





Ein endlos verwobener Raum

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
der Studienrichtung Architektur

Verfasst von

Johannes Schweighofer

Technische Universität Graz
Erzherzog-Johann-Universität
Fakultät für Architektur

Durchgeführt am Institut für zeitgenössische Kunst

Betreut von

o. Univ.-Prof. Hans Kupelwieser

Graz, 2012



Deutsche Fassung:
Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senates am 1.12.2008

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am (Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....
date

.....
(signature)

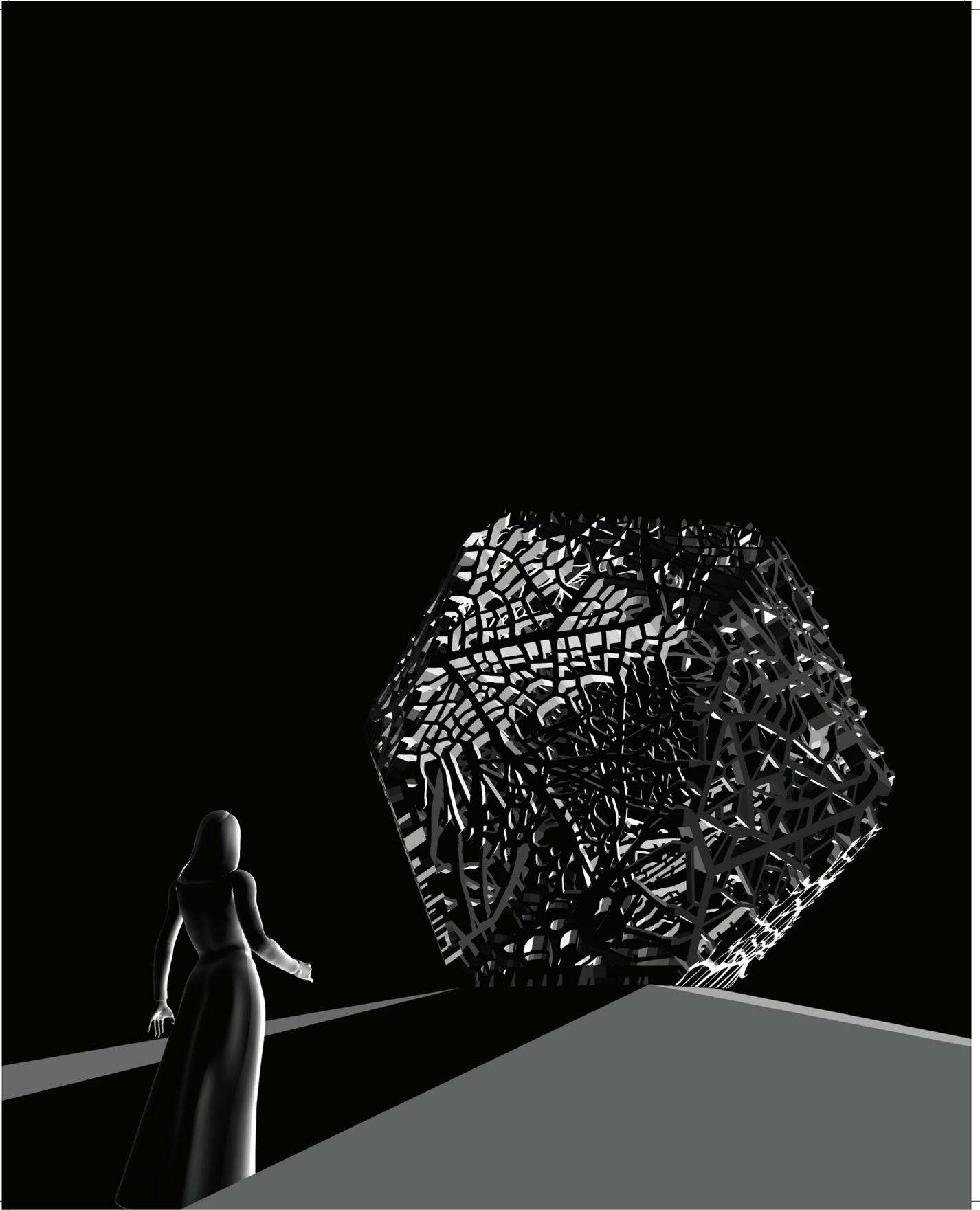


Inhalt

0	Einleitung	11
1	Theoretische Anknüpfungspunkte	13
1.1	Architektur und Skulptur	
	Versuch einer Annäherung an die Begrifflichkeit	13
1.2	Netze und Synergetische Systeme	16
1.2.1	Denkweisen einer komplexen Welt	16
1.2.2	Richard Buckminster Fuller	18
2	Idee und Projektbeschreibung	27
2.1	Formale Überlegungen	27
2.2	Ideenfindung	29
2.2.1	Themenfindung	29
2.2.2	Zielformulierung	31
2.2.3	Erste Ideen und Hirngespinnste	35
2.2.4	Domkonstruktion	37
2.3	Auswahl der Strukturvorlagen	38
2.3.1	Formprinzip der Struktur	38
2.3.2	Symbolgehalt der Struktur	39
2.3.3	Grad der Passgenauigkeit	39
2.4	Der Weg der Abhängigkeiten	40
2.4.1	Regelmäßige Flächenaufteilungen, Regelsystem im Ornament	42
2.5	Begegnung mit dem Objekt	44
2.6	Formensymbolik	46
2.7	Form und Proportion	48
3	Ausgewählte Strukturvorlagen	55
3.1	Vorgefundene Strukturvorlagen	55
3.1.1	Neuronales Netz	57
3.1.2	Mycel - Weitverzweigtes Sporennetz von Pilzen	59
3.1.3	Adernsystem eines Blattes	61
3.1.4	Adernsystem der menschlichen Hand	63
3.1.5	Jackson Pollock, Nummer 14	65
3.1.6	Fensterrose am Mailänder Dom	67
3.1.7	Verästelungen in Baumkronen – Kappilaren der Natur	69
3.1.8	Das Wegenetz vor Ougadougou	71
3.1.9	Blitz - Struktur einer Energieentladung	73
3.1.10	Strassengewirr - Marrakesch	75
3.1.11	Straßensysteme – Bewegungsstruktur der Menschheit	77
3.1.12	Gangesdelta – Lebensadern in Bangladesch	79
3.1.13	Jupitermond Europa	81
3.1.14	Internet – Nervensystem der Menschheit	83



3.1.15	Eine Simulation des Universums	85
3.2	Generierte Strukturvorlagen	87
3.2.1	Rissbild	89
3.2.2	Tanzen im Code	91
3.2.3	Tragwerksstrukturen	93
3.2.4	Voronoi - Algorhythmische Zellbildung	95
4	Arbeitsprozess - Dokumentation	99
4.1	Schichtungen - Ein Denkmodell	99
4.2	Experimente - Modelle - Versuche	101
4.3	Die Erstellung eines Prototyps	102
4.3.1	Erste Fräs- und Betonierarbeiten	102
4.3.2	Ultrahochfester Beton – die Materialwahl	104
4.3.3	Schalungen für Prototypen 20x20	106
4.3.4	Trennmittel Experimente	107
4.3.5	Probegüsse 20x20 UHPC	108
4.3.6	Ausschalen	109
4.3.7	Verkleben	110
4.3.8	UHPC Materialbeschaffung	111
4.4	Herstellung der UHPC Strukturdreiecke	113
4.4.1	Fräsarbeiten	113
4.4.2	Bandsäge	115
4.4.3	Holzschalung	117
4.4.4	Wachs	118
4.4.5	Betonierarbeiten	120
4.4.6	Ausschalen	122
4.4.7	Nachbearbeiten:	124
4.4.8	Holzikaeder	127
4.5	Laufender Prozess	127
	Literatur	129
	Abbildungsverzeichnis	133
	Danksagung	137



0 Einleitung

Die vorliegende Arbeit „Ein endlos verwobener Raum“ versucht anhand der prinzipiell einfachsten Raumsituation, nämlich der räumlich-sphärischen Umhüllung einer Person, ein Spannungsfeld zwischen generischen und spezifischen Formen aufzubauen.

Aus der Synthese verschiedenster, spezifisch vernetzter Strukturen wird ein Ikosaeder, das ist einer der fünf Platonischen Körper, konstruiert, Buckminster Fullers Domkonstruktionen und sein Grundsatz „Starting with the universe“ weisen dabei den Weg. Fuller verwendet das Konstruktionsprinzip des Ikosaeders als Basis für seine sphärischen Dome. In den gleichseitigen Dreiecken, aus denen das Ikosaeder besteht, sieht er kleinste synergetische Systeme.

Fullers Ideen von synergetischen Systemen („das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“) werden gemeinsam mit der Vorstellung eines grenzenlos verbundenen Weltkontinuums in einem Objekt formal verarbeitet.

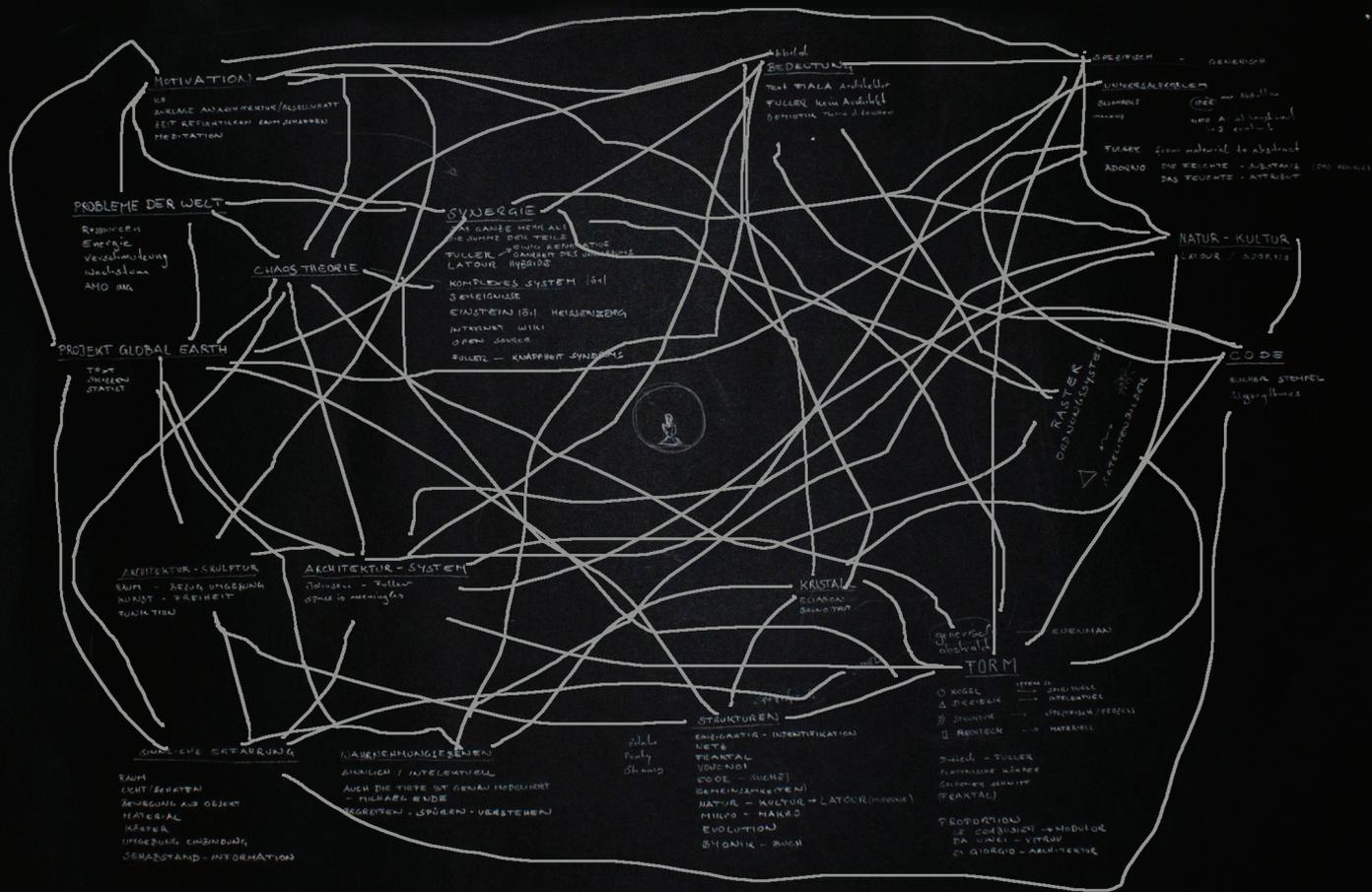
Ziel ist es, die konzipierte Form in Ultrahochfestem-Beton (UHPC) zu materialisieren und so einen begehbaren Raum zu schaffen, der sowohl von außen wie auch von innen erlebbar ist.

Der Gegensatz von „allgemein“ und „besonders“ wird im praktischen Umsetzungsprozess noch einmal aufgegriffen.

Die Negativform der Betonsegmente wird durch eine CNC-Fräsanlage aus XPS-Platten gefräst. Dieser computergestützte Herstellungsprozess kann im Wesentlichen auf eine Aneinanderreihung von 0 und 1 zurückgeführt werden. Die Herstellung und Bearbeitung der Positive, also der UHPC-Segmente, erfolgt allerdings per Hand. Dieser Prozess ist im Gegensatz zu computergesteuerten Prozessen vorwiegend intuitiv und ermöglicht die Rücksichtnahme auf Besonderheiten im Material.

So entsteht eine, zwar konstruktiv und systematisch anspruchsvolle, aber dennoch mit persönlichem Charakter ausgestattete Form.

Abb. 1:
Visualisierung: Ein endlos verwobener
Raum



1 Theoretische Anknüpfungspunkte

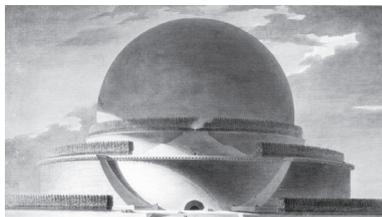
1.1 Architektur und Skulptur Versuch einer Annäherung an die Begrifflichkeit

„Große Baumeister ziehen keine Grenze zwischen Bildhauerei und Architektur. Die Skulptur ist nicht ein zusätzliches, zweitrangiges Element, dasselbe trifft auch auf die Landschaft zu. Alle drei sind untrennbar und müssen aus einem Guß sein.“¹



Abb. 2:
Pantheon, Rom (um 125 n. Chr.)

Abb. 3:
Bouleè, Kenotaph für Issac Newton
Entwurf (1784)



Linke Seite

Abb. 4:
Skizze, Ideogramm

Die Grenzen zwischen den Disziplinen Architektur und Skulptur sind fließend und es oft schwer sie klar zu ziehen. Auch bei frühen Beispielen der Architekturgeschichte sind Kategorien nicht immer eindeutig eingrenzbar. Die Pyramiden von Gizeh zählen zwar zu den Meilensteinen der Architekturgeschichte, aber ein kleiner Perspektivenwechsel reicht aus, um in den monolithischen Massen keine Architekturen, sondern geometrisch abstrakte Steinschichtungen zu sehen, welche Assoziationen zu Objekten der Minimalart oder der Landart aufrufen. In jedem Fall suchen sie aber eine dauerhafte Ordnung zu verkörpern. Die Beständigkeit des Materials fügt sich mit den klaren geometrischen Formen, den scharfen Kanten und glatten Flächen in ein allgemeines System symbolischer Anordnungen.² Peter Eisenman unterscheidet in der Architektur zwischen physischen, utilitaristischen und metaphysischen, symbolischen Funktionen.³ Dass die utilitaristischen Funktionen (wie z.B.: Schutz der Benutzer vor Witterung) nicht schon immer das vorherrschende Kriterium für Architektur darstellten, zeigt unter anderem das Pantheon in Rom (beg. 118 n. Chr.). Die Zentrale Öffnung (Durchmesser 9m) der exakt halbkugelförmigen Kuppel, deren Durchmesser auch der Kuppelhöhe entspricht, lässt nicht nur Tageslicht in den Raum, auch Regen und Kälte dringen ungehindert ein.⁴ Die Repräsentation einer grundsätzlich kosmischen Ordnung übertrifft hier etwache Nützlichkeitsabwägungen.⁵ Ähnliches gilt für den 1784 entstandenen Entwurf einer Newton-Gedenkstätte von Étienne-Louis Boullée, die jedoch nie gebaut wurde. Auch diesem Plan liegt ein sphärisches Formprinzip zu Grunde, das kosmologischer Repräsentation dient.⁶



Abb. 6:
Le Corbusier, Villa Savoye (1929-31)

Abb. 7:
Richard Serra, Intersection Basel
(90er Jahre)



Ein Ort, an dem die Schwierigkeit einer Unterscheidung zwischen Architektur oder Skulptur neu aufgeworfen wurde, markiert das von Peter Eisenman konzipierte Holocaust Mahnmal in Berlin (2005). Er selbst meint dazu:

„Oft jedoch wird dieses Mahnmal als eine ortsspezifische Skulptur, und nicht als Architektur angesehen. Nichts anderes als eben die Beziehung des Mahnmals zum - dem der Ortsspezifität entgegengesetzten - Begriff des Bodens ist es jedoch, die diesem Werk – als einem Werk der Architektur – seine wichtige symbolische Bedeutung gibt.“⁷

Eisenman unterscheidet die Disziplinen also in Hinblick auf Ortsspezifität und Bodenbezug. Bis ins 20. Jahrhundert waren dabei die Unterschiede klar. Skulptur war ein figürliches, bewegliches Objekt auf einem Sockel, Architektur hingegen umschloss Raum und war fest im Boden verankert und somit unbeweglich. In der Moderne versuchten Architekten ihre Architektur, zumindest formal von dieser Erdverbundenheit zu lösen. In Le Corbusiers Architekturprogramm war eine der fünf zentralen Forderungen, das Abheben der Architektur vom Boden durch Stützen und somit die Auflösung des Erdgeschosses. In der Villa Savoye (1929-31) setzte er diese Forderung eindrucksvoll um. Die Skulptur des 20. Jhds. hingegen sucht vermehrt eine starke Verbindung mit dem Ort. Sie strebt Ortsspezifität an und arbeitet häufig mit raumbildenden Elementen.⁸ Richard Serras raumbildende Skulpturen sind hierfür bezeichnend. Sie sind häufig aus einfachem Material (häufig rostender Stahl) konstruierte Objekte. Durch ihre Begehbarkeit spielen sie mit der Wahrnehmung der Rezipienten, die für kurze Zeit selbst Teil der Raumkonzeption werden.

Linke Seite

Abb. 5:

**Peter Eisenman, Holocaust-Mahnmal,
Berlin (2005)**

„Es geht also in der Architektur um mehr als praktische Bedürfnisse und Wirtschaft. Sie hat mit existentiellen Sinngehalten zu tun.“⁹

Der Vertreter der Landart Andy Goldsworthy wiederum, schafft durch Schlichtung und Verwebung natürlicher Materialien, eindrucksvolle Raumsituationen. Die Formprinzipien sind meist einfach und auf geometrische Grundkörper rückführbar. Der optische Ausdruck bleibt jedoch durch die Verwendung einzigartiger Bauteile immer spezifisch. Der Prozess des „Entstehens“ wie auch der des „wieder Vergehens“ wird in Goldsworthys Arbeiten stark thematisiert.

Zeitlichkeit spielt auch beim für die Expo 2002 von Diller und Scofidio konzipierten „Blur Building“ eine wesentliche Rolle. Nur solange Wasserdampf – gleichsam als Baumaterial – aus der ovalen Plattform austritt, ist auch eine raumbildende Wirkung gegeben. Das „Gebäude“ macht architektonischen Raum als Wolke erlebbar.

Verschiedenen wissenschaftliche wie auch künstlerische Disziplinen, verschmelzen aber sicherlich nicht nur in diesen Fällen.

„Architektur ist nicht gleich Bauen. Die Architektur versteht sich als Kunst. Das Bauen folgt Gesichtspunkten der Zweckmäßigkeit, die sich in Kriterien fassen und miteinander verrechnen lassen. Zur Architektur wird das Bauen, in dem es sich auf Begehren einlässt, die nicht so genau wissen, was sie wollen. Die Kunst ist das große Labor zur Erforschung von Wünschen, die das Bewusstsein wohl hat, aber erst kennen lernt, in dem sie in Erfüllung gehen.“¹⁰

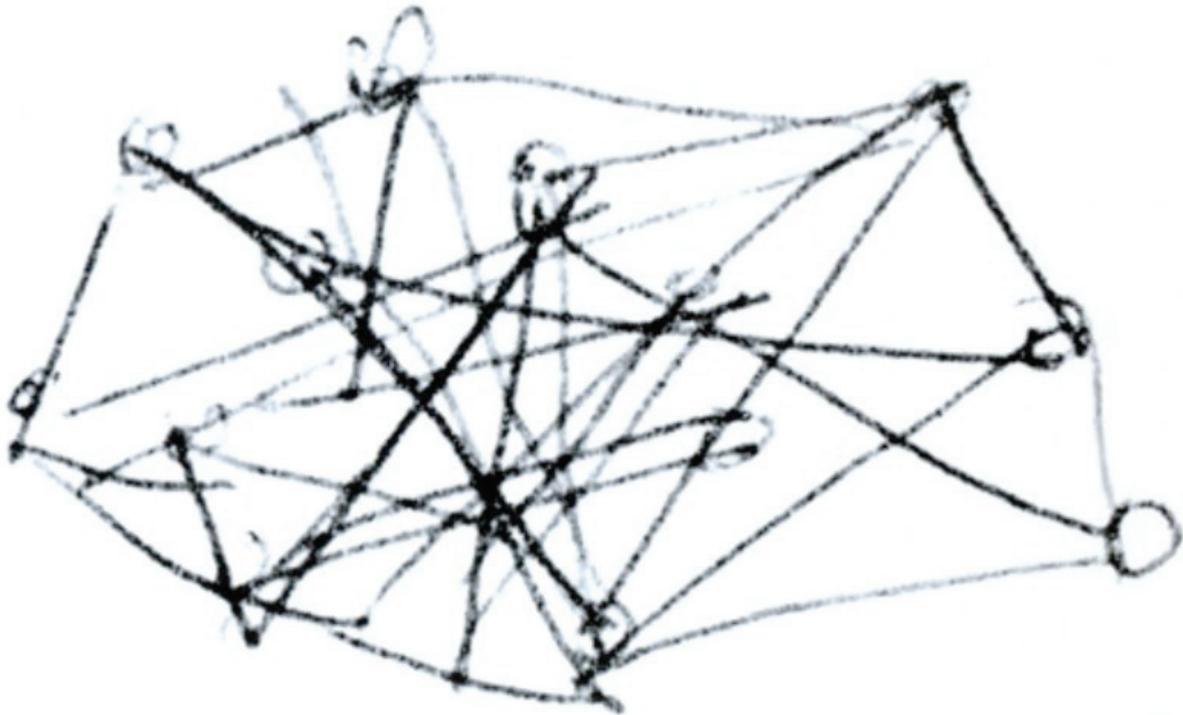


Abb. 8:
Goldsworthy, Zweigschichtung

Abb. 9:
**Diller and Scofidio, Blur Building,
Swiss Expo (2002)**



1.2 Netze und Synergetische Systeme



1.2.1 Denkweisen einer komplexen Welt

Der französische Philosoph Bruno Latour beschreibt in seinem Essay: „Wir sind nie modern gewesen – Versuch einer symmetrischen Anthropologie“ ein Denkmodell ohne klare Grenzziehungen: Die dualistische Trennung zwischen einem Objekt - Natur Pol und einem Subjekt - Gesellschafts Pol wird von ihm nicht weiter akzeptiert. Zwischen diesen Polen gibt es, und gab es immer Hybride, d.h. vernetzte und chaotisch überlagerte Phänomene. Der Versuch, diese Phänomene durch Zuordnungen zu trennen und damit eindeutig zu machen, gelingt immer weniger. Je stärker die analytische Anstrengung der Unterteilung, desto ausgeprägter werden die unter der Oberfläche versteckten Hybride. Ihre Anerkennung führt aber zu einem Denken in nicht abgrenzbaren Geweben, welche die vermeintliche Klarheit der sauber getrennten Kategorien im abendländischen Denken ablöst.¹¹ Am Beginn des erwähnten Essays erklärt Latour beispielhaft was unter diesbezüglichen Hybriden zu verstehen ist.

Abb.10:
Allison & Peter Smithon,
Ideogramm of a net of human relations

„Auf Seite vier meiner Tageszeitung lese ich, daß die Meßergebnisse über der Antarktis dieses Jahr nicht besonders gut sind: Das Loch in der Ozonschicht vergrößert sich gefährlich. Beim Weiterlesen komme ich von den Chemikern der Stratosphäre zu den Generaldirektoren zweier Chemiefirmen. Diese wollen ihre Produktionsverfahren ändern, um die >>harmlosen<< Flurchlorkohlenwasserstoffe zu ersetzen, die des Verbrechens gegen die Ökosphäre angeklagt sind. Einige Abschnitte weiter sind es die Staatschefs der großen Industrienationen, die sich mit Chemie, Kühlschränken, Spraydosen und Edelgasen beschäftigen. Am Ende des Artikels widersprechen die Meteorologen jedoch den Chemikern und sprechen von zyklischen Schwankungen, die unabhängig von menschlichen Einflüssen sind. Nun wissen die Industriellen nicht mehr, was zu tun ist. Auch die Staatsoberhäupter zögern. Soll man abwarten? Ist es schon zu spät? Zuletzt mischen sich noch die Länder der Dritten Welt und die Ökologiebewegung in die Debatte und sprechen von internationalen Abkommen, vom Recht der zukünftigen Generationen, von Moratorien und vom Recht auf Entwicklung. Ein und derselbe Artikel vermischt chemische und politische Reaktionen. Ein roter Faden verbindet die esoterische Wissenschaft mit Niederungen der Politik, den Himmel über der Antarktis mit irgendeiner Fabrik am Rande von Lyon, die globale Gefahr mit der nächsten Wahl oder Aufsichtsratssitzung. Größenordnungen, zeitlicher Rahmen, Einsätze und Akteure sind nicht vergleichbar, und doch sind sie hier in die gleiche Geschichte verwickelt.“¹²

Eine klare Differenzierung in Kategorien kann nicht länger gerechtfertigt werden, doch die Forderung danach bleibt dennoch bestehen, zu schwer fällt es uns, von den Sicherheiten des linearen Denkens Abstand zu nehmen.

„Bringen wir bloß nicht Erkenntnis, Interesse, Justiz und Macht durcheinander! Vermengen wir bloß nicht Himmel und Erde, Globales und Lokales, Menschliches und nicht Menschliches! >>Aber nicht wir vermengen<<, kann man darauf nur antworten, >>aus diesem Gemenge, aus diesen Verwicklungen besteht unsere Welt.<<“¹³

In dieser Argumentation sind durchaus Parallelen zu Fullers Argumentation zu erkennen, obwohl in Fullers positivistischer Sichtweise noch der Glaube an eine Lösung der globalen Probleme durch technische Innovationen besteht.

1.2.2 Richard Buckminster Fuller

Ein Genius der Technik Erfinder und Denker mit ganzheitlich, metaphysischer Ausrichtung. Buckminster Fuller als Architekten zu bezeichnen würde ihm wohl nicht gerecht werden. Aber auch Benennungen wie Philosoph, oder „Techniker“ wären zu kurz gegriffen, obwohl er in all diesen Bereichen große Leistungen erbracht hat. Buckminster Fuller entzieht sich der simplen Kategorisierung, und dies entspricht wohl am besten seinem Wesen. Spezialisierungen waren ihm immer zuwider und er entlarvte diese auch als Instrumente der Machtausübung:

„Aus <<Teile und Herrsche>> folgt <<Geteilt sein heißt beherrscht sein>>. Spezialisiert sein heißt geteilt sein. Spezialisierung, in der die Menschheit befangen ist, wurde von bewaffneten Analphabeten, den Eroberern von gestern, erfunden. ... Erst wenn man auf Spezialisierung und Nationen verzichtet, wird die Menschheit eine Überlebenschance haben. Es geht darum: alle oder keiner.“¹⁴

Fullers Arbeit kann nur dann verstanden werden, wenn man sich von einer logisch - rationalen Denkweise, für die es eine Folge von Ursache und Wirkung gibt, verabschiedet. Diese entspricht nicht dem Bild, das er vom Menschen und vom Universum hat. Er betrachtet den Menschen als ein für sich geschlossenes System und die Gesamtheit der Menschen als ein geschlossenes System höherer Ordnung. Kommunikation ist dabei das entscheidende Kriterium. Fuller gesteht die Fähigkeit zur Kommunikation, im Gegensatz zur Transaktion, ausschließlich einem „metaphysischem Geist“ zu, der für ihn den Menschen ausmacht.¹⁵

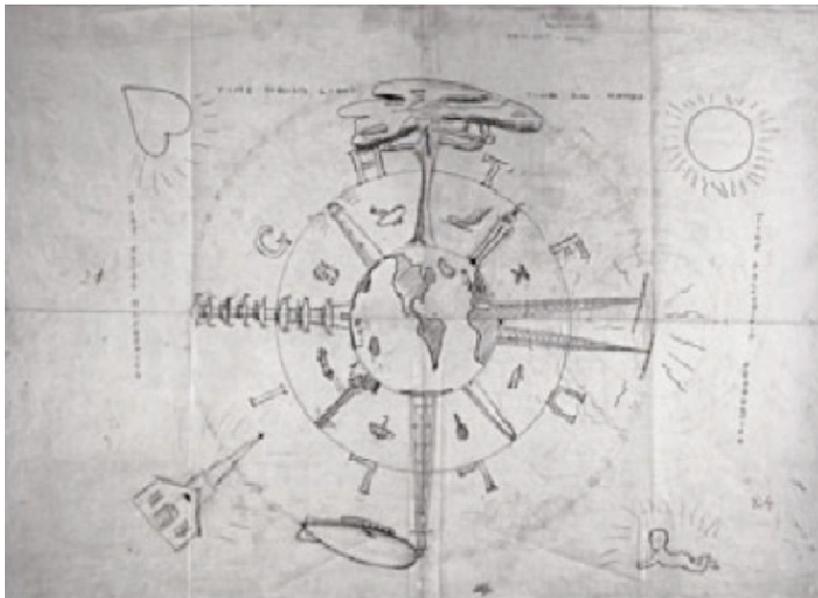


Abb. 11:
Buckminster Fuller,
Sketch of Lightful Houses (um 1928)

„Der Mensch ist ein in sich abgeschlossenes, mikrokommunizierendes System. Die Menschheit ist ein makrokommunizierendes System. Das Universum ist ein seriell kommunizierendes System; ein Szenario nur teilweise einander überlappend, nichtsimpltaner, irreversibler, transformativer Ereignisse.“¹⁶

Fuller versteht schließlich auch die Erde als geschlossenes System, an dem wir Menschen teilhaben. Deutlich wird das schon an einem von ihm gewählten Buchtitel: „Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde“.

Die aktuellen Herausforderungen, vor denen die gesamte Menschheit heute steht, geben ihm dabei Recht. Klimaerwärmung, nukleare Gefahren, Umweltverschmutzung, Rohstoffverknappung, Mangel an nutzbaren Landflächen, Überfischung, Migrationsströme usw., die Liste ließe sich wohl noch lange fortschreiben.

Schon 1952 startet das von ihm, gemeinsam mit John Mc Hale und Studenten der Cornell University, University of Minnesota und Princeton University erstellte Projekt Geoscope. Hierbei handelt es sich um einen überdimensionalen, begehbaren Globus, der als Bildschirm fungiert und die Welt und ihre Prozesse auf der Innenseite dieser Sphäre durch 10 Millionen computergesteuerte Lichtpixel darstellt. Ressourcenverteilungen, Wetterentwicklungen und Verlagerungen von Gütern der Weltbevölkerung usw. können so veranschaulicht werden. Der Rezipient wird zum Mittelpunkt der Projektion, womit ein Bewusstsein für globale Zusammenhänge vermittelt wird.¹⁷

Fuller erkannte, dass globale Mangelerscheinungen die Hauptursachen für zahlreiche Konflikte darstellen. Aber Verknappung, etwa bei Grundnahrungsmitteln, ist kein Naturgesetz sondern wäre mit ausreichendem Willen der Menschen, einfach zu beheben. Die Weltnahrungsmittelproduktion reicht nämlich ohne Probleme aus, um die gesamte Weltbevölkerung zu ernähren.

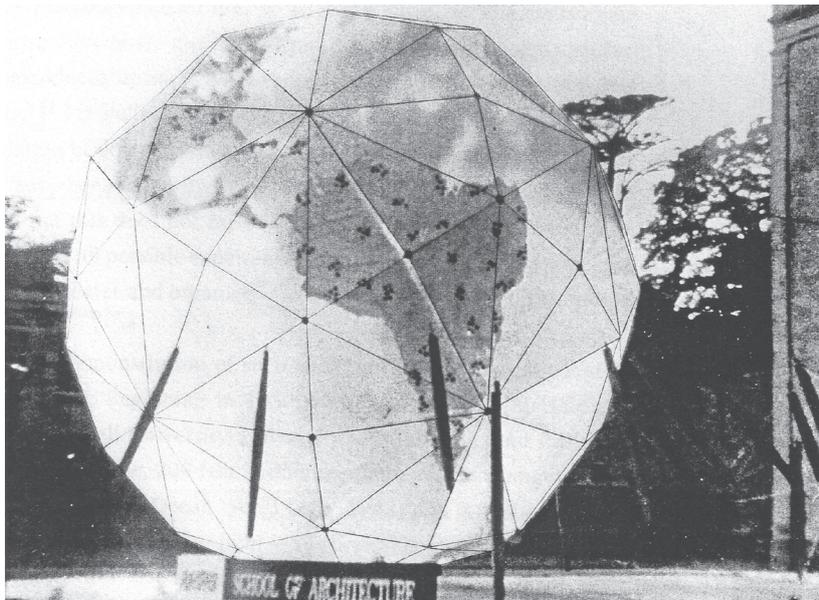


Abb. 12:
Buckminster Fuller, Geoscope (1952)

„Da sich jedoch nun in immer weiteren Kreisen das Wissen verbreitet, dass der Lebensbedarf aller reichlich gedeckt ist und weiterhin gedeckt werden kann, heute wie morgen, kann zum ersten Mal in den drei Millionen Jahren der menschlichen Anwesenheit auf diesem Raumschiff die Selbstsucht nicht mehr länger als unmittelbarer Eigenwert rationalisiert werden. Dies ist eine der dramatischsten Wendungen der ganzen Geschichte.“¹⁸

Der Schlüsselbegriff zu Buckminster Fuller heißt allerdings Synergie, ein Verhalten ganzer Systeme zu denen er sowohl den Mensch als Einheit als auch die Menschheit als Gesamtheit zählt.

„Ich definiere <<Synergie>> wie folgt: Synergie ist das einzigartige Verhalten ganzer Systeme. Das nicht aus dem Verhalten ihrer jeweiligen Subsysteme vorausbestimmt wird.“¹⁹

Bei Aristoteles heißt es in ähnlicher Weise:

„Das was aus Bestandteilen so zusammengesetzt ist, dass es ein einheitliches Ganzes bildet, ist nicht nach Art eines Haufens, sondern wie eine Silbe, das ist offenbar mehr als bloß die Summe seiner Bestandteile. Eine Silbe ist nicht die Summe ihrer Laute: ba ist nicht dasselbe wie b plus a, und Fleisch ist nicht dasselbe wie Feuer plus Erde.“²⁰

In Zeiten von Web 2.0, wo Kommunikationssysteme wie Wikipedia, Google Earth oder Facebook die Menschen zusehends vernetzen und zu Ereignissen führen, die kaum durch das Verhalten oder Wissen von einzelnen Menschen erklärt oder kontrolliert werden können, wird diese synergetische Weltansicht nachvollziehbarer. Fullers Visionen stoppen hier aber nicht, er beschwört eine neue transzendente Gesellschaft herauf.

„Zu gegebener Zeit werden wir eine weltweite menschliche Integrität erkennen und mit jedem Grad physischer Integration wird ein neuer Grad metaphysischer Freiheit erreicht werden.“²¹

Abb. 13:
Buckminster Fuller, Tensegrity



Aber Fuller verliert sich keineswegs in theoretischen Überlegungen und Spekulationen, sondern beweist immer wieder seine Fähigkeit, diese in praktische Anwendungen umzusetzen. Vom „Dymaxion house“, einer durch Luftschiffe transportablen, unabhängigen Wohneinheit, über „Tensegrity“, eine Tragstruktur, in welcher sämtliche Druckstäbe durch Seile miteinander verbunden sind, bis zu den riesenhaften geodätischen Domkonstruktionen, Kuppeln aus Metallstäben, die durch Bildung gleichseitiger Dreiecke konstruiert werden und sich durch Leichtigkeit, modulare Bauweise und hohe Leistungsfähigkeit auszeichnen, reicht das Spektrum. Synergetische Konstruktionen, wie die geodätische Kuppel „Biosphäre“, die anlässlich der Expo 67 in Montreal errichtet wurde, benötigen bei extrem hoher Tragfähigkeit einen sehr geringen Materialaufwand. Versucht man das Verhalten eines der-

artigen Systems zu analysieren, reicht es nicht aus, seine Einzelteile der Reihe nach zu untersuchen. Es ist notwendig, das Gesamtsystem zu betrachten und es dem Einzelteil gegenüber zu stellen. Die komplexen Abhängigkeiten der einzelnen Teile untereinander machen ein lineares Denken unbrauchbar. Alle diese Entwicklungen folgen Fullers Grundsatz „starting with the Universe“ und sind dennoch bis ins kleinste Detail durchgearbeitet. Ein synergetisches Prinzip ist allen Arbeiten immanent.

„I did not set out to design a house that hung from a pole, or to manufacture a new type of automobile, invent a new system of map projection, develop geodesic domes, or Energetic-Synergetic geometry. I started with the universe as an organization of energy systems of which all our experiences and possible experiences are only local instances. I could have ended up with a pair of flying slippers.“²²

Obwohl sich Fuller immer strikt gegen die Repräsentation gestellt hat, kann man die Symbolkraft seiner Arbeiten, insbesondere die der geodätischen Dome nicht leugnen. Schon ihre generische Form weist auf eine transzendente Dimension hin, die Fuller zwar nicht repräsentieren will, aber durch technische Errungenschaften zu erreichen hofft. Wie schon erwähnt, geht er von einer Rettung der Menschheit durch technologische Entwicklung aus.²³

Er kritisierte die Architekten der Moderne wegen ihrer hinter Funktionalität und industrieller Konstruktion versteckten Repräsentationsgelüste. Die technisch, strukturellen Elemente der modernen Architektur, die vorgeben utilitaristischen zu sein (wie Plattformen, Kabel, Stiegen und Balkone) würden dazu eingesetzt, größtmögliche Aufmerksamkeit zu erregen, nur um ihrer eigentlichen Aufgabe gerecht zu werden, propagandistisch einen neuen Lebensstil zu verkörpern.²⁴ Von den Bedeutungen von Raumkonstellationen, Wegsituationen, Blickrichtungen, technischen Konstruktionen und Materialien, die den wesentlichen Teil der architektonischen Sprache ausmachen, wollte Fuller nichts wissen. Ihm geht es alleine um Leistung und Effizienz im Umgang mit den vorhandenen Ressourcen.²⁵

*“Space is meaningless, ...
We have relationships - but not space“²⁶*

Er proklamiert den Weg „from material to abstract“. Das heißt zwar nicht, dass Fullers Arbeit nur der Versuch ist, alle möglichen Ereignisse zu abstrahieren und damit in eine transzendente Erfahrung überzuführen.²⁷ Fuller geht von universellen Wahrheiten aus, die in abstrakten Strukturen auftreten. So erkennt er im Dreieck als flächige und im Tetraeder als räumliche Struktur die Grundbausteine des Lebens, aus denen alles Sein aufgebaut ist.²⁸

Dem entgegen steht die Einsicht, dass in der Natur keine absoluten Einheiten oder Bausteine festzumachen sind. Laut Adorno bedient sich die Aufklärung der Abstraktion als eines Reinigungsprozesses, der eine Entmythologisierung anstrebt. Existenz wird nur jenen Erscheinungen zuerkannt, die auf abstrakte Größen reduzierbar sind. Diese Kategorisierung macht auch vor den Menschen selbst nicht halt, und wird zu einem totalitären System. Die Menschen schaffen durch Objektivierung der Naturphänomene ein Herrschaftsverhältnis über die Natur, das sie durch Entfremdung von derselben bezahlen.²⁹

„Die bürgerliche Gesellschaft ist beherrscht vom Äquivalent. Sie macht Ungleichnamiges komparabel, indem sie es auf abstrakte Größen reduziert.“³⁰

Das rationale Denken erschöpft sich in der zweckmäßigen Erfüllung von Aufgaben, die ihm von einem umfassend akzeptierten Wirtschaftssystem diktiert werden.

„Der technische Prozeß, zu dem das Subjekt nach seiner Tilgung aus dem Bewußtsein sich versachlicht hat, ist frei von der Vieldeutigkeit des mythischen Denkens wie von allem Bedeutenden überhaupt, weil Vernunft selbst zum bloßen Hilfsmittel der allumfassenden Wirtschaftsapparatur wurde.“³¹



Abb. 14:
Buckminster Fuller, Biosphère
US-Pavillon zur Expo (1967)

Letztendlich kann die Abstraktion der Wirklichkeit aber nie gerecht werden. Die mathematischen Gesetze, welche anscheinend die natürlichen Erscheinungen so treffend formulieren, sind nur einigermaßen passgenaue Schablonen, welche den Erscheinungen übergestülpt werden. Albert Einstein hat diese Erfahrung folgendermaßen formuliert:

„Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit.“³²

Buckminster Fuller ist zwar Überzeugt von der Existenz absoluter Ordnungssysteme, verliert sich aber nicht im rein analytischen Vorgehen, sondern versucht in Ganzheiten zu denken.

„Ich suchte in der Ganzheit von Erfahrungen und Wissen, und weniger in spezialisierten Besonderheiten nach einem umfassiven mathematischen Ordnungsmuster.“³³

1970 entdeckte der japanischen Chemiker Eiji Osawa sphärische Kohlenstoffverbindungen die später wegen ihrer Ähnlichkeit zu Fullers geodätischer Domkonstruktionen Fulleren getauft wurden.³⁴

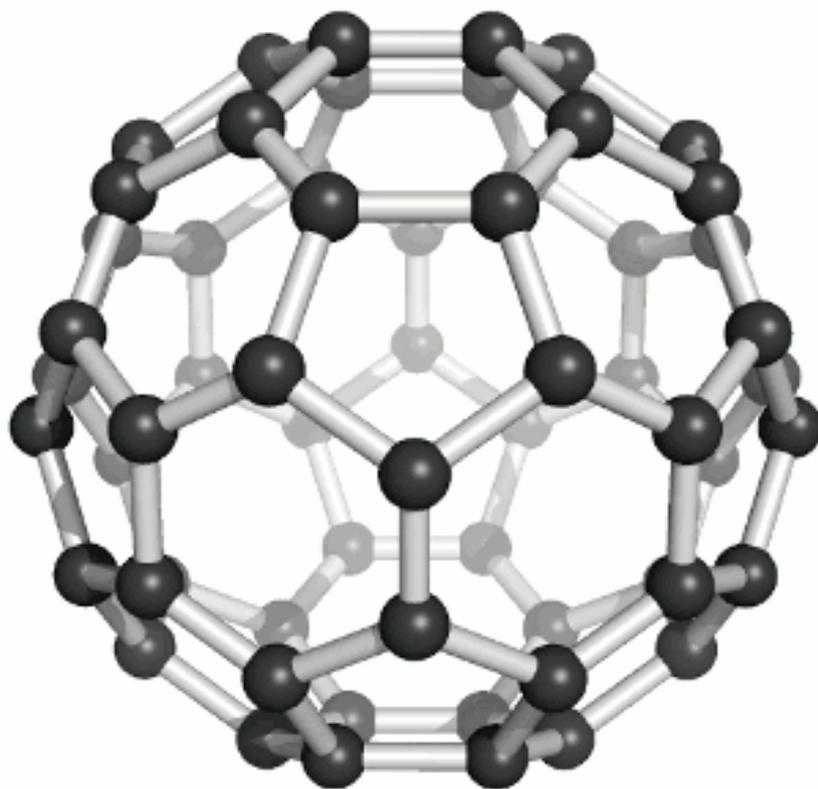
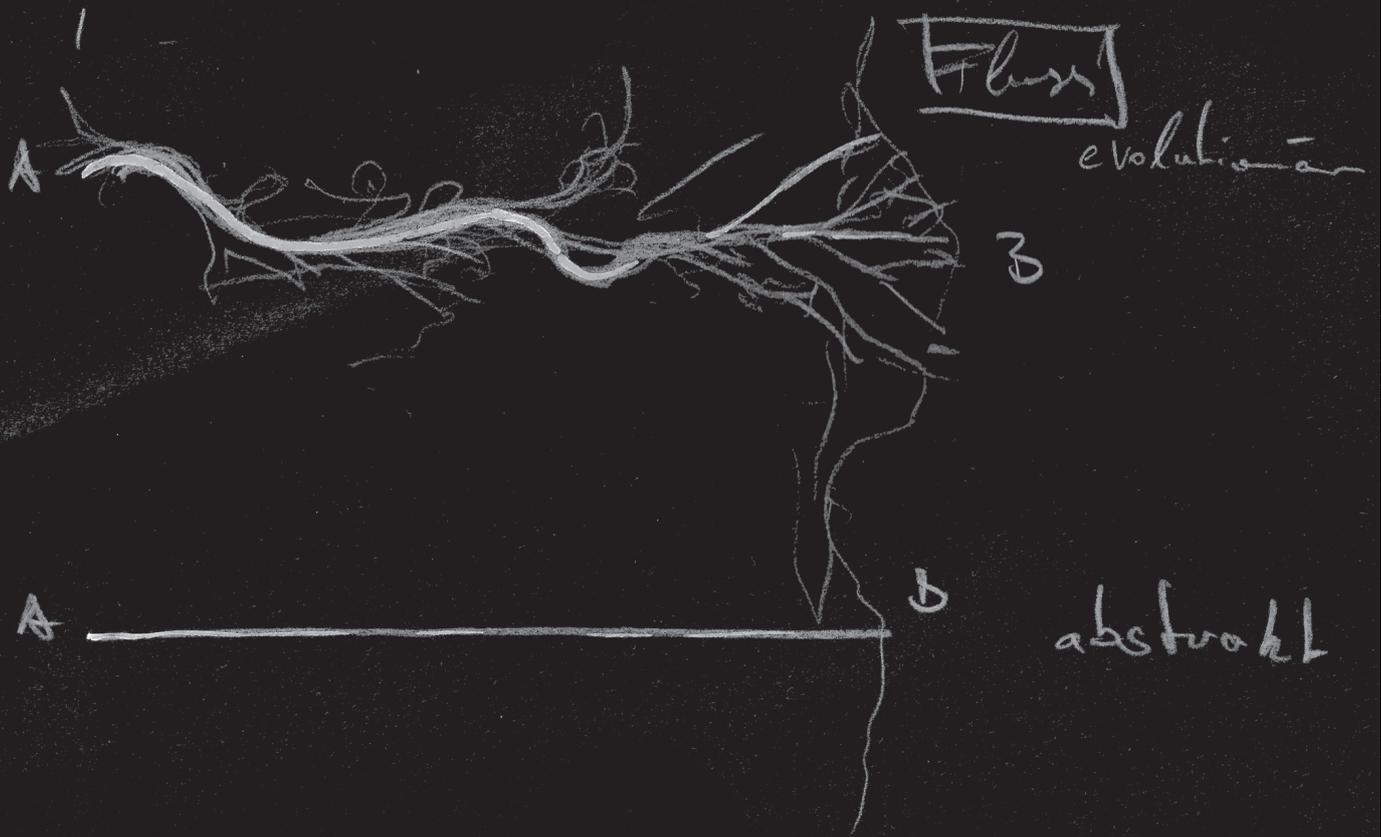


Abb. 15:
C60, sphärisches Kohlenstoff Molekül,
als Buckminster-Fulleren bezeichnet

Endnoten

- 1 Rudofsky, Bernard: Architektur ohne Architekten. Eine Einführung in die anonyme Architektur, Salzburg-Wien 1993, 9.
- 2 Vgl. Norberg-Schulz, Christian: Vom Sinn des Bauens. Die Architektur des Abendlandes von der Antike bis zur Gegenwart, Stuttgart-Mailand 1979, 6.
- 3 Vgl. Eisenman, Peter: Die Formalen Grundlegungen der modernen Architektur, Zürich-Berlin 2005, 79.
- 4 Vgl. Koch, Wilfried: Baustilkunde. Das Standardwerk zur europäischen Baukunst von der Antike bis zur Gegenwart, Gütersloh-München 2005, 34
- 5 Vgl. Norberg-Schulz 1979, 42.
- 6 Vgl. Lloyd, H. Seton u.a.: Baukunst. Von den Anfängen bis zur modernen Architektur, Gütersloh 1966, 295f.
- 7 Eisenman, Peter: Die Stille des Übermasses, in: Rauterberg, Hanno/Binet, Hélène: Holocaust Mahnmal Berlin. Eisenman Architects, Baden 2005, 65.
- 8 Vgl. Ebd., 65-67
- 9 Norberg-Schulz 1979, 5.
- 10 Franck, Georg: Sinnliche Intelligenz. Was die Architektur umtreiben sollte, in: Franck, Georg u.a.: What moves Architecture? (In the next five Years), Zürich, 2006, 11.
- 11 Vgl. Latour, Bruno: Wir sind nie modern gewesen. Versuch einer symmetrischen Anthropologie, Frankfurt am Main 2008 19-21.
- 12 Ebd., 7.
- 13 Ebd., 9.
- 14 Fuller, R. Buckminster: Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde und andere Schriften, Hamburg 1973, 91.
- 15 Vgl. Ebd., 85.
- 16 Ebd., 85.
- 17 Vgl. Hays, K. Michael: Fullers Geological Engagements with Architecture, in: Hays, K. Michael u.a. (Hg.): Buckminster Fuller. starting with the universe, [on the occasion of the exhibition ... Whitney Museum of American Art, New York, June 26 –September 21, 2008 ...], New Haven u.a. 2008, 9f.
- 18 Fuller, R. Buckminster: Goldlöckchen und die drei Bären, Köln 1983, 146.
- 19 Fuller 1973, 112.
- 20 Aristoteles: Metaphysik, (Übers. Adolf Lasson) Jena 1907, 129.
- 21 Fuller 1973, 82.
- 22 Fuller, Buckminster zit.n. Hays 2008, XII
- 23 Fuller 1973, 116.
- 24 Vgl. Hays 2008, 5.
- 25 Ebd., 6.
- 26 Fuller, Buckminster: Utopia or Oblivion: The Prospects for Humanity, New York-Bantam 1969, 18.
- 27 Vgl. Hays 2008, 9.
- 28 Ebd., XII
- 29 Vgl. Horkheimer, Max/ Adorno, Theodor W.: Dialektik der Aufklärung. Philosophische Fragmente, Frankfurt am Main 1988, 13-15.
- 30 Horkheimer /Adorno 1988, 13.
- 31 Horkheimer /Adorno 1988, 36.
- 32 Einstein, Albert: Festvortrag vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften in Berlin über Geometrie und Erfahrung, 1921, in: Seelig, Carl (Hg.): „Mein Weltbild“, 1991, 196ff.
- 33 Fuller 1973, 112.
- 34 Vgl. Fullerene, in: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie, Online unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Fullerene> (Stand: 7.6.2011)



2 Idee und Projektbeschreibung

2.1 Formale Überlegungen

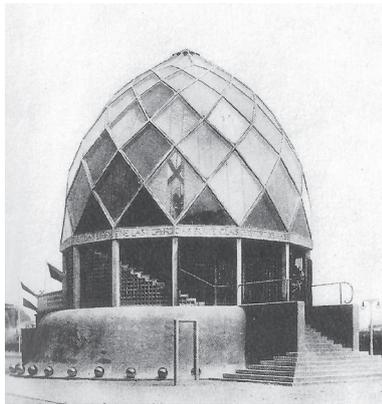


Abb. 16:
Bruno Taut, Kristalline Architektur,
Werkbund-Ausstellung, Köln (1914)

Das Objekt sucht ein Spannungsfeld zwischen generischer und spezifischer Form aufzubauen.

Peter Eisenman definiert den Begriff „generisch“ als Bezugnahme auf die platonischen Grundkörper, die in enger Verwandtschaft mit der platonischen Idee eine transzendente Dimension haben. Sie zeichnen sich durch inhärente, objektive Charakteristika aus und liegen somit jenseits ästhetischer Präferenzen. Sie sind grundsätzlich statisch und nicht zum Wandel fähig. Dem entgegengesetzt steht die spezifische Form. Sie ist immer Antwort auf eine spezielle Anforderung und von Natur aus wandlungs- und wachstumsfähig.¹

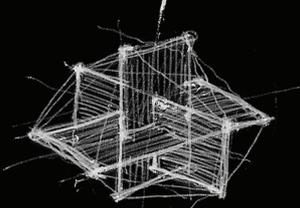
Die Form des Ikosaeders steht stellvertretend für das Abstrakte der platonischen Idee. Sie spiegelt den modernen Traum von absoluter Rationalität wieder: einen Kristall von strahlender Klarheit. Dieser Kristall wird neu, aus einer Sammlung von Besonderheiten, konstruiert. Netzwerke aus den verschiedensten Bereichen der Erfahrung werden zu einer konzentrischen Raumumhüllung verflochten. Sie stehen als Repräsentationen für die unendliche Menge einzigartiger, dynamischer Gewebe, die uns sowohl umgeben, wie uns auch innewohnen. Wir konstruieren sie in unseren technischen Er rungenschaften und in unseren geistigen Bezugssystemen.

Dreiecksformatige Ausschnitte aus diversen Strukturvorlagen (im weiteren Strukturdreiecke genannt) werden zu einem Ikosaeder verbunden. Jedes dieser gewählten Strukturdreiecke ist somit einzigartiger Teil des Gesamtsystems und repräsentiert ein spezielles Ereignis im Universum.

Linke Seite

Abb. 17:
Skizze, Evolutionär und Abstrakt

PLATONISCHE KÖRPER
GOLDENE SCHNITT



Le Corbusier
MOPULON

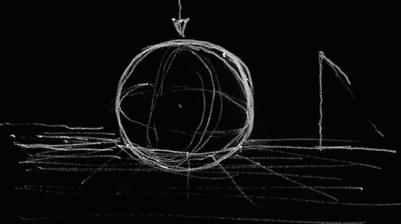
TETRAEDER

20 GLEICH. DREIECKE

SELBSTÄHNLICHKEIT
FRAKTAL



SCHEUKRAFT



KÖRPER / PLAT



Parameter der Bestimmung
Notwendig

Arne Quee
Aure

Zurück zum Festival

gel Ecosol

Prinzipien
↓
Beschreibung



2.2 Ideenfindung

2.2.1 Themenfindung

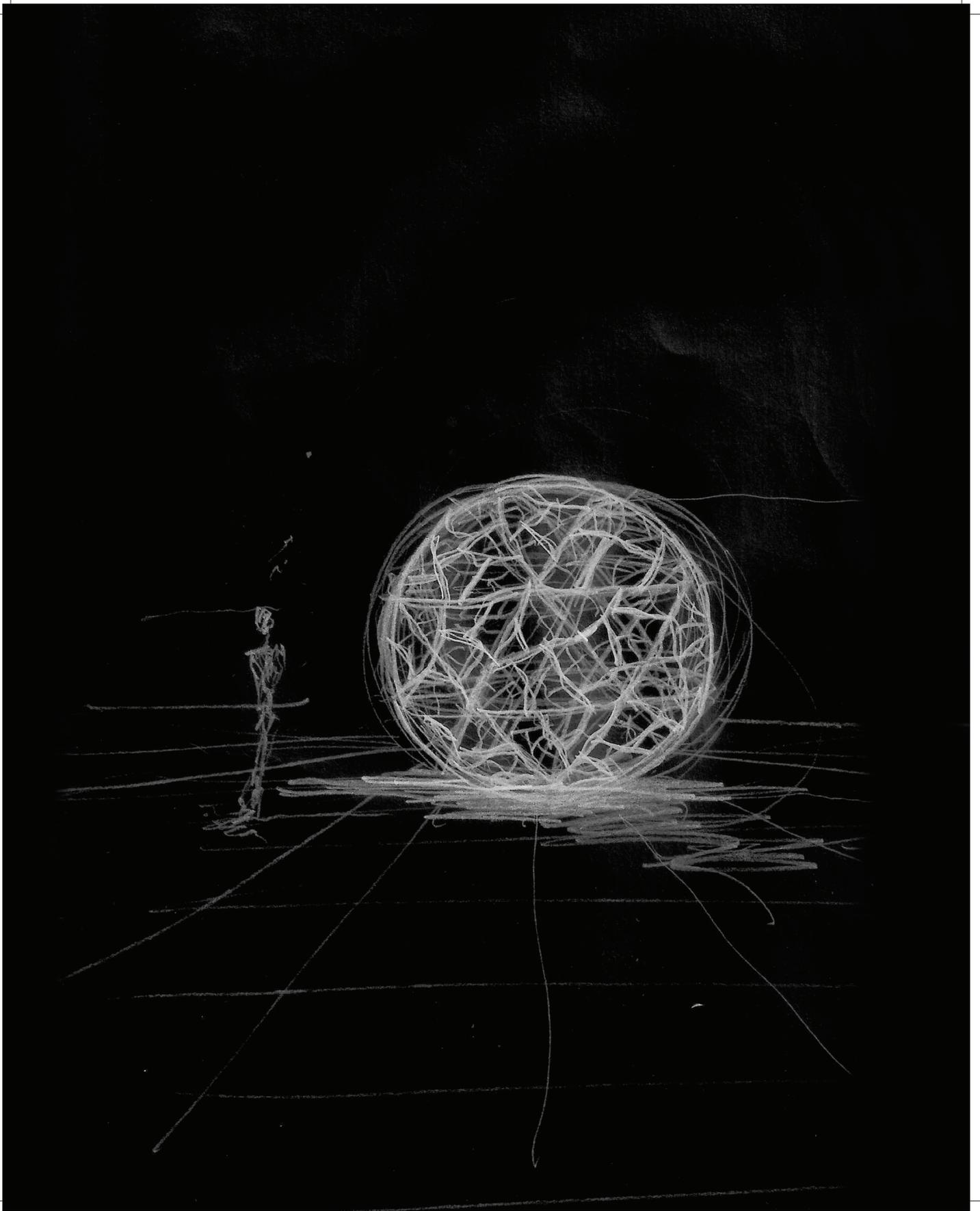
„Ein Entwurf, ein Projekt, aufgezeichnet auf Papier, ist nicht Architektur, sondern nur eine mehr oder weniger mangelhafte Repräsentation von Architektur, vergleichbar mit den Noten der Musik. Die Musik bedarf der Aufführung. Architektur bedarf der Ausführung“²

Da ich mich während meines Architekturstudiums auch intensiv mit bildhauerischen Fragen befasste, versuchte ich, für diese Abschlussarbeit ein Thema zu finden, welches es mir erlaubt, die beiden Disziplinen Architektur und Bildhauerei in einem Projekt zu verbinden. Wie ich bereits im ersten Kapitel dargelegt habe, sehe ich diese beiden Disziplinen nicht als von einander getrennte Bereiche.

Zwischen der bildhauerischen und der architektonischen Ausbildung gibt es aber natürlich große Unterschiede. Für mich wesentlich war zum einen die Befreiung vom engen Korsett der Funktionen und Zweckmäßigkeiten, die den architektonischen Entwurf gemeinhin prägen. Zum anderen das Fokussieren auf die Materialisierung einer Intention, wie das in der Bildhauerei leichter möglich ist. Das bedeutet, den Arbeitsprozess bis hin zur gewünschten Materialisierung zu vollziehen statt, wie so oft in der architektonischen Ausbildung, beim Entwurf stehen zu bleiben. Das Modell oder der Plan, die oft das Endergebnis des architektonischen Entwerfens sind, sind Verweise auf eine Vorstellung der geplanten Intentionsumsetzung, während die bildhauerische Arbeit als solche, direkt auf die Intention verweist. Klarer Weise ist zu berücksichtigen, dass der Umsetzungsaufwand bei architektonischen Arbeiten oft ungleich höher als bei bildhauerischen ist. Ich versuchte also ein Thema zu finden, in dem ich die architektonische Intention bis zur betretbaren Materialisierung bringen konnte.

Linke Seite

Abb. 18:
Skizze, Grundprinzipien

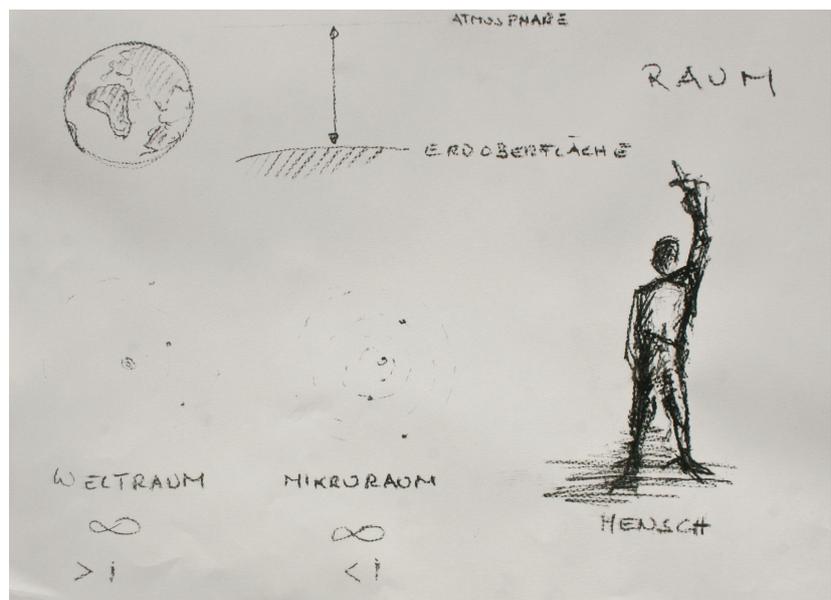


2.2.2 Zielformulierung

„Zeit reflektieren - Raum schaffen“ war die sehr breit gefasste Zielsetzung. Da die Arbeit in einem umsetzbaren Rahmen bleiben sollte, musste das Thema Raum in einer sehr reduzierten Form und Dimension abgehandelt werden. Es drängte sich sofort eine sphärische Form auf, die imstande war, eine einzelne Person zu umhüllen. Die Kugelform ist wohl seit dem Beginn von architektonischen Überlegungen ein wesentliches Thema. Sie weist die höchste mathematische Ordnung aller Formen auf und beschreibt somit die größtmögliche Abstraktion im dreidimensionalen Raum.

Ich beschäftigte mich also eingehender mit sphärischen Architekturbeispielen. Richard Buckminster Fuller errichtete auf diesem Gebiet mit den geodätischen Domkonstruktionen wohl die eindrucksvollsten Beispiele der jüngeren Geschichte.

Abb. 19:
Skizze, Sphärischer Raum



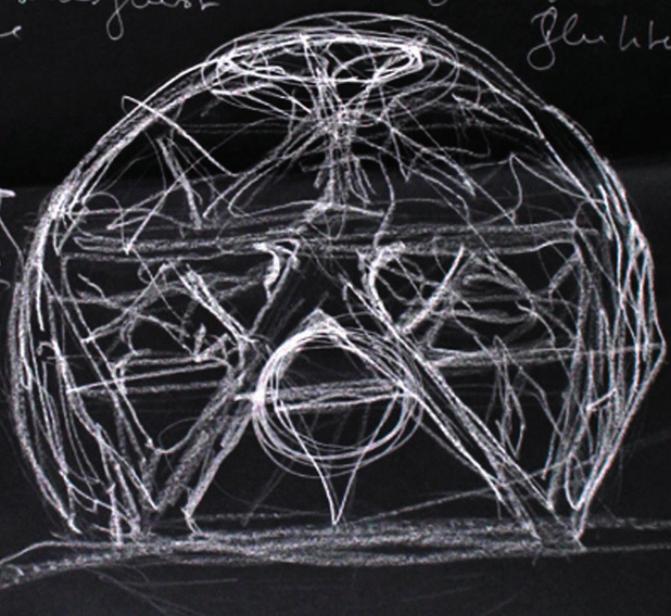
Linke Seite
Abb. 20:
Skizze, Raum Mensch Kosmos

Bewegung in Obertönen - Rhythmus Tief
Ruhe in Mitte
Brot wohnen - Oberfläche

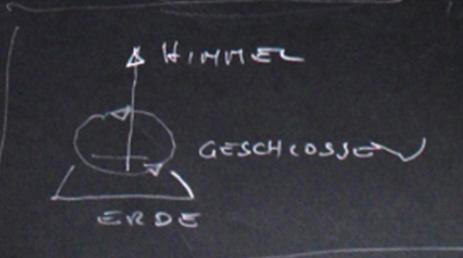
RUHE wohnen

ständige Bewegung - vgl. optische Täuschung
Brot wohnen alles fließt - Gleichzeitige Punkte

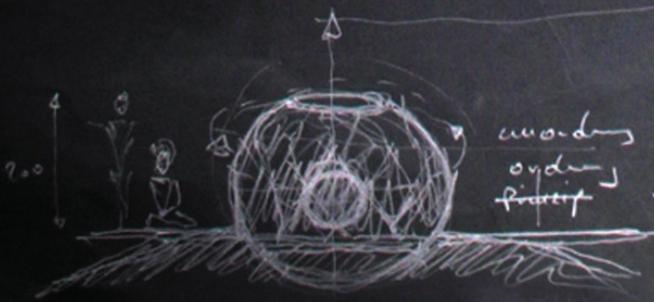
FRAKTAL



Verdicht

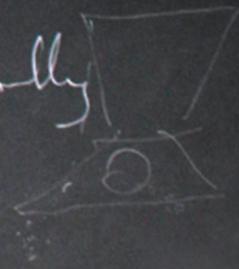


Verdichtlich



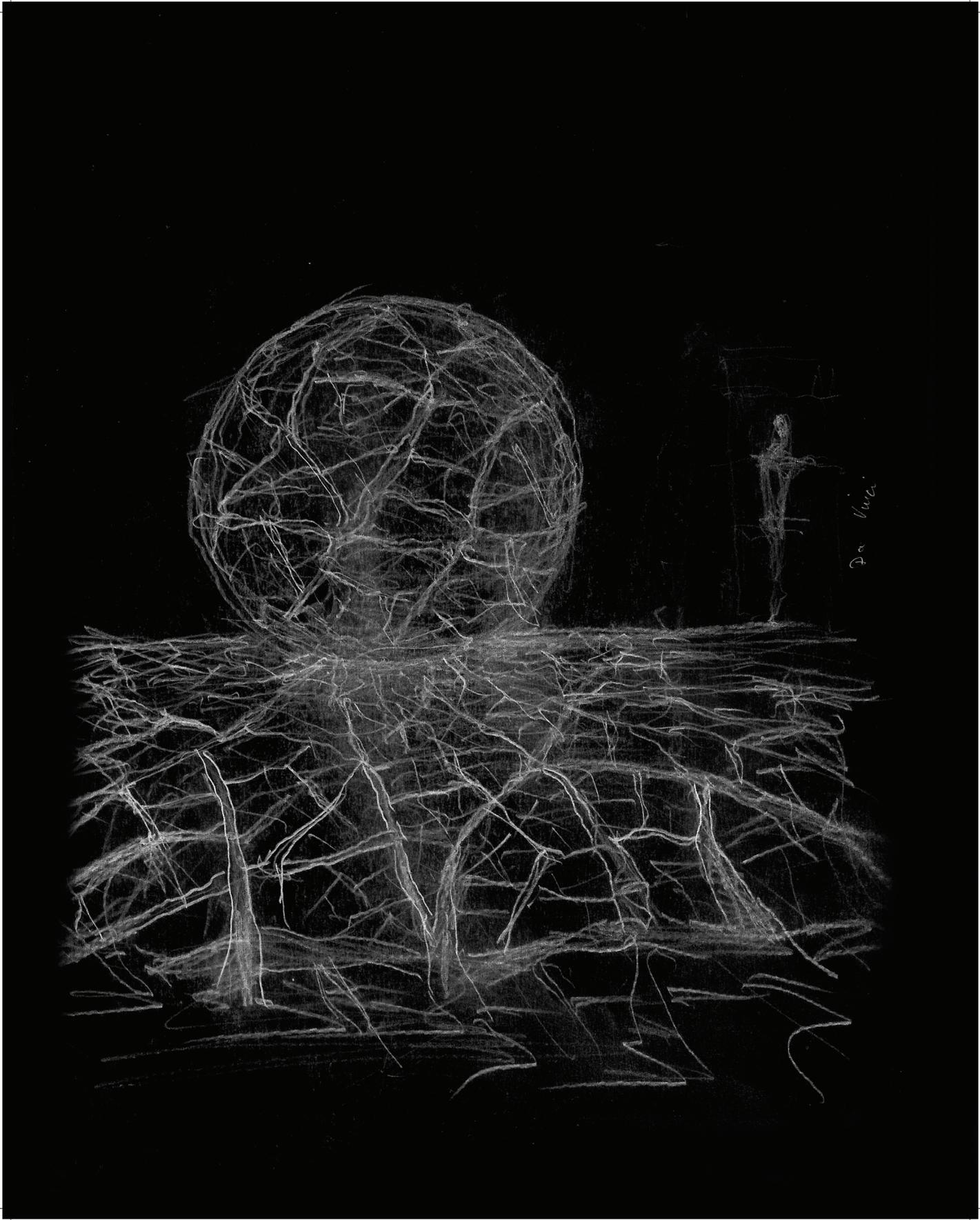
wachsende Ordnung Prinzip
↑ wachsen

vgl. Goldsworthy



Der zweite Teil der Aufgabenstellung „Zeit reflektieren“ führte naturgemäß zu weit größeren Ungereimtheiten. Diese konnten klarer Weise nicht gänzlich ausgeräumt werden. Ich stürzte ich mich trotzdem in diese Verflechtungen. Themen wie Netzwerke, Schwarmssysteme, Chaostheorie, globale Prozesse und Probleme, evolutionäre Algorithmen, Hybride, künstliche Intelligenz, nicht Determiniertheit, ... bildeten einen unüberschaubaren Recherche-pool. Teils instinktiv teils durch Gespräche geleitet beschränkte ich mich darauf da und dort einen genaueren Blick hin zu werfen. Es entwickelte sich ein fragmentarisches Beziehungssystem aus Teilwissen, Vermutungen und Assoziationen. Die Essenz der Auseinandersetzung war ein Bild eines in sich verwobenen Netzwerkes, das Relationsgeflechte zwischen nicht eindeutigen Besonderheiten in sich birgt.

Somit wurde der Weg etwas klarer. Ich wollte versuchen, die beiden Extreme von „Abstraktion“ und „Besonderheit“ in einem Objekt zu verbinden.



Linke Seite
Abb. 22:
 Skizze, Die Zerissene

2.2.3 Erste Ideen und Hirngespinnste

Zum Beispiel sollte eine Kugel in menschlicher Größe, mit feuchter Erde ummantelt werden, um nach erfolgter Trocknung die entstandenen Risse mit einem tragfähigen Material zu füllen. Nach Entfernung von Kugel und Erde sollte die sphärische Rissstruktur als betretbarer Raum bestehen bleiben.

Einer andere Idee zufolge sollte ein bewaldeter Hügel gänzlich gerodet werden. Aus den so gewonnenen Baumstämmen sollten idente Stäbe zu einem riesigen geodätischen Dom zusammengefügt werden. Nach einiger Zeit der so hergestellten abstrakten Ordnung würde der Dom von selbst in sich zusammenbrechen. Die Vegetation würde wieder die Hoheit gewinnen. Ein Weg vom Spezifischen über das Generische zurück zum Spezifischen.

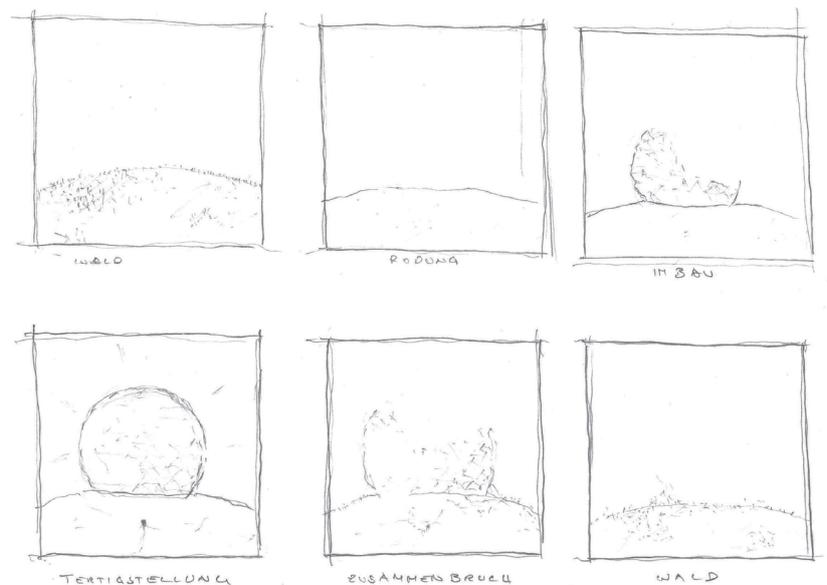
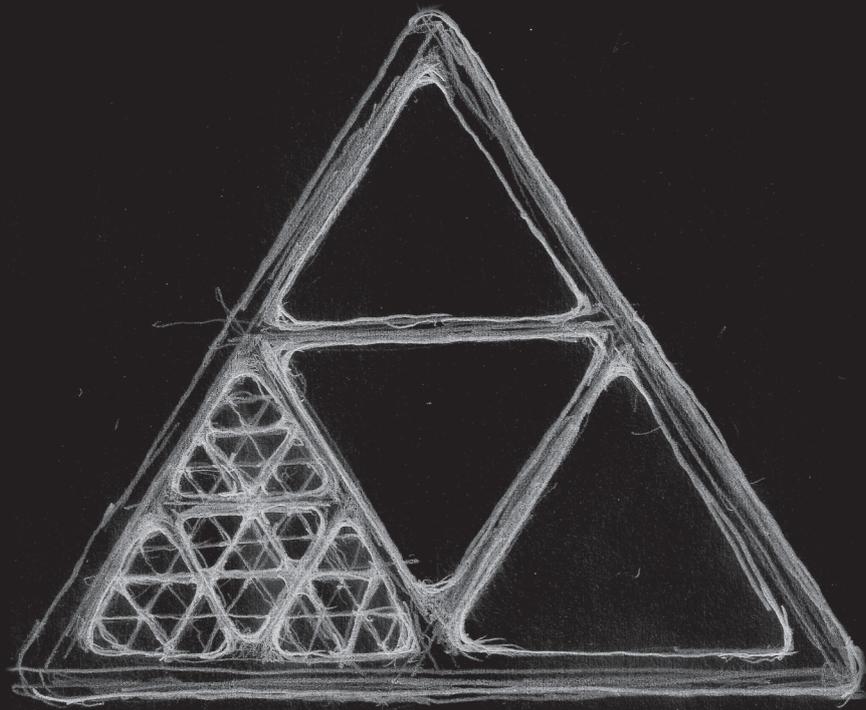


Abb. 23:
 Skizze, Spezifisch-Abstrakt-Spezifisch



2.2.4 Domkonstruktion

Die von Fuller entwickelten Domkonstruktionen basieren auf einem einfachen geometrischen Konzept. Der Ikosaeder bildet dabei die Basisform. Die 20 gleichseitigen Dreiecke (1. Generation) dieses platonischen Körpers werden in jeweils vier weitere gleichseitige Dreiecke unterteilt (2. Generation). In weiteren Generationsschritten können so immer feingliedrigere Dreieckssysteme hergestellt werden. Vollzieht man diesen Prozess nicht in den Ikosaederflächen, sondern in der Projektion auf eine umhüllende Kugeloberfläche können geodätische Dome konstruiert werden.

Ich versuchte also, mit dem Ikosaeder als formale Basis weiterzuarbeiten. In einer schon früher umgesetzten bildhauerischen Arbeit mit dem Titel „Schichtungen“ wurde eine von MC Eschers Werk inspirierte Idee geboren. Verschiedene Strukturen könnten in einer Art regelmäßiger Flächenaufteilung zu einem durchgängigen Gewebe verbunden werden.

Diese Überlegung griff ich nun wieder auf und entschloss mich, die 20 Seiten eines Ikosaeders mit spezifischen Netzstrukturen zu konstruieren. Zuerst dachte ich noch an 20 dreieckige Kugelsegmente um so eine Kugel zu erstellen. Ich entschied mich aber, aus formalen und praktischen Gründen bei der Basisgeometrie des Ikosaeders als räumlicher Form zu verbleiben.

Abb. 24:
Buckminster Fuller, Domkonstruktion auf Dreiecksbasis



Linke Seite
Abb. 25:
Skizze, Dreiecksfraktal

2.3 Auswahl der Strukturvorlagen

Aus einer umfangreichen Suche entstand ein großer Pool an verschiedensten Strukturvorlagen aus unterschiedlichsten Bereichen und Maßstäblichkeiten. Die Strukturvorlagen sind Abbildungen von diversen Phänomenen. Die Auswahl dieser Vorlagen würde im Allgemeinen durch die folgenden Kriterien bestimmt.

2.3.1 Formprinzip der Struktur

Die Strukturvorlage sollte ein netzartiges Ordnungssystem aufweisen, das in mehreren Hierarchieabstufungen fraktal gegliedert ist.

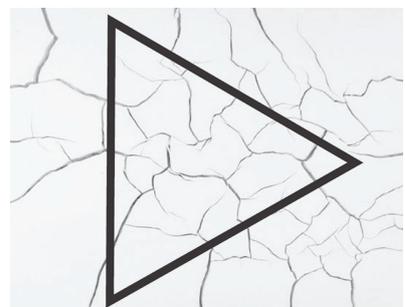
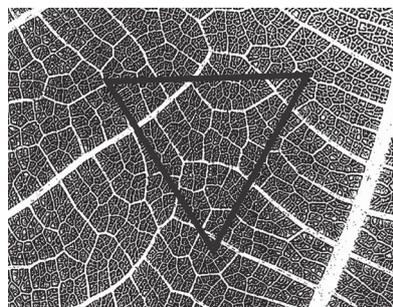
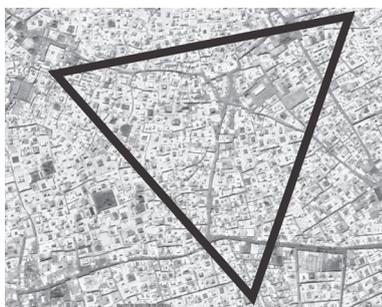
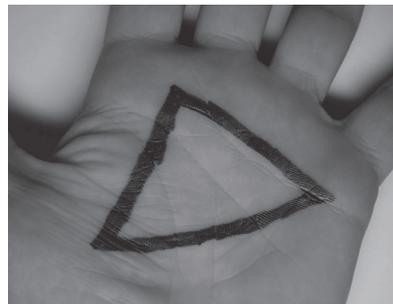
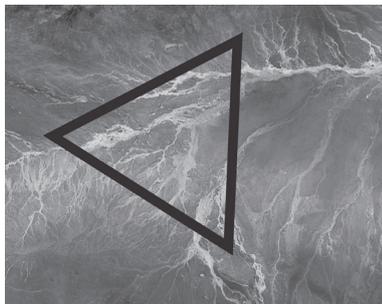
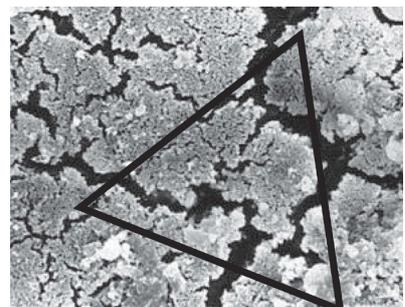
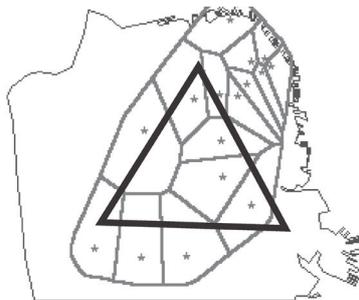
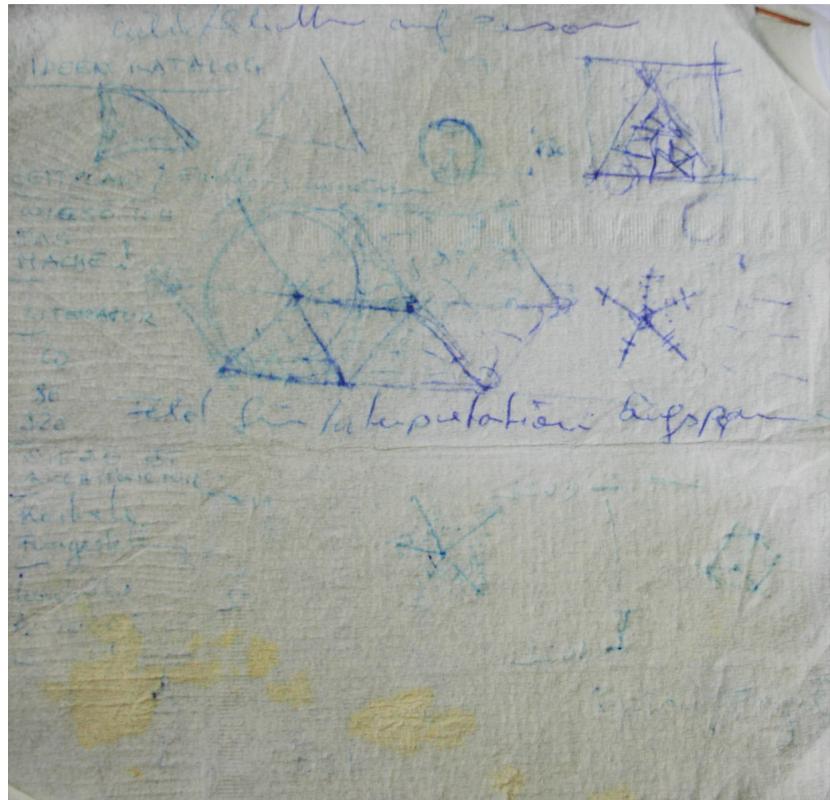


Abb. 26:
Erster Gedankenausfluss -
auf Papierserviette



„Das Gemeinsame von Geäst, Gefels und Wasserläufen ist die Selbstähnlichkeit der strukturierenden Elemente auf verschiedenen Ebenen der Massstäblichkeit.“³

2.3.2 Symbolgehalt der Struktur

Die Herkunft der Strukturvorlage und ihr Bedeutungspotential im Kontext des Gesamtobjekts werden hierbei untersucht. So kann eine Blattadernstruktur eher natürlichen Wachstumsprozessen, ein Straßennetzwerk eher menschlichen Entwicklungen und eine computergenerierte Struktur eher informellen, mathematischen Abhängigkeiten zugeschrieben werden. Angemerkt werden soll, dass eine eindeutige Kategorisierung auch hier weder möglich noch erwünscht ist. Dennoch ist ein quantitativer Ausgleich der Strukturdreiecke nach ihren Ursprungstendenzen angestrebt.

2.3.3 Grad der Passgenauigkeit

Nachdem alle Strukturdreiecke miteinander verbunden werden müssen, erfordert dies eine hochgradige Übereinstimmung zweier sich berührender Strukturdreiecke an deren Rändern. Diese Bedingung setzt aufwendiges Suchen und Vergleichen voraus und bildet die letztendliche Entscheidungsgrundlage für die Auswahl eines Strukturdreieckes.

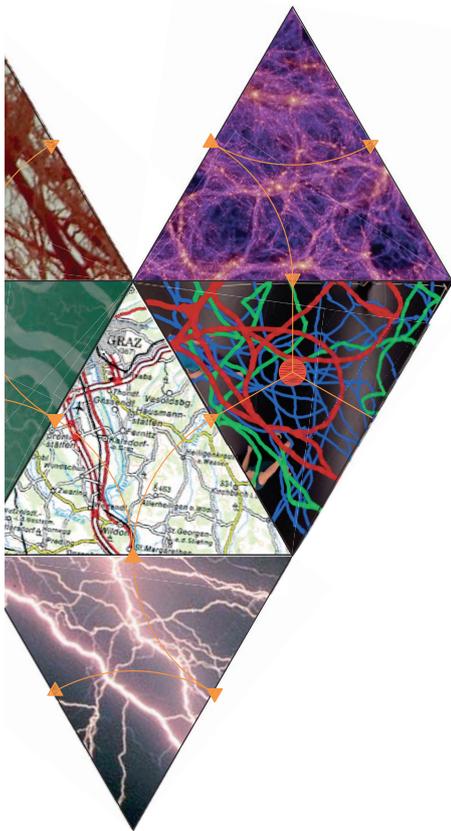
Linke Seite
Abb. 27:
Struktursammlung



2.4 Der Weg der Abhängigkeiten

Als Organisationsraster der Strukturdreiecke dient die Abwicklung eines Icosaeders. Hier werden alle ausgewählten Strukturvorlagen eingefügt. Allerdings können nur Strukturvorlagen eingefügt werden die an den Rändern zueinander passen. Das heißt dass die jeweiligen Strukturenden einander entsprechen müssen. Diese Entsprechung kommt zustande, in dem die Randausprägung eines Strukturdreieckes als Bedingung für das Einfügen der nächsten Strukturvorlage dient. Jedes Strukturdreieck bildet sozusagen an seinen Rändern einen bestimmten CODE aus. Dieser ist als zweidimensionaler BARCODE darstellbar und dient so zur Suche anschlussfähiger Strukturvorlagen. Eine hundertprozentige Übereinstimmung dieser BARCODES ist dabei natürlich nicht möglich, allerdings wird versucht, den Schwankungsbereich möglichst klein zu halten. Ist ein akzeptabler Anschluss erreicht, kann die Strukturvorlage platziert werden. Nun bestimmt diese an ihren beiden freien Rändern ihrerseits die Anschlussbedingung für weitere Strukturvorlagen. Das heißt jede Strukturvorlage besitzt eine Eingangsbedingung und zwei Ausgangsbedingungen. Der Weg dieser Abhängigkeiten ist in Abb. 28 durch orange Pfeile dargestellt.

Abb. 28:
Ausgewählte Strukturvorlagen in Icosaederabwicklung



Darüberhinaus existieren fünf Dreiecke, welche ausschließlich Eingangsbedingungen aufweisen. Diese sind mit einem roten Punkt markiert. Eines davon bleibt frei und dient später als Eingang in das Objekt. Die verbleibenden Dreiecke werden mit eigens generierten Strukturen besetzt. Hierfür kommen verschiedene Verfahren zur Anwendung, die später noch genauer beschrieben werden.

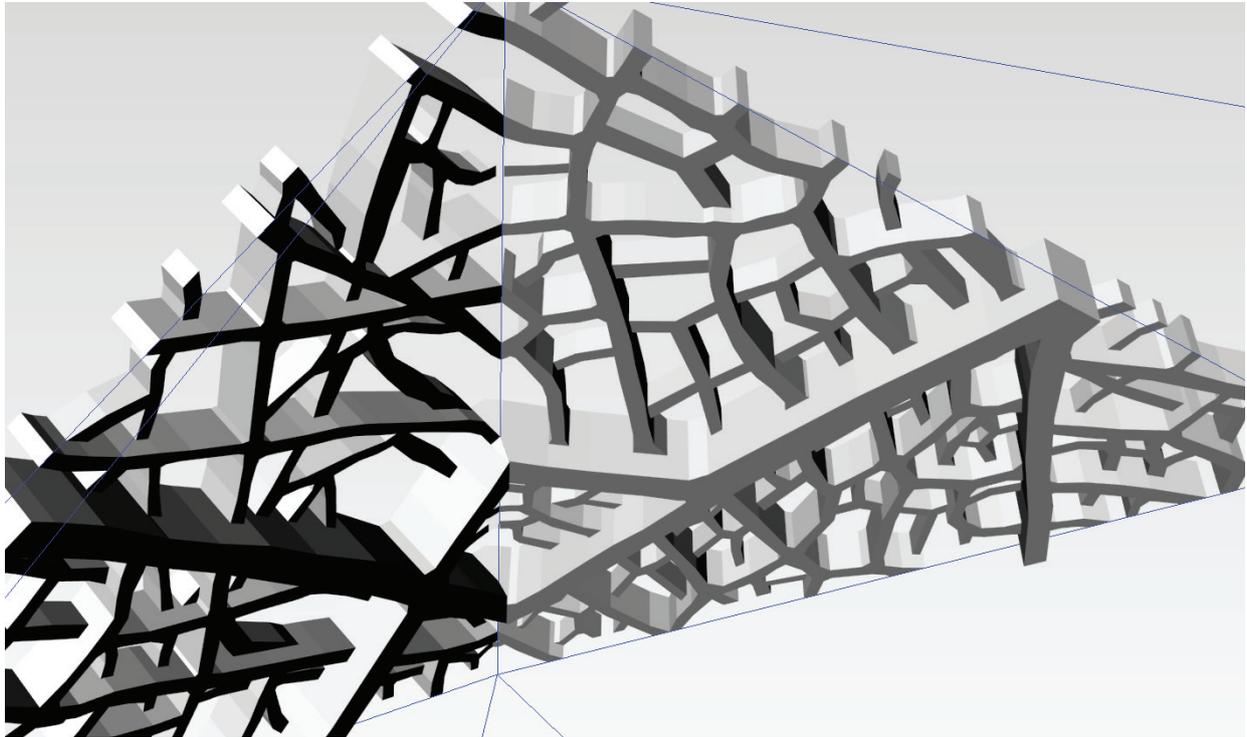
Der Start erfolgte mit der Strukturvorlage der gotischen Fensterrose. Hier wurde ein charakteristischer Bereich ausgewählt, ohne auf Abhängigkeiten Rücksicht zu nehmen. Was dazu führte, dass die zuletzt eingefügte Strukturvorlage, sozusagen als Schlussstein zwei Eingangsbedingungen aufweisen musste. Hierfür konnte mit dem Ausschnitt aus einem Pollock Gemälde allerdings eine passende Strukturvorlage gefunden werden.

Die ausgewählten Strukturvorlagen wurden nun digitalisiert und in dreidimensionale Strukturmodelle übersetzt. Die Querschnitte der Strukturrippen wurden rechteckig gewählt und mit drei abgestuften Rippenhöhen (90, 56 und 35 mm) umgesetzt. Die Abstufung entspricht einer Bewertung als Primär- Sekundär- und Tertiärstruktur bzw. kann sie als Ausdruck von verschiedenen, hierarchischen Strukturgenerationen angesehen werden.

Die Verbindung der dreidimensionalen Strukturdreiecke erfolgt an den Rändern durch Gehrungsausführung. Dafür wurde die Unterkante der stärksten Rippen (90 mm) als Grundlage für den Anschluss gewählt, die so entstehende außen aufklaffende Gehrung wurde durch entsprechende Verlängerung der Rippen beiderseits geschlossen.



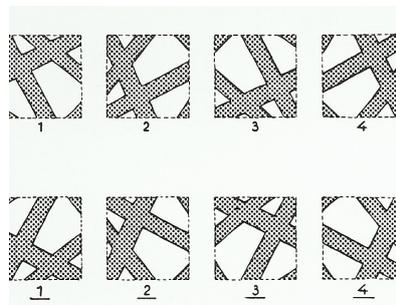
Abb. 29:
Ableitung von Strukturdreieck und Code
aus Strukturvorlage



2.4.1 Regelmäßige Flächenaufteilungen, Regelsystem im Ornament

An einem von M.C. Escher praktizierten Stempelspiel wird ein Prinzip der regelmäßigen Flächenaufteilung deutlich, welches auch für die Verbindung der Strukturdreiecke zum Einsatz kam.

Ein quadratischer Stempel mit linearem Muster wird hergestellt. Dabei ergeben sich an jeder Seite des Quadrats drei Anschlüsse. Da diese Anschluss-codes an allen vier Seiten gleich sind, kann der Stempel in vier verschiedenen Stellungen abgedruckt werden (mit spiegelverkehrtem Stempel ergeben sich acht Stellungen) ohne die Durchgängigkeit der gestempelten Linien zu brechen. In Abb. 32 ist ein auf diese Weise von M.C. Escher erstelltes Ornament zu sehen.



Linke Seite
Abb. 30:
Verbindung zweier Strukturdreiecke



Abb. 31:
Allhambra, Ornament aus dem Saal der
Gesandten

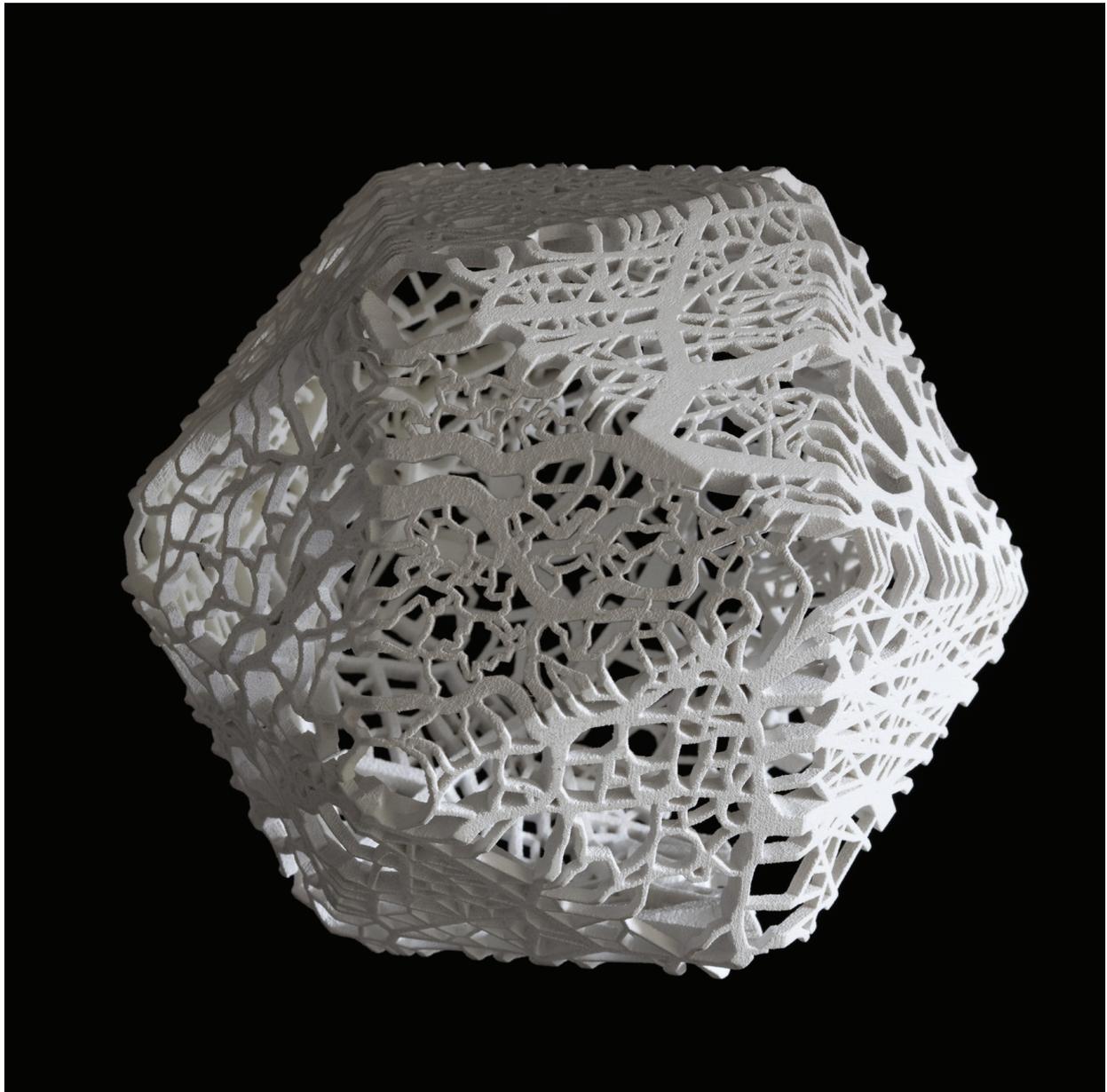
Ähnliche Methoden entdeckte M.C. Escher beim Studium der maurischen Ornamentik der Allhambra.⁴ Bei der Untersuchung von Ornamenten tritt die verborgene, innere Struktur in den Vordergrund. Sie wird zum wesentlichen, bedeutungstragenden Element. Die Ästhetik des Ornaments ist untrennbar mit der Mathematik verbunden.⁵

„Durch die prinzipielle Ausdehnung eines Parketts ins zweidimensional Unendliche werden Schranken aufgehoben, und der Betrachter wird bei – vielleicht unbewußter – Aufnahme der Symmetrie zur Meditation geführt. Er betrachtet die Teile und erkennt durch sie das Ganze, obwohl er das Ganze nicht sieht. Ruht das Auge auf einem Teil, so erscheint der Teil als Mittelpunkt des Ganzen – aber dieser „Mittelpunkt“ ist in jedem Teil des Ganzen!“⁶

Linke Seite
Abb. 32:
M.C. Escher, durch Stempeldruck
erzeugtes Ornament

2.5 Begegnung mit dem Objekt

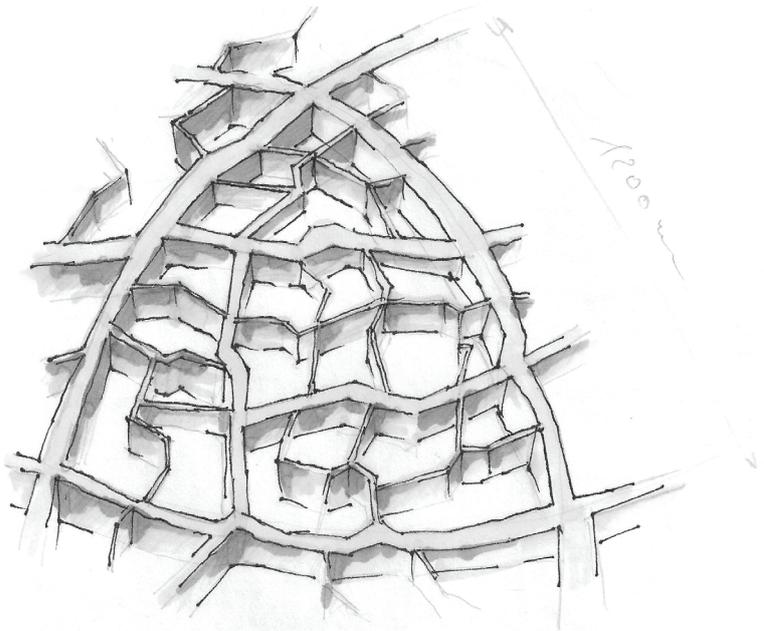
*„Die Wahrnehmung merkt mehr,
als der Verstand begreift.“*



„Wenn wir uns als Architekten mit dem Raum beschäftigen, dann befassen wir uns lediglich mit einem kleinen Teil dieser Unendlichkeit, die die Erde umgibt. Aber jedes Bauwerk bezeichnet einen Ort dieser Unendlichkeit.“⁸

Das Spannende an dieser Arbeit liegt in der Möglichkeit, sich auf sehr verschiedenen Zugangsebenen mit dem Objekt auseinandersetzen zu können. Bewegt man sich aus der Ferne auf das Objekt zu, so erscheint es in einer klaren, kristallinen Form. Die einzelnen Strukturdreiecke wirken flach und kompakt, die Rippenform der Netze tritt noch nicht vornehmlich in Erscheinung. Beim Näherkommen jedoch lösen sich die Flächen zusehends in ihre feingliedrige Rippen auf. Dem Rezipienten wird die Einzigartigkeit jedes einzelnen Strukturdreieckes bewusst, und die Frage nach deren Bedeuten tritt in den Vordergrund. Die Möglichkeit diese Bedeutung in Erfahrung zu bringen, lässt das Rätseln um die Zuweisungen beginnen. Wo findet sich die Blattstruktur im Geflecht, wo ist das Adernnetz und wo der Stadtgrundriss. (Beispielsweise kann durch einen im Umfeld des Objektes angebrachten Internet link, der auf eine diesbezügliche Homepage verweist und mittels Smartphone erreicht werden kann, eine solche Vermittlung stattfinden) Die unmittelbarste Auseinandersetzung mit dem Objekt findet jedoch in Innerem des Objekts statt. Der Rezipient wird förmlich vom Objekt aufgenommen und begibt sich in ein dreidimensionales Strukturmandala. Die inneren Oberflächen der Strukturdreiecke sind nicht mehr wie die äußeren in einer Ebene, sondern in drei verschiedenen Rippenhöhen gegliedert. Daher verliert der Innenraum die geometrische Strenge der Grundform. Er wirkt plastischer, homogener zu einem Ganzen verwoben. Der sich am Körper des Rezipienten abzeichnende Schattenwurf der ihn umgebenden Strukturen, trägt überdies zur Verschmelzung von Rezipient und Skulptur bei. Setzt man sich, befindet sich der Kopf im Zentrum des Raumes. Dies könnte dazu anregen, sich über seine persönliche Stellung im endlosen Strukturgeflecht des Universums Gedanken zu machen.

Abb. 33:
Skizze Strukturdreieck



Linke Seite
Abb. 34:
Modellfoto des Objekts

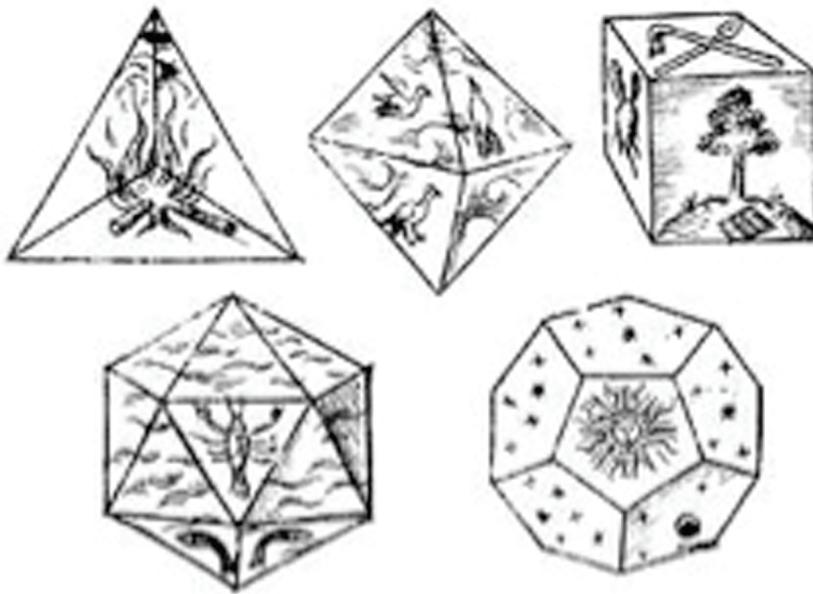


Abb. 35:
Elementare Entsprechungen der Platonischen Körper

2.6 Formensymbolik

Einen Zugang zur Formensymbolik bietet Johannes Itten, der in seinem Buch: „Tagebuch: Elemente der Bildenden Kunst“ die Grundelemente der Formen wie folgt beschreibt:

„Quadrat, Kreis, Dreieck sind die drei elementaren Formcharaktere. Diese drei Grundelemente der Flächenformen enthalten als innewohnenden Wesensgehalt die vier Grundprinzipien des Raumes als Raumrichtungen. Das Quadrat: Horizontale-Vertikale-Bewegung. Der Kreis: circuläre Bewegung. Das Dreieck: diagonale Bewegung.

...

*Drei Welten prägen sich in drei Formen aus:
Quadrat = materielle Welt der Schwere, des Festen.
Kreis = spirituelle Welt der Gefühle, der Beweglichkeit, des Ätherischen und – in der Ableitung – des Wässerigen.
Dreieck = intellektuelle Welt der Logik, der Konzentration, des Lichtes, des Feuers.“⁹*

Dem entsprechen auch die Element - Zuordnungen der Platonischen Körper aus Platons Werk „Timaios“ um 360 v. Chr. Laut Platon wird dem Feuer das Tetraeder (Dreieck) zugeordnet, der Erde der Würfel (Quadrat) und dem Wasser das Ikosaeder (Kreis).¹⁰

Rechte Seite
Abb. 36:
Nachtaufnahme der Erde, Besiedlungsstrukturen

Diese Zuweisungen können auf die vorliegende Arbeit folgendermaßen übertragen werden. Der Dreiecksform entsprechen die 20 Strukturdreiecke inklusive dem freien Eingangsdreieck. Der Quadrat- oder Rechtecksform entsprechen die Querschnittsflächen der Strukturbildenden Betonrippen. Der Kreisform entspricht die sphärische, den Rezipienten umhüllende Form des Ikosaeders. Ein weiteres Formprinzip ist dieser Auflistung noch hinzuzufügen, nämlich das Prinzip der vernetzten Struktur.

„Struktur ist die Gesamtheit von Elementen zwischen denen Beziehungen bestehen, und zwar so, dass eine Änderung, eines Elements oder einer Beziehung die Änderung der anderen Elemente oder Beziehungen zur Folge hat.“¹¹

Dieses spezifische Formprinzip bildet die Grundlage für die Auswahl der Strukturdreiecke. Es kann mit Kommunikation, Verbindung und Interaktion beschrieben werden, es repräsentiert Energiefluss und Bewegungsströme, es zeigt die Abhängigkeiten aller strukturbildenden Teile miteinander. Darin entspricht es mehr der Idee eines sich ständig in Veränderung befindlichen Prozesses als der einer statischen Form. Ein Gewebe von Bezügen und Abhängigkeiten.

„Folgendes Bild läßt sich von der Stellung des Menschen in der Gesellschaft - oder von der Gesellschaft als einem Gefüge von Menschen – entwerfen: ein Informationen speicherndes und Informationen erzeugendes Gewebe.“¹²



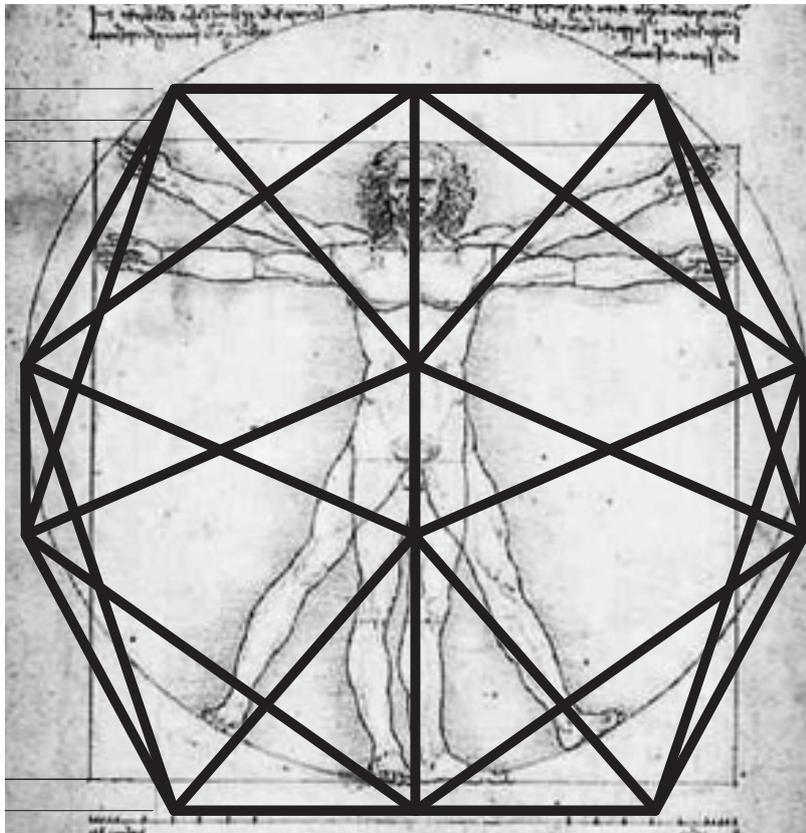
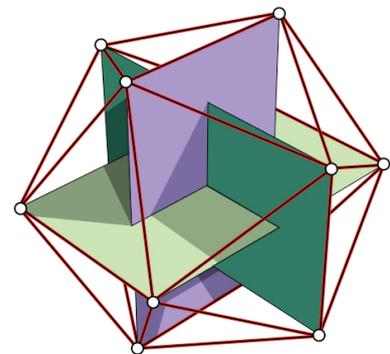


Abb. 37:
Proportionsstudie in Bezug auf
Leonardo Davincis Kanon

Abb. 38:
Der goldenen Schnitt im Ikosaeder



2.7 Form und Proportion

Das Ikosaeder ist einer der fünf platonischen Körper. Diese zeichnen sich durch größtmögliche Symmetrie und die Begrenzung durch kongruente Vielecke aus. Die Namen dieser Körper leiten sich aus der griechischen Bezeichnung der Anzahl ihrer Flächen ab. Das Ikosaeder besitzt 20 (griechisch: eikosi) kongruente Flächen, diese sind gleichseitige Dreiecke. An seinen zwölf Ecken treffen jeweils fünf, der insgesamt 30 Kanten aufeinander. Es besitzt fünfzehn Symmetrieebenen und ist zentralsymmetrisch.¹³ Die orthogonale Verbindung von drei kongruenten, rechteckigen Flächen, deren Seitenverhältnis im Goldenen Schnitt liegt, spannt einen Ikosaeder auf.

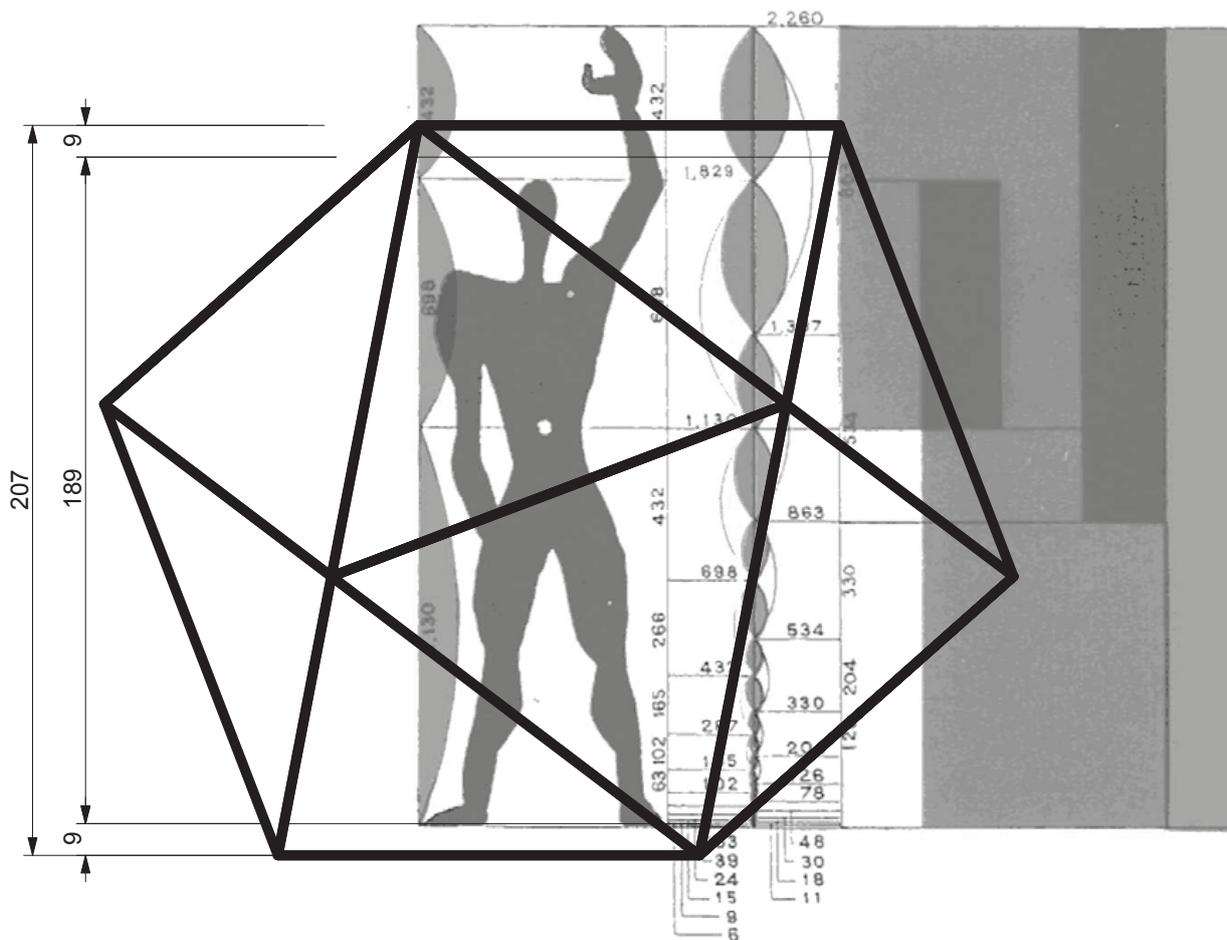
Le Corbusier verwendet das Proportionsverhältnis des Goldenen Schnitts für den als Modulor bekannten Architekturkanon. Zwei Zahlenreihen (er bezeichnet sie als rote und blaue Reihe), die im Verhältnis Phi steigen, sind gegeneinander so versetzt, dass die Werte der roten Reihe der Hälfte der Werte der blauen Reihe entsprechen.¹⁴ Die Zahlenwerte in cm entsprechen dem menschlichen Maß, wobei Le Corbusier zuerst von einer durchschnittlichen Körpergröße von 175cm ausgeht, diesen Wert aber wegen der besseren Übereinstimmung mit dem englischen Zoll auf 182,9 cm ändert.¹⁵

Rechte Seite
Abb. 39:
Proportionsstudie in Bezug auf
Le Corbusiers Modulor

Geht man bei der blauen Reihe jedoch von der Fibonacci Folge (jeder Wert ergibt sich aus der Summe der beiden vorausgehenden, die Reihe nähert sich sukzessive dem Verhältnis des Goldenen Schnitts) aus, (0,1,1,2,3,5,8,13,21,34,55,89,144,233,377, usw.) erhält man als Körpermaß in der halbierten roten Reihe einen Wert von 188,5 cm ($377/2=188,5$).

Dieser Wert wird als Raumhöhe für die begehbare Skulptur verwendet. Auch die Höhe der Betonrippen der einzelnen Strukturdreiecke von 35, 56, und 90mm liegen im Proportionsverhältnis des Goldenen Schnitts und annähernd in der Fibonacci Folge. Das Proportionschema des Goldenen Schnitts darf allerdings nicht rein statisch betrachtet werden. Der Goldene Schnitt ist dynamisch begründet, er resultiert aus Wachstumsphänomenen und Anordnungen von dichtesten Packungen.¹⁶

Rudolf von Laban, einer der Theoretiker des „freien Tanzes“, heute als Ausdruckstanz bezeichnet, beschreibt eine Verbindung zwischen der Form des Icosaeders und dem menschlichen Bewegungsapparat. Die daraus abgeleitete, raumbildende Sphäre des menschlichen Körpers wird von ihm als „Kinessphäre“ bezeichnet.¹⁷



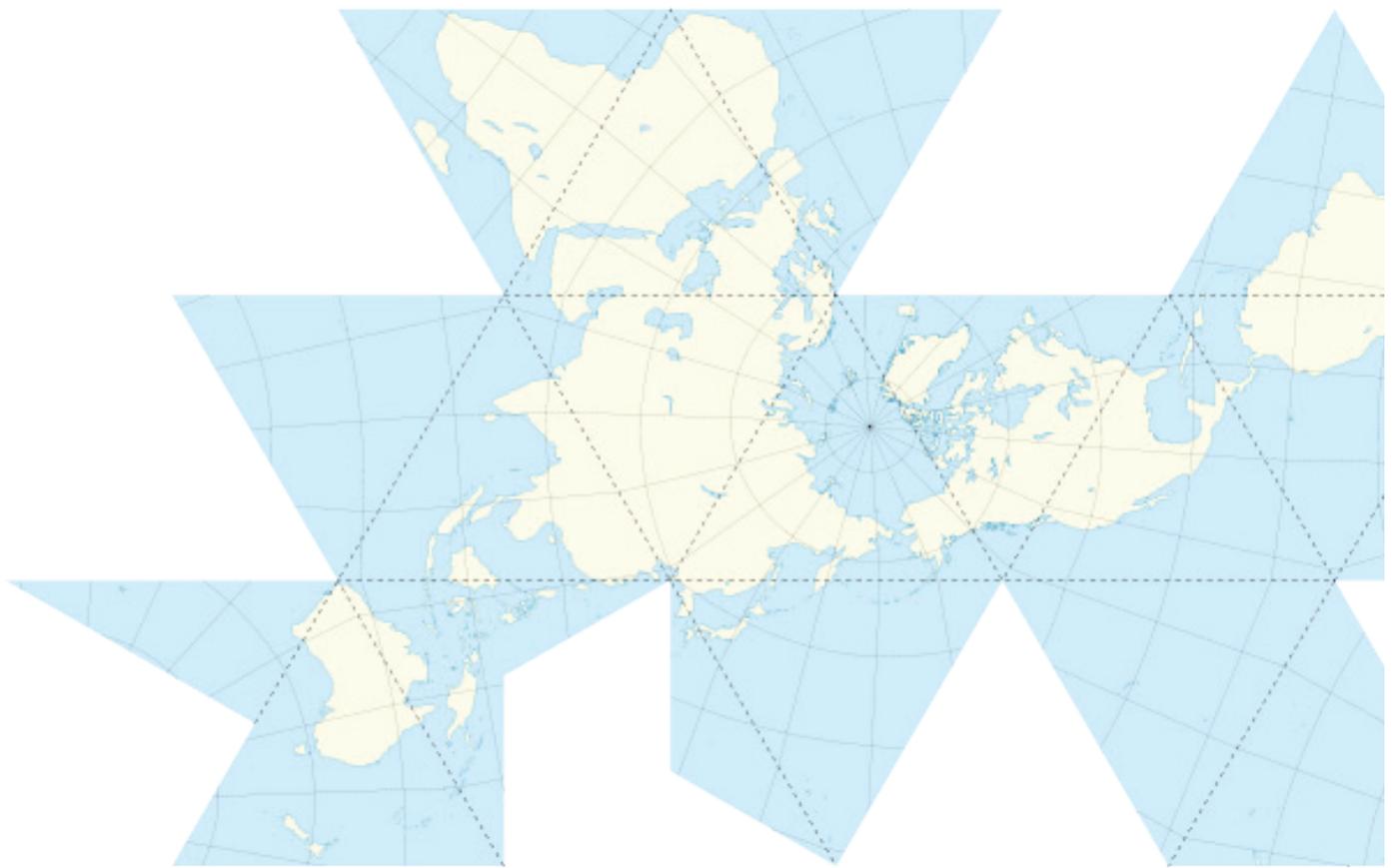
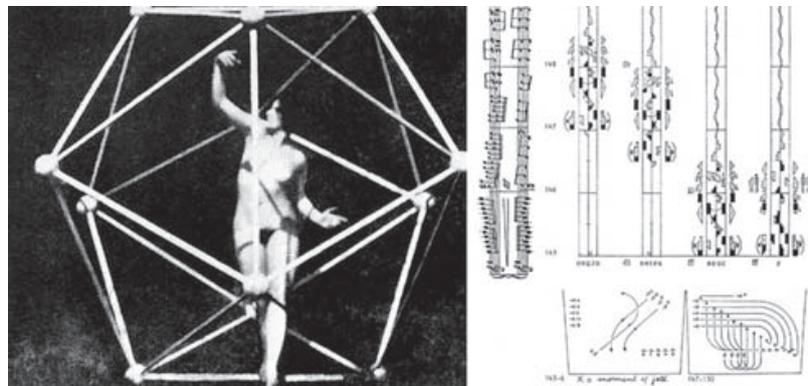


Abb. 41:
Weltkartenprojektion nach Buckminster
Fuller



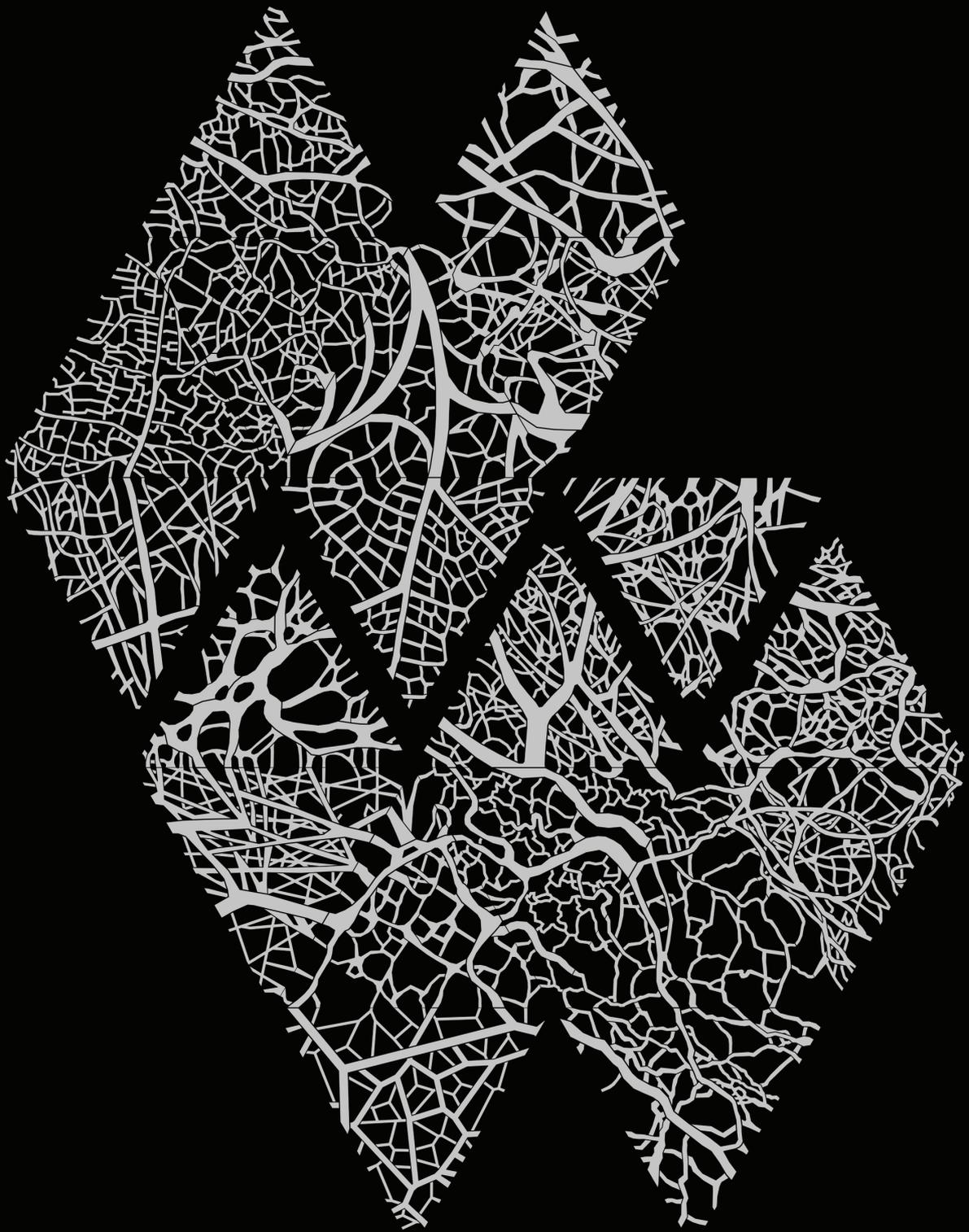
Auch Buckminster Fuller macht sich die Form des Iksaeders zu Nutze, um auf deren Basis eine Weltkartenprojektion zu entwickeln. Dabei wird der Globus zur Iksaederform abstrahiert und deren Abwicklung als Projektionsfläche für die Weltkarte benutzt. 1927 begann er seine Arbeit daran, 1946 wurde das Verfahren patentiert und 1954 veröffentlicht. Der große Vorteil dieser Projektionsart ist die nahezu verzerrungsfreie Darstellung und die Richtungslosigkeit der Wiedergabe, welche der Kugelform der Erde am ehesten gerecht wird. Ein Nachteil ist allerdings die geringe Kompaktheit.¹⁸

Abb. 40:
Rudolf Laban, Kinessphäre,
Tänzerin im Iksaeder



Endnoten

- 1 Vgl. Eisenmann, Peter: Die Formalen Grundlegungen der modernen Architektur, Zürich/Berlin, 2005, 77f.
- 2 Zumthor, Peter: Architektur Denken, Basel-Boston-Berlin 2010, 66.
- 3 Franck, Georg: Sinnliche Intelligenz. Was die Architektur umtreiben sollte, in: Franck, Georg u.a.: What moves Architecture? (In the next five Years), Zürich, 2006, 31.
- 4 Vgl. Ernst, Bruno: Der Zauberspiegel des M. C. Escher, Köln, 2007, 44f.
- 5 Vgl. Bigalke, Hans-Günther: Reguläre Parkettierungen, mit Anwendungen in Kristallographie, Industrie, Baugewerbe, Design und Kunst, Mannheim-Leipzig-Wien-Zürich, 1994, 248.
- 6 Ebd., 246f.
- 7 Franck, 2006, 11.
- 8 Zumthor, 2010, 22.
- 9 Itten, Johannes: Elemente der Bildenden Kunst. Studienausgabe des Tagebuchs, Leipzig 2002, 27.
- 10 Vgl. Platon: Timaios, 53c ff.
- 11 Levi-Strauss, Claude: Das Wilde Denken, Frankfurt a. M. 1968, 98.
- 12 Flusser, Vilém: Medienkultur, Frankfurt a. M.-Mannheim, 2008, 29.
- 13 Vgl. Ikosaeder, in: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie, Online unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Ikosaeder> (Stand: 1.6.2011)
- 14 Vgl. Le Corbusier: Der Modulor, Darstellung eines in Architektur und Technik allgemein anwendbaren Maszes im menschlichen Maszstab, Stuttgart, 1953, 52.
- 15 Vgl. Ebd., 56.
- 16 Vgl. Steadman, Philip: The evolution of designs biological analogy in architecture and the applied arts, Cambridge, 1979, 19f.
- 17 Vgl. Ludersocke: Die Entstehungsgeschichte verschiedener Tänze und ihr soziales Milieu, (2009) Online unter: <http://ludersocke.blog.de/2009/04/29/theater-film-tanz-gegenseitige-beeinflussung-reform-6029484/> (Stand: 6.6.2011)
- 18 Vgl. Dymaxion, in: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie, Online unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Dymaxion> (Stand: 7.6.2011)



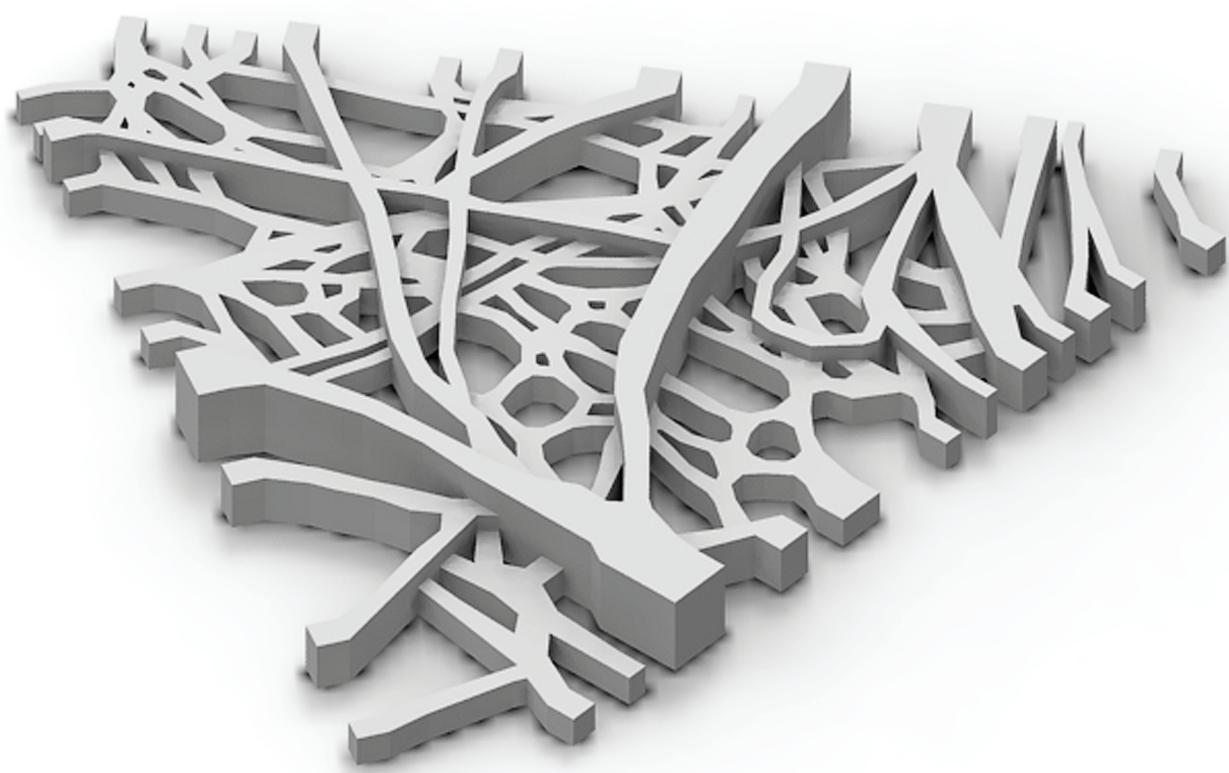
3 Ausgewählte Strukturvorlagen

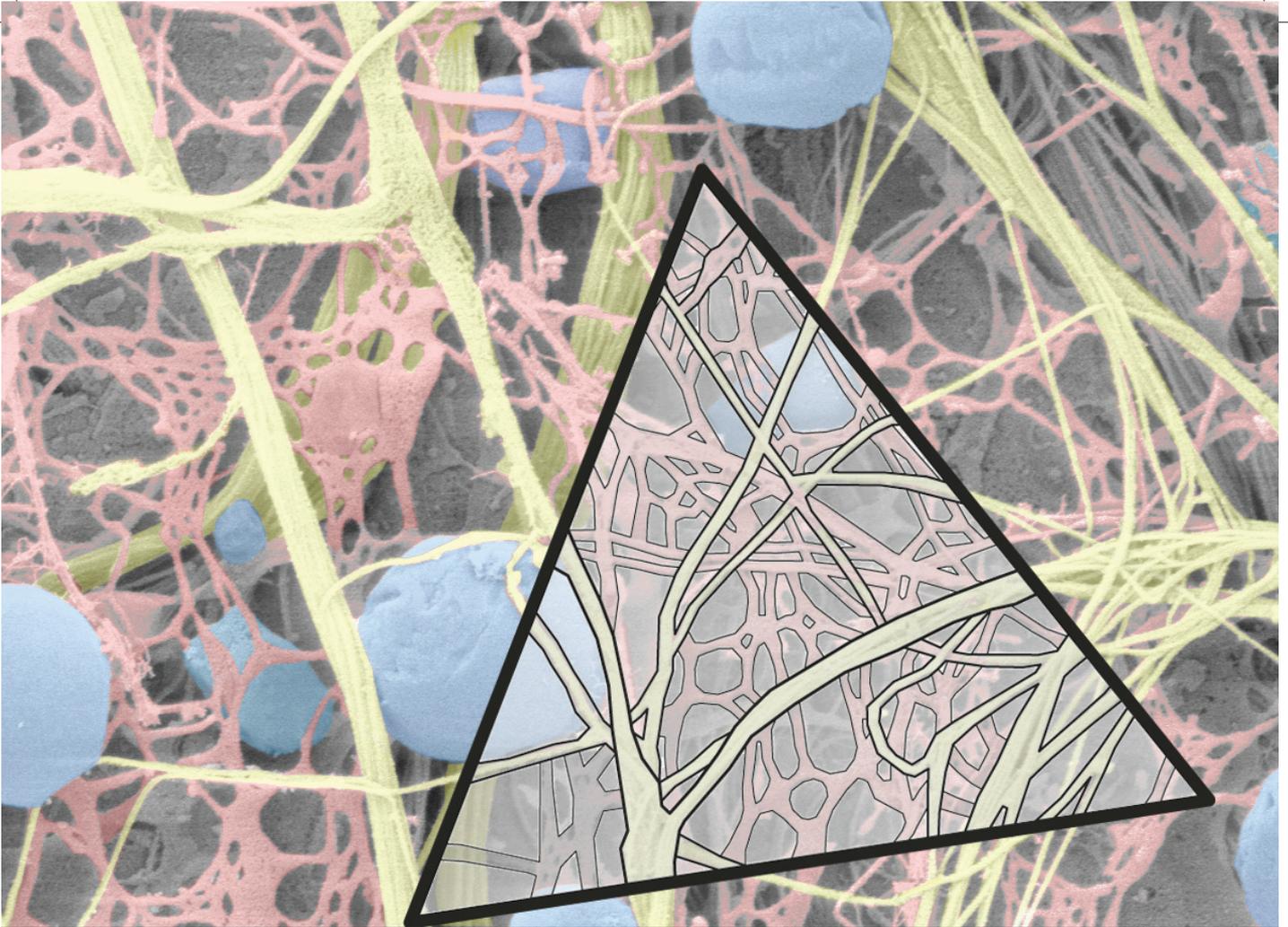
Im folgenden werden Strukturen vorgestellt, aus welchen die Strukturdreiecke des Objekts erstellt werden. 15 Strukturen werden aus Abbildungen diverser Phänomene abgeleitet, vier weiter stammen aus speziell für diese Arbeit generierten Systemen.

Desweiteren sind die, aus den Strukturvorlagen abgeleiteten, Strukturdreiecke in einer perspektivischen Abbildung dargestellt.

3.1 Vorgefundene Strukturvorlagen

Die folgenden Teile wurden aus diversen Strukturvorlagen abgeleitet. Die Reihenfolge der Aufzählung entspricht der Massstabsentwicklung: Beginnend bei den kleinsten Strukturen aus elektronenmikroskopischen Aufnahmen und Größen von wenigen Mikrometern, über Strukturen, die in annähernd wahrer Größe wiedergegeben werden, bis zu Strukturen die sich über Millionen von Lichtjahren ausdehnen. Die, zu den Abbildungen angegebenen, Größenordnungen entsprechen den geschätzten Seitenlängen der Auswahldreiecke.

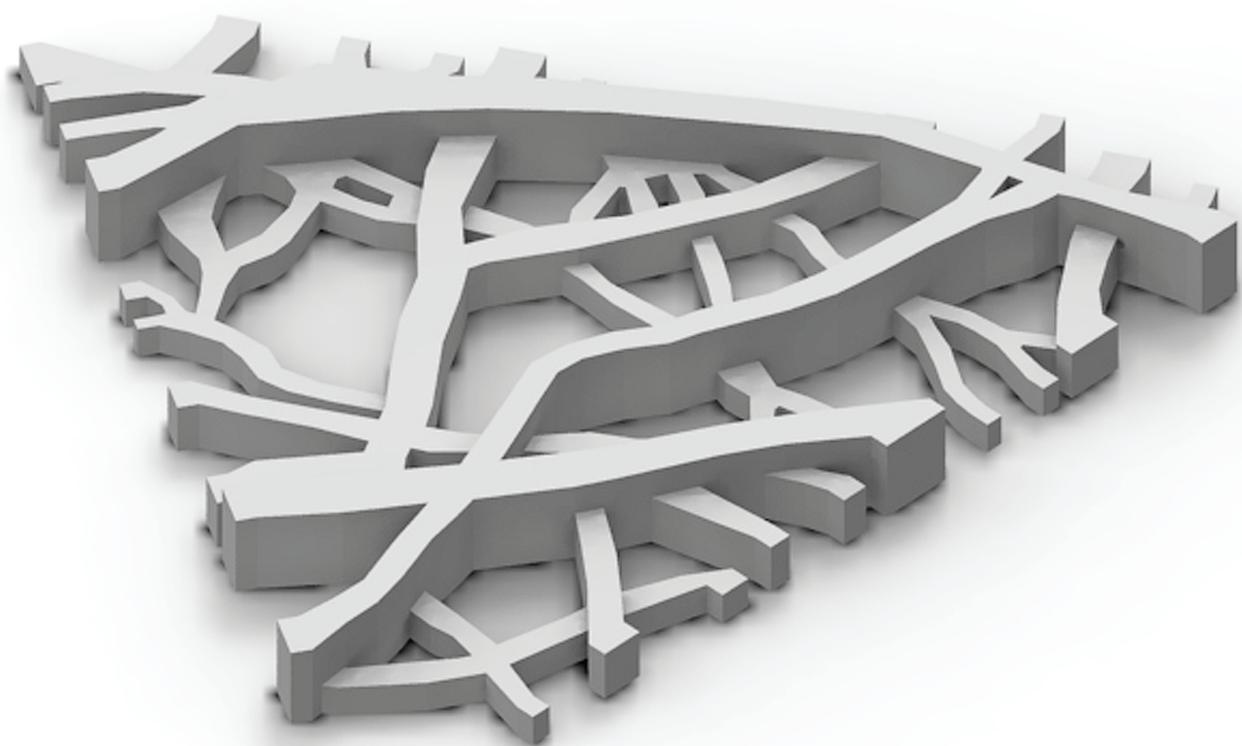


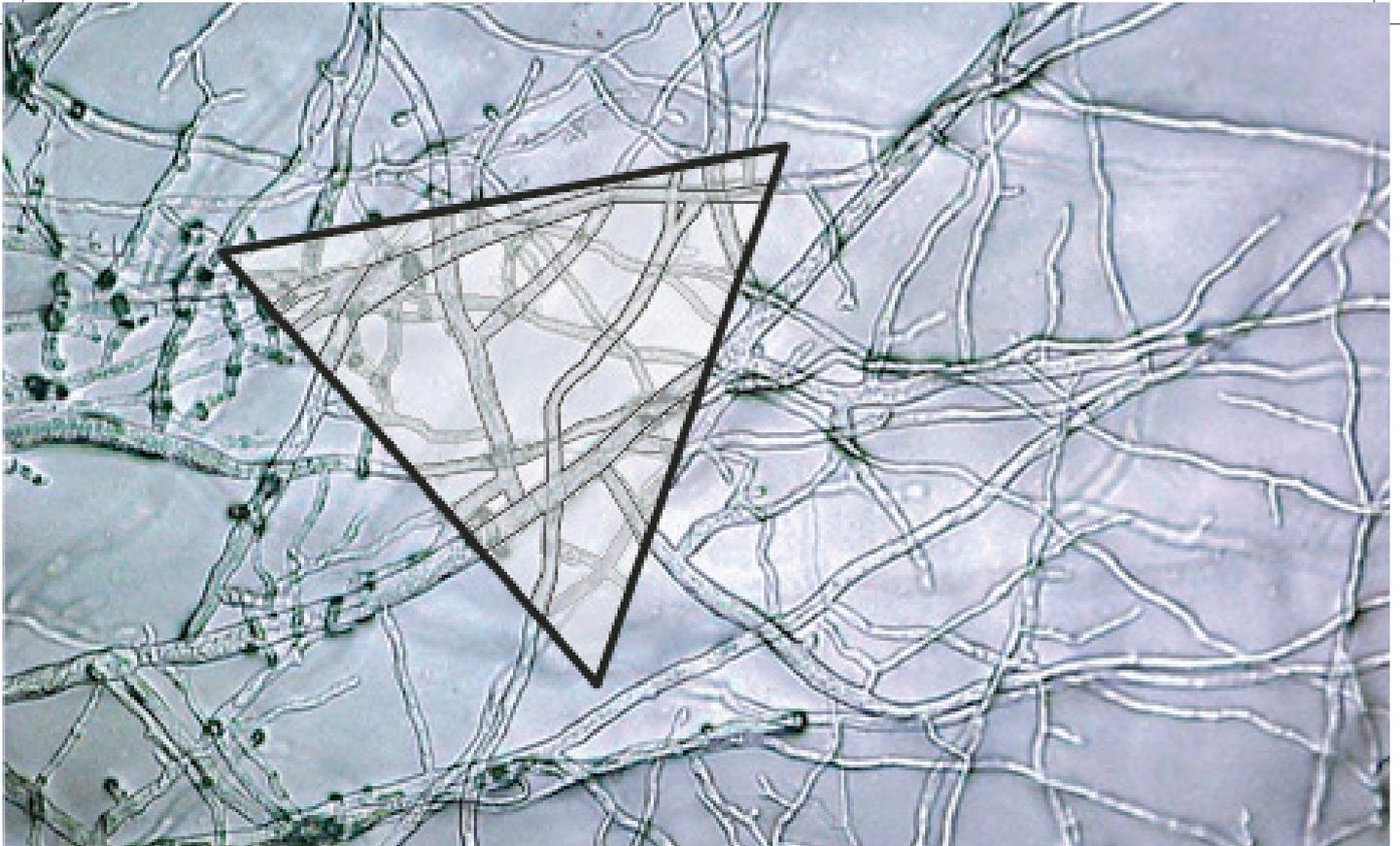


3.1.1 Neuronales Netz

In der Retina des Auges existiert ein komplexes Netzwerk an neuronalen Verbindungen. Neurone (Nervenzellen) sind hochspezialisierte Zellen zur Aufnahme und Verarbeitung von Signalen. Das Signal wird durch Änderungen des Membranpotentials d.h. elektrisch weitergeleitet und über Kontaktstellen (Synapsen) auf andere Nervenzellen übertragen. Nervenzellen können auch von Sinneszellen Signale erhalten, diese werden z.B. durch Lichtreize ausgelöst. Bei niederen Tieren bilden Nervenzellen einfache Netzwerke, bei höher entwickelten liegen Nervenzellen zentriert in Nervenknotten, den sog. Ganglien, zusammen, bei höchstentwickelten bilden sie das zentrale Nervensystem (ZNS), welches Gehirn und Rückenmark umfasst.¹ Das ZNS enthält beim Menschen etwa 10 hoch 12 Neurone, wobei jedes Neuron mehr als 1000 synaptische Kontakte, in speziellen Regionen sogar mehr als 5000 Kontakte zu anderen Neuronen aufweist. In Abb. 43 ist die Netzhaut eines Stars zu sehen. Die gelben Strukturen sind Nervenbündel, die in der rot dargestellten Trägermatrix verankert sind, die blauen Knoten sind die Ganglionzellen.²

Abb. 43:
Neurales Netz,
Dreiecksseitenlänge $10\ \mu\text{m}$

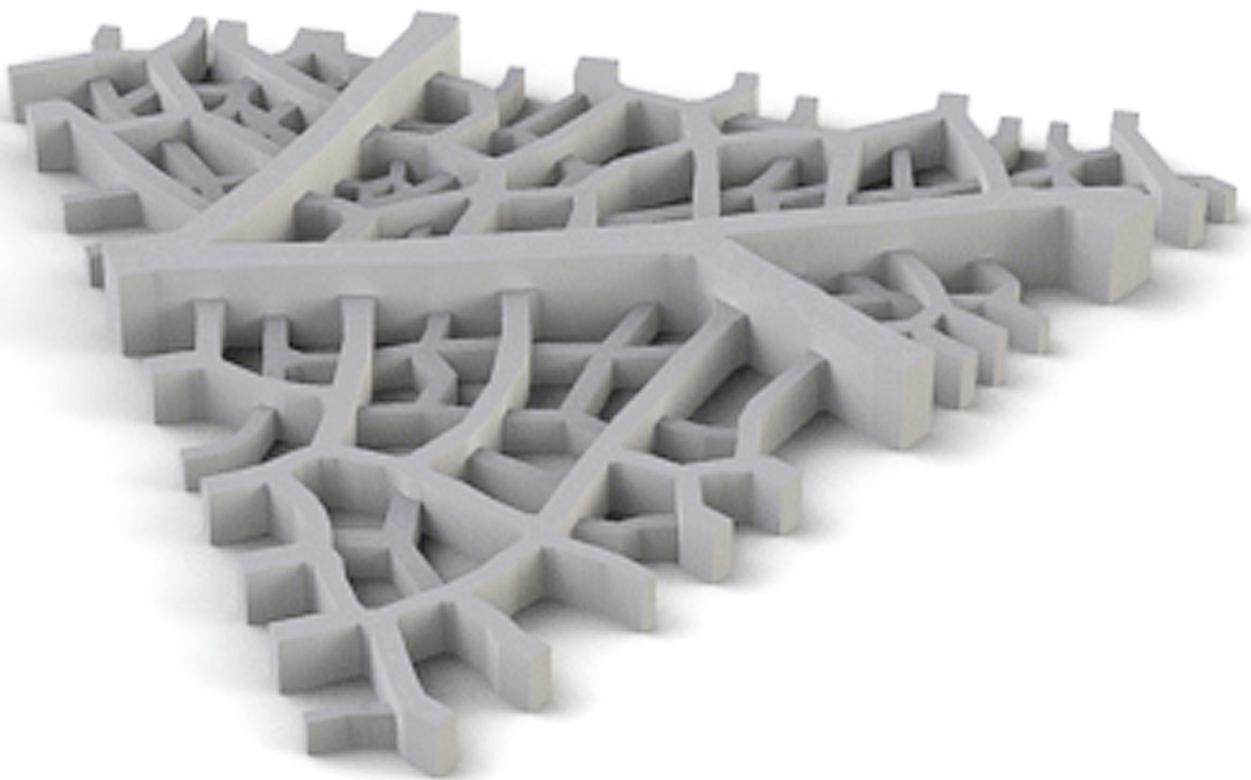




3.1.2 Mycel - Weitverzweigtes Sporennetz von Pilzen

Die oft bemerkenswert ausgedehnten Geflechte liegen unter der Oberfläche. Das was von Pilzen an der Oberfläche sichtbar ist, also der Fruchtkörper, ist nur der kleinere Teil des Gesamtorganismus Pilz. Der meist weitaus größere Teil befindet sich im Substrat, also im Boden oder Holz, bzw. bei parasitären Pilzen im Wirt und wird als Mycel bezeichnet. Das Mycel besteht aus den fadenförmigen Hyphen, die dicht verwobene Netzwerke bilden. Es dient der Nährstoffaufnahme und bringt Fruchtkörper bzw. Fortpflanzungsorgane zur Sporenbildung hervor. Das Mycel kann gigantische Ausmaße von einigen Metern bis zu einem Kilometer erreichen.³ In Oregon wurde der bis heute größte Pilz von Forschern der Oregon State University nachgewiesen. Es handelt sich um einen Honigpilz (*Armillaria ostoyae*) aus der Gattung Hallimasch. Das weitverzweigte Pilzgeflecht erreicht bei einer durchschnittlichen Stärke von einem Meter, eine Ausdehnung von nahezu einem Quadratkilometer. Die Forscher untersuchten die Ursachen eines rätselhaften Waldsterbens, als sie auf den riesigen Pilz stießen, der die Wurzeln der Bäume befallen hatte und sich unter deren Rinde immer weiterausbreitete. Der Pilz entzog den Bäumen Wasser und lebenswichtige Nährstoffe, was zu einem langsamen Absterben des Waldes führte. Der vorgefundene Honigpilz ist der größte lebende Organismus der Welt und mit einem Alter von geschätzten 2400 Jahren wohl auch der älteste.⁴

Abb. 44:
Sporennetz von Pilzen,
Dreiecksseitenlänge 1 mm



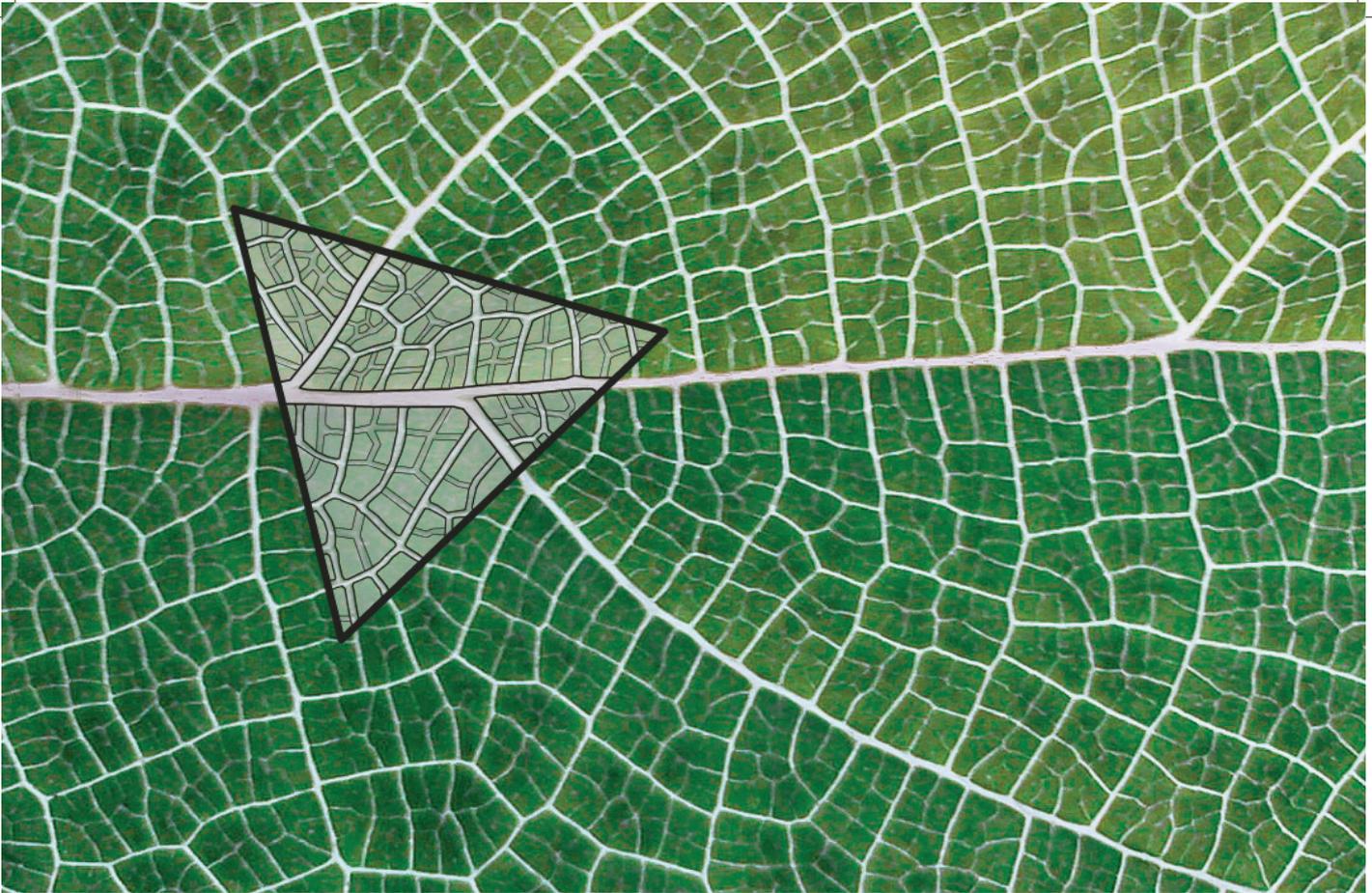
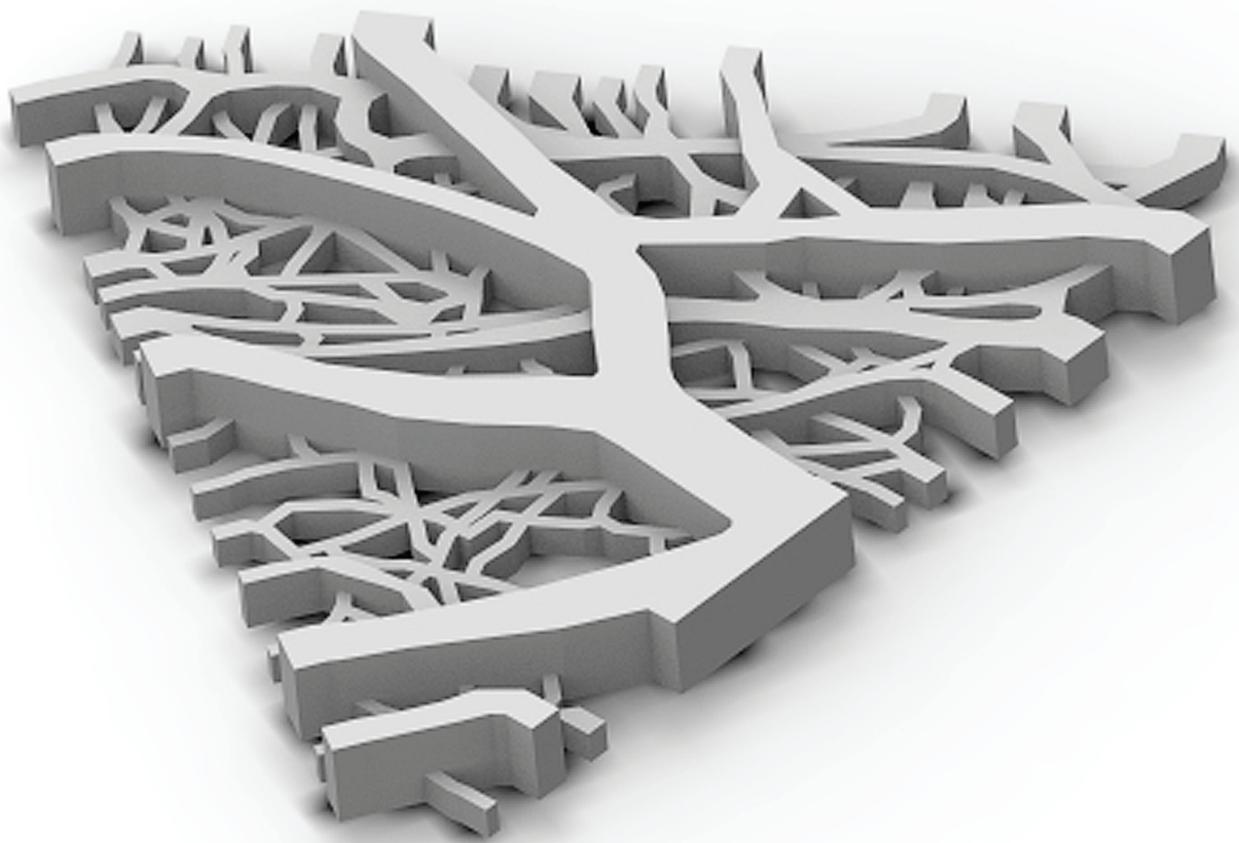


Abb. 45:
Blattadern,
Dreiecksseitenlänge 1 cm

3.1.3 Adern System eines Blattes – Versorgungs- und Stabilisierungsstruktur

Das Blatt ist neben der Sprossachse und der Wurzel eines der drei Grundorgane der höheren Pflanzen. Es dient, mithilfe der Fotosynthese, dem Gasaustausch und der kontrollierten Wasserabgabe, der Ernährung der Pflanze. Geschlossene Leitbündel durchziehen als Blattadern, -rippen oder -nerven die Spreite (Blattfläche), bei zweikeimblättrigen Pflanzen meist netzartig, bei einkeimblättrigen in der Regel parallel oder bogenförmig. Diese Gefäßbündel dienen der Versorgung mit Wasser und Nährsalzen sowie dem Abtransport der Assimilate (Assimilation: die Umwandlung von Kohlendioxid zu Kohlenhydraten durch Fotosynthese). Zusätzlich stabilisieren sie den Pflanzenkörper. Die Lebensdauer der meisten Laubblätter beträgt nur einige Monate, da sie im Winter abgeworfen werden. Wachstum und Form sind genetisch bestimmt.⁵



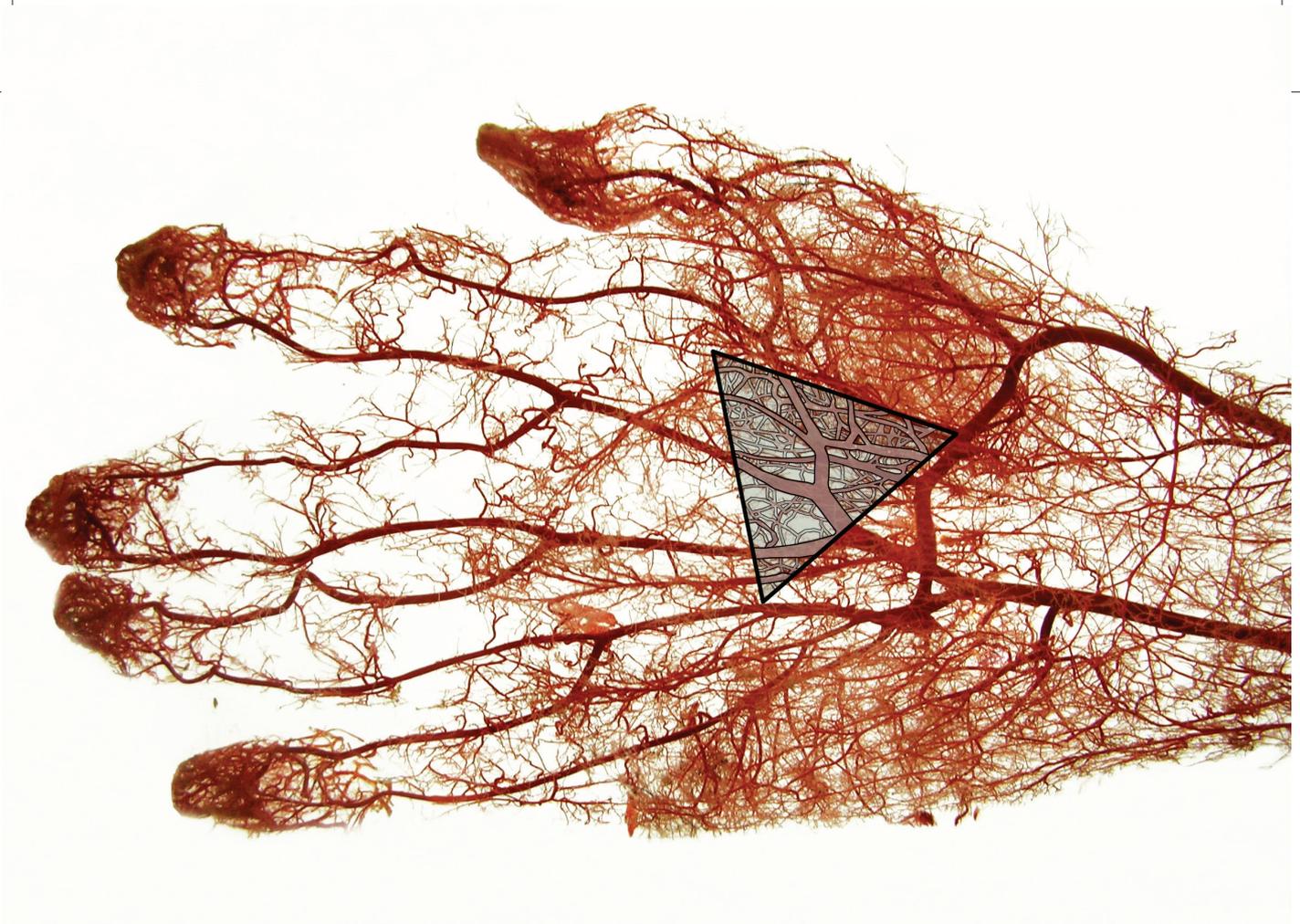
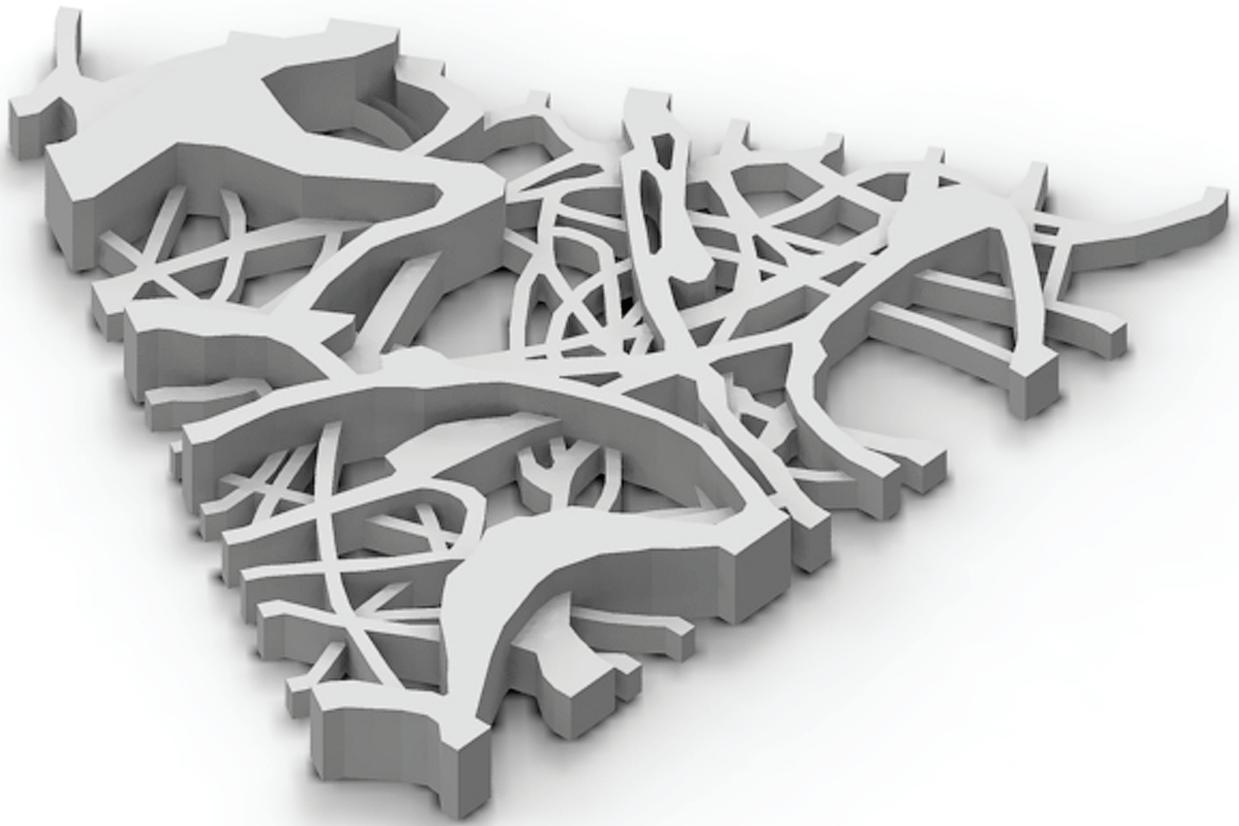


Abb. 46:
Blutgefäße in menschlicher Hand
Dreiecksseitenlänge 3 cm

3.1.4 Adernsystem der menschlichen Hand – Ein biometrischer Code

Blutgefäße bzw. Adern sind elastische Röhren, die bei Menschen und höheren Tieren das Blut durch den Körper leiten. Sie werden, falls sie Blut vom Herzen wegführen, als Arterien, andernfalls als Venen bezeichnet. Der Wechsel der Flussrichtung erfolgt über Arteriolen bzw. Venolen, die in ein dichtes Netz aus feinen Kapillaren münden.⁶ Das Adern System jedes Individuums bildet einzigartige Muster, die in der menschlichen Hand zur Personen Identifizierung herangezogen werden. Diese Alternative zu Iris-Scan und Fingerabdruck wird mittels Infrarot-Bildererkennung durchgeführt. Da die spezifische Anordnung nicht genetisch, sondern vielmehr zufällig bestimmt ist, kommt es selbst bei eineiigen Zwillingen nicht zu Gleichartigkeit. In zahlreichen Anwendungsbereichen, von privaten Einsätzen wie PC- oder Autozugriff, bis hin zu Zugangskontrollen zu Hochsicherheitszonen, soll diese Technologie zum Einsatz kommen.⁷





3.1.5 Jackson Pollock, Nummer 14 – der Wegbereiter des abstrakten Expressionismus

Jackson Pollock war amerikanischer Maler (1912-1956) und der bedeutendste Vertreter des Actionpaintings. Als Einflüsse für seine Arbeit sind unter anderem Picassos Kubismus, die indianische Kunst und der Surrealismus zu nennen. Vor allem der Automatismus, der schon im Surrealismus eine wesentliche Rolle spielte wird bei Pollock malerisch, aktionistisch umgesetzt. „Das Wesen der Kunst liegt im Unbewussten“, ist dabei die zentrale These. Mit den Actionpaintings (ab 1947), bei denen die Farbe direkt aus Dosen getropft oder gespritzt wird, verwirklicht Pollock seine Vorstellung vom unbewussten Schaffen. Meist bearbeitet er von oben die auf dem Boden liegenden, großformatigen Leinwände. Er selbst meint dazu: „Die Methode der Malerei entspricht dem natürlichen Wachstum aus einer Notwendigkeit heraus“⁸ Auf den Leinwänden entstehen wirre Geflechte aus Farbfäden, -tropfen und -strichen die dennoch eine stark rhythmische Strukturierung erkennen lassen.⁹

Abb. 47:
Jackson Pollock, Nr 14 gray (1948)
Dreiecksseitenlänge 20 cm



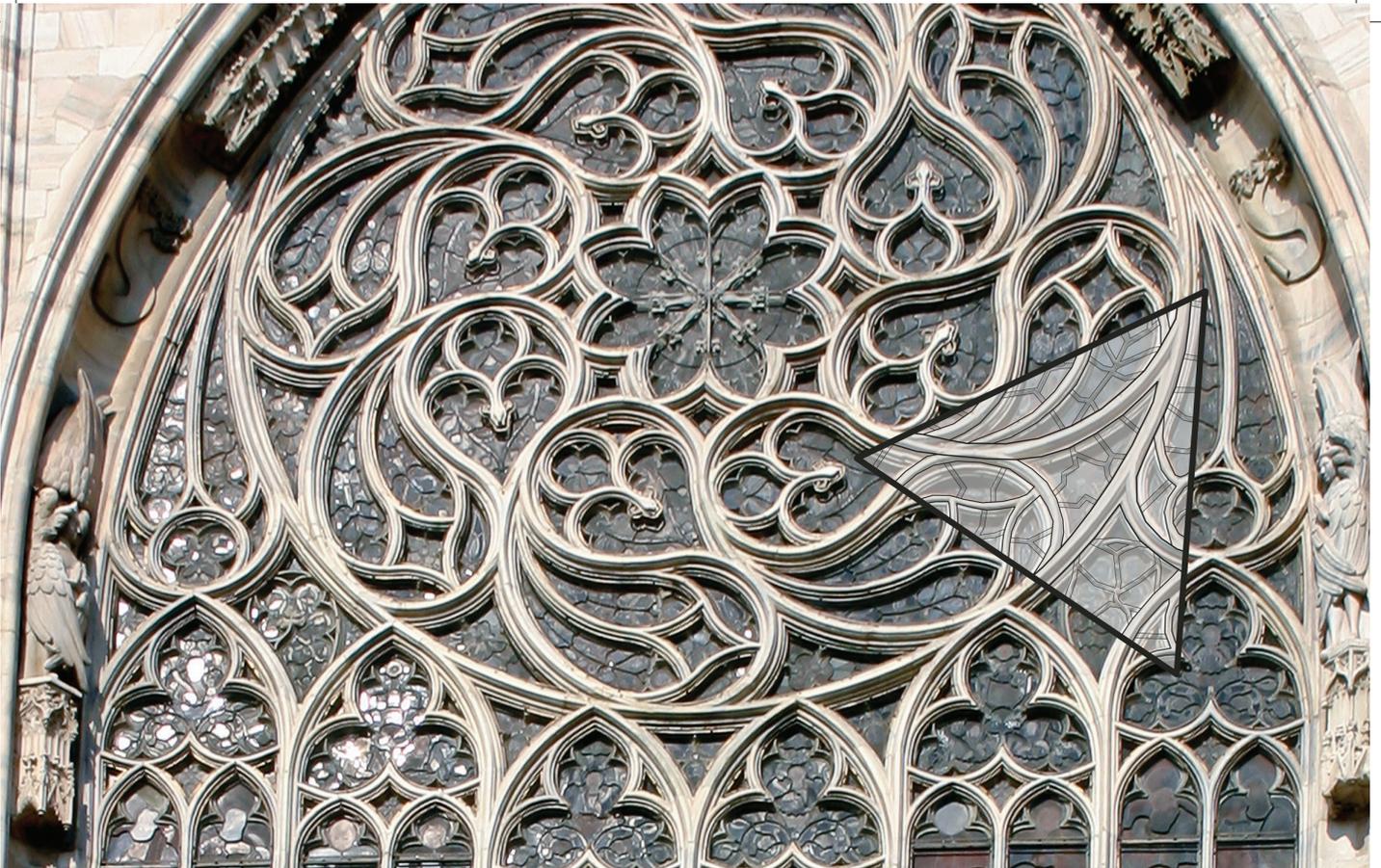


Abb. 48:
Chorfenster des Mailänder Doms,
Dreiecksseitenlänge 3 m

3.1.6 Fensterrose am Mailänder Dom – Gotisches Maßwerk, Verflechtungen in Stein gehauen

Der Mailänder Dom ist eine fünfschiffige Staffelbasilika mit dreischiffigem Querhaus. Er zählt mit einer Länge von 157m und einer Breite von 109m zu den größten Kirchen der Welt. 1386/87 begann Simone da Orseni mit der Planung, erst 1572 wurde der hochgotische Hauptbau vollendet, weite Teile der äußeren Gestaltung wurden erst im 18. und 19. Jhd. fertiggestellt.¹⁰ Der Bildausschnitt stammt von einem der hohen mit farbenprächtigen Gläsern ausgestatteten Fenstern des polygonalen Chors. Die vom sechsfach gegliederten Stabwerk getragene, große Flamboyant Rose ist typisch für die späte Gotik. Sie trägt zentral ein Achtblatt, das von acht Schneußpaaren umringt wird, diese sind wiederum in zwei verschiedenen Varianten gefüllt. Rechnet man die Bleieinfassungen der Einzelscheiben zu den Maßwerkstrukturen ergeben sich somit drei Gliederungsebenen.

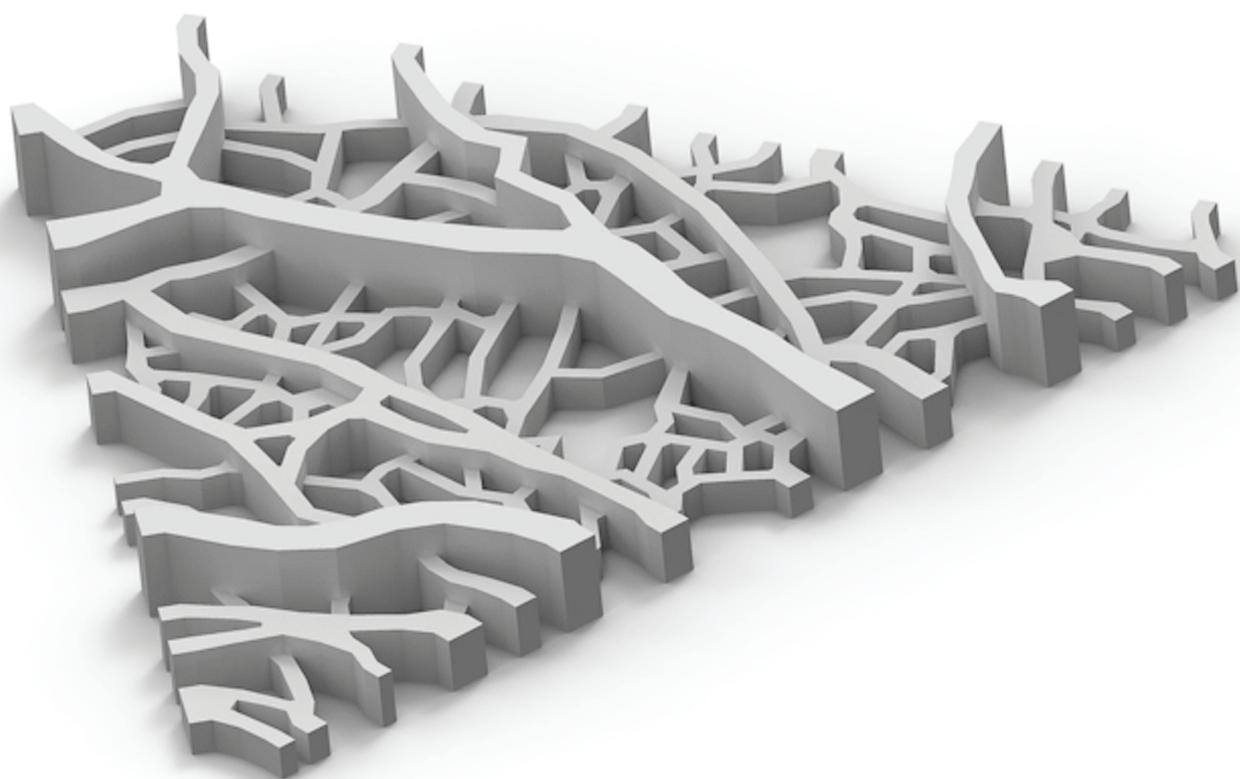
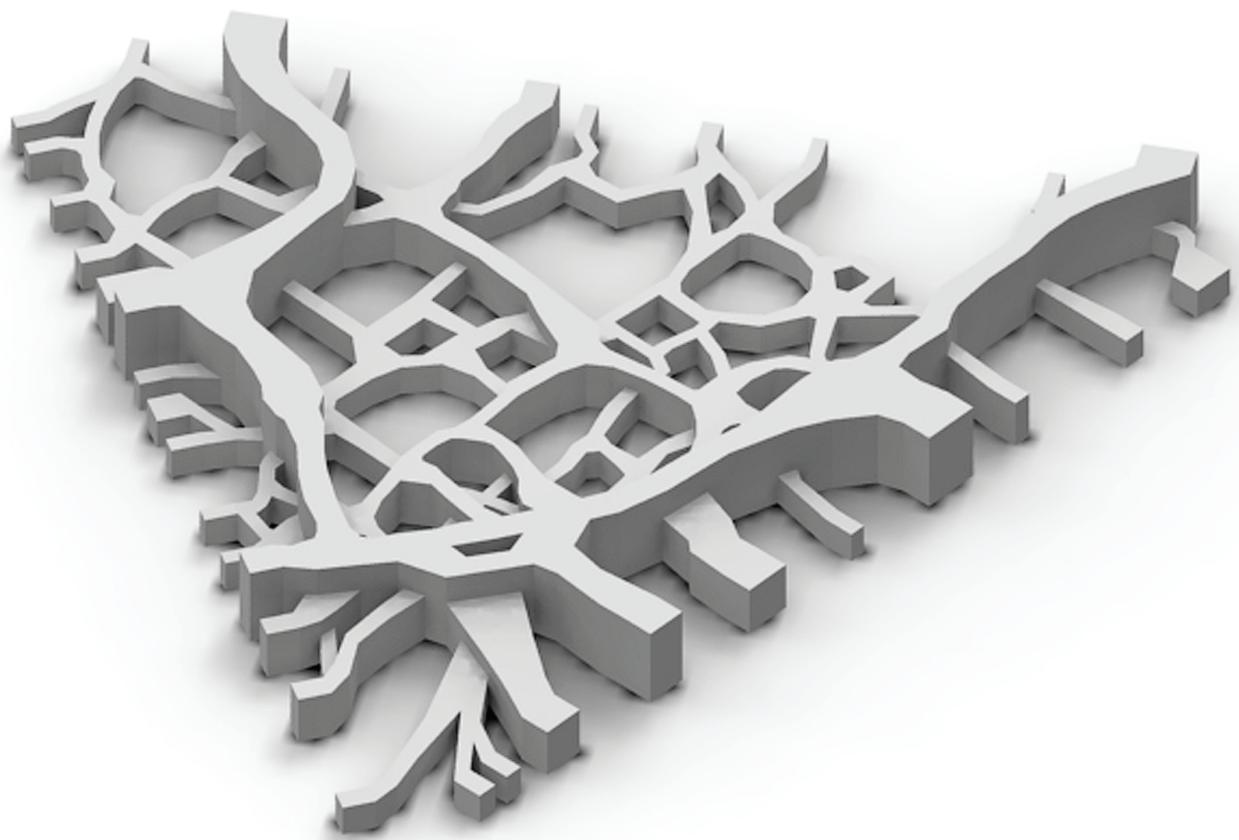




Abb. 49:
Baumkronen,
Dreiecksseitenlänge 3 m

3.1.7 Verästelungen in Baumkronen – Kappilaren der Natur

Als Baum wird im allgemeinen Sprachgebrauch ein Holzgewächs verstanden, das aus Wurzel, einem ausgeprägtem Stamm und einer verzweigten, belaubten Krone besteht. Ansammlungen von Bäumen bilden als Wald in vielen Gebieten der Erde die beherrschende Vegetationsform. Sie regulieren durch Feuchtigkeits- und Staubbindung, Wind- und Erosionsschutz und die Abgabe von Sauerstoff das globale Klima und das ortsspezifische Mikroklima. Bäume tragen seit jeher mythische Bedeutungen. In vielen Kulturen werden sie als Orte der Präsenz oder der Erscheinung von Gottheiten verehrt. Buddha hat z.B. unter dem Bodhibaum die Erleuchtung empfangen. In der Paradieserzählung des Alten Testaments spielen der Baum der Erkenntnis und der Baum des Lebens zentrale Rollen. In der altnordischen Mythologie wird Yggdrasil als Weltesche verehrt, deren Zweige sich über die gesamte Erde ausbreiten. Noch heute ist es vielerorts Brauch, zur Geburt eines Kindes einen „Lebensbaum“ zu pflanzen.¹¹



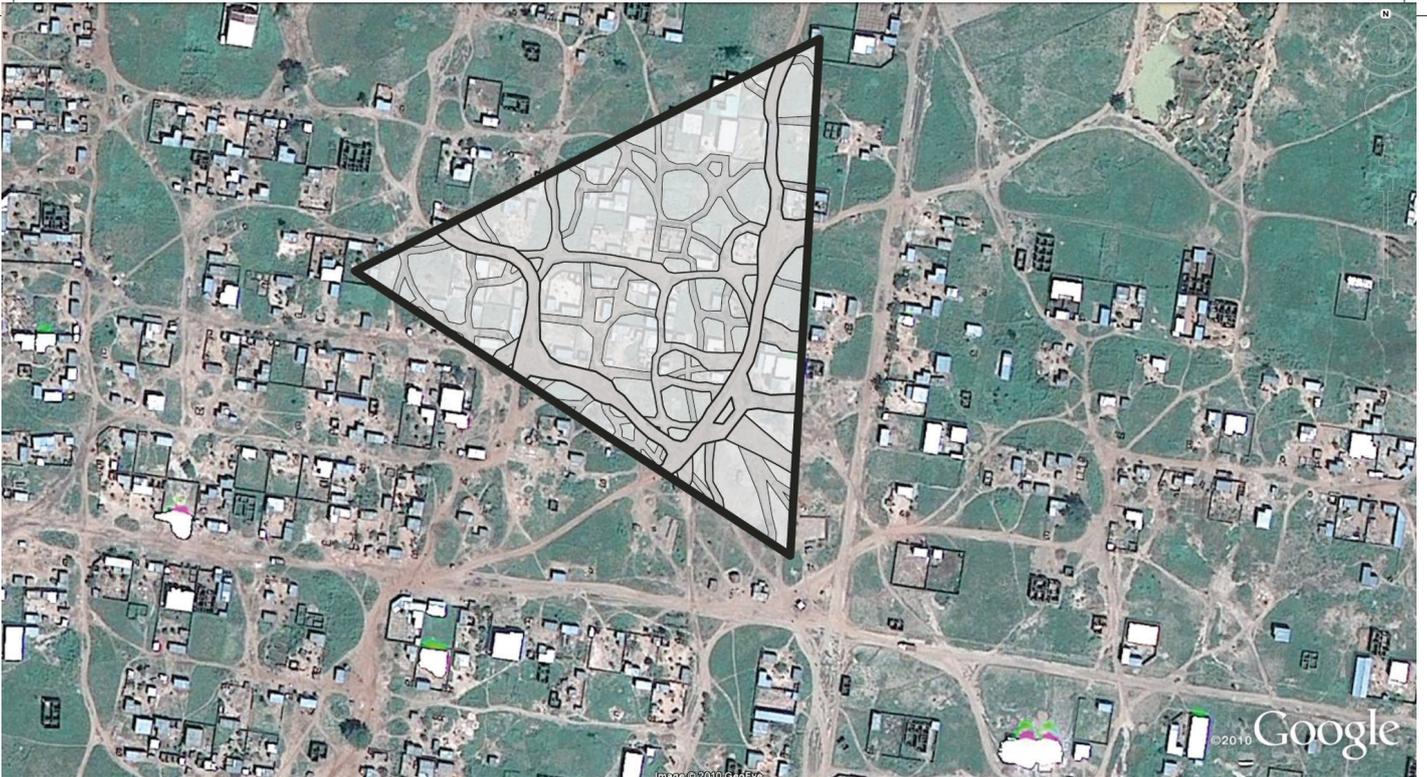
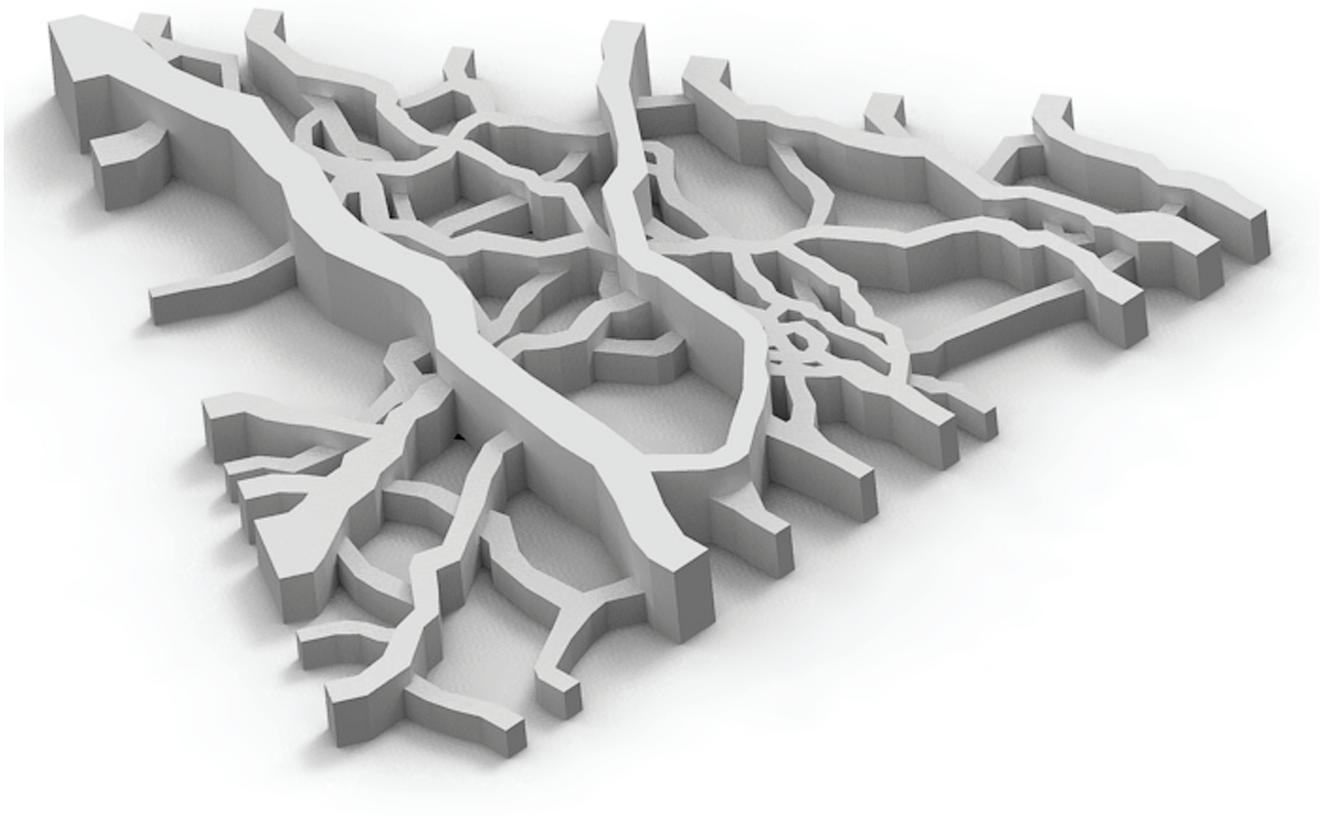


Abb. 50:
Siedlungsstruktur nahe Ougadougou,
Dreiecksseitenlänge 150 m

3.1.8 Das Wegenetz vor Ougadougou

Die Bewegungspuren der Menschen zeichnen sich deutlich in der Landschaft ab. Das Satellitenbild zeigt einen Vorort von Ouagadougou, der Hauptstadt von Burkina Faso. Zu erkennen sind Wohnhöfe und die sie verbindenden Wege. Die Hauptordnungsstruktur ist orthogonal, was zum einen an den Hofformen und deren Ausrichtung als auch an den zwei Hauptwegeachsen zu erkennen ist. Offensichtlich entspricht dies einer übergeordneten regionalen Raumplanung. Interessant allerdings ist die Struktur des dazwischenliegenden, chaotischen Wegenetzwerks, das augenscheinlich keiner rationalen Planung entsprungen ist. Vielmehr bilden sich die Bewegungen der Bewohner dieses Gebietes als sichtbare Abnützung in der Grasnarbe des Bodens ab, und werden gleichsam zum Abbild einer Sozialstruktur. Freilich ist die hier erkennbare Bewegungsstruktur lediglich eine Momentaufnahme eines dynamischen Prozesses.



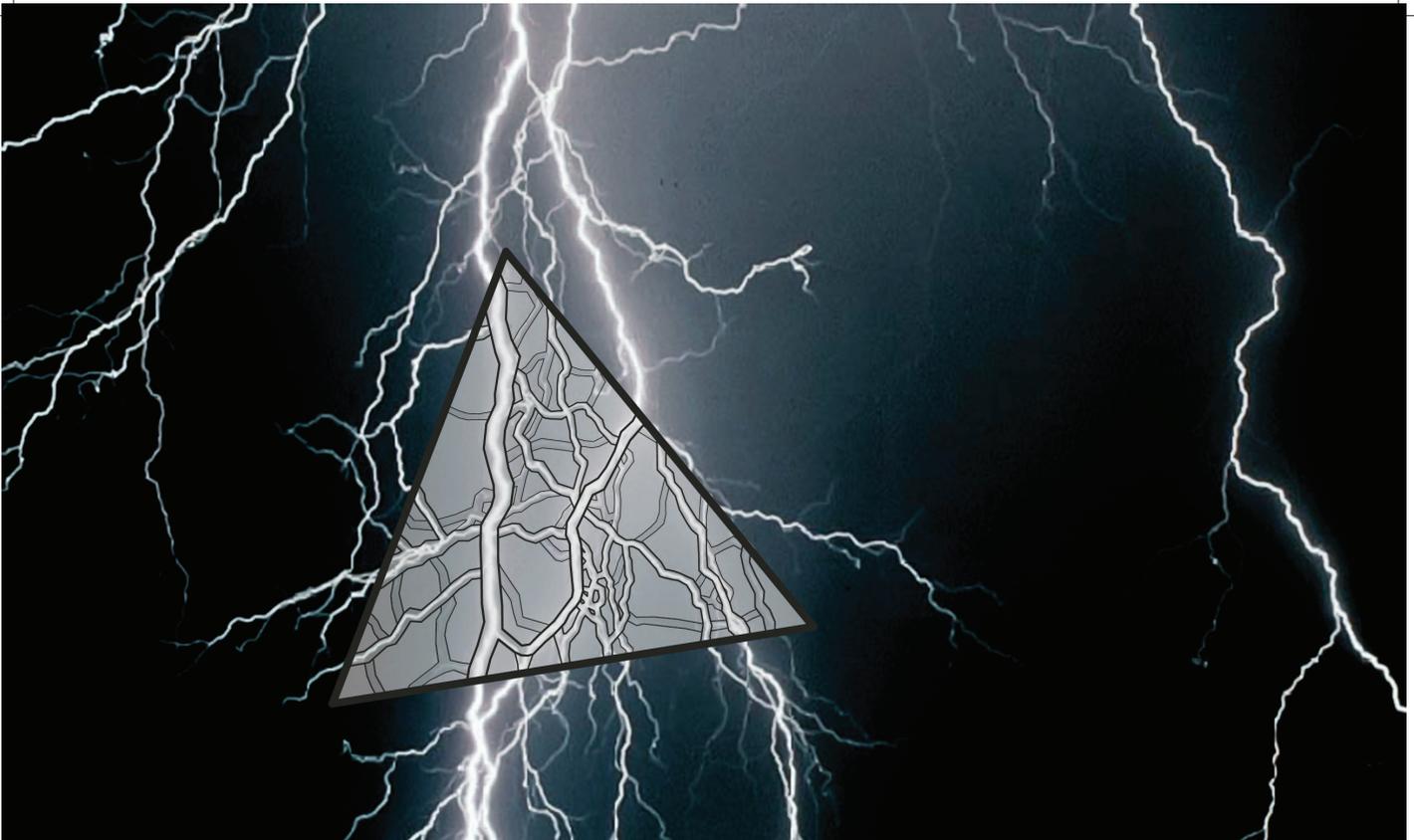
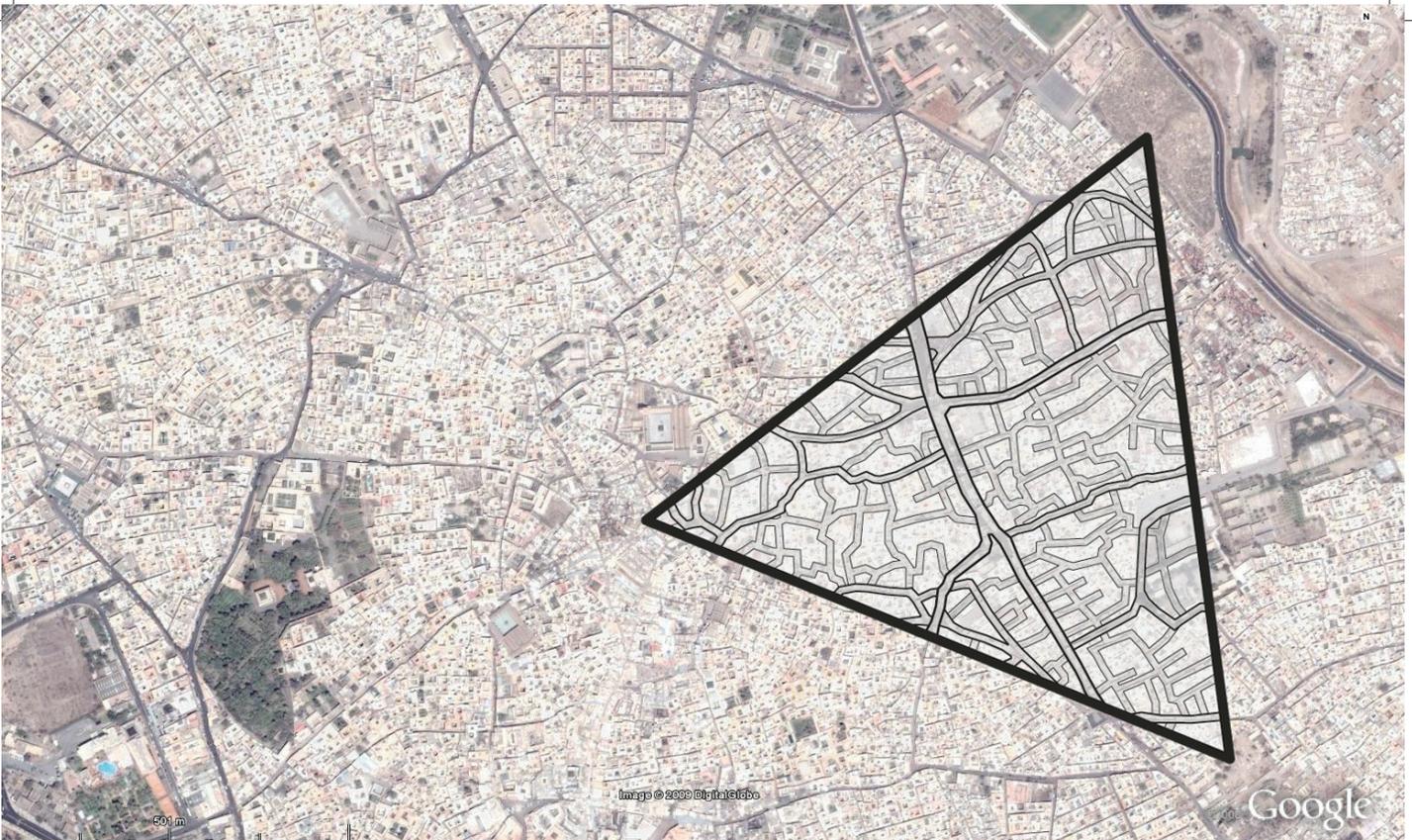


Abb. 51:
Blitz,
Dreiecksseitenlänge 300 m

3.1.9 Blitz - Struktur einer Energieentladung

Als Blitz wird ein Ausgleich hoher elektrischer Aufladungen zwischen Wolken und Erde oder zwischen Wolken bezeichnet. Die häufigste Form ist der oft verzweigte Linienblitz. Die Stromstärke kann bis 100.000A, die Spannung viele Mio.V betragen.¹² In der Regel tritt ein Blitz während eines Gewitters in Folge der elektrostatischen Aufladung der wolkenbildenden Wasser Tröpfchen oder der Regentropfen auf, dabei werden elektrische Ladungen ausgetauscht, d.h. es fließen elektrische Ströme. Meistens fließt negative Ladung von der Wolkenunterseite zum Boden (Negativblitz), selten positive Ladung von der Wolkenoberseite (Positivblitz). Während Negativblitze durchschnittlich Längen von ein bis drei km aufweisen, erreichen Positivblitze oft über zehn km. Einer Blitzentladung geht eine Serie von Vorentladungen voraus, dabei bildet sich ein Blitzkanal (Leitblitz). Da die Vorentladungen in ihrer Richtung leicht variieren und sich auch aufspalten können, kommt die Zick-Zack Form und die Verästelungen des Blitzes zustande.¹³



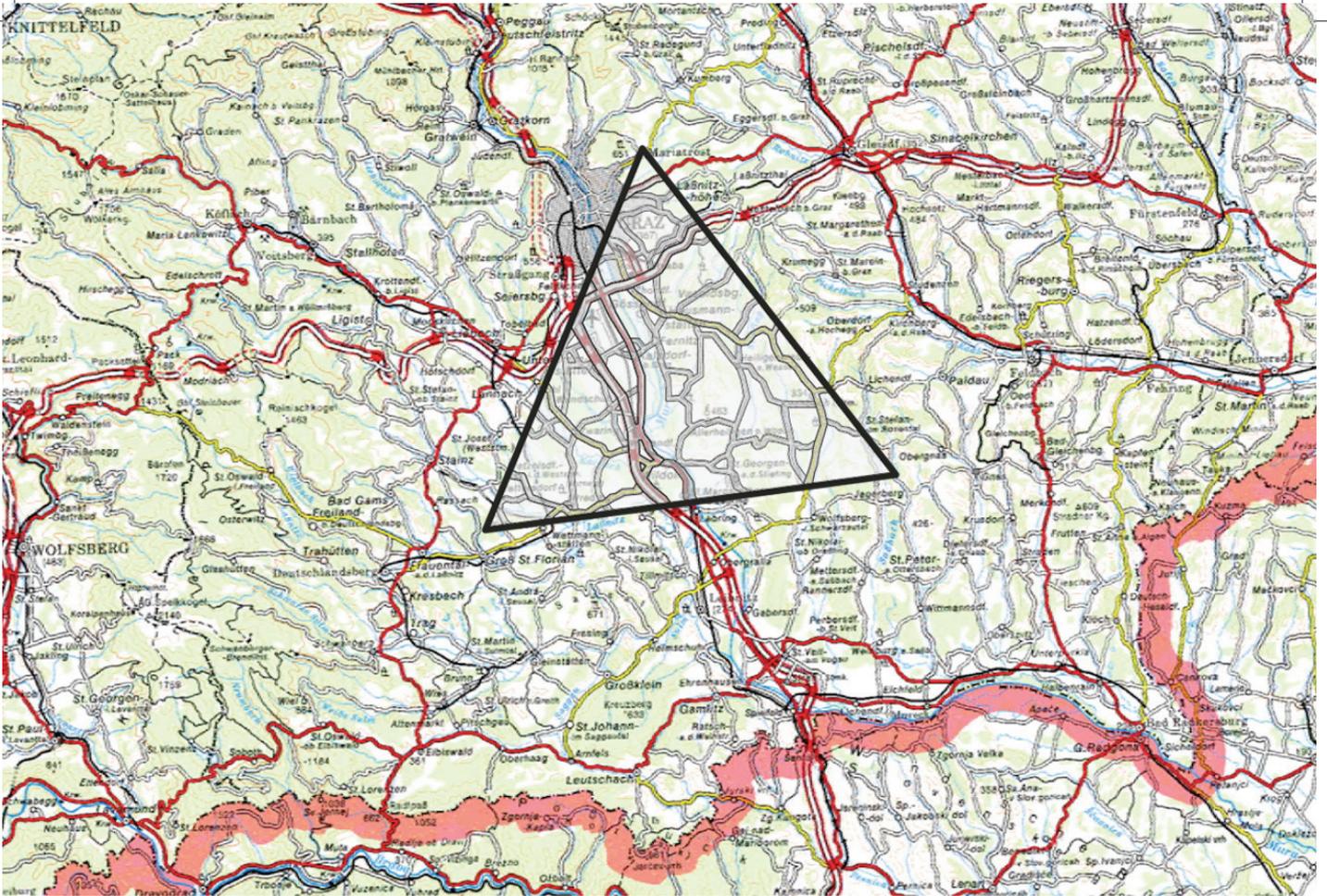


3.1.10 Strassengewirr - Marrakesch

Die Medina mit ihren engen Wegen und Sackgassen ist kulturell geprägt und perfekt an Geografie und Klima angepasst. Marrakesch, die mit 823 200 Einwohnern viertgrößte Stadt Marokkos, liegt im Norden des Hohen Atlas. 1070 wurde sie als Hauptstadt des entstehenden Almoraviden Reichs in der Ebene einer ehemaligen Dattelpalmoase gegründet. Sie war lange Zeit Residenzstadt der marokkanischen Sultane und ist heute, neben Agadir das wichtigste Fremdenverkehrszentrum in Marokko.¹⁴ Die Stadtstruktur der traditionell ummauerten Medina entspricht der einer orientalischen Stadt und weist eine Zweiteilung des Straßenmusters auf. Einerseits das verhältnismäßig weitmaschige, durchgängige Hauptstraßennetz, das das Stadtzentrum mit den Einzelnen Quartieren und den Stadttoren verbindet. Andererseits die stark abgewinkelten Quartiergassen, welche vorwiegend Sackgassen bilden und einen halböffentlichen Charakter besitzen. Häufig können diese Gassen auch durch Tore abgeschlossen werden und bilden somit abgeschlossene Zellen als Wohnquartiere bzw. Nachbarschaften. Wie stark ausgeprägt diese Schutzstrukturen sind, hängt wesentlich von der Stärke der politischen Zentralgewalt und der damit einhergehenden Inneren Sicherheit einer Stadt zusammen und war daher immer wieder Änderungen unterworfen.¹⁵

Abb. 52:
Marrakesch,
Dreiecksseitenlänge 800 m

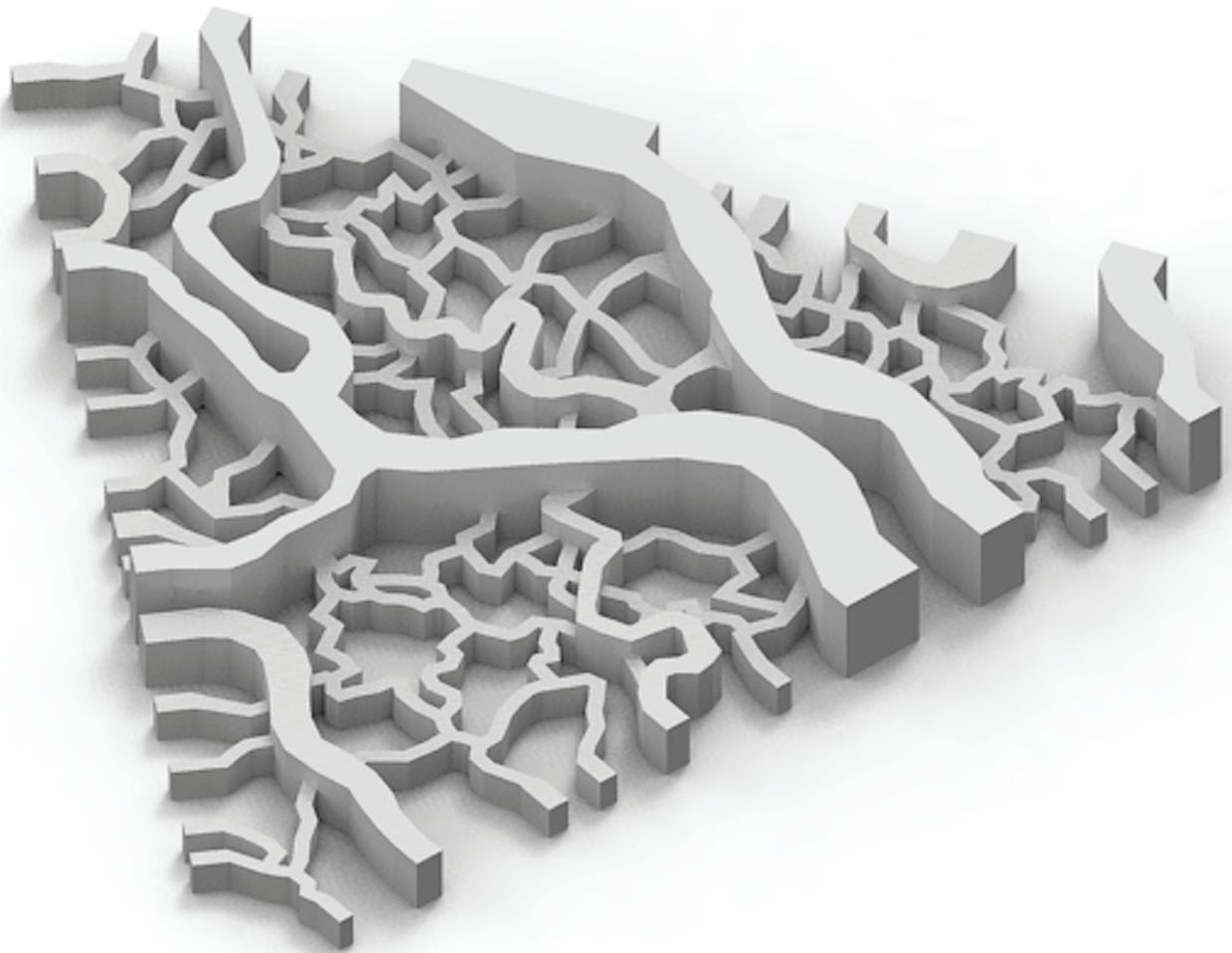




3.1.11 Straßensysteme – Bewegungstruktur der Menschheit

Das sich über die gesamte Welt spannde Netzwerk aus Autobahnen, Straßen und Wegen bezeichnet neben Eisenbahngleisen bzw. Luft- und Wasserwegen die Lage der Hauptbewegungsflüsse von Menschen und Gütern auf unserm Planeten. Das Straßensystem gliedert sich länderspezifisch in mehrere Strukturebenen. In Österreich wird eine Unterteilung in Autobahnen und Schnellstraßen, und in Bundes-, Landes- und Gemeindestraßen sowie in Wege vorgenommen. Erstere bilden die Primärstruktur, welche über Landesgrenzen hinweg die Städte verbindet. Die Sekundärstruktur verbindet mittelgroße Agglomerationen in einem feineren Netzwerk und schließt an die Primärstruktur an. Die Tertiärstruktur erschließt die dazwischen liegenden Flächen und verbindet diese mit den übergeordneten Strukturebenen. Sie schafft den Übergang von Architektur zu Infrastruktur bzw. von fußläufiger zu motorisierter Bewegung. Der gewählte Ausschnitt zeigt die Region um Graz. Hier schneiden sich zwei Hauptverkehrswege. Der eine führt vom Nordwesten nach Südosten also auf der Route Linz – Zagreb, der andere vom Nordosten nach Südwesten und verbindet Wien und Venedig.

Abb. 53:
Straßenkarte Südsteiermark,
Dreiecksseitenlänge 30 km

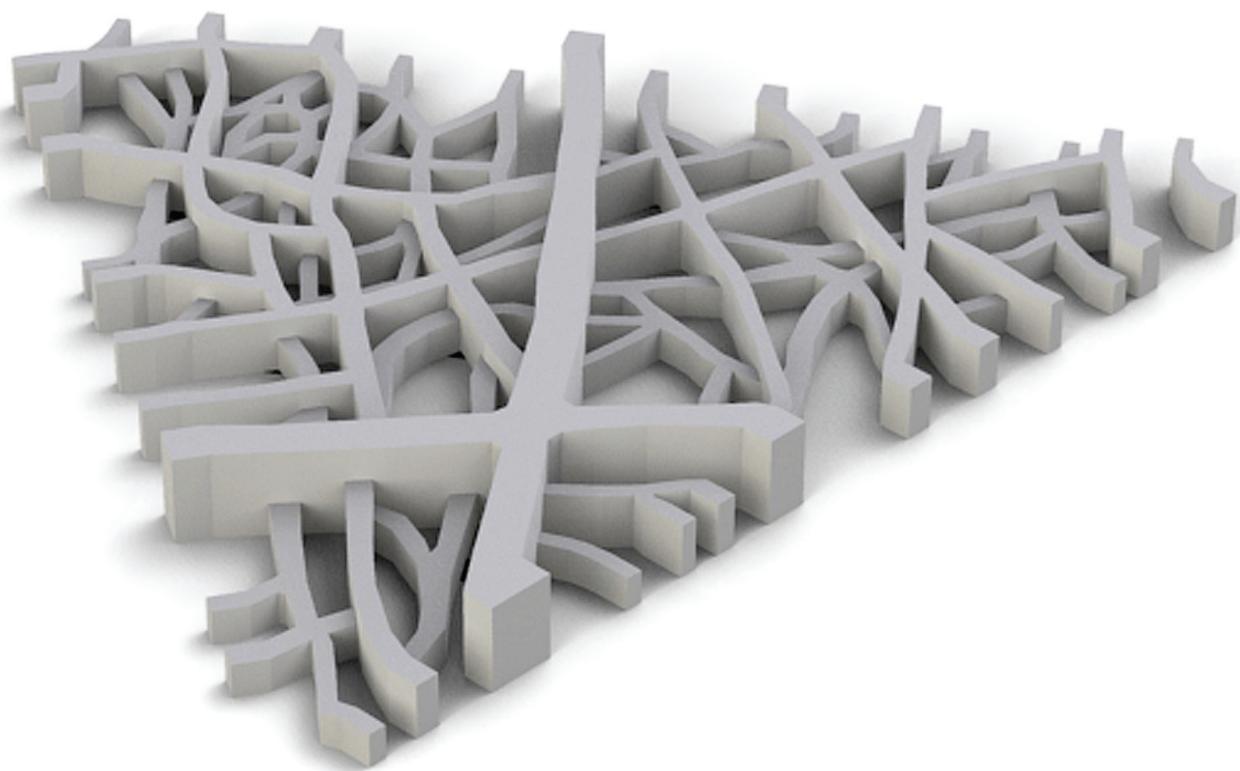


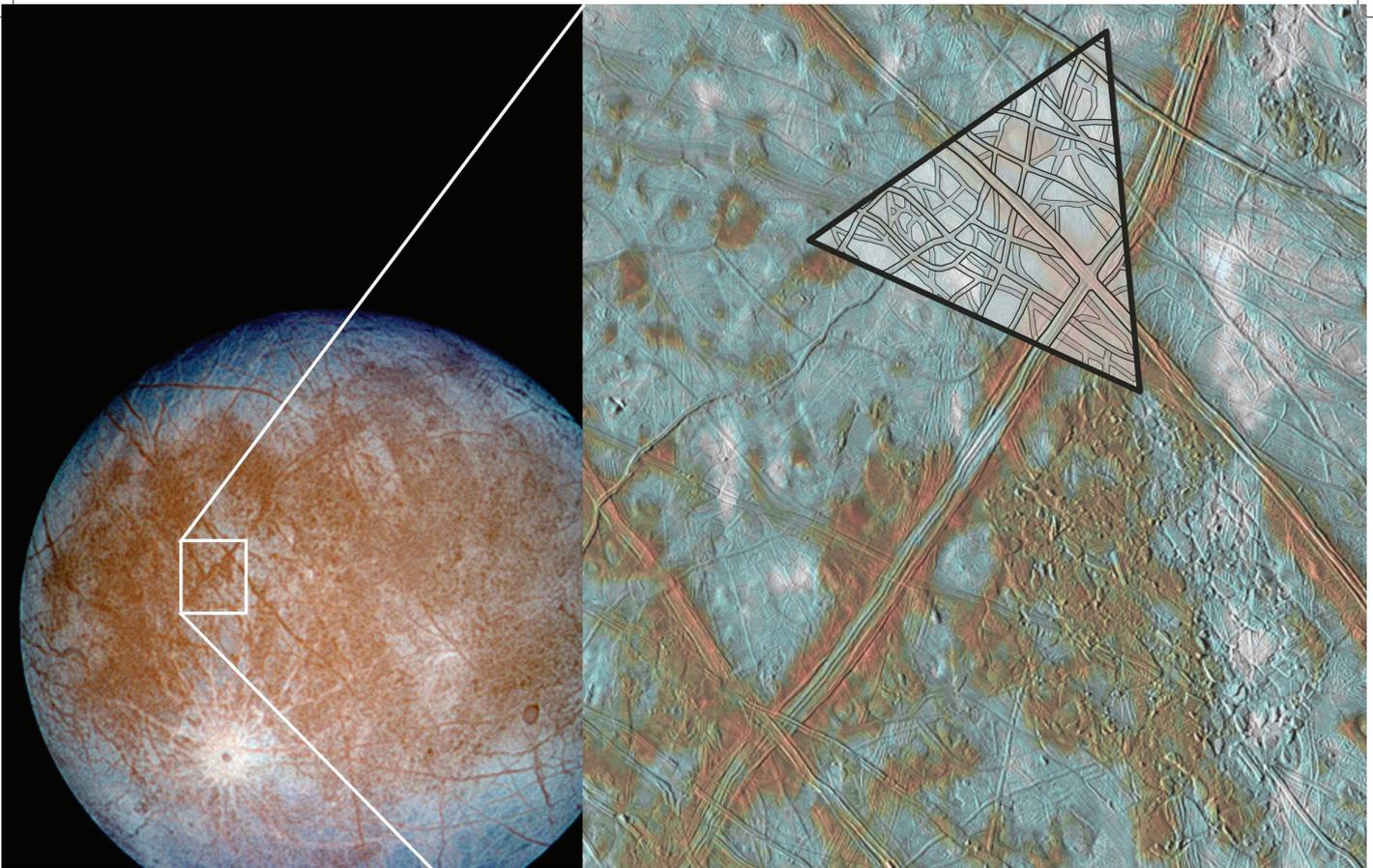


3.1.12 Gangesdelta – Lebensadern in Bangladesch

Das Gangesdelta, in der südasiatischen Region Bengalen, ist das größte Flussdelta der Erde. Es besteht aus rund 240 Flüssen, speist sich aber vorwiegend aus den drei Hauptflüssen: Ganges, Brahmaputra und Meghna. Der Ganges, heiliger Fluss der Hindus, entsteht im indischen Garhwal und hat eine Länge von 2.511 km, die Hauptwassermassen vom Himalaya Gebiet bringt jedoch der Brahmaputra in das Delta ein. Die typische Dreiecksform des Deltas bedeckt eine Fläche von ca. 105.640 km² und erstreckt sich über Indien, China, Bhutan, Nepal und Bangladesch. Der weltgrößte Mangrovenwald, die Sundarbans, liegt im südlichsten Teil des Deltas und erscheint auf den Satellitenbildern tiefgrün. Das extrem flache und von einem Labyrinth aus Wasserstraßen, Teichen und Sümpfen durchzogene Gebiet ist vorwiegend von Reisbauern und Fischern bewohnt. Die Bewohner sind permanent von Überschwemmungen und Zyklonen bedroht, große Gebiete liegen unterhalb des Meeresspiegels, aber trotz der großen Risiken leben im Gangesdelta über 143 Mio. Menschen.¹⁶

Abb. 54:
Gangesdelta,
Dreiecksseitenlänge 50 km





3.1.13 Jupitermond Europa

Europa zählt mit Io, Ganymed und Kallisto zu den vier großen Jupitermonden die „Galileische Monde“ genannt werden. Er ist mit einem Durchmesser von ca. 3130 km der kleinste der vier und etwas kleiner als der irdische Mond, jedoch eines der interessantesten Objekte unseres Sonnensystems. Er besteht mit Ausnahme eines dünnen Mantels aus Wassereis fast ganz aus Gestein. Seine mittlere Dichte beträgt 3 g/cm^3 bei Oberflächentemperaturen von -160°C (Äquator) bis -220°C (Pole). Bemerkenswert ist erstens das nahezu gänzliche Fehlen von Einschlagkratern, was auf eine sehr junge geologische Oberfläche hinweist (max. 30 Mio. Jahre) und zweitens ist die glatte Oberfläche von netzartigen Strukturen überzogen, ähnlich den Eisfeldern in den Polarregionen der Erde. Diese kreuz und quer verlaufenden Gräben und Furchen werden Lineae genannt. Vermutlich sind sie durch Kältevulkanismus oder Geysir Ausbrüche entstanden, wodurch die Eiskruste auseinander gedrückt wurde. Diese Charakteristika führen zu der Annahme, dass unter der ca. 10 km starken Eiskruste ein 90 km tiefer Ozean aus flüssigem Wasser liegt, der durch die Gezeitenkräfte des Jupiters erwärmt wird. Die Existenz von flüssigem Wasser führt natürlich zu Spekulationen über das Vorhandensein von Lebewesen. Eine geplante Jupitermission im Jahr 2020 soll dieses Rätsel klären.¹⁷

Abb. 55:
Oberfläche eines Jupitermondes,
Dreiecksseitenlänge 300 km



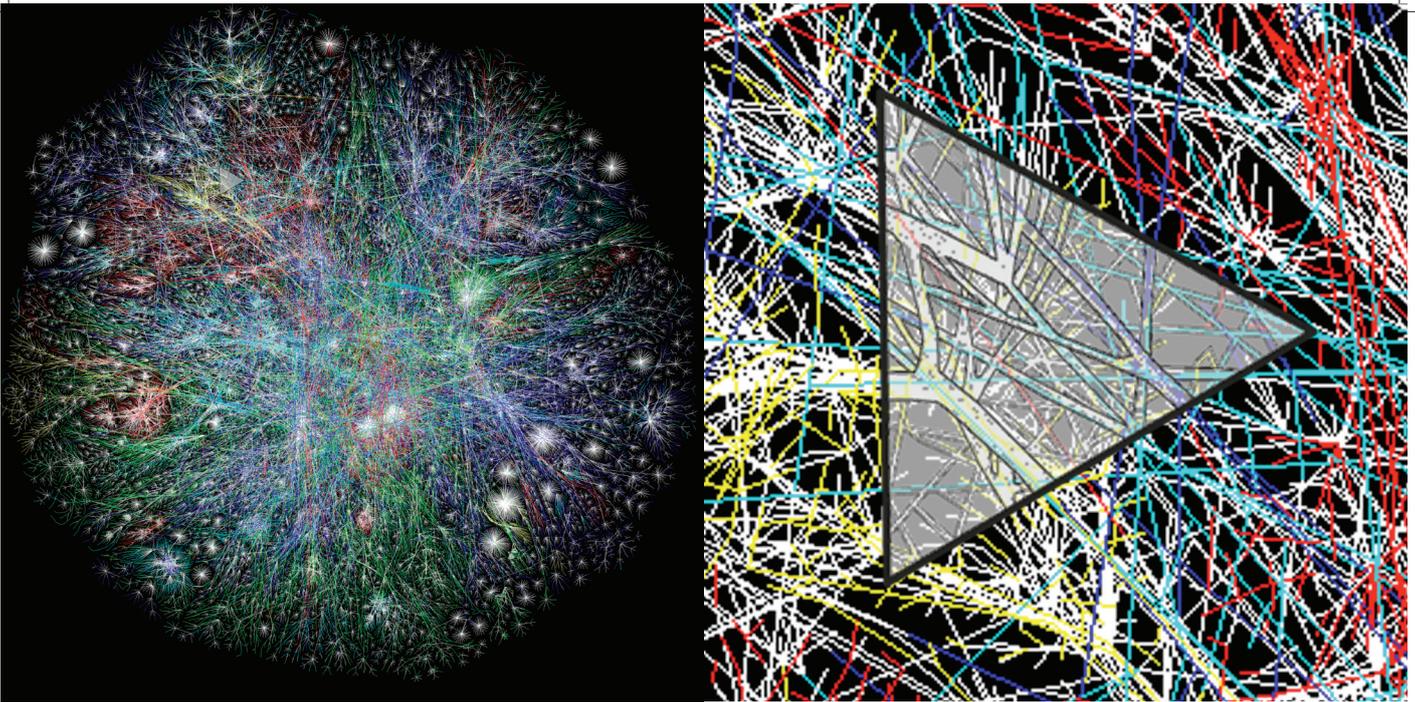
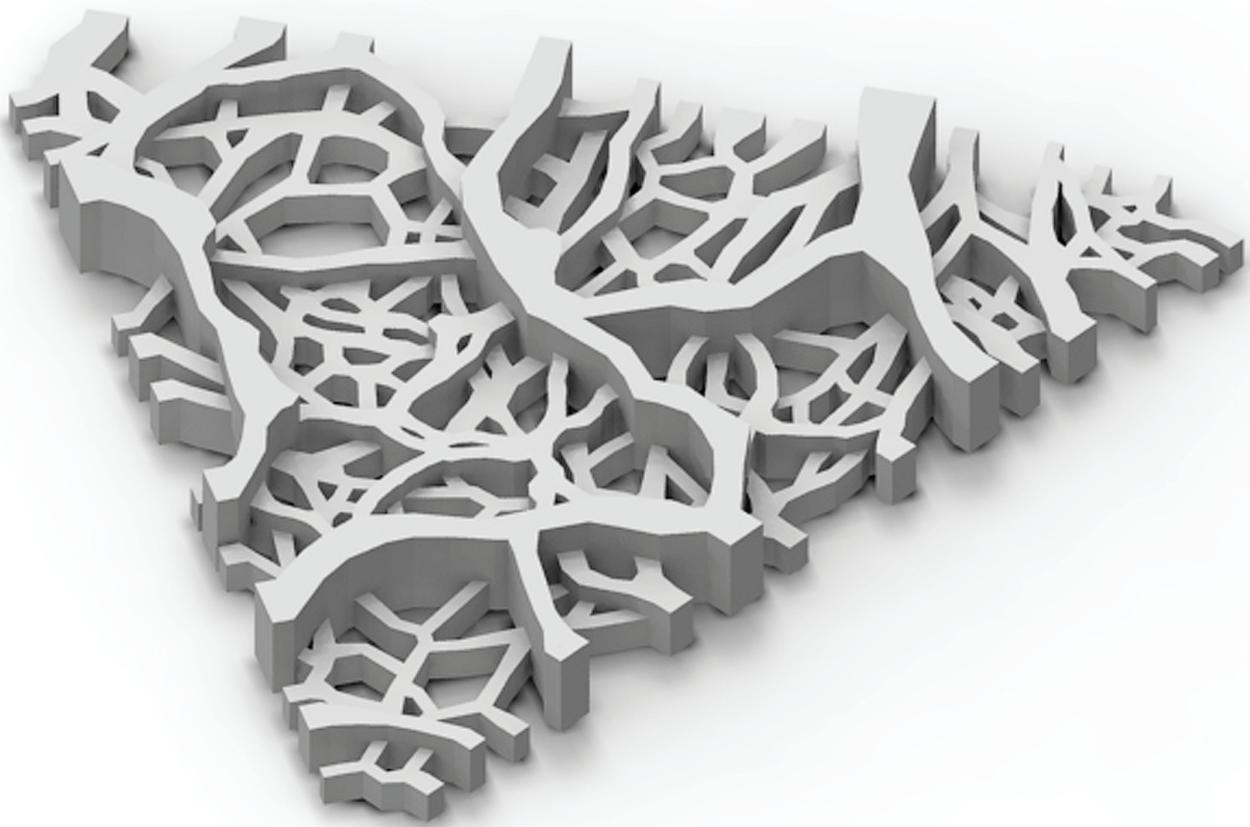
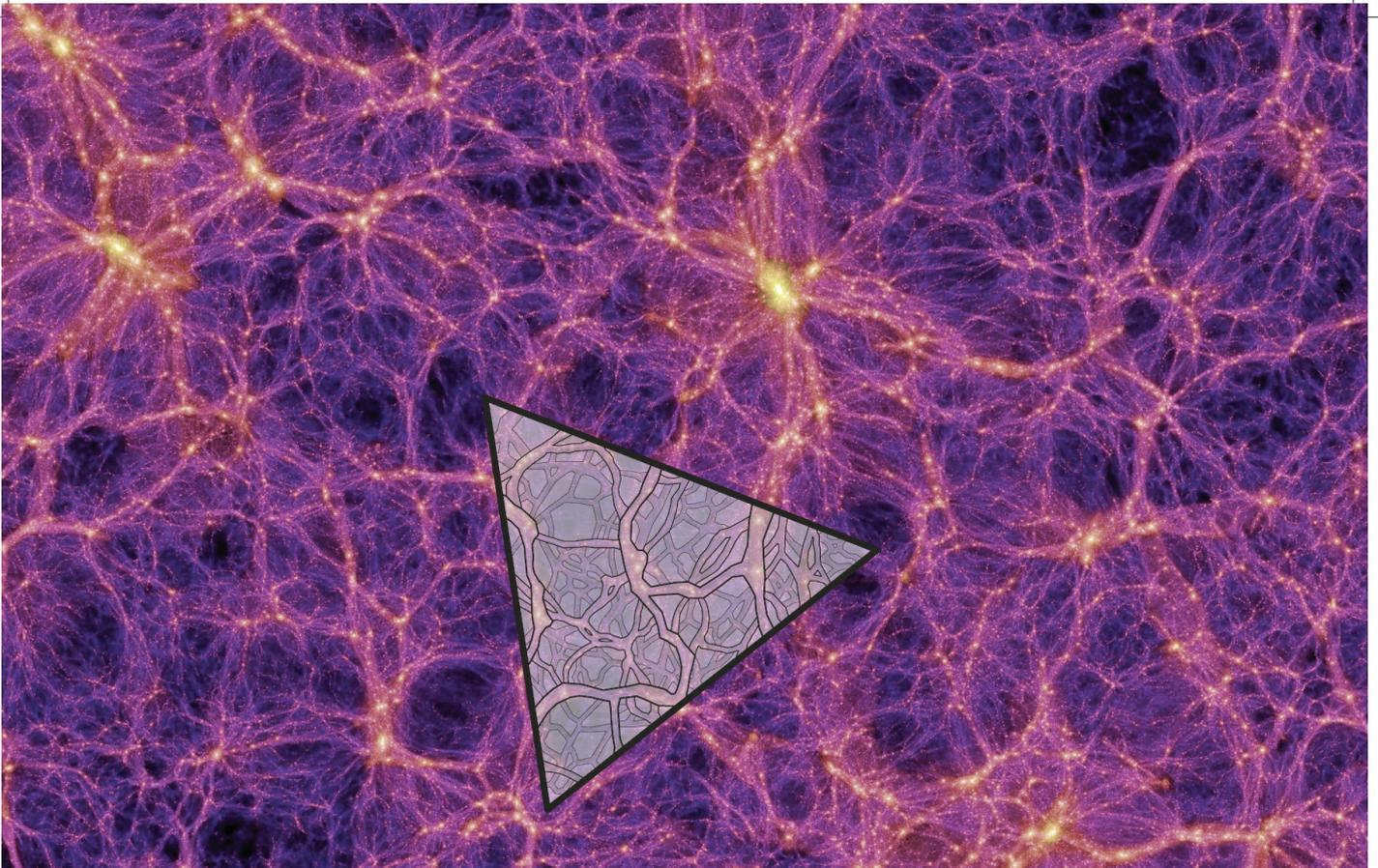


Abb. 56:
Internetsruktur
 Dreieckslänge k.A.

3.1.14 Internet – Nervensystem der Menschheit

The Opte Projekt - ist eine 2003 von Barrett G. Lyon begonnene Arbeit, die es sich zum Ziel gesetzt hat, das Internet als physische Struktur in zweidimensionalen Bildern zu visualisieren. Es werden die Verbindungen zwischen den einzelnen Routern ermittelt und als Graphen dargestellt. Die ermittelten Bilder werden verwendet, um IP-Space zu analysieren und zu optimieren, zeigen aber auch die Auswirkungen von Naturkatastrophen oder Kriegen. Jede Linie und jeder Knoten des Bildes stellt einen physischen, wie auch einen virtuellen Ort dieser Welt dar. Dieser Umstand lässt die Bilder in einer eigenen Ästhetik erscheinen.¹⁸ Barrett G. Lyon meint dazu: „The information the project is visualizing is nearly a living Organism“¹⁹

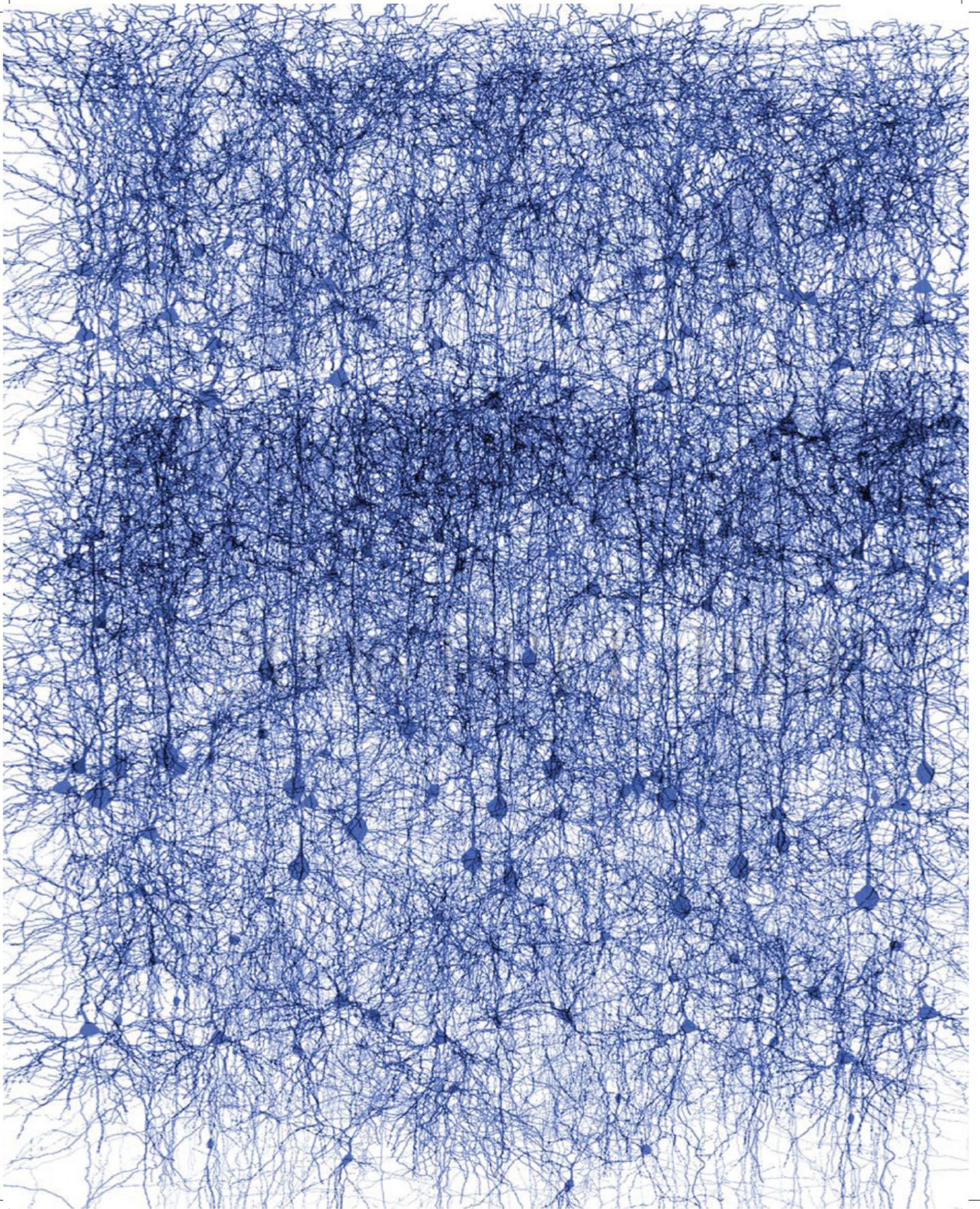




3.1.15 Eine Simulation des Universums

Mit 10.077.696.000 Partikeln simulierte ein internationales Forscherteam unter der Leitung des Max-Planck Institutes für Astrophysik die Entwicklung des Universums. Die Kalte-Dunkle-Materietheorie ist Grundlage der Simulation, in der versucht wird, die kosmologische Strukturentwicklung zu beschreiben. Kalte-Dunkle-Materie emittiert, reflektiert oder absorbiert zu wenig Energie, um sichtbar zu sein, hat aber Masse und somit gravitative Wechselwirkung mit sichtbarer Materie.²⁰ Bei der Simulation handelt es sich um einen kleinen würfelförmigen Ausschnitt des Universums. Bedingung der Simulation ist das Modell eines seit dem Urknall expandierenden Universums. Daher wird eine Ausbreitungszeit von 14 Mill. Jahren, was dem angenommenen Zeitraum vom Urknall bis zur Jetztzeit entspricht, simuliert. In dieser Zeit wächst der simulierte Ausschnitt auf eine Seitenlänge von 685 Millionen Parsec, was 2,2 Mill Lichtjahren entspricht.²¹ Die Auflösung erreicht trotz der großen Gesamtausdehnung Bereiche bis zu einer Größe von 10 000 Parsec, was in der Größenordnung von Galaxien liegt. Die Bilder entsprechen einem 15 Mpc/h dicken Querschnitt durch den Simulationskubus zur Jetztzeit.²² Insgesamt zeigt die Simulation eine netzartige Struktur mit fraktalen Eigenschaften. Die Simulationsergebnisse stimmen mit realen Beobachtungen sehr gut überein, was dazu berechtigt, von einem Modell des ganzen Universums zu sprechen.²³

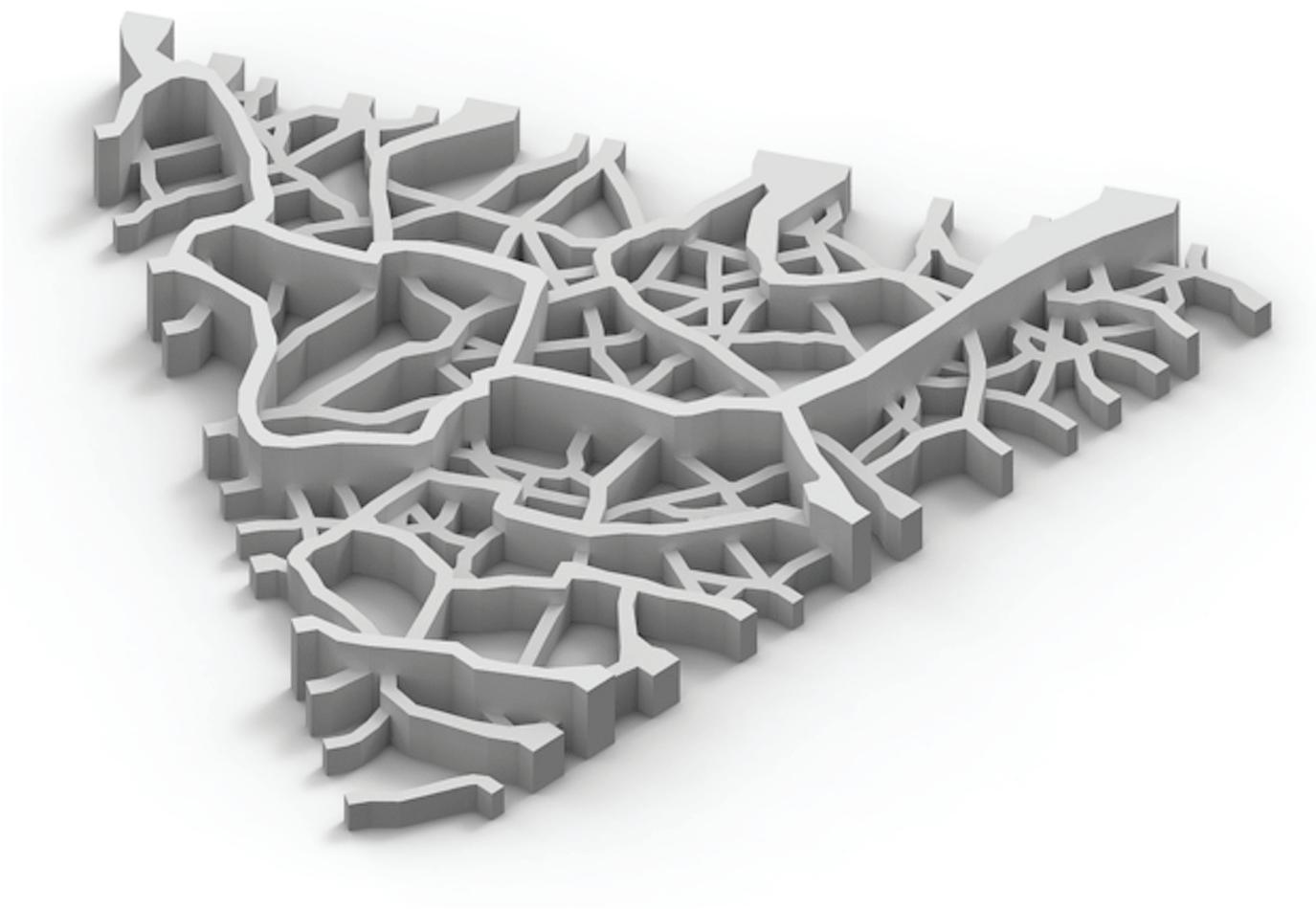
Abb. 57:
Universums Simulation,
Dreiecksseitenlänge 300 Mio Lichtjahre



3.2 Generierte Strukturvorlagen

Die hier angeführten Strukturvorlagen stammen aus verschiedenen Prozessen, die mit vorgegebene Randbedingungen ablaufen. Das bedeutet die Strukturränder beziehen sich auf eine vorgegebenen Codierung. Die aus den so entstandenen Strukturvorlagen abgeleiteten Strukturdreiecke schließen somit genau an die schon zuvor festgelegten Strukturdreiecke an.

Die Aufzählungsreihenfolge entspricht wiederum den Größenordnungen der Strukturen, wobei die massstabslosen, rein mathematischen Strukturen letztgereiht werden.



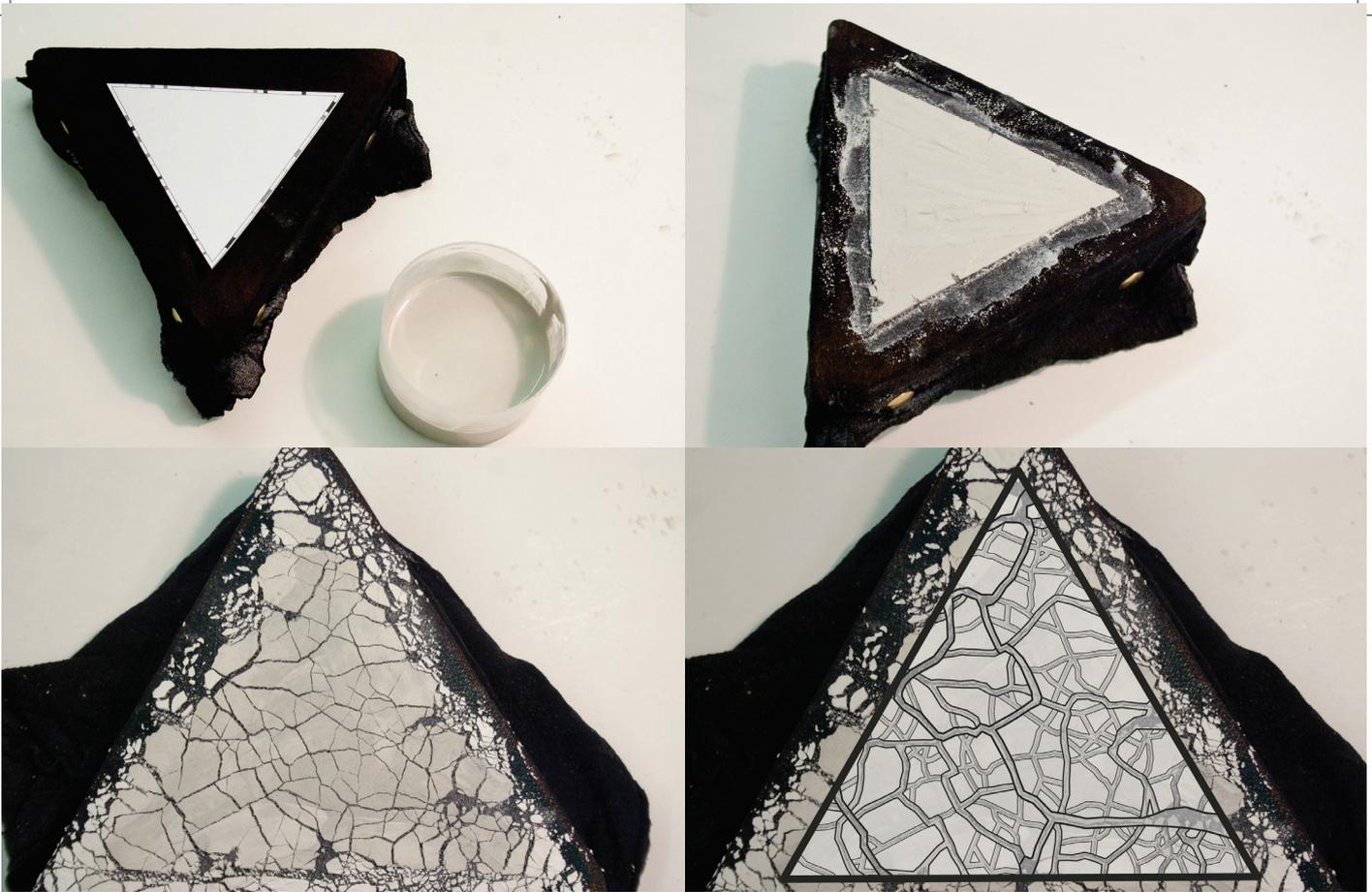
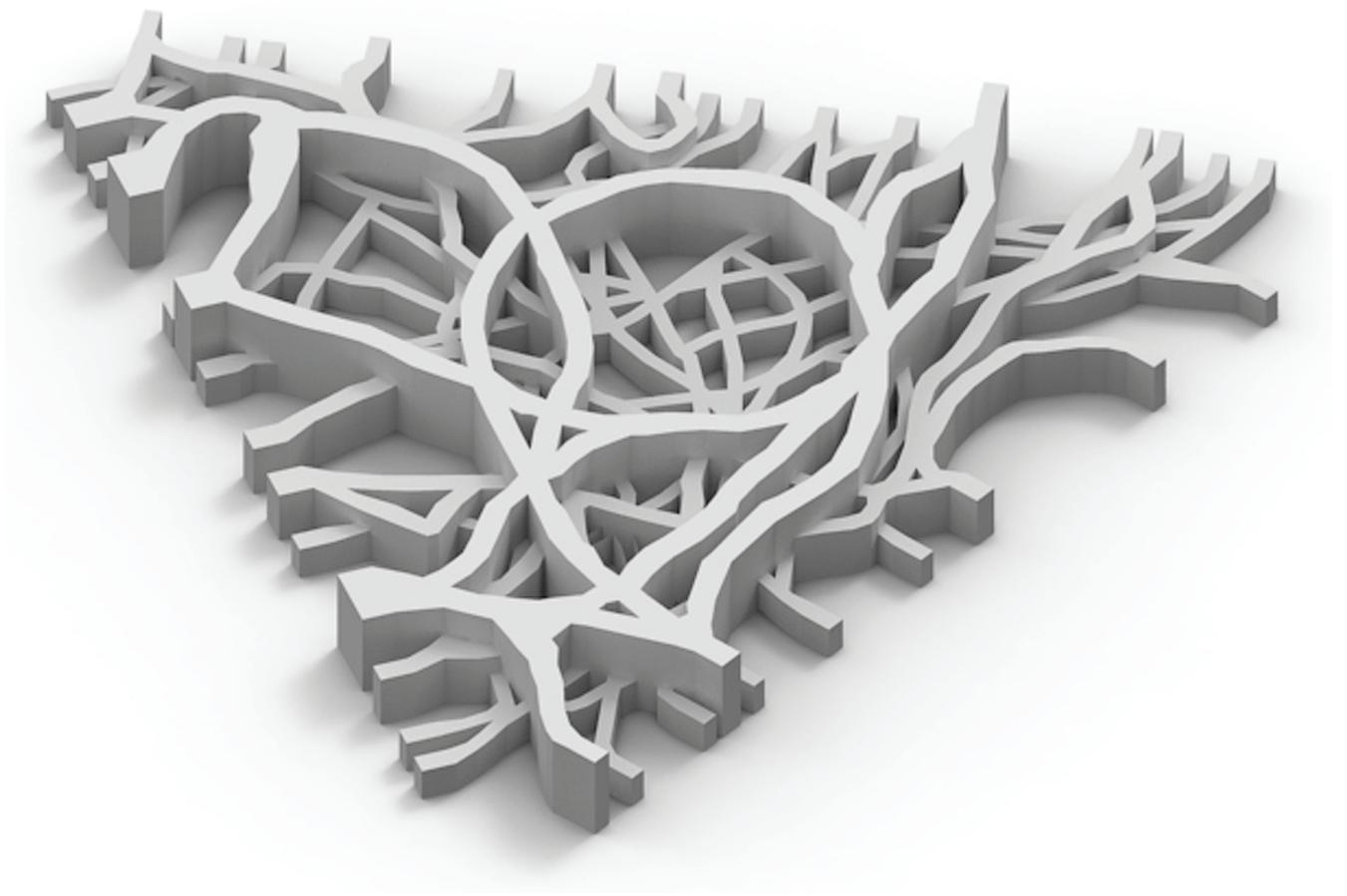
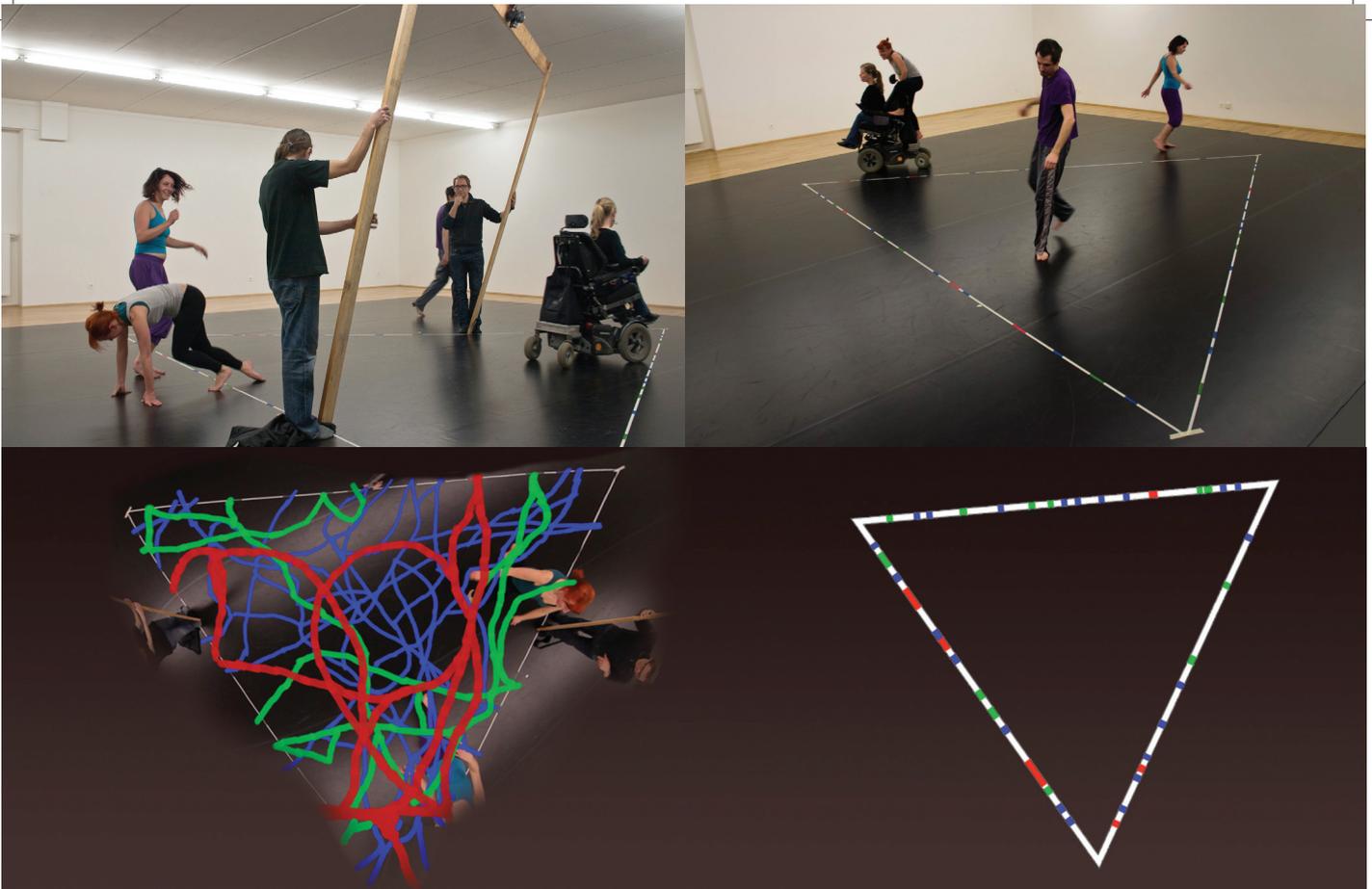


Abb. 59:
Rissysteme in Gipsschicht,
Dreiecksseitenlänge 10 cm

3.2.1 Rissbild – Eine materialspezifische Struktur des Nachgebens

Die Schwierigkeit bestand darin einem Material eine Rissstruktur aufzuzwingen, die an den Rändern einem vorgegebenen Code entspricht. Dazu wurde auf eine dreieckige Grundplatte mit glatter, nicht saugfähiger Oberfläche ein dehnbarer Nylon-Strumpf aufgelegt. Auf diesen wurde eine hauchdünne Schicht Gips aufgestrichen. Nach dem Aufdrocknen des Gipses wurde ein vorbereiteter, der Größe entsprechender Computerausdruck mit den vorgegebenen Randbedingungen auf den Gips gelegt. An den erwünschten Stellen wurden mit einem Messer Sollrissstellen in die Gipsschicht geritzt. Der Nylon-Strumpf wurde nun an allen drei Seiten gleichmäßig gespannt, dies führte zur Rissbildung in der Gipsschicht, die mit dem Nylonstrumpf fest verbunden war und keine Zugkräfte aufnehmen konnte. An den Rändern sorgten die schon zuvor eingebrachten Sollrissstellen dafür, dass die Risslinien durch diese hindurch verliefen und somit dem vorgegebenen Anschluss entsprachen.



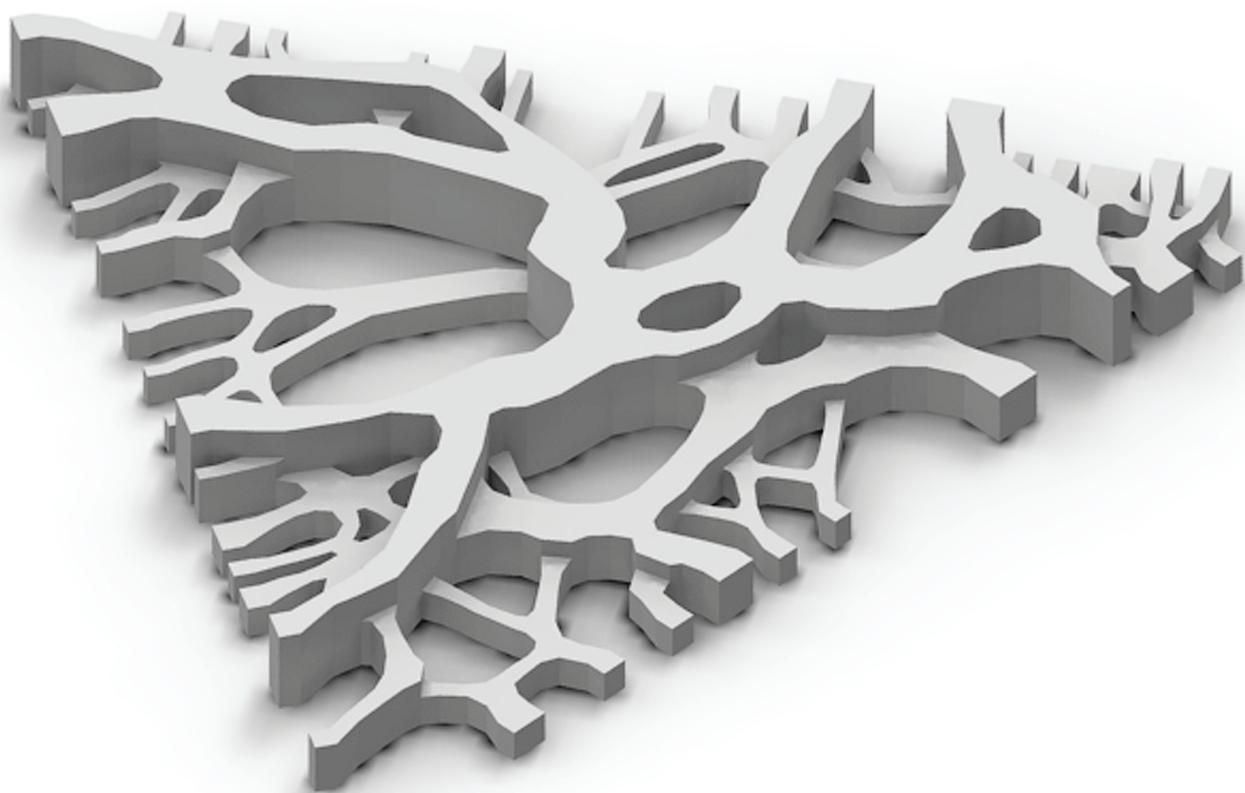


3.2.2 Tanzen im Code

Strukturdiagramm von Bewegungen

Die Mitglieder der Tanzkooperation Stille Bewegung tanzen ein Beziehungsnetz. Auf ein zwölf Meter langes, weißes Stoffband wurden farbige Balken aufgebracht und zwar in solcher Weise, dass die roten Balken den stärksten, die grünen den mittleren und die blauen den dünnsten Strukturrippen entsprechen. Jeweils vier Meter des Bandes bilden die Seiten eines gleichseitigen Dreiecks, das am Boden fixiert wurde. Die Tänzerinnen wurden nun aufgefordert, sich zur Musik zu bewegen und miteinander zu interagieren, wobei das durch das Stoffband am Boden markierte Dreieck nur an den gekennzeichneten Balken der entsprechenden Farbe betreten und verlassen werden durfte. Karin die sich mithilfe eines motorisierten Rollstuhls bewegt, übernahm die rote, Maria die grüne, und Nicole sowie Martin die blaue Strukturebene. Ziel war es, alle farbigen Balken am Stoffband zumindest einmal zu überqueren, dies war nach ca. zwei Minuten Tanz erreicht. Ein Kameragerüst ermöglichte es, die Szene von oben zu filmen. Im Nachhinein wurden die Bewegungslinien der Tänzer am Computer entsprechend der zugewiesenen Farbigkeit nachgezeichnet.

Abb. 60:
Bewegungsstruktur eines Tanzes
Dreiecksseitenlänge 4 m



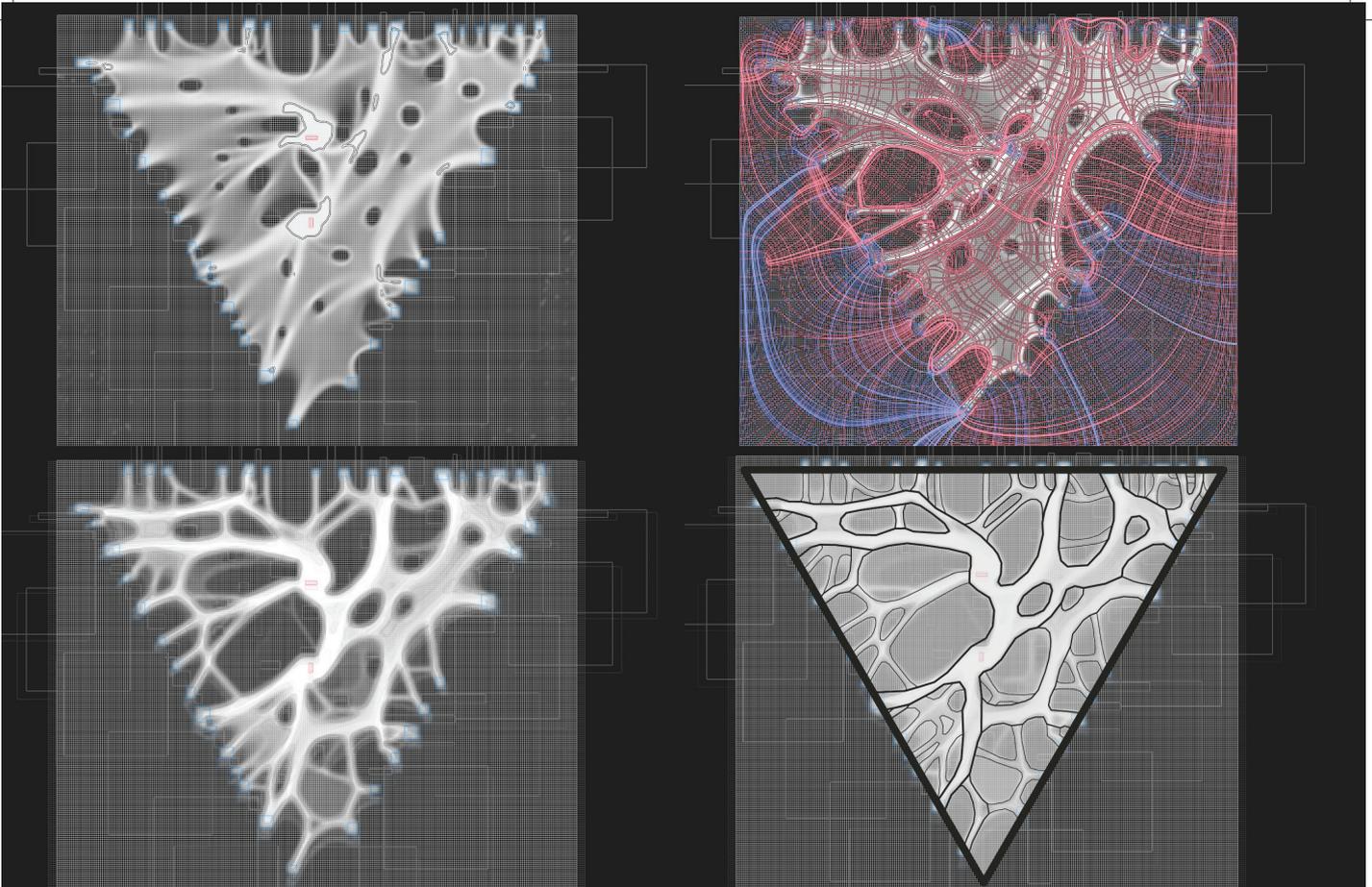


Abb. 61:
Struktur von Kräfteverläufen
Dreiecksseitenlänge k.A.

3.2.3 Tragwerksstrukturen – Topologie Optimierung mittels evolutionärer Algorithmen

Die Topologie Optimierungssoftware „Topostruct“ diente zur Erstellung dieser Struktur. Diese Software basiert auf evolutionären Algorithmen. Das sind an natürliche Prozesse angelehnte Verfahren, die in vielfach wiederholten Durchläufen die Optimierung eines Systems an äußere Bedingungen erreichen.²⁴ Der Prozess führt zu keinem endgültigen, eindeutigen Ergebnis, sondern läuft prinzipiell endlos. Ist ein bestimmter Optimierungsgrad erreicht wird der Algorithmus beendet.

An den Rändern eines dreieckigen Raumbereichs werden Kräfte, entsprechend den vorgegebenen Randbedingungen aufgebracht. Der Algorithmus generiert aus dem definierten Raum, den aufgebrachten Kräften und zufällig im Raum verteilten, materiallosen Zonen eine optimierte, dem Kräftefluss entsprechende Form.



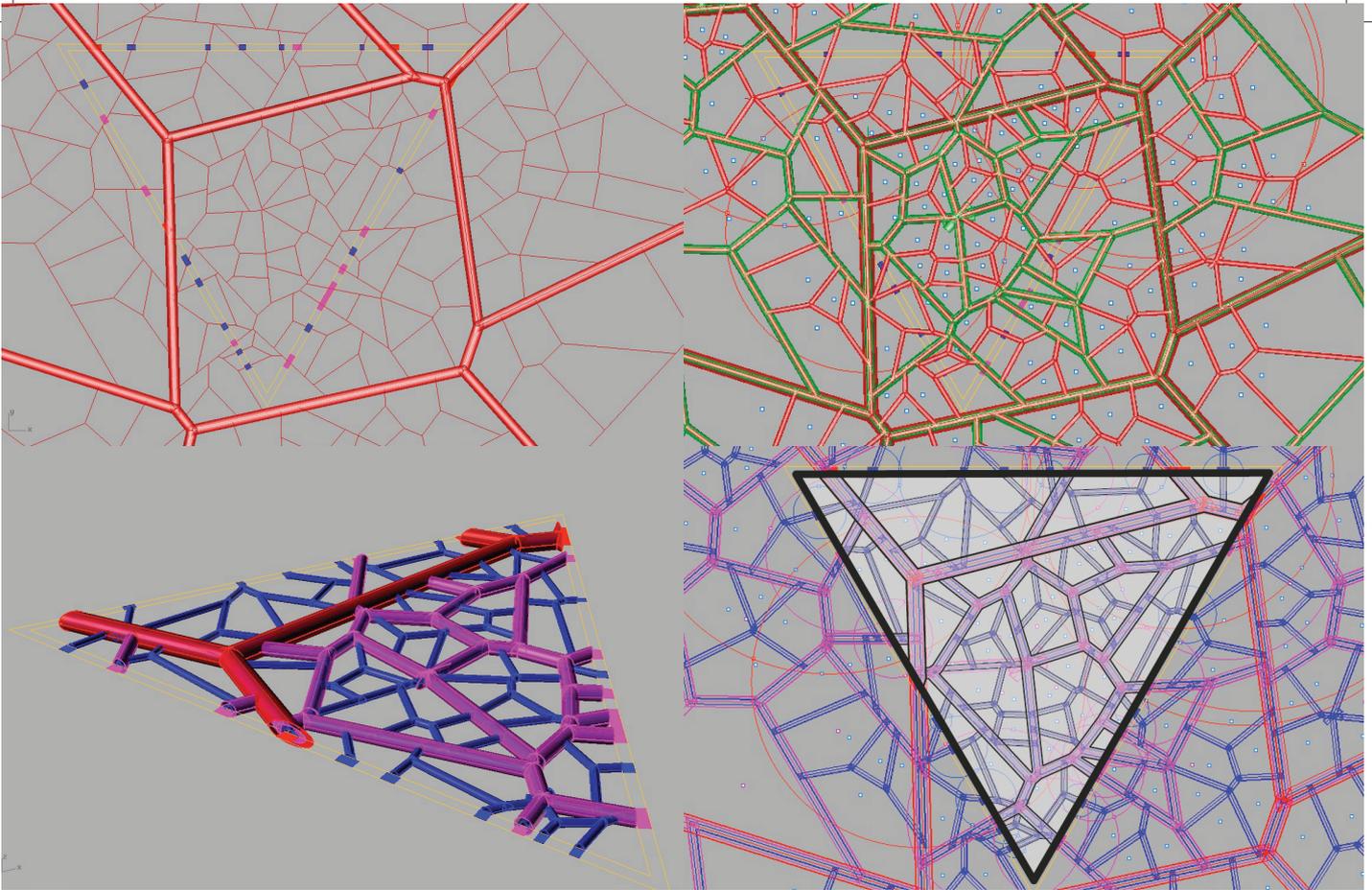


Abb. 62:
Voronoidiagramm
Dreiecksseitenlänge k.A.

3.2.4 Voronoi - Algorithmische Zellbildung

Voronoi-Diagramm ist ein Begriff aus der algorithmischen Geometrie, benannt nach dem Mathematiker Georgi Feodosjewitsch Woronoi. Es bezeichnet ein graphisches Verfahren, um Abstandsbeziehungen zwischen endlich vielen Punkten in der Ebene oder in höherdimensionalen Räumen zu beschreiben. Gegeben sei eine Menge von Punkten (P) im Raum. Das Voronoi-Diagramm ist eine Aufteilung des Raumes in Zellen, wobei jede Zelle genau einen der gegebenen Punkte (p_i Element von P) umfasst sowie alle anderen Punkte des Raumes die zu p_i einen geringeren Abstand haben als zu jedem andern gegebenen Punkt (p Element von P).²⁵

Das vorliegende Voronoi-Diagramm weist drei ineinander liegende Zellebenen auf, die jeweils durch gegebene Punktmengen zustande kommen. Die erste Punktmenge bildet somit die Primär-, die zweite die Sekundär- und die dritte die Tertiärstruktur dieses Voronoi-Diagramms aus.

Die Punkte, welche für die Lage der die Dreiecksränder schneidenden Linien verantwortlich sind, werden so gewählt, dass diese Schnittpunkte auf die vorgegebenen Punkte der Randbedingungen fallen. Alle weiteren Punkte, die zur Bildung des Voronoi-Diagramms notwendig sind, wurden zufällig gewählt. Es ergibt sich ein Netzwerk auf drei Ebenen welches fraktale Eigenschaften aufweist.

Endnoten

- 1 Vgl. Kleinig, Hans/Sitte, Peter: Zellbiologie. Ein Lehrbuch, Stuttgart u.a., 1999, 368f.
- 2 Vgl. Lust, Joseph: Scanning Electron Microscope Eye Structure Analysis (o.J.), Online unter: <http://www.optics.rochester.edu/workgroups/cml/opt307/spr06/joe/> (Stand 19.9.2011)
- 3 Vgl. „Mycel“, in: Brockhaus Enzyklopädie online, 2005-2011 (Stand 13.5.2011)
- 4 Vgl. Ehrenstein, Claudia: Der größte Organismus der Welt, in: Welt Online (2000), Online unter: http://www.welt.de/print-welt/article526936/Der_groesste_Organismus_der_Welt.html (Stand 25.11.2011)
- 5 Vgl. „Blatt“, in: Brockhaus Enzyklopädie online, 2005-2011 (Stand 13.5.2011)
- 6 Vgl. „Blutgefäße“, in: Brockhaus Enzyklopädie online, 2005-2011 (Stand 13.5.2011)
- 7 Vgl. Protector, (2009): Handrückenvenenerkennung. Unverwechselbare Blutbahnen, Online unter: <http://www.sicherheit.info/SI/cms.nsf/si.ArticlesByDocID/1102437?Open> (Stand 17.03.2011)
- 8 Jackson Pollock zit. n. Malerei. Lexikon von A bis Z. Geschichte der Malerei von den Anfängen zur Gegenwart, Köln 1986, 579.
- 9 „Pollock, Jackson“ in: Malerei. Lexikon von A bis Z. Geschichte der Malerei von den Anfängen zur Gegenwart, Köln 1986, 579.
- 10 Vgl. Toman, Rolf: Gotik. Architektur – Skulptur – Malerei, Köln, 1998, 258f.
- 11 Vgl. „Baum“, in: Brockhaus Enzyklopädie online, 2005-2011 (Stand 13.5.2011)
- 12 Vgl. „Blitz“, in: Brockhaus in drei Bänden, Bd. 1, Leipzig 2006, 284.
- 13 Vgl. „Blitz“, in: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, (2011), Online unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Blitz> (Stand 20.9.2011)
- 14 Vgl. „Marrakesch“, in: Brockhaus Enzyklopädie online, 2005-2011 (Stand 8.9.2011)
- 15 Vgl. With, Eugen: Die orientalische Stadt im islamischen Vorderasien und Nordafrika. städtische Bausubstanz und räumliche Ordnung, Wirtschaftsleben und soziale Organisation, Bd. 1, Mainz 2002, 344-346.
- 16 Vgl. „Gangesdelta“, in: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie, (2011), Online unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Gangesdelta> (Stand 20.9.2011)
- 17 Vgl. Astronomische Arbeitsgruppe Laufen, (2006): Monatsthema September 2006: „Die Galileischen Monde“, Online unter: http://astronomy.meta.org/monatlich/0609_monatsthema.html (Stand 6.11.2011)
- 18 Vgl. Lyon, Berett G.: Opte as an Aesthetic Experience (2005), Online unter: <http://www.opte.org/downloads/OptelsArt> (Stand 11.11.2011)
- 19 Ebd.,
- 20 Vgl. „Dunkle Materie“, in: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie, online unter: http://de.wikipedia.org/wiki/Dunkle_Materie (stand 5.12.2011)
- 21 Vgl. „Millennium-Simulation“, in: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie, online unter: http://de.wikipedia.org/wiki/Millennium_Simulation (stand 5.12.2011)
- 22 Vgl. Springel, Volker u.a.: Millennium Simulation, in: Max-Planck-Institut für Astrophysik. Abbildungen/Filme zur Pressemitteilung der MPG: Online unter: <http://www.mpa-garching.mpg.de/galform/presse/> (Stand 5.12.2011)
- 23 Vgl. „Millennium-Simulation“, in: Wikipedia, 2011
- 24 Vgl. „Evolutionärer Algorithmus“, in: Wikipedia. Die freie Enzyklopädie, online unter: http://de.wikipedia.org/wiki/Evolution%C3%A4rer_Algorithmus (stand 25.11.2011)
- 25 Vgl. „Voronoi-Diagramm“, in: Duden Informatik A-Z. Fachlexikon für Studium, Ausbildung und Beruf, (2006), 733.



4 Arbeitsprozess - Dokumentation

4.1 Schichtungen - Ein Denkmodell



Abb. 63:
Schichtungen, Bronzeobjekt (2009)

Schon in den Jahren 2008 und 2009 erarbeitete ich im Zuge einer Abschlussarbeit an der Meisterklasse für Bildhauerei der Ortweinschule Graz ein thematisch ähnliches Projekt. Diese Arbeit mit dem Titel: „Schichtungen“ kann als Grundstein für die vorliegende Arbeit angesehen werden. Es entstand eine etwa handflächengroße Bronzearbeit, die als Gedankenmodell gesehen werden kann, wobei dabei die Welt als ein aus vielen Wahrnehmungs- bzw. Konstruktionsschichten zusammengesetztes Kontinuum verstanden wird.

18 selbstähnliche Kugelfragmente können in drei ineinander liegenden Schichten zu einem Ganzen verbunden werden. Dieser Arbeit ging eine intensive Auseinandersetzung mit strukturellen Phänomenen voraus. Ich versuchte zu untersuchen, ob die verschiedenen strukturellen Phänomene in ähnlicher Weise auf unterschiedlichen Ebenen der Wahrnehmung, der Maßstäblichkeit und der Zeitlichkeit zu finden sind. Eine zentrale Faszination lag darin, ob zwischen künstlichen, vom Menschen geschaffenen Strukturen und natürlichen, ohne menschliche Einflüsse entstandenen Strukturen wesentliche Unterschiede erkennbar werden, oder ob sinnvolle Grundlagen für diese Unterscheidung fehlen und die Menschheit vielmehr als integrierter Bestandteil einer umfassenden Natur zu sehen wäre. Die entstandene Arbeit entzieht sich allerdings der Beantwortung solcher Fragestellungen, und versucht ein „Sichselbstfragen“ im Rezipienten anzuregen.

Der ausgeführten Form liegen strenge geometrische Überlegungen zugrunde, die mit ausreichender Genauigkeit nur durch computergestützte Verfahren konstruiert und produziert werden können. Daher wurden die so konstruierten Einzelteile mittels eines 3D-Druckers als Prototypen hergestellt. Ein solch geartetes technisches Verfahren spiegelt aber lediglich die rationale Seite des Projekts wieder. Ich wollte jedoch dieser geistigen Konzeption eine intuitive, gefühlsmäßige Ebene gegenüber stellen. Daher wurden die computergenerierten Teile in langwieriger Handarbeit in Bronze überetzt, was dazu führte, dass jeder Teil einen einzigartigen, individuellen Charakter bekam. Anfänglich waren die Bronze teile auf Hochglanz poliert. Im Laufe der Zeit wanderten die „Schichtungen“ durch viele Hände und alle hinterließen ihre Spuren. Diese so gewonnene Patina zeigt die ständige Veränderung, der nicht nur dieses Objekt unterworfen ist. Viele Überlegungen, die in der Arbeit „Schichtungen“ angestellt wurden, flossen auch in die vorliegende Arbeit mit ein. So ist der Gegensatz zwischen rationalen, computergesteuerten Verfahren und intuitiver Handarbeit auch in dieser Arbeit zum Thema geworden.

Linke Seite
Abb. 64:
Schleifen von UHPC Segment

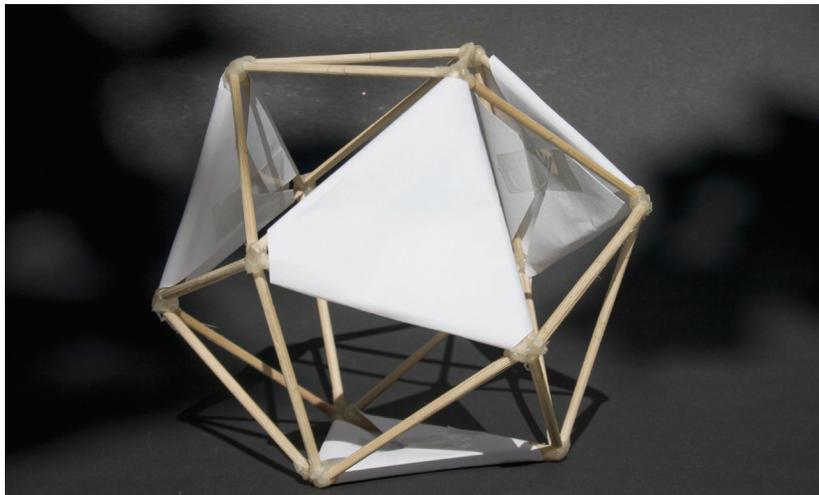


Abb. 65:
Ikosaedermodell

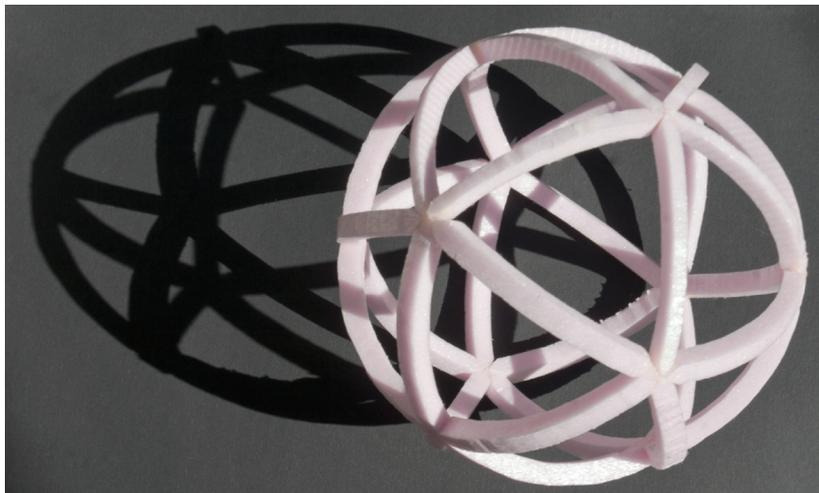


Abb. 66:
Sphärisches Modell auf Ikosaederbasis

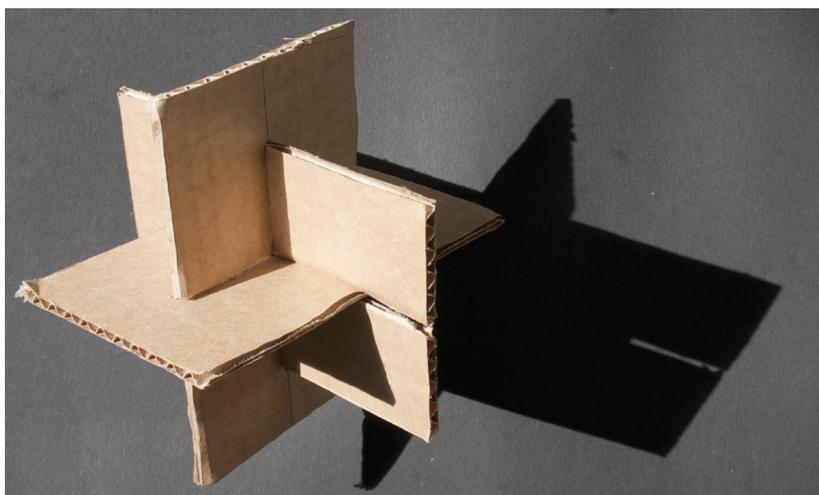


Abb. 67:
Ikosaeder Konstruktion durch goldenen
Schnitt

4.2 Experimente - Modelle - Versuche

Als die Entwurfsidee einigermaßen umrissen war, ging ich daran, anhand kleiner Modelle die Geometrie des Ikosaeders zu studieren. Wie schon beschrieben gibt es eine Beziehung zwischen der Proportion im Goldenen Schnitt und dem Ikosaeder. Dies machte ich mir zu Nutze, um mithilfe eines aus drei orthogonal ineinander gesteckten Kartonrechtecken und 30 identen Holzstäbchen ein Ikosaeder Modell zu konstruieren. Mit entsprechend gekrümmten Stäben kann auch eine Kugel auf Ikosaeder Basis konstruiert werden. Die von Fuller entwickelte Weltkartenprojektion ermöglichte mir erste Versuche, um spezifische Strukturen zu einem sphärischen Ganzen zusammenzufügen. Andere Versuche mit Styroporschalungen und Gipsabgüssen beschäftigten sich mit der formalen Umsetzbarkeit von netzartigen Strukturen. Weitere Modelle sollten in einem späteren Stadium die Anschlussgeometrien und Winkel zweier sich berührender Strukturdreiecke klären

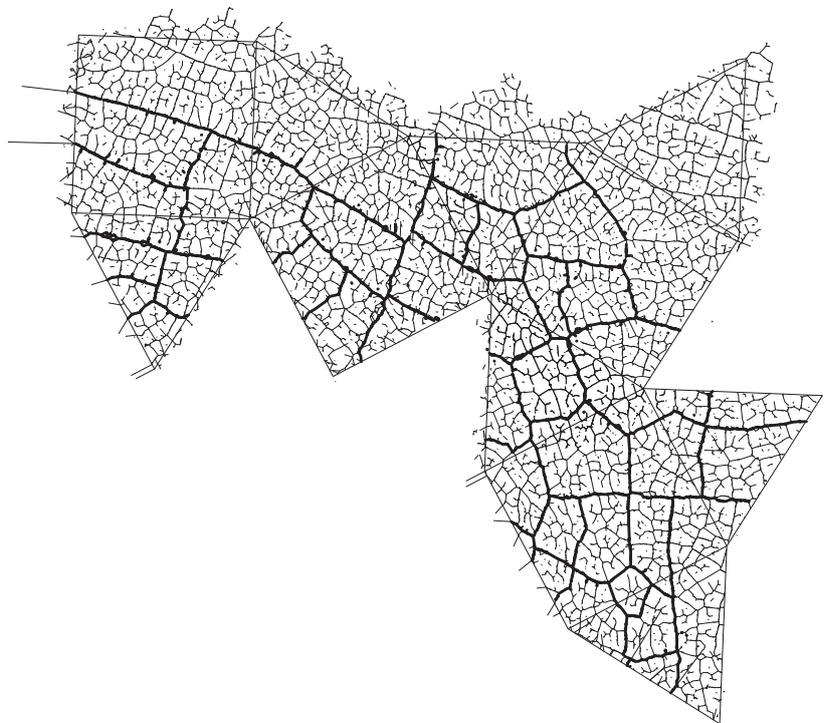
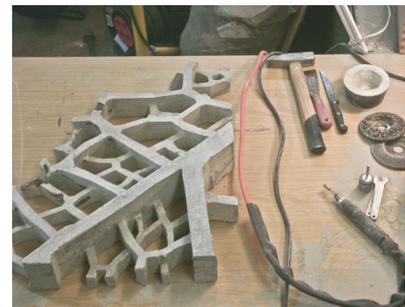


Abb. 68:
Räumliche Strukturstudie auf Basis von
Fullers Weltkartenprojektion

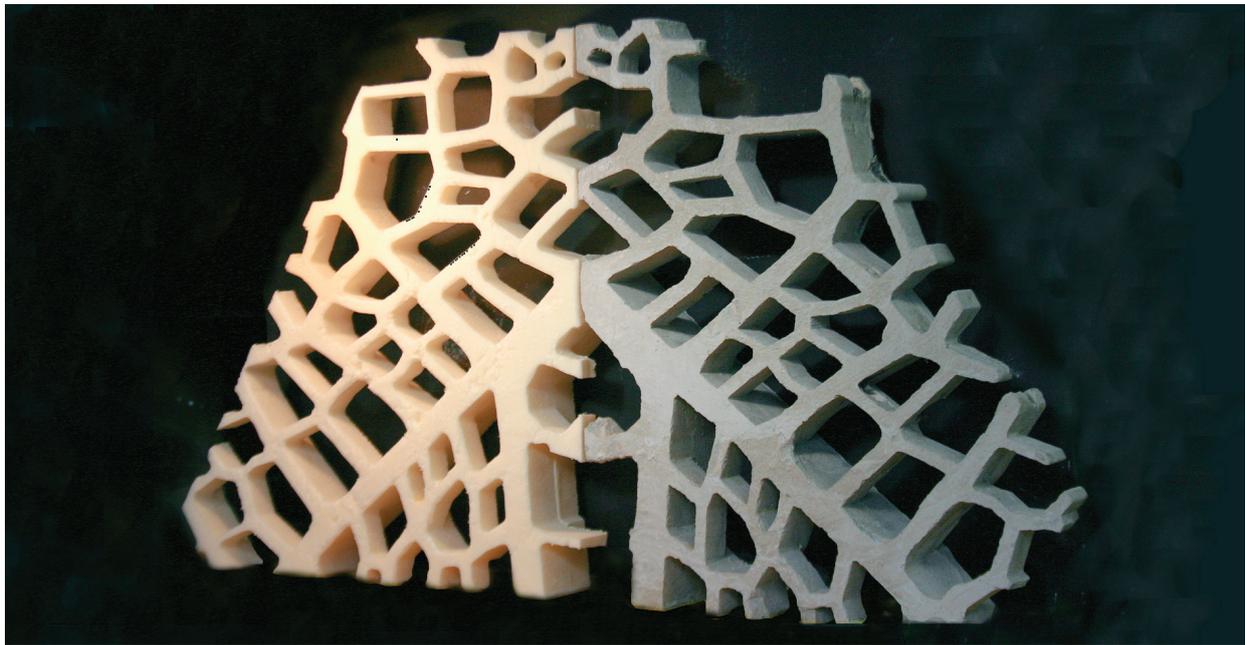


4.3 Die Erstellung eines Prototyps

4.3.1 Erste Fräs- und Betonierarbeiten

Im Sommer 2010 wurden die ersten Prototypen im Maßstab 1:1 angefertigt. Die zu diesem Zeitpunkt schon als 3D-Modell digitalisierte Blattstruktur wurde als Datensatz für die Prototypen verwendet. Ungefähr ein Drittel dieser Struktur wurde extrahiert und für die CNC-Fräsarbeiten digital aufbereitet. Die Ausführung der Fräsarbeiten erfolgte in der Modellbauwerkstatt der TU Graz, unter der Leitung von Bernd Grabner. Als Ausgangsmaterial diente eine handelsübliche 14 Zentimeter starke Dämmplatte aus extrudierten Polysterol (XPS). Es galt herauszufinden ob und wie die zur Verfügung stehende CNC-Fräse für die folgenden Arbeiten geeignet ist und eine Schätzung der zu erwarteten Fräsdauer vorzunehmen. Dazu wurde der gewählte Strukturausschnitt einmal als Positiv und einmal als Negativ gefräst. Das Negativ wurde mit Holzbrettern umfasst und mit einer herkömmlichen Zementmischung ausgefüllt. Als Bewehrung dienten Stahlwollfasern, die vor der Zementmischung eingebracht wurden. Bei der Herstellung dieses Prototyps kam noch kein Trennmittel zwischen Beton und XPS zum Einsatz.

Abb. 69:
Prototypenerstellung aus Normalbeton



Die Ausschalungsarbeiten erwiesen sich daher als überaus schwierig. Mehrere Ausschalungsverfahren kamen testweise zum Einsatz. Als erstes wurde versucht, durch Verbrennen der XPS-Platte ein Freilegen des Betons zu erreichen. Dies führte nicht nur zu erheblicher gesundheits- und umweltgefährdender Rauchentwicklung, sondern auch zu partiellem Verflüssigen der XPS-Platte. Das flüssige Material verglaste an der Betonoberfläche, was zu äußerst schwer entfernbaren Verunreinigungen führte. Die zweite Methode, nämlich mit einem Lösungsmittel (Aceton) die XPS-Platte wegzuätzen, hatte ähnliche unerwünschte Auswirkungen. Letztlich blieb nur die mechanische Entfernung des Schalungsmaterials, was aber sehr langwierig und mühsam war. Schnell wurde klar, dass diese Methoden für Arbeiten im größeren Stil ungeeignet sind. Daher begab ich mich auf die Suche nach einem geeigneten Trennverfahren. Der Betonprototyp wurde nach erfolgreichem Ausschalen gereinigt und geschliffen. In Abb. 68 sieht man die Gegenüberstellung des Beton- und des XPS-Prototyps.

Abb. 70:
Gegenüberstellung von XPS- und Beton-Segmenten

4.3.2 Ultrahochfester Beton – die Materialwahl

Nachdem die Versuche eine CNC gefräste XPS-Schalung mit Beton auszugießen und den gewonnenen feingliedrigen Betonkörper vom Negativ freizulegen geglückt waren, begab ich mich auf die Suche nach einem Material, in dem das gesamte Objekt ausführbar war. Die selbst hergestellte Betonmischung erfüllte zwar teilweise die optischen Ansprüche, war aber viel zu brüchig. Das Material erreichte die notwendigen Festigkeiten bei weitem nicht. Vor allem Zug- bzw. Biegezugbeanspruchungen konnten nicht aufgenommen werden.

Es gab mehrere Überlegungen in welchem Material das Objekt dennoch hergestellt werden könnte. Die einfachste Möglichkeit wäre es gewesen, die Strukturdreiecke als Positive aus XPS zu fräsen, wie im ersten Versuch bereits getestet wurde. Diese Möglichkeit hätte, abgesehen von der Schwierigkeit der Verbindung der XPS-Segmente miteinander, den Nachteil, dass kein stabiles und widerstandsfähiges Objekt hergestellt werden hätte können. Das Objekt wäre zwar leicht und einigermaßen gut transportabel, aber nur bedingt betretbar und nicht für den Außenbereich geeignet.

Eine weitere Überlegung war, die Strukturdreiecke als Metallgüsse herzustellen. Dies hätte aber feuerfeste Schalungen vorausgesetzt und die Güsse hätten nur in einem externen Betrieb produziert werden können. Diese Überlegung kam aus mehreren Gründen nicht in Frage. Das Gewicht der Einzelteile hätte händisches manövrieren nicht erlaubt und die Herstellungskosten wären kaum in den Griff zu bekommen.

Eine dritte Möglichkeit hätte darin bestanden die einzelnen Strukturdreiecke als Positive aus einem robusten Material zu fräsen. Hier wäre zum Beispiel eine Holzwerkstoffvariante in Frage gekommen, aber auch diese Herstellung hätte nur von einer externen Firma unter hohem Kostenaufwand bewerkstelligt werden können.

Abgesehen von diesen technischen und finanziellen Bedingungen stand noch eine andere Überlegung im Vordergrund.

Es war der Wunsch ein Material zu verwenden, das auf Grund seiner Eigenschaften und der Assoziationen, die es beim Rezipienten hervorruft, im Stande ist einen Gegenpol zu der leichten feingliedrigen Form des Objektes aufzubauen, durchaus in Analogie zu den beeindruckenden Steinkonstruktionen der gotischen Dombaukunst. Hier wurde dem Material Stein die ihm innewohnende Schwere dadurch genommen, dass es in sehr feingliedrigen Gerippen aufgelöst wurde. Nicht zuletzt dieser Kontrast zwischen Struktur und Material macht die Faszination der gotischen Baukunst aus. Beton wird ähnlich wie Stein im Allgemeinen mit schweren und massiven Formen in Verbindung gebracht. Die zahlreichen Wohn- und Infrastrukturen aus massiven Beton, die in der zweiten Hälfte des 20. Jhds das Baugeschehen prägten, sind für diese Assoziationen verantwortlich. Es bestand also ein Reiz, die hier offensichtlichen Kontraste in einem Objekt zu verbinden.

Rechte Seite

Abb. 71:

6 mm Stahlfasern zur UHPC Armierung

Im Zuge meiner Recherche stieß ich auf einen neuartigen Faserbeton, der im Stande sein konnte, die statischen Anforderungen zu erfüllen. Dieses als „ultrahochfester Beton“ bzw. „ultra high performance concrete“ (UHPC) bezeichnete Material kann durch sein hochverdichtetes Kristallgitter und die eingebrachten Metallspäne auch ausreichend Zug- und Biegezugspannungen aufnehmen.

Das Institut für Betonbau sowie das Labor für Konstruktiven Ingenieurbau, beide an der Technischen Universität Graz, legen schon seit einigen Jahren einen Forschungsschwerpunkt auf die Entwicklung und Untersuchung dieses Materials. In den letzten Jahren wurden diesbezüglich auch einige Projekte umgesetzt. Ich nahm also Kontakt mit den Verantwortlichen Leiter Bernhard Freytag und mit Josef Linder, beide vom Labor für Konstruktiven Ingenieurbau, auf und durfte meine Projektidee und die bisherigen Materialexperimente präsentieren.

Meine Ideen stießen hier auf offene Ohren und wurden sehr freundlich aufgenommen. Wir einigten uns fürs Erste, Prototypen und Probekörper zu diversen Versuchszwecken herzustellen. Im Weiteren war angedacht drei Strukturdreiecke aus UHPC herzustellen und diese als Machbarkeitsstudie zu präsentieren.

Für die weitere Koordination verwies man mich an Martina Winkler. Sie war zu diesem Zeitpunkt wissenschaftliche Assistentin am Institut für Betonbau. Auch Martina Winkler zeigte sich hoch motiviert und hilfsbereit und wir gingen gemeinsam daran, eine Versuchsreihe auszuarbeiten. Zu untersuchen waren Fließfähigkeit, Druck-, Zug- und Biegezugfestigkeit von verschiedenen UHPC Mischungen, sowie die Eignung von diversen Fasern als Bewehrung. Getestet wurden 6mm und 12mm gerade Stahlfasern. Karbonfasern waren zwar ebenfalls angedacht, wurden aber wegen der dafür nötigen, erhöhten Wasserzugabe zur UHPC Mischung, um eine ausreichende Umnutzung der Fasern zu erreichen, ausgeschieden. Die nötigen Versuche sollten mittels Normprüfkörpern durchgeführt werden. Zur Überprüfung der Machbarkeit der projektierten Strukturdreiecke sollten sechs Prototypen mit Abmessungen von 20 x 20 cm und charakteristischer Rippenausformung aus UHPC hergestellt werden. Für diese Versuchsreihe wurde eine vom Institut für Betonbau entwickelte UHPC Mischung verwendet



4.3.3 Schalungen für Prototypen 20x20

Um mit diesen Prototypen auch die Verbindungsgeometrie und Verbindungsmittel von zwei aneinander grenzenden Strukturdreiecken zu erproben, sollten drei idente Schalungspaare hergestellt werden. Ein Schalungspaar besteht aus zwei aneinander grenzende Ausschnitte aus den Randbereichen zweier Strukturdreiecke. Die Teile wurden wieder auf der CNC-Anlage der Modellbauwerkstatt Kronesgasse hergestellt. Im Zuge dieser Arbeit konnten zwei verschiedene Fräsverfahren getestet werden. Zum einen das Fräsen von Umrisslinien durch zugeordnete Frästiefe und zum anderen das Fräsen von 3D Daten in zahlreichen Schichten, wobei die erste Variante schon bei der Herstellung des ersten Prototyps zum Einsatz kam. Die Umrisslinien der späteren Betonrippen werden als geschlossene Polygonzüge dargestellt, je nach Rippenhöhe wird die entsprechende Frästiefe, (35mm 56mm oder 90mm) in einem bzw. zwei Fräsgängen hergestellt. Hier können nur Flächen rechtwinkelig oder parallel zur Tischebene hergestellt werden. Die Variante, die digitalen Daten als 3D-Modell zu fräsen, hat den Vorteil, dass die schrägen Gehrungsflächen am Anschlussrand eines Strukturdreieckes direkt gefräst werden können. Allerdings benötigt Variante 1 bei einem 20x20 cm Teststück ca. zehn Minuten, Variante 2 für den gleichen Bereich ca. eine Stunde Fräszeit. Daher war schnell klar, dass nur Variante 1 für das Herstellen sämtlicher Schalungen in Frage kam. Dies machte es jedoch erforderlich, die schrägen Gehrungsflächen mittels einer Bandsäge per Hand herzustellen.

Abb. 72:
CNC Fräse bei der Erstellung der Schalungen für erste Versuche mit UHPC



4.3.4 Trennmittel Experimente

Nach den Erfahrungen des ersten Betonversuchs war klar, dass ein Trennmittel zwischen dem Schalungsmaterial XPS und dem UHPC-Element notwendig ist. Dazu wurden einige Experimente angestellt. Das Verhalten verschiedener Trennmittel wurde auf kleinen XPS-Streifen getestet. Zum Einsatz kamen Tonschlicker, Schellack, Silikon Spray, Leinöl, und Wachs. Da XPS eine äußerst raue Oberfläche aufweist, war es nicht wahrscheinlich, eine ausreichende Trennwirkung durch Schmiermittel wie Silikon Spray oder Öl zu erreichen. Dennoch wurde eine gefräste Schalung auf diese Weise vorbereitet, um die Annahme zu überprüfen. Bei einer weiteren Schalung wurde versucht, die XPS-Oberfläche mit Schellack zu versiegeln und darauf die erwähnten Schmiermittel anzuwenden. Auch Tonschlicker kam zum Einsatz, dazu wurde die Schalung gänzlich mit dem zähflüssigen Schlicker gefüllt und nach kurzer Zeit wieder geleert. Es blieb eine ca. 1 mm dicke Schicht am XPS zurück. Die Annahme ging davon aus, dass es möglich wäre, den erhärteten Tonschlicker nach dem Ausfüllen der Schalung mit UHPC, im Wasserbad wieder zu verflüssigen und dadurch ein Trennen von XPS und UHPC zu ermöglichen. Der nächste Versuch war das Auftragen von geschmolzenem Wachs (Wachstemperatur ca. 60°C) mithilfe eines Pinsels. In einer Variante wurde versucht das Wachs als Versiegelung zu verwenden und mittels ÖL oder Silikon als Schmiermittel ein Ausschalen zu ermöglichen, in einer zweiten Variante wurde eine etwas stärkere Wachsschicht aufgetragen, die beim Ausschalen, durch Erwärmen der gefüllten Schalung auf ca. 70°C wieder verflüssigt werden sollte.

Abb. 73:
Erste Trennmittelexperimente





4.3.5 Probegüsse 20x20 UHPC

Im November 2010 war es dann so weit, die vorbereiteten Schalungen konnten im Labor für Konstruktiven Ingenieurbau mit mehreren Varianten von UHPC Mischungen gefüllt werden. Unter der Leitung von Martina Winkler wurde der UHPC mithilfe eines kleinen 5 Liter Rührwerks gemischt und anschließend in die Schalungen eingebracht. Darüberhinaus wurden auch diverse Normprüfkörper zur Ermittlung der Festigkeiten hergestellt. Auch ein Versuch zur Ermittlung der Fließfähigkeit wurde durchgeführt. Der Test der Normprüfkörper ergab für Druck- Zug- und Biegezugspannungen durchaus brauchbare Ergebnisse die in etwa den zehnfachen Werten von Normalbeton entsprechen. Nur die Fließfähigkeit blieb etwas unter den Erwartungen.

Abb. 74:
Test der Fließfähigkeit von UHPC



Abb. 75:
Mischen von UHPC in kleinen Mengen

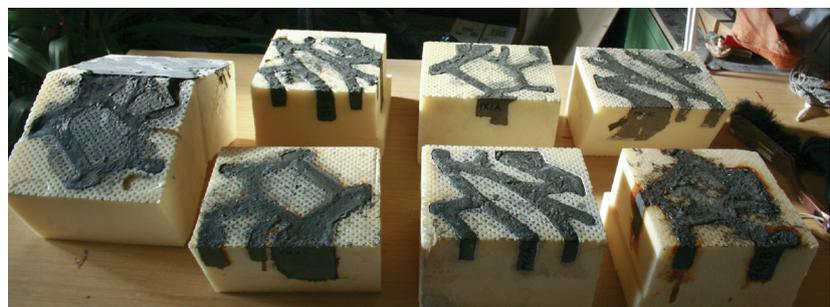


Abb. 76:
Erste Ausschalversuche

4.3.6 Ausschalen

Schellak und Schmierstoffe waren als Trennmittel nicht geeignet. In diesem Fall musste die XPS-Schalung mechanisch zerstört werden. Auch der Versuch mit einer Trennschicht aus Tonschlicker gelang nicht. Jedoch verlief der Wachsvariantenversuch erfolgreich. Die Schalung wurde mit der Eingussseite nach unten auf Abstandshaltern gelagert und im Backrohr ca. 40 Minuten auf 70°C erhitzt. So konnte das geschmolzene Wachs abrinnen, was ein leichtes Trennen von XPS und UHPC ermöglichte. Durch Verflüssigen der Trennschicht bildete sich ein kleiner Zwischenraum zwischen XPS und UHPC, zusätzlich wirkte das verflüssigte Wachs als Schmiermittel. Die ausgeschalteten Teile wurden gereinigt und mittels Sandstrahlverfahren von Trennmittelrückständen befreit. Stahlfasern, die teilweise aus der Oberfläche ragten, wurden durch Schleifen bzw. Bürsten entfernt. Die Gusseite der UHPC-Teile wurde mit einem Winkelschleifer geschliffen.

Abb. 77:
UHPC-Versuchsreihe





4.3.7 Verkleben

Zwei Varianten der Verbindung der Einzelteile wurden im Zuge dieser Arbeiten untersucht. Eine Möglichkeit war, bereits die beiden Schalungsteile im richtigen Winkel zu verbinden und beide Teile in einem Zug mit UHPC zu füllen. Die Fließfähigkeit der UHPC-Masse reichte aus um einen sauberen Abguss zu erhalten. Bei den kleinen Abmessungen der Probestücke war dies durchaus eine brauchbare Lösung, aber für die Fertigung des ganzen Objektes eine einzige Schalung herzustellen und diese in einem Zug auszugießen wäre sehr aufwendig und aus mehreren Gründen kaum umsetzbar gewesen. Daher wurde diese Variante nicht mehr weiter verfolgt. Die zweite Verbindungsvariante, die auch für die weitere Produktion gewählt wurde, war das Verkleben. Die Anschlussstellen zweier Teile wurden dafür auf Gehrung gefertigt. Hierfür wurde ein im industriellen Betonbau schon bewährter Kleber gewählt. Der Armierungskleber SikaDur 30 der Firma Sika. Die von Martina Winkler durchgeführten Versuche zur Zug- und Biegezugfestigkeit der mit

Linke Seite

Abb. 78:
Studie zur Verbindung zweier UHPC-Segmente

diesem Kleber ausgeführten Verbindungen, ergaben für beide Festigkeitsklassen im Klebebereich höhere Festigkeiten als die der UHPC-Masse. Das heißt im Belastungsversuch erfolgte der Bruch nicht an der Klebestelle, sondern knapp daneben im UHPC. Witterungs- und UV-Beständigkeit des Klebers wurden von der Herstellerfirma bestätigt. Der Zweikomponentenkleber wird kurz vor dem Aufbringen auf die zu verklebenden Flächen sorgfältig zusammengemischt. Durch an den Klebeflächen angebrachte Abstandhalter wird eine gleichbleibende Schichtdicke des Klebers von ca. 1 mm Stärke gewährleistet. Nach einer Aushärtezeit von sieben Tagen bei 20°C erreicht die Verklebung ihre Normfestigkeit. Statisch wirksam ist die Verbindung bereits nach 24 Stunden. Laut Hersteller erreicht der Kleber eine Druckfestigkeit von 85 – 95 N/mm², eine Scherfestigkeit von 16 – 19 N/mm² und eine Zugfestigkeit von 26 – 31 N/mm² bei einem E-Modul (Zug) von 11.200 N/mm².

Abb. 79:
Verkleben zweier UHPC-Segmente



4.3.8 UHPC Materialbeschaffung

Das Institut für Betonbau stellte freundlicher Weise das Material für die erste UHPC Versuchsreihe zur Verfügung. Die projektierten drei Strukturdreiecke mit einem geschätzten Materialaufwand von ca. 70 Liter UHPC, sollten durch externes Sponsoring aufgestellt werden. Nach einigen erfolglosen Anstrengungen in diese Richtung, konnte Martina Winkler die Firma DORFNER von unserem Projekt überzeugen. Das auf Werkstoffe spezialisierte Unternehmen erklärte sich bereit, den Materialbedarf für das gesamte Objekt von 600 Liter UHPC zur Verfügung zu stellen.

Zum Einsatz kam das Produkt DORISCEM fein, ein ultrahohfestes Betonfertigcompound mit einer Körnung von 0 - 0,5 mm. Die angegebene Normdruckfestigkeit nach 28 Tagen beträgt 160 N/mm², die Biegezugfestigkeit 25 N/mm² bei einem E-Modul von 44400 N/mm² und einer Dichte von 2400 kg/m³. Die nötigen Metallfasern von 6 und 9 mm Länge stellte das Labor für Konstruktiven Ingenieurbau zur Verfügung.

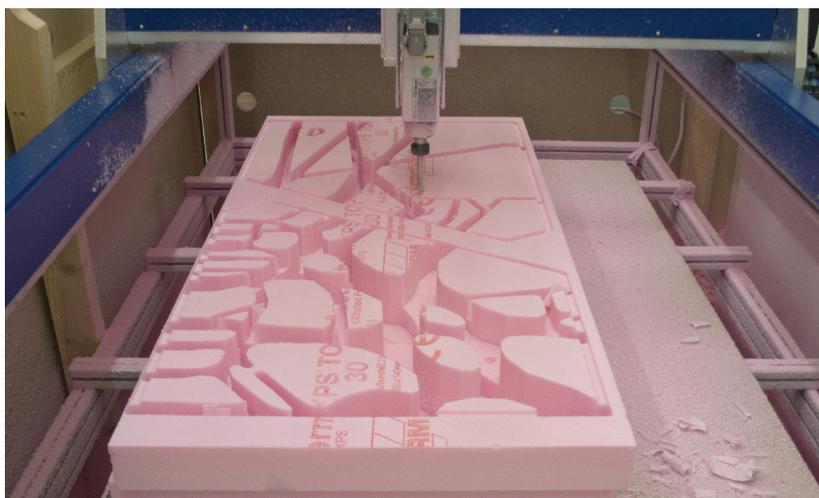


Abb. 80:
CNC-Fräsanlage beim Erstellen der XPS-
Schalungen

4.4 Herstellung der UHPC Strukturdreiecke

4.4.1 Fräsarbeiten, die Schalungen für die ersten drei Strukturdreiecke entstehen

Die zur Verfügung stehende CNC-Anlage weist einen Frästisch mit einer maximalen Arbeitsfläche von 1000 mal 2000 mm auf. Die zur Herstellung der Schalungen benötigten 30 Platten XPS (1265 x 615 x 140 mm) wurden freundlicher Weise von der Dämmstofffirma AUSTROTHERM bereit gestellt. Die XPS-Platten werden mit einem 15 mm Falz geliefert und haben daher eine nutzbare Fläche von 1250 mal 600 mm. Die zu fräsenden Schalungen für die Strukturdreiecke haben inklusive Arbeitsübermaße eine maximale Breite von 1320,6 mm und eine maximale Höhe von 1143,7 mm. Da diese Ausmaße die vorgegebenen Arbeitsflächen überschreiten, war es nötig, die Strukturdreiecke in jeweils drei einzelnen Teilen zerlegt zu fräsen und später wieder zusammenzusetzen. Die Teilung erfolgte so, dass die XPS-Platten bestmöglich ausgenutzt wurden. Die Schalungen für zwei Strukturdreiecke mit insgesamt sechs Einzelteilen, konnten so aus drei XPS-Platten gefräst werden. Da ein Strukturdreieck aus jeweils drei Strukturgenerationen besteht, weisen die Strukturrippen drei unterschiedliche Höhen auf und die Fräsarbeiten mussten in mehreren Schritten erfolgen. Zusätzlich wurde auch die Umrisslinie der Strukturdreiecke für die spätere händische Bearbeitung mit einer Eintauchtiefe von 5 mm gefräst. Nach dem Fräsen der Umrisslinie folgten zwei Fräsgänge um die Strukturen mit 90 mm Rippenhöhe, und zwei Fräsgänge, um die 56 mm hohen Rippen zu fräsen, ein letzter um die 35 mm hohen Rippen freizulegen. Die durchschnittliche Nettofräszeit pro XPS-Platte betrug zwei Stunden. Die geschätzte Nettofräszeit für alle Schalungen ca. 60 Stunden.

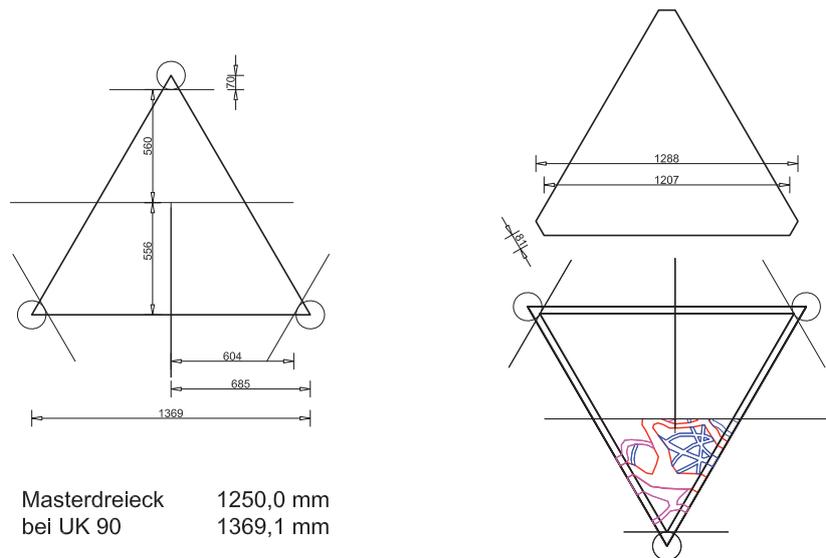


Abb. 81:
Dimensionsplan der Strukturdreiecke für
CNC-Anlage

Gefräst wurde mit einem 14 mm Fräskopf, der eine maximale Eintauchtiefe von 140 mm ermöglicht, jedoch pro Durchgang maximal 50 mm erlaubt. Die minimale Breite einer Strukturrippe war damit auf 14 mm beschränkt. Eine besondere Herausforderung stellten die Ungenauigkeiten der XPS-Platten dar, deren mit 140 mm angegebene Stärke schwankte von 130 bis 145 mm und die notwendige Ebenheit war nicht immer in ausreichendem Maß vorhanden.

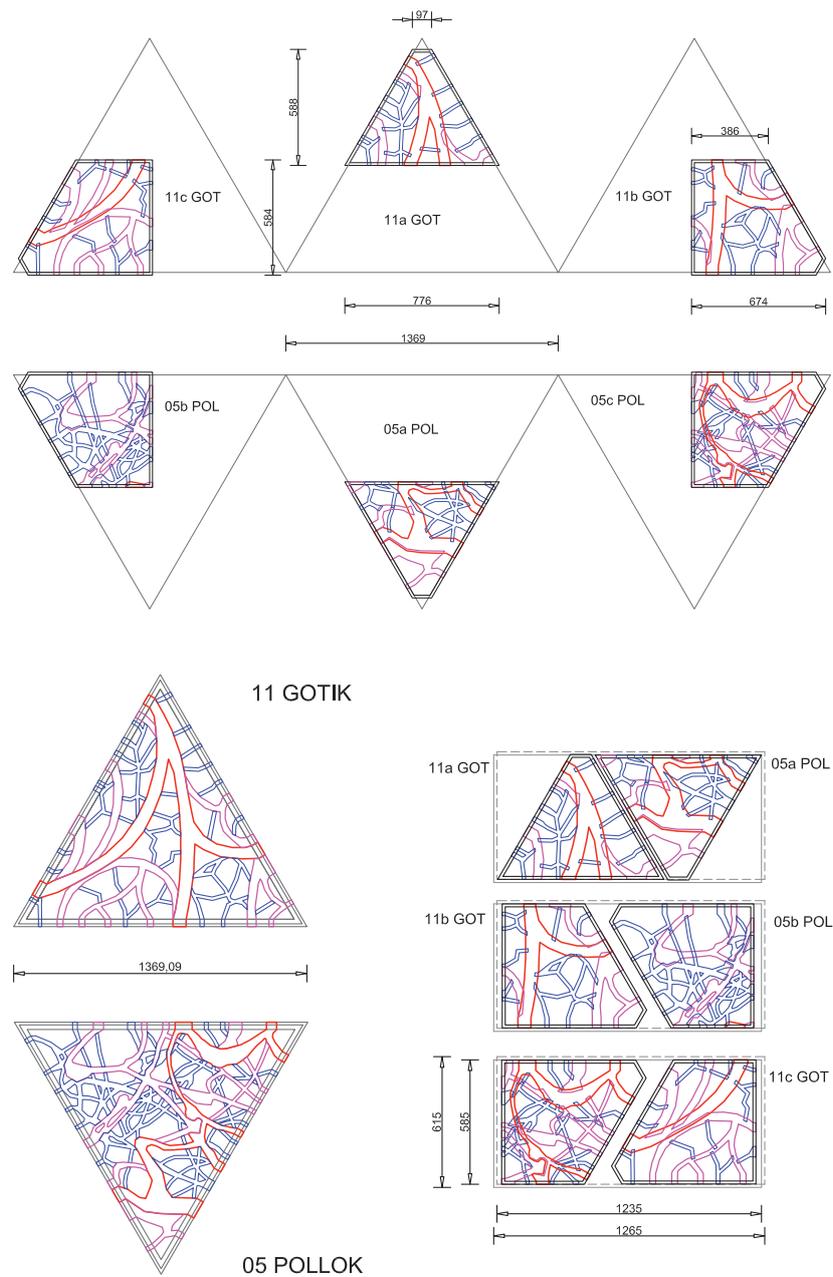


Abb. 82:
Plan zur Aufteilung der Schalungsteile auf
XPS-Plattenmaße

4.4.2 Bandsäge

Nachdem die XPS Platten für die ersten Strukturdreiecke fertig gefräst waren, wurden diverse Fehlstellen mit einer Styropor Spachtelmasse ausgebessert. Danach konnten die einzelnen Teile mittels einer Bandsäge zugeschnitten werden. Wobei die Außenränder der Schalungsteile auf 69,09 Grad Gehrung geschnitten wurden. Das Erreichen einer höchstmöglichen Genauigkeit bei diesem Gehrungsschnitt war äußerst wichtig, da dadurch die spätere Passgenauigkeit der UHPC-Strukturdreiecke entscheidend bestimmt wurde.

Abb. 83:
Bandsägearbeiten in Modellbauwerkstätte



Abb. 84:
XPS-Schalung für UHPC-Guss ohn Holzschalung



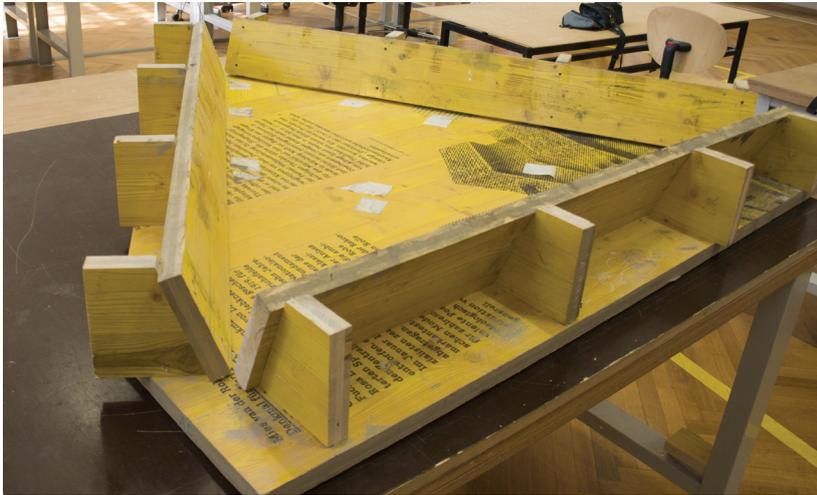


Abb. 85:
Erstellen der Schalungen für die Struktur-
dreiecke



Rechte Seite
Abb. 86:
Fertige Schalungen vor UHPC-Guss

4.4.3 Holzschalung

Jeweils drei Einzelteile konnten nun zu einer kompletten Dreiecksschalung zusammengefügt werden. Allerdings musste noch eine tragfähige und vor allem ebene Auflage für die XPS-Teile geschaffen und die auf Gehrung geschnittenen Ränder mit einer Abdeckplatte versehen werden. Die dazu notwendigen flachen Kästen mit geneigten Seitenflächen wurden aus Schaltafeln gefertigt. Das Institut für zeitgenössische Kunst stellte diese zur Verfügung. Insgesamt wurden acht dieser wiederverwendbaren Kästen konstruiert, um einen reibungslosen und vor allem zeitsparenden Betonierverlauf zu gewährleisten. Auch hierbei war die geforderte Genauigkeit eine große Herausforderung, denn auch die Ebenheit der Schaltafeln war nicht einwandfrei. Die seitlichen Platten, die zur Abdeckung der Gehrungsseite dienen, mussten ebenfalls exakt im Winkel auf die Grundplatte montiert werden. Dazu dienten mittels einer Schablone gefertigte Holzanschläge, wovon pro Seite jeweils vier zum Einsatz kamen. Die XPS-Teile wurden im Kasten platziert und fixiert.





4.4.4 Wachs

Die so hergestellten Schalungen mussten nur noch mit dem geeigneten Trennmittel versehen werden. Doch dies gestaltete sich überaus schwierig. Die Entscheidung für Wachs als Trennmittel war zwar nach den bisherigen Versuchen schon gefallen, doch das Auftragen des auf 60 Grad erhitzten und damit flüssigen Wachses war problematisch. Der Wachsaufrag mittels Pinsel so wie in den ersten Tests war zwar möglich, aber überaus zeitaufwendig. Sämtliche notwendigen Schalungen konnten unmöglich mit dieser Methode von einer Person hergestellt werden. Eine lange Zeit des Experimentierens begann. Das Wachs wurde mit Pinsel und Spachteln in verschiedener Konsistenz aufgebracht. Auf Kartontafeln gegossene Wachsplatten wurden noch im warmen Zustand in Bahnen geschnitten und ans XPS gedrückt. Diverse Versuche beschäftigten sich auch mit der Möglichkeit, heißes Wachs aufzusprühen. Einige Varianten kamen auch zum Einsatz, um die ersten Schalungen fertigzustellen, der nötige Zeitaufwand war jedoch nur unwesentlich gesunken. Die ersten vielversprechenden Ergebnisse brachte die Wachsgießmethode. Dabei werden die eingefrästen Abschnitte am Rand der XPS-Teile mit Kreppklebebändern abgedichtet und danach mit flüssigem Wachs gefüllt. Nach kurzer Zeit wird das Wachs wieder ausgelert, und eine dünne Wachsschicht bleibt an der XPS-Oberfläche haften. Das Problem dabei war, dass die Wachsschicht keine ausreichende Dicke erreichte. Ließ man das Wachs jedoch längere Zeit in der XPS-Form abkühlen, erstarrte es zuerst an der Oberseite und hinterließ beim Ausgießen unbrauchbare Wachsrückstände. Die XPS Oberfläche war zwar mit einer ausreichend dicken Wachsschicht bedeckt, doch diese war viel zu unregelmäßig. Auch mehrmaliges Wiederholen von kurzen Einwirkzeiten brachte keinen Erfolg, da der Wärmeeintrag des heißen Wach-



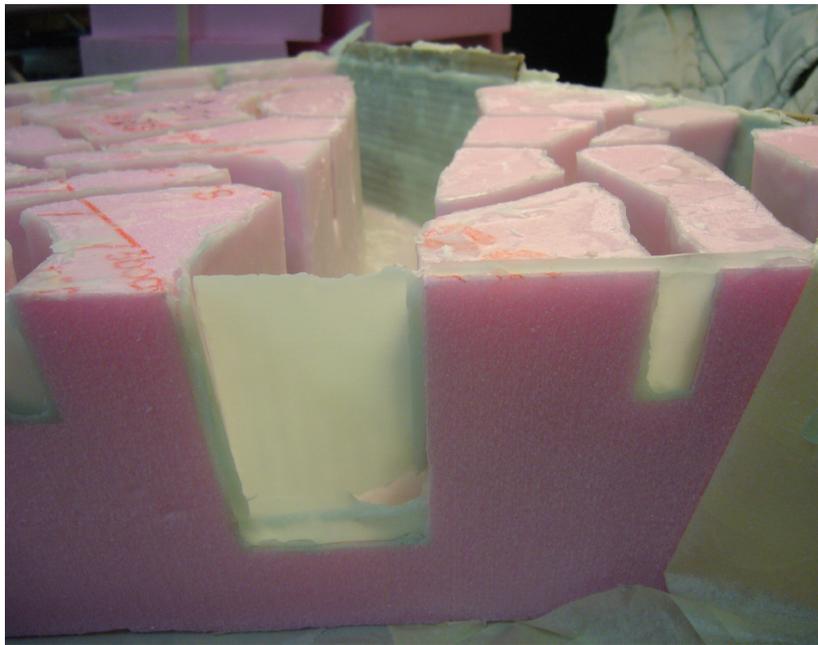
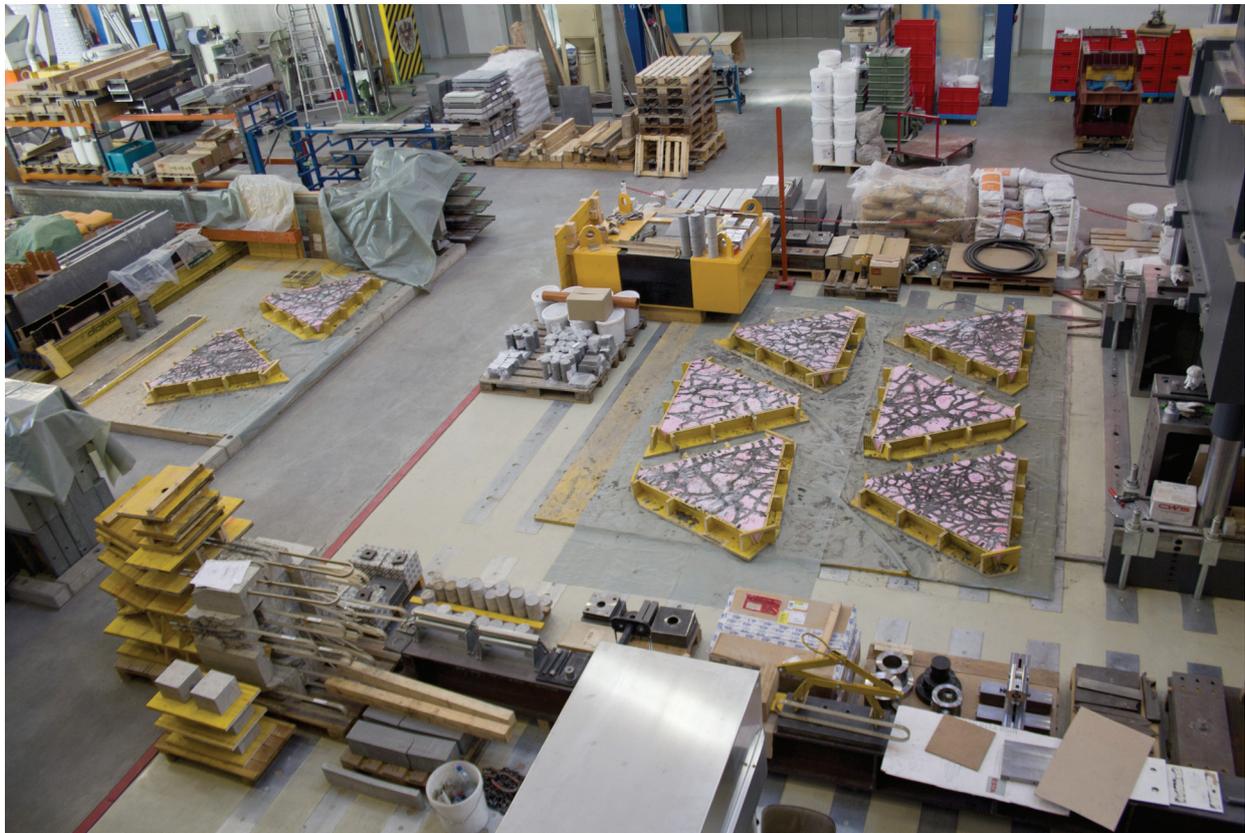


Abb. 87:
Aufbringen der Trennmittelschicht aus Wachs

Abb. 88:
Wachsstudien auf XPS-Stäbchen



ses zu hoch war und damit die Wachsschichtstärke am XPS nicht wesentlich vergrößert werden konnte. Das Wachs wurde mit diversen Zusatzstoffen und Mehlen verdickt und eine Testreihe mit zahlreichen XPS-Stäbchen gefertigt, die in die diversen Mischungen getaucht wurden. Dabei wurden Zusatzstoffe, Wachsstemperatur, Tauchzeit und die Anzahl der Tauchgänge variiert. Es wurde auch die Möglichkeit entdeckt, ein bereits mit einer Wachsschicht versehenes XPS-Stäbchen zu frieren und danach nur kurz in das heiße Wachs zu tauchen. Da Wachs im Gegensatz zu XPS sehr gute Eigenschaften als Wärmespeicher besitzt, reicht die gespeicherte Kälte in der Wachsschicht aus, um im kurzen zweiten Tauchgang eine erneute Wachsschicht aufzunehmen. Durch Kühltemperatur und Tauchzeit, sowie Anzahl der Tauchgänge konnte die Schichtstärke beliebig eingestellt werden. Dieses Verfahren war geeignet, um in angemessener Zeit eine Wachsschicht in guter Qualität und Dicke an der XPS-Oberfläche aufzubringen. Dazu wurden die gefrästen XPS-Teile mit Klebeband umwickelt, um ein Ausrinnen des Wachses zu verhindern. Danach wurden sie komplett mit Heißwachs gefüllt. Nach dem Entleeren kamen die Teile für 15 Minuten in die Gefriertruhe und wurden daraufhin erneut mit Heißwachs gefüllt. Die Wachsstemperatur lag dabei knapp über dem Schmelzpunkt bei ca. 55°C. Zur Überprüfung des Volumens wurden die Teile danach mittels eines Messbechers mit Wasser gefüllt. Das Klebeband konnte dann entfernt und die Form von überschüssigem Wachs gereinigt werden. Jeweils drei der so beschichteten XPS-Teile konnten nun zu einer Schalung zusammengefügt und in dem vorbereiteten Holzkasten platziert werden. Die entstandenen Fugen zwischen den XPS-Teilen wurden daraufhin mit Wachs geschlossen.



4.4.5 Betonierarbeiten

Die Betonierarbeiten wurden insgesamt in fünf Chargen durchgeführt wobei die Arbeiten an drei Tagen vorstatten gingen.

Im Mai 2011 wurden die ersten drei Schalungen Blatt, Maßwerk und Pollock im Labor für Konstruktiven Ingenieurbau mit UHPC gefüllt. Dazu wurde ein 90 Liter Trommelzwangsmischer verwendet. Die Füllmenge der drei Strukturdreiecke betrug ca. 60 Liter. Der Rest des Materials wurde zur Herstellung von Probekörpern verwendet.

An den beiden anderen Betoniertagen wurden jeweils zwei Chargen zu je vier Schalungen befüllt. Die dazu pro Charge nötige UHPC Menge betrug zwischen 80 und 90 Liter und entsprach somit der maximalen möglichen Auslastung der Mischanlage. Die Arbeiten erfolgten im Oktober 2011 und im Jänner 2012. Die Zeit zwischen den beiden letzten Betonierterminen ermöglichte es, die Holzschalungskästen wieder zu verwenden und darin die nächsten XPS-Schalungen zu platzieren und vorzubereiten.





Linke Seite
Abb. 89:
 Die mit UHPC befüllten Schalungen im
 Labor für konstruktiven Ingenieurbau

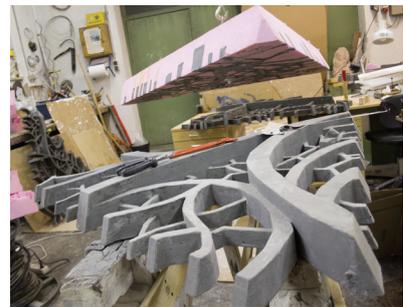
Abb. 91:
 Das Befüllen der Schalungen mit UHPC

Das Füllen der Schalungen musste sehr rasch erfolgen, da UHPC eine Verarbeitungszeit von lediglich ca. 30 Minuten besitzt. Die sehr feingliedrigen Strukturen wurden per Hand mit Schüttkübeln gefüllt. Durch Stochern mit Fugeneisen wurde versucht, die Ausrichtung der Stahlfasern dem Strukturverlauf bestmöglich anzupassen. Nach dem der UHPC eingebracht war, konnte die Oberfläche geglättet und die Schalungen von UHPC-Überschüssen befreit werden. Mittels einer Sprühflasche wurde dann die UHPC-Oberfläche befeuchtet und mit Plastikplanen zugedeckt.



Linke Seite
Abb. 90:
 Mischen von UHPC

Abb. 92:
 Feinarbeiten beim Befüllen der Schalungen mit UHPC



4.4.6 Ausschalen

Nach drei Tagen war der UHPC soweit ausgehärtet und die Transportfähigkeit gewährleistet. Nun konnten die mit UHPC gefüllten XPS-Schalungen von den Holzkästen getrennt werden. Die Kästen wurden gereinigt und für den nächsten Einsatz vorbereitet. Die XPS-Schalungen wurden nach Pöllau in meine Werkstatt transportiert.

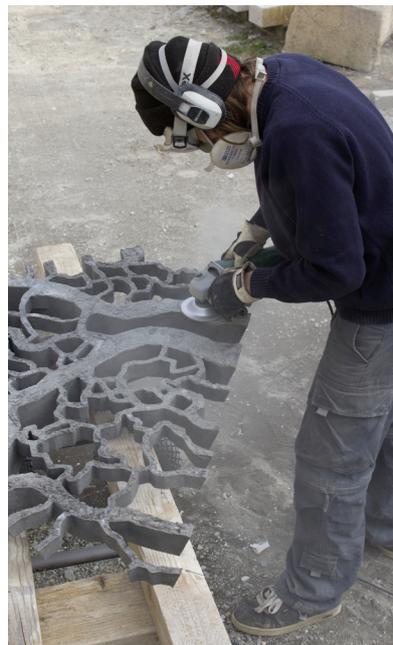
In der Werkstatt wurde ein Wachsauerschmelzofen konstruiert. Dazu diente ein 500 Watt Keramik Elektroheizkörper als Wärmequelle. Dieser wurde in einem dreieckigen Mantel aus XPS platziert. Die Abmessungen wurden entsprechend der UHPC-Segmente bzw. der XPS-Schalungen um diese direkt auf den Ofen als Abdeckplatte zu legen. Der ca. 30 cm hohe XPS-Mantel wurde zusätzlich mit Alufolie verkleidet, um die Wärmestrahlung im Ofeninneren zu halten und ein Anschmelzen des XPS zu verhindern. Die mit UHPC gefüllten XPS-Schalungen wurden im Schwerpunkt mit einem Gewindeanker versehen und konnten so unter Einsatz eines Portalkrans einfach von einer Person manövriert und am Ofen platziert werden.

Mit einem Thermometer konnte die Temperatur im Ofeninneren kontrolliert werden. Diese liegt optimaler Weise zwischen 60 und 80 °C, also knapp über dem Schmelzpunkt des Wachses. XPS verglast bei ca. 100 °C, was vermieden werden sollte. Die Temperatur musste für ca. sechs Stunden aufrecht gehalten werden, um eine durchgängige Aufheizung der UHPC-Segmente und somit eine umfassende Wachsschmelze zu garantieren. Nach dem Aufheizen wurden die Schalungen vom Ofen genommen und etwas erhöht auf zwei Tischen platziert, sodass die Schalungen von unten zugänglich waren.

Abb. 93:
Das Ausschalen der UHPC-Strukturdreiecke mittels Wachsauerschmelzverfahren



Segmentweise konnten nun die XPS-Teile vom UHPC durch Klopfen gelöst werden. Diese Arbeit musste sehr rasch erfolgen, da bei zu starkem Abkühlen das Wachs wieder erstarrt und das Ausschalen erschwert wird. Bei optimalen Bedingungen konnten die XPS-Schalungen schadlos entfernt werden und blieben somit wiederverwendbar.



4.4.7 Nachbearbeiten:

Die so freigelegten UHPC-Strukturdreiecke waren natürlich mit einer starken Wachsschicht belegt. Diese wurde mit Spachteln und einer automatischen Drahtbürste grob entfernt. Alternative Wachsentrfernungsversuche wie Abbrennen, Dampfstrahlen oder der Einsatz von Lösungsmitteln haben sich nicht bewährt. Der letzte Reinigungsschritt erfolgte mithilfe des Sandstrahlverfahrens mit feinem Strahlgut.

Die Oberfläche der Strukturdreiecke wurde zuerst mit einer Diamantschleifscheibe dann mit einem feinen Korund-Schleiftopf bearbeitet. Die Kanten wurden leicht abgefasst und hervorragende Metallspäne entfernt. Die Gehungflächen wurden für die Verklebung intensiv sandgestrahlt, um eine größere Rauigkeit und daher bessere Haftung zu erreichen.

Abb. 94:
Nachbearbeiten der UHPC-
Strukturdreiecke



Abb. 95:
Geschliffene Oberfläche eines UHPC-
Strukturdreiecks



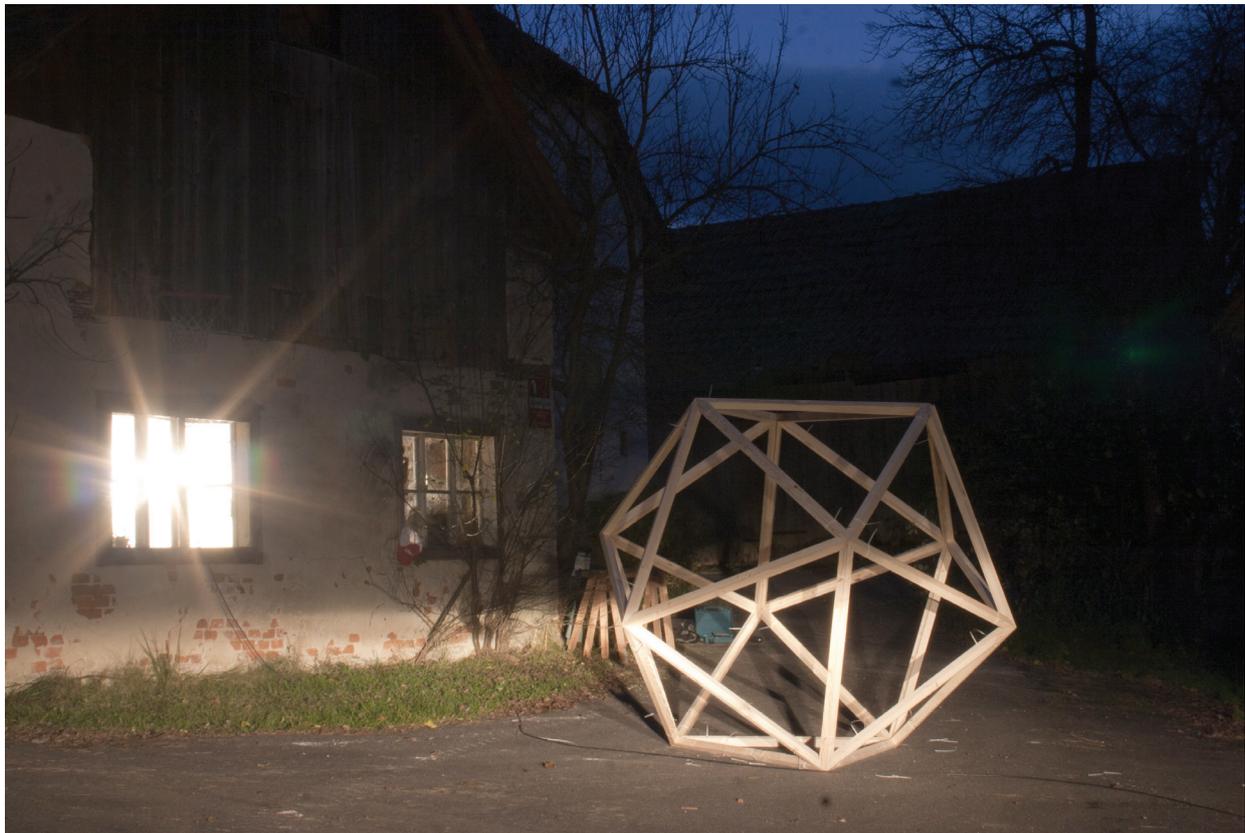


Abb. 96:
Ikosaederstudie aus Holz

4.4.8 Holzikosaeder

Zur Überprüfung der Geometrien und Proportionen fertigte ich ein 1:1 Iko-
saeder Modell aus Holzlatten. Dazu wurden analog zur UHPC Bauweise 20
gleichseitige Dreiecke mit einer Seitenlänge von 125 cm gefertigt. Die Seiten
dieser Dreiecke wurden ebenfalls mit entsprechenden Gehrungen geschnit-
ten. So war es möglich, die einzelnen Teile Stück für Stück mit Kabelbindern
aneinander zu fügen.

Linke Seite
Abb. 97:
Ikosaederstudie mit Person

4.5 Laufender Prozess

Zum Zeitpunkt der Buchabgabe ist der Zusammenbau des Objektes noch im
Gange. Sämtliche UHPC-Strukturdreiecke sind fertig betoniert, ausgeschalt
und nachbearbeitet. Als folgender Arbeitsschritt wird ein, den Abmessun-
gen der UHPC-Strukturdreiecke genau entsprechendes, Holzgerüst erstellt.
Dieses dient einerseits zur Lagefixierung der UHPC-Strukturdreiecke beim
Verkleben, andererseits wird so sichergestellt das sich etwaige Ungenauig-
keiten beim Zusammenfügen der Teile nicht summieren.

Literatur

Lexika:

Brockhaus Enzyklopädie online, 2005-2011.

Brockhaus in drei Bänden, Bd. 1, Leipzig 2006.

Duden Informatik A-Z. Fachlexikon für Studium, Ausbildung und Beruf, 2006.

Malerei. Lexikon von A bis Z. Geschichte der Malerei von den Anfängen zur Gegenwart, Köln 1986.

Übrige Literatur:

Aristoteles: Metaphysik, (Übers.) Lasson, Adolf: Jena, 1907.

Bigalke, Hans-Günther: Reguläre Parkettierungen, mit Anwendungen in Kristallographie, Industrie, Baugewerbe, Design und Kunst, Mannheim-Leipzig-Wien-Zürich, 1994.

Einstein, Albert: Festvortrag vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften in Berlin über Geometrie und Erfahrung, 1921, in: Seelig, Carl (Hg.): „Mein Weltbild“, 1991.

Eisenman, Peter: Die Formalen Grundlegungen der modernen Architektur, Zürich-Berlin, 2005.

Eisenman, Peter: Die Stille des Übermasses, in: Rauterberg, Hanno/Binet, Hélène: Holocaust Mahnmahl Berlin. Eisenman Architects, Baden, 2005.

Eisenmann, Peter: Die Formalen Grundlegungen der modernen Architektur, Zürich/Berlin, 2005.

Ernst, Bruno: Der Zauberspiegel des M. C. Escher, Köln, 2007.

Flusser, Vilém: Medienkultur, Frankfurt a. M.-Mannheim, 2008.

Franck, Georg u.a.: What moves Architecture? (In the next five Years), Zürich, 2006.

Fuller, R. Buckminster: Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde und andere Schriften, Hamburg 1973.

Fuller, R. Buckminster: Goldlöckchen und die drei Bären, Köln 1983.

Fuller, R. Buckminster: Utopia or Oblivion: The Prospects for Humanity, New York-Bantam 1969.

Hays, K. Michael u.a. (Hg.): Buckminster Fuller. starting with the universe, [on the occasion of the exhibiton ... Whitney Museum of American Art, New York, June 26 –September 21, 2008 ...], New Haven u.a. 2008.

Horkheimer, Max/ Adorno, Theodor W.: Dialektik der Aufklärung. Philosophische Fragmente, Frankfurt am Main 1988.

- Itten, Johannes: Elemente der Bildenden Kunst. Studienausgabe des Tagebuchs, Leipzig 2002.
- Kleinig, Hans/Sitte, Peter: Zellbiologie. Ein Lehrbuch, Stuttgart u.a., 1999.
- Koch, Wilfried: Baustilkunde. Das Standardwerk zur europäischen Baukunst von der Antike bis zur Gegenwart, Gütersloh-München 2005.
- Latour, Bruno: Wir sind nie modern gewesen. Versuch einer symmetrischen Anthropologie, Frankfurt am Main 2008.
- Le Corbusier: Der Modulor, Darstellung eines in Architektur und Technik allgemein anwendbaren Masztes im menschlichen Maszstab, Stuttgart, 1953.
- Levi-Strauss, Claude: Das Wilde Denken, Frankfurt a. M. 1968.
- Lloyd, H. Seton u.a.: Baukunst. Von den Anfängen bis zur modernen Architektur, Gütersloh 1966.
- Norberg-Schulz, Christian: Vom Sinn des Bauens. Die Architektur des Abendlandes von der Antike bis zur Gegenwart, Stuttgart-Mailand 1979.
- Platon: Timaios, 53c.
- Rudofsky, Bernard: Architektur ohne Architekten. Eine Einführung in die anonyme Architektur, Salzburg-Wien 1993.
- Steadman, Philip: The evolution of designs biological analogy in architecture and the applied arts, Cambridge, 1979.
- Toman, Rolf: Gotik. Architektur – Skulptur – Malerei, Köln, 1998.
- With, Eugen: Die orientalische Stadt im islamischen Vorderasien und Nordafrika. städtische Bausubstanz und räumliche Ordnung, Wirtschaftsleben und soziale Organisation, Bd. 1, Mainz 2002.
- Zumthor, Peter: Architektur Denken, Basel-Boston-Berlin 2010.

Internetquellen

- Astronomische Arbeitsgruppe Laufen, (2006): Monatsthema September 2006: „Die Galileischen Monde“, Online unter: http://astronomy.meta.org/monatlich/0609_monatsthema.html (Stand 6.11.2011)
- Ehrenstein, Claudia: Der größte Organismus der Welt, in: Welt Online (2000), Online unter: http://www.welt.de/print-welt/article526936/Der_groesste_Organismus_der_Welt.html (Stand 25.11.2011)
- Ludersocke: Die Entstehungsgeschichte verschiedener Tänze und ihr soziales Milieu, (2009) Online unter: <http://ludersocke.blog.de/2009/04/29/theater-film-tanz-gegenseitige-beeinflussung-reform-6029484/> (Stand: 6.6.2011)
- Lust, Joseph: Scanning Electron Microscope Eye Structure Analysis (o.J.), Online unter: <http://www.optics.rochester.edu/workgroups/cml/opt307/spr06/joe/> (Stand 19.9.2011)
- Lyon, Berett G.: Opte as an Aesthetic Experience (2005), Online unter: <http://www.opte.org/downloads/OptelsArt> (Stand 11.11.2011)
- Protector, (2009): Handrückenvenenerkennung. Unverwechselbare Blutbahnen, Online unter: <http://www.sicherheit.info/SI/cms.nsf/si.ArticlesByDocID/1102437?Open> (Stand 17.03.2011)

Springel, Volker u.a.: Millennium Simulation, in: Max-Planck-Institut für Astrophysik.
Abbildungen/Filme zur Pressemitteilung der MPG: Online unter:
<http://www.mpa-garching.mpg.de/galform/presse/> (Stand 5.12.2011)

Wikipedia. Die freie Enzyklopädie, Online unter: <http://de.wikipedia.org>

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2:

Pantheon, Rom (um 125 n. Chr.)

http://de.wikipedia.org/wiki/Pantheon_%28Rom%29 (stand 22.11.2011)

Abb. 3:

Bouleè, Kenotaph für Issac Newton Entwurf (1784)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kenotaph> (stand 22.11.2011)

Abb. 5:

Peter Eisenman, Holocaust-Mahnmal, Berlin (2005)

<http://www.essential-architecture.com/ARCHITECT/HolocaustMahnmalLuft.jpg> (Stand 12.2.2011)

Abb. 6:

Le Corbusier, Villa Savoye (1929-31)

http://www.e-architect.co.uk/images/jpgs/paris/villa_savoie_il435.jpg (stand 12.2.2011)

Abb. 7:

Richard Serra, Intersection Basel (90er Jahre)

http://farm4.static.flickr.com/3216/2746405219_5c1e8be625.jpg (stand 12.2.2011)

Abb. 8:

Goldsworthy, Zweigschlichtung

http://farm3.static.flickr.com/2323/2051798939_ae41855034.jpg (stand 12.2.2011)

Abb. 9:

Diller and Scofidio, Blur Building, Swiss Expo (2002)

[http://www.boredomisyourfault.com/blog/2007/06/25/blur-building/;](http://www.boredomisyourfault.com/blog/2007/06/25/blur-building/) (stand 20.5.2011)

Abb.10:

Allison & Peter Smithon, Ideogramm of a net of human relations

Vorlesungsunterlagen: Daniel Gethmann, AK Kunst- und Kulturwissenschaften, Rethinking / Designing Structure, TU Graz , Sommersemester 2010

Abb. 11:

Buckminster Fuller, Sketch of Lightful Houses (um 1928)

Ausstellungskatalog: Staring with the universe, Buckminster Fuller; Whitney Museum of American Art, New York, 2008, 80.

Abb. 12:

Buckminster Fuller, Geoscope (1952)

Ausstellungskatalog: Staring with the universe, Buckminster Fuller; Whitney Museum of American Art, New York, 2008, 8.

Abb. 13:

Buckminster Fuller, Tensegrity

<http://www.dinosaursandrobots.com/2009/12/90-strut-tensegrity-sphere-by.html>;
(7.6.2011)

Abb. 14:
Buckminster Fuller, Biosphère, US-Pavillon zur Expo (1967)
http://de.wikipedia.org/wiki/Buckminster_Fuller (stand 22.11.2011)

Abb. 15:
C60, sphärisches Kohlenstoff Molekül, als Buckminster-Fulleren bezeichnet
<http://de.wikipedia.org/wiki/Fullerene> (7.6.2011)

Abb. 16:
Bruno Taut, Kristalline Architektur, Werkbund-Ausstellung, Köln (1914)
Angelika Thiekötter u.a.: Kristallisationen, Splitterungen; Bruno Tauts Glashaus Birkhäuser Verlag, Basel Berlin Boston 1993, 11
Foto Wolfgang Krolow

Abb. 24:
Buckminster Fuller, Domkonstruktion auf Dreiecksbasis
<http://www.dexigner.com/news/24296> (Stand 20.04.2012)

Abb. 31:
Allhambra, Ornament aus dem Saal der Gesandten
Grécy, Jules: Die Allhambra zu Granade, Wiesbaden 2002, 89.
Fotografien von Ferdinand Werner S89 Tafel 17

Abb. 32:
Mc Escher, durch Stempeldruck erzeugtes Ornament
Ernst, Bruno: Der Zauberspiegel des M. C. Escher, Köln, 2007, 45.

Abb. 34:
Modellfoto des Objekts
Foto: Martin Slobodenka

Abb. 35:
Elementare Entsprechungen der Platonischen Körper
http://www.myspace.com/who_is_justin_time; (6.6.2011)

Abb. 36:
Nachtaufnahme der Erde, Besiedlungsstrukturen
<http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=55167> (Stand 30.04.2012)

Abb. 38:
Der goldenen Schnitt im Ikosaeder
<http://de.wikipedia.org/wiki/Ikosaeder> (Stand 01.06.2011)

Abb. 40:
Rudolf Laban, Kinessphäre, Tänzerin im Ikosaeder
<http://ludersocke.blog.de/2009/04/29/theater-film-tanz-gegenseitige-beeinflussung-reform-6029484/> (6.6.2011)

Abb. 41:
Weltkartenprojektion nach Buckminster Fuller
(<http://de.wikipedia.org/wiki/Dymaxion> 7.6.2011)

Abb. 43:
Neurales Netz, Dreiecksseitenlänge 10 μm
http://www.optics.rochester.edu/workgroups/cml/opt307/spr06/joe/fig_1_10_big.jpg;

Abb. 44:
Sporennetz von Pilzen, Dreiecksseitenlänge 1 mm
<http://en.wikipedia.org/wiki/Mycelium>

Abb. 46:
Blutgefäße in menschlicher Hand, Dreiecksseitenlänge 3 cm
http://euro-police.noblogs.org/gallery/3874/480304532caMWqO_fs.jpg&imgrefurl

Abb. 47:
Jackson Pollock, Nr 14 gray (1948), Dreiecksseitenlänge 20 cm
<http://www.framedartpictures.com/showprint.aspx?pid=207116;>

Abb. 49:
Baumkronen, Dreiecksseitenlänge 3 m
<http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/15331474;>

Abb. 50:
Siedlungsstruktur nahe Ougadougou, Dreiecksseitenlänge 150 m
google earth: <http://www.google.com/earth/index.html>

Abb. 51:
Blitz, Dreiecksseitenlänge 300 m
[http://sternik1.za.pl/Piorun.jpg;](http://sternik1.za.pl/Piorun.jpg)

Abb. 52:
Marrakesch, Dreiecksseitenlänge 800 m
google earth: <http://www.google.com/earth/index.html>

Abb. 53:
Straßenkarte Südsteiermark, Dreiecksseitenlänge 30 km
BEV Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen 2001

Abb. 54:
Gangesdelta, Dreiecksseitenlänge 50 km, world wind application;
<http://goworldwind.org/>

Abb. 55:
Oberfläche eines Jupitermondes, Dreiecksseitenlänge 300 km
[http://www.nasa.gov/images/content/337344main_image_1339_full.jpg;](http://www.nasa.gov/images/content/337344main_image_1339_full.jpg)

Abb. 56:
Internetsruktur, Dreieckslänge k.A.
<http://www.opte.org/maps/>

Abb. 57:
Universums Simulation, Dreiecksseitenlänge 300 Mio Lichtjahre
<http://www.framedartpictures.com/showprint.aspx?pid=207116;>

Abb. 58:
Bluebrain, computergenerierte Hirnstruktur
<http://www.mazeforge.com/Words/?p=897>

Abb. 61:
„Topostruct“, Statikprogramm, Dreiecksseitenlänge k.A.
Programm: topostruct by Panagiotis Michalatos and Sawako Kaijima
http://sawapan.eu/sections/section79_topostruct/download.html

Abb. 62:
Voronisystem, Dreiecksseitenlänge k.A.
Programm: Grasshopper generative modeling for rhino
<http://www.grasshopper3d.com/>



Innovation & since
Consistency | 1910



Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen herzlich bedanken die das Zustandekommen dieser Arbeit ermöglicht haben. Insbesondere bedanke ich mich bei o. Univ.-Prof. **Hans Kupelwieser** und DI **Nicole Pruckmermayr** vom Institut für Zeitgenössische Kunst, die diese Arbeit betreut und begleitet haben. Ein besonders Dankeschön gilt auch dem Team des Labors für Konstruktiven Ingenieurbau, allen voran DI Dr. **Bernhard Freytag** und DI **Josef Linder**, die mit viel Wohlwollen die UHPC-Betonierarbeiten ermöglicht und durchgeführt haben, sowie **Reinhard Holzschuster** und **Hannes Koitz**, die diese Arbeiten tatkräftig unterstützt haben. Auch bei DI **Martina Winkler**, die zur Ausführungszeit wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Betonbau war, möchte ich mich für ihr großes Engagement herzlich bedanken. Einen unschätzbaren Beitrag zum Entstehen dieser Arbeit hat auch das Team der Modellbauwerkstätte geleistet, hier gilt mein Dank insbesondere **Bernd Grabner** für das große Vertrauen und die vielen Hilfeleistungen beim Bau der Schalungen.

Linke Seite

Abb. 98:

Gruppenfoto mit einigen Beteiligten der Betonierarbeiten
v.l.n.r. (oben) **Michael Königshofer**,
Evamaria Scherl, **Wolfgang Gross**, **Josef Linder**, **Hannes Koitz** (unten) **Martin Slobodenka**, **Sascha Vanicek** und **Johannes Schweighofer**

Bei Dr. **Ulrich Tragatschnig** bedanke ich mich herzlich für das Lektorat, bei DI **Stefan Zedlacher** für die erbrachten Hilfestellungen und Tipps, sowie bei Ass. Prof. Mag. Dr. **Daniel Gethmann** für die hilfreichen Literaturanregungen.

Großer Dank gilt **Martin Slobodenka** der nicht nur das vorliegende Buch layoutet hat und die Schalungs- und Betonierarbeiten tatkräftig unterstützte, sondern auch als Freund unschätzbare Hilfe geleistet hat. Ebenso möchte ich mich bei **Evamaria Scherl** bedanken, die nicht nur wertvolle Hilfe bei vielen Arbeiten geleistet hat, sondern in schwierigen Situationen immer die richtigen Worte fand und mir so Ruhe und Motivation spendete.

Ein großes Dankeschön für viele wertvolle Gespräche und Stunden sowie tatkräftige Unterstützung gilt ebenso **Harald Ellinger**, **Andreas Bretter**, **Sascha Vanicek**, **Jasmin Thomas**, **Wolfgang Gross**, **Georg Rechberger**, **Michael Königshofer**, **Masomah Regl** und **Doris Einböck**. Der **Tanzgruppe „Stille Bewegung“** danke ich für das Mitwirken an der generierten Bewegungsstruktur.

Auch bei meiner Familie, die mir immer den nötigen Rückhalt für diese Arbeit bot, möchte ich mich herzlich bedanken. Insbesondere danke ich **Michael** und **David Schweighofer** für die zahlreichen Stunden die auch sie in diese Arbeit investiert haben, **Karin Schweighofer-Pux**, **Christian Pux** und meiner Mutter **Veronika Schweighofer** für die vielen guten Gespräche.

Nicht zuletzt gilt mein großes Dankeschön den beteiligten Firmen die durch Sachsponsorship diese Arbeit ermöglicht haben.