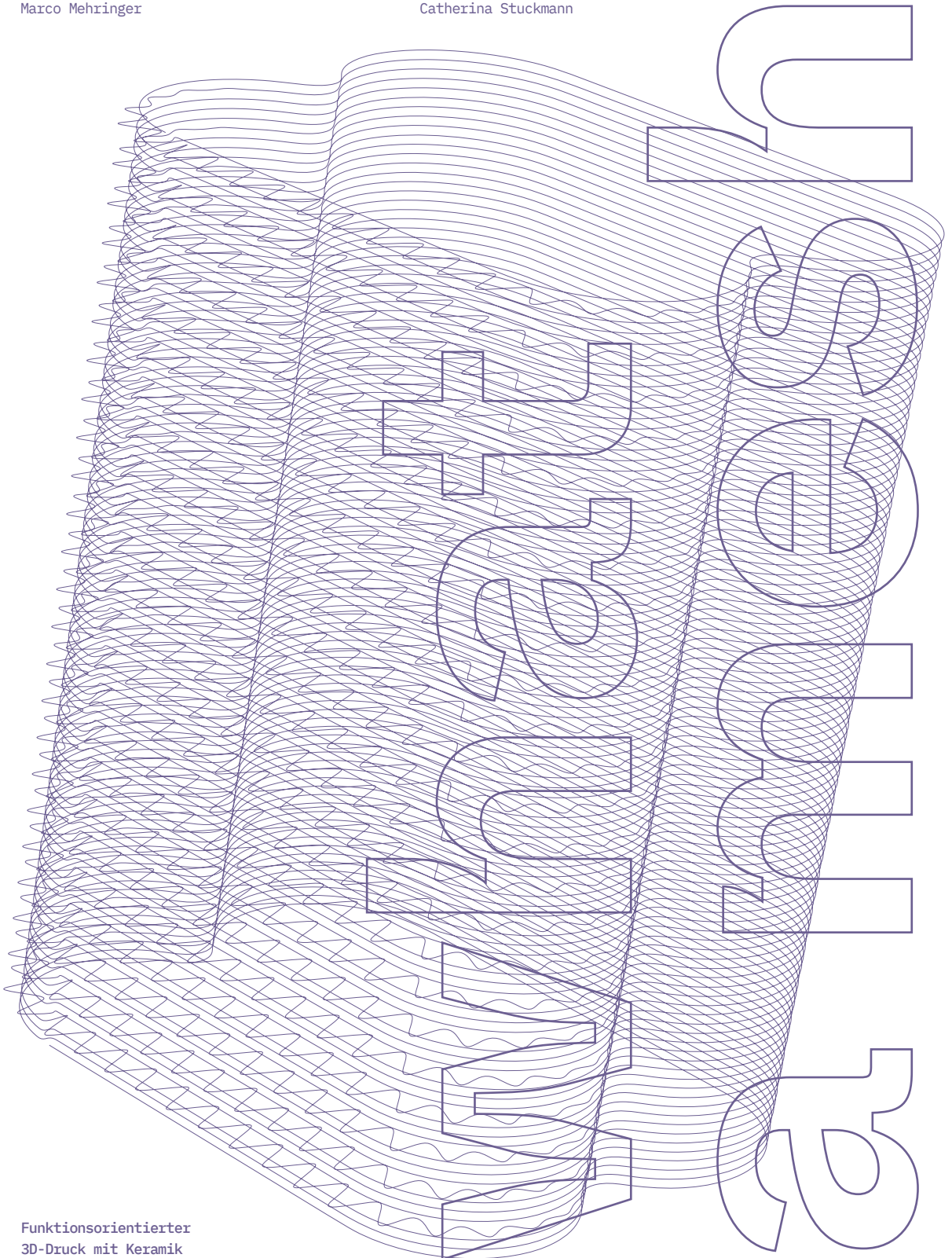


Marco Mehringer

Catherina Stuckmann

Wahrscheinlichkeiten

Funktionsorientierter
3D-Druck mit Keramik



1

01 **Motivation**

2

03 **Input**

3

07 **Material**

Werkstoff Porzellan
Aufbereitung der Masse

4

09 **Technik**

Clay Printer
Grasshopper

5

13 **Entwurf**

Versuche
Anwendung
Mit Händen Reiben
Zurückhalten & Durchlassen

6

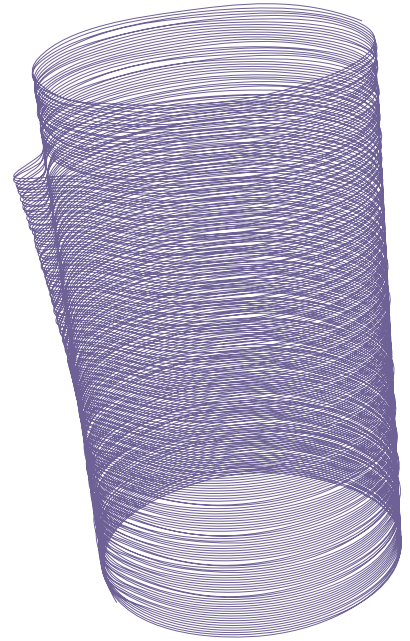
29 **Ausblick**

7

31 **Impressum**

_____ **not our cup of tea**

_____ **what we see**



_____ **what is it good for?**

Motivation

3D-Druck mit keramischen Pasten ist mittlerweile kein seltenes Phänomen mehr und viele der Künstler*innen und Designer*innen, die sich mit diesem additiven Prozess auseinandersetzen, versuchen schnell, sich von den Limitierungen der verschiedenen Slicing-Programme zu befreien. Mithilfe von Grasshopper ist es möglich, nicht nur eine Oberfläche oder einen Körper in eine druckbare Form zu übersetzen, sondern die genauen Maschinenpfade eines 3D-Druckers zu definieren und als GCode von diesem lesbar zu machen. Jede Bewegung und dazugehörige Extrusion ist damit innerhalb des Bauraums möglich – der Drucker kann so nicht nur gleichmäßig gerasterte Schichten aufeinander auftragen, sondern schwankende z-Höhen abfahren, hin- und herspringen, Schichtdicken variieren, etc.

Es sind dadurch also sehr komplexe Muster möglich, die sich spezifisch verschiedenen Nutzungsanforderungen anpassen könnten – trotzdem wird diese Art der Gestaltung hauptsächlich darauf verwendet, verschiedene Patterns auf einfache zylindrische Formen zu bringen. Die entstehenden Produkte sind dabei fast ausschließlich Vasen und Trinkgefäße, die in ihrer Ästhetik und ihrer Form eigenartig und komplex wirken und Betrachter*innen zurecht faszinieren. Ohne diese Objekte abwerten zu wollen stellt sich dennoch die Frage, wieso aus einer so vielseitigen Produktionsmethode eine so geringe Produktvarianz resultiert.

what a mesh beschäftigt sich deshalb mit der Frage: Was passiert, wenn die komplexen Muster ihre dekorative Funktion auf Vasen und Becher aufgeben und neue Nutzungsbereiche aufmachen? Wie können Struktur und Eigenheiten von gedruckter Keramik eine Funktion jenseits einer ästhetischen hervorbringen?

Wir näherten uns über das Generieren von nonplanaren, textil-inspirierten Patterns an diese Frage an und versuchten, die Resultate daraus in eine nutzbare Form zu bringen.



↗ 3D printing ceramics von Olivier Van Herpt

→ "Composizione 40100
#01" (*Mesto con
Elegia*) von Andrea
Salvatori

Der italienische
Künstler stellt
den programmierten
Schichtungsprozess
des 3D-Druckers
in Frage, indem er
händisch keramische
Kugeln während des
Drucks einlegt.



→ *Gladiateur blanc*
n°86 von Silver Sentimenti
Hierbei handelt es
sich um keinen 3D-
Druck, sondern um
die wortwörtliche
Ineinanderpflechtung
von zwei sehr unterschiedlichen
Materialien: Keramik und
Leder.

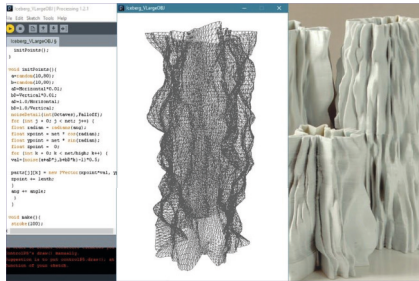


↑ *Ceramic House* von
Studio RAP
Eine Fassade aus
großformatig 3D-ge-
druckten Kacheln
zeigt das Zusammen-
spiel zwischen Robo-
tik, algorithmischer
Gestaltung, klassi-
scher Architektur und
keramischem 3D-Druck.

what we see

→ *Ceramic Ladder* von
Piotr Waśniowski
Mit einem Drucker-
Eigenbau zeigt Piotr
Waśniowski auf, was
alles möglich ist und
sein könnte: Ver-
webungen, extreme
Überhänge, filigrane
Oberflächen, exakte
Geometrien.





← *A Guide to Clay 3D Printing* von Jonathan Keep
Neben Anleitungen zum Bauen eines Delta Druckers findet sich auf der Webseite eine frei verfügbare PDF mit Tipps und Tricks zu Clay Printing.



↑ *Print Clay Humidifier* von Jiaming Liu
Die wasseraufnehmende Charakteristik von unglasiertem Ton und die Möglichkeit kapillare Formen zu drucken macht sich Jiaming Liu im Entwurf seines Luftbefeuchters zunutze.

→ *Brick Clay Carafe & Cups* von Unfold
Aus lokalem (Ziegel-) Ton stellt Studio Unfold 3D-gedruckte Gefäße her, die durch eine beim Druck graduell verändernde Schichthöhe und Extrusion angeschrägte d.h. nonplanare Mündungen erhalten.



← *Solid Vibrations* von Van Broekhoven & Van Herpt
Vibrationen während des Druck können Fehler im Druckbild ergeben. Die nutzt das Duo bewusst aus und lässt Sound interessante Texturen und Effekte auf den Objekten erzeugen.



← *Ceramantics* von Joana Schmitz

Die sich natürlich ergebende raue Oberfläche des 3D-Drucks unterstützt die Extraktion bei der Zitronenpresse. Das in der Form integrierte Sieb, das den Saft durchlaufen lässt, lässt sich nur durch den 3D-Druck erzielen.

↓ *Stützstruktur – Ein Funktionales*

Ornament von Valena Ammon

Stützstrukturen im 3D-Druck werden entweder entfernt oder im Inneren eines Modells versteckt. Im Falle von Keramik ist das nicht ohne weiteres möglich. In dieser Arbeit werden durch nach außen gekehrte Stützstrukturen "undruckbare" Formen druckbar und verleihen der Form eine ganz eigene Objektästhetik.





↑ N+1 von Babette Wiezorek

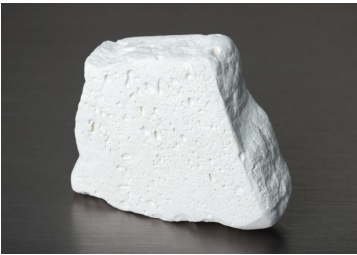
Die Serie N+1 erkundet, wie vielschichtig ein parametrisch-generativer Ansatz der digitalen Formerzeugung sein kann. In einem Vortrag berichtet die Gestalterin außerdem von einem glücklichen Zufall: Durch die starken Auslenkungen entstehen Lufteinschlüsse, die wärmeisolierend wirken.

Werkstoff Porzellan

Um einen Nutzen aus dem GCode-Skripten in Bezug auf 3D-Druck zu ziehen, eignen sich verschiedenste Materialien, von Kunststoffen über Metallen zu Keramik. Letzteres schien uns geeignet als Werkstoff, der alltäglich in Form von Gebrauchsgegenständen wie Tellern, Schüsseln und Tassen immer wieder durch die Hände gleitet und sowohl fein und filigran, als auch hart und widerstandsfähig auftritt.

Von den verschiedenen keramischen Stoffen eignete sich Porzellan am besten für unser Vorhaben: Feinkeramik, die homogen und flüssig genug aufbereitbar ist, um mit einer sehr kleinen Düse und damit geringen Linienstärken zu arbeiten und dennoch nach dem Brand so sehr aushärtet, dass es in alltäglicher Nutzung bestehen bleiben kann.

Der große Nachteil von Porzellan liegt in seiner geringen Nachhaltigkeit: Zusammengesetzt aus Kaolin, Quarz und Feldspat ist es eine endliche, natürliche Ressource, die mit hohem Energieaufwand erst gewonnen, dann geformt und dann wieder mit hohem Energieaufwand gebrannt werden muss. Nach dem Brennen kann sie dann kaum rückgeführt, weiterverarbeitet, oder neugedacht werden, wodurch mit jedem gebrannten Versuch ein "endgültiges" Objekt in die Welt gesetzt wird, dessen Energie und Rohstoffe von da an für weitere Kreisläufe verloren sind. Hier wäre es im Weiteren sinnvoll, die genauen Anforderungen des zu druckenden Objekts vorher zu definieren und eventuell ein weniger widerstandsfähiges, dafür aber auch weniger finites und eher rückführbares Material zu verwenden.



↑ von oben nach
unten: Kaolin, Quarz,
Feldspat

Aufbereitung der Masse

Vor dem Druck musste die Porzellanmasse zuerst aufbereitet werden, d.h. wir kneteten Wasser in einen Hubel Porzellan ein und ließen das ganze für mindestens 2 Tage in einem luftdichten Gefäß durchwirken. Wir nutzten Wasser statt Alkohol, aufgrund der Geruchsbelastung durch Spiritus und in der Einschätzung, dass die Masse bei den hohen Temperaturen im Sommer eher zu schnell als zu langsam Feuchtigkeit abgeben würde. Aufgrund des schwankenden Wassergehalts der Rohmasse hielten wir uns an keine genaue Rezeptur zur Wasserzugabe, sondern versuchten nach Gefühl, eine gleichmäßige, zahnpaste-artige Konsistenz zu erreichen.

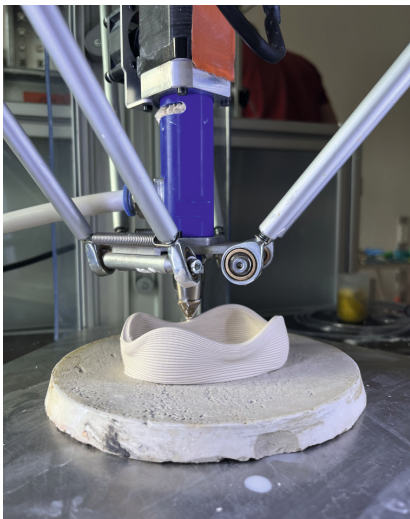
Der richtige Festigkeitsgrad für den Druck stellte eine unerwartet große Herausforderung dar. Hatte die keramische Masse nicht lange genug Zeit, sich zu homogenisieren, veränderte sich die Konsistenz weiterhin in der Kartusche während des Drucks und die Extrusion durch die 1mm dicke Düse war stark unregelmäßig. Andererseits mussten wir feststellen, dass die Masse selbst in der Kartusche scheinbar Luft zog, bzw. Feuchtigkeit verlor. Wir konnten eine voll mit Porzellan gefüllte Kartusche maximal einen Tag für gleichmäßige Drucke nutzen, da nach trocknete die Masse zunehmend aus, bis eine glatte Extrusion nicht mehr möglich war.



Clayprinter

Umsetzungsbasis für unsere Entwürfe war ein 3D Delta Drucker mit Pastenextruder.

Das zugrundeliegende Prinzip ist folgendes: Mithilfe von Druckluft aus einem Kompressor wird keramische Masse (siehe *Aufbereitung der Masse*) aus einer Aluminium-Kartusche durch einen Schlauch in einen Extruder befördert. Im Extruder wird die Masse daraufhin durch eine, von einem Schrittmotor angetriebene Schraube nach unten durch eine (in unserem Fall) 1mm dicke Düse gequetscht. Die Position des Extruders und damit der Düse wird durch drei bewegliche Arme gesteuert. Die Koordinaten dafür, die Geschwindigkeit der Bewegung, sowie die Umdrehungen der Schraube pro Sekunde, die die Menge der extrudierten Masse bestimmen, werden von der Druckersteuerung aus einer Textdatei gelesen – dem GCode.



In der Regel wird dieser GCode von einem Slicing-Programm generiert. Dafür wird eine dreidimensional modellierte Form in gleichmäßige Schichten zerlegt, die wiederum in Bewegungspfade für den Drucker übersetzt werden. Verschiedene Slicing-Programme besitzen verschiedene Möglichkeiten, diese Interpretation in Pfade zu beeinflussen, jedoch wird die Übersetzung grundsätzlich dem Programm überlassen.

Dagegen ist es aber auch möglich, diesen Code selbst zu schreiben, bzw. mit anderen Hilfsmitteln zu programmieren, um den Drucker genau die Pfade abfahren zu lassen, die man definiert, ohne dass Informationen verloren gehen in der Interpretation der modellierten Form. Dieser Möglichkeit bedienen wir uns, indem wir den Konstruktions- sowie den Slicingprozess in Grasshopper aufbauten.

➤ *Mobiles Clayprinting* von Studium Digitale

Delta Drucker

Laptop mit
Grasshopper

Clay Extruder &
Düse

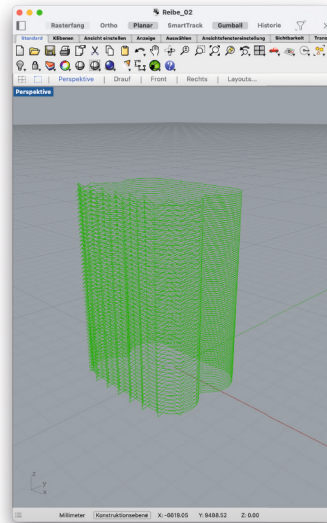
Druckplatte

Compressor

Außerdem: Kartusche, Werkzeug, SD-Karten, Gipsplatten

4

Grasshopper



Grasshopper ist ein in Rhinoceros3D integriertes Plugin, das Benutzer*innen über ein node-basiertes Interface die Möglichkeit gibt, parametrisch zu konstruieren und Algorithmen visuell zu programmieren. Um am Ende einen druckbaren GCode daraus zu extrahieren, wurde es für uns sowohl zur Konstruktionsplattform als auch zum Slicing-Tool.

Die grobe Vorgehensweise soll im Folgenden einmal grob zusammengefasst werden.

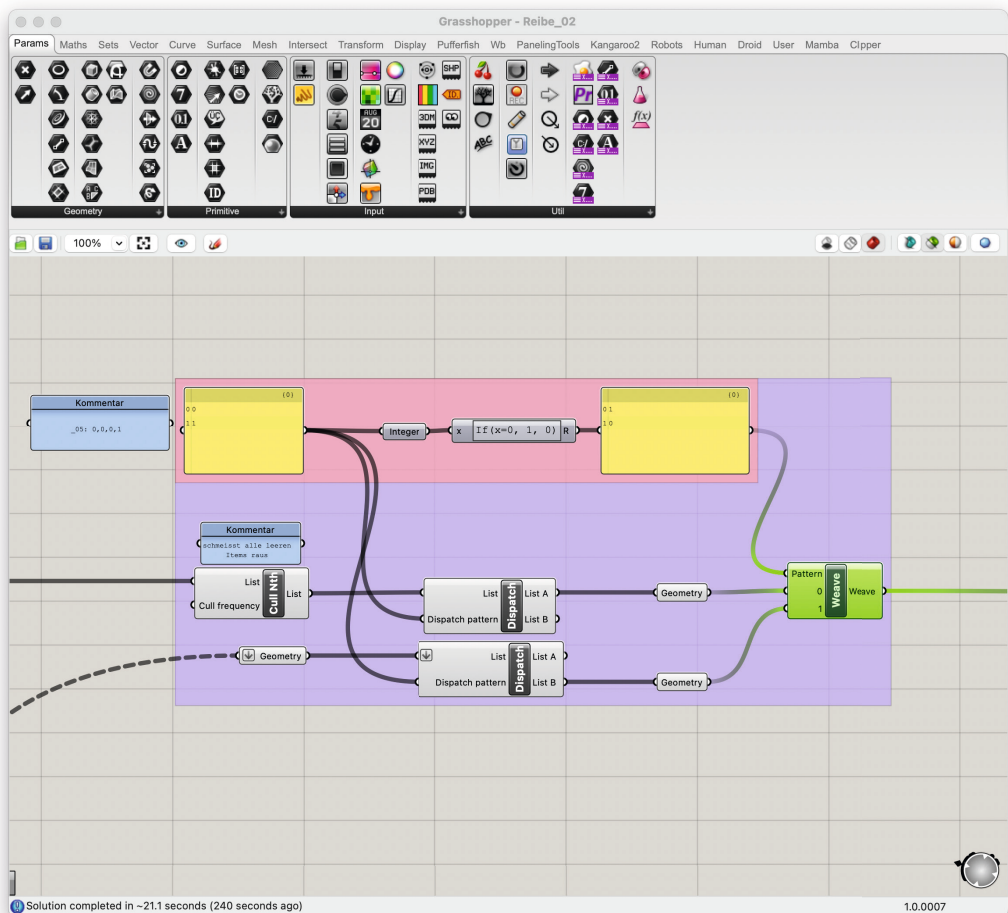
Zuerst konstruierten wir Grundkörper: einfache Lofts, die aus verschiedenen geometrischen Formen die Oberfläche eines Volumenkörpers entstehen ließen oder auch nur simple Oberflächen wie die eines Kreises oder Rechtecks. Diese Oberflächen wurden nun in Konturen zerteilt: ein Zylinder beispielsweise zerlegte sich in übereinandergeschichtete Kreise, ein Rechteck in parallele Linien. Der Abstand der Konturen orientierte sich dabei an der Layerheight des Druckers.

Die resultierenden Konturen konnten nun wiederum in einzelne Punkte zerlegt werden. Mit verschiedenen Werkzeugen war es dann möglich, diese Listen von Punkten anzusteuern. In unseren Experimenten teilten wir die Listen anhand verschiedener Patterns, oder wählten sie anhand Überschneidungen mit anderen Geometrien aus. Die ausgewählten Punkte verschoben wir dann entlang verschiedener Achsen, Normalen, etc.

← Die grundsätzliche Vorgehensweise stützte sich hierbei auf das Buch *Advanced 3D Printing with Grasshopper®: Clay and FDM* und zwei Workshops von Tom Witschel, der uns überhaupt erst mit der Thematik des GCode-Skripts vertraut machte.

← Für den Druck mit einer Düse von 1,0 mm Durchmesser wählten wir beispielsweise für eine reguläre Schichtung in z-Richtung einen Abstand von 0,8 mm.

Als dann ein einziger, zusammenhängender Maschinenpfad zusammengesetzt war, konnte dieser in einzelne Punkte zerlegt, und die Punkte wiederum in X-,Y- und Z-Koordinaten dekonstruiert werden. Zusammen mit einer statischen Druckgeschwindigkeit und einer Extrusionsrate, die aus den Abständen der einzelnen Koordinaten errechnet wurde, ließen sich nun alle Bausteine zum GCode addieren. Hierzu musste nur noch der druckerspezifische Start- und Endcode hinzugefügt werden, um eine druckbare Datei zu erhalten.

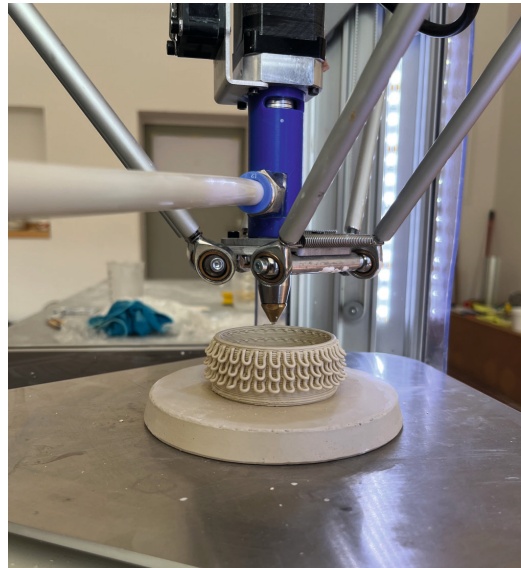


Eingangs stellten wir uns die Frage, wie wir die Besonderheiten des Keramik-Druckens nutzen können, um einen Mehrwert außerhalb formal-ästhetischer Merkmale zu generieren. Dafür mussten wir vorerst herausfinden, welche Oberflächen und Strukturen wir überhaupt mit Grasshopper erzeugen und dann auch drucken können. Drei Methoden schienen uns nach einiger Recherche vielversprechend:

Arbeit mit Schwerkraft
Sollbruchstellen
nonplanare, überlappende Pfade

what is it good for?

Durch die Möglichkeit, das Slicing nach eigenen, spezifischen Anforderungen aufzubauen, können einzelne Kurven die tragenden Schichten eines Körpers "verlassen", sodass der 3D-Drucker, statt auf die darunter liegende Schicht, ins Leere extrudiert. Die keramische Masse fällt dabei ab und reißt, je nach Extrusionsrate und Zeit, in der der Kontakt zur unteren Ebene unterbrochen wird, oder wird rechtzeitig wieder zurück zur Kontaktfläche geführt. In letzterem Fall bilden sich abstehende oder hängende Schlaufen. Je nach Ausprägung dieser "Extremitäten" kann eine Oberfläche variabel glatt bzw. rau gestaltet werden, ohne dass eine Nachbereitung wie Schleifen oder Hinzunahme eines weiteren Werkstoffs nötig wird.



what a mesh

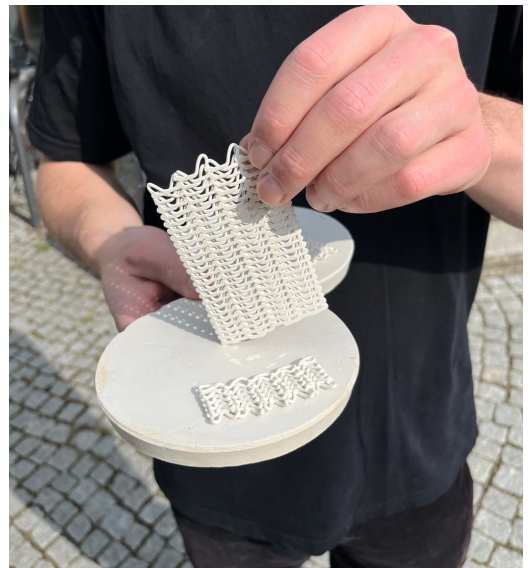
Sollbruchstellen

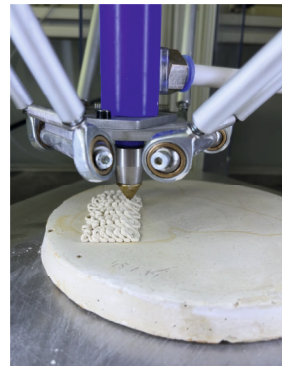
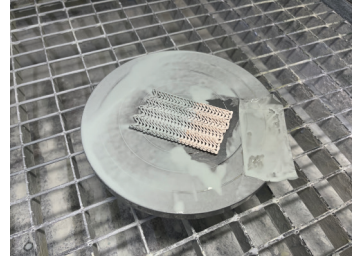
Die Besonderheit in den zuvor erwähnten Auslenkungen liegt in der Möglichkeit, ein und dieselbe Masse zu nutzen, um einen Volumenkörper zu tragen, als auch um abstehende Elemente direkt mit in den Körper zu integrieren. Nach ausreichender Trocknung können diese Elemente im lederharten Zustand, oder aber auch nach dem Schrühbrand ohne hohen Energieaufwand per Hand abgebrochen werden – ohne die Stabilität des Körpers zu beeinträchtigen. Je nach Gestaltung der Auslenkungen können die Abbruchkanten rau oder sogar scharf werden und dann im Glattbrand aushärten. Um ähnlich scharfe Kanten durch reine Nachbearbeitung des Porzellans zu erzeugen, wäre ein wesentlich höherer Aufwand an Energie nötig und in sehr kleinem Maßstab überhaupt schwer zu erreichen.



Nonplanarität

Ein Vorbild für unsere Versuche sind außerdem textile Strukturen: das Verweben einzelner Fäden erzeugt Beschaffenheiten, die vom Vollmaterial abweichen. Für Keramik kann das bedeuten, durchlässige und dennoch stabile Muster herzustellen, die wesentlich weniger Material benötigen, um eine Fläche zu überspannen, als das mit einer Gussform der Fall wäre. Außerdem können mit verschiedenen "Maschengrößen" relativ einfach unterschiedliche Durchlässigkeiten und Statiken generiert werden. Die Schwierigkeit liegt darin, die einzelnen extrudierten "Fäden" miteinander zu verknüpfen, ohne dass die vorangegangene Schicht durch das Überlappen zerstört wird und eine stabile Gitterstruktur entstehen kann.







Anwendung

Die Ergebnisse unseres Experimentierens konnten wir uns sehr schnell in einem Kontext von Lebensmitteln vorstellen, als feine Kochutensilien und formschöne Alltagsbegleiter. Unter verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten entschieden wir uns, die vorher erprobten Techniken in zwei stellvertretenden Produkten zu manifestieren: Eine Handreibe, beispielsweise für Knoblauch oder Käse, und ein Teesieb.



Mit Händen Reiben

Zum Raspeln und Reiben verschiedener Lebensmittel wird ein Raster von Auslenkungen verwendet, die in unterschiedlicher Ausprägung eine raue Oberfläche auf einem sonst ergonomischen Körper erzeugen. Der Grundkörper ist nicht inspiriert von klassischen Küchengeräten, sondern angelehnt an die Form eines Handschleifblocks: ein abgerundeter, nach oben und unten geöffneter Quader, der an zwei gegenüberliegenden Flanken in einer Kurve nach innen läuft, um Platz für die zusammen greifenden Finger zu schaffen.

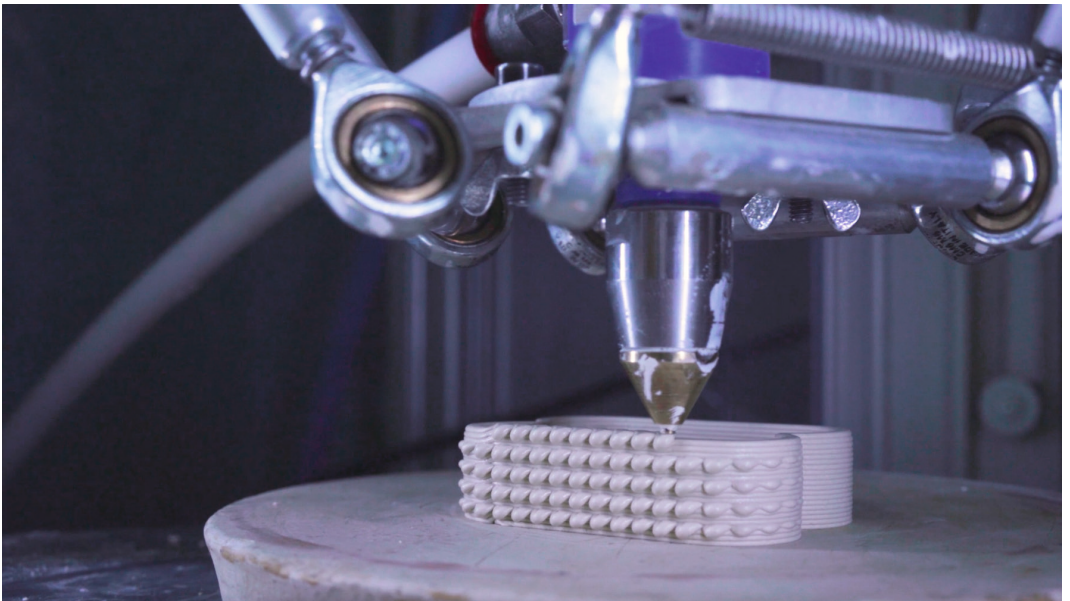
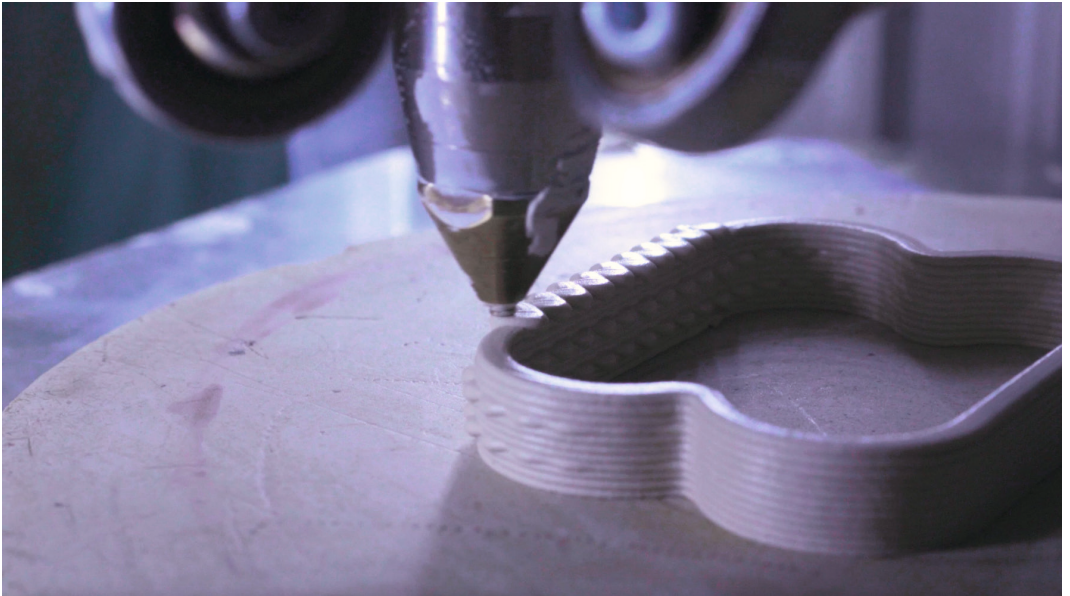
Wir haben uns bewusst dagegen entschieden, die Reibfläche vom Körper zu trennen, da wir Objekte aus einem einzigen Teil schaffen wollten, die nicht durch verschiedene Mechanismen und Materialien zusammengehalten werden. Wir sahen es als Herausforderung an, einfache Volumenkörper nur sehr zielgerichtet zu manipulieren, um dadurch eine Funktion hinzuzufügen.

An der Vorderseite treten einzelne Schlaufen hervor, die eine gleichmäßige Reibfläche formen. Diese vorstehenden Elemente wurden durch verschiedene Pfade erreicht:

Planar mit Gravitation: hier fährt der Extruder des Druckers in sinus-artigen Kurven alle n Schichten in x-y-Richtung aus dem Grundkörper heraus, um viele kleine, nach unten hängende Schlaufen zu hinterlassen. Je nach Abstand der Ebenen, in denen die Auslenkung passiert und nach Anzahl der Schlaufen, resultiert eine feine oder grobe Reibfläche.

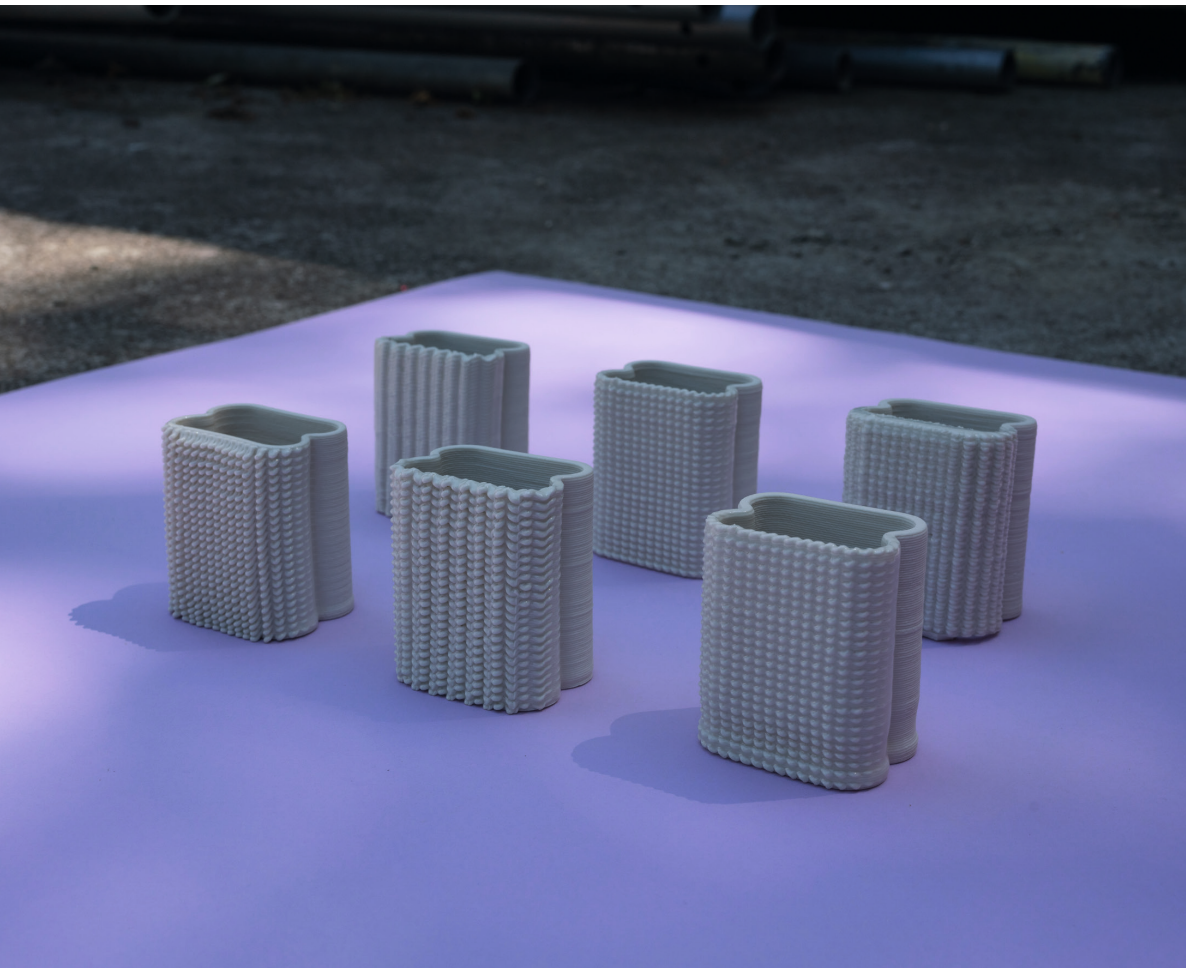
Nonplanar: für diese Methode wird die raue Oberfläche durch wiederholtes, kreisförmiges nach oben Fahren und wieder in die bereits gedruckte Ebene Eintauchen generiert. Die Düse des Extruders quetscht beim Eintauchen einen Teil der vorhandenen Schicht nach vorne, wo die keramische Masse für eine einigermaßen spitze Unebenheit sorgt und in der Summe ein dichteres Muster erzeugt.

Alle Reiben wurden nach dem Schrühbrand partiell glasiert, um die teilweise komplexe Reibfläche zu versiegeln, sodass keine Feuchtigkeit ins Porzellan dringen kann und Lebensmittelreste einfach abgewaschen werden können. An der Grifffläche blieb die leicht raue Schichtstruktur des 3D-Drucks, die den Fingern das Festhalten erleichtert und ein angenehm haptisches Feedback erreicht.





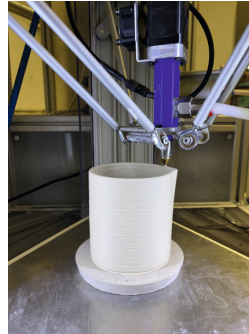


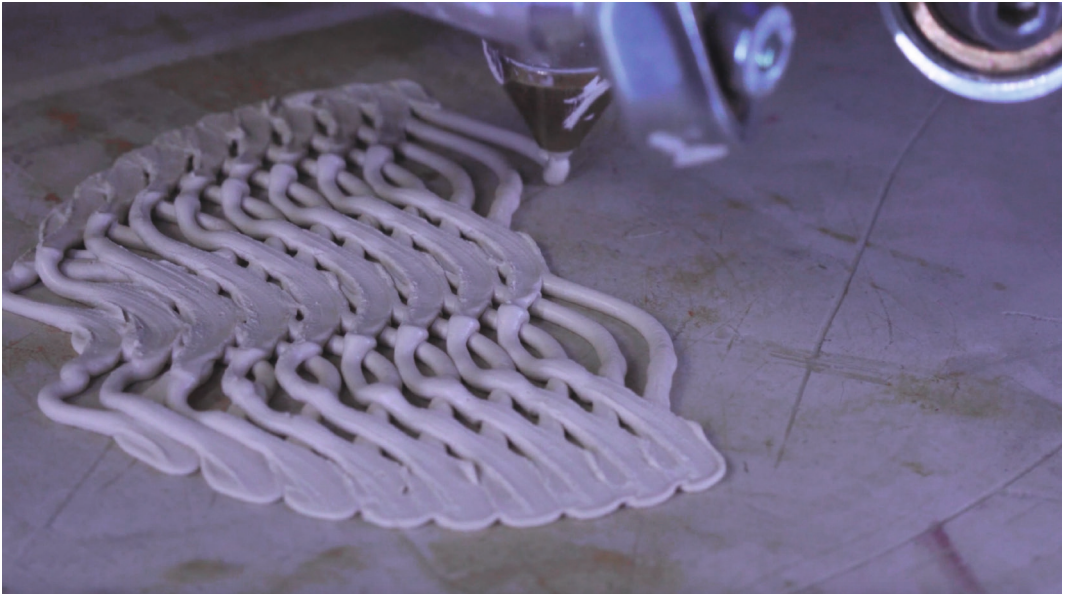


Zurückhalten & Durchlassen

Die vielen, in der Recherche aufgezeigten Trinkgefäße im Blick, die nach Außen eine komplexe Oberfläche aufweisen, während sie im Inneren hauptsächlich versuchen, wasserundurchlässig zu sein, arbeiteten wir an einem Gegenwurf. Die komplexen, textilartigen Gitterstrukturen beschränken sich hier auf die Funktion im Inneren, während die Oberfläche nach Außen unaufgeregt simpel gestaltet ist. Eine kleine, henkellose Teekanne ist ganz regulär in gleichmäßigen Schichten gedruckt und bildet nur am Ausguss eine innenliegende, kaum erkennbare Rückhaltestruktur für an der Oberfläche schwimmende Teilchen.

In diese Kanne kann ein zylindrisches Sieb eingesetzt werden, das sich außen ebenfalls in gleichmäßigen Schichten nach oben hin aufbaut, während der Boden in verschiedenen Webmustern gedruckt ist. Die Variation der Ebenenabstände im Gitter, sowie die Anzahl der sich überlappenden Auslenkungen bestimmt dabei die Durchlässigkeit des Siebs: wenige, leicht geschwungene Linien eignen sich für grobe Teeblätter, feinmaschige, dicht zusammenliegende Porzellanfäden können grob gemahlene Filterkaffee zurückhalten, während das heiße Brühwasser in die Kanne tropft. Durch die nicht ideale Reproduzierbarkeit der zylindrischen Form mit Überhang zur Arretierung in der Kanne (durch unterschiedliche Konsistenz der Porzellanmasse) wurde das Sieb nach einigen Testversuchen trichterförmig aufgebaut, um ein einfaches Absenken in die Kanne möglich zu machen, ohne dass eine Deformation im Brenn- oder Trocknungsprozess eine große Rolle spielt.











Es erschien uns wichtig, für dieses Experiment auch am Ende Produkte vor uns stehen zu haben, die die Funktionalität unserer Tests unter Beweis stellen und anschaulich machen. Das bedeutete aber leider eine sehr kurze Versuchszeit, bei dem wir viele mögliche Variationen ausklammern mussten, um den Aufbau klein zu halten. Dabei spielte auch der Ferti-gungsprozess von Porzellan eine Rolle: Unsere Zwischenergebnisse mussten langsam trocknen, dann geschrüht und schließlich glattgebrannt werden, bis wir sie zum ersten Mal einem realen Test unterziehen konnten.

Diese kurze Phase hat uns dennoch gezeigt, dass in der Kombination aus Grasshopper und Keramik-3D-Druck viel Potenzial liegt, funktionale keramische Objekte zu gestalten, die in dieser Form durch andere Produktionsverfahren mit dem gleichen Material nicht erreicht werden können. Für eine Weiterführung des Projekts würden wir uns wünschen, diesen Prozess auf komplexere Anforderungen anzuwenden und auch Möglichkeiten der Weiterverarbeitung mitzudenken, auf die der Druckprozess vorbereitend eingehen kann, bzw. eine bestimmten folgenden Verarbeitungsprozess erst möglich machen kann.



Projekt	From Tech to Purpose
Studierende	Marco Mehringer Catherina Stuckmann
Betreuung	Prof. Christian Zöllner Robin Godwyll Tom Witschel
Zeitraum	Sommersemester 2023
Schriftarten	Karla Satoshi IBM Plex Mono ABC Whyte Inktrap



← Alle Grasshopper
Skripte zum Projekt
finden sich zum An-
schauen auf Github.

Ein großes Danke für Unterstützung und/
oder Input (in keiner bestimmten Reihenfolge)
an **Robin Godwyll, Tom Witschel, Valena Ammon,**
Nikos Probst, Katja Benroth, Paula Breuer, Karl
Benz, Isa Schreiber, Christian Zöllner.

→ **Literatur**

Die digitale Manufaktur, The Constitute, 2018.

Arch+: Form Follows Performance, Juli 2008.

Dinge drucken: Wie 3D-Drucken das Design verändert, gestalten, 2014.

Mechanical Craft, Valena Ammon, 2021.

→ **Seite 02**

<https://oliviervanherpt.com/3d-printing-ceramics/>



→ **Seite 03**

<https://www.madeinbritaly.com/andrea-salvatori-1>



→ **Seite 03**

<https://www.silver-sentimenti.com/gallerie?pgid=khw7n7zu-332b1a2e-efc1-41fa-994e-f007ea-1fec8c>



→ **Seite 03**

<https://studiorap.nl/Ceramic-House>



→ **Seite 03**

https://www.instagram.com/piotr_wasniowski/



→ Sofern nicht anders gekennzeichnet, handelt es sich bei allen anderen Bildern um eigene Aufnahmen und Grafiken.

→ **Seite 05**

<https://design.udk-berlin.de/2018/04/ceramantics-joana-schmitz/>



→ **Seite 05**

<https://design.udk-berlin.de/2018/04/ceramantics-joana-schmitz/>



→ **Seite 06**

<https://additiveaddicted.de/produkt/n-1-becher-gross-modell-no-21-weiss-mint/>



→ **Seite 07**

<https://www.smwa.sachsen.de/blog/2022/09/14/kao-lin-heimischer-rohstoff-fuer-porzellan-und-mehr/>



→ **Seite 07**

<https://hexerey.com/die-welt-der-edelsteine/die-familie-der-quarze/>



→ **Seite 07**

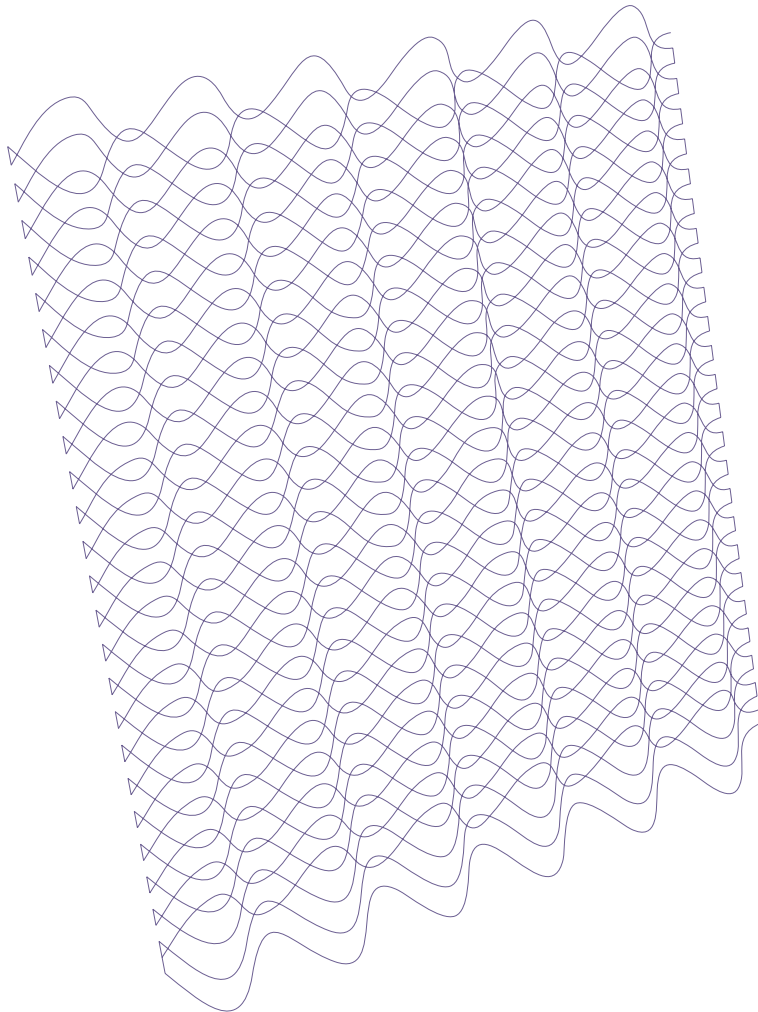
<https://fossilien-mineralien.org/Feldspat-Orthoklas>



→ **Seite 10**

<https://www.burg-halle.de/hochschule/einrichtungen/studium-digitale/mobiles-clayprinting/>





non planar clay printing
- so many possibilities, so useless.

