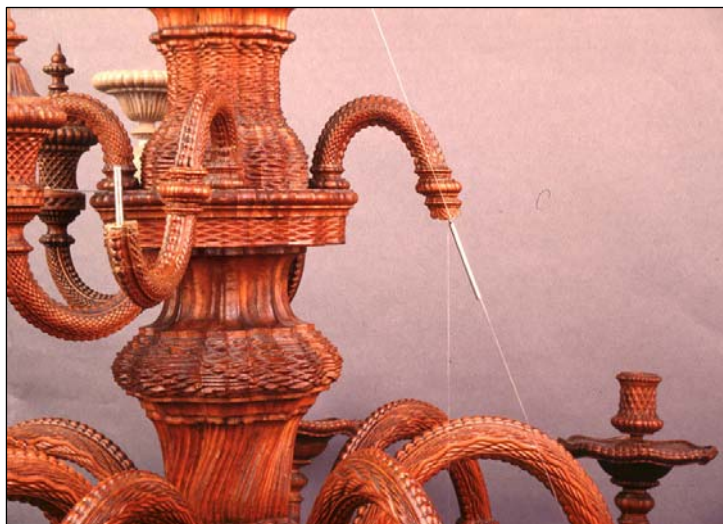
<sup>135</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Das Abgießen der Vorlagen direkt am Leuchter aus Buchsbaum zur Herstellung der Gussformen aus Silikonkautschuk‘, S. 35; ‚Verwendete Trennmittel auf der Zierlaterne aus Elfenbein zur Herstellung von Gussformen aus Silikonkautschuk‘, S. 33.

## 5.5 Die Ausbohrungen der einzelnen Gießlinge für eine spätere Gewichtsreduzierung der tragenden Arme

Aufgrund der Tatsache, daß alle vier Zierlaternen der (Ebene [A]) des Leuchters aus Buchsbaum verloren gegangen sind, kann nicht mit Sicherheit zu geklärt werden, ob diese hohlgedreht waren oder nicht. Im Sinne einer Gewichtsreduzierung des Leuchters wurden bei den einzelnen rekonstruierten Laternenteilen Ausbohrungen durchgeführt,<sup>136</sup> um die tragenden Leuchterarme soweit wie möglich, von Masse (kg) zu entlasten. Dazu mußten die Rekonstruktionen sorgfältig in einen extra dafür hergestellten Holzkörper eingespannt werden, damit sie nicht durch die Unwucht des Bohrers mitgerissen und zerbrechen. Es wurden verschiedene Größen von Schälbohrern verwendet.

## 5.6 Berechnung der Bohrwinkel und Bohrlochtiefe am Leuchter

Zur Herstellung von stabilsten und idealen Verbindungen zwischen den Bruchstellen der geschwungenen (Arme I, II, IV, VI, VIII : Ebene [A])<sup>137</sup> des Leuchters aus Buchsbaum und für seine optische Komplettierung hergestellten Rekonstruktionen aus Ureol<sup>®</sup> 5202-1 A/B, wurde zuvor der Satz des<sup>138</sup> 'PYTHAGORAS' und einige Winkelfunktionen<sup>139</sup> angewandt, um entsprechende Bohrwinkel - für eine spätere passgenaue Verschraubung der unterschiedlichen Materialien und letztendlich die senkrechte Ausrichtung der zu ergänzenden Laternen zu gewährleisten<sup>140</sup> - exakt berechnen zu



können.

**Frage:** Wie groß muß jeweils der [Winkel  $\beta$ ] im [Punkt B] sein?

**gegeben ist:** Die Summe der Innenwinkel eines Dreiecks betragen  $180^\circ$ :  $[\alpha + \beta + [\gamma (90^\circ)] = 180^\circ]$ :

**Winkelfunktionen:**

Sinus:	$\sin \alpha$	=	$\frac{a}{c}$	=	Gegenkatheter : Hypotenuse
Kosinus:	$\cos \beta$	=	$\frac{b}{c}$	=	Ankathete : Hypotenuse
Tangens:	$\tan \gamma$	=	$\frac{a}{b}$	=	Gegenkatheter : Ankathete

[Punkt B]: → anzusetzende Bohrlöcher in Bruchstellen der geschwungenen Arme: [Punkt B] jeweils unterschiedlich an jeder Bruchstelle: [Punkt B] ist abhängig vom jeweiligen

<sup>136</sup> Dia 76.

<sup>137</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Verlorene Substanz‘, S. 10.

<sup>138</sup> „Der Lehrsatz des PYTHAGORAS“ zählt zum ältesten geometrischen Wissen der Menschheit, davon zeugen babylonische Keilschrifttafeln um ca. 1800 vor unserer Zeitrechnung. Was PYTHAGORAS damit zu tun hat, ist nicht genau geklärt, aber heutzutage bezeichnen wir den folgenden Lehrsatz eben als „Satz des PYTHAGORAS“. (Quelle: <http://uni-schule.san-ev.de/space/Bayreuth/1024/lehrsatz2.html>).

<sup>139</sup> Quellen: (<http://www.glue-it.com/model-engineering/general-information/glossary/p/pythagoras.html>) ; (<http://home.t-online.de/home/martin.bradtke/mateil3.htm#Rechtwinkliges%20Dreieck>) ; (<http://www.mathe-abi.de/Hilfen/Dreieck/dreieck.html>) ; (<http://www.mathe-formeln.de/formel-winkel.htm>).

<sup>140</sup> Dia 15, 18, 21, 22, 24, 25, 27, 29, 30, 31, 38, 55, 78, 80, 92, 94 und 96.

- Krümmungsradius, bzw. der individuellen Länge eines geschwungenen Armes und der dazu entsprechenden Bohrlochtiefe.<sup>141</sup>
- [Winkel  $\beta$ ]: → Winkelgröße, bzw. Neigungswinkel zwischen [Strecke a] und [Strecke c] : Bohrwinkel.<sup>142</sup>
- [Strecke c]: → Bohrrichtungen in Bruchstellen der geschwungenen Arme : [Strecke c] jeweils unterschiedlich je [Punkt B] und [Winkel  $\beta$ ].<sup>143</sup>
- [Punkt A]: → ein Punkt am Boden und Anfang der [Strecke c] : [Punkt A] ist abhängig von der Länge der [Strecke c], bzw. [Punkt B] und [Winkel  $\beta$ ].
- [Strecke a]: → Strecke zwischen [Punkt B] und [Punkt C] : [Strecke a] ist jeweils unterschiedlich je [Punkt B].<sup>144</sup>
- [Punkt C]: → ein Punkt am Boden und Anfang der [Strecke a] : [Punkt C] ist abhängig von der Länge der [Strecke a], bzw. [Punkt B].
- [Strecke b]: → Strecke zwischen [Punkt C] und [Punkt A] : [Strecke b] ist jeweils unterschiedlich je [Punkt B].
- [Punkt Y]: → Befestigungspunkt der Nylonschnur an der Mittelachse des Leuchters oberhalb der (Ebene [A]).<sup>145</sup>
- [Strecke X]: → Strecke von [Punkt Y] bis [Punkt A].
- [Strecke d]: → Strecke des anzufertigenden Vorschubapparates : Länge (m) je nach [Winkel  $\beta$ ] unterschiedlich.<sup>146</sup>
- [ $d/2$ ]: → Betrag des Radius der Bohrmaschine : Abstand zwischen [Strecke c] und [Strecke d].<sup>147</sup>
- [Winkel  $\delta$ ]: → Winkelgröße, bzw. Bohrwinkel in Abhängigkeit von [Winkel  $\beta$ ]:  $180^\circ - [\text{Winkel } \beta] = [\text{Winkel } \delta]$ .<sup>148</sup>
- [Punkt D]: → anzusetzende Bohrlöcher in rekonstruierte Arme : (siehe [Punkt B]).<sup>149</sup>

Für die Berechnung eines Bohrwinkels [Winkel  $\beta$ ] wurde zunächst eine Nylonschnur oberhalb der (Ebene [A]) an die senkrechte Mittelachse des Leuchters an einem [Punkt Y] befestigt, so dass sie, in einer Geraden verlaufend, seitlich einen geschwungenen Arm im [Punkt B] schneidet und linear in der Funktion – der einer Hypotenuse entsprechend – weiter zu Boden gezogen und dort befestigt wird, so dass diese [Strecke X] die der Richtung des späteren Bohrlochs entspricht. Weiter wurde vom [Punkt B] zusätzlich ein Lot bis zum Boden, also bis [Punkt C] gefällt; die [Strecke a] steht daher im  $90^\circ$  Winkel zum Boden, also zur [Strecke b].

Daraus folgt, dass mittels des rechtwinkligen Dreiecks, durch den Satz des PHYTAGORAS' ( $c^2 = a^2 + b^2$ ) die Längen (m) der [Strecken a, b, c] und mittels der Winkelfunktionen seine drei Winkel berechnet werden können, diese aber aufgrund der Abhängigkeit von [Punkt Y], dem individuellen Krümmungsradius des idealisierten



Bogenmaßes eines Armes mit seinem

<sup>141</sup> Dia 33, 39, 42, 72 und 99.

<sup>142</sup> Dia 39.

<sup>143</sup> Dia 32 und 102.

<sup>144</sup> Dia 39.

<sup>145</sup> Dia 39.

<sup>146</sup> Dia 32 und 102.

<sup>147</sup> Dia 32.

<sup>148</sup> Dia 104.

<sup>149</sup> Dia 104.

entsprechenden [Punkt B], unterschiedlich lang und groß sind, da sich die Bruchstelle oberhalb oder unterhalb des Wendepunktes befinden. Die [Winkel  $\beta$ ], die sich auch aus den jeweiligen Steigungsmaßen<sup>150</sup> linearer Funktionen ( $f: x \rightarrow y = m * x + t$ ) berechnen lassen, sind von den verschiedenen Krümmungsradien der unterschiedlich langen Arme abhängig und durch das Verhältnis ([Winkel  $\beta$ ] : Krümmungsradius) die Tiefe des zu fertigen Bohrlochs in seiner Länge (m) definiert. Der je nach [Winkel  $\beta$ ] anzufertigende Vorschubapparat des Bohrers mit Seitenanschlag, auf dem dieser gegen einen [Punkt B] geführt werden soll, verläuft parallel unterhalb zur jeweiligen [Strecke c], wobei der Abstand zwischen [Strecke c] und [Strecke d] ein konstanter Betrag ist, der dem Radius der Bohrmaschine [ $d/2$ ] entspricht. Daraus lassen sich die unterschiedlichen Längen (m) der [Strecken d] ebenfalls über Winkelfunktionen, in Abhängigkeit zum entsprechenden [Winkel  $\beta$ ], berechnen.



Die [Punkte B] der Bruchstellen, können auf die entsprechenden passgenau rekonstruierten anderen Hälften der ursprünglich S-förmig geschwungenen Arme übertragen werden, mit dem Ziel, Bohrungen in die Gegenstücke zu fertigen, die den [Winkeln  $\beta$ ] entsprechen ( $180^\circ - [\text{Winkel } \beta] = [\text{Winkel } \delta]$ ). Um in einen rekonstruierten Arm [Punkt B] im entsprechenden [Winkel  $\delta$ ] zu bohren, mussten zuerst die erstellten Gießlinge (Teil 1, 2, 3) zusammengeklebt,<sup>151</sup> auf sein Ende aufgeschraubt<sup>152</sup> und so in die Hobelbank eingespannt werden, dass sich der [Punkt B] auf Höhe der Arbeitsfläche und die Mittelachse der bloß bis zum Teil fertig gestellten Laterne sich gleichzeitig in der Senkrechten befindet.<sup>153</sup> Die Bohrlochtiefen sind in ihrer Länge (m) von den unterschiedlich langen Armen, bzw. von den verschiedenen Krümmungsradien abhängig.

<sup>150</sup> KEIL; KRATZ; MÜLLER; WÖRLE: *Die Infinitesimalrechnung*. München 1988, S. 14-16.

<sup>151</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation im ‚Glossar‘ unter UHu®, S. 57.

<sup>152</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Die Bohrungen in die [Punkte B] der Bruchstellen und Rekonstruktionen‘, S. 41.

<sup>153</sup> Dia 104.

## 5.7 Die Bohrungen in die [Punkte B] der Bruchstellen und Rekonstruktionen

Um bei den Bohrungen in die [Punkte B] der Bruchstellen der (Arme I, II, IV, VI, VIII : Ebene [A])<sup>154</sup> und in die hergestellten Rekonstruktionen optimale Ergebnisse zu erzielen, mußten während der Durchführung einige Punkte beachtet werden.

Zu Beginn der Bohrungen wurde mit einer geringen Vorschubgeschwindigkeit<sup>155</sup> gearbeitet, diese schließlich langsam erhöht und am Ende des Vorgangs wieder verlangsamt. Für saubere und präzise Bohrlöcher musste die Vorschubgeschwindigkeit ( $\frac{m}{min}$ ) und <sup>156</sup>Schnittgeschwindigkeit ( $\frac{m}{s}$ ) des Bohrers aufeinander abgestimmt werden (Drehzahl<sup>157</sup>), um darauf zu achten, daß durch eine mögliche zu hohe Rotation und Umwucht der Bohrers keine zu hohe Hitzeentwicklung stattfindet, die sich nachteilig auf Holzstruktur, Oberflächenüberzug oder Verleimungen alter Bruchstellen der Arme auswirken könnte. Bei den manuellen und variierenden Bearbeitungsvorgängen wurden Bohrer aus Hartmetall und Gewindeschneider aus HSS verwendet, entsprechend der jeweiligen Durchmesser.



Um stabile Verbindungen zwischen den Rekonstruktionen und den hölzernen (Armen I, II, IV, VI, VIII : Ebene [A])<sup>158</sup> zu erzielen, müssen die aus Polyurethan gefertigten Ergänzungen mit der Originalsubstanz der Bruchstellen verdübelt werden.

- 1) Durchmesser des Bohrloches
- 2) Durchmesser des Gewindes
- 3) Gewindebohrer

Dafür wird in den jeweiligen [Punkt B] einer Bruchstelle eines hölzernen Arms ein Bohrloch (Größe: M 2,5) vorgebohrt und anschließend in die Innenflächen mit Hilfe eines Gewindebohrers ein Gewinde (Größe: M 3) eingeschnitten, um anschließend eine Edelstahlstange mit Gewinde derselben Größe in dieses einzuschrauben.<sup>159</sup> Bei den reproduzierten Armen wurde in anderer Weise vorgegangen und gleich in jedem [Punkt D] ein Bohrloch der (Größe: M 3) gebohrt, so dass die Arme, mit den zum Teil fertig gestellten und festgeschraubten Laternen<sup>160</sup> auf ihren Enden, immer wieder



auf die Edelstahlstange aufstecken zu können, um die Ergänzungen nach und nach an die Originalsubstanz der Bruchstellen anzupassen. Anschließend wurde am seitlichen Anfang eines jeden reproduzierten Armes eine kleine Mutterschraube bis auf die Tiefe des sich im inneren befindlichen Bohrlochumfangs in die Substanz eingebastelt und die beiden unterschiedlichen Materialien, zusätzlich dadurch miteinander verzahnt, indem, vor der materialgerechten Verklebung mittels Ureol<sup>®</sup> 5202-1 A/B, die sechs Kanten der Muttern tangential angesägt wurden.

<sup>154</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Verlorene Substanz‘, S. 10

<sup>155</sup> Vorschubgeschwindigkeit: ‚Geschwindigkeit, mit der der Bohrer über die Führungsschiene gegen das Holz geschoben wird. Die Vorschubgeschwindigkeit wird in Meter pro Minute ( $\frac{m}{min}$ ) gemessen. Für eine saubere, glatte Oberfläche darf der Vorschub nicht zu groß und nicht zu klein sein.‘ (Quelle: <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/TLex/Lemmata/L7/L729.htm>).

<sup>156</sup> Auch Umfangsgeschwindigkeit genannt: ‚Geschwindigkeit, mit der die Werkzeugschneide ins Holz eindringt. Sie wird bei Holzbearbeitungsmaschinen Metern pro Sekunde ( $\frac{m}{s}$ ) gemessen und wird durch die Drehzahl und den Werkzeugdurchmesser bestimmt. Sie ist wichtig für einen sauberen Schnitt.‘ Definition : Schnittgeschwindigkeit [ $v$ : in Meter pro Sekunde ( $\frac{m}{s}$ )] ist gleich Durchmesser [ $d$ : in Meter (m)] mal  $p$  mal Drehzahl (n) geteilt durch 60 ; Formel:  $v = d * p * n / 60$ . (Quelle: <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/TLex/Lemmata/L7/L729.htm>).

<sup>157</sup> Drehzahl, auch Drehfrequenz: ‚Größe, die angibt, wie oft sich der Bohrer in einer Minute dreht. Die Drehzahl benötigt man zur Errechnung der Umfangsgeschwindigkeit (Schnittgeschwindigkeit) der Werkzeugschneide.‘ Definition : Umfangsgeschwindigkeit [ $v$ : in Meter pro Sekunde ( $\frac{m}{s}$ )] ist gleich Durchmesser [ $d$ : in Meter (m)] mal  $p$  mal Drehzahl (n) geteilt durch 60 ; Formel:  $v = d * p * n / 60$ . (Quelle: <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/TLex/Lemmata/L7/L729.htm>).

<sup>158</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Verlorene Substanz‘, S. 10.

<sup>159</sup> Dia 33 und 39.

<sup>160</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Berechnung der Bohrwinkel und Bohrlochtiefe am Leuchter‘, S. 38.

metrische Normalgewinde ISO 262 (DIN 13)		
Größe M	Steigung mm	Bohrloch Ø in Millimeter (mm)
2,5	0,5	2
3	0,5	2,5

Nach dessen Erhärtung und nach der für eine plastische Komplettierung der Laternen in einem weiteren Arbeitsdurchgang durchgeführten Verklebungen<sup>161</sup> mittels einen Zwei-Komponentenkleber<sup>162</sup> der jeweils fehlenden Teile 4, 5, 6 mit anschließenden Tönungen<sup>163</sup> und Oberflächenüberzüge, wurden die Rekonstruktionen auf die entsprechenden Edelstahlstangen aufgesteckt und jede Steckverbindung über eine Madenschraube an diese angeschraubt.<sup>164</sup> Es ist zu hoffen, dass die Innenbeschichtung der Muttern der Druckspannung einer Madenschraube auf längere Zeit standhält oder sich die Mutterschraube nicht aus der Verzahnung löst. Die als Steckverbindungen angeschraubten Rekonstruktionen sollten alle fünf Jahre von einem Restaurator auf ihre Festigkeit überprüft werden.



<sup>161</sup> Dia 104.

<sup>162</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation unter ‚Glossar‘.

<sup>163</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Die farblichen Tönungen der Rekonstruktionen und ihre Oberflächenüberzüge‘, S. 43.

<sup>164</sup> Dia 15, 21, 22, 24, 25, 78 und 80.





## 5.8 Die farblichen Tönungen der Rekonstruktionen und ihre Oberflächenüberzüge

Mit dem Ziel die aus Polyurethan (Ureol<sup>®</sup> 5202-1 A/B) gefertigten rekonstruierten Laternen (Ebene [A]) farblich an das mit Schellack überzogene Buchsbaumholz des Leuchters zu tönen, wurden kleinste mineralische Pigmente, so genannte Mikropigmente (<sup>165</sup>Mikrolith<sup>®</sup>: braun 5R-T, gelb 3R-T, schwarz C-T) der Firma Ciba Spezialitätenchemie<sup>166</sup> verwendet. Diese weisen gegenüber den Makropigmenten u. a. eine höhere spezifische Oberfläche und eine geringere Dichte auf, haben aber im Bezug auf ihre Kristallstruktur jeweils die gleichen Modifikationen. Für eine bessere Dispergierbarkeit der Mikropigmente wurden diesen Ethanol beigemischt und in <sup>167</sup>Regalrez<sup>®</sup> 1094 gebunden. Durch die Zugabe von Tinuvin<sup>®</sup> 292, einem wirksamen UV-Stabilisator (Polymeradditive), ist es das Ziel die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Kunststoffs zusätzlich gegen Lichtalterung zu schützen und die Retusche mit Überzug und Glanzgrad zu bewahren. Dieser physikalische UV-Strahlenfilter wurden aufgrund seines Reflexions-, Streu- und Absorptionsmaximums im UV-Bereich als physikalischer Lichtschutzfilter der Kunststoffoberfläche eingesetzt. Das Bindemittel Tinuvin<sup>®</sup> 292 wurde unter anderem auf Basis eines Ein- und Zweikomponent-Polyurethan erstellt und ist daher als UV-Stabilisator von Kunststoffen auf Polyurethan-Basis geeignet.



Für eine farbliche Anpassung der Rekonstruktionen an die Vorlagen müssen die Alterserscheinungen auf der Oberfläche nachempfunden<sup>168</sup> und in die Retusche „eingearbeitet“ werden. Der Farbton soll die Vorlage imitieren und sich möglichst perfekt in das authentische Kunstwerk einpassen.

<sup>165</sup> Weitere Informationen zu Mikrolith<sup>®</sup>: Firma Ciba Spezialitätenchemie: Homepage: <http://www.buntpigmente.de>.

<sup>166</sup> Ciba Spezialitätenchemie Pfersee GmbH: Rehlinger Str. 1 · D-86462 Langweid a. L. · Tel.: + 49 (0)8230 / 41-0 · Fax: + 49 (0)8230 / 41-370 · E-mail: [Angela.Mayer@cibasc.com](mailto:Angela.Mayer@cibasc.com).

<sup>167</sup> Regalrez<sup>®</sup> 1094: Produkt von Kremer-Pigmente: Bestellnummer 67260: Definition: „Regalrez<sup>®</sup> 1094 ist ein vollhydriertes lichtbeständiges, niedermolekulares Kunstharz. Durch Zugabe von 10% Kraton<sup>®</sup> G 1650 (Bestellnummer 68100) und Tinuvin<sup>®</sup> 292 (Bestellnummer 7815-292) wird eine besondere elastische und dauerhafte Firnissschicht erhalten. Regalrez 1094 ist das Standardharz für Firnisse auf Bildern. Die Tg-Temperatur von Regalrez<sup>®</sup> 1094 ist 33° C. Dadurch kann beim Anfassen eine Klebrigkeit entstehen.“ (Quelle: <http://www.kremer-pigmente.de/67260.htm>).

<sup>168</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Oberflächenüberzug des Leuchters nach RAMSL‘, S. 7-8.

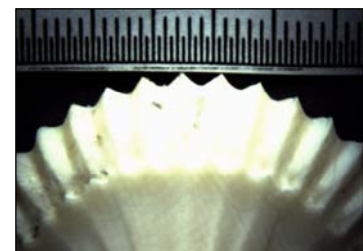
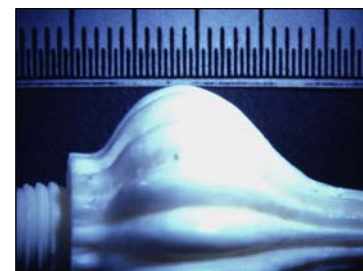
Um den dunkleren Farbton aus den Tiefen des Leuchters aus Buchsbaum zu imitieren, erfolgte der Auftrag pigmentierter Überzüge in mehreren Schichten. Anschließend wurden die Schichten wieder von den Höhen der Rekonstruktionen reduziert. Diese Arbeitsschritte wurden solange wiederholt bis sich der richtige Farbton einstellte. Anschließend wurden die Rekonstruktionen nach ihrer Trocknung an die Bruchstellen<sup>169</sup> des Leuchters aus Buchsbaum geschraubt.



### 5.9 Unterlaufende Fehler am Leuchter aus Buchsbaum und Elfenbein während der Restaurierung und Rekonstruktion

Während der Komplettierung des Leuchters aus Buchsbaum sind einige Fehler und Schäden entstanden, die im folgenden genannt sind:

- Während einer Oberflächenuntersuchung mit einem Stethoskop zerbrach die Verbindung zwischen einem S-förmig geschwungenen Armes und der Mittelachse. Dieser wurde mittels eines Edelstahldübels erneut befestigt.
- Während den Arbeiten am Leuchter löste sich eine alte Bruchstelle, so dass eine kleine Laterne mittels Glutinleim erneut an die Mittelachse angeleimt werden musste.
- Die farblichen Tönungen und die Oberflächenüberzüge der vier Paraboloiden sind deutlich zu dunkel geraten.
- Während den Bohrungen in den [Punkt B] der Bruchstelle des (Armes IV: Ebene [A]) entstand durch eine zu hohe Schnittgeschwindigkeit des Bohrers eine überhöhte Wärmeentwicklung, die zu einer Verbrennung seiner Oberfläche führte.
- Bei den Versuchen Zinnfolie auf die originalen Oberflächen der einzelnen Teile der Zierlaterne aus Elfenbein anzuschließen, konnte diese nicht immer bündig auf die Tiefen der Muster gelegt werden ohne zu reißen. Daher kann mit Sicherheit die Aussage getroffen werden, dass die Methylcellulose,<sup>170</sup> evtl. auch das Cosmoloid® H80 oder gar der Silikonkautschuk die Zinnfolie unterwandern und die Erscheinung der Elfenbeinoberfläche verändern konnte.
- Durch falsche Handhabung ist die Gitterstruktur eines rekonstruierten Paraboloiden stellenweise zerbrochen.
- Zusätzlich tendierten die anschließend mit einem Pinsel aufgestrichene Trennmittel sich in den Tiefen auf der „angeschossenen“ Zinnfolie zu sammeln, was möglichst gleichmäßige Überzüge voraussetzte.
- Auf der Suche nach einem geeigneten Trennmittel für das Abformen der Vorlagen durch Silikonkautschuk, ergibt sich die Frage, ob mit Methylcellulose die richtige Wahl getroffen wurde, da diese erste und somit unterste aufgestrichene Isolierschicht im Gegensatz zu Cosmoloid® H80. Da das verwendete Wachs im Gegensatz zum Oberflächenüberzug des abformenden Originals unpolare Lösungserscheinungen besitzt, kann es im Anschluss wieder abgenommen werden, ohne die Firnisoberfläche zu beeinträchtigen.



<sup>169</sup> Siehe dazu in dieser Dokumentation: ‚Verlorene Substanz‘, S. 10 ; ‚Die Bohrungen in die [Punkte B] der Bruchstellen und Rekonstruktionen‘, S. 41.

<sup>170</sup> Dia 65, 66 und 105.

## 6. TRANSPORT DES LEUCHTERS IN DIE MAGDALENEKLAUSE

Vor der Rückführung des Leuchters in die Magdalenenklausen musste ein Rahmengestell gebaut werden, in das dieser gehängt werden konnte.<sup>171</sup> Auf eine Transportkiste wurde bewusst verzichtet, um die während des Transportes auf den Leuchter einwirkenden Erschütterungen beobachten und gegebenenfalls regulierend eingreifen zu können. Gefährdet waren vor allem die Verbindungspunkte zwischen der Mittelsäule und den Armen, da hier hohe Spannungen entstehen konnten. Um diesen Spannungen entgegenzuwirken, bzw. um sie möglichst zu vermeiden, wurden alle S-förmig geschwungene Arme der Ebene [A] und [B] mit Nylonfäden an der Oberseite des Rahmengestells angebunden. Der Leuchter selbst wurde im Rahmengestell fixiert, indem er oben an dem holzummantelten Eisenring und unten mit vier Schnüren an den Ecken des Rahmengestells festgebunden wurde.



## 7. PRÄSENTATION DES LEUCHTERS IN DER MAGDALENEKLAUSE

Bevor der Leuchter in die Möbelrestaurierungswerkstätte der Residenz München transportiert wurde, hing er an einer ca. 60 cm langen Eisenstange in der Mitte des Speisesaals in einer Höhe von ca. zwei Metern. Diese Stange wurde vor der erneuten Aufhängung entfernt, um der Gefahr neuerlicher Beschädigungen entgegenzuwirken.

Heute befindet sich der Leuchter wieder direkt unter der Decke an dem Ort, wo er vermutlich seit Anbeginn seiner Fertigstellung hing.

Es steht noch zur Diskussion, ob in die Tüllen des Leuchters wieder, wie vor Beginn der Restaurierung, Haushaltskerzen gesteckt werden sollen, um das Erscheinungsbild zu vervollständigen. Die durch das Eigengewicht aufgesteckter Kerzen erhöhte Spannung in jedem Verbindungspunkt zwischen Mittelsäule und den 16 geschwungenen Armen,<sup>172</sup> könnte minimiert werden, indem die Kerzen durch Attrappen aus

Pappmaché ersetzt würden. Eine langzeitige Erhaltung des Leuchters aus Buchsbaum setzt seine dauernde Pflege voraus.

<sup>171</sup> Dia 93.

<sup>172</sup> RAMSL: 2. Teil, S. 54ff..

## 8. VERWENDETE MATERIALIEN

- 2-Komponentenkleber : UHU® plus endfest 300
- Ponal duo® : Firma Henkel
- Glutinleim [Hautleim : Knochenleim (<sup>2</sup>/<sub>1</sub>)] : Firma Kremer Pigmente
- Cosmoloid® H80 (mikrokristallines Wachs), gelöst in Shellsol T im Verhältnis (<sup>15</sup>/<sub>85</sub>)
- Methylcellulose
- Vaseline
- Tinuvin® 292 : Firma Ciba Spezialitätenchemie
- Regalrez® 1094 : Firma Kremer Pigmente
- Polyurethan: <sup>173</sup>Ureol® 5202-1 A/B : Firma Ciba Spezialitätenchemie
- Mikropigmente: <sup>174</sup>Mikrolith® : braun 5R-T, gelb 3R-T, schwarz C-T : Firma Ciba Spezialitätenchemie
- Orasol® braun 2 RL
- Gewindestange aus Edelstahl
- Metallstifte aus Edelstahl (Fahrradspeichen)
- Mutter- und Madenschrauben
- Isopropanol : Firma Kremer Pigmente
- Siedegrenzbenzin 100-140° C : Firma Kremer Pigmente
- Ethanol : Firma Kremer Pigmente
- Papier und Tesafilm

## 9. LITERATUR

- RAMSL, Christine: *Leuchter - Dokumentation der Untersuchung und Konservierung*, Oktober 1999 bis Februar 2000
- RAMSL, Christine: *Ein gedrechselter Holzleuchter aus dem 18. Jahrhundert - Ergänzung fehlender Teile mit modernen, gießbaren Kunststoffen*, Facharbeit zur Diplomprüfung im Fach Restaurierungstechniken und -Verfahren an der Hildesheim/ Holzminde/ Göttingen : Fachbereich Restaurierung, Studienrichtung Holzobjekte mit veredelter Oberfläche, WS 2000/01
- HUBER, Paul: *Herstellung von Abgußformen zur Nachbildung eines fehlenden Armes von einem gedrechselten Leuchter aus der Magdalenenklause/ Schloß Nymphenburg*, Mai 2000
- NICOLAUS, Knut: *Handbuch der Gemälderestaurierung*, Köln 1998
- SCHWARZ, Roswitha; PIENING, Heinrich: *VIS-Spektroskopie zur Farbanalyse - Ein Salontisch mit farbig unterlegten Marketerien*. In : RESTAURO: Zeitschrift für Kunsttechniken, Restaurierung und Museumsfragen, Oktober/ November 2001, Bd. 7, S. 538-541
- FONTAIN, PD Dr. Eric (Hrsg.): *Technische Universität München - Einführung in die Organische Chemie für den Studiengang Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft : ,6.2 Dünnschichtchromatographie', TU München 2000*
- PETZET, Michael: *Charta von Venedig - Internationale Charta über die Konservierung und Restaurierung von Denkmälern und Ensembles (1964)*. In : ICOMOS - Principles of Monument Conservation - Principes de la Conservation des Monuments Historique, Hefte des Deutschen Nationalkomitees XXX, 1999 München
- KEIL, Karl-August; KRATZ, Johannes; MÜLLER, Hans; WÖRLE, Karl: *Die Infinitesimalrechnung*, 1. Auflage, München 1988
- CD Römpp Chemie Lexikon: Version 1.0, Stuttgart/ New York, Georg Thieme Verlag 1995

<sup>173</sup> Technische Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter ,Polyurethan: Ureol® 5202-1 A/B' der Firma Ciba Spezialitätenchemie im Anhang dieser Dokumentation.

<sup>174</sup> Technische Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter ,Mikrolith® braun 5R-T' (exemplarisch für die Pigmentpräparationen Mikrolith® T) im Anhang dieser Dokumentation.

## 10. INTERNETQUELLEN

[http://europa.eu.int/eur-lex/de/lif/dat/1978/de\\_378L0663.html](http://europa.eu.int/eur-lex/de/lif/dat/1978/de_378L0663.html)  
<http://home.t-online.de/home/martin.bradtke/mateil3.htm#Rechtwinkliges%20Dreieck>  
<http://periodensystem.andyhoppe.com/elemente/kupfer.htm>  
<http://periodensystem.andyhoppe.com/elemente/zinn.htm>  
<http://uni-schule.san-ev.de/space/Bayreuth/1024/lehrsat2.html>  
<http://www.agil.ch>  
<http://www.alphaform.de>  
<http://www.art-ray.de>  
<http://www.baumann-modellbau.com>  
[http://www.cirp.de/home\\_d.html](http://www.cirp.de/home_d.html)  
<http://www.formikrosys.de/mstl.html>  
[http://www.forwiss.uni-passau.de/projects/MicroSL/index.php?project\\_id=17](http://www.forwiss.uni-passau.de/projects/MicroSL/index.php?project_id=17)  
[http://www.fzk.de/pmt/fertigungstechnologien/datenblaetter\\_deutsch/rlithographie.htm](http://www.fzk.de/pmt/fertigungstechnologien/datenblaetter_deutsch/rlithographie.htm)  
<http://www.glue-it.com/model-engineering/general-information/glossary/p/pythagoras.html>  
<http://www.google.de/search?q=cache:MqbXUkLMr7sC:www.forelec.ch/fichiers/ShellSolTopkEC20.pdf+Brechungsindex+ShellSol+T&hl=de>  
<http://www.gubesch.de/html/prototypenbau.html>  
<http://www.hoerdler.de/rapid-prototyping/rapid-prototyping.htm>  
[http://www.ikp2.uni-stuttgart.de/RP\\_IKP/SL.html](http://www.ikp2.uni-stuttgart.de/RP_IKP/SL.html)  
<http://www.j-m.de>  
<http://www.kl-technik.com/stereolithographie.html>  
<http://www.kremer-pigmente.de>  
<http://www.lpr.e-technik.tu-muenchen.de/research/rtsg/RAPID/index.html>  
<http://www.mathe-abi.de/Hilfen/Dreieck/dreieck.html>  
<http://www.mathe-formeln.de/formel-winkel.htm>  
<http://www.plex.de/plex/chemie/polysyn/polysy.htm>  
<http://www.plex.de/plex/verarb/proto/proto.htm>  
<http://www.protec-prototyping.de/index.htm>  
<http://www.schmucklexikon.de/sSchmucklexikon.htm>  
<http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/TLex/Lemmata/L7/L729.htm>  
<http://www.steinbichler.de>  
<http://www.stereolithographie.de/stereolithographie-start.htm>  
<http://www.striggow.de>  
<http://www.uhu.de/indexx.html>  
<http://www.voxel.de/stereolithographie.html>  
<http://www.wacker.com>  
<http://www.wsp.fh-mannheim.de/gstlit.html>  
[http://www.itiv.etec.uni-karlsruhe.de/FORSCHUNG/f\\_rpt/top.html](http://www.itiv.etec.uni-karlsruhe.de/FORSCHUNG/f_rpt/top.html)