

**Karatbestimmung von Edelsteinen in antiken
Schmuckstücken**

von Luca Zipfel & Jan Kreimeyer

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung.....	1
2	Einleitung und Problemstellung.....	2
3	Methode.....	3
3.1	Grundidee.....	3
3.2	Normring.....	3
3.3	Modellation im dreidimensionalen Raum.....	5
3.4	Bestimmung von Dichte und Masse.....	8
4	Untersuchung der Ringe des Museums.....	9
4.1	Ring 01.....	10
4.2	Ring 02.....	10
4.3	Ring 03.....	11
4.4	Ring 04.....	11
4.5	Ergebnisse.....	12
5	Diskussion.....	12
6	Quellen- & Literaturverzeichnis.....	14
7	Verwendete Software.....	14

1 Kurzfassung

Bei antiken Schmuckstücken ist es nicht möglich, die genaue Masse der Edelsteine – gemessen in Karat – zu bestimmen, da die Steine nicht aus der Fassung genommen werden dürfen. Deshalb hat das Pforzheimer Schmuckmuseum durch die Zusammenarbeit mit dem Jugendforschungszentrum Nordschwarzwald-Schönbuch uns mit der Lösung dieses Problems beauftragt.

Hat man ein Schmuckstück, das nur aus zwei Komponenten besteht (Fassung und Stein), kann man die Masse berechnen. Doch die meisten Schmuckstücke bestehen aus mehreren Komponenten.

Unsere Idee ist folgende: Mithilfe von hochauflösenden Fotografien, erstellen wir mit dem Computer dreidimensionale Modelle der Schmuckstücke, um deren Volumen zu berechnen.

Karatbestimmung von Edelsteinen – 1 Kurzfassung

Kennen wir die Dichte der Edelsteine, können wir daraus die Masse berechnen. Um die Dichte der Steine zu bestimmen, ermitteln wir die genaue Zusammensetzung mit einer Röntgenfluoreszenzanalyse.

Zunächst wollen wir dieses Verfahren an einem "Normring" durchführen, bei dem Masse und Volumen der einzelnen Komponenten genau bekannt sind, um herauszufinden, ob diese Methode geeignet ist. Deckt sich das Ergebnis mit den bekannten Werten, kann dieses Verfahren an den antiken Probestücken des Museums angewendet werden.

2 Einleitung und Problemstellung

Je älter ein Schmuckstück wird, desto mehr nimmt es an Wert zu. Zudem hat alter Schmuck eine historische Bedeutung. Daher muss man mit beispielsweise alten Ringen sehr vorsichtig umgehen und darf diese auf keinen Fall in irgend einer Weise beschädigen.

Will man den Wert eines Schmuckstücks mit einem Edelstein einschätzen, muss man die Masse des letzteren kennen. Das Problem dabei ist jedoch, dass der Stein nicht aus der Fassung genommen werden darf.

Wir wurden auf dieses Problem aufmerksam, als das Pforzheimer Schmuckmuseum das Jugendforschungszentrum auf der Suche nach einer Lösung darauf ansprach. Da dieses Thema unser Interesse weckte, nahmen wir uns dieses Projektes an.

Zunächst mussten wir ein Verfahren entwickeln, um die Masse von Edelsteinen zu bestimmen, ohne die Schmuckstücke zu beschädigen, denn bisher existiert kein allgemeines Verfahren, welches von Museen angewendet wird. Die Wertschätzungen von Museen sind häufig nur Spekulationen und daher relativ ungenau.

Hat man ein Schmuckstück, das nur aus zwei Komponenten besteht (Fassung und Stein), kann man die Masse mithilfe der Gewichtskraft und des Auftriebes berechnen. Doch haben leider viele Schmuckstücke wie Ringe oft verschiedene Edelsteine oder dessen Steine wur-

den mit Klebstoffen an der Fassung befestigt und bestehen folglich aus mehreren Komponenten. Aus diesem Grund braucht man bei solchen Fällen eine andere Vorgehensweise.

3 Methode

3.1 Grundidee

Unsere Idee für die Bestimmung der Masse des Edelsteines eines Schmuckstücks ist folgende: wenn man das Volumen und die Dichte des Steines ermittelt, kann man damit dessen Masse errechnen.

Jetzt bleibt nur noch die Frage, wie wir das Volumen und die Dichte bestimmen sollen. Doch auch dafür haben wir einen Einfall. Mithilfe von hochauflösenden Fotografien wollen wir dreidimensionale Modelle der Steine erstellen, der Computer berechnet dann das Volumen.

Wenn wir wissen, aus welchen Bestandteilen die Steine bestehen, können wir deren Dichte in der Fachliteratur nachschlagen. Die Zusammensetzung kann man durch Röntgenfluoreszenzspektroskopie analysieren.

3.2 Normring

Um zu untersuchen, wie zuverlässig diese Vorgehensweise zur Massenbestimmung der Steine ist, haben wir einen Normring anfertigen lassen, dessen Volumen und Masse wir ziemlich genau bestimmen können. Dieser Normring setzt sich aus zwei Teilen zusammen: die Fassung – ein Aluminiumwürfel, bei welchem eine Kuhle für den Stein und ein Zylinder für den Finger heraus gefräst wurden (siehe Abb. 1) – und der Stein, eine kugelförmige Glasmurmelt.

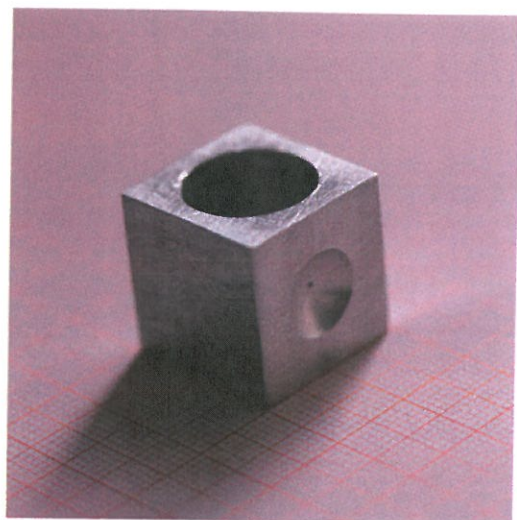


Abbildung 1) Fassung des Normrings

Zunächst bestimmten wir das Volumen der Fassung.

Das Objekt setzt sich aus drei geometrischen Grundkörpern zusammen: ein Würfel, ein heraus gefräster Zylinder und ein heraus gefräster Kugelabschnitt. Das Volumen der wird errechnet, indem man die Volumina der heraus gefrästen Teile vom Volumen des Grundwürfels abzieht.

Bei den Längenmessungen erkannten wir sofort, dass der Würfel in Wirklichkeit ein Quader ist. Aus diesem Grund mussten wir Breite, Höhe und Tiefe des Quaders berechnen. Jedoch hatten selbst diese drei Größen keinen festen Wert, weshalb wir von jeder Seite ein Paar Kantenlängen maßen und die Mittelwerte errechneten.

Dass die Kuhle ein Kugelabschnitt ist, stimmt nur näherungsweise. Doch selbst diese Näherung bereitete uns Schwierigkeiten, denn wir wussten nicht, wie man ihr Volumen bestimmen könnte. Doch dieses Problem war schnell überwunden, da uns eine Formelsammlung Abhilfe schaffen konnte ^[1].

Das Gesamtvolumen der Fassung beträgt 4271,7 mm³ (siehe Formel).

$$\begin{aligned} V_{\text{Fassung}} &= V_{\text{Würfel}} - V_{\text{Zylinder}} - V_{\text{Kugelabschnitt}} \\ V_{\text{Fassung}} &= (a_1 \cdot a_2 \cdot a_3) - (\pi \cdot r_{\text{Zylinder}}^2 \cdot a_1) - \left(\frac{\pi \cdot h}{6} (3r_{\text{Kugelabschnitt}}^2 + h^2_{\text{Kugelabschnitt}}) \right) \\ V_{\text{Fassung}} &= 4271,68 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Die Masse der Fassung kann man durch wiegen sehr genau ermitteln, sie beträgt 10,538 g. Jetzt konnten wir die auch die Dichte des Werkstoffs bestimmen, aus dem der Normring hergestellt ist (Aluminium). Wir errechneten 2,47 g/cm³, jedoch hat Aluminium in der Literatur eine Dichte von etwa 2,70 g/cm³ ^[2]. Ursache für diese Differenz könnte sein, dass uns beim messen der Längen Fehler unterlaufen sind oder dass unsere angenommenen Grundkörper nicht genau auf die tatsächliche Form passen. Außerdem könnte die Dichte unseres Werkstoffs geringer sein als die von reinem Aluminium.

Zum Vergleich rechneten wir noch das Volumen über die Masse des Normrings und der Dichte des Werkstoffs, die wir zuvor mithilfe eines geschlossenen Würfels bestimmt haben, aus. Das auf diese Weise berechnete Volumen beträgt 3969,1 mm³, was einem Fehler von

etwa 7,08 % entspricht.

Für die Glasmurmeln maßten wir den Durchmesser um daraus den Radius für das Volumen zu errechnen, aber auch hier erkannten wir, dass es sich nicht um eine perfekte Kugel handelt. Da die Unterschiede jedoch minimal sind, tun wir, als sei es eine Kugel mit einem gemittelten Radius. Das Volumen dieser angenäherten Kugel beträgt 2185,1 mm³:

$$\left| \begin{array}{l} V_{\text{Murmeln}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \bar{r}^3 \\ V_{\text{Murmeln}} = 2185,12 \text{ mm}^3 \end{array} \right.$$

Wir wogen bei der Murmel eine Masse von 5,337 g. Für die Dichte ergibt sich daraus 2,44 g/cm³. Dieser Wert deckt sich in etwa mit der Literatur ^[2].

Als nächstes testeten wir die Variante zur Volumenbestimmung über ein dreidimensionales Modell. Wir schossen einige hochauflösende Fotografien von dem Normring. Diese bearbeiteten wir und fügten sie in die 3D-Modellationssoftware ein. Anhand dieser Bilder erstellten wir erst den Würfel dann den Zylinder und die Kugel, die wir dann miteinander verbanden. Mit einer Programmiererweiterung errechneten wir ein Volumen von etwa 4280 mm³, was einem Fehler von 0,203 % entspricht.

Das Selbe machten wir auch mit der Murmel, wobei wir ein Volumen von 2143 mm³ erhielten. Der Fehler beträgt hier 1,936 %.

Das Resultat zeigt wie genau diese Methode zur Volumenbestimmung ist. Jedoch ist auch zu erwähnen, dass sich unsere Ergebnisse immer leicht unterscheiden und die hier angegebenen Werte gemittelt sind.

3.3 Modellation im dreidimensionalen Raum

Um das dreidimensionale Modell eines Objektes zu erstellen sind viele Schritte notwendig. Zuerst muss man ein paar Fotos aus verschiedenen Ansichten schießen: von oben, von

Karatbestimmung von Edelsteinen – 3 Methode

vorne, von der Seite und eventuell von unten. Zum Fotografieren benutzen wir eine Spiegelreflexkamera mit einem speziellen Makroobjektiv, das extra für Nahaufnahmen ausgelegt ist. An diese Fotografien werden hohe Anforderungen gestellt, zum Beispiel muss man möglichst orthogonal zur jeweiligen Fläche fotografieren, um eine Verzerrung zu vermeiden, oder es müssen ganz bestimmte Ecken bzw. Kanten fokussiert werden, da mit dem Makroobjektiv nur eine Ebene scharf abgebildet werden kann. Das Objekt liegt dabei auf einem Millimeterpapier anhand dessen Gitter die Größe des Objektes ermittelt wird.

Die Bilder werden dann mit einem professionellen und dennoch kostenlosen Bildbearbeitungsprogramm namens GIMP ^[A] bearbeitet. Zunächst wird ein Bild so zugeschnitten, dass nur das Wichtigste zu sehen ist. Dann dreht man es, sodass bestimmte Kanten des abgebildeten Objekts – an denen man sich später orientiert – parallel zum Rand liegen. Dies ist wichtig, da die Bilder der verschiedenen Ansichten später beim Einfügen in das Modellationsprogramm aufeinander passen müssen. Um eine bessere Orientierung zu gewährleisten legen wir die Bilder noch auf ein Koordinatensystem. Sind die Kanten nicht klar zu erkennen oder nur schwer zu sehen – weil sie beispielsweise zu dunkel sind – können sie noch nachgezeichnet werden.

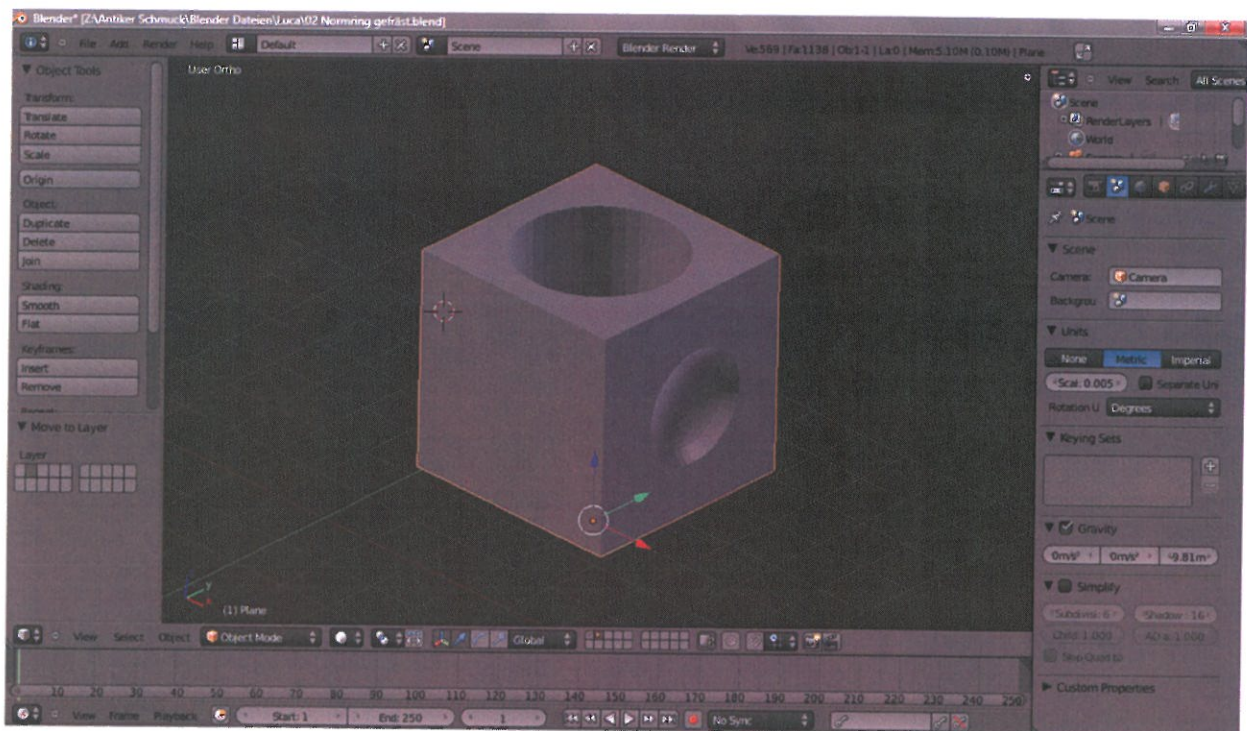


Abbildung 2) Blender bei der Modellation unseres Normrings

Karatbestimmung von Edelsteinen – 3 Methode

Sind die Bilder bearbeitet, kann die Modellation beginnen. Wir entschieden uns dafür das Programm Blender ^[B] zu verwenden (siehe Abb. 2). Blender ist vollkommen kostenlos und ist im Funktionsumfang durchaus mit professioneller Software vergleichbar. Außerdem hat uns unser Betreuer dieses Programm zur Erstellung von 3D-Modellen empfohlen, da er schon lange damit arbeitet.

Jedoch ist der Umgang mit diesem Programm sehr schwierig, weil es sehr komplex ist und wir noch keine Erfahrung auf diesem Gebiet besaßen. Wir haben lange gebraucht bis wir genug Übung hatten, um damit kompliziertere Modelle zu entwerfen und uns im dreidimensionalen Raum zurechtzufinden. Eine weitere Schwierigkeit bestand darin, die zahlreichen Tastenkombinationen und Tricks zur Lösung bestimmter Problemstellungen zu lernen. Zudem ist Blender komplett in Englisch und beinhaltet viele Fachbegriffe, weshalb es auch galt unser Englischvokabular zu erweitern. Mit viel Mühe und Arbeit schafften wir es aber Blender für unsere Modelle zu benutzen.

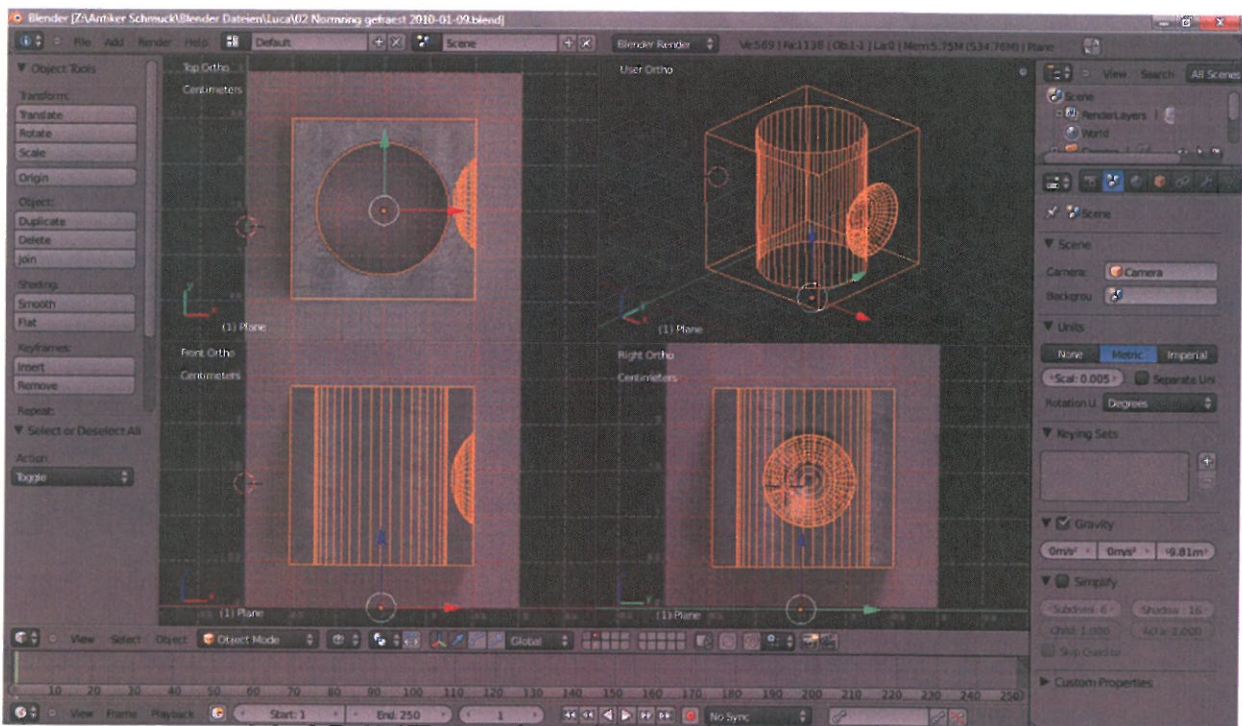


Abbildung 3) Modell des Normrings von oben, von vorne, von rechts und als Schrägbild

Die zuvor bearbeiteten Bilder des zu modellierenden Objekts werden nun in Blender eingefügt. Das Programm bietet die Möglichkeit, Bilder in verschiedenen Ansichten in den Hin-