

FORMFINDUNG DURCH VORONOI-DIAGRAMME

amorph analog arbeit architektur art art-
ist **ästhetik** biologie bézierkurve cad
computer computational cnc 3d delaunay
dekorativ **design** digital digitalart entfor-
men entwurf experiment experimentell
flächenverteilung **formfindung**
generativ geometrie girih girihschab-
lonen grafisch handwerk handwerklich
herstellungsverfahren high-tech **innova-
tion** inspriation interface islamisch isla-
mischekunst kleinserie knetmasse kunst
laserschneiden lernen makrobefehl ma-
terialforschung mathe mathematisch
matrix matrize möbel **modell** modell-
bau modular muster natur neu nurbs para-
metrisch physisch plug-in pneumatisch
produkte produktdesign programmieren
science schablone schnittplan script
scripting skulptur software struktur **tech-
nologie** tools triangulation virtuell visual-
isierung **voronoi**

christophe vaillant, oktober 2008

INHALT

Projekt

Ästhetik der Natur und Computational Design.

Formfindung durch Voronoi-Prinzip.....2-3

Anfänge und Weiterentwicklung des CAD:

Vom digitalen Zeichenbrett zum Computational

Design.....4-5

islamische Girih-Schablonen und Voronoi-Diagramme:

komplexe Muster mit ästhetischem Reiz.....6-7

Girih-Muster.....8-9

Voronoi-Diagramme.....10-11

Beispiel: digital zu analog

Voronoi am Computer.....12-17

Beispiel: analog zu digital

Simulation eines Voronois

aus Knetmasse und Folie.....18-19

Beispiel: Entformbarkeit

Spritzguss und Metallpreßverfahren.....20-21

Beispiel: Fahrradsattel

Fahrradsattel in Schaumstruktur.....22-23

Beispiel: pneumatische Zellen

aufblasbare Möbel.....24-25

Beispiel: Gittermodul

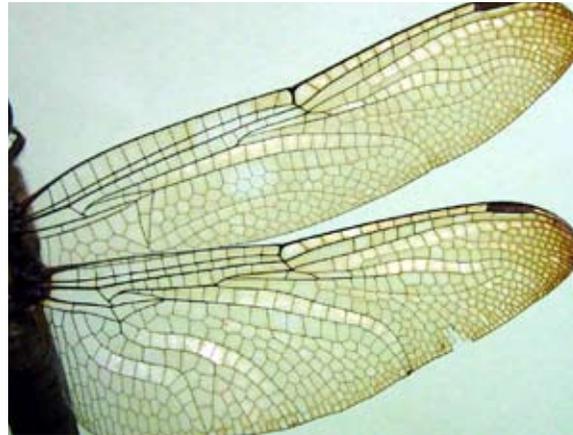
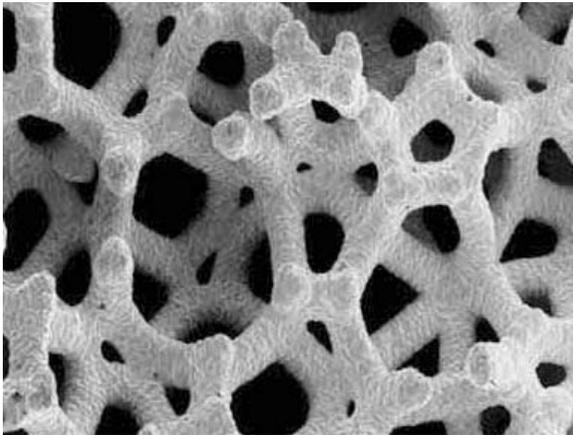
Voronoistruktur aus Gittermodulen aufgebaut....26-27

Vision

analog + virtuell= Innovation

Hightech-Handwerk?.....28-

29ff



PROJEKT

Ästhetik der Natur und Computational Design

Formfindung durch Voronoi-Prinzip

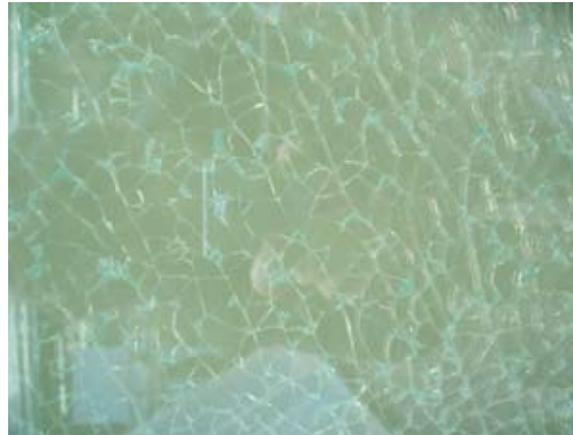
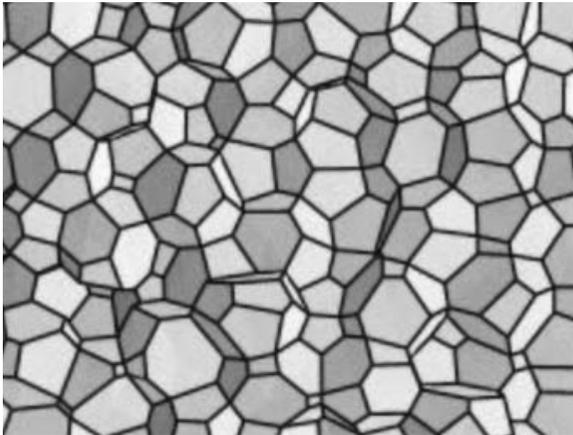
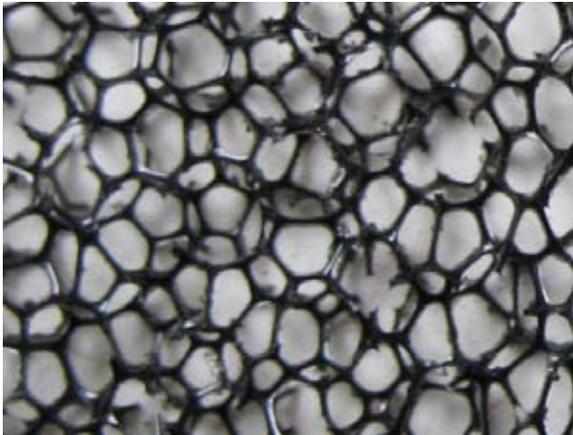
Die Schönheit der Natur hat von jeher das ästhetische Empfinden der Menschen angeregt. Regelmäßige und dabei abwechslungsreiche Muster sind überall zu entdecken: die Waabenstrukturen eines Bienenstocks, die Verästelung eines Baumes, das Blattgerippe einer Pflanze etc.; zahllos sind die Beispiele.

Seit jüngster Zeit lassen sich die Regeln, die dieser Schönheit zugrunde liegen, am Computer reproduzieren. Durch leistungsstarke Prozessoren und neuer 3D-Software lassen sich die ästhetischen Formen aus Biologie und Physik am Computer simulieren und werden mehr und mehr für die Gestaltung zugänglich. Für Designer, Architekten und Künstler eröffnet sich mit dieser Technologie eine neue ästhetische Spielweise für die Formfindung, auf der es zu experimentieren gilt.

In diesem Projektvorhaben werden Ansätze zur Formfindung komplexer 3-dimensionaler Strukturen (Voronoi-Diagramme) skizziert, die sowohl computer gestützt wie auch am analogen Modell entwickelt werden sollen.

Ziel ist es ästhetische Strukturen im dreidimensionalen zu entwickeln welche mit herstellungstechnisch-konstruktiven Anforderungen zusammenlaufen. Die dreidimensionale Struktur soll auf Produkte, wie sie am Beispiel der Illustrationen im Anhang angeführt sind, übertragbar zu sein.

Bilder: Voronoi-Diagramme in der Natur
Granatapfel, Giraffenmuster, Metallschaum, Libellenflügel, Froscheier



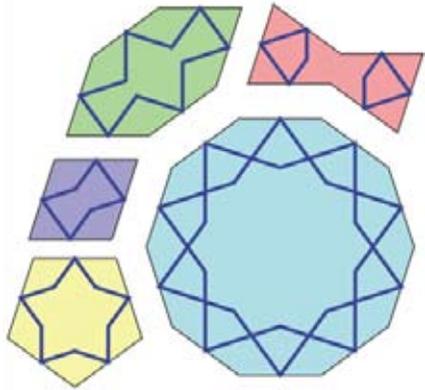
ANFÄNGE UND WEITERENTWICKLUNG DES CAD

Vom digitalen Zeichenbrett zum Computational Design

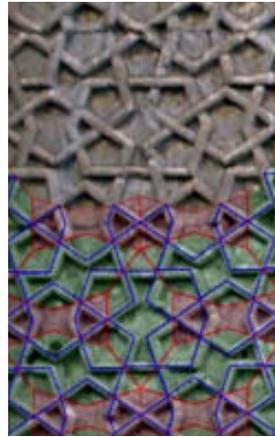
Ein Rückblick: in den 1960er Jahren wurde der technologische Sprung vom Zeichenbrett der Designer und Ingenieure ins Zeitalter des Computer Aided Designs (CAD) geschafft. Schablonen, welche für den Modellbau benötigt wurden und technisch bedingt nicht fehlerfrei auf das Modell übertragen werden konnten, sollten ersetzt werden. Es wurde die Bézierkurve entwickelt, die numerisch reproduzierbare Freiformkurve und die NURBS-Fläche. Diese Entwicklung war bahnbrechend, hat aber nicht das herkömmliche Prinzip des Zeichenbretts abgelöst: es wird virtuell am Rechner gezeichnet und konstruiert, wie es schon vorher analog auf dem Papier gemacht wurde.

In den letzten Jahren jedoch zeichnet sich mit dem “computational design” eine atemberaubende Entwicklung im CAD ab, bei der es noch nicht absehbar ist, was in Zukunft alles möglich sein wird. Aber fest steht schon jetzt: die Nutzung von Skripten die lediglich Parameter abfragen um daraus komplexe Geometrien zu generieren, das Automatisieren von Arbeitsschritten ersetzen das mühsame Modellieren von Hand bzw. Maus.

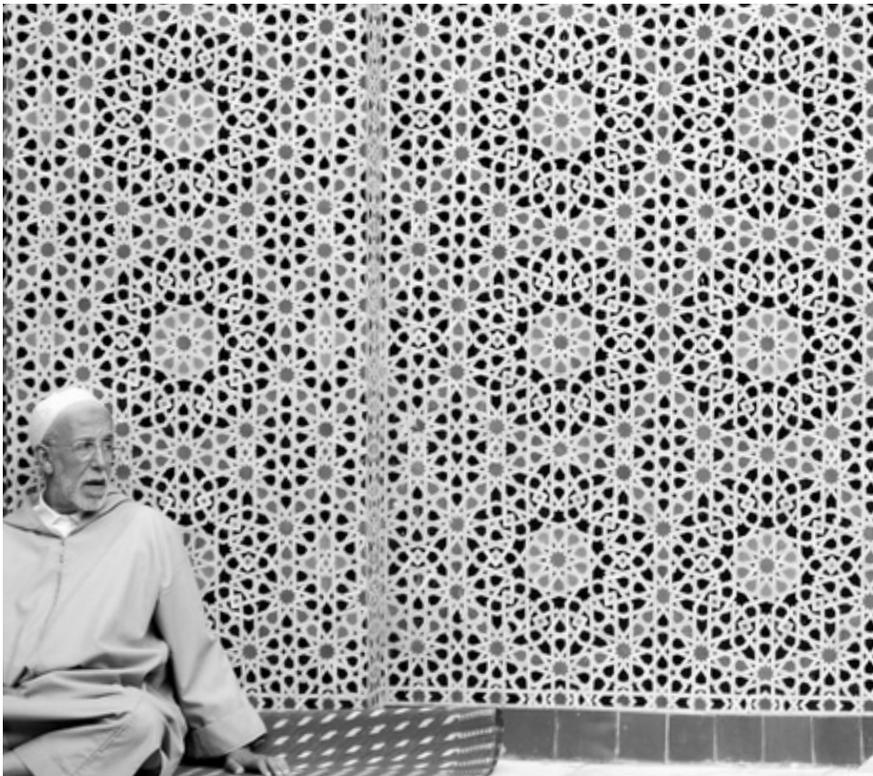
Es werden Plug-ins oder eigenständige Programme entwickelt und angewendet, die als ganz spezifische Werkzeuge auf mathematische Prinzipien wie etwa dem Voronoi-Prinzip zurückgreifen, und mit denen man beispielsweise komplexe Geometrien virtuell generieren kann. Das digitale Zeichenbrett wandelt sich zu einer digitalen Matrix, bestehend aus Skriptbefehlen und Zusatzprogrammen, in der lediglich Parameter eingependelt werden. Geometrien werden nun Wirklichkeit, die vorher undenkbar waren!



Girih-Schablonen Bild: Peter Lu, Science



Girih-Muster Bild: Peter Lu, Science



Girih-Muster in Moschee (Medersa Bou Inania in Fes, Marokko) Quelle: Flickr

GIRIH-SCHABLONEN UND VORONOI-DIAGRAMME

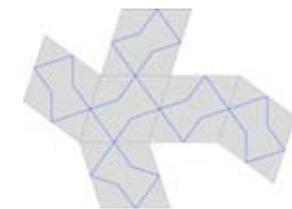
Komplexe Muster mit ästhetischem Reiz

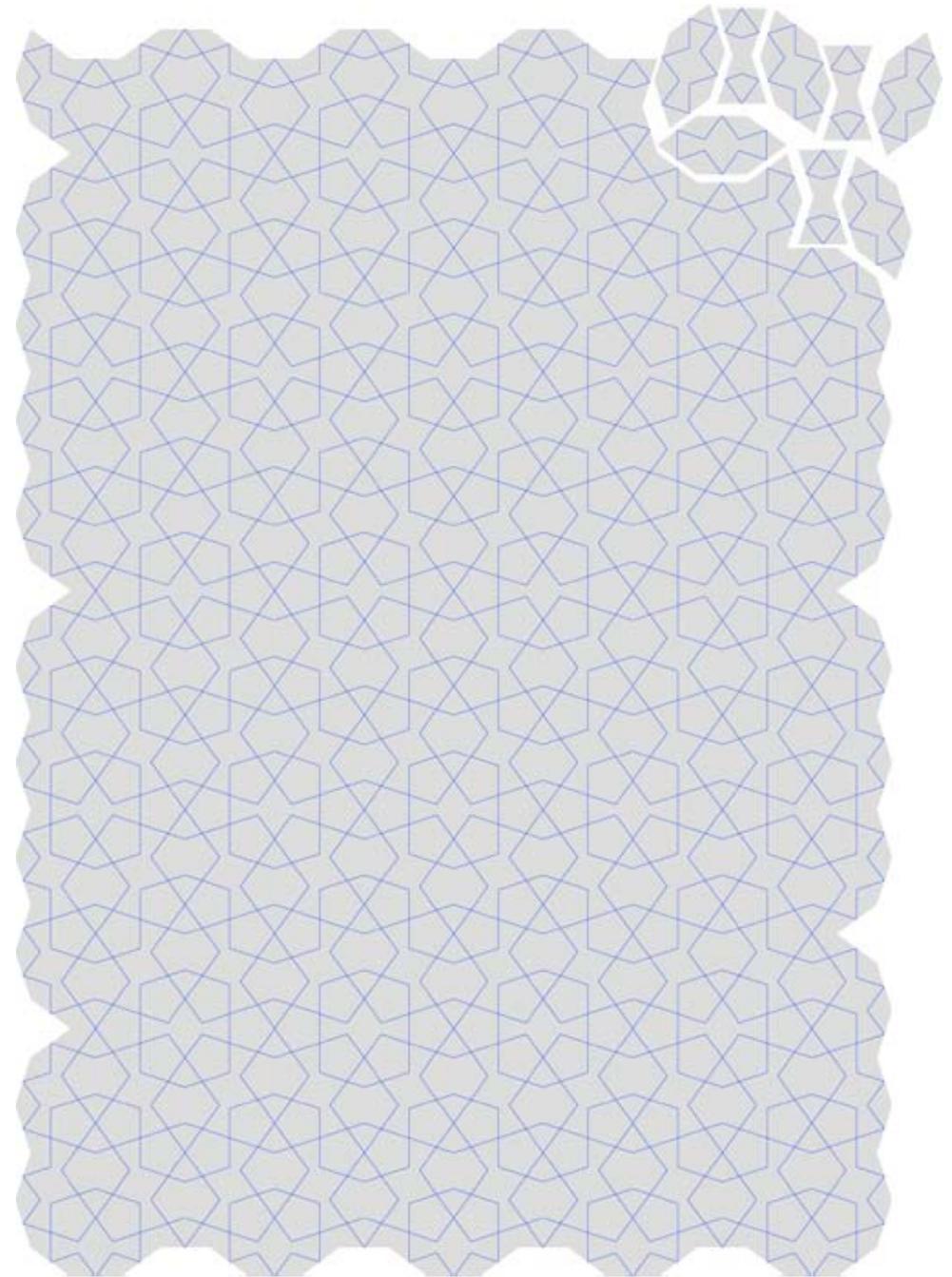
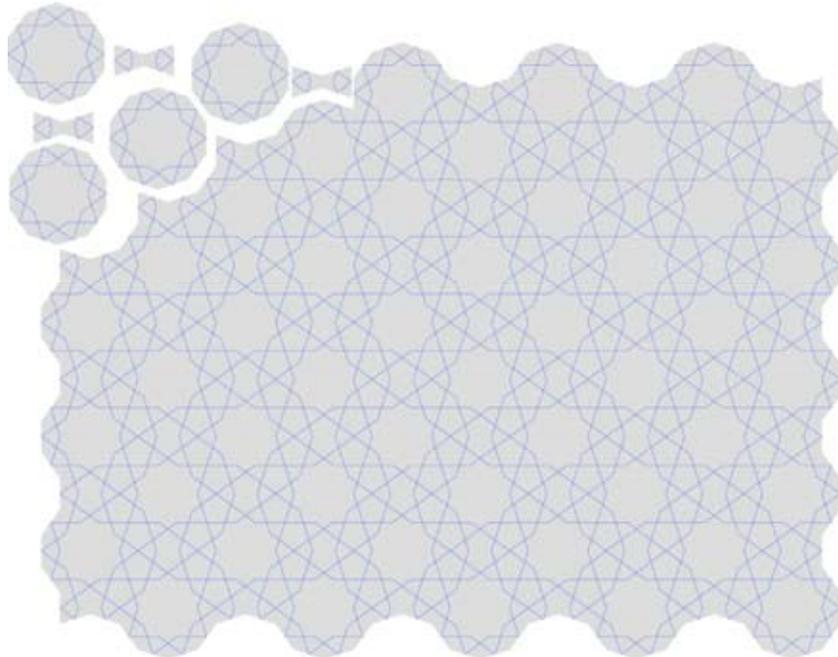
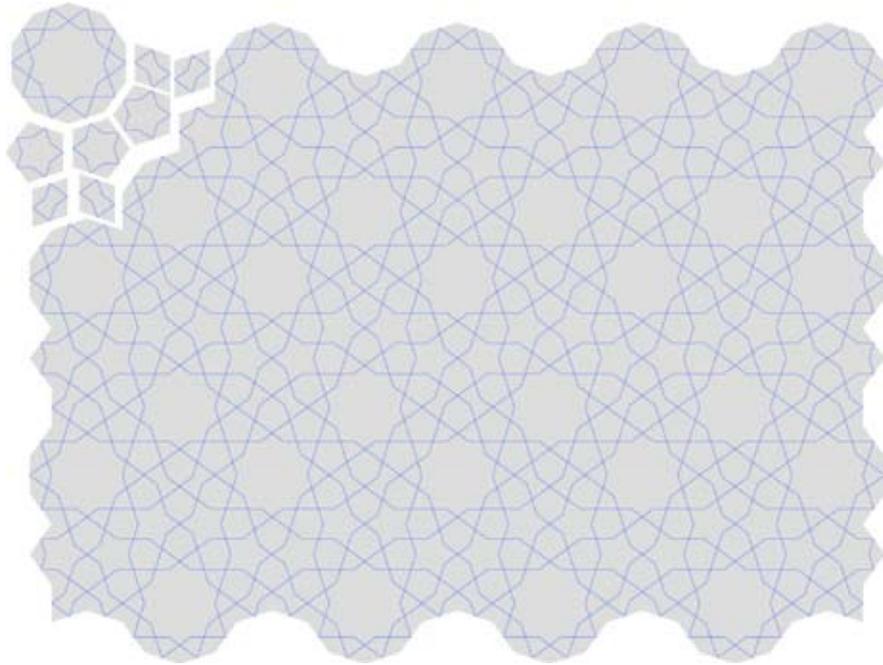
Islamische Girih-Muster

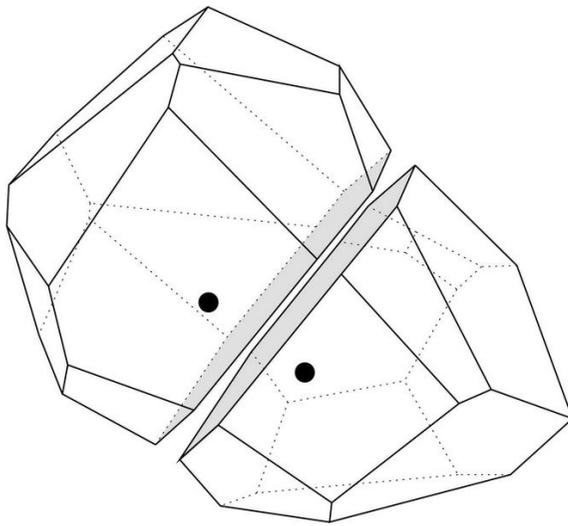
Auf der Suche nach geometrischer Vollkommenheit haben islamische Baumeister vor etwa 800 Jahren eine Schablonentechnik entwickelt, die Girih-Schablonen, mit deren Hilfe hochkomplexe, mehrachsige-symmetrische Muster für Bauwerke entworfen werden können. Es werden nur 5 verschiedene Grundschablonen verwendet, auf deren Flächen Zierlinien verlaufen. Werden die Girih-Schablonen verlegt, gehen die Zierlinien von einer Schablone nahtlos in die Linien der angrenzenden Schablonen über. Die Grundschablonen sind am Ende nicht sichtbar, es ist eine Schablonentechnik bzw. analoge Matrix, und die ineinander übergehenden Zierlinien erzeugen ein komplexes zweidimensionales Muster, welches sehr regelmäßig ist und gleichzeitig abwechslungsreich. Diese einfache Schablonentechnik, die auf hoher Mathematik beruht, erlaubt es einfach verschiedenste Dekore zu generieren; präzise und auf eine handwerklich-intuitive Art. Die Girih-Schablonen funktionieren leider nur flächig und lassen sich nur eingeschränkt auf dreidimensionale Körper übertragen.

Bild unten:

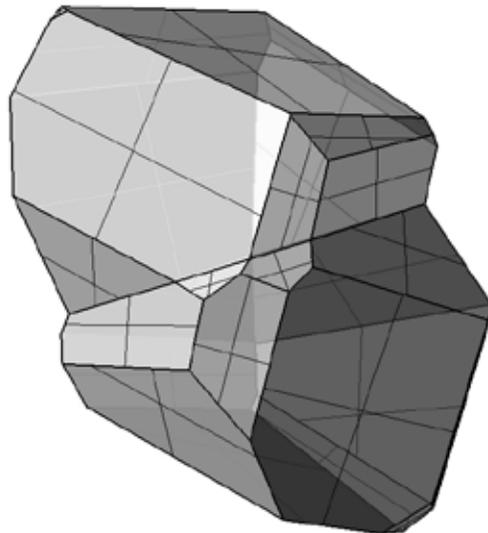
Versuch: 3D-Girih, als Würfel und als Gitter







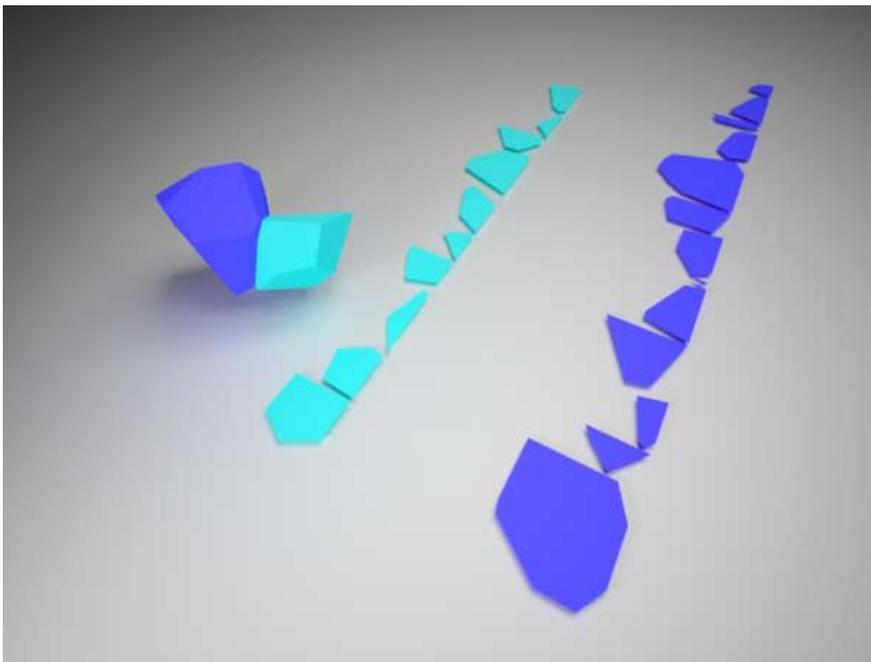
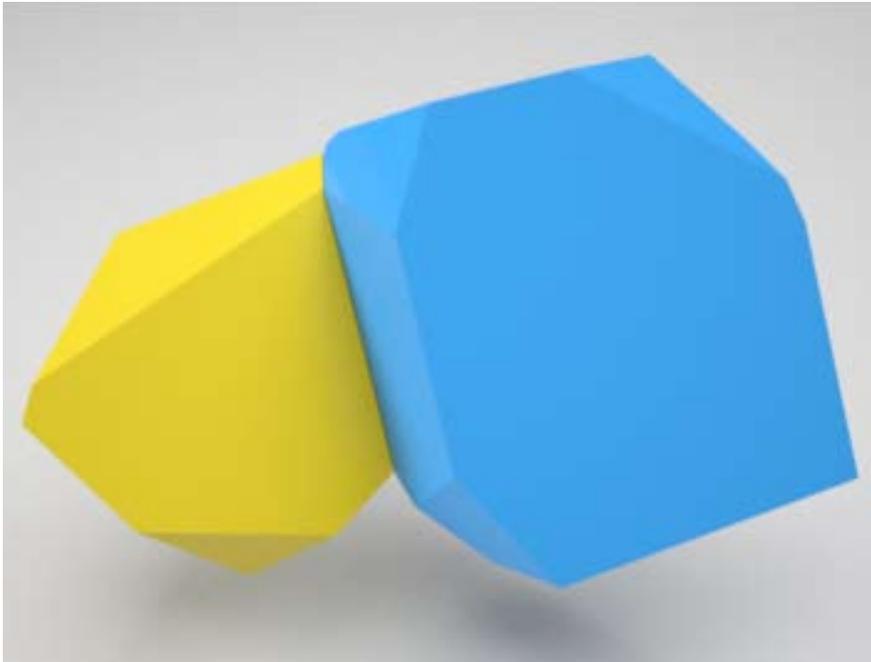
Zwei Voronoi-Zellen Bild: Wikipedia



Zwei Voronoi-Zellen, CAD

Voronoi-Diagramme

In entfernter Anlehnung und angeregt durch die Girih-Technik, ist das Ziel ein Muster zu generieren welches eine regelmäßige Struktur im dreidimensionalen Raum aufweist und auch als Schablone/Matrix nutzbar ist. In diesem Projekt soll dafür das mathematische Prinzip des Voronoi-Diagramms angewendet werden. Danach werden Punkte, die beliebig in einem Raum verteilt sind, optimal von Flächen eingehüllt. Die einzelnen Flächen liegen dabei jeweils genau zwischen zwei benachbarten Punkten. Die einzelnen Flächen bilden um den Punkt herum eine Hüllzelle, und die Hüllzellen um alle Punkte herum bilden zusammen eine Ansammlung aus diesen Zellen, die vergleichbar sind mit der Struktur eines Schaums. Die einzelnen Zellen des Schaums weisen dabei eine regelmäßige Struktur auf, ohne wirklich gleich zu sein. Durch die Regelmäßigkeit im Dreidimensionalen eignet sich das Voronoi-Diagramm als Werkzeug zur Formfindung, wobei das Muster von innen eines Objekts nach außen an die Oberfläche durchdringt, also die gestalterische Wirkung im Dreidimensionalen entfalten kann. Das Prinzip des Voronoi-Diagramms kommt in unterschiedlichsten Bereichen vor und zur Anwendung (Biologie, Materialforschung, Ermittlung zur Briefkastenverteilung, etc) und bietet eine vielseitige anregende Referenz. Das Voronoi-Diagramm beinhaltet eine mathematische Dualität; es ist reziprok zur Delaunay-Triangulation, enthält sozusagen unsichtbare Informationen und kann deshalb auch als Schablone/Matrix betrachtet und verwendet werden. Das Voronoi-Diagramm läßt sich analog am Modell wie digital am Rechner simulieren. Kurzum: das Prinzip des Voronoi-Diagramms ist ein ideales Prinzip zur experimentellen Formfindung, digital wie analog.



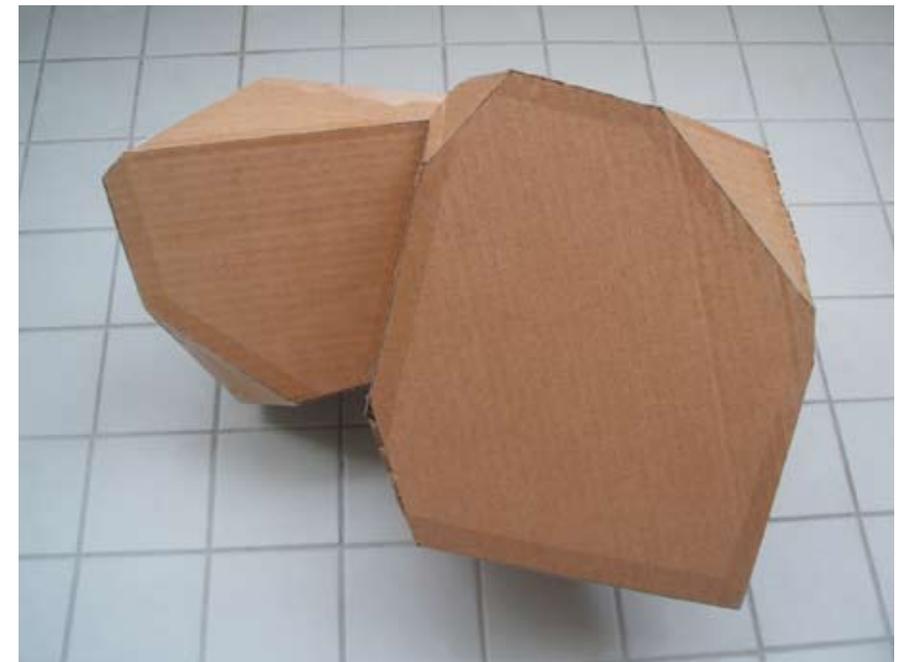
BEISPIEL: DIGITAL ZU ANALOG

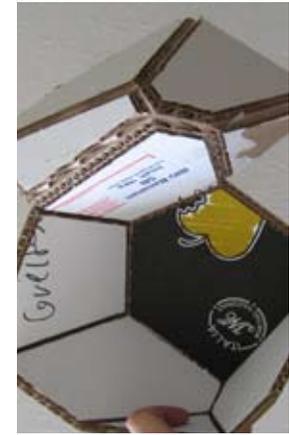
Voronoi am Computer:

Mit Hilfe von Programmen kann man Voronoi-Hüllen digital generieren und davon Schnittmuster anlegen. Die Abbildung links oben zeigt ein computergeneriertes Modell bestehend aus zwei verbundenen Voronoi-Zellen. Die Wände werden abgerollt und auf einer Ebene plan angeordnet. (Bild links unten); Die Ebene mit den plan liegenden Wänden wird als Schnittvorlage ausgedruckt und als haptisch erfahrbares Pappmodell rekonstruiert (Foto unten).

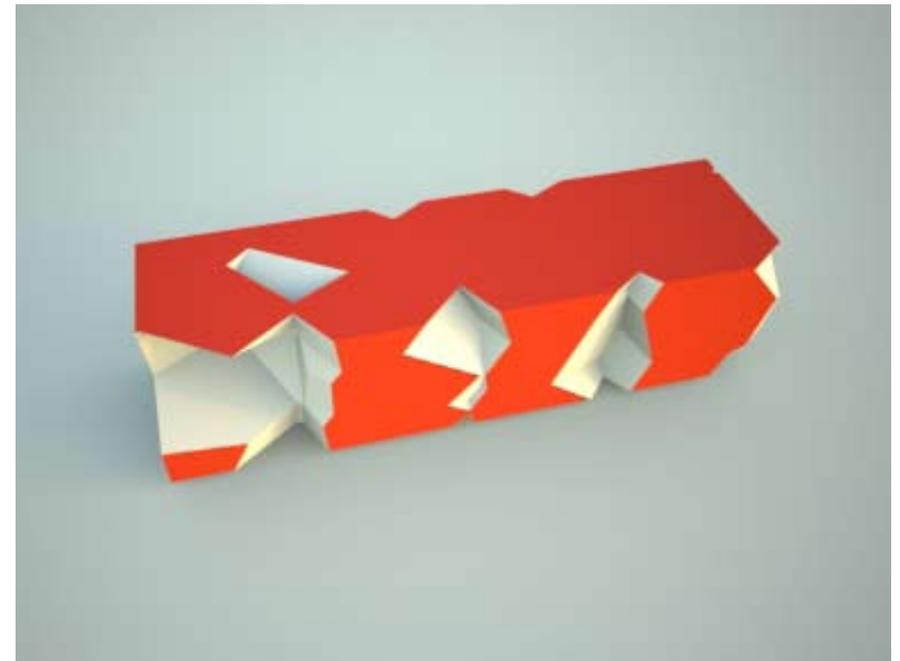
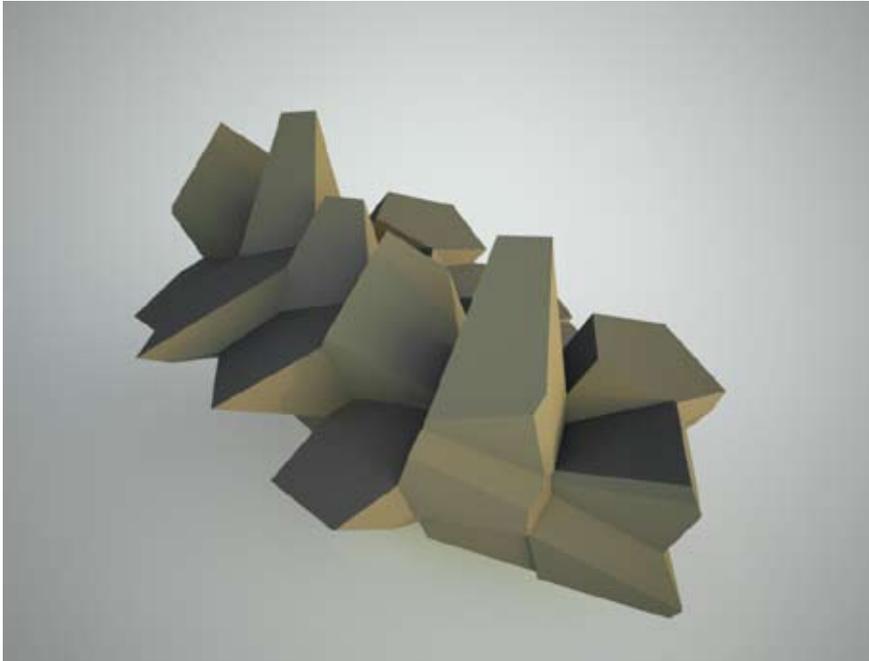
Der Schnittplan kann auch für CNC-Laserschneider benutzt werden, um etwa Metallblech für eine Skulptur oder einen Gebrauchsgegenstand auszuschneiden.

Bilder: Zwei virtuelle Voronoi-Zellen, ausgeschnittene Zellwände, Zwei analoge Voronoi-Zellen





Bilder: Am Computer erstellte Renderings, sie wurden noch nicht als haptisch erfahrbares Modell nachgebaut...



BEISPIEL: ANALOG ZU DIGITAL

Voronoi aus Knete und Frischhaltefolie.

Ein kleines Experiment: Kugeln aus Knete werden in Folie eingehüllt. Die eingehüllten Kugeln werden in einer Papierschachtel gestapelt und in der Anordnung 9x4x9 Stück aufgeschichtet. Die runden in Folie eingehüllten Kugeln werden gepresst bis sich die hohlen Zwischenräume mit Knete ausfüllen und die oberste Schicht eben abschließt. Die Kugeln haben sich flächenoptimal deformiert, die runde Oberfläche der jeweiligen Kugeln setzt sich nun aus vielen Flächen zusammen. Die einzelnen Kugeln entsprechen den einzelnen Zellen eines Voronoi-Diagramms. Die Papierschachtel wird aufgeschnitten und die entstandene Zellstruktur lässt sich genauer betrachten. Durch die Folie sind die deformierten Kugeln weiterhin getrennt.

Die gleiche Anordnung lässt sich auch am Computer reproduzieren. (Bild unten)



in Folie eingewickelte Kugeln



Kugeln geschichtet



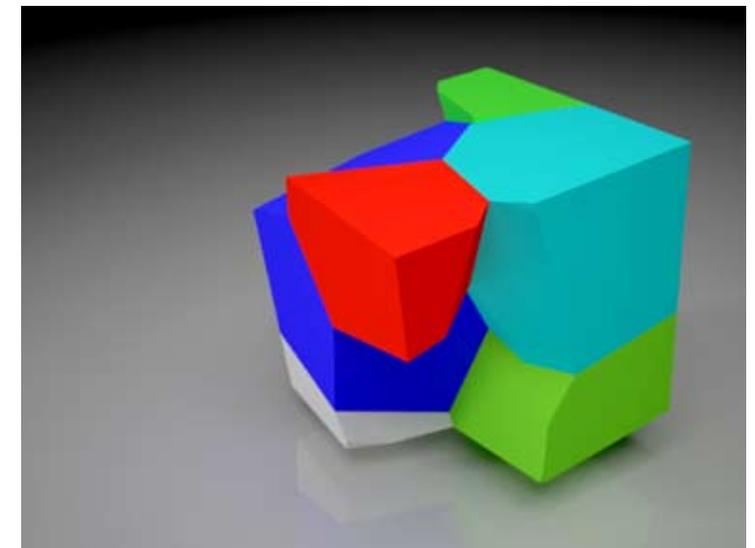
Kugeln gepresst



zu Voronoi-Zellen deformiert



aufgeschnittene Papierschachtel



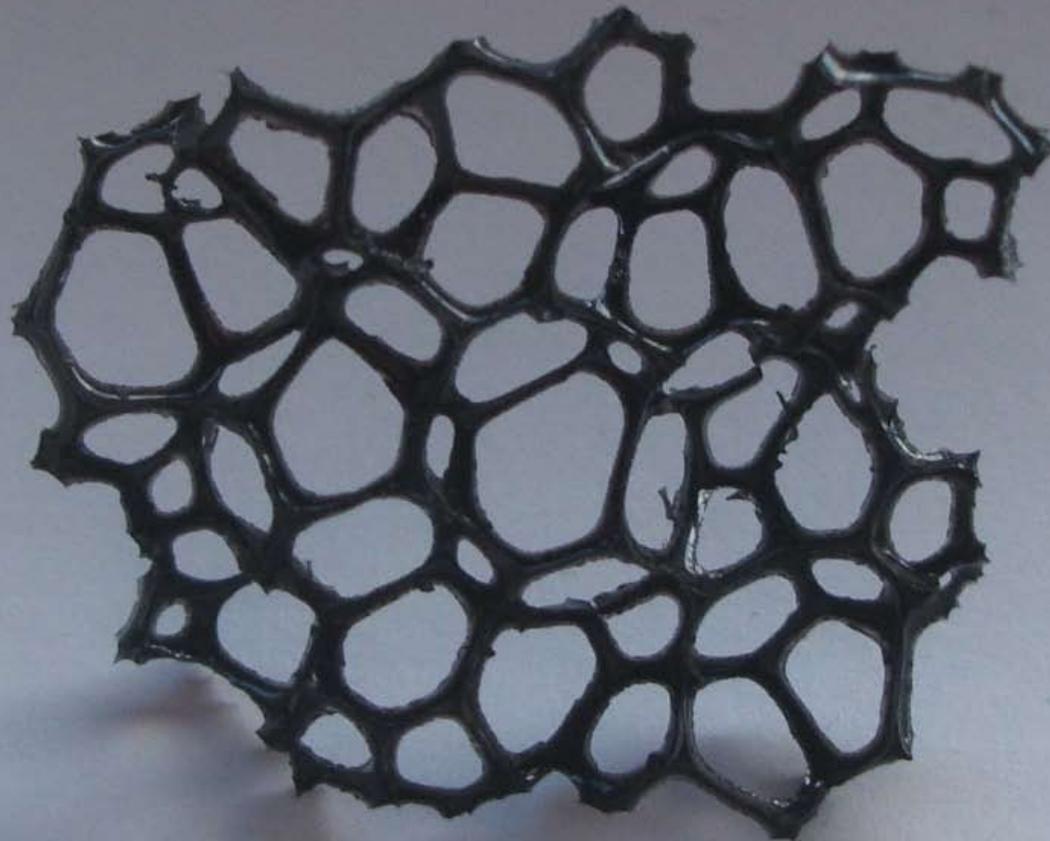
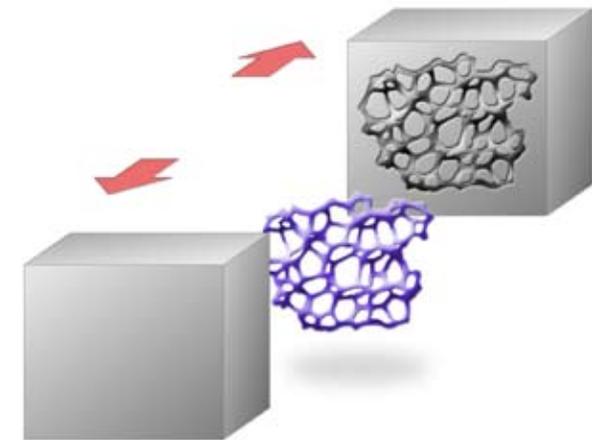
am Computer reproduzierte Form

BEISPIEL: ENTFORMBARKEIT

Spritzguss- und Metallpressverfahren

Die Abbildung zeigt ein aus PU-Schaum herausgeschnittenes Gitter. Das Gitter ist so geformt, dass es keine Hinterschneidungen hat, und somit für das Spritzgussverfahren verwendet werden könnte oder als Blech gestanzt und gepresst werden könnte.

Bild unten: Entformbarkeit im Spritzguss
Spritzgussform (grau) und entformtes Teil (blau)



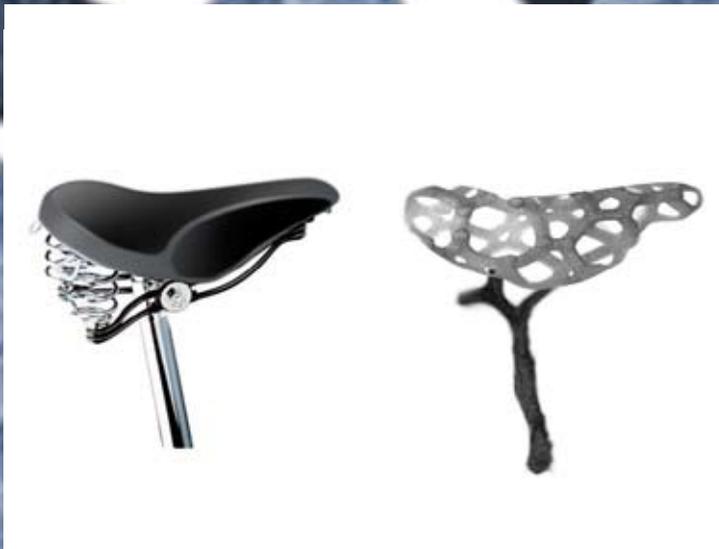
**BEISPIEL:
FAHRRADSATTEL**

Fahrradsattel in Schaumstruktur

Anstelle getrennte Elemente mit eigenen Funktionen zu verwenden (Federung, Polster, etc), könnte ein Fahrradsattel aus einem ganzen Teil bestehen. Der Bereich des Polsters soll fein verästelt sein um weich nachgeben zu können. Zur Sattelstange hin vergrößert sich die Schaumstruktur und wird geometrisch stabiler. Besteht der ganze Sattel aus einem festen Material, kann sich der Sattel bei Regen nicht mit Wasser vollsaugen...

Bild links:

gitterartiger Fahrradsattel





Die Bällchen sind in einer Folie zusammengepackt und eng zusammengepreßt...



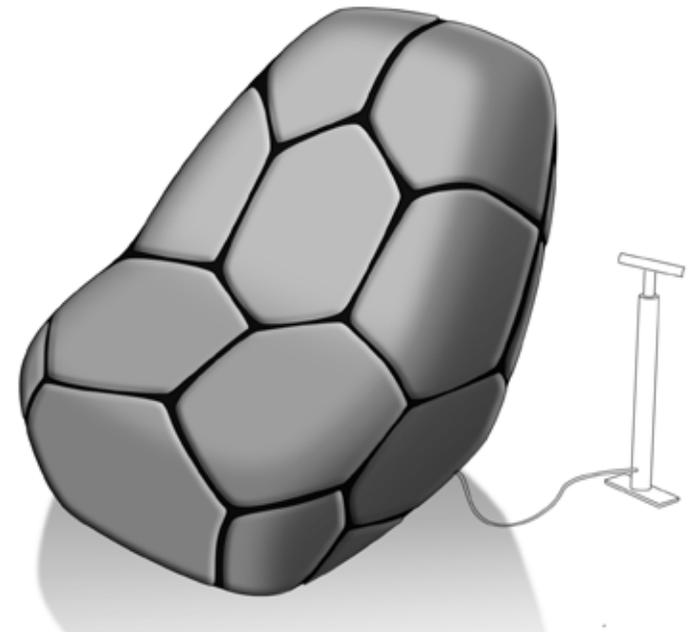
... und zu einem Modell für einen Sessel verformt

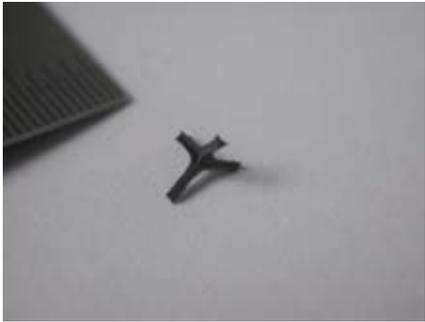
BEISPIEL: PNEUMATISCHE ZELLEN

aufblasbare Möbel

Ein Gegenstand wie etwa ein Sessel könnte aus aufblasbaren Zellen bestehen, und mit einem geringen Materialaufwand eine stabile Struktur bilden.

Wie eine Fußball könnten die Zellflächen zusammengeñäht sein und die Zellen mit einem aufblasbaren Ballon bestückt sein...





BEISPIEL: GITTERMÖDUL

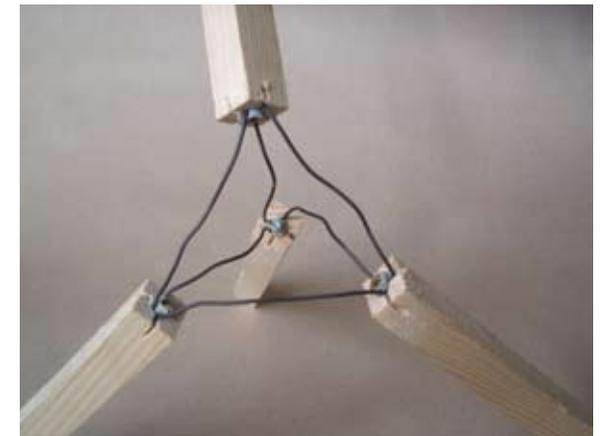
Voronoistruktur aus Gittermodulen aufgebaut

Es laufen immer vier Streben an einem Gitterpunkt eines Voronoi-Diagramms zusammen.

Aus dieser Regel läßt sich ein konstruktives Prinzip für ein modulares System ableiten, aus der sich beliebige Gebilde aufbauen ließen. Das System muß dabei die unterschiedlichen Längen der Streben bewerkstelligen können und auch die variierenden Winkel...

Bilder links: Holzmodell zusammenlaufender Streben. Wie könnte ein Modul aussehen mit dem sich die Winkel beliebig einstellen lassen?

Bilder unten: wenige Millimeter große Gitterpunkte aus einem PU-Schaum herausgetrennt



VISION

analog + virtuell = Innovation

Die Reihe an Beispielen zeigen eindrücklich das Potential in beiden Medien zu arbeiten; analog sowie digital. Das Handwerkliche Arbeiten erlaubt ungenaues aber inspirierendes "ausprobieren", und der Computer erlaubt es komplexe Geometrien exakt generieren und zielführend zu Anwendung zu bringen.

Hightech-Handwerk?

Es ist möglich, die Hochtechnologie mit dem Handwerklichen zu verknüpfen, und mit kleinen Produktserien die sich am Markt testen lassen wieder interessante und innovative Produkte zu entwickeln...

