

tergrund einzufügen. Diese müssen dann noch skaliert und verschoben werden, damit das Koordinatengitter der Fotografien mit dem Gitternetz von Blender übereinstimmt. Daraufhin werden die Positionen der Bilder aufeinander abgestimmt, damit Eckpunkte und Kanten, die von verschiedenen Ansichten zu sehen sind, auch an der gleichen Stelle im dreidimensionalen Raum erscheinen.

Nun fügt man eine Fläche in die Ansicht von oben („*Top*“) ein. Indem man die Eckpunkte dieser Fläche erweitert und auf die Ecken des Objekts legt, erhält man nach und nach das Modell. Jedoch passt man dabei nur die x- und y-Koordinaten der Punkte an; in den Ansichten von vorne („*Front*“) und von den Seiten („*Right*“, „*Left*“) muss man noch die z-Koordinaten einstellen. Das Modell ist jetzt jedoch noch nicht fertig, denn bei diesen Ansichten hat man die Unterseite des Objekts vernachlässigt. Aus diesem Grund muss dieser Vorgang aus der Ansicht von unten („*Bottom*“) wiederholt werden. In Abbildung 3 ist das Modell des Normrings aus verschiedenen Ansichten mit den Fotografien zu sehen.

Blender an sich bietet keine Möglichkeit Volumen zu berechnen, doch glücklicherweise fand sich im Internet eine Erweiterung <sup>[3]</sup>. Dieses erlaubt es das Volumen von geschlossenen Modellen zu errechnen (siehe Abb. 4).

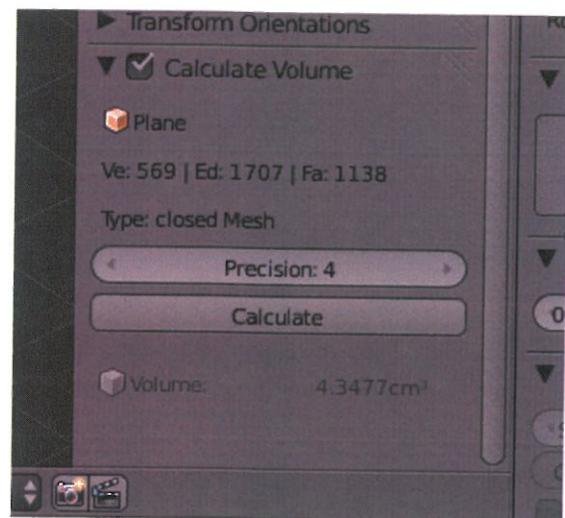


Abbildung 4) Volumenberechnung von 3D-Modellen

### 3.4 Bestimmung von Dichte und Masse

Jetzt wo wir das Volumen des zu bestimmenden Objektes kennen, benötigen wir lediglich dessen Dichte. Wenn man weiß aus welchem Stoff das Objekt besteht, könnte man diese in Tabellen nachschlagen. Aber leider herrscht oft Ungewissheit darüber, aus welchen Stoffen sich ein Objekt zusammensetzt wie beispielsweise bei den Edelsteinen der Ringe, die wir vom Museum bekommen haben.

Um diese Zusammensetzung herauszufinden, entschieden wir uns das Materialanalyseverfahren der Röntgenfluoreszenzspektroskopie anzuwenden. Die Analyse liefert uns die Elemente, aus denen das Objekt besteht. Somit können wir recherchieren, welche Stoffverbindungen in Frage kommen und mithilfe der Fachliteratur ist es dann möglich die Dichte herausfinden.

Wie aber funktioniert die Röntgenfluoreszenzanalyse? Im Prinzip ist es ganz einfach: Das zu untersuchende Objekt wird mit Röntgenstrahlung bestrahlt. Diese schlagen Elektronen aus den inneren Schalen der Atome heraus, wodurch „Lücken“ entstehen. Dieser Zustand ist jedoch instabil. Aus diesem Grund „fallen“ Elektronen aus den äußeren Schalen in diese Lücken. Da die inneren Schalen aber ein geringeres Energieniveau haben als die äußeren, geben sie während dieses Vorgangs Energie in Form von Strahlung ab. Die abgegebene Energiemenge ist für jedes Element unterschiedlich, weshalb man anhand dieser, Elemente eindeutig nachweisen kann.

Sind Volumen und Dichte des Untersuchungsobjekts bestimmt, hat man alles Nötige um die Masse eines Objektes zu errechnen, denn sie ist das Produkt aus dessen Dichte und Volumen:

$$\left| \begin{array}{l} \rho = \frac{m}{V} \\ m = \rho \cdot V \end{array} \right.$$

### 4 Untersuchung der Ringe des Museums

Das Pforzheimer Schmuckmuseum hat uns vier Ringe zur Verfügung gestellt, damit wir die Masse der Edelsteine dieser Schmuckstücke bestimmen. Wir haben sie erst einmal angesehen und in ihnen Nummern von eins bis vier zugeordnet.

Bevor wir uns an die Erstellung von Modellen machten, ließen wir die Ringe per Röntgenfluoreszenzspektroskopie untersuchen. Die Entdeckungen, die wir dabei machten, überraschten uns, denn teilweise wichen die Analyseergebnisse stark von den Angaben des

Karatbestimmung von Edelsteinen – 4 Untersuchung der Ringe des Museums  
Museums ab.

Im Folgenden werden wir unsere vier Ringe der Reihe nach genauer vorstellen.

#### 4.1 Ring 01

Das erste Schmuckstück ist ein silbrig schimmernder Ring mit einem großen, violetten Edelstein und vier kleineren farblosen Steinen im Brillantschliff (siehe Abb. 5).

Die Analyse hat ergeben, dass in der Fassung die Elemente Gold, Kupfer, Nickel und Zink, im violetten Stein Silicium und Chrom und in den farblosen Steinen hauptsächlich Zirkonium enthalten sind.

Das lässt uns darauf schließen, dass die Fassung aus Weißgold, der violette Stein ein Quarz bzw. ein Amethyst und die farblosen Steine Zirkonia

sind. Dies deckt sich auch mit den Vermutungen des Museums, bis auf die Zirkonia, bei denen sie Diamanten annahmen.

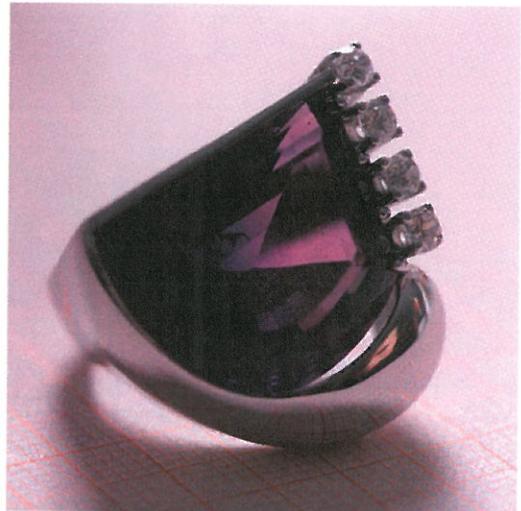


Abbildung 5) Ring 01

#### 4.2 Ring 02

Der zweite Ring ist matt golden, seines Aussehens nach vermutlich sehr alt. In der Mitte befindet sich ein auffälliger grüner Stein, um den acht rotbraune Steine in Form einer Blume angeordnet sind. An den beiden Ringansätzen sind jeweils drei weitere rotbraune Steine angebracht (siehe Abb. 6).

Bei der Spektroskopie fanden wir heraus, dass die Fassung aus den Elementen Gold, Kupfer und Sil-



Abbildung 6) Ring 02

ber besteht, d. h. Aus einer Goldlegierung. Bei den Steinen konnte man die elementare Zusammensetzung nicht bestimmen. Wir vermuten daher, dass die „Steine“ aus einem organischen Material – möglicherweise Harz – hergestellt wurden.

### 4.3 Ring 03

Schmuckstück Nummer drei ist ein Ring mit aufwändig verarbeiteter Fassung, welche mit einem schwachen Goldschimmer glänzt. Ein großer, durchsichtiger Stein mit bläulich-grüner Farbe ziert diesen Ring (siehe Abb. 7).

Das Ergebnis der Analyse legt nahe, dass die Fassung aus Sterlingsilber ist und mit einer dünnen Goldschicht überzogen wurde. Der Stein besteht fast ausschließlich aus Aluminiumoxid, was auf einen Korund schließen lässt und bei dieser Qualität vermutlich synthetisch hergestellt wurde. Dies widerlegt die Annahme des Pforzheimer Schmuckmuseums, es handele sich um einen Turmalin in einer Goldfassung.

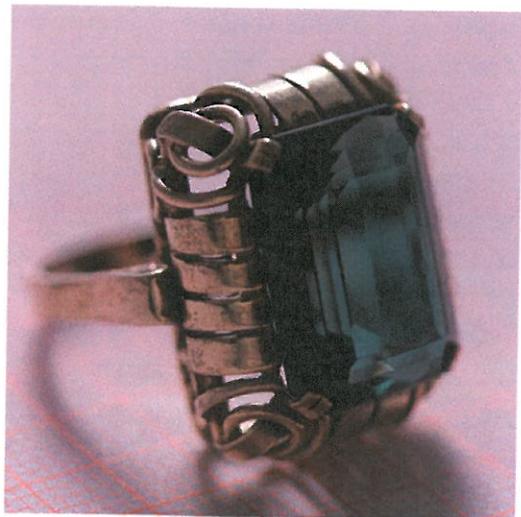


Abbildung 7) Ring 03

### 4.4 Ring 04

Der letzte Ring ist vermutlich der wertvollste von allen, da er wahrscheinlich sehr alt ist. Die goldene Fassung ist seitlich mit einem Lorbeerblattmuster verziert. In einem trichterförmigen Fortsatz ist ein kugelförmiger Edelstein gefasst. Der rotbraune Stein ist ziemlich dunkel und undurchsichtig (siehe Abb. 8).

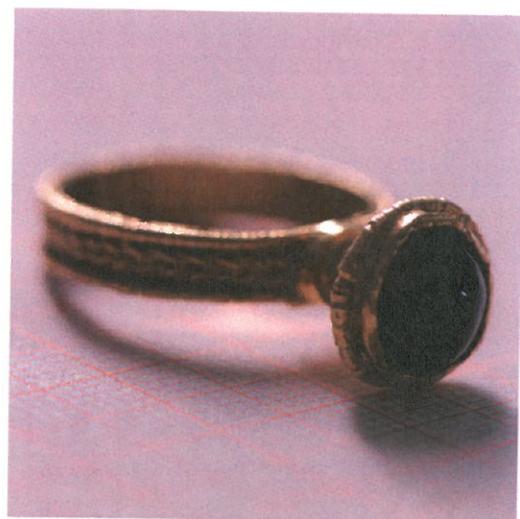


Abbildung 8) Ring 04

## Karatbestimmung von Edelsteinen – 4 Untersuchung der Ringe des Museums

Die Röntgenfluoreszenzspektroskopie hat gezeigt, dass die Fassung die Elemente Gold, Silber und Kupfer enthält. Es handelt sich hierbei um eine hochkarätige Goldlegierung. Der Stein hingegen beinhaltet die Elemente Eisen, Aluminium, Silicium, Magnesium, Calcium und Mangan, was die Vermutung des Museums – er bestehe aus Almandin – bestätigen könnte.

### 4.5 Ergebnisse

Bisher war es uns aus Zeitgründen leider nur möglich einen Ring zu untersuchen, d. h. dessen Edelstein modellieren und die Masse ermitteln. Aus diesem Grund können wir auch nur ein Ergebnis aufführen. Als erstes haben wir den dritten Ring gewählt, da dieser vergleichsweise einfach zu modellieren und dessen untere Seite sichtbar ist. Wie bereits erwähnt ist der Stein höchst-

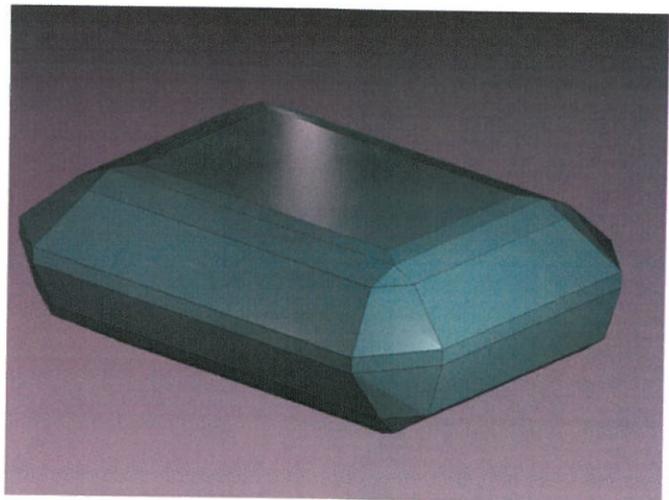


Abbildung 9) Edelstein von Ring 03 (3D-Modell)

wahrscheinlich ein synthetischer Korund, weshalb die Dichte etwa  $4,0 \text{ g/cm}^3$  beträgt <sup>[4]</sup>. Mit Blender erstellten wir ein dreidimensionales Modell des Steins und berechneten das Volumen: es beträgt in etwa  $96,76 \text{ mm}^3$  (siehe Abb. 9). Die Masse des Steins ist daher  $387,1 \text{ mg}$  bzw.  $1,94 \text{ Karat}$ .

## 5 Diskussion

Bei der Bestimmung des Normrings hat sich gezeigt, dass man das Volumen eines Objektes mit unserer Vorgehensweise mit nur einem minimalen Fehler bestimmen kann. Jedoch sind wir mit der Zeit der Schwierigkeiten und Nachteile bewusst geworden, die unsere Methode mit sich bringt.

Der größte Nachteil unseres Verfahrens ist eindeutig der große Zeitaufwand den die Be-

stimmung eines Objektes benötigt. Das liegt hauptsächlich daran, dass man sehr viele Bilder schießen und bearbeiten muss. Zudem sind viele dieser Bilder unscharf oder nur teilweise brauchbar, weshalb es erforderlich ist, neue zu machen und dieser erste Schritt sich in die Länge zieht. Das Modellieren der Objekte beansprucht ebenfalls sehr viel Zeit, und je sauberer man arbeitet, desto länger dauert es. Allein für den ersten Ring haben wir mehrere Wochen mit fast täglicher Arbeit gebraucht.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, brauchbare Fotografien anzufertigen. Ist die zu fotografierende Fläche des Objekts nicht parallel zur Kamera, wird dieses leicht verzerrt abgebildet und das Endergebnis verfälscht.

Außerdem kann das Fotografieren von Edelsteinen in Ringfassungen dadurch erschwert werden, dass Teile des Steins eventuell nicht vollständig sichtbar sind, weil sie durch die Fassung verdeckt werden. Ist der Stein durchsichtig, kann man dieses Problem teilweise umgehen, indem man durch geeigneten Fokus Kanten, die sich in der Fassung befinden, sichtbar macht.

Die Modellation mit Blender bringt relativ genau nachgebildete Modelle der Objekte hervor, wenn man präzise arbeitet und die Fotografien gut sind. Aber hier können uns ebenfalls Fehler unterlaufen, indem wir die Eckpunkte des Modells ein bisschen falsch setzen oder die Bilder der verschiedenen Ansichten nicht ganz aufeinander passen. Auch ist uns beim Normring aufgefallen, dass bei Objekten mit Rundungen durch die Annäherung mit einem eckigen Modell ein größerer Fehler entsteht als bei Objekten mit geraden Kanten. Diesen Fehler kann man durch eine feinere Einteilung – d. h. durch mehr Eckpunkte – minimieren.

Eine weitere Fehlerquelle ist die Dichte. Denn bei der Stoffanalyse ist es möglich, die Ergebnisse fehlzuinterpretieren, dadurch ein falsches Mineral zu vermuten und mit einer falschen Dichte die Masse zu berechnen. Vielleicht weicht auch die Dichte des Objektes von der Literaturdichte ab.

Wir haben vor, die nächsten Wochen noch die restlichen drei Ringe zu modellieren, da wir bis jetzt nur den dritten Ring untersucht haben. Unser Ziel ist es diese Ergebnisse beim Wettbewerb zu Präsentieren.

Wenn das Pforzheimer Schmuckmuseum mit unseren Ergebnissen zufrieden ist, könnten wir eventuell weitere Aufträge zur Massenbestimmung von Edelsteinen bekommen und unsere Zusammenarbeit auf diesem Gebiet fortführen.

Da der Relative Fehler ziemlich gering ist – man kann mit einer Abweichung von bis zu fünf Prozent rechnen – ist unser Verfahren eine gute Variante das Volumen einer Komponente eines Objekts mit mehreren untrennbaren Komponenten zu bestimmen. Weiß man aber, dass das Objekt nur aus zwei Komponenten besteht, ist es zu empfehlen, das Volumen über die Gewichtskraft und den Auftrieb zu ermitteln, da dies weniger Zeit benötigt und vielleicht genauer ist.

## 6 Quellen- & Literaturverzeichnis

- [1] Helmut Sieber und Leopold Huber: Mathematische Formelsammlung für Gymnasien. Ernst Klett Schulbuchverlag GmbH, Stuttgart 1992; 14. ISBN 3-12-718010-1
- [2] Horst Kuchling: Taschenbuch der Physik. 19. Auflage. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München 2007; 614f. ISBN 978-3-446-41028-2
- [3] <http://hiower.orgfree.com/quantitiesbill.py> (29.10.2010)
- [4] Walter Schumann: BLV Bestimmungsbuch Schmucksteine und Edelsteine. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München 1986; 82-89.

## 7 Verwendete Software

- [A] The GIMP 2.6 (<http://www.gimp.org/>)
- [B] Blender 2.55 Beta (<http://www.blender.org/>)
- [C] GeoGebra (<http://www.geogebra.org/cms/>)
- [D] XnView (<http://www.xnview.com/>)