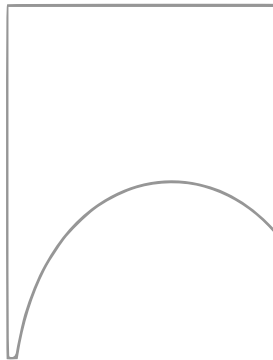




# 3D Printing vom digitalen Entwurf bis zum ausgedruckten Modell

Mag. Cornelia Haslinger (Bsc.)



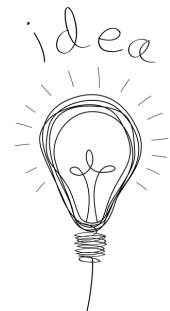
# Was kann 3D-Druck?



Video: Zukunft aus dem Drucker: Wie 3D-Druck unsere Welt verändert

4:39 - 36:42 - 28:58 - 18:22 - 42:47 - 47:14

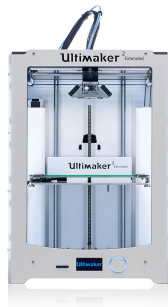
# Von der Skizze übers digitale Modell bis zum ausgedruckten 3D Objekt



Idee eines Modells →



Digitale  
Konstruktion



→  
3D-Druck

## Über mich

- Fachschule für Bildhauerei (2006-2010)
- Aufbaulehrgang Produkt und Systemdesign (2010-2012)
- Bachelorstudium Mathematik (2012-2016)
- Lehramtsstudium Mathematik und Geschichte(2012-2017)  
Diplomarbeitsthema: *Constructive Solid Geometry mit triangulierten Primitiven - Vom digitalen Entwurf bis zum ausgedruckten 3D-Objekt*
- Studienassistentin (2015-2017)
- wissenschaftliche Mitarbeiterin Fachbereich Mathematik
- Lehrerin an der HTL Hallein für die Fächer *Angewandte Mathematik, Medienlabor, Entwurf und Gestaltung, 3D-Druck*

# Übersicht

- 1 vom digitalen Entwurf zum ausgedruckten Objekt
- 2 Digitale Konstruktion mit CSG
- 3 CSG mit triangulierten Primitiven
- 4 3D-Druck in der Schule

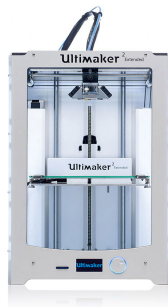
# Von der Skizze übers digitale Modell bis zum ausgedruckten 3D Objekt



Idee eines Modells →



Digitale  
Konstruktion



→ 3D-Druck

Wie kann ich mein Objekt digital konstruieren? Wie wird es dann vom Drucker verarbeitet? Wie funktioniert das Druckverfahren?

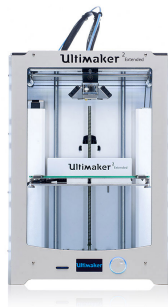
# Von der Skizze übers digitale Modell bis zum ausgedruckten 3D Objekt



Idee eines Modells →



Digitale  
Konstruktion

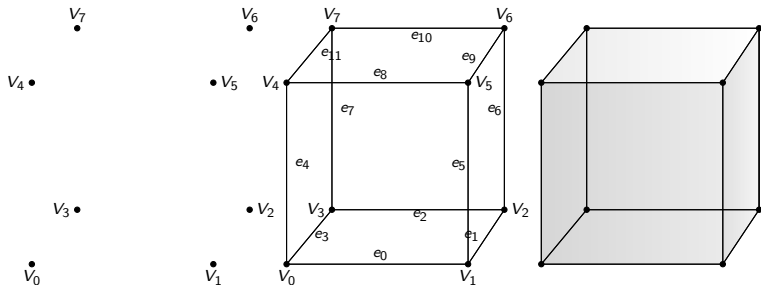


→ 3D-Druck

Wie kann ich mein Objekt digital konstruieren? Wie wird es dann vom Drucker verarbeitet? Wie funktioniert das Druckverfahren?

# Das digitale Modell

*Wie können 3D-Modelle in der „virtuellen Welt“ konstruiert werden?*

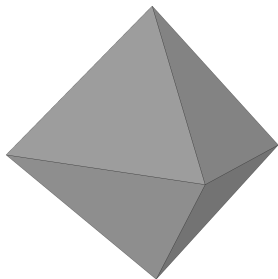


Knotennetz

Kantennetz

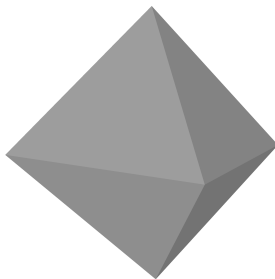
Flächenmodell

# Repräsentation digitaler 3D-Modelle



**Flächenmodell**

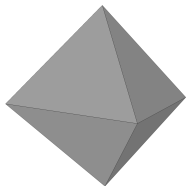
Kanten begrenzen die Flächen



**Volumenmodell**

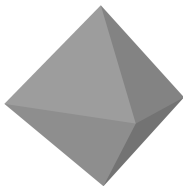
Geschlossenes Flächenmodell mit zusätzlicher Volumensinformation

# Repräsentation digitaler 3D-Modelle - für besonders Interessierte



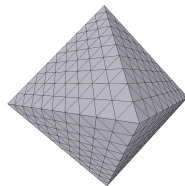
**Flächenmodell**

Kanten begrenzen die Flächen



**Volumenmodell**

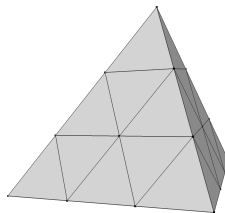
Geschlossenes Flächenmodell mit zusätzlicher Volumensinformation



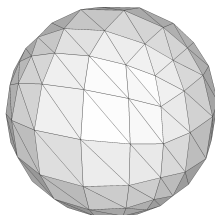
**Trianguliertes Modell**

Begrenzungsflächen bestehen nur aus Dreiecksfacetten

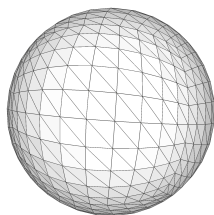
# Triangulierte Modelle - für besonders Interessierte



Verfeinerung = 3



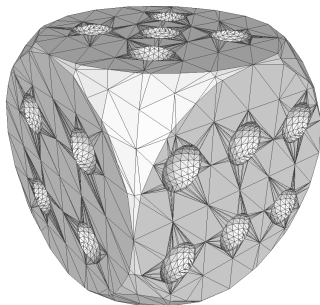
Verfeinerung = 5



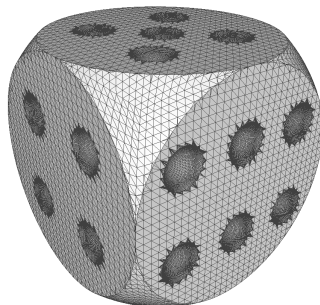
Verfeinerung = 10

Verfeinerung entspricht der Anzahl der vorgenommenen Kanten­teilungen  
(*number of edges per edge*)

# Triangulierte Modelle

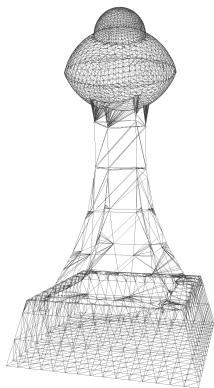


Verfeinerung = 6

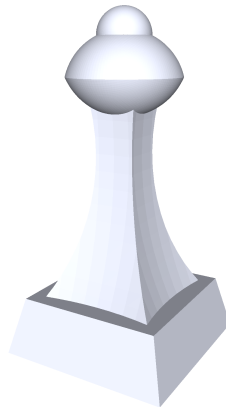


Verfeinerung = 30

# Triangulierte Modelle



Verfeinerung = 15



Verfeinerung = 40

# STL Datei

```
facet normal 7.10644 -4.08685 -5.7268  
outer loop vertex 1.1 1.5 2.0 vertex 1.4  
2.0 1.5 vertex -2.0 -2.0 -2.0 endloop  
endfacet
```

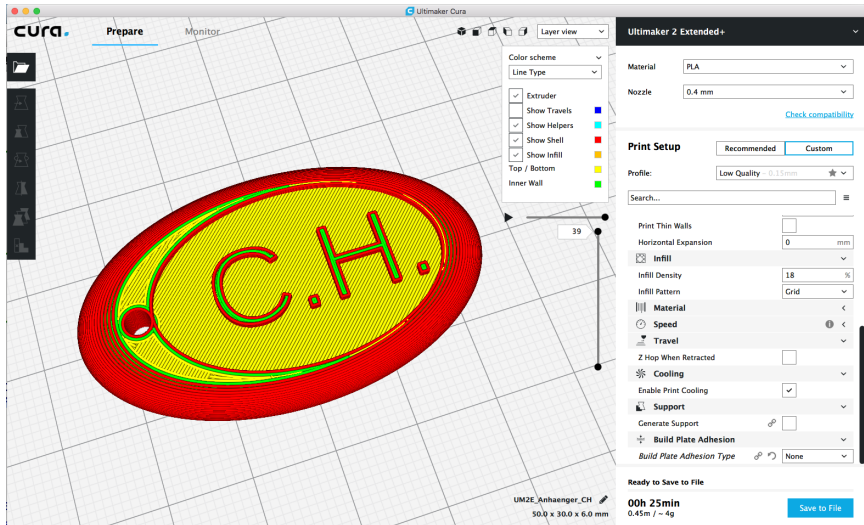
```
facet normal -2.72524 -8.47303 4.55859  
outer loop vertex -2.0 -2.0 -2.0 vertex  
1.4 2.0 1.5 vertex 3.0 5.0 1.4 endloop  
endfacet
```

```
facet normal 1.32972 7.16002 6.85317  
outer loop vertex 1.4 2.0 1.5 vertex 1.1  
1.5 2.0 vertex 3.0 5.0 1.4 endloop  
endfacet
```

```
facet normal -7.91991 6.10222 -1.94752  
outer loop vertex 3.0 5.0 1.4 vertex 1.1  
1.5 2.0 vertex -2.0 -2.0 -2.0 endloop  
endfacet
```

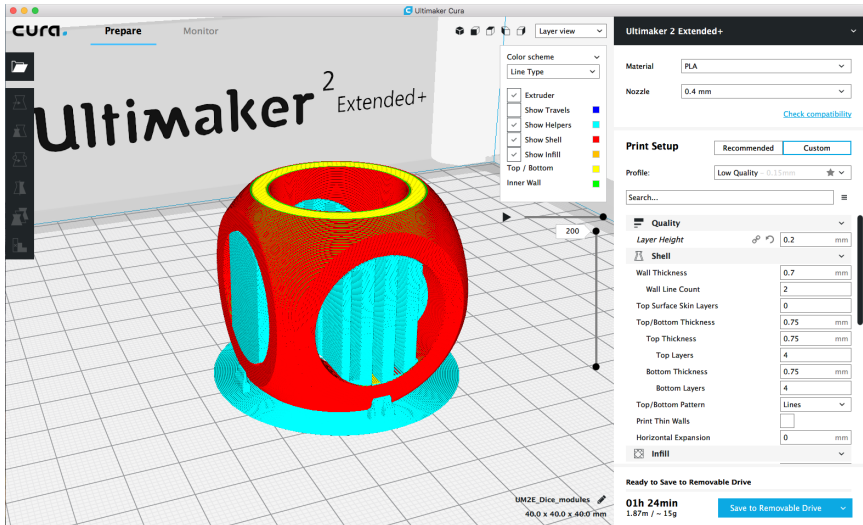
```
endsolid
```

# Export STL to Cura



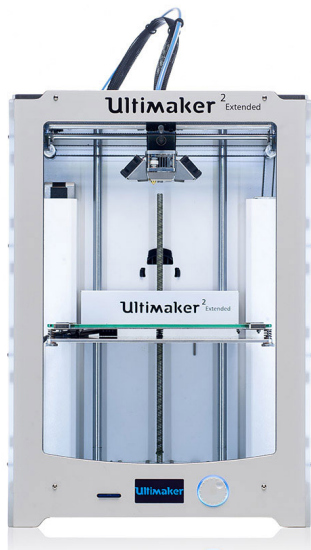
Video: [OpenSCAD\\_export\\_Cura\\_anhaenger](#)

# Export STL to Cura



Video: [OpenSCAD\\_export\\_Cura](#)

# SD → 3DPrint



Video: 3DP

# Übersicht

- 1 vom digitalen Entwurf zum ausgedruckten Objekt
- 2 Digitale Konstruktion mit CSG
  - Primitive
  - Boolesche Operatoren
  - CSG-Baum
  - OpenSCAD
  - Didaktische Aspekte
- 3 CSG mit triangulierten Primitiven
- 4 3D-Druck in der Schule

## Von der Idee zur Skizze

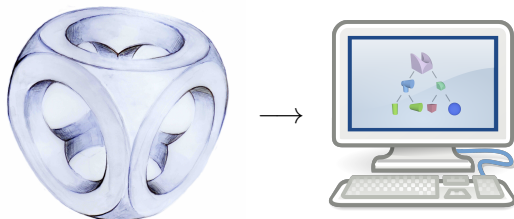


Idee eines Modells



Idee eines Modells:  
Der etwas andere  
Spielwürfel

## Von der Skizze zur digitalen Konstruktion



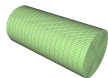
Idee eines Modells →

Digitale  
Repräsentation

*Wie kann ich mein Objekt in Grundkörper zerlegen?  
Welche Operationen benötige ich?*

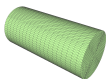
# Der etwas andere Spielwürfel - Konstruktion mit CSG

*Wie kann ich das Objekt in Grundkörper zerlegen?*



Zylinder1

*Welche Operation brauche ich?*



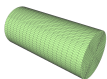
Zylinder1



Zylinder2



*Welche Operation brauche ich?*



Zylinder1

U

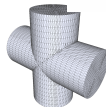
*vereinigt*



Zylinder2

=

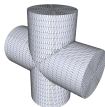
=



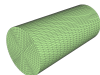
Vereinigung



*Welche Operation brauche ich?*



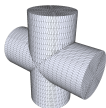
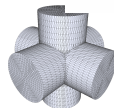
Vereinigung



Zylinder3



*Welche Operationen brauche ich?*

 $\cup$  $=$ 

Vereinigung

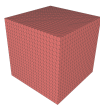
*vereinigt*

Zylinder3

 $=$ 

Vereinigung

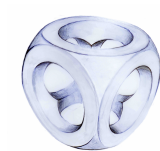
*Welche Operation brauche ich?*



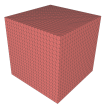
Würfel



Kugel



*Welche Operation brauche ich?*



Würfel

U

*geschnitten*



Kugel

=

=



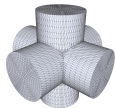
Schnitt



*Welche Operation brauche ich?*



Schnitt



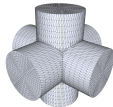
Vereinigung



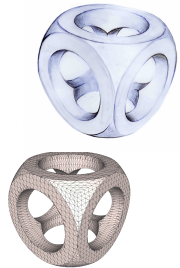
Welche Operation brauche ich?



-



=



Schnitt

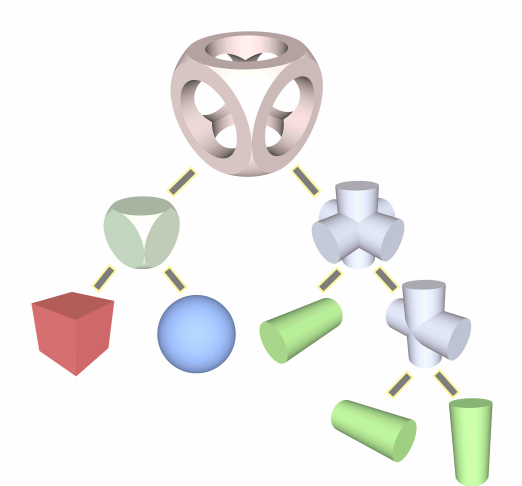
*minus*

Vereinigung

=

CSG-Würfel

# Constructive Solid Geometry

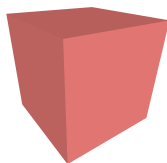


Mit CSG ist man in der Lage komplexe Objekte mit Hilfe von **Booleschen Operatoren** und **einfachen Basiskörpern** zu erzeugen.

# Primitives



Tetraeder  
*tetrahedron*



Hexaeder  
*hexahedron*



Kugel  
*sphere*

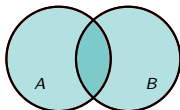


Zylinder  
*cylinder*

# Boolesche Operatoren

## Vereinigung

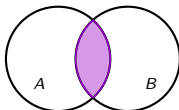
union



$$A \cup B := \\ \{x \in A \text{ or } x \in B\}$$

## Durchschnitt

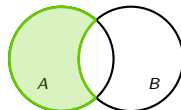
intersection



$$A \cap B := \\ \{x \in A \text{ and } x \in B\}$$

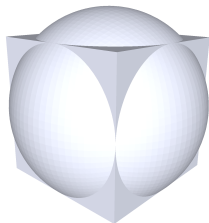
## Differenz

difference

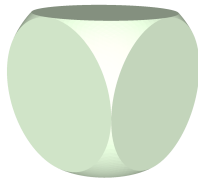


$$A \setminus B := \\ \{x \in A \text{ and } x \notin B\}$$

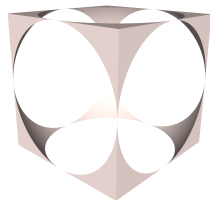
# Boolean Operations on Primitives



Vereinigung  
union

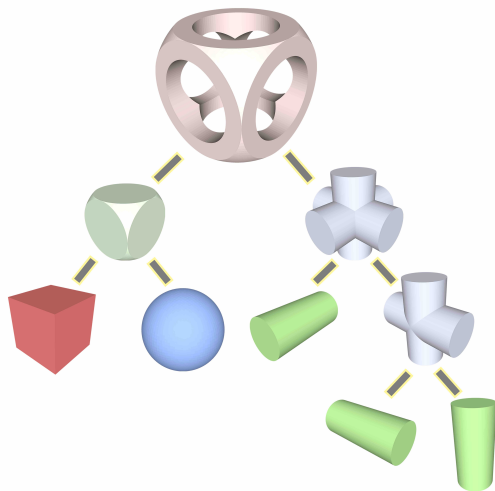


Durchschnitt  
intersection



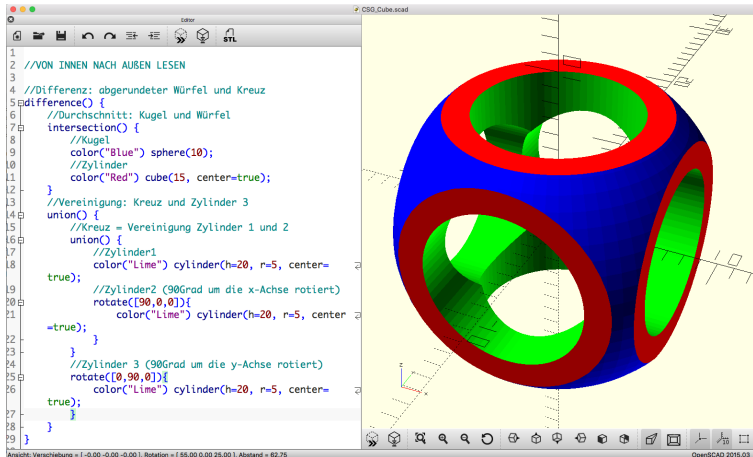
Differenz  
difference

# CSG-Baum



Die **Blätter** repräsentieren Primitive und die **Knoten** Boolesche Operatoren. Die **Wurzel** des Baums ist das CSG-Objekt.

# CSG - Zerlegung in Basiskörper



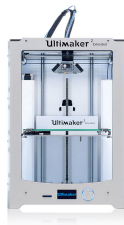
raumgeometrisch → mathematisch → künstlerisch → kreativ

# Didaktische Aspekte - MINT

- M *athematisch*
- I *nformatorisch*
- N *aturwissenschaftlich*
- T *echnisch*

## Didaktische Aspekte

### Prinzip der Operativen Begriffsbildung der Weg von der Idee bis zum Druck



Idee eines Modells

Digitale Konstruktion

3D-Druck

*auf geometrischen Ideen aufgebaute Begriffssysteme strukturieren die räumliche Wirklichkeit und ermöglichen die Nutzung dieser Struktur*

## Didaktische Aspekte

- Geometrische Begriffe werden nicht durch Abstraktion, durch Absehen von gewissen Eigenschaften an realen Gegenständen gebildet, sondern durch Ideation, durch **Hineinsehen** bestimmter Eigenschaften in die Realität
- Über ein Hineinsehen hinaus werden sie aber auch **verwirklicht** (die Idee des Hexaeders als Spielwürfel) und erhalten so eine inhaltliche (operative) Grundlage...
- ... in Gestalt von Normen, die in der Realität durchzusetzen und in Handlungsvorschriften umsetzbar sind (der Weg von der Idee bis zum Druck)

## Didaktische Aspekte

→ deutliche Zunahme des Einsatzes von digitalen Technologien in diversen Unterrichtsgegenständen

*Warum?*

- leistungsfähige digitale Geräte, nutzerfreundliche didaktische und professionelle CAD-Software

*Außerdem...*

- **verpflichtender Einsatz von 3D-Konstruktionsprogrammen** in den Unterrichtsgegenständen Geometrisches Zeichnen und Darstellende Geometrie und Angewandte Geometrie in der Konstruktion (Sek2/HTL) im österreichischen Lehrplan vorgeschrieben!

# Übersicht

- 1 vom digitalen Entwurf zum ausgedruckten Objekt
- 2 Digitale Konstruktion mit CSG
- 3 CSG mit triangulierten Primitiven**
  - Triangulated Primitives
  - Regularization
  - Selection
- 4 3D-Druck in der Schule



# Surface- and Volumemeshing in Constructive Solid Geometry

Mag. Cornelia Haslinger (Bsc.)  
Patrick Bammer (Bsc.)  
Univ.-Prof. Dr. Andreas Schröder

DFG-Projekt: Simulation thermomechanisch bedingter Bauteildeformationen für die NC-Fräsbearbeitung (SPP1480)



Institute of Mathematic, Uni Salzburg

# CSG-Concept Realization

## Goal: **CSG-Representations in the Computer**

How can the Regularization of operations be implemented in the computer?

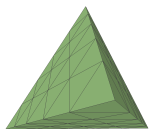
- 1 Surface triangulated Primitives
- 2 Mesh-Regularization
- 3 Selection of facets
  - 1 Disturbed centerpoint
  - 2 Simple Containment Test for open triangulated Primitives

[?] X. Jiang, et.al.; Efficient Boolean Algorithms for triangulated meshes of geometric modeling (2016).

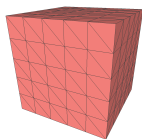
[?] C.J. Ogayar-Anguita, et.al.; Deferred boundary evaluation of complex CSG models (2015).

[?] F.R. Feito, et.al.; Fast and accurate evaluation of regularized Boolean operations on triangulated solids (2012).

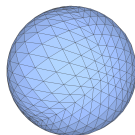
# Surface triangulated Primitives



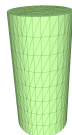
*tetrahedron*



*hexahedron*



*sphere*

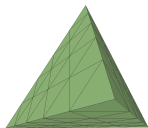


*cylinder*

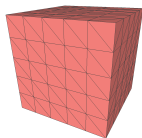
Containment Test for each triangulated Primitive:

- 1 *ray-test* for tetrahedron and hexahedron and arbitrary polyhedrons
- 2 *adapted ray test with projection* for sphere
- 3 *trigonometric calculations* for cylinder

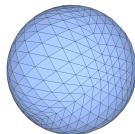
# Surface triangulated Primitives



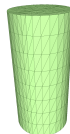
*tetrahedron*



*hexahedron*



*sphere*



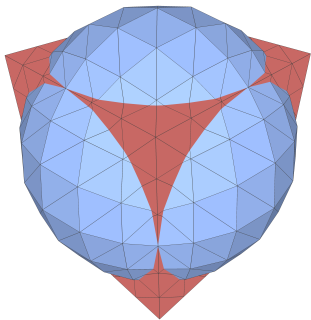
*cylinder*

Containment Test for each triangulated Primitive:

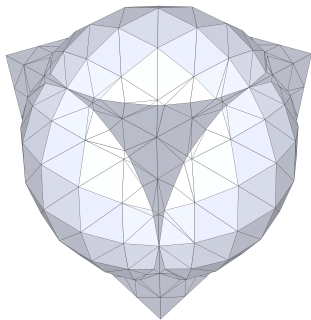
- 1 *ray-test* for tetrahedron and hexahedron and arbitrary polyhedrons
- 2 *adapted ray test with projection* for sphere
- 3 *trigonometric calculations* for cylinder

## Mesh-Regularization

Two meshes are regularized to each other if all the triangle facets of one mesh are completely inside or outside the other mesh.



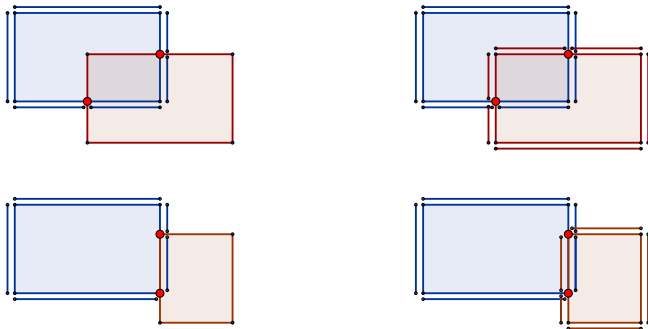
not regularized



regularized

## Mesh-Regularization

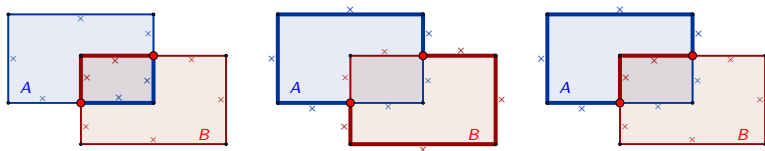
## Visualization in 2D



Remark: Regularization is possible in one step in 2D.

## Selection of facets Visualization in 2D

- 1 Simple Containment Test for open triangulated Primitives
- 2 Disturbed centerpoint ( $cp$ )



Selection of facets that meet the boolean conditions:

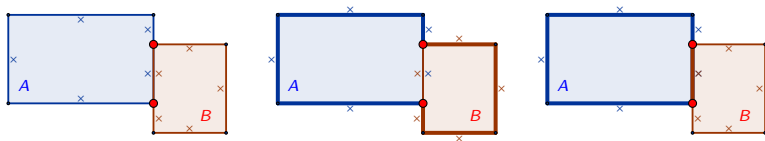
$\cap^*$  := {inwards disturbed  $cp$  of  $A$  is contained in  $B$  and vice versa}

$\cup^*$  := {outwards disturbed  $cp$  of  $A$  is not contained in  $B$  and vice versa}

$\setminus^*$  := {outwards disturbed  $cp$  of  $A$  is not contained in  $B$  and inwards disturbed  $cp$  of  $B$  is contained in  $A$ }

# Selection of facets Visualization in 2D

## Coplanar Cases



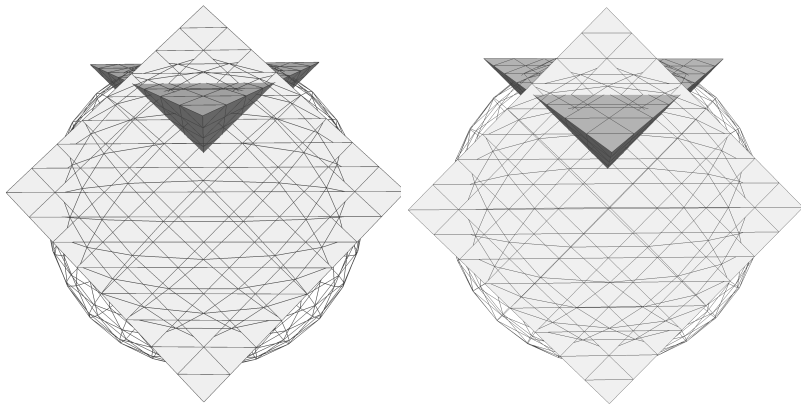
Selection of facets that meet the boolean conditions:

$\cap^* :=$  {inwards disturbed  $cp$  of  $A$  is contained in  $B$  and vice versa}

$\cup^* :=$  {outwards disturbed  $cp$  of  $A$  is not contained in  $B$  and vice versa}

$\setminus^* :=$  {outwards disturbed  $cp$  of  $A$  is not contained in  $B$  and inwards disturbed  $cp$  of  $B$  is contained in  $A$ }

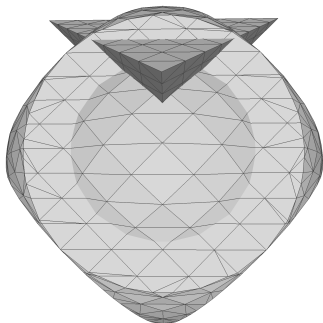
# Regularization selection of facets



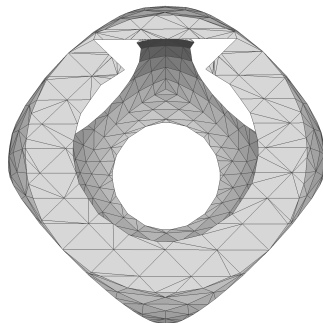
Triangulated Meshes of *sphere*,  
*tetrahedron* and *cube*

*regularized*

## Selection of facets after Regularization

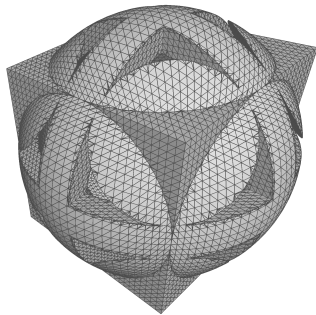
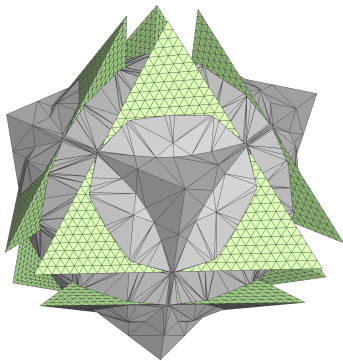


$$(sphere_1 \cap cube) \cup (sphere_2 \cup tetrahedron)$$

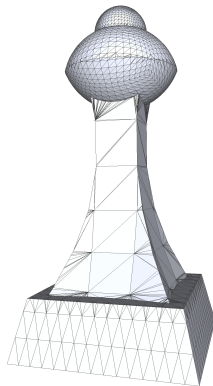
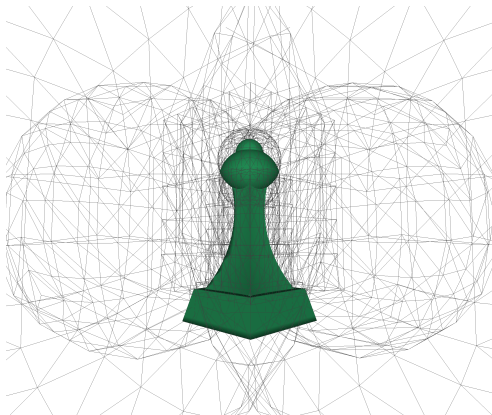


$$(sphere_1 \cap cube) \setminus (sphere_2 \cup tetrahedron)$$

## Selection of facets after Regularization



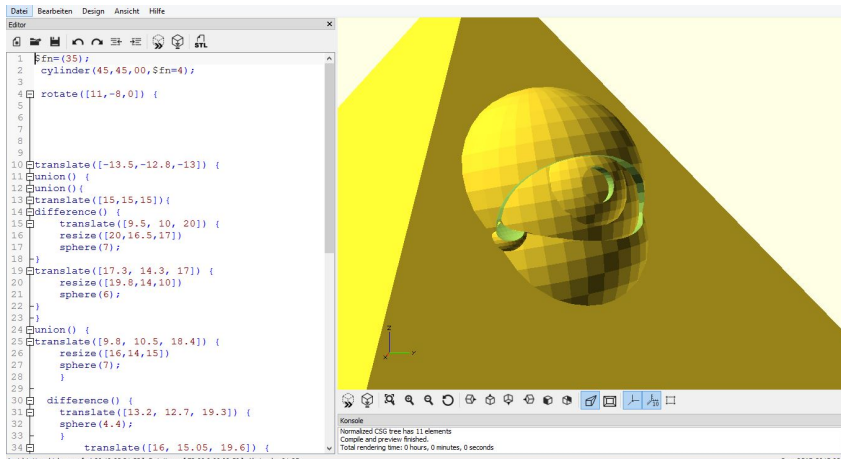
## Selection of facets after Regularization



# Übersicht

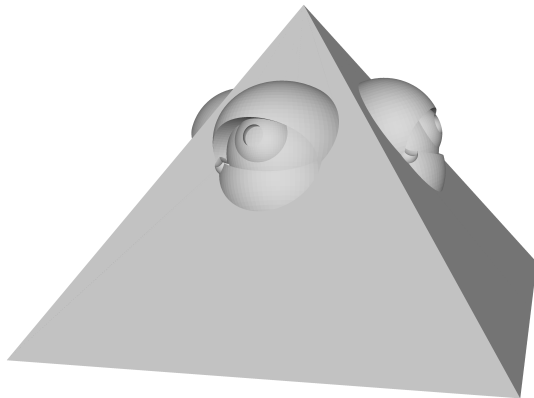
- 1 vom digitalen Entwurf zum ausgedruckten Objekt
- 2 Digitale Konstruktion mit CSG
- 3 CSG mit triangulierten Primitiven
- 4 3D-Druck in der Schule
  - 3D-Druck-Projekt BRG St.Johann
  - 3D-Druck Projekte - HTL Hallein

# Bildhauerprojekte mit OpenSCAD



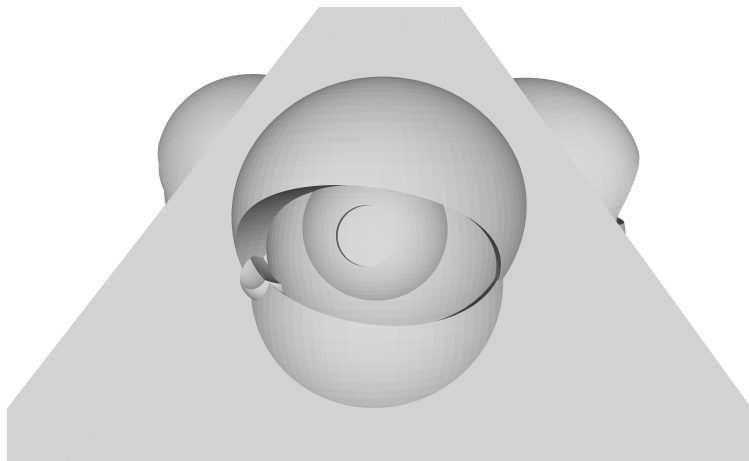
Pyramide von Dominika Nemeth (4YFKUB, 2018)

## Bildhauerprojekte mit OpenSCAD



Pyramide von Dominika Nemeth (4YFKUB, 2018)

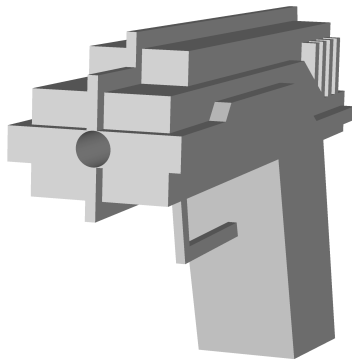
## Bildhauerprojekte mit OpenSCAD



Pyramide von Dominika Nemeth (4YFKUB, 2018)

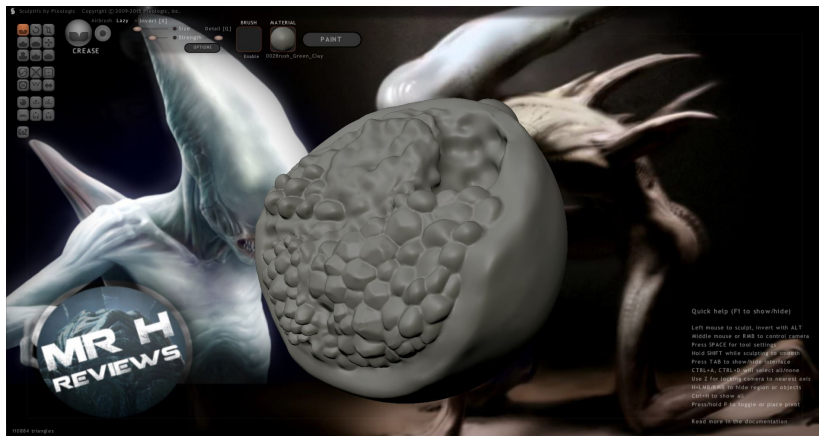


## Bildhauerprojekte mit OpenSCAD



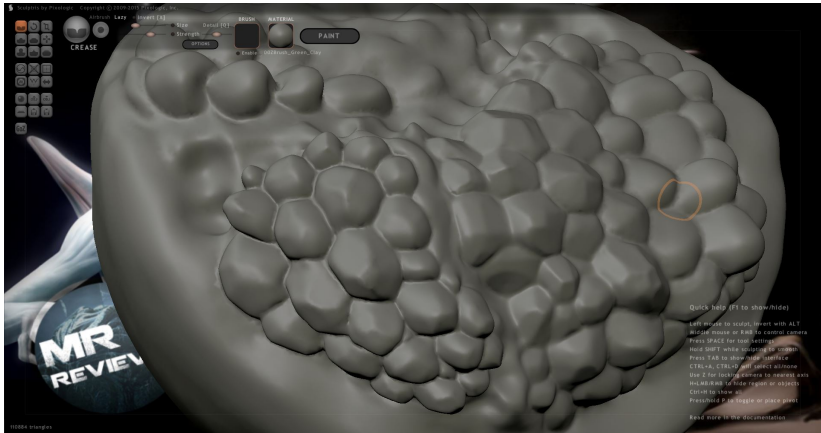
Pistole von Michaela Priewasser (4YFKUB, 2018)

# Digitales Modellieren mit Sculpttris



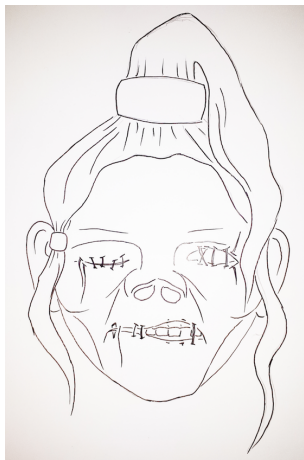
Granatapfel von Leon Hölzl (4YFKUB, 2018)

# Digitales Modellieren mit Sculpttris



Granatapfel von Leon Hölzl (4YFKUB, 2018)

# Digitales Modellieren mit Sculptris

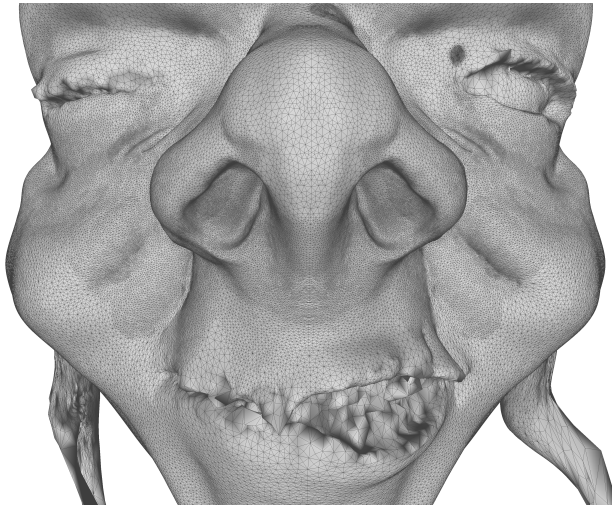


Schrumpfkopf von Severin Kral (4YFKUB, 2018)

# Digitales Modellieren mit Sculptris

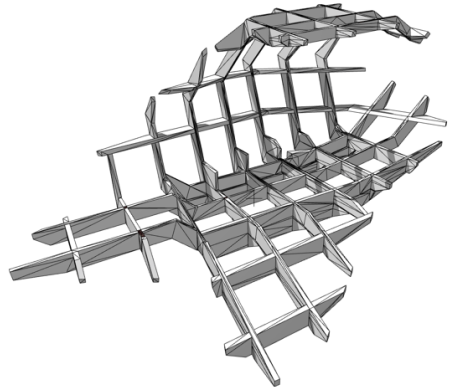
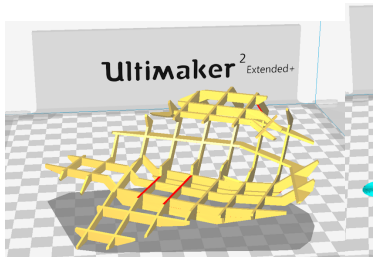


Schrumpfkopf von Severin Kral (4YFKUB, 2018)



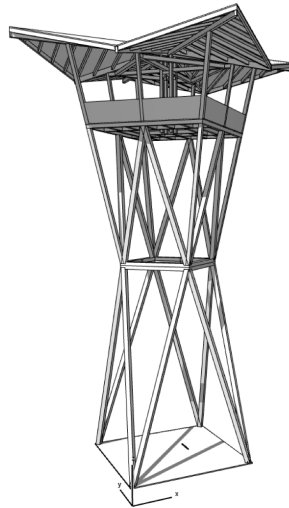
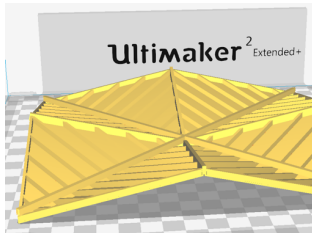
Schrumpfkopf von Severin Kral (4YFKUB, 2018)

# Holzbau - Modellbau



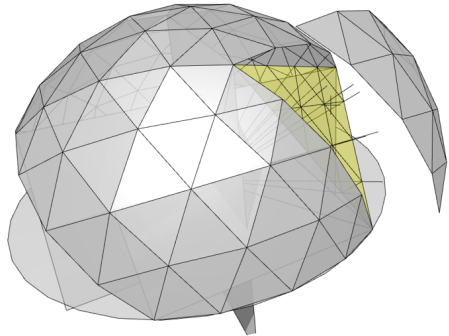
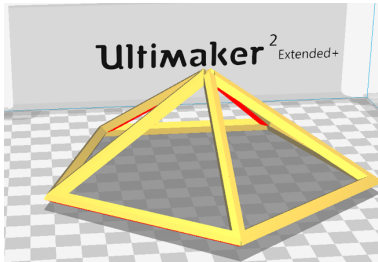
## Konstruktionsmodell - Badeplattform

# Holzbau - Modellbau



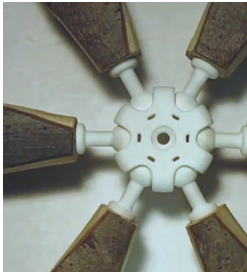
## Konstruktionsmodell - Turm

# Holzbau - Modellbau



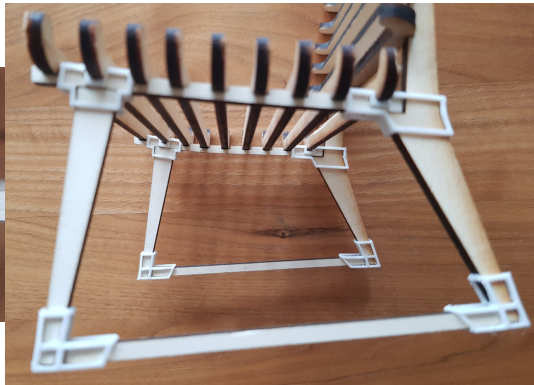
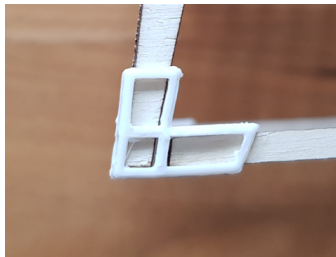
## Konstruktionsmodell - Geodätische Kuppel

# Holzbau - Knotenlösungen



Anwendung im Möbelbau

# Holzbau - Verbinder



Anwendung im Möbelbau

Danke für die Aufmerksamkeit