

DIPLOMARBEIT

WALLume Pro -

*Theoretische Auseinandersetzung mit kinetischer
Architektur und experimenteller Entwurf*

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von
Dipl. Arch. ETH Dr. techn. Ingrid Erb Gavrilovici

Zweitprüfung durch
Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Milena Stavric

eingereicht an der Technische Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

E 259-01 Abteilung für Digitale Architektur und Raumplanung
Institut für Architekturwissenschaften

von
Sophia Linhart
01248319

Wien, am 01.03.2022

An dieser Stelle möchten ich mich bei allen bedanken,
die mich während der Anfertigung dieser Diplomarbeit
unterstützt haben.

Ich danke ...

... Frau Dipl. Arch. ETH Dr. techn. Ingrid Erb Gavrilovici

für die ausgezeichnete Betreuung meiner Arbeit, die hilfreichen Anregungen
und dafür, dass sie mir mit konstruktiven Ratschlägen und
Gesprächen stets zur Seite stand.

... meiner Familie - Mama, Papa, Lukas, Valentin, Oma, Opa und Großmama -

die mir dieses Studium ermöglicht hat, mir stets Rückhalt gegeben hat und mir von klein auf gelehrt hat,
dass ein gewisses Maß an Durchhaltevermögen durchaus von Nutzen ist.

.. Hannah, Paulina, Manjana, Philipp, Maria, Miriam, Tina, Kevin, Clarence, Christoph, Ladislav, Severin ..

die mir stets mit viel Geduld und Unterstützung aber auch konstruktiven
Ideen und Anregungen zur Seite gestanden haben.

ABSTRACT

Namensgeber für die vorliegende Diplomarbeit mit dem Titel „*WALLume Pro*“ ist ein Konzept für eine kinetische Struktur, die im Zuge der Arbeit entworfen wurde und im fünften Kapitel dokumentiert ist. Dies geschah parallel zu der theoretischen Auseinandersetzung mit ausgewählten Aspekten um den Diskurs über die Bewegung in der Architektur.

Die theoretische Auseinandersetzung erstreckt sich über die ersten vier Kapitel und findet in Form einer Literaturrecherche statt. Diese beschäftigt sich mit unterschiedlichen Auffassungen von dem was Bewegung, im Zusammenhang mit Architektur, bedeuten kann. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf der kinetischen Lösungen, die neue ästhetische Ansätze erproben und auf die Verwirklichung außergewöhnlicher und innovativer räumlicher Effekte ausgerichtet sind.

Der Grund für die Auseinandersetzung mit diesem Thema, besteht in dem Anliegen, zu verstehen, wie die Entwicklung und Verwendung digitaler Technologien dazu beitragen kann, Architektur nicht mehr ausschließlich als statischen „Ist-Zustand“ zu denken, sondern diese dynamisch und stets reaktionsfähig zu erleben.

ABSTRACT

This diploma thesis named „**WALLume Pro**“ derives its name from a concept for a kinetic structure that was designed in the course of the study. This happened simultaneously to the theoretical examination of selected aspects of the discourse about movement in architecture. The design process is documented in chapter five of the thesis.

The theoretical discussion covers the first four chapters is presented in the form of a literature research. It deals with different understandings of how movement in architecture can be understood, with a special focus on kinetic solutions that try out new aesthetic approaches and are geared towards the realization of extraordinary and innovative spatial effects.

The main reason for dealing with this topic is my personal concern of understanding how the development and use of digital technologies can contribute to thinking of architecture no longer exclusively as a static „current state“, but to experience it dynamically and always responsive.

*„Und sie bewegt sich doch -
Eppur si muove!“*

- Galileo Galilei

KAPITELINHALTE

Im ersten Kapitel wird das abstrakte Verständnis von Bewegung in der Architektur behandelt und führt in das eigentliche Thema, der sich tatsächlich bewegenden, kinetischen Architektur ein. Es dient dazu, nicht unerwähnt zu lassen, dass Bewegung in der Architektur noch mehr bedeuten kann als sich tatsächlich bewegend Objekte, Gebäude oder Gebäudeteile.

Im Anschluss konzentriert sich die Arbeit im zweiten Kapitel auf das breite Feld der sich tatsächlich bewegenden, kinetischen Architektur. Es findet eine Auseinandersetzung mit Begrifflichkeiten und Definitionen statt. Ein historischer Überblick sowie ein Einblick in das zeitgenössische Geschehen um das Feld der kinetischen Architektur wird gegeben, ebenso wie ein Überblick über einige bereits bestehende Klassifikationen.

Das dritte Kapitel beschäftigt sich mit kinetischen Design-Strategien, sowie mit kinetischen Mitteln und Methoden für die geometrische Veränderung und Bewegung von Strukturen im Raum. Die Ästhetik einer Bewegung kann in ihrem Ablauf vielseitig inspiriert, durch natürliche Umstände eingeschränkt und durch unterschiedliche Gestaltungsparameter gesteuert werden. Einige Umstände und Strategien, die das Design kinetischer Abläufe beeinflussen, werden im dritten Kapitel besprochen.

Im vierten Kapitel wird ein Überblick über die Gründe für die Implikation von Bewegung in architektonische Formen und Strukturen gegeben. Hierbei liegt der Fokus auf kinetischen Projekten, die sich tatsächlich räumlich bewegen und bei denen der Grund für die Implikation der Bewegung die Ästhetik / Poetik / Unterhaltung ist. Dieser Teil schlägt einen Bogen

zu dem fünften, praktischen Kapitel, in dem die Ästhetik der Bewegung über experimentelle Methoden erprobt und untersucht wird.

Im fünften Kapitel wird die empirische Forschungsmethode angewendet. Hier findet die Dokumentation eines experimentellen Designprozesses für eine kinetische Struktur statt. Dieser bedient sich an digitalen und praktischen Versuchen und Experimenten, sowie an Geometrie und Materialstudien.

Der dabei entstandene Entwurf, „**WALLume Pro**“ ist ein Konzept für eine kinetische Struktur, die aus statischen sowie beweglichen Elementen besteht und sich in Richtung der z-Achse selbständig ausbreiten kann. Ziel ist es, zu erproben, wie sich die entworfene Struktur, in unterschiedlichen Ausführungen und unter Einfluss punktueller Energiezufuhr, verhält.

INHALT

01	ABSTRAKTE BEWEGUNG	20
	Prolog	24
	Übersicht	26
	1.1 Metaphorische Bewegung	28
	1.2 Spectator	38
	1.3 Explorer	44
	1.4 Externe Einflüsse	52
02	TATSÄCHLICHE BEWEGUNG	60
	Prolog	64
	Übersicht	67
	2.1 Nomenklatur	68
	2.2 Definitionen	72
	2.3 Historischer Überblick	74
	2.3.1 Antike	78
	2.3.2 Renaissance / Barock	80
	2.3.3 19. Jahrhundert	82
	2.3.4 1900 - 1950	84
	2.3.5 1950 - 1990	86
	2.4 Zeitgenössische Projekte	98
	2.4.1 Fassaden	100
	2.4.2 Drehbar	102
	2.4.3 Dächer	106
	2.4.4 Innenraum	108
	2.4.5 Visionäre Projekte	110
	2.5 Klassifikationen	112
	2.5.1 Art der Bewegung	114
	2.5.2 Systemkonfiguration und Struktur	115
	2.5.3 Digitale Designstrategien	116
	2.5.4 Kontrollmechanismen	116
	2.5.5 Gründe für die Bewegung	117

03	DESIGN STRATEGIEN	126
	Prolog	130
	Übersicht	132
	3.1 Grundlagen	134
	3.1.1 Grundbegriffe	136
	3.1.2 Bewegungsformen	140
	3.1.3 Bewegungsarten	142
	3.2 Typologien	144
	3.2.1 Starre Bauteile	146
	3.2.2 Weiche Bauteile	168
	3.3 Materialien	174
	3.3.1 Innovation	176
	3.3.2 Bioinspiriert	178
	3.3.3 3D-Druck	182
04	MOTIVATION	190
	Prolog	194
	Übersicht	196
	4.1 Gründe	198
	4.1.1 Pragmatische Gründe	200
	4.1.2 Humanistische Gründe	204
	4.2 Ästhetik / Poetik / Unterhaltung	206
	4.2.1 Architektur	208
	4.2.2 Kunst	222
05	EXPERIMENTELLER ENTWURF	246
	Prolog	250
	Übersicht	252
	5.1 Recherche	254
	5.1.1 Scherengitter	256
	5.1.2 Leporello	258
	5.1.3 Wabenstruktur	260
	5.2 Struktur	262
	5.2.1 Ausgangspunkt	264
	5.2.2 Modifikation	274
	5.2.3 Optimierung	282
	5.3 Antrieb	308
	5.3.1 Z-Achse	310
	5.3.2 X-Achse	316
	5.3.3 Externe Steuerung	320
	5.4 Anwendung	326
	5.4.1 Steuerungssystem	328
	5.4.2 Interaktive kinetische Installation	334
	5.5 Choreografien	352
	5.5.1 Choreografie 1	354
	5.5.2 Choreografie 2	374
	5.5.3 Choreografie 3	400
	5.5.4 Choreografie 4	418
	5.5.5 Choreografie 5	436
	ANHANG	456
	Linteraturverzeichnis	458
	Abbildungsverzeichnis	468

01	Welche Auffassungen von Bewegung in der Architektur gibt es?	
ABSTRAKTE BEWEGUNG	1.1	METAPHORISCHE BEWEGUNG Bewegung als Ausdrucksform
	1.2	SPECTATOR Bewegung durch den Architekturbeobachter
	1.3	EXPLORER Bewegung durch den Architekturnutzer
	1.4	EXTERNE EINFLÜSSE Bewegung durch äußere Einflüsse wie Licht, Projektion ...

02	Was ist kinetische Architektur?				
TATSÄCHLICHE BEWEGUNG	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
	NOMENKLATUR	DEFINITIONEN	HISTORISCHER ÜBERBLICK	ZEITGENÖSSISCHE PROJEKTE	KLASSIFIKATIONEN
			2.3.1	2.4.1	2.5.1
			2.3.2	2.4.2	2.5.2
			2.3.3	2.4.3	2.5.3
			2.3.4	2.4.4	2.5.4
			2.3.5	2.4.5	2.5.5
			Antike	Fassaden	nach Art der Bewegung
			Barock / Renaissance	Drehbare Gebäude	nach System Konfiguration und Struktur
			19. Jahrhundert	Dächer	nach digitalen Design-Strategien
		1900 - 1950	Innenraum	nach Kontrollmechanismen	
		1950 - 1990	Visionäre Projekte	nach Gründen für die Implikation der Bewegung	

03	Welche Mittel und Methoden gibt es, um Architektur beweglich zu gestalten?		
DESIGN STRATEGIEN	3.1	3.2	3.3
	GRUNDLAGEN	TYPOLOGIEN	MATERIALIEN
	3.1.1	3.2.1	3.3.1
	3.1.2	3.2.2	3.3.2
	3.1.3		3.3.3
	Grundbegriffe	Starre Bauteile	Innovation
Bewegungsformen	Weiche Bauteile	Bioinspiriert	
Bewegungsarten		3D-Druck	

04	Was ist die Motivation für die Einbindung von Kinetik in die Architektur und Kunst?			
MOTIVATION	4.1		4.2	
	GRÜNDE		ÄSTHETIK / POETIK / UNTERHALTUNG	
	4.1.1	4.1.1	4.2.1	4.2.2
	Pragmatische Gründe	Humanistische Gründe	Architektur	Kunst
	Funktionalität	Physischer/ psychischer/ emotionaler Effekt	Fassaden	Experimente
	Nachhaltigkeit		Pavillons	Wände
			Calatrava	Installationen
			Hoberman	Skulpturen

05	WALLume Pro - Konzept für eine kinetische Struktur			
EXPERIMENTELLER ENTWURF	5.1	5.2	5.3	5.4
	RECHERCHE	STRUKTUR	ANTRIEB	ANWENDUNG
	5.1.1	5.2.1	5.3.1	5.4.1
	5.1.2	5.2.2	5.3.2	5.4.2
	5.1.3	5.2.3	5.3.3	
	Scherengitter	Ausgangspunkt	Z-Achse	Steuerungssystem
	Leporello	Modifikation	X-Achse	Interaktive kinetische Installation
Wabenstruktur	Optimierung	Externe Steuerung		
5.5	CHOREOGRAPHIEN I-V			

01

*ABSTRAKTE
BEWEGUNG*

*Architecture, as a theory of construction is an
incomplete art: the notion of mobility,
of movement is lacking in it.¹*

- Père Prosper Enfantin, 1832

PROLOG

ABSTRAKTE BEWEGUNG

Menschen bewegen sich durch Räume und Gebäude, Wechselspiele aus Sonne und Schatten oder spektakuläre Lichtshows beleben Fassaden. Manche Gebäude erinnern durch ihre dynamische Umsetzung an aus Bewegung erstarrte Skulpturen. Lifte und Rolltreppen bewegen sich auf und ab. Kinetische Fassaden bilden sich stetig ändernde Muster und geben Gebäuden einen magischen Touch. Bewegliche Skulpturen und Installationen in Museen oder Theatern versetzen den Betrachter oder Besucher ins Staunen.^{2,3}

Wenn man von Bewegung in der Architektur spricht, kann von vielem die Rede sein. Es kann gleichermaßen von einem abstrakten Verständnis gesprochen werden, als auch von sich tatsächlich, physisch bewegenden Gebäuden oder Strukturen. Die Bewegung kann an den Architekturbetrachtenden und Nutzenden gewendet sein oder vom Gebäude selbst ausgehen.⁴

Es gibt zahlreiche Forschungen und Publikationen die sich mit der Thematik befassen und versuchen die unterschiedlichen Auffassungen von dem was Bewegung in der Architektur bedeuten kann zu kategorisieren, einzuteilen und zu präsentieren.

Das zu Beginn dieses Kapitels angeführte Zitat (siehe S. 25) besagt, dass Gedanken zur Bewegung im architektonischen Diskurs nicht vorkommen und dass die Architektur somit eine unvollständige Kunstform darstelle.

Der finnische Architekt und Architekturhistoriker *Kari Jormakka* kommentiert diese Aussage in seinem Buch „*Genius locomotionis*“ als unfair und nicht ganz nachvollziehbar. Er zeigt auf, dass Bewegung schon immer Teil des architektonischen Diskurses gewesen sei.⁵

So zum Beispiel äußerte sich Vitruv, in dem letzten seiner zehn Bücher über Architektur, sowohl zu den abstrakten Elementen, wie die Linie und den Kreis, über welche Bewegung ausgedrückt werden kann, als auch zu der praktischen, mechanischen Implikation von Bewegung in die Architektur.⁶

In dem vorliegenden Kapitel „*Abstrakte Bewegung*“ liegt der Fokus auf jenen Auffassungen von Bewegung, die statisch sind und nicht unter die tatsächliche kinetische Bewegung fallen. Die Erkenntnisse aus diesem Kapitel sollen das eigentliche Thema der sich tatsächlich bewegenden, kinetischen Architektur ergänzen.

Ziel ist es, einen Überblick einiger unterschiedlicher Auffassungen zu schaffen und nicht unerwähnt zu lassen, dass Bewegung in der Architektur noch mehr bedeuten kann als sich tatsächlich bewegende Objekte, Gebäude oder Gebäudeteile.

In diesem Zusammenhang befasst sich diese Arbeit mit einigen Publikationen und die Erkenntnisse aus diesen wurden neu zusammengefasst. Besonderen Einfluss haben dabei zwei Publikationen, die den Forschungsstand repräsentieren:

„*The expression of movement in architecture*“, von *Adam Hardy* aus dem Jahr 2011⁷ und „*The experience of movement in the built form and space: A framework for movement evaluation in architecture*“, von *Mosleh Ahmadi* aus dem Jahr 2019.⁸

Die darin definierten Kategorien und Ansätze wurden in dem Folgenden in einer eigenen Kategorisierung neu zusammengesetzt. Dabei sind folgende Teilbereiche entstanden, welche die Bewegung in der Architektur aus unterschiedlichen Gesichtspunkten betrachten: *metaphorische Bewegung*, *Spectator*⁹, *Explorer*¹⁰, und *Externe Einflüsse*.

01

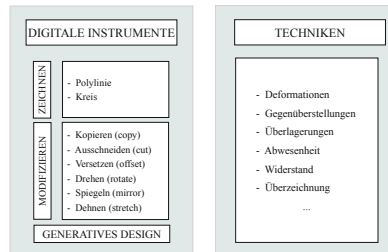
ABSTRAKTE BEWEGUNG

statisch

1.1

METAPHORISCHE BEWEGUNG

Bewegung als Ausdrucksform



1.2

SPECTATOR

Bewegung durch den Architekturbetrachtenden

GEDANKLICHE BEWEGUNG ↔ VISUELLE BEWEGUNG

1.3

EXPLORER

Bewegung durch den Architekturnutzenden

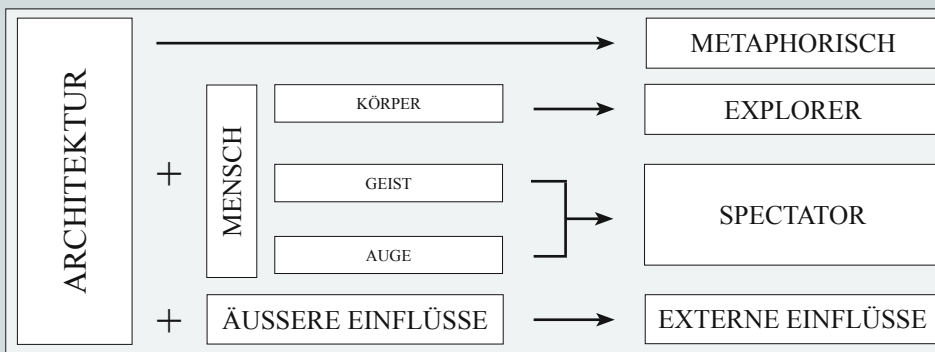
CIRCULATION (Bewegung des Körpers) ↔ Bewegung durch INNERE EMPFINDUNG

1.4

EXTERNE EINFLÜSSE

Bewegung durch äußere Einflüsse wie Licht, Projektion ...

Licht Wasser Nebel Projektionen Medienfassaden



1.1 Die Kategorie „**metaphorische Bewegung**“, behandelt ein abstraktes Verständnis der Bewegung. Es geht hier vor allem um die Bewegung als Ausdrucksform und um die formale Repräsentation von Bewegung in der Architektur. Die Bewegung wird hier im Gebauten selbst repräsentiert und ist auch ohne Architekturbetrachtenden oder -nutzenden Teil der Architektur.

1.2 In der zweiten Kategorie, „**Spectator**“, liegt der Fokus auf der visuellen Bewegung, die vom Architekturbetrachtenden ausgeht, wenn dessen Augen sich entlang einer gebauten Form bewegen. Auch die „gedankliche Bewegung“ einer Person durch einen vor-

1.3 Die dritte Kategorie, „**Explorer**“ setzt sich mit der physischen Bewegung eines Architekturnutzenden durch ein Gebäude oder Raum auseinander. Architektur ist darauf ausgelegt, dass Personen sich durch diese bewegen. Während ein Gebäude durchschritten wird, ist der Körper und die Bewegung dieser Person in ständigem Dialog mit der gebauten Umgebung.

1.4 Die vierte Kategorie, „**Externe Einflüsse**“ beschreibt Architektur, die zwar statisch unbewegt ist, jedoch durch äußere Einflüsse wie z.B. Licht oder Projektionen belebt und bewegt wird.

METAPHORISCHE

BEWEGUNG IN DER ARCHITEKTUR

Unter der Kategorie **metaphorische Bewegung** wird in dieser Arbeit die Art von Bewegung behandelt, die sich in der architektonischen Formensprache niederschlägt. Sie dient als stilistische Ausdrucksform und wird vor allem während des Entwurfsprozesses impliziert.^{11,12}

Entwürfe die daraus resultieren, sind zwar statisch, dennoch kann die Idee der Bewegung transportiert werden. Sie zeigen eine symbolische Darstellung von Bewegung und dynamischen Kräften und wirken wie „eingefroren“ und „aus der Bewegung erstarrt“.¹³ Bewegung ist hierbei in der Architektur und deren Form eingebunden, wobei die Präsenz eines Architekturbetrachtenden oder Nutzenden keine Voraussetzung ist. Die Architektur selbst wirkt dynamisch und wird dies nicht erst durch den Menschen, der auf sie trifft.¹⁴

Der Architekt und Architekturhistoriker *Adam Hardy* schlägt in seinem Forschungsbericht „*The expression of movement in architecture*“ eine Systematik vor, die den Ausdruck von Bewegung in der Architektur („*expressed movement*“) in zwei Kategorien unterteilt: „*contained movement*“ (eingebundene Bewegung) und „*represented movement*“ (repräsentierte Bewegung). Die Grenzen sind fließend und oft beinhaltet die Architektur Aspekte beider Kategorien.¹⁵

Im Zusammenhang mit der Art von Bewegung die in der vorliegenden Kategorie „*metaphorische Bewegung*“ besprochen wird, spielt die von ihm vorgestellte „*represented movement*“ eine Rolle. Auf diese wird im Folgenden kurz eingegangen.

Die **repräsentierte Bewegung** umfasst formale Eigenschaften, die bewirken, dass Bewegung in der Architektur wahrgenommen wird bzw. dass die Illusion von Bewegung **durch** die Architektur entsteht.¹⁶

Hardy beschreibt Bewegung unter Anderem dann als „*represented*“, wenn durch die visuelle Gestaltung und Betrachtung eines Objekts, die Vorstellung geweckt wird, wie das Gebäude aufeinander folgende Stufen der Transformation durchläuft. Auch wenn das Gebäude beispielsweise Hinweise auf seinen Kurationsprozess gibt, wenn gestalterische Abweichung im Bezug auf eine bekannte gestalterische Norm gegeben sind oder wenn eine figurative Darstellung von Bewegung gezeigt wird, spricht Hardy von „*represented movement*“.¹⁷



Einsteinturm
Erich Mendelsohn, 1922, Potsdam

Ein Beispiel aus der Architektur, das *Hardy* in seinem Forschungsbericht heranzieht, ist der Einsteinturm in Potsdam von dem deutschen Architekten *Erich Mendelsohn* aus dem Jahr 1922.¹⁸ (Abb. 1)

Dieser dient als ein Exempel, in dem sowohl die repräsentierte als auch die eingebundene Bewegung wiedergefunden werden kann.¹⁹ Die Aspekte, die der repräsentierten Bewegung zuzuschreiben sind, beschreibt er wie folgt.

Der Einsteinturm drückt mit seinen (scheinbar) modellierten, gegossenen und in einander verschmolzenen Formen Bewegung aus. Die fließende Formensprache verkörpert den Prozess der eigenen Entstehung und des eigenen Wachsens. Die Bewegung wird hier einerseits

assoziativ, andererseits über die bildliche und figurative Darstellung transportiert.²⁰

Auch der finnische Architekt, Architekturtheoretiker und Historiker, *Kari Jormakka* erwähnt in seinem Buch „*Flying Dutchman, Motion in Architecture*“ den Einsteinturm als Beispiel für die Applikation von dynamischen Linien und bewegten Formen in der Architektur.²¹

In der Anwendung von Stahlbeton, sah Mendelsohn die Chance die künstlerische Formenvielfalt zu erweitern. Allerdings unterschätzte er die Konstruktion der Schalung für diese eher komplizierten kurvigen Formen, weswegen das Gebäude im Endeffekt hauptsächlich mit Ziegeln umgesetzt wurde.²²

Nachdem die Errichtung des Einsteinturms nicht wie gewünscht verlief, entschloss sich Mendelsohn dazu, nur noch Entwürfe anzunehmen, die weniger organisch und somit in der Umsetzung weniger kompliziert sind. Dennoch interessierte er sich auch weiterhin sehr für Dynamik und Bewegung in der Architektur.²³

Ein weiteres Beispiel, bei dem dieses Interesse ersichtlich ist, ist die Erweiterung des Rudolf Mosse Haus in Berlin welches von 1921 bis 1923, gemeinsam von Richard Neutra und Rudolf Henning gebaut wurde. (Abb. 2) Hierbei werden lange horizontale Fenster mit flügelartigen Erweiterungen, die Richtung Gebäudeecke immer breiter werden, eingesetzt.²⁴

In der Ecke angekommen, wird diese von den Fenstern umfasst. Mendelsohn wendet dieses Stilmittel an, um das Gefühl von Geschwindigkeit, das durch den Verkehr an der stark frequentierten Kreuzung entsteht, zu betonen.²⁵

Einige der hier eingesetzten Elemente, wie beispielsweise geneigte Ebenen, eine Fassade mit horizontalen Akzenten, einem in eine Richtung schneller werdenden Rhythmus und aerodynamischen Kurven, sind grundsätzlich beliebte Stilmittel der Moderne, um Bewegung in der Architektur auszudrücken. Auch heute werden diese Stilmittel gerne noch angewendet.²⁶



Rudolf Mosse Haus
Erich Mendelsohn, Richard Neutra, Rudolf Henning
1923, Berlin

Seit den 1990er Jahren und besonders im darauffolgenden 21. Jahrhundert wuchs das Interesse an Entwürfen, die Bewegung ausdrücken und verkörpern enorm. Diese Entwicklung ist vor allem auf die wachsenden Möglichkeiten, die durch neue digitale Designstrategien und Entwicklungen von Computer und Zeichenprogrammen ermöglicht wurden, zurückzuführen.²⁷

Schon in den 1970er und 80er Jahre begannen viele Architekturschaffende mit Formen zu experimentieren und ließen sich von anderen Branchen inspirieren. Die Verwendung von „computer-aided design“ (CAD) war über einige Jahrzehnte hinweg vor allem im Schiffsbau, in der Luftfahrt und in der Autoindustrie üblich.²⁸

Als diese Entwicklungen schließlich auch Architekturbüros erreichten und dort erstmals verwendet wurden, veränderte dies die Ent-

wurfsstrategien maßgeblich. Zum ersten Mal konnten die Architekturschaffenden anstelle einer normalen zweidimensionalen Linie - die sich ausschließlich gerade und entlang der X oder Y Achse bewegen kann - auch eine komplexere Art von Linie, nämlich die „Spline“ verwenden.²⁹

Dadurch verbreiteten sich dynamischere Formen mehr und mehr in der Architektur und digitale Instrumente wurden besonders in den 80er und 90er Jahren zunehmend wichtiger. Das betrifft nicht nur den Designprozess und die Erstellung der Zeichnungen, sondern auch den Bauprozess - dieser konnte von nun an effizienter und nachhaltiger gestaltet werden.³⁰

Durch die Verwendung parametrischer oder generativer Designtechniken wurde es möglich, komplexe bewegliche Formen und Modelle am Computer zu erstellen und Variationen dieser schnell und unkompliziert zu überprüfen. So-

mit konnten dynamische Formen plötzlich viel besser erprobt werden.^{31,32}

Die Planungs- und Zeichenphase von Entwürfen wurde revolutioniert und es entstanden mehr und mehr Gebäude, die sehr dynamisch wirken. Sie wurden während der Entwurfsphase so lange bewegt und modifiziert, bis die gewünschte Form gefunden war. Auch die Umsetzung dieser Entwürfe konnte von nun an konkreter geplant werden.³³

Mit dieser Entwicklung wurde eine neue Ästhetik in der Architektur immer populärer und war nicht zuletzt von Namen wie dem amerikanischen Architekten Frank Gehry oder der irakisch-britischen Architektin Zaha Hadid geprägt. Viele ihrer Entwürfe repräsentieren diese dynamische Ästhetik, die im Entwurfsprozess generiert und im fertigen Gebäude repräsentiert wird.³⁴ (Abb. 3) (Abb. 4)



Guggenheim Museum,
Frank Gehry, 1997, Bilbao

Abb. 3



The Heydar Aliyev Center,
Zaha Hadid, 2012, Baku

Abb. 4

„It is only in recent years that software and rapid prototyping have enabled the designer to move so fluidly between the virtual and the physical. As design and fabrication feed each other, our digital dreams could quickly become real nightmares if not handled carefully and seriously. Design today requires learning a new formal language, honing these new tools and welding them with great focus.“³⁵

- Lynn, Gage, Nielson and Rappaport, 2010

Deformation, Gegenüberstellung, Überlagerung, Abwesenheit, und die Überzeichnung von Objekten sowie der **Widerstand** zwischen Elementen sind nur einige Techniken, die Architekturschaffende nutzen, um virtuelle Bewegung oder den Ausdruck von Veränderung darzustellen.³⁶

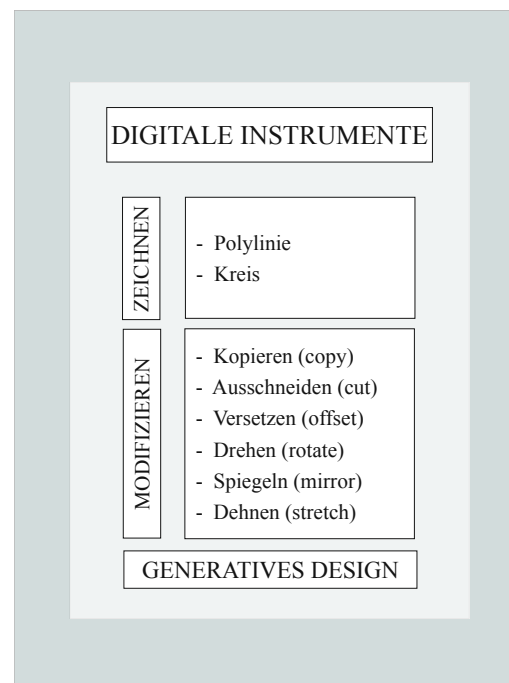
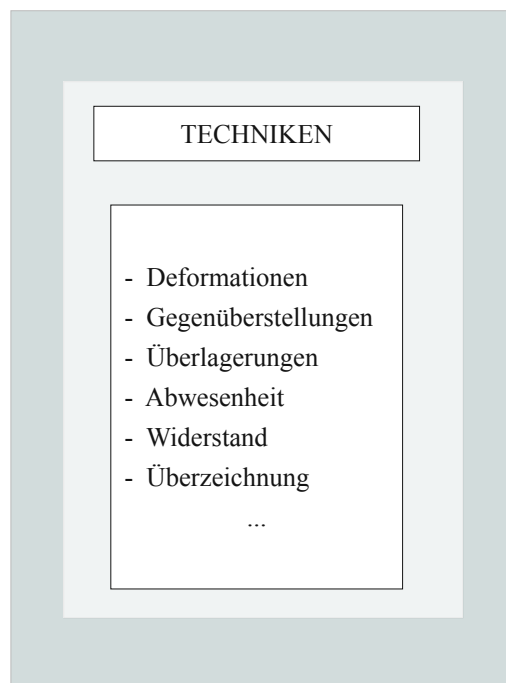
Es gibt etliche digitale Methoden die angewendet werden können, um der Form eines Gebäudes während der Entwurfsphase einen dynamischen Charakter zu verleihen und den Effekt der oben erwähnten Strategien zu erzielen.³⁷

Im Zuge dieser Arbeit wurden insbesondere zwei Publikationen herangezogen, die sich mit den digitalen Methoden befassen, die angewendet werden können, um Dynamik in einen Entwurf zu implizieren:

Zeinab el Razaz hat in ihrer Publikation *Sustainable vision of kinetic architecture* einige Beispiele aus der Architektur aufgezeigt, die ersichtlich machen, dass auch durch einfache digitale Mittel der Ausdruck von Bewegung in das Gebaute gebracht werden kann.³⁸

Ebenso gibt *Naglaa Ali Megahed* in ihrer Publikation *Understanding kinetic architecture: typology, classification, and design strategy* gebaute Beispiele für die gleichen Methoden.³⁹

Die in den beiden Publikationen vorgestellten Beispiele, werden auch im Folgenden aufgelistet, um darzulegen, wie sich gewisse digitale Strategien in der Praxis auswirken.



ZEICHNEN

KREIS



Abb. 5

The Shanghai Tower, 2008,
Gensler Architects,
Shanghai



Abb. 6

London City Hall, 2002,
Norman Foster,
London

POLYLINIE

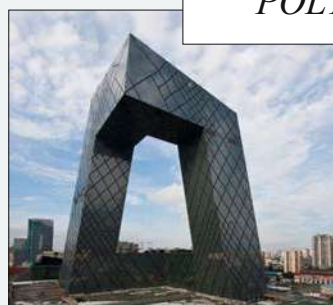


Abb. 7

Central Television Headquarters, 2012
Office for Metropolitan Architecture,
Peking



Abb. 8

The Dancing Towers, 2006
Zaha Hadid, (Entwurf),
Dubai

MODIFIZIEREN

KOPIEREN



Abb. 9

The Cube, 2015,
Orange Architects,
Beirut



Abb. 10

House stacked in the Sky, 2016,
Herzog & de Meuron,
New York

AUSSCHNEIDEN



Abb. 11

The Crescent Moon Tower, 2009,
DSA Architects, (nicht gebaut, ge-
stoppt 2009), Dubai



Abb. 12

Co-Op Canyon, 2009, (Entwurf),
Standard Architects,
Texas

VERSETZEN

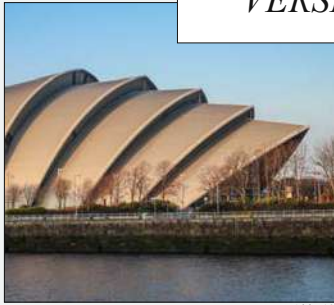


Abb. 13

SEC Armadillo, 1997,
Foster & Partner, Glasgow, UK

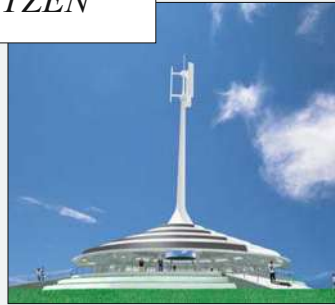


Abb. 14

The Solar Wind Pavilion, 2007,
(Entwurf), Michael Jantzen,
Fullerton, USA

DREHEN

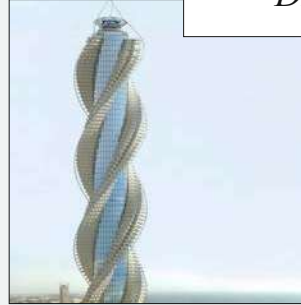


Abb. 15

The Diamond Tower, 2020,
Al-Masarat, Counstruction Co, Ltd,
Jeddah, Saudi Arabia

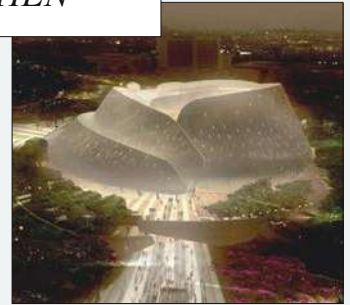


Abb. 16

Massar Children's Discovery Center,
2011, Henning Larsen Architects,
Damascus, Syria

SPIEGELN



Abb. 17

Bahrain World Trade Center, 2008,
WS Atkins PLC, Manama, Bahrian



Abb. 18

Emirate Towers, 2000,
NORR Architects, Dubai

DEHNEN



Abb. 19

Swiss Re Tower, „the Gherkin“, 2004,
Ken Shuttleworth & Norman Foster,
London

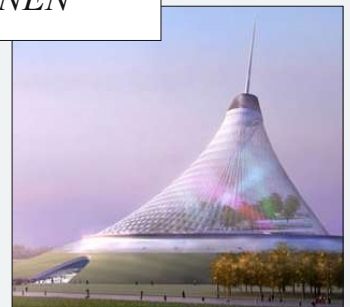


Abb. 20

Entertainment Center, 2010,
Norman Foster,
Astana, Kazakhstan

SPECTATOR

BEWEGUNG DURCH DEN ARCHITEKTURBETRACHTENDEN

VISUELLE & GEDANKLICHE BEWEGUNG

Die Kategorie **Spectator** befasst sich mit der **visuellen Bewegung**, die vom Architekturbeobachtenden ausgeht, wenn dessen Augen sich entlang einer gebauten Form bewegen. Ebenso werden hier einige Auffassungen der **gedanklichen Bewegung**, die mit der visuellen Bewegung einhergeht, besprochen.

Wie schon unter der vorhergehenden Kategorie „*metaphorische Bewegung*“ erwähnt, schlägt Adam Hardy in seinem Forschungsbericht „*The expression of movement in architecture*“ eine Systematik vor, die den Ausdruck von Bewegung in der Architektur („*expressed movement*“) in zwei Kategorien unterteilt: „*contained movement*“ und „*represented movement*“.⁴⁰

Im Zusammenhang mit der Art von Bewegung, die in der vorliegenden Kategorie **Spectator** besprochen wird, spielt die von Hardy vorgestellte „*contained movement*“ eine Rolle.⁴¹

Von der **eingebundenen Bewegung** (*contained movement*), spricht Hardy, wenn die Bewegung **in** der Architektur wahrgenommen wird.

Es ist also nicht die Architektur selbst, die als bewegend gedacht wird, sondern das Auge, der Verstand, der imaginäre Körper oder andere Kräfte, die sich im oder entlang eines Gebäudes oder einer Form bewegen.⁴²

Hardy spricht von „*contained movement*“, wenn beispielsweise das Empfinden von Bewegung durch das Wandern der Augen entlang einer Linie, oder von Form zu Form, geweckt wird. Die visuelle und die gedankliche Bewegung gehen hier miteinander einher.⁴³

Die visuelle Bewegung ist hier eine Art der physischen und mentalen Bewegung. Lee Stickells nennt in seiner Publikation „*Conceiving an architecture of movement*“ zwei Arten der Bewegungswahrnehmung in der modernen Psychologie. Diese werden „*The movement of the ocular muscles*“ sowie „*the projection of movement onto objects*“ bezeichnet. Er äußert sich in seinem Artikel folgendermaßen:^{44,45}

„*to see is to move and to sense movement*“⁴⁶

SPECTATOR

BEWEGUNG DURCH DEN ARCHITEKTURBETRACHTENDEN

Die Bewegung des Auges kann bei der Betrachtung eines Objekts in unterschiedlichen Richtungen erfolgen: *horizontal, vertikal, rotierend, freie Bewegung*.⁴⁷



Abb. 21

Ein architektonisches Beispiel, das *Ahmadi* in seinem Text diesbezüglich erwähnt, ist die Khajoo Brücke im Iran.⁴⁸ (Abb. 21) Hierbei bewegen sich die Augen und die Gedanken horizontal entlang der Portale und vertikal entlang der Säulen. Die rotierende Bewegung findet entlang der Ornamente statt und die freie Bewegung der Augen geschieht entlang des gesamten Gebäudes und von Form zu Form.⁴⁹

Hardy nennt für diese Art der Bewegung, die mit den Augen und dem Geist stattfindet wieder den Einsteinturms von *Erich Mendelsohn* als

Beispiel. Während die Augen, bei Betrachtung des Einsteinturms, sogleich den markanten Linien folgen und über die glatten Oberflächen wandern, streifen die Hände, gedanklich, entlang der feinen Kurven und imitierte die Vorstellung des Herstellungsprozesses.⁵⁰

Neben der tatsächlichen Bewegung der Augen entlang eines Körpers kann auch die **Illusion der Bewegung** entstehen, wenn gewisse gestalterische Strategien angewendet werden.⁵¹

Dieser Effekt kann beispielsweise durch Unterschiede in der Intensität, durch den Einsatz von unterschiedlichen Variationen einer Form (z.B. in Größe und Gestalt), durch Rhythmus, Geometrie, dem Spiel mit Tiefe, kurvige oder gerade Linien oder durch in sich geschlossene Elemente ohne Anfang und Ende, erzielt werden.⁵²

Diese Strategien können optische Illusionen auslösen, wodurch ein Objekt, einem Anderen gegenübergestellt wie in Bewegung erscheint.

Dieses Phänomen kann beispielsweise beim Einsatz von islamischen Ornamenten beobachtet werden.⁵³ (Abb. 22)

VISUELLE BEWEGUNG



Abb. 22

Ein weiteres Beispiel, welches veranschaulicht wie der Betrachter getäuscht werden kann, ist ein sogenanntes *Trompe l'oeuil*, eine illusionistische Strategie die, mittels perspektivischer Darstellung, Dreidimensionalität vortäuscht.⁵⁴ Eine meisterhafte Umsetzung eines solchen gibt es im *Palazzo Spada Borromini*. Dort erzeugen eine abnehmende Säulenreihen und ein ansteigender Boden die optische Illusion eines 37 Meter langen Arkadenhofs der in Wirklichkeit nur 8m lang ist.⁵⁵ (Abb. 23)



Abb. 23

SPECTATOR

BEWEGUNG DURCH DEN ARCHITEKTURBETRACHTENDEN

Neben der Bewegung der Augen entlang eines Gebäudes, umfasst die Kategorie „Spectator“ in dieser Arbeit auch die Art von Bewegung, die entsteht, wenn man in **Gedanken**, mit oder ohne imaginärem Körper, einen Raum durchschreitet, man entlang eines Weges geht oder eine Treppe hinaufsteigt. Diese Art der Bewegung bezeichnet Hardy als „**projected bodily movement**“.⁵⁶

Streng genommen könnte diese Art der Bewegung, weil es sich dabei um Bewegung im Raum handelt, auch unter der Kategorie „*Explorer*“ gelistet werden. Weil sie aber nur in Gedanken, also mental und nicht physisch stattfindet, wurde sie in dieser Arbeit in der Kategorie „*Spectator*“ eingeordnet.⁵⁷

Auch **Assoziationen** mit Dingen, die wir bereits kennen, Ähnlichkeiten, eine erwartete Kontinuität oder die Erwartung eines Effekts auf einen bestimmten Reiz, sind Eigenschaften, die gedankliche Bewegung auslösen können. Wenn der Architekturbetrachtende einen Bewegungsablauf bereits kennt und Assoziationen zu diesem geweckt werden, dann kann es passieren, dass er diesen gedanklich durchspielt.⁵⁸

Hardy bezeichnet dies als „**evocation of movement through association**“.⁵⁹

Ein gebautes Beispiel für eine solche Assoziation ist die Bahnstation *The Oculus World Trade Center Transportation Hub* von dem Architekten *Santiago Calatrava*. (Abb. 24) Die Form des neuen Bahnhofs ruft viele unterschiedliche Bilder und Assoziationen hervor. Für Calatrava stellt sie einen kleinen Vogel dar, der aus den Händen eines Kindes zum Flug ansetzt.⁶⁰



Abb. 24

Eine solche Assoziation und eine damit ausgelöste gedankliche Bewegung kann auch durch individuelle Erinnerungen einer Person hervorgerufen werden. In einem solchen Fall begibt sich der Betrachtende auf einen Ausflug in die

GEDANKLICHE BEWEGUNG

Vergangenheit und spielt in Gedanken einen Bewegungsablauf durch, den er bereits erlebt oder sich vorgestellt hat.⁶¹

Weiters gibt es gebaute Formen, die so ausgeführt sind, dass bei ihrer Betrachtung die gedankliche Wahrnehmung von Bewegung durch die „Abbildung von Kräfte“ erzeugt wird. Hardy bezeichnet diese als „**perceived forces**“.⁶²

Im Bezug auf die Stabilität und das Gleichgewicht in Formen kommt es vor, dass beim Betrachten eines Ungleichgewichts eine damit verbundene Instabilität vermutet wird. Die Reaktion des Betrachtenden ist die Erwartung einer potentiellen Bewegung, die diesem aufgrund der Schwerkraft logisch erscheinen würde.⁶³

Die konstruktiven Elemente eines Gebäudes können visuell Auskunft darüber geben, wie die Kräfte abgeleitet werden. Dadurch können gedankliche Annahmen über Effekte von Kräftewirkungen (Mechanische Kräfte und Muskelkraft) getroffen werden. Daraus kann die Vorstellung einer potentiell in der Zukunft stattfindenden Bewegung resultieren.⁶⁴

EXPLORER

BEWEGUNG DURCH DEN ARCHITEKTURNUTZENDEN

CIRCULATION

Die dritte Kategorie, „**Explorer**“⁶⁵ setzt sich mit der physischen Bewegung eines Architekturnutzenden durch ein Gebäude oder Raum auseinander. Als Erstes wird die „**Circulation**“⁶⁶, also die körperliche Bewegung durch den Raum und in diesem Zusammenhang das Konzept der „**promenade architecturale**“⁶⁷ von Le Corbusier besprochen. Im Anschluss findet eine Auseinandersetzung mit der **inneren Empfindung** und den menschlichen Emotion statt, die bei der Bewegung durch den Raum ausgelöst wird.

Während ein Gebäude durchschritten wird, ist der Körper und die Bewegung der Person in ständigem Dialog mit der gebauten Umgebung. Dies geht aus folgendem Zitat von *Charles Moore* und *Robert Yudell* aus ihrem Buch *Body, Memory & Architecture* hervor.⁶⁸

...We believe that the most essential and memorable sense of three-dimensionality originates in the body experience and that this sense may constitute a basis for understanding spatial feeling in our experience of buildings.

...The interplay between the world of our bodies and the world of our dwelling places is always in flux. We make places that are an expression of our haptic experiences even as these experiences are generated by the places we have already created. Whether we are conscious or innocent of this process, our bodies and our movement are in constant dialogue with our buildings.⁶⁹

Der Architekturhistoriker *Adrian Forty* erklärt in seinem Buch *Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture* wie der Begriff „**Circulation**“ nach 1850 seinen Weg in den Diskurs fand.⁷⁰

Der Begriff wird sehr vielseitig verwendet. Er beschreibt beispielsweise die Bewegung von Elementen wie Luft oder mechanische Dienstleistungen. Im Bezug auf Architektur wird er allerdings verwendet, um die Bewegung von Menschen durch Räume zu beschreiben. Mit der Einführung dieses Begriffs wurde auch die bewusste Betrachtung der Auswirkungen von Bewegung in der Architektur eingeleitet.⁷¹

EXPLORER

BEWEGUNG DURCH DEN ARCHITEKTURNUTZENDEN

CIRCULATION

Sophie Hamer vergleicht in ihrem Online-Artikel „*Circulation: of how people move through space*“ die Bewegung des Menschen durch die Architektur mit der, ebenfalls als *Circulation* bezeichneten, Bewegung des Blutes durch den menschlichen Körper. Sie äußert sich in ihrem Artikel folgendermaßen: „*In architecture, the concept of circulation isn't so different - it refers to the way people, the blood of our buildings, move through space.*“⁷²

Bei der Planung eines Bauwerks sind die möglichen Bewegungsabläufe von Personen durch die Architektur maßgebend. Obwohl sich ein Besucher natürlich frei durch alle Räume eines Gebäudes bewegen kann, versucht der Architekturschaffende dennoch eine Hauptroute zu bestimmen und gestaltet diese dementsprechend. Dabei bedenkt der Planende unterschiedliche Arten der *Circulation*, die miteinander einhergehen.⁷³

Die dabei herangezogenen Parameter sind projektabhängig und können beispielsweise die Bewegungsrichtung, sowie die Art, Häufigkeit und die Zeiten der Nutzung sein. Jeder dieser Parameter erfordert unterschiedliche Strategien

der Raumgestaltung und unterschiedlichen Umgang mit der Bewegung des Architekturnutzenden, mit der *Circulation*, die je nach Parameter z.B. schnell oder langsam, im Dunklen oder im Hellen, alleine oder gemeinsam stattfinden kann.⁷⁴

Grundsätzlich kann die Bewegung eines Architekturnutzenden in die horizontale und vertikale Bewegung unterteilt werden.⁷⁵

Die **horizontale** Bewegung umfasst unter anderem Gänge, Atrien, Wege, Eingänge und Ausgänge. Vor allem die Anordnung der Räume bestimmt die horizontale Bewegung eines Architekturnutzenden. Allerdings kann auch durch die Anordnung, von beispielsweise Möbeln und Säulen im Innenraum oder Bäumen und topographischen Unterschieden im Außenraum, Bewegung geleitet werden.⁷⁶

Die **vertikale** Bewegung beschreibt die Art und Weise, wie sich ein Architekturnutzende von einem Stockwerk oder Niveau zum Nächsten bewegt. Darunter fallen beispielsweise Treppen, Lifte, Rampen, Rolltreppen oder Leitern.⁷⁷

EXPLORER

BEWEGUNG DURCH DEN ARCHITEKTURNUTZENDEN

PROMENADE ARCHITECTURALE



Abb. 25

Auch der schweizer Architekt *Le Corbusier* äußert sich im Jahr 1930 diesbezüglich und macht die grundsätzliche Aussage „*architecture is circulation*“.⁷⁸

Er entwickelt ein für die Architekturgeschichte wichtiges Konzept im Bezug auf die Bewegung von Personen durch die gebaute Umwelt: Die *promenade architecturale*⁷⁹ – der auf den Betrachter ausgerichtete Weg durch den gebauten Raum. Er argumentiert für eine fließende in einander übergehende Anordnung von Räumen, der eine Hierarchie, nämlich die Abfolge architektonischer Ereignisse, zugrunde liegt. Laut *Le Corbusier* soll die Architektur eine Struktur, für die in ihr stattfindenden Bewegungsabläufe, bilden.⁸⁰



Abb. 26

Um dies zu erzielen setzt *Le Corbusier* in seinen Gebäuden besonders gerne Rampen ein. Diese ermöglichen eine fließende Abfolge von Räumen und bieten eine klar definierte Route durch das Bauwerk. (Abb. 25) (Abb. 26) Seine Gebäude sind geprägt von einer klaren räumlichen Struktur, die dem Besuchenden wechselnde Perspektiven und eine gut durchdachte Komposition von Ausblicken ermöglicht. Nicht nur der Übergang zwischen den einzelnen Räumen ist Teil des Programms, sondern auch ein fließender Übergang zwischen Innen und Außen.⁸¹

Rampe, Villa Savoye, Le Corbusier

EXPLORER

BEWEGUNG DURCH DEN ARCHITEKTURNUTZENDEN

INNERE EMPFINDUNG

Neben der physischen Bewegung des Körpers durch den Raum findet unter dem Kapitel „Explorer“ auch eine Auseinandersetzung mit der **inneren Erfahrung** und den menschlichen Emotionen statt, die bei der Bewegung durch den Raum ausgelöst werden.

Der finnische Architekt *Juhani Pallasmaa* spricht in dem zweiten Teil seines Buches „*The Eye of the Skin - Architecture and the senses*“ über die Rolle der Sinne für die Wahrnehmung der Architektur und Umwelt.⁸² Wie aus dem folgenden Zitat ablesbar, sagt Pallasmaa, dass die Wahrnehmung der Architektur mit allen Sinnen gleichermaßen stattfindet: „*Every touching experience of architecture is multi-sensory; qualities of space, matter and scale are measured equally by the eye, ear, nose, skin, tongue, skeleton and muscle.*“⁸³

Weiters beschreibt er, dass über die Sinne und über die Präsenz des Körpers im Raum die

„*Sensory Experience*“ geweckt wird und der „Explorer“ von einem Ort oder einer Architektur über die Sinne emotional bewegt wird.⁸⁴

In der Publikation *SPACE AND HUMAN PERCEPTION – Exploring Our Reaction to Different Geometries of Spaces* untersuchen *Avishag Shemesh, Moshe Bar, und Yasha Jacob Grobma*, die Verbindung zwischen menschlichen Emotionen und architektonischem Raum.⁸⁵

Die Autoren der genannten Publikation haben sich damit auseinandergesetzt, welche menschlichen Reaktionen durch unterschiedliche Räume und Geometrien ausgelöst werden. Sie kommen zu der Schlussfolgerung, dass Menschen für bestimmte Formen in der gebauten Umwelt bestimmte Empfindungen haben. Abhängig von diesen Empfindungen spürt der „Explorer“ die Tendenz sich einem bestimmten Raum oder einer bestimmte Form zu nähern oder diese zu meiden.⁸⁶

Dementsprechend lässt sich annehmen, dass die Bewegung einer Person durch den Raum von deren Empfindungen abhängt und dessen Neigung bzw. Abneigung gegenüber der gebauten Umwelt diesen durch den Raum führt. Wenn sich also der „Explorer“ beispielsweise in einem recht offenen Raum befindet, dessen perspektivische Ausrichtung in eine Richtung besonders stark ist, neigt dieser dazu, gedanklich in diese bestimmte Richtung zu gehen, noch bevor die körperliche Bewegung einsetzt.⁸⁷

Zwar sind die Empfindungen des Architekturnutzenden sehr individuell und nicht zur Gänze prognostizierbar, dennoch zeigen die Erkenntnisse der oben genannten Publikation, dass bestimmte architektonische Ausführung und bestimmte gestalterische Strategien bestimmte Empfindungen und somit bestimmte Bewegungen auslösen können.⁸⁸

EXTERNE EINFLÜSSE

BEWEGUNG DURCH ÄUSSERE EINFLÜSSE

In den vorangestellten Kategorien (metaphorische Bewegung, Spectator, Explorer) ging es um die Bewegung, die in statische Formen interpretiert werden kann, sowie um die gedankliche, visuelle und wahrgenommene Bewegung die im Architekturbetrachtenden oder -nutzenden, hervorgerufen wird.

Die Kategorie „Externe Einflüsse“ unterscheidet sich von den vorhergehenden dadurch, dass sich hier tatsächlich etwas bewegt. Zwar nicht die Architektur selbst, aber sich tatsächliche bewegende „Ergänzungen“ in Form von äußeren Einflüssen wie z.B. Licht, Projektion, Wasser ein/auf/um das Gebaute.

Im Folgenden werden einige Beispiele gezeigt, bei denen auf unterschiedliche Art und Weise Bewegung „hinzugefügt“ wurde.

Die Planung eines Objekts mit Öffnungen an bestimmten Stellen steuert die Bewegung des Lichtes in einem Raum.⁸⁹ Natürliches Licht ändert seine Intensität, Farbe und Einfallswinkel im Laufe des Tages, dadurch wird der Raum stetig transformiert und gibt Auskunft über den Verlauf der Zeit.⁹⁰

Ein Beispiel, bei dem der sensible Umgang mit natürlichem Licht gezeigt wird, ist ein Projekt Namens „Lob der Schatten“. Ein Wohnhaus bei Tel Aviv von *Pitsou Kedem Architects* (1948). (Abb. 27)

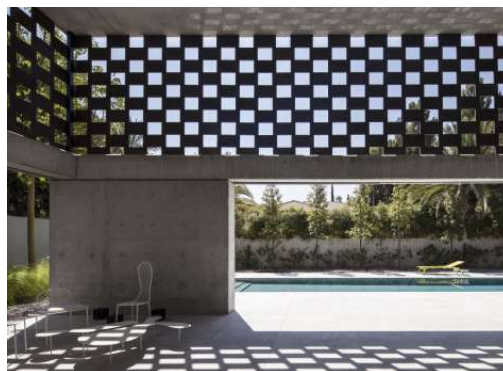


Abb. 27

WASSER

Besonders in der traditionellen Architektur des Nahen Ostens ist der Einsatz von wasserbezogenen architektonischen Elementen sehr beliebt. Zum Beispiel Quellen, Brunnen, Pools und Bäche werden hier oft eingesetzt.⁹¹

Ein berühmtes Beispiel von einem Gebäude bei dem Wasser als Gestaltungsmittel einbezogen wurde ist das *Falling Water House* von *Frank Lloyd Wright* in Pennsylvania (1939). (Abb. 28)



Abb. 28

EXTERNE EINFLÜSSE

BEWEGUNG DURCH ÄUSSERE EINFLÜSSE

NEBEL

Durch die Kunstinstallation „*Yellow Fog*“ des dänischen Künstlers *Olafur Eliasson*, wird die Fassade der Wiener *Verbund Zentrale* täglich für eine Stunde in einen Schleier aus gelbem Nebel gehüllt.

Der Nebel dient als treibende und vergängliche Projektionsfläche für das gelbe Licht und lässt das Gebäude schwebend erscheinen.⁹² (Abb. 29)



Abb. 29

MEDIENFASSADEN

LED-Fassaden sind eine weit verbreitete Möglichkeit, um visuelle Bewegung zu erzielen.

Die hinterleuchtete *Fassade der Allianz-Arena* des Architekturbüros *Herzog und de Meuron* in München aus dem Jahr 2005 verwandelt das Gebäude in eine spektakuläre Licht-Skulptur, die unter anderem mit pulsierenden und beweglichen Mustern aus Lichtern bespielt werden kann und das Gebäude rotierend erscheinen lässt.⁹³ (Abb. 30)



Abb. 30

PROJEKTIONEN

Auch Projektionen und Videomapping sind eine gute Möglichkeit, um ein statisches Gebäude zum Leben zu erwecken. Die physikalischen Eigenschaften des statischen Objekts lassen sich scheinbar verändern. Gebäude beginnen zu tanzen, können scheinbar versinken, einstürzen oder gar in Flammen aufgehen.⁹⁴

Ein Beispiel ist das *Leopoldmuseum in Wien*, das immer wieder mit Projektionen bespielt wurde. (Abb. 31)



Abb. 31

ANMERKUNGEN 01

- 1 JORMAKKA, Kari, *FLYING DUTCHMAN, Motion in Architecture*, Birkhäuser, Basel, 2002, S.5.
- 2 <https://blog.allplan.com/de/kinetische-architektur>.
- 3 SCHUMACHER, Michael, VOGT Michael-Marcus, KRUMME, Luis A. Cardón, *Move*, Birkhäuser Basel, Berlin 2009, S.7-8.
- 4 AHMADI, Mosleh, *The experience of movement in the built form and space: A framework for movement evaluation in architecture*, in: *Cogent Art & Humanities*, 2019, S.3.
- 5 JORMAKKA, Kari, *genius locomotionis*, Edition Selene, Wien, 2005, S.7.
- 6 JORMAKKA, Kari, *genius locomotionis*, Edition Selene, Wien, 2005, S.7.
- 7 HARDY, Adam, *The expression of movement in architecture*, in: *The Journal of Architecture*, Volume 16, Number 4, Routledge (Taylor & Francis), USA & Canada, 2011, S.471-497.
- 8 AHMADI, 2019.
- 9 AHMADI, 2019, S. 1-19.
- 10 AHMADI, 2019, S.1-19.
- 11 HARDY, 2011, S.472.
- 12 EL RAZAZ, Zeinab, *Sustainable vision of kinetic architecture*, in: *Journal of Building Appraisal*, Vol. 5, 4, Macmillan Publisher Ltd., Egypt, 2010, S.344.
- 13 ASEFI, Maziar, *Transformation and movement in architecture: the marriage among art, engineering and technology*, in: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 51, ELSEVIER, 2012, S.1006.
- 14 AHMADI, 2019, S.3.
- 15 HARDY, 2011, S.472.
- 16 HARDY, 2011, S.472.
- 17 HARDY, 2011, S.474-475.
- 18 HARDY, 2011, S.482.
- 19 HARDY, 2011, S.473.
- 20 HARDY, 2011, S.473, S.481, S.482.
- 21 JORMAKKA, 2002, S.9.
- 22 JORMAKKA, 2002, S.9.
- 23 JORMAKKA, 2002, S.9.
- 24 JORMAKKA, 2002, S.9.
- 25 JORMAKKA, 2002, S.9.
- 26 JORMAKKA, 2002, S.9.
- 27 CUDZIK, Jan, *Change Taking place in the kinetic architecture over the 20th and 21st centuries*, in: *Space & Form*, Issue 38, Polen, 2019, S.24.
- 28 <https://space10.com/project/digital-in-architecture/>.
- 29 <https://space10.com/project/digital-in-architecture/>.
- 30 <https://space10.com/project/digital-in-architecture/>.
- 31 CUDZIK, 2019, S.25.
- 32 MEGAHED, Naglaa Ali, *Understanding kinetic architecture: typology, classification, and design strategy*, 2016, in: *Architectural Engineering and Design Management*, Taylor & Francis, London, 2017, Volume 13, No. 2, S.133.
- 33 CUDZIK, 2019, S.24-25.
- 34 <https://space10.com/project/digital-in-architecture/>.
- 35 LYNN Greg & GAGE, Mark Foster, NIELSON Stephen, RAPPORT Nina, *Composites, Surfaces, and Software: High Performance Architecture*, New Haven, Yale School of Architecture, 2010, S.104.
- 36 EL RAZAZ, 2010, S.344.
- 37 EL RAZAZ, 2010, S.343.
- 38 EL RAZAZ, 2010, S.343-355.
- 39 MEGAHED, 2017, S.137.
- 40 HARDY, 2011, S.472.
- 41 HARDY, 2011, S.472.
- 42 HARDY, 2011, S.472.
- 43 HARDY, 2011, S.474.
- 44 AHMADI, 2019, S.6.
- 45 STICKELLS, Lee, *Conceiving an architecture of movement*, in: *Urban History*, Vol 14, Nr. 1, 2010, Cambridge University Press, S.44.
- 46 STICKELLS, Lee, 2010, S.44.
- 47 AHMADI, 2019, S.6.
- 48 AHMADI, 2019, S.6.
- 49 AHMADI, 2019, S.6.
- 50 HARDY, 2011, S.473.
- 51 AHMADI, 2019, S.7.
- 52 AHMADI, 2019, S.7.
- 53 AHMADI, 2019, S.7.
- 54 WAS-IST-EIN-TROMPE-LOEIL-100.HTML.
- 55 Magada Dominique, <https://medium.com/roam-in-rome/a-play-on-the-eye-37448cf7fd15>.
- 56 HARDY, 2011, S.474, S.480.
- 57 AHMADI, 2019, S.7.
- 58 AHMADI, 2019, S.8.
- 59 HARDY, 2011, S.475.
- 60 <https://www.floornature.de/calatrava-the-oculus-world-trade-center-transportation-hub-11474/>.
- 61 AHMADI, 2019, S.9.
- 62 HARDY, 2011, S.475.
- 63 AHMADI, 2019, S.9.
- 64 AHMADI, 2019, S.9.
- 65 AHMADI, 2019, S.1-19.
- 66 FORTY, Adam, *Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture*, Thames & Hudson, London, 2000, S.87.
- 67 STICKELLS, Lee, 2010, S.43.
- 68 MOORE, Charles & YUDELL, Robert, *Body, Memory & Architecture*, Yale University Press, 1977.
- 69 MOORE et al.
- 70 FORTY, 2000, S.87.
- 71 FORTY, 2000, S.87.
- 72 HAMER, Sophie, 2016, <http://portico.spacejournal//architectural-concepts-circulation>.
- 73 HAMER, Sophie, 2016, <http://portico.spacejournal//architectural-concepts-circulation>.

56

tural-concepts-circulation.

74 HAMER, Sophie, 2016, <http://portico.space/journal//architectural-concepts-circulation>.

75 HAMER, Sophie, 2016, <http://portico.space/journal//architectural-concepts-circulation>.

76 HAMER, Sophie, 2016, <http://portico.space/journal//architectural-concepts-circulation>.

77 HAMER, Sophie, 2016, <http://portico.space/journal//architectural-concepts-circulation>.

78 LE CORBUSIER, *Le Corbusier Talks with Students: From the Schools of Architecture*, Princeton Architectural Press, New York, 1999, S.47.

79 STICKELLS, 2010, S.43.

80 STICKELLS, 2010, S.44.

81 STICKELLS, 2010, S.44.

82 PALLASMA, Juhani *The eyes of the skin: Architecture and senses*, 3. Edition, Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, England, 2005, S.39.

83 PALLASMA, 2005, S.41.

84 PALLASMA, 2005, S.41.

85 SHEMESH, Avishag & BAR, Moshe & GROBMAN, Yasha Jacob, *SPACE AND HUMAN PERCEPTION –Exploring Our Reaction to Different Geometries of Spaces*, in: IKEDA, Yasushi & KIM, Mi Jeong & HERR, Christiane & HOLZER, Dominik, *Emerging Experience in Past, Present and Future of Digital Architecture, Proceedings of the 20th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA*, 2015, Hong Kong, S.541-550.

86 SHEMESH et al, 2015, S.541-550.

87 SHEMESH et al, 2015, S.541-550.

88 SHEMESH et al, 2015, S.541-550.

89 AHMADI, 2019, S.5.

90 AHMADI, 2019, S.6.

91 AHMADI, 2019, S.5.

92 <https://www.projetcoal.org/coal/2008/11/12/olafur-eliasson-yellow-fog/>.

93 KRONENBURG, Robert, *Flexible: Architecture that Responds to Change*, Laurence King Publishing Ltd., London, 2007 S.162-163.

94 <https://www.professional-system.de/kommunikationsraum/projection-mapping-kreative-moeglichkeiten-auf-fassaden-und-in-ausstellungen/>.

02

*TATSÄCHLICHE
BEWEGUNG*

„If a building was to have the human body’s stability and flexibility, then it has to be built like one - a system of bones, muscles, tendon and a brain that knows how to respond.“¹

- Than, 2006

PROLOG

TATSÄCHLICHE BEWEGUNG

Bei beweglichen Bauteilen denken wir spontan an Kipp-, Dreh- und Schiebefenster sowie an Türen, die man öffnen und schließen kann. Diese „trivialen“ kinetischen Bauteile repräsentieren die Idee der beweglichen Architektur schon seit jeher und noch immer sind sie notwendige Elemente in unserem Alltag.²

Auch unterschiedliche Arten von Wind- und Sonnenschutzsystemen (Jalousien, Rollläden, Markisen), Aufzüge, Schiebewänden oder Rolltreppen sind bewegliche Elemente, die schon lange im Alltag angekommen sind.³

Die klassische Baukunst beschäftigt sich, abgesehen von diesen alltäglichen kinetischen Bauteilen, allerdings meist noch immer mit immobilen Baukörpern und unbeweglichen Elementen. Architektur wird oft, bis auf einzelne bewegliche Komponenten, noch immer als etwas Statisches und für die Beständigkeit gebautes verstanden, obwohl dieses Verständnis nicht der schnelllebigen Zeit entspricht in der wir leben.⁴ Die Architekten *Paul Clemens Bart* und *Marvin Bratke* fassen dieses Phänomen in folgender Aussage zusammen:⁵ „Heutzutage steuert der Architekt den Lebenszyklus eines Gebäudes über mehrere Jahre oder gar Jahrzehnte in einer Planung, die Vermutungen über den technologischen Fortschritt, die Bedürfnis-

se des Nutzers, variierende sozioökonomische Strömungen, neuartige Produktionsprozesse, mögliche Bewegungen politischer Rahmenbedingungen, klimatische Veränderungen und Verfügbarkeiten von Materialien antizipieren muss. Eine schwierige Aufgabe, die Raum für Spontaneität im Planungsprozess und Flexibilität in der späteren Nutzung erfordert – und die von größter Bedeutung ist, um zu vermeiden, dass ein Gebäude zum Zeitpunkt seiner Vollendung schon nicht mehr aktuellen Anforderungen entspricht. Kein Gebäude wird für die Gegenwart geplant, jedes für die Zukunft.“⁶

Aus dem genannten Zitat geht hervor, dass ein Gebäude heute nicht mehr über seine Lebensdauer hinweg ausschließlich statisch beständig sein sollte. Viel mehr sollte es in der Lage sein, mit einer flexible Ausrichtung der Baukonstruktion, auf die schnelle Entwicklung bzw. Änderung programmatischer und ästhetischer Anforderungen, zu reagieren. Architekturschaffende, Kunstschaffende und DesignerInnen, die sich mit beweglichen Systemen in Architektur und Kunst beschäftigen und die sich zur Aufgabe gemacht haben das Forschungsfeld voranzutreiben, haben eine gemeinsame Aufgabe: Die Auseinandersetzung und Entwicklung von Strukturen und Systemen, die sich stetig verändern können, dem Faktor Zeit unterliegen und es verstehen, auf Reize zu reagieren.⁷

Bewegung ist somit das unabdingbare Bindeglied, um auf unterschiedlichste Reize, die eine Änderung in der gebauten Umwelt betreffen, Reaktionen folgen zu lassen.

Die kinetische Architektur ist ein sehr breites Forschungsfeld und es gibt etliche Zugänge, wie man sich mit dem Thema auseinandersetzen kann. Dementsprechend gibt es auch viele unterschiedliche Ansätze und Publikationen, die die kinetische Architektur nach unterschiedlichen Gesichtspunkten behandeln und je nach Forschungsfrage und Perspektive unterschiedlich Klassifikationen und Definitionen vorschlagen.⁸

Das vorliegende zweite Kapitel dieser Arbeit gewährt einen Einblick in das breite Feld der kinetischen Architektur. Es werden die **Begrifflichkeiten und Definitionen** der kinetischen Architektur geklärt, einen **historischen Überblick** über die Entwicklung der kinetischen Architektur gegeben, **zeitgenössische Beispiele** aus der kinetischen Architektur vorgestellt, sowie einige bereits bestehende **Klassifikationen** zusammengefasst.

ÜBERSICHT

TATSÄCHLICHE BEWEGUNG

02		TATSÄCHLICHE BEWEGUNG			
2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	
NOMENKLATUR	DEFINITIONEN	HISTORISCHER ÜBERBLICK	ZEITGENÖSSISCHE PROJEKTE	KLASSIFIKATIONEN	
„adaptable, kinetic, responsive, transformable, deployable, intelligent, performance based, mobile“	„kinetische Architektur“ „Kinetik“	Einführung	Einführung	2.5.1 nach Art der Bewegung	Konzeptuelles Gerüst
		Übersicht	2.4.1 Fassaden	2.5.2 nach System Konfiguration und Struktur	
		2.3.1 Antike	2.4.2 Drehbare Gebäude	2.5.3 nach Digitalen Design - Strategien	
		2.3.2 Barock / Renaissance	2.4.3 Dächer	2.5.4 nach Kontrollmechanismen	
		2.3.3 19. Jahrhundert	2.4.4 Innenraum	2.5.5 nach Gründen für die Implikation der Bewegung	
		2.3.4 1900 - 1950	2.4.5 Visionäre Projekte		
		2.3.5 1950 - 1990			

NOMENKLATUR

Das Aufkommen moderner Technologien, vor allem im Bereich der Entwicklung autonomer Systeme, künstlicher Intelligenz und Robotik, stellt die konventionelle Auffassung von Architektur als etwas Statisches immer mehr in Frage. Kinetische Systeme gewinnen an Bedeutung und revolutionieren die traditionelle Anwendung von Bewegung in der Architektur.⁹

Hierbei sind die englischen Begriffe **kinetic, responsive, adaptable, flexibel, transformable, deployable, intelligent, smart etc.** von Bedeutung.¹⁰ Joshua Lee beschäftigt sich in seiner Arbeit mit dem Titel „*Adaptable, Kinetic, Responsive, and Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design*“¹¹ mit vier unterschiedlichen Bezeichnungen für Architektur, die den Faktor Zeit und Veränderung im Laufe der Zeit berücksichtigen. Weil die unterschiedlichen Begriffe in der Vergangenheit fast austauschbar verwendet wurden, untersucht Lee in seiner Arbeit u.a. das Verständnis der Begriffe im Laufe der Zeit, welche Art von Projekten mit welchen Begriffen

bezeichnet werden und, ob es einen Zusammenhang zwischen der Begriffswahl und dem Grund für die Implikation von Bewegung in das Gebaute gibt. Er definiert die vier Begriffe adaptable, kinetic, responsive und transformable architecture wie folgt:¹²

Adaptable architecture:	buildings that are planned to be easily alerted or modified to fit changing functions or external conditions, before or after occupancy.
Kinetic architecture:	buildings, structures or components with either perceived or actual variable mobility, location and/or geometry.
Responsive architecture:	any element or social process of the built environment that quickly answers to stimulus (either social or environmental) during the design, construction and/or maintenance phases of a project.
Transformable architecture:	buildings and structures that are able to rapidly take on new shapes, forms, functions, or character in a controlled manner through changes in structure, skin and/or internal surface connected by articulated joints.

Quelle: Joshua Lee, „*Adaptable, Kinetic, Responsive, and Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design*“, 2012¹³

2.1

Naglaa Ali Megahed hat in ihrem Artikel „*Understanding kinetic architecture: typology, classification and design strategy*“¹⁴, Begriffe, die eine Verwandtschaft mit dem Begriff „Kinetik“ in Verbindung mit Architektur aufweisen zusammen gefasst. Grundlage dafür sind Erkenntnisse aus der Arbeit von Joshua Lee (2012)¹⁵, gepaart mit zwei weiteren Arbeiten von Sherbini und Krawczyk (2004)¹⁶ sowie Werner (2013)¹⁷.

Adaptable	Structures designed to be easily altered or modified to fit different social functions before and after occupancy. Adaptable projects are generally residential, socially motivated, and often accomplished through movable-wall systems
Deployable	Structures that can fold for transportation or storage. The principal conflict is between the definitions of transformable and deployable, which are often used interchangeably. Deployable structures are autonomously capable of major configuration changes
Intelligent	Structures that have the ability to learn as well as respond in time according to the processed information measured or received from the exterior or interior environments by multi-input information detectors and sources, in order to fulfill the users' needs
Mobile	Prefabricated structures that are built in a factory on a permanently attached chassis before being transported to the site.
Performance-based	Structures that use digital technologies to challenge the way the built environment is designed, while benefitting the environment, users, and society
Responsive	Structures designed to respond to the social and/or environmental stimulation at a specific place during the design phase of a project
Transformable/ transportable	Structures that are able to quickly take on new shapes, forms, functions, or characteristics in a controlled manner by alterations in the structure, skin, and/or internal surfaces connected by articulated joints. Transformable projects are generally less focused on aesthetic effects than on fulfilling the functional requirements of the project

Quelle: Naglaa Ali Megahed, „*Understanding kinetic architecture: typology, classification and design strategy*“, 2016²⁰

Die Begrifflichkeiten sind allerdings trotzdem nicht klar voneinander abgegrenzt, sie überschneiden sich und es gibt Projekte, die in mehr als nur eine Kategorie fallen.¹⁸ Im Zuge dieser Arbeit wird über Architektur, die Bewegung beinhaltet, generell gesprochen. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei allerdings auf der Bewegung, die aus ästhetischen, poetischen und unterhaltenden Gründen in das Design eingebunden wurde. Beispiele dafür werden vor allem im nächsten Kapitel genannt. Aus der Analyse von Joshua Lee geht hervor, dass für diese Art von Projekten vor allem der Begriff „**Kinetik**“ verwendet wird.¹⁹ Aus diesem Grund und weil es sich dabei um die generellste aller Bezeichnungen handelt, werde ich in dieser Arbeit ebenfalls weitestgehend auf diesen Begriff zurückgreifen.

DEFINITIONEN 2.2

„Kinetik“

Das Wort „Kinetik“ stammt, laut dem Duden aus dem Griechischen „kinētikós“ und bedeutet „die Bewegung betreffend“.²¹

Duden

„Kinetic“

„Having the capacity to be affected by reversible geometrical changes in whole or in part without losing the integrity of the system“²²

Carima Sanchez-del-Valle, 2005

„Kinetic“

Auf Englisch wird das griechische Wort „kinētikós“ mit „involving or producing movement“ übersetzt.²³

Cambridge Dictionary

„Kinetic Architecture“

„buildings and/or building components with variable mobility, location, and/or geometry“.²⁴

MIT Kinetic Design Group,
Michael A. Fox, 2003

„Kinetic Architecture“

„...an architecture that is not static, as has traditionally been the case, but one that has the capability of adapting to change through kinetics“²⁵

Zuk & Clark, 1970

„Kinetic Architecture“

„the possibility of movement“ to create „transforming environments, responsive building elements, or interactive public spaces“²⁶

Chuck Hoberman, 2004

„Kinetic Architecture“

„a form should react to the set of pressures establishing an equilibrium, it should not be stable with reference to time. This is not intended to suggest that some structures should not rightfully be static – emotionally it may be necessary to provide some degree of fixity and historical continuity – but it is to suggest that the architectural form must be free to adapt to changes that take place within the set of pressures acting upon it and the technology that provides the tool for interpretation and implementation of these pressures“²⁷

Zuk & Clark, 1970

„Kinetic Architecture“

„refer[s] to a building that [is] controlled by sensorsactuators system to be able to respond according to the data received in form of movement“²⁸

Oosterhuis, 2003

„Kinetic Architecture“

„The integration of motion into the built environment, and the impact such results has upon the aesthetic, design, and performance of buildings may be of great importance to the field of architecture. While the aesthetic value of virtual movement may always be a source of inspiration, its physical implementation in buildings and structures may challenge the very nature of what architecture really is“.²⁹

Kostas Terzidis, 2008

HISTORISCHER ÜBERBLICK

Bewegliche Bauteile und Lösungen die nicht an einen Ort gebunden sind, waren schon immer Teil der Architektur. Die Möglichkeit zur Adaption und Beweglichkeit von Unterkünften ist seit jeher eine wesentliche Herausforderung für die Menschen in jedem Zeitalter. Was früher über einfache und pragmatische Wege gelöst wurde, passiert heute über intelligente, computergesteuerte Prozesse und Mechanismen.³⁰

Besonders in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts stieg das Interesse an kinetischer, interaktiver und intelligenter Architektur. Nicht unwesentlich war in diesem Zusammenhang die Erfindung des Computers sowie die Entwicklung der Computerwissenschaften und neuer gebäudetechnischer Konzepte. Diese halfen die Architektur nicht mehr ausschließlich als etwas Statisches zu sehen, sondern diese mehr und mehr als dynamische, anpassungsfähige Formen zu denken und einzusetzen.³¹

Der Evolution kinetischer Architektur liegt eine lange Geschichte zugrunde, die in dem folgenden historischen Überblick etwas genauer beleuchtet wird. Angefangen bei der Antike, über Renaissance, Barock, die Industrielle Revolution und schließlich das 20. Jahrhundert, welches den tatsächlichen Startschuss für die Entwicklung der kinetischen Architektur im heutigen Sinne gegeben hat, wird im Folgenden aufgezeigt, wie diese Entwicklung vonstatten gegangen ist.³²

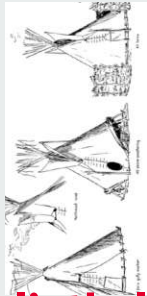


Abb. 32



Abb. 33



Abb. 34

ANTIKE



Bewegung war schon immer Teil der Architektur. Die ersten Gebäude, die von Menschen bewohnt wurden, waren so konzipiert dass man sie bewegen konnte. Beispiele hierfür sind die zentral asiatische Yurte, Nordafrikanische Beduinen Zelte oder das amerikanische Tipi.³³

Mit der Änderung der nomadischen Lebensweise hin zu Ackerbau und Viehzucht, änderte sich auch die Architektur und wurde statischer. Dennoch gab es über die Jahrhunderte hinweg weiterhin zahlreiche Auseinandersetzungen mit Kinetik und Beweglichkeit im Zusammenhang mit Architektur.³⁴

1910
Bicycle Wheel
Marcel Duchamp



Abb. 38

1880
Erfindung:
Elektrischer Aufzug,
Werner von Siemens

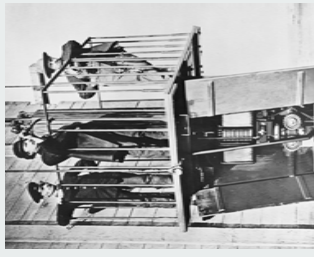


Abb. 35

1900

15. Jhd
Bewegliche Brücke,
Leonardo da Vinci

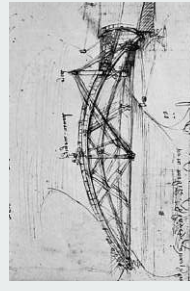


Abb. 36

1908
Rotary building
Thomas Gaynor

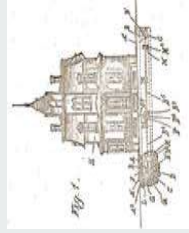


Abb. 37

1961
Pittsburgh Civic Arena
Mitchell & Ritchey



Abb. 43

1961
Fun Palace
Cedric Price

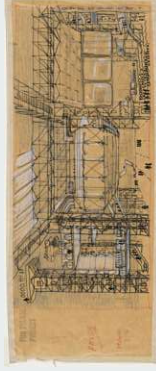


Abb. 45

1951
El-Corcovado
Alexander Calder



Abb. 44

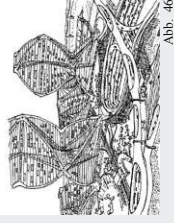


Abb. 46

1961
Helix City
Kisho Kurokawa
Japan



Abb. 50

1976
Generator Project
Cedric Price
England

1985
Ernstings Family
Distribution Depot
Santiago Calatrava
Deutschland

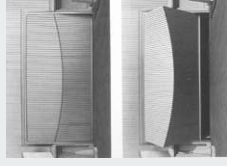


Abb. 49

1989
The Rogers Center
Rod Robbie
Toronto



Abb. 53

1990

1967
United States Pavilion-
Buckminster Fuller
Montreal Expo



Abb. 51

1964
Plug in City
Peter Cook, Archigram
England



Abb. 52



Abb. 47

1960
Marine City
Kiyonori Kikutake
Japan

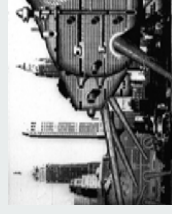


Abb. 48

1964
Walking City
Ron Herron, Archigram
England

1935
Villa Girasole
Angelo Invernizzi
Italien



Abb. 40

1912 - 1914
Citta Nuova
Antonia Sant'Elia



Abb. 42

1950s
New Babylon
Constant
Nieuwenhuys

Abb. 41

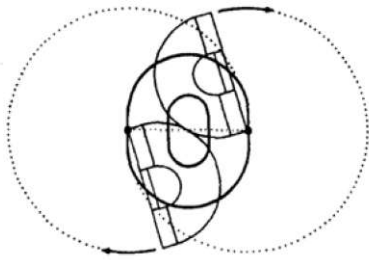


Abb. 55

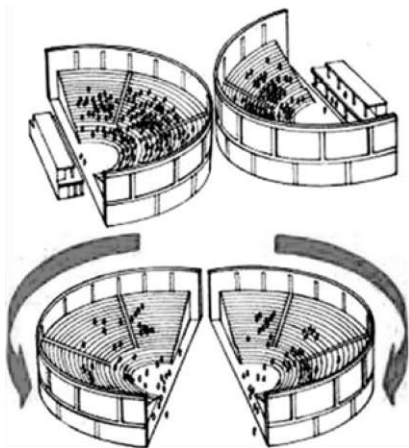


Abb. 56

Obwohl Architektur spontan eher nicht mit Bewegung und schneller Veränderung in Verbindung gebracht wird, ist der Einsatz von kinetischen Systemen in der Architektur kein modernes Phänomen. Schon immer war die gebaute Umwelt des Menschen in stetigem Wandel. Die ersten Gebäude, die von Menschen bewohnt wurden, waren so konzipiert, dass man sie bewegen konnte.³⁵

Im römischen Reich entstand schon 52 vor Christus ein bewegliches „Doppeltheater“, welches aus zwei römischen Theatern bestand, die jeweils um 280° gedreht werden konnten und dann ein Amphitheater bildeten.³⁶ (Abb 55) (Abb 56)

Auch einige weitere Bauten mit beweglichen Elementen entstanden zu dieser Zeit. So zum Beispiel besaß ein von Marcus Terentius Varro entworfener Dom, eine rotierende Decke. Diesem Beispiel folgten der von Nero entworfene Domus Aurea in Rom, sowie das Teatro Marittimo in der Villa Hadriana in Tivoli - diese Bau-

ten funktionierten nach dem selben Prinzip.³⁷

Die antiken Griechen setzten ihre mechanische Raffinesse vor allem für religiöse und zeremonielle Zwecke ein. Der berühmteste griechische Ingenieur war Heron von Alexandria. Er entwarf hydraulische Mechanismen mit denen die Türen in Tempeln wie durch göttliche Hand geöffnet werden konnten und Theater mit mechanischen Konstruktionen, die es ermöglichten, dass Puppen sich auf der Bühne drehen und entlang hölzerner Schienen im Kreis tanzten.³⁸

Auch drehbare, dreiseitige Prismen (Periakten) mit unterschiedlicher Gestaltung auf jeder Seite, waren im Theater der Antike sehr beliebt um einfache Verwandlungen des Bühnenbildes zu ermöglichen. Ebenso gab es bereits maschinelle Bühnentechniken: „Deus ex machina“ (lat. „Gott aus der Maschine“) - ein Versenkungsmechanismus oder Flugapparaten der es ermöglichte, ganz unerwartet, einen Gott auf der Bühne erscheinen zu lassen.³⁹

Auch setzten die antiken Griechen besonders viel daran, für das Leben nach dem Tod, bewegliche und möglichst lebensgroße Statuen zu kreieren. Der Meister dieser Disziplin soll Daidalos gewesen sein. Dessen Statuen waren laut Sokrates so lebendig, dass sie, wären sie nicht angebunden gewesen, wegerannt wären.

Wie Daidalos dies bewerkstelligt haben soll ist allerdings unklar. Zwar war das Uhrenwerk zu jener Zeit schon erfunden, die Statuen von Daidalos sollen sich aber noch flüssiger und weniger mechanisch bewegt haben, als es der Uhrwerksmechanismus zu jener Zeit zuließ.⁴⁰

In Nord-Afrika hatten zum Beispiel die Beduinen schon in vorchristlichen Zeiten Woll-Zelte, mit dynamischer Durchlässigkeit, die je nach Wetterlage unterschiedliche Konditionen erfüllten.⁴¹ Ähnlich dazu konnte sich auch das amerikanische Tipi, durch unterschiedliche überlagerte Stoffschichten an die Klima und Wetterlage anpassen.⁴² (Abb. 58)

Auch die zentralasiatischen Yurten, waren mit Elementen versehen, die man öffnen und schließen konnte. Außerdem waren sie so stabil konzipiert, dass man sie über kurze Distanzen bewegen konnte. Für längere Distanzen konnten sie zerlegt werden.^{43,44} (Abb. 57)

Ebenfalls klassische Beispiele der frühen kinetischen Systeme sind traditionelle Türen oder Fenster. Zwar gab es einfache, fixe Öffnungen in Gebäuden schon seit 5000 v. Chr., die Erfindung der fest mit dem Gebäude verbundenen, beweglichen Elemente war allerdings eine wichtige Entwicklung, für mehr Komfort (Regulierung von Licht und Luftzufuhr).⁴⁵

Spätere Beispiele für frühe kinetische Systeme sind Zugbrücken aus Holz, oder frühe Aufzugsysteme wie Seilzüge oder Hebebühnen, die schon 300 v. Chr. in Verwendung gekommen sind und immer durch menschliche oder tierische Muskelkraft betrieben wurden.⁴⁶



Abb. 57



Abb. 58

RENAISSANCE / BAROCK

RENAISSANCE

Eine zentrale Figur der Renaissance, die maßgeblich an der Entwicklung kinetischer Mechanismen beteiligt war, ist *Leonardo da Vinci*. Er war einer der ersten, der sich mit komplexeren kinetischen Systemen auseinandersetzte.⁴⁷

Viele seiner Entwürfe - *Hubschrauber, Armbrust, Wassersysteme, Arbeitswerkzeuge* - legte den Grundstein für einige wichtige Erfindungen der heutigen Zeit.⁴⁸ Auch im Bereich der Architektur setzte er sich bereits im 15. Jahrhundert mit beweglichen Brücken auseinander.⁴⁹ Eine weitere bahnbrechende Erfindung seinerseits war das *Ornithopters*. Er erforschte die Flugweise der Vögel und entwickelte, basierend auf den Erkenntnissen die er daraus gewann, eine Flugmaschine die er schon von rund 500 Jahren in einer Zeichnung festhielt.⁵⁰

Ebenso zeichnete er schon 1490 die heute als Standard der Bühnentechnik geltende Drehbühne. Auch über die Drehbühne hinaus galt das Theater, wie bereits in der Antike, auch in der Renaissance, dem Barock und auch in den darauf folgenden Epochen bis in die heutige Zeit, als beliebte Versuchsstätte um mechanische Mechanismen zu entwickeln und zu erproben.⁵¹

Die meisten Theaterbühnen der Renaissance wurden, wie das 1585 eröffnete *Teatro Olimpico* in Vicenza von *Palladio*, als Perspektivbühne (Bühne stieg im hinteren Bereich stark an, um Tiefenwirkung zu erzeugen, siehe *Trompe l'oeuil*, S.43) umgesetzt. Allerdings wurden auch bewegliche Mechanismen aus der Antike angewendet und weiterentwickelt. So zum Beispiel wurden, in der frühen Renaissance, die bereits erwähnten *Perikasten* (drehbaren dreiseitigen Prismen) fortentwickelt und in Form der *Talari Bühne* wieder aufgenommen.⁵²

In England sollen damals, als Vorläufer des heutigen Schiebebühnensystems, Wagen mit darauf aufgebauten Szenerien vor das Publikum geschoben worden sein, um unterschiedliche Szenarien zu bedienen.⁵³

BAROCK

Wie in der Renaissance wurde auch im Barock die Illusion von Tiefe auf den Theaterbühnen oft über perspektivische Verzerrungen erreicht. Während das Theater der Renaissance sich an der Antike orientierte und mit wenigen Schauplätzen auskam, war es ein zentrales Anliegen des Barocktheaters, mehrere Schauplätze zu bedienen und einen reibungslosen Wechsel von einem Bühnenbild zum Nächsten zu ermöglichen.⁵⁴

Die vorherrschende Bühnensystem dieser Zeit war die Kulissenbühne. Die Bühne wurde hierbei von allen Seiten durch bemalte Kulissen begrenzt. Stehende Seitenkulissen konnten auf Kulissenwagen in die Bühne ein- bzw. ausgefahren werden.⁵⁵ Rückseitig wurde die Bühne durch ein stehendes oder hängendes Prospekt begrenzt - auch hierfür gab es eine wandelbare Variante: Das sogenannte *Wandelprospekt* wurde als Stoffbahn ausgeführt, auf welche mehrere Szenen nebeneinander gemalt waren und die durch auf- bzw. abwickeln nacheinander gezeigt werden konnten.⁵⁶

Ganz im Sinne des Barocken Prunks waren auch dekorative Elemente, die über horizontale Latten von oben in das Blickfeld der Zuschauer herabgelassen/hochgezogen werden konnten, sehr beliebt. Auch von unten konnten durch vertikal verfahrbare Bodenelemente, Kulissenelemente erscheinen und wieder verschwinden.⁵⁷

Neben den flachen, dekorativen Kulissen, wuchs allmählich auch das Bedürfnis nach dreidimensionalen, plastischen Bühnenaufbauten und Dekorationen. Dies bot Anlass für den Einsatz und die Entwicklung von heb- und senkbare Bühnenpodien, verfahrbare Bühnenwagen und Drehbühnen.⁵⁸

19. JAHRHUNDERT



Abb. 59

„Er (der König) will (beim Essen) niemanden um sich haben. Trotzdem müssen die Diners und Soupers immer für mindestens drei bis vier Personen ausreichen. Denn wenn auch der König sich immer allein zu Tisch setzt, so fühlt er sich doch nicht allein. Er glaubt sich in der Gesellschaft Ludwigs XIV. und Ludwigs XV. und deren Freundinnen, Madame Pompadour und Madame Maintenon. Er begrüßt sie sogar mitunter und führt mit ihnen Gespräche, als hätte er sie wirklich als Gäste bei Tisch.“⁶²



Abb. 60

Die Industrialisierung war im Hinblick auf die Erfindungen der vorhergehenden Epochen zwar nicht der Startschuss für die Entwicklung bewegliche Gebrauchsgegenstände, allerdings spielte die Erfindung der Dampfmaschine, sowie die Nutzung von Elektrizität eine wichtige Rolle in der Entwicklung der Architektur jener Zeit.

Im Hinblick auf kinetische Systeme war vor Allem die **Erfindung des elektrischen Liftes**, der im 19. Jahrhundert durch *Werner von Siemens* realisiert wurde, eine bahnbrechende Erfin-

dung. Dieser ermöglichte fortan das Errichten von weitaus größeren und höheren Bauten als bis dato möglich.⁵⁹

Außerdem gab es zu jener Zeit auch schon Beispiele für unkonventionellen Einsatz von Bewegung in der Architektur. So wurden z.B. in den Bayrischen Schlössern des 19. Jahrhunderts (Schloss Herrenchiemsee (Abb. 59) und Schloss Linderhof (Abb. 60)), die von *König Ludwig II.* von Bayern bewohnt wurden, eine Technik eingesetzt, mittels jener der Esstisch, über eine Kurbelmechanik, ins Untergeschoss

gefahren werden konnte, wo sich auch die Küche befand.⁶⁰

Diese Technik kommt aus dem Frankreich des 18. Jahrhunderts und wurde zuvor schon im Schloss Versailles angewendet. Während diese Erfindung der Hofgesellschaft diente, um ungestört erotischen Abenteuern nachzugehen, nutzte *König Ludwig der II.* diese, laut Berichten seines Koches, *Theodor Hirneis*, um ungestört zu sein, wenn er seine imaginären Gäste empfing.⁶¹

1900 - 1950

2.3.4

Der Beginn des 20. Jahrhunderts war der Startschuss für eine rasante Entwicklung der modernen Technologien, die die Erfindung kinetischer Systeme beschleunigte. Zwar fanden viele Fortschritte im technologischen Bereich erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts statt, dennoch beeinflussten die durch die industrielle Revolution beigetragenen Veränderungen das alltägliche Leben der Menschen. Die Entwicklung hin zu einem schnelleren Lebensstil und einem von Maschinen geprägten Alltag, hat auch schon in den früheren Jahren des 20. Jahrhunderts den Wunsch nach einer schnelleren und anpassungsfähigeren Umwelt und Architektur geweckt.⁶³

Diese Einflüsse auf die Menschen schlugen sich sowohl in der Kunst, als auch in der Architektur nieder. Viele Kunstschaffende jener Zeit experimentierten mit kinetischen Methoden um einzigartige räumliche Effekte zu erzielen. Die erste kinetische Skulptur entstand 1910 und war Marcel Duchamps's „Bicycle Wheel“.⁶⁴ (Abb. 61) Auch der Künstler Alexander Cal-



Abb. 61

der versuchte sich an an der Repräsentation von Bewegung durch die Visualisierung von Gleichgewicht in seiner Skulptur „El Corcovado“ aus dem Jahr 1951.⁶⁵ (Abb. 62)



Abb. 62

Eines der ersten Gebäude, in dem Flexibilität und Bewegung in diesem Zusammenhang mitgedacht wurde, ist das Schröder Haus aus dem Jahr 1924 von Gerrit Rietveld in Utrecht. (Abb. 63) Durch bewegliche, rechteckige Wände wurden eine flexible Innenraumgestaltung ermöglicht.⁷⁰

In einem Statement aus dem Jahr 1982 äußerte sich der niederländische Architekt Rietveld zu seinen Ansichten bezüglich der Flexibilität von Architektur als Reaktion auf Veränderung folgendermaßen:

„And finally I would like to recap what all these words were actually meant to convey: that

architecture has to fit in with recognised and changing needs and that we live in an era in which there will be great changes in society. We should not consider the architecture of today as fit for the future, or build as if we know what will be needed in the future“.⁷¹

Von 1929 - 1935 baute der italienische Ingenieur Angelo Invernizzi ein drehbares Gebäude: seine Villa Girasole (Sonnenblume) ist ein zweistöckiges Gebäude, das sich auf einer kreisförmigen Grundfläche mit 44 Metern Durchmesser dreht und dem Verlauf der Sonne folgt.⁷² (Abb. 65)

Das Gebäude besteht aus zwei Teilen, einem L-

Das Aufkommen futuristischer Architektur, die für Bewegung, Dynamik und Geschwindigkeit steht, war ein wichtiger Schritt hin zu neuen Ansätzen. Diese wurden durch Zeichnungen für die „Citta Nuova“ von Antonio Sant'Elia aus den Jahren 1912 - 1914 festgehalten.⁶⁶

Neben der Strömung des Futurismus, spielten auch Entwürfe der Architekten des russischen Konstruktivismus eine wichtige Rolle. Diese waren zwar oft lediglich Ideen, die nicht realisiert wurden, dennoch waren sie wichtige Schritte um die kinetische Architektur als gesamtheitliche Einheit zu denken und nicht mehr ausschließlich als etwas Statisches, das mit einzelnen kinetischen Komponenten bestückt ist.⁶⁷

Inspiziert durch diese neuen Ansätze aus Kunst und Architektur und durch Entwicklung moderner Technologien zeigte sich das Interesse an kinetischen Systeme in der Architektur im 20. Jahrhunderts sowohl durch theoretische Ideen und konzeptuelle Entwürfe, als auch durch tatsächlich umgesetzte kinetische Gebäude oder Gebäudekomponenten.^{68,69}

förmigen Baukörper und einem 42 Meter hohen Turm, der sich in der Mitte des Gebäudes, bei der Drehachse, befindet. Aus der Vogelperspektive erinnert das Gebäude an eine Uhr, wobei das L-förmige Gebäude die beiden Zeiger sind. Eine Umdrehung dauert 24 Stunden, wobei diese mit der maximal möglichen Geschwindigkeit von 4mm pro Sekunde auch in 9 Stunden und 20 Minuten möglich wäre.⁷³

Schon im frühen 20. Jahrhundert gab es Ideen für bewegliche und drehbare Gebäude, die sich nach der Sonne richten können. So zum Beispiel Entwurf für das „Rotary building“ der Architekten Thomas Gaynor aus dem Jahr 1908.⁷⁴ (Abb. 64)



Abb. 63

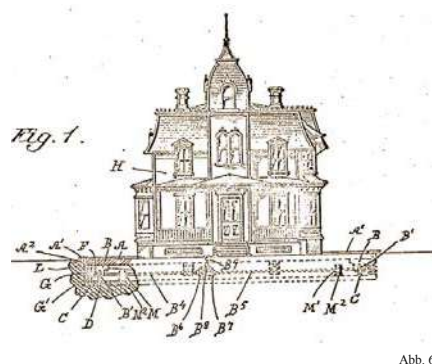


Abb. 64



Abb. 65

1950 - 1990

Der nächste Sprung in der Entwicklung kinetischer Architektur war in der Mitte des 20. Jahrhunderts. Die architektonische Avantgarde der 1950er und 1960er, läutete eine neue Ära der Möglichkeiten für die Entwicklung und Anwendung kinetischer Systeme ein.⁷⁵ Insbesondere die Fortschritte der modernen Technologien dieser Zeit, vor allem im Bereich der Mechanik, Elektronik und Robotik ermöglichten es neue Ansätze zu entwickeln und bereits bestehende zu erweitern.⁷⁶

Besonders in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts rückten kinematische Visionen in den Fokus der Architekturschaffenden, Kunstschaffenden und Philosophinnen. Es entstanden theoretischen Ideen, konzeptuelle Entwürfe, utopische Illustrationen und viele weitere Ansätze und Experimente, die die Beständigkeit und die Unbeweglichkeit, als dominante Eigenschaften der Architektur in Frage stellten.

Aufgrund von weiteren Fortschritten der Technologien im elektronischen und digitalen Bereich, waren diese schon bald keine reinen Utopien und Zukunftsvisionen mehr, sondern haben teilweise auch später umgesetzte Projekte beeinflusst.^{77,78}

Parallel zu diesen theoretischen und konzeptuellen Ansätzen und Entwürfen, entstanden zu jener Zeit und in den anschließenden 80er Jahren des 20. Jahrhunderts auch einige tatsächlich umgesetzte Gebäude mit beweglichen Komponenten, die von den Errungenschaften der Technik, die von der Entwicklung des Computers geprägt waren, profitierten und aufzeigten, was bereits möglich war.⁷⁹

Im Folgenden werden einige dieser theoretischen Ansätze und konzeptuellen Entwürfen gefolgt von tatsächlich umgesetzten Beispielen aufgezeigt und kurz vorgestellt.

1958, Yona Friedmann**Manifeste de l'architecture mobile**

Dieses Manifest gilt gleichsam als Gründungsdokument der Gruppe „Groupe d'Erudes d'Architecture Mobile - GEAM“. Der französische Architekt *Yona Friedmann* und die *GEAM* stellten in diesem die grundsätzliche Frage, warum Architekturschaffende über Gebäude entscheiden sollten und nicht die Menschen, die diese bewohnen.⁸⁰ Das Manifest beschäftigt sich mit der Suche nach räumlichen Lösungen, die anpassungsfähig sind, an die sich ständig ändernden Bedürfnisse der Menschen.⁸¹

1970, William Zuk & Roger Clark**Kinetic Architecture**

In dem Buch „*Kinetic Architecture*“⁸⁶ von den Architekten *William Zuk* und *Roger Clark* aus dem Jahr 1970, wurde das Konzept der kinetischen Architektur zum ersten mal als solches vorgestellt. Das Buch gibt einen weiten Einblick in die kinetische Architektur und argumentiert, warum der Bedarf an Architektur besteht, die nicht ausschließlich statisch ist. *Zuk* und *Clark* sehen Architektur als etwas, was über kinetische Instrumente, anpassungs- und reaktionsfähig gemacht werden sollte.^{87,88}

1962, James Graham Ballard**Psychotropic House, science fiction story**

James Graham Ballard, ein britischer Autor, beschreibt in seiner science fiction Kurzgeschichte „*The Thousand Dreams of Stellavista* (1962)“⁸² „*a psychotropic house*“ ein maschinenähnliches Haus, das auf die darin wohnenden Menschen reagiert, von diesen lernt und sich räumlich an ihre Launen anpassen kann. Das Haus ist aus einem Material gebaut, das Ballard „*plastex*“ nennt. Es handelt sich dabei um eine Kombination aus „*plaster*“ (Gips/Putz) und Latex und ermöglicht eine Formänderung je nach Wunsch.⁸³

1970, Nicholas Negroponte**The Architecture Machine**

Dabei handelt es sich um ein Buch, in dem der Informatiker *Nicholas Negroponte* vorschlägt, dass Computer in Gebäude integriert werden könnten und somit zu „*Architekturmaschinen*“ werden. Sein Ziel war es, die gebaute Umwelt als sich stetig entwickelnden Mechanismus zu beschreiben. Im letzten Kapitel traf er eine Voraussage, wonach diese Architekturmaschinen nicht beim Entwerfen helfen würde, sondern die Menschen in ihnen leben würden.^{89,90}

1969, Gordon Pask**Conversation Theory**

Gordon Pask, ein früher Befürworter von Kinetik in der Architektur schrieb mit seiner „*Conversation Theory*“ eine umfassende Theorie zur Interaktion in der Architektur und entwickelte ein Modell in dem die Räume und die Menschen die diese nutzen, rückkoppelnd aufeinander wirken.^{84,85}

1972, Charles M. Eastman**Adaptive-conditional architecture**

Auch dieses Konzept von *Charles Eastman*, einem Pionier im Bereich des Computer unterstützten Designs, basiert auf selbstadaptierenden Mechanismen, die sich, je nach Information des Raumes und der Menschen in ihm, anpassen. Er zog als Beispiel einen Thermostat heran, um die notwendigen Bestandteile zu beschreiben: **Sensoren**, die eine Änderung in der Umwelt wahrnehmen, **Algorithmen** oder **Kontrollmechanismen**, die die Information interpretieren, **Auslöser**, die die gewünschte Änderung in der Umwelt vollziehen, sowie eine **Vorrichtung**, die eine Steuerung durch den Menschen ermöglicht.^{91,92}

Viele der **konzeptuellen Entwürfe** kommen aus England. Dort formierte sich 1960 die Architektur Gruppe „Archigram“, die aus den britischen Architekten *Peter Cook, Warren Chalk, Dennis Crompton, David Greene, Ron Herron und Michael Webb* bestand.⁹³ Auch der ebenfalls britische Architekt *Cedric Price* stand der Gruppe sehr nahe.⁹⁴

Archigram hatte es sich zum Ziel gemacht, neue Zugänge zu traditionellen architektonischen Prinzipien zu finden. Weil die Mitglieder der Gruppe vielfach an renommierten Universitäten lehrten (Architectural Association in London, Bartlett am University College London, Columbia University, Princeton...) hatten sie

großen Einfluss auf junge Architekten, die die Zukunft der Architektur fortan mitgestalteten. *Archigram* beschäftigten sich an den Universitäten vor Allem mit der Entwicklung innovativer Architektur, die eng verbunden war mit der Implikation kinetischer Elemente.⁹⁵

Neben der Entwicklung durch *Archigram* in England gab es auch in Japan Architekten, wie beispielsweise *Kiyonori Kikutake* oder *Kisho Kurokawa*, die die kinetische Denkfabrik jener Zeit antrieben und die Zukunft der kinetischen Architektur mitgestalteten. Zwei der von diesen entwickelte Konzepte, die denen von Archigram ähnlich waren, werden hier ebenfalls vorgestellt.⁹⁶

Die konzeptuellen und utopischen Entwürfe bleiben zu dieser Zeit meist Utopien. Auf Grund von fehlenden Design-Tools, die die präzise Planung der fortgeschrittenen Systeme ermöglichen würde, sowie nicht ausreichend entwickelter Technologien, konnten diese nicht umgesetzt werden.⁹⁷

Dennoch schrieben *Zuk & Clark* in ihrem Buch „*Kinetic Architecture*“ folgendes im Bezug auf die konzeptuellen Entwürfe der 60er und 70er Jahre:⁹⁸ *What is presented is not an architecture of fantasy, but a prediction for the future based upon a natural evolution, a reasoned and reasonable extension of accelerating trends, and a need to satisfy a dynamically changing society.*⁹⁹

1959 - 1974, Constant Nieuwenhuys, New Babylon, Niederlande

Das utopische Konzept „*New Babylon*“ basiert auf der Idee für eine vielschichtige, nomadische Stadt, die eine flexible Anordnung von Objekten und sich ständig ändernde Konstellationen dieser zulässt.¹⁰⁰ Der niederländische Maler und Bildhauer *Constant Nieuwenhuys* beschreibt es weniger als Stadtplanungs- oder Architekturprojekt, sondern als eine große Idee, eine Art die Welt und das Leben zu betrachten.¹⁰¹ So wurde es auch geplant: als flexible Lebensumgebung, eine offene Stadt, die sich in alle Richtungen beliebig weit ausbreiten kann.^{102,103}

*„New Babylon ist die Welt des Homo Ludens, die Welt des spielerischen Menschen. Es ist eine Art Gesellschaftsmuster, das den Gedanken permanenter Veränderungen und Transformationen mit einbezieht.“*¹⁰⁴

Die Idee für das Projekt war es, Rahmenbedingungen zu schaffen, für eine Welt in der Menschen ohne Regeln, Arbeit oder Verantwortung gemeinsam leben und in der jede Intervention, jede Aktion eines Einzelnen unmittelbar das Ganze verändert und Reaktionen der Anderen hervorruft.^{105,106} Der Künstler betonte, dass ihm eine Partizipationskette vorschwebte, die ihren Höhepunkt dann hatte, *„wenn der Gipfel eines Gemeinschaftswerks erreicht sei. Der Rhythmus zwischen Werden und Vergehen solcher Momente stellt die Raum-Zeit-Schiene von „New Babylon“ dar.“*¹⁰⁷

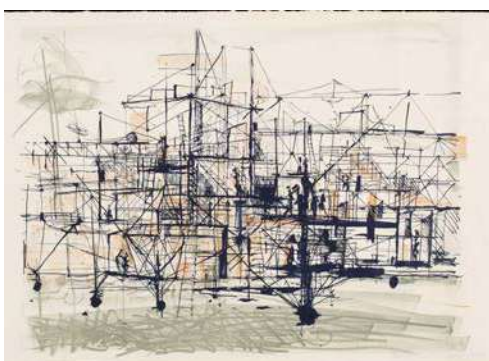


Abb. 66



Abb. 67

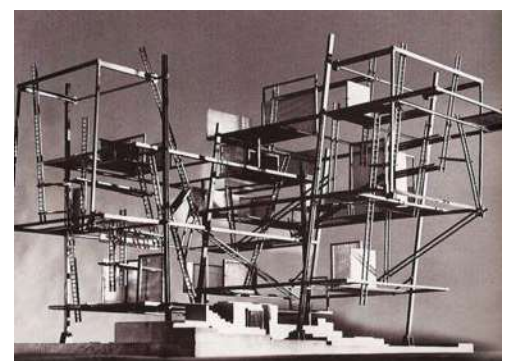


Abb. 68

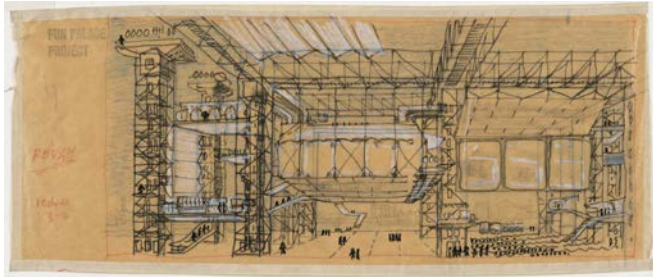


Abb. 69

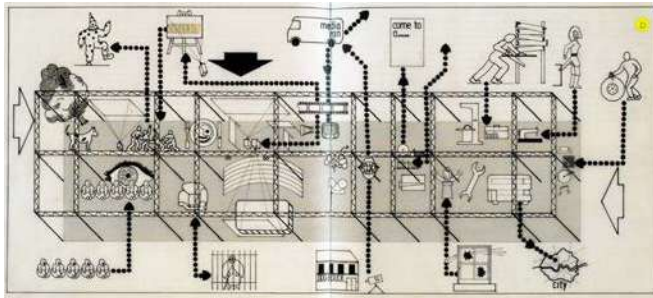


Abb. 70

1961, Cedric Price, Fun Palace

Cedric Price erlangte große Aufmerksamkeit durch sein Projekt „Fun Palace“ das er, gemeinsam mit der britischen Theater- und Filmregisseurin Joan Littlewood, im Jahr 1961 entwarf.¹⁰⁸ Der Fun Palace wurde als „laboratory of fun“ konzipiert, als ein experimenteller Ort für Unterhaltung. Durch den Einsatz vieler interaktiver Technologien wie beispielsweise Aufzüge, konnte sich das Gebäude an den Besucher anpassen und viele Arten der Bewegung vereinen.¹⁰⁹

Einige Jahre später, 1972, konnte Price einige seiner Ideen in einer kleineren Version des Fun Palace, dem *InterAction Center*, in Kentish Town (London), tatsächlich realisieren.¹¹⁰

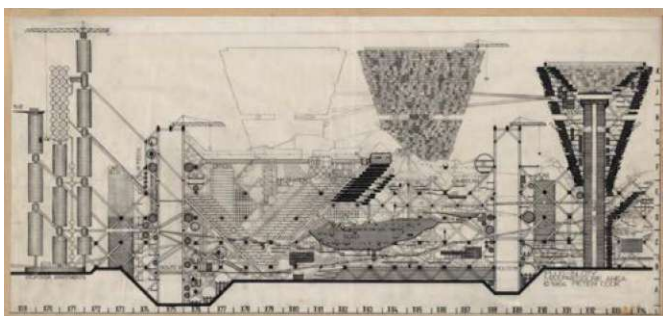


Abb. 71

1964, Peter Cook, Archigram, Plug in City

Ein weiteres wichtiges Projekt der Archigram Gruppe ist das Konzept für die *Plug-in City*, die von Peter Cook im Jahr 1964 entworfen wurde. Das Konzept basiert auf Modulen mit unterschiedlichen Funktionen, die je nach Bedarf arrangiert werden können.¹¹¹ (Abb 71)

1965, Ron Herron, Archigram, Walking City

Im Bezug auf Bewegung in der Architektur, ist eines der überraschensten Projekte aus den 60ern die *Walking City*, des Architekten Ron Herron. Es handelt sich dabei um eine lebendige Roboterstadt, die durch künstliche Intelligenz gesteuert wird. Der Entwurf basiert auf riesigen, selbstständigen „living pods“, die sich frei bewegen können.¹¹² (Abb 72)

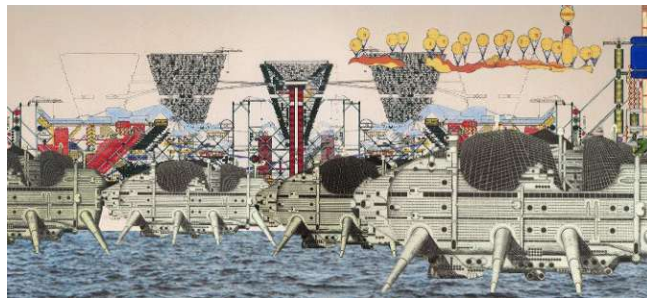


Abb. 72



Abb. 73

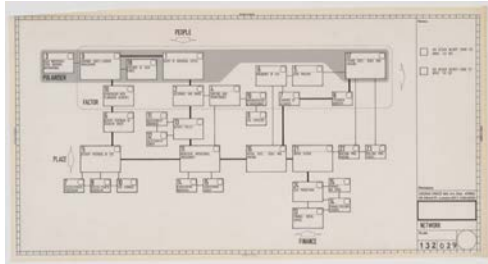


Abb. 74

1976, Cedric Price, Generator Project

In den 70er Jahren hat sich das Leben der Menschen mit der Entwicklung des Computers schnell verändert. Cedric Price reagierte, gemeinsam mit John & Julia Frazer, auf diese Entwicklungen mit dem „Generator Project“, welches als eines der ersten Projekte das Konzept eines intelligenten Gebäudes verkörperte. Das Generator Project war, dank eines neu erfundenen Computerprogrammes, in der Lage sich, nach den Wünschen der Menschen, stetig neu zu konfigurieren. Die einzelnen Gebäudekomponenten des Entwurfs konnte sich „intelligent“ und je nach Bedarf der Nutzung stetig neu anordnen und das dafür vorgesehene Gelände optimal ausnutzen.^{113,114}

JAPAN

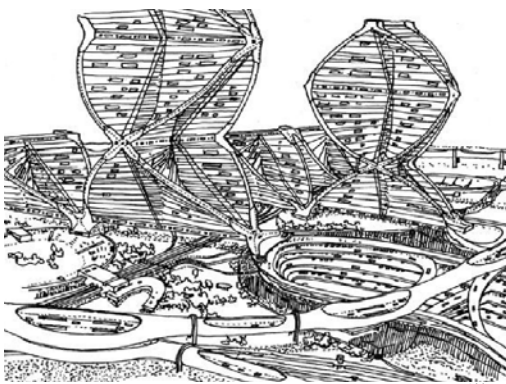


Abb. 75

1961, Helix City, Kisho Kurokawa

Das Konzept für die „Helix City“ wurde von dem japanischen Architekten Kisho Kurokawa nach dem Vorbild der organischen Form der DNA-Struktur entworfen. Sie wächst und schrumpft, dem natürlichen Verlauf von Veränderung entsprechend.¹¹⁵

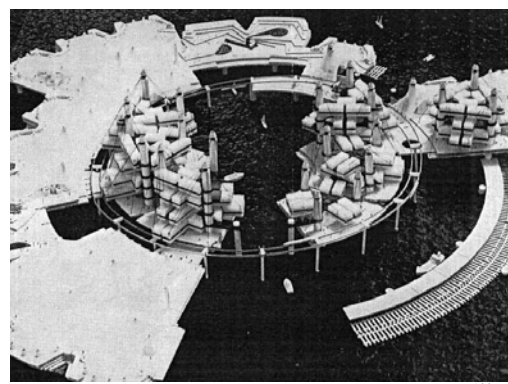


Abb. 76

1960, Marine City, Kiyonori Kikutake

Die Marine City ist ein Konzept des japanischen Architekten Kiyonori Kikutake für eine schwimmende Stadt an der Küste Tokyos. Das Prinzip besteht aus einem Kern in der Mitte, um den sich Module mit unterschiedlichen Funktionen anschließen können. So kann der Komplex nach den Bedürfnissen der Menschen gestaltet werden.¹¹⁶



Abb. 77

**1961, Mitchell & Ritchey Architects,
The Pittsburgh Civic Arena (Mellon Arena)**
Die *Pittsburgh Civic Arena* war das erste Stadium mit einem mechanisch beweglichen Dach, wodurch es, je nach Wetterlage, geöffnet oder geschlossen, verwendet werden konnte. Der hydraulische Mechanismus funktionierte jedoch ab der Inbetriebnahme 1962 nie wie vorgesehen. In 1994 wurde das Dach dauerhaft geschlossen.¹¹⁸

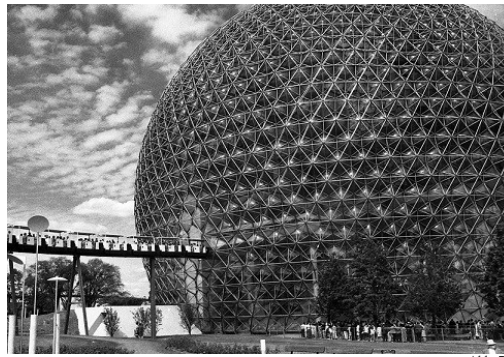


Abb. 78

**1967, Buckminster Fuller
United States Pavillon, Montreal Expo**
Der amerikanische Pavillon der Expo in Montreal im Jahre 1967 hatte eine der ersten automatisierten, klimasensiblen Fassaden. Die Oberfläche der geodätischen Kuppel war mit transparenten Acrylplatten verkleidet, mit einer innenliegenden Schattensystem aus Stoff, das sich stetig mit der Bewegung der Sonne veränderte und über ein Computerprogramm gesteuert wurde.¹¹⁷



Abb. 79

**1985, Santiago Calatrava,
Ernesting Family Distrib. Depot Center**
Santiago Calatrava experimentierte bei der Gestaltung der Garagentüren der Ladezonen mit Kinetik, um die mechanische Transformation von Flächen an Gebäuden zu erproben. Die Idee basiert auf einer Skulptur Calatravas, die auf der Form des menschlichen Auges beruht. Sein Interesse galt hier nicht nur dem Experiment mit neuen Formen, sondern auch dem Anliegen eine ästhetische Lösung zu finden.¹¹⁹



Abb. 80

**1987, Jean Nouvel,
The Paris Institute du Monde Arabe**
Die Fassade des *Institute du Monde Arabe* in Paris, war eine Meisterwerk in der kinetischen Architektur der 80er. Der französische Architekt *Jean Nouvel* nahm traditionelle arabische Ornamente zum Vorbild und übersetzte diese, sehr innovativ, in die moderne Zeit. Er tat dies, indem er die Fassade mit vielen mechanisch angetriebenen linsenartigen Öffnungen ausstattete, wodurch der Lichteinfall gesteuert werden konnte. Es handelte sich damals um eine technische Innovation, auch wenn sich herausstellte, dass die dynamischen Module teuer zu halten, schnell abgenutzt und sehr laut waren.^{120,121}



Abb. 81

**1972, Kisho Kurokawa,
Nakagin Capsule Tower**
Der japanischen Architekten *Kisho Kurokawa*, der ebenfalls das schon besprochene Konzept für die *Helix City* entwarf (siehe S.97), beschäftigte sich auch später noch mit Gebäuden, die auf Flexibilität ausgelegt sind. Die einzelnen Module des *Nakagin Capsule Tower* bewegen sich zwar nicht eigenständig, sie können aber je nach Bedarf an einen zentralen Kern hinzugefügt oder von diesem entfernt werden.¹²²



Abb. 82

**1989, Rod Robbie
The Rogers Center (Sky Dome)**
Nach dem Vorbild der *Pittsburgh Civic Arena*, wurde viel später, im Jahr 1989 ein Stadiumdach umgesetzt das den Ansprüchen entsprach und gut funktionierte. Dabei handelt es sich allerdings nicht ausschließlich um ein Sport Stadium, sondern auch um einen Ort für Konzerte und kulturelle Ereignisse. Durch das bewegliche Dach wurde der Anwendungsbereich für das Gebäude stark erweitert. Das *Roger Center* war ein Vorbild für viele weitere Gebäudetypen und Dächer dieser Art.¹²³

ZEITGENÖSSISCHE PROJEKTE

Die 90er Jahren markieren einen weiteren wichtigen Wendepunkt in der Entwicklung kinetischer Architektur. Während die Bewegungsformen in den 80er meist noch recht simpel waren, wurden sie in den 90er und mit dem Beginn des 21. Jahrhunderts, durch neue digitale Entwurfsstrategien und Entwicklungen im Bereich der künstliche Intelligenz und der Informationstechnologien, immer komplexer.¹²⁴

Schon seit den 1970er Jahren hat der Computer Einfluss auf das menschliche Leben und veränderte dieses maßgebend. Es war allerdings in den 80er und 90er Jahren als der Computer für den Gebrauch im Alltag der Menschen ankam und das soziale und persönliche Leben dieser zu verändern begann.¹²⁵

Mit dem Fall des eisernen Vorhangs und der steigenden Popularität des Computers, trat auch die Digitalisierung der Architektur ein und sie begann sich weltweit ähnlich zu entwickeln. Europäische Architekturschaffende bekamen mehr Aufmerksamkeit in Ländern wie den USA und China. Durch die steigende Bedeutung des Computers im architektonischen Schaffen veränderten sich auch die Entwurfstechniken und Designstrategien. Computer wurden in die Entwurfsprozesse einbezogen - anfangs noch ausschließlich als digitales Zeichentool, später

auch für die Verwendung von fortschrittlicheren Programmen. Dadurch wurde die dreidimensionale Visualisierung über Computerprogramme verbreitet und ermöglichte die genaue Planung von unkonventionellen Entwurfsideen. Die Veränderung in den Designstrategien, die mit der Entwicklung von Computerprogrammen einher gegangen ist, nimmt von Jahrzehnt zu Jahrzehnt zu und ist heute noch sichtbar als je zuvor. Dazu sagte *Branko Kolarevic* im Jahr 2003 folgendes:¹²⁶

„Digital technologies are changing architectural practices in ways that few were able to anticipate just a decade ago. [...] Digitally-driven design processes, characterized by dynamic, open-ended and unpredictable but consistent transformations of three-dimensional structures, are giving rise to new architectonic possibilities.“¹²⁷

Dieses Phänomen wurde auch schon im ersten Kapitel dieser Arbeit in der Kategorie „*Metaphorische Bewegung*“ besprochen. Neben den dort vorgestellten Entwürfen, die die Bewegung als Ausdrucksform verkörpern, spielt die Entwicklung neuer Entwurfsstrategien auch in der sich tatsächlich bewegendem, kinetischen Architektur eine wichtige Rolle und hilft Bewegungsabläufe zu planen. Es wurde möglich,

den Faktor Zeit in Entwürfe einzubinden und die Bewegung über Schieben eines Reglers zu visualisieren. Dadurch konnte die später im Gebäude stattfindende Bewegung genauer geplant und somit komplexer und vielschichtiger gestaltet werden.¹²⁸

Dadurch, dass das Interesse an energieeffizienten Gebäuden stieg und es mehr Möglichkeiten gab den Energieverbrauch zu überwachen und zu steuern, rückten vor allem Gebäudehüllen ins Zentrum des Interesses bei der Entwicklung technischer Erneuerungen. Architekten und Ingenieure begannen zunächst Schatten und Lüftungssysteme in Fassaden zu integrieren. Später wurden adaptive, kinetische, dynamische, intelligente und high-performance Fassaden zu Begriffen in der Architektur.¹²⁹

Abgesehen von intelligenten Fassadensystemen gibt es seit Beginn des 21. Jahrhunderts auch noch andere Bereiche, wo kinetische Architektur zum Einsatz kommt. So zum Beispiel steigt das Interesse an kinetischen Strukturen, die die gesamte Form eines Gebäudes verändern konnten. Auch Lösungen für eine flexiblere und anpassungsfähige Innenraumgestaltung oder veränderbare Orientierung von ganzen Gebäuden oder Gebäudeteilen sind von Bedeutung.¹³⁰



Abb. 83

**2014, Henning Larsen,
University of Southern Denmark's
new Kolding Campus**

Die dreieckigen Fassadenelemente öffnen und schließen sich, abhängig von dem sich über den Tag oder das Jahr hinweg ändernden Lichtverhältnissen. Es handelt sich um eine schattenspendendes System, dass das Klima und Licht im Gebäude stets an die klimatischen Konditionen und die Wünsche der Menschen anpasst.¹³¹



Abb. 84

**2007, Ernst Giselbrecht und Partner,
Kiefer Technic showroom**

Das Bürogebäude der österreichischen Metallfirma „Kiefer“ zeichnet sich durch seine charakteristische dynamische Fassade aus, die aus elektronisch gesteuerten Faltelementen aus Aluminium besteht und sich ständig den Lichtverhältnisse anpasst. Die äußere Erscheinung des Gebäudes ist in stetigem, automatisiertem Wandel, wobei auch manuell eingegriffen werden kann, um bestimmte Lichtsituationen im Innenraum zu gewährleisten.¹³²

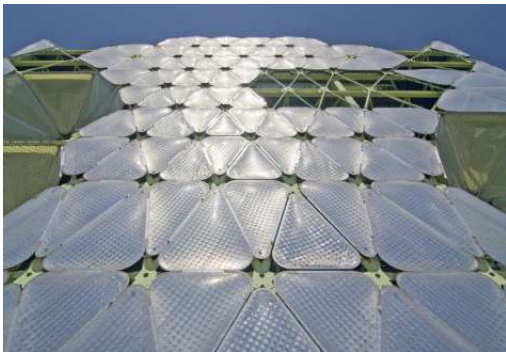


Abb. 85

**2011, Cloud 9 Architects,
Media-TIC Gebäude**

Die Fassade des *Media-TIC Gebäudes* ist mit einer Polster - Verkleidung versehen, die aus dem Polymer ETFE besteht. Über Informationen eines Lichtsensoren wird ein pneumatischer Mechanismus aktiviert, der auf die Präsenz von Solarenergie reagiert.¹³³



Abb. 86

**2012, AHR Architects,
Al Bahr Towers**

Durch bewegliche Fassadenlamellen kann die Sonneneinstrahlung und somit die Hitze, die in das Gebäude kommt, reguliert werden. Jedes sich bewegende Fassadenelement erinnert an die Bewegung einer Papier-Blume, die sich öffnet und wieder schließt.¹³⁴

DREHBAR

2.4.2



Abb. 87

1994, Prof. Rolf Disch Heliotrope House

Das *Heliotrope Haus* in Freiburg im Briesgau verfügt über zwei separate kinetische Systeme. Das eine sorgt für eine Drehung des Hauses um den zentralen Holzkern in dem sich die Erschließung befindet - mit dem anderen kinetischen System drehen sich die auf dem Dach angebrachten Solarzellen, die sich mit dem Verlauf der Sonne bewegen, um dem Licht möglichst lange ausgesetzt zu sein.¹³⁵



Abb. 88

2012, Glenn Howell Architects, Time Residences

Das *Time Residence Gebäude* befindet sich in Dubai und profitiert von dem trockenen Klima. Die riesigen Motoren, die das Gebäude in Bewegung setzen, werden durch Solarenergie angetrieben. Das Gebäude dreht sich innerhalb von 7 Tagen um 360° und ermöglicht Panoramablicke in alle Richtungen für alle Einheiten.¹³⁶



Abb. 89

2013, Nextoffice, Sharifi-ha House

Das Sharifi-ha Haus in Tehran (Iran), verfügt über gesamte Räume, die aus dem Gebäude heraus oder hinein gedreht werden können. Je nach Wetter und Saison und ob der Innenraum geschützt oder nach Außen geöffnet werden soll, kann das System gesteuert werden.¹³⁸



Abb. 90

2001, Bruno de Franco, Suite Vollard

Die Suite Vollard war das erste Hochhaus, welches die individuelle Drehung aller elf Stockwerke um eine gemeinsam Achse ermöglicht. Die Drehung erfolgt entweder gegen oder im Uhrzeigersinn und eine komplette Umdrehung von 360° dauert eine Stunde.¹³⁷

DYANAMIC TOWER

Abb. 91

Schon im Jahr 2008 präsentierte der italienisch-israelische Architekt *David Fisher* seinen Entwurf für den *Dynamic Tower*. Im Jahr 2008 rechnete er mit einer Fertigstellung im Jahr 2010. Im Jahr 2009 wurde daraus 2011.¹³⁹ Zuletzt hieß es, dass der innovative Wolkenkratzer für die Dubai World Expo 2020 fertig gestellt werden sollte.¹⁴⁰

Bis dato (März 2022) hat der Bau allerdings noch immer nicht gestartet. Unabhängig davon ob der *Dynamic Tower* noch jemals das Licht der Welt erblicken wird oder nicht, handelt es sich dabei um einen innovativen kinetischen Entwurf.¹⁴¹

Das 420 m hohe Gebäude zeichnet sich durch seine 80 Stockwerke aus, die sich in beide Richtungen um 360° drehen lassen. Jedes Stockwerk kann von den Bewohnenden individuell

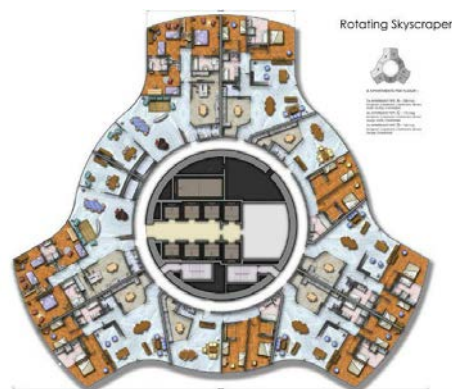


Abb. 92

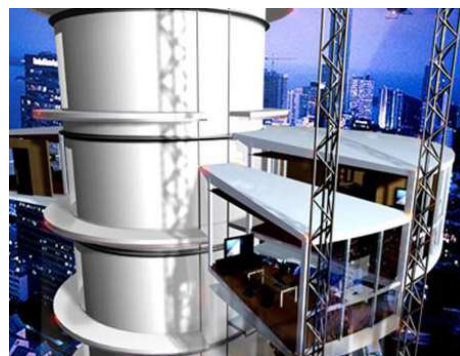


Abb. 93

gesteuert werden. Die maximale Geschwindigkeit beträgt 90 Minuten für eine komplette Drehung von 360°.¹⁴² Dadurch wird den Tower, laut Fisher, nie in gleicher Form erscheinen, weil er sich permanent verändert.¹⁴³

Bis auf einen Betonturm, der den Gebäudekern bildet und die Haustechnik und Erschließung beinhaltet, sollten die einzelnen Gebäudeteile als abgeschlossene Wohnelemente zur Baustelle geliefert werden. Dadurch sollten Kosten und Bauzeit gespart werden.¹⁴⁴

Außerdem ist der *Dynamic Tower* vollkommen autark geplant und soll, laut Fisher, über Solarmodule auf dem Dach, sowie horizontale Windturbinen, die zwischen den Stockwerken liegen, nicht nur sich selbst, sondern auch einige Nachbargebäude mit Storm versorgen können.¹⁴⁵

DÄCHER

2.4.3

Eine der größten Herausforderungen beim Bau eines Stadiums ist das Dach, bei dem eine weite Spannweite gedeckt werden muss, ohne die Sicht zu blocken. Im Bezug auf kinetische Architektur sind in diesem Zusammenhang einige Beispiele zu nennen, die nicht nur eine Lösung für dieses Problem gefunden haben, sondern eine flexible Lösung über die Mindestanforderungen hinaus bieten: bewegliche Dächer, die je nach Wetter und Anforderungen geöffnet oder geschlossen verwendet werden können.¹⁴⁷



2006, Peter Eisenmann & HOK Architects, Stadium of Phoenix University

Bei diesem Stadium kann nicht nur der mittlere Teil des Daches bewegt werden, sondern auch die Bodenfläche. Dadurch konnte auf ein komplett bewegliches Dach verzichtet werden, was notwendig gewesen wäre, um die Lichtverhältnisse zu gewähren, die erforderlich sind, um die gewünschte Vegetation auf der Spielfläche zu gewährleisten.¹⁴⁶

Abb. 94



Abb. 95

1997, Schweger & Partner, Rothenbaum Tennis Centre Court

Bei diesem Stadium ist die Tribüne mit einem permanenten, und die Spielfläche mit einem flexiblen Dach ausgestattet. Das innenliegende, flexible Dach besteht aus einer einseitig PVC beschichteten Polyester Stoff Membran.¹⁴⁸ Der Bewegungsmechanismus funktioniert über das sogenannte „spoke wheel system“, welches aus Spannringen, Kompressionsringen und radialen Speichen besteht und die Kräfte hauptsächlich axial ableitet. Durch das leichte Gewicht dieser Konstruktion lässt sich eine weite, stützenfreie Spannweite umsetzen.^{149,150}



Abb. 96

2017, HOK Architects, Mercedes Benz Stadium

Das bewegliche Dach des *Mercedes Benz Stadiums*, in Form einer Rose, bestehend aus acht Platten, die diagonal zueinander geöffnet werden können und an die Blendenöffnung einer Kamera erinnern.¹⁵¹

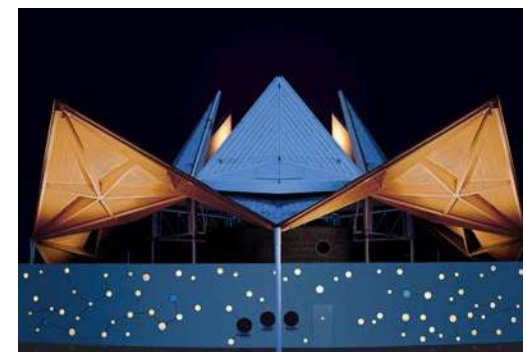


Abb. 97

2003, Studio Gang Architects, Bengt Sjöström Starlight Theatre

An dem Ort an dem dieses Theater gebaut wurde war zuvor ein beliebter Freiluft-Veranstaltungsort. Um sicher zu stellen dass die Theatervorstellungen bei jedem Wetter abgehalten werden können, ohne dabei zu oft auf die Open-Air Atmosphäre verzichten zu müssen, wurde das Dach des Theaters so konzipiert, dass alle sechs Paneele sich, über einen Torsionsrohr - Antrieb, gleichzeitig öffnen lassen.¹⁵²

INNENRAUM

Architekten und Innenarchitekten beschäftigen sich parallel zu den beweglichen Komponenten von Gebäuden auch mit Konzepten, die es sich zum Ziel gemacht haben, Lebens- und Arbeitsräume flexibler und anpassungsfähiger zu gestalten. Diese Idee wurde in vielen unterschiedlichen Bereichen verfolgt. Sowohl durch multifunktionale Möbel, als auch flexible räumliche Lösungen.¹⁵³ Dies zeigt sich beispielsweise in Projekten des Architekturbüros *Kalhöfer-Korschilgen*.¹⁵⁴ (Abb. 98, Abb. 99)



Abb. 98

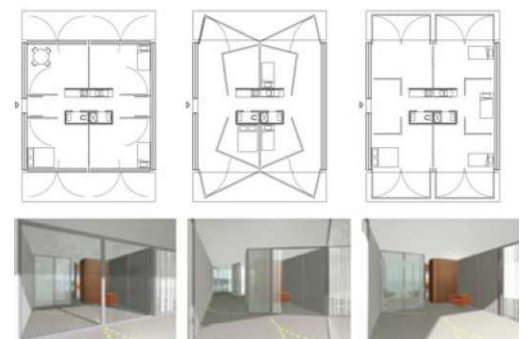


Abb. 99

2011, Reinhardtjung, FNS Apartment project

Die Innenraumgestaltung kann bei dem *FNS Apartment project* des Architekturbüros *Reinhardtjung* fast komplett modifiziert werden. Durch drehbare und verschiebbare Wände, können die Räume vergrößert und verkleinert werden. Der Mechanismus wird durch den Menschen gesteuert und kann an seine Bedürfnisse angepasst werden.¹⁵⁵



Abb. 100

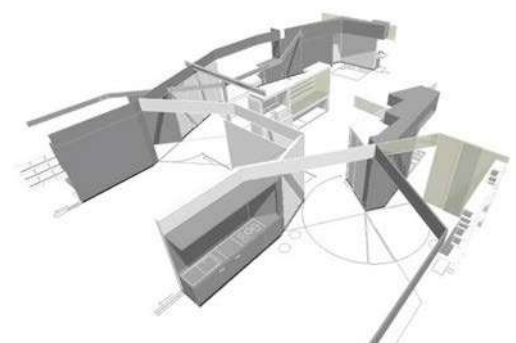


Abb. 101

VISIONÄRE PROJEKTE

2.4.5

Parallel zu den bereits umgesetzten kinetischen Entwürfen und Projekten, gibt es auch einige zeitgenössische Prototypen, sowie visionäre und experimentiellen Ansätze. Diese setzen sich theoretisch und in konzeptuellen Entwürfen mit neuen beweglichen räumlichen Ansätzen auseinander, die über die Architektur hinaus auch Fortschritte und Denkansätze anderer Disziplinen beinhalten.



Abb. 102

2012, Manuel Kretzer, Research-Projekt, ETH Zürich, Phototropia
Phototropia ist ein Prototyp für eine Struktur, bei der elektroaktives Polymere Material verwendet wurde. Es handelt sich um ein selbst agierendes Betriebssystem, das sich dynamisch und durch stetige Formänderungen an wechselnde Umstände anpassen kann. Das System funktioniert über Solarenergie, die über eingebaute Solarzellen gewonnen wird.¹⁵⁶



Abb. 103

2001, James Law, Cybertecture, Hong Kong Government RTHK Artificial Intelligence Media

James Law und sein Architektur- und Innenarchitekturbüro, *Cybertecture*, entwickelte hier eine AI Software mit der der Raum mit den Menschen kommunizieren kann. Dies passiert über Spracherkennung, eine Steuerungsinterface und über Sensoren, die die Präsenz von Personen erkennen. In einem 1:1 umgesetzten Mockup werden von Computern kontrollierte Mechanismen angewendet um, je nach Bedürfnis des Menschen, Wände zu bewegen. Auch ein hydraulischer Bodentisch, sowie ein audiovisuelles System kann aktiviert werden.¹⁶⁰

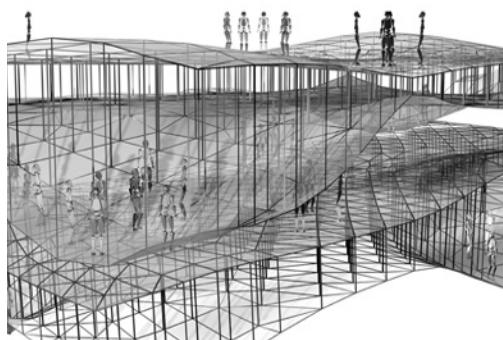


Abb. 104

2006, 5Subzero, Topotransegrity Structure

Im Jahr 2006 wurde von dem Büro *5Subzero* eine Struktur entworfen, die untersucht, wie eine aktive Adaption der Umwelt im öffentlichen Raum angewendet werden kann.¹⁵⁷ Die Struktur basiert auf dem System der „*Tansegrity*“, eine *Buckminster Fuller* und *Kenneth Snelson* zugeschriebene Erfindung: ein Tragwerksystem, das ein stabiles, in sich geschlossenes System bildet und in der Regel nur aus Stäben und Seilen besteht.¹⁵⁸ Der Nutzer erlebt eine multidimensionale, nicht lineare und interaktive Umwelt.¹⁵⁹

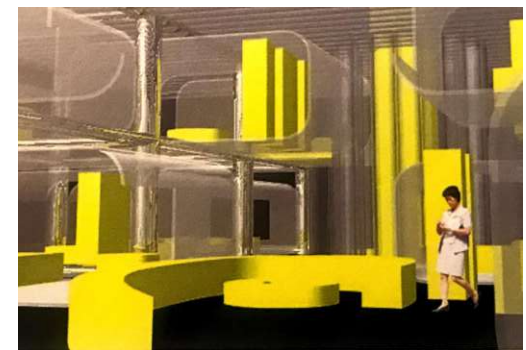


Abb. 105

2002-2004, James Law, Cybertecture, Tolvanen Cybertecture House

Hierbei handelt es sich um ein konzeptuellen Entwurf für ein Haus, das sich von stereotypischen Formen löst und sich stattdessen fließend, an physische und technische Notwendigkeiten anpasst. Der Entwurf beinhaltet flexible „*Trolley*“ Räume, die sich nach den Wünschen richtet, die man über Sprachsteuerung einem virtuellen Charakter zuspricht. Der Entwurf basiert auf dem Versuch einen physischen Raum so interaktiv zu gestalten, wie ein persönliches Computer-Interface.¹⁶¹

2.5

KLASSIFIKATIONEN

Wie schon im Prolog dieses Kapitels erwähnt, gibt es etliche Art und Weisen wie man sich mit sich der kinetischen Architektur beschäftigen kann. Dementsprechend gibt es auch viele Publikationen mit unterschiedlichen Forschungsansätzen, die die Thematik nach unterschiedlichen Gesichtspunkten behandeln. Je nach Forschungsfrage und Perspektive stellen diese auch unterschiedlich Klassifikationen und Definitionen bereit.¹⁶²

Einzelne Gebäude oder Designs können dabei oft nicht ausschließlich einer Kategorie zuge-

teilt werden, sondern ihre Charaktere und Systeme können sehr divers sein und in mehr als einer Kategorie stattfinden.¹⁶³

Im Folgenden wird ein Überblick, einiger bereits bestehender Klassifikationen unterschiedlicher Autoren bereitgestellt. Diese wurden hierfür nach unterschiedlichen Klassifikationskategorien gruppiert. Die Kategorien beziehen sich auf unterschiedliche Ansätze und Gesichtspunkten mit denen sich die Autoren mit der Thematik befassen. Dabei sind folgende Klassifikationsgruppen entstanden:

KLASSIFIKATIONEN IM HINBLICK AUF DIE...	
2.5.1	ART DER BEWEGUNG
2.5.2	SYSTEM - KONFIGURATION und STRUKTUR
2.5.3	DIGITALEN - DESIGN - STRATEGIEN
2.5.4	KONTROLLMECHANISMEN
2.5.5	GRÜNDE FÜR DIE IMPLIKATION DER BEWEGUNG

Klassifikation nach..

2.5.1 ART DER BEWEGUNG:

JAHR	AUTOR	WERK	ANSATZ	KLASSIFIKATIONSGRUPPEN
1967	Karl Popper	<i>Origins and development of kinetic art,</i> (Book) ¹⁶⁴	according to the type and methods and movement in art	<ul style="list-style-type: none"> - virtual & real movement - spatial or non-spatial - Predictable via mechanical methods or unpredictable via natural forced
2010	El Razaz	<i>Sustainable vision of kinetic architecture</i> (Article) ¹⁶⁵	according to the type of movement in architecture	<ul style="list-style-type: none"> - Dynamic - Static
2019	Pelin Saricioglu, M.Tayfun Yildirim,	<i>Kinetic Elements in Residential Designs</i> (Article) ¹⁶⁶	according to the type of movement in space	<ul style="list-style-type: none"> - Folding - Sliding - Shrinking and Expanding - Rotating
2011	Moloney	Designing kinetics for architectural facades (Book) ¹⁶⁷	according to possibilities of movement for architecture to changes with time	<ul style="list-style-type: none"> - Geometric translation in space (translation, rotation, scaling) - Material deformation

Klassifikation nach..

2.5.2 SYSTEM KONFIGURATION und STRUKTUR:

JAHR	AUTOR	WERK	ANSATZ	KLASSIFIKATIONSGRUPPEN
1970	William Zuk, Roger H. Clark	<i>Kinetic Architecture,</i> (Book) ¹⁶⁸	according to architectural applications and structural aspects	<ul style="list-style-type: none"> - Kinetically controlled static structures - Dynamically self-erecting structures <ul style="list-style-type: none"> - Kinetic components - Reversible architecture - Incremental architecture - Deformable architecture - Mobile architecture - Disposable architecture
2000	Michael Fox, B Yeh MIT Kinetic Design Group	<i>Intelligent Kinetic Systems,</i> (Conference Paper) ¹⁶⁹	according to system configuration	<ul style="list-style-type: none"> -Depolyable kinetic structures -Dynamic kinetic structures - Embedded kinetic structures
2005	Snachez-del-Valle	<i>Adaptive Kinetic Architecture: A Portal To Digital Prototyping</i> (Article) ¹⁷⁰	about the categories defined by Zuk & Clark in 1970 (Reduction to three categories)	<ul style="list-style-type: none"> - mechanisms (kinetic components) - reversible and nonreversible self-erecting structures - deformable or transformable structure
2014	Kronenburg	Architecture in Motion, The history and development of portable buildings (Book) ¹⁷¹	according to systems of portable buildings	<ul style="list-style-type: none"> - Portable buildings (transported in whole) - Relocatable buildings (transported in parts) - Demountable buildings (transported in a number of parts)
2016	Naglaa Ali Megahed	Understanding kinetic architecture (Article) ¹⁷²	according to structural innovations	<ul style="list-style-type: none"> - Rigid structures - Membrane structures - Pneumatic structures

Klassifikation nach..

2.5.3 DIGITALEN DESIGN STRATEGIEN:

JAHR	AUTOR	WERK	ANSATZ	KLASSIFIKATIONSGRUPPEN
2005	Snachez-del-Valle	<i>Adaptive Kinetic Architecture: A Portal To Digital Prototyping</i> (Conference Paper) ¹⁷³	according to digital strategies for exploring adaptive kinetic structures	<ul style="list-style-type: none"> - Simulation-based design - Performance-based design - Digital prototyping

Klassifikation nach..

2.5.4 KONTROLLMECHANISMEN:

JAHR	AUTOR	WERK	ANSATZ	KLASSIFIKATIONSGRUPPEN
2000	Michael Fox, B Yeh, MIT Kinetic Design Group	<i>Intelligent Kinetic Systems</i> , (Conference Paper) ¹⁷⁴	according to control technique	<ul style="list-style-type: none"> - Internal control - Direct control - Indirect control - Responsive indirect control - Ubiquitous Responsive indirect control - Heuristic, responsive, indirect control
2011	Nelly Ramzy, Hatem Fayed	<i>Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings</i> , (Article) ¹⁷⁵	according to environmental control systems	<ul style="list-style-type: none"> - Skin unit systems - Retractable elements - Revolving buildings - Biomechanical Systems

Klassifikation nach..

2.5.5 GRÜNDE FÜR DIE IMPLIKATION DER BEWEGUNG:

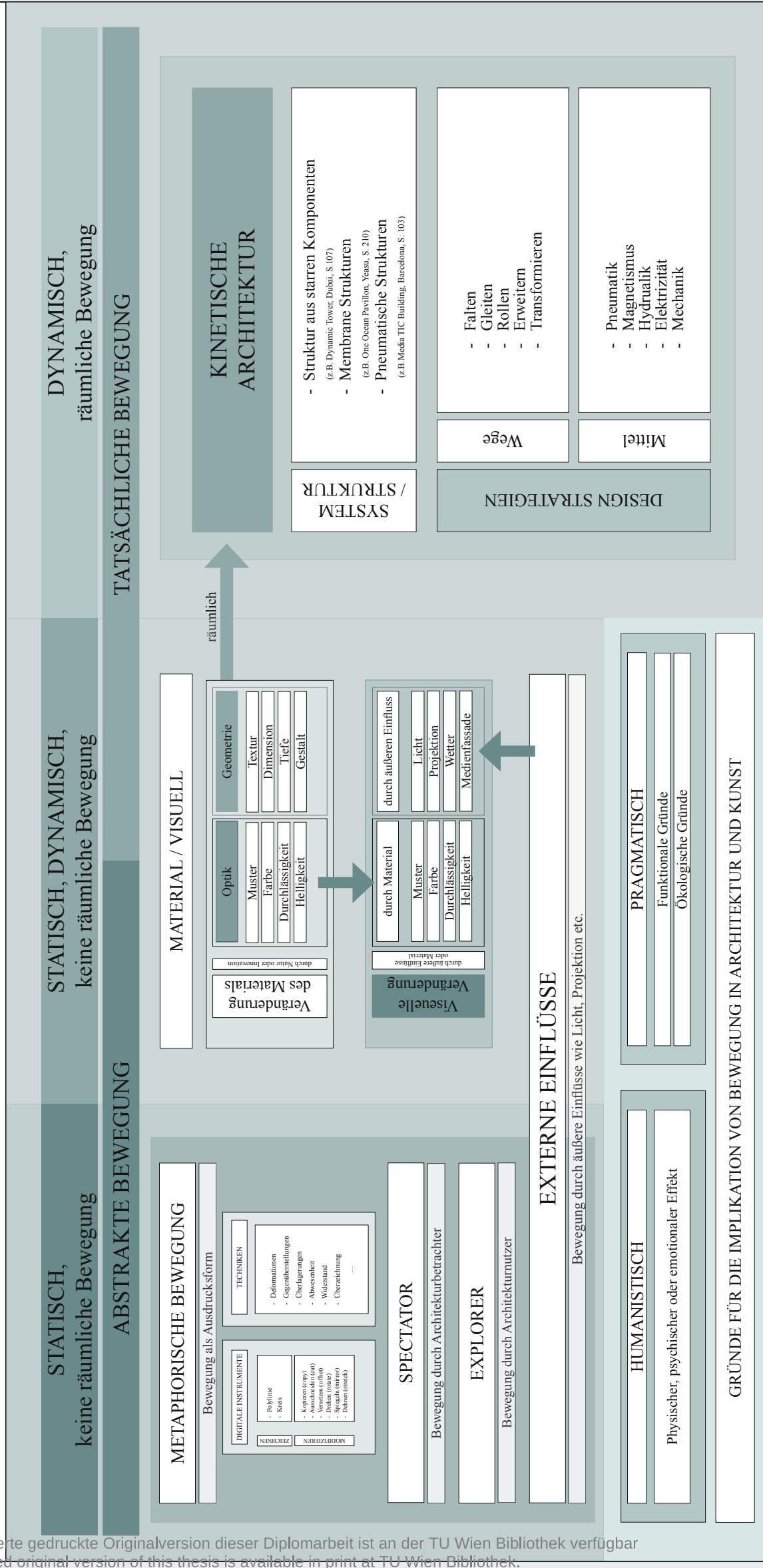
JAHR	AUTOR	WERK	ANSATZ	KLASSIFIKATIONSGRUPPEN
2009	Michael Fox, Miles Kemp	<i>Interactive architecture</i> , (Book) ¹⁷⁶	according to utilities	<ul style="list-style-type: none"> - spatial optimization - multifunction design - contextual adaptability - mobility
2009	Michael Fox, Miles Kemp	<i>Interactive architecture</i> , (Book) ¹⁷⁷	according to approach	<ul style="list-style-type: none"> - pragmatic approach - humanistic approach
2012	Joshua Lee	<i>Adaptable, Kinetic, Responsive, and Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design</i> (Thesis) ¹⁷⁹	according to rationals for implimenting movement in architecture	<ul style="list-style-type: none"> - Economic - Environmental - Technical - Social - Aesthetic
2017	Jan Cudzik, Lucyna Nyka	<i>Reasons for implementing Movement in Kinetic Architecture</i> (Article) ¹⁸⁰	according to reasons for movement	<ul style="list-style-type: none"> - functional qualities - environmental performance - spatial effects - social interactions - new aesthetics
2018	Zeynep Ilerisoy, Merve Pekdemir Basegmez	<i>Conseptual Research of Movement in Kinetic Architecture</i> (Article) ¹⁷⁸	according to its purpose	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibility Status - Harmonization with Physical Environment - Functional Change - Imaginative Change - Location Change
2019	Pelin Saricioglu, M. Tayfun Yildirim,	<i>Kinetic Elements in Residential Designs</i> (Article) ¹⁸¹	according to aim of action	<ul style="list-style-type: none"> - Functional flexibility - Physical environment inspection - Producing and saving energy - Visual transformation and aesthetic

erend auf den Erkenntnissen der zusammengefassten Klassifikationen wurde hier ein **konzeptuelles Gerüst** erarbeitet, welches ersichtlich macht auf welchen Aspekten, in der vorliegende Arbeit, das Interesse und der Fokus liegt. Auch soll hier gezeigt werden, in welcher Beziehungen die einzelnen Gesichtspunkte zueinander stehen. Das Konzeptuelle Gerüst bietet sowohl einen Überblick der Aspekte die die abstrakte Bewegung, welche statisch ist und sich nicht räumlich bewegt, betreffen sowie die tatsächliche, kinetische Bewegung die dynamisch ist und sich räumlich bewegt. Auch die Schnittstelle dazwischen, jener Bereich, wo sich zwar tatsächlich etwas bewegt, allerdings nicht unbedingt räumlich sondern visuell oder auf Grund von innovativen oder naturgegebenen Materialeigenschaften wird in der Grafik zwischen abstrakter und tatsächlicher Bewegung verortet.

Einige der bereits erwähnten Klassifikationen haben erheblichen Einfluss auf die Wahl der Inhalte, die in dieser Arbeit behandelt werden. Insbesondere das von *Naglaa Ali Megahed* erstellte „*conceptual framework*“ das in ihrer Arbeit *Understanding kinetic architecture* vorgestellt wurde, spielt eine wichtige Rolle.¹⁸² Einige ihrer Klassifikationsansätze wurden hier sowohl im selben, als auch in anderem Kontext übernommen. Das Farbschema gibt Hinweis auf die Verortung der Inhalte in der Arbeit.

2.5

KONZEPTUELLES GERÜST



- 1 RAMZY, Nelly, FAYED Hatem, *Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings*, in: *Sustainable Cities and Society*, Elsevier, Volume 1, Issue 3, Netherlands, 2011, S.170.
- 2 RAMZY et al, 2011, S.170.
- 3 SCHUMACHER, Michael, VOGT Michael-Marcus, KRUMME, Luis A. Cardón, *Move*, Birkhäuser Basel, Berlin 2009, S.7.
- 4 SCHUMACHER, Michael, VOGT Michael-Marcus, KRUMME, Luis A. Cardón, *New Move*, Birkhäuser Basel, Berlin, 2019, S.34.
- 5 SCHUMACHER et al, 2019, S.34.
- 6 SCHUMACHER et al, 2019, S.34.
- 7 SCHUMACHER et al, 2019, S.34.
- 8 MEGAHED, Naglaa Ali, *Understanding kinetic architecture: typology, classification, and design strategy*, 2016, in: *Architectural Engineering and Design Management*, Volume 13, No. 2, Taylor & Francis, London, 2017, S.132.
- 9 SCHUMACHER et al, 2019, S.35.
- 10 MEGAHED, 2017, S.132.
- 11 LEE, Joshua David, *Adaptable, Kinetic, Responsive, Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design*, Texas, 2012.
- 12 LEE, 2012, S.38; S. 57; S.78; S.104.
- 13 LEE, 2012, S. 38; S. 57; S.78; S.104.
- 14 MEGAHED, 2016, S.133.
- 15 LEE, 2012.
- 16 SHERBINI, Khaled & KRAWCZYK Robert, *Overview of intelligent architecture*, Dhahran, Saudi Arabien, 2004, in: 1st ASCAAD International Conference: *e-Design in Architecture KFUPM*, Dhahran, Saudi Arabia, 2004, S.137-152.
- 17 WERNER, Carolina De Marco, *Transformable and transportable architecture: Analysis of buildings components and strategies for project design*, Barcelona, 2013.
- 18 MEGAHED, 2016, S.132.
- 19 LEE, 2012, S.58.
- 20 MEGAHED, 2016, S.133.
- 21 DUDEN, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Kinetik>.
- 22 SANCHEZ-DEL-VALLE, Carmina, *Adaptive Kinetic Architecture: A Portal To Digital Prototyping* in: *Annual Conference of the Association for Computer Aided Design In Architecture (ACADIA) 05: Smart Architecture: Integration of Digital and Building Technologies*, Savannah, Georgia, USA, 2005, S.131.
- 23 CAMBRIDGE DICTIONARY, <https://dictionary.cambridge.org/de/worterbuch/englisch/kinetic>
- 24 FOX, Michael, „Kinetic Architectural Systems Design“ in: KRONENBURG, Robert, *Theory, Context Design and Technology, Transportable Environments 2*, Span Press (Francis & Taylor), London & New York, 2003, S.163.
- 25 ZUK, William, CLARK Roger H., *Kinetic Architecture*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1970, S.4.
- 26 SANCHEZ-DEL-VALLE, 2005, S.129.
- 27 ZUK et al, 1970, S.11.
- 28 SHERBINI et al, 2004, S.184.
- 29 FOUAD, Soha Mohamed Abd El-Hady, *Design Methodology: Kinetic Architecture*, Egypt, 2012, S.10.
- 30 ELMOKADEM, Ashraf et al (Prof. Dr. Ashraf Elmokadem, Prof. Dr. Magda Ekram, Dr. Ahmed Waseef, Basma Nashaat), *Kinetic Architecture: Concept, History and Application*, in: *International Journal of Science and Research (IJSR)*, Volume 7, Issue 4, 2018, S.752.
- 31 ELMOKADEM et al, 2018, S.752.
- 32 ELMOKADEM et al, 2018, S.752.
- 33 KRONENBURG, Robert, *Flexible: Architecture that Responds to Change*, Laurence King Publishing Ltd., London, 2007, S.10.
- 34 CUDZIK, Jan & NYKA, Lucyna, *Utopian Kinetic Structures and Their Impact on the Contemporary Architecture*, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 245 052090*, IOP Publishing Ltd, Bristol , 2017, S.1.
- 35 CUDZIK et al, 2017, S.1.
- 36 JORMAKKA, Kari, *genius locomotionis*, Edition Selene, Wien, 2005, S.7.
- 37 JORMAKKA, Kari, *genius locomotionis*, Edition Selene, Wien, 2005, S.7.
- 38 JORMAKKA, Kari, *genius locomotionis*, Edition Selene, Wien, 2005, S.18-19.
- 39 GRÖSEL, Bruno, *Bühnentechnik: meachnische Einrichtung*, 5. Auflage, Oldenbourg, Wien, 2007, S.2.
- 40 JORMAKKA, Kari, *genius locomotionis*, Edition Selene, Wien, 2005, S.18-19.
- 41 HATTON, Hap, *The tent book*, Mariner Books, Boston, 1979, S.81.
- 42 LAUBIN, Reginald, LAUBIN, Gladys, VESTAL Stanley, *The Indian tipi: its history, construction and use*, 2. Edition, Norman, University of Oklahoma Press, Oklahoma, 1977, S.136-137.
- 43 İLERISOY, Zeynep Yeşim & PEKDEMİR BASEGMEZ, Merve, *Conceptual Research of Movement in Kinetic Architecture*, in: *Gazi University Journal of Science GUJS*, Gazi, 2018, S.342-343.
- 44 KRONENBURG, 2007, S.10-11.
- 45 MELKI, H. *Windows as environmental modifiers in Lebanese vernacular architecture*, in: PLEA 2006, *Conference of passive and low energy architecture*, Geneva, Switzerland, 2006, S.2-3.
- 46 RAMZY et al, 2011, S.171.
- 47 İLERISOY et al, 2018. S.1.
- 48 <https://de.thpanorama.com/blog/historia/los-30-inventos-de-leonardo-da-vinci-ms-importantes.html>.
- 49 İLERISOY et al, 2018. S.1.
- 50 <https://de.thpanorama.com/blog/historia/los-30-inventos-de-leonardo-da-vinci-ms-importantes.html>.
- 51 TABACKI, Nebojsa, *Kinetische Bühne*, Transcript Verlag, Bielefeld, 2014, S.21.
- 52 GRÖSEL, Bruno, *Bühnentechnik: meachnische Einrichtung*, 5. Auflage, Oldenbourg, Wien, 2007, S.2.
- 53 GRÖSEL, Bruno, *Bühnentechnik: meachnische Einrichtung*, 5. Auflage, Oldenbourg, Wien, 2007, S.2.
- 54 BRAUNECK, Manfred, *Die Welt als Bühne : Geschichte des europäischen Theaters*. Band 1. Metzler, Stuttgart, 1993, S.453.

- 55 GRÖSEL, Bruno, *Bühnentechnik: meachnische Einrichtung*, 5. Auflage, Oldenbourg, Wien, 2007, S.3.
- 56 GRÖSEL, Bruno, *Bühnentechnik: meachnische Einrichtung*, 5. Auflage, Oldenbourg, Wien, 2007, S.3.
- 57 GRÖSEL, Bruno, *Bühnentechnik: meachnische Einrichtung*, 5. Auflage, Oldenbourg, Wien, 2007, S.3.
- 58 GRÖSEL, Bruno, *Bühnentechnik: meachnische Einrichtung*, 5. Auflage, Oldenbourg, Wien, 2007, S.3.
- 59 RAMZY et al, 2011, S.171.
- 60 CUDZIK, Jan, *Contemporary approach towards responsive architecture*, in: *5th SGEM International Multidisciplinary Scientific Conferences on SOCIAL SCIENCES and ARTS SGEM2018*, Polen, 2018, S.2.
- 61 (<https://www.schlosslinderhof.de/deutsch/schloss/bild08.htm>)
- 62 (<https://www.schlosslinderhof.de/deutsch/schloss/bild08.htm>)
- 63 İLERISOY et al, 2018, S.343.
- 64 CUDZIK, Jan, *Change Taking place in the kinetic architecture over the 20th and 21st centuries*, in: *Space & Form*, Issue 38, Polen, 2019, S.22.
- 65 CUDZIK, 2019, S.22.
- 66 RAMZY et al, 2011, S.171.
- 67 RAMZY et al, 2011, S.171.
- 68 CUDZIK, 2019, S.23.
- 69 AFZALI, Narges & HAMZEHLUO, Sara, *Kinetic, an innovative approach in contemporary architecture*, in: *International Conference on modern reasearch in civil engineering, architectural, and urban developement*, Volume 5, Iran, 2016, S.182.
- 70 CUDZIK, 2019, S.23.
- 71 ZIJLSTRA, Hielkje, *Rietveld originals- handle with care*, in: *SASBE09, 3rd CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Environments*, Delft, 2009, S.7.
- 72 ELMOKADEM et al, 2018, S.752.
- 73 <https://hiddenarchitecture.net/villa-girasole/>.
- 74 RANDL Chad, *Revolving architecture: a history of buildings that rotate, Swivel, and Pivot*, Princeton Architectural Press, New York, 2008, S.75.
- 75 AFZALI et al, 2016, S.183-184.
- 76 SCHUMACHER et al, 2019, S.35.
- 77 AFZALI et al, 2016, S.184.
- 78 CUDZIK et al, 2017, S.1-4.
- 79 CUDZIK, 2019, S.21-27.
- 80 ELMOKADEM et al, S.752.
- 81 CUDZIK et al, 2017, S.2.
- 82 BALLARD, James G. *The thousand dreams of Stellavista in Vermilion Sands*, London, 1962 und 1971.
- 83 KOLAVERIC Branko & PARLAC Vera, *Building dynamics: Exploring architecture of Change*, Taylor & Francis, New York, 2015, S.16.
- 84 ELMOKADEM et al, 2018, S.752.
- 85 AFZALI et al, 2016, S.185.
- 86 ZUK et al, 1970.
- 87 ZUK et al, 1970.
- 88 ELMOKADEM et al, 2018, S.753.
- 89 KOLAVERIC et al, 2015, S.18.
- 90 NEGROPONTE, Nicholas, *Soft Architecture Machines*, MA: MIT Press, Cambridge, 1975.
- 91 KOLAVERIC et al, 2015, S.18.
- 92 EASTMAN, Charles, *Adaptive-Conditional Architecture* in Nigel Cross (ed.), *Design Participation: Proceedings of the Design Research Society Conference*, London, 1971, S.51-57.
- 93 CUDZIK et al, 2017, S.3.
- 94 <https://iqbalaalam.wordpress.com/2011/12/05/cedric-price-influential-architect-and-theoritician/>.
- 95 CUDZIK et al, 2017, S.3.
- 96 CUDZIK et al, 2017, S.4.
- 97 CUDZIK et al, 2017, S.1
- 98 CUDZIK et al, 2017, S.4-5.
- 99 ZUK et al, 1970, S.4.
- 100 CUDZIK et al, 2017, S.2.
- 101 <https://www.faz.net/aktuell/feuilleton/documenta-empfehlung-das-new-babylon-des-kuenstlers-constant-172956.html>.
- 102 <https://www.faz.net/aktuell/feuilleton/documenta-empfehlung-das-new-babylon-des-kuenstlers-constant-172956.html>.
- 103 CUDZIK et al, 2017, S.2.
- 104 <https://www.faz.net/aktuell/feuilleton/documenta-empfehlung-das-new-babylon-des-kuenstlers-constant-172956.html>.
- 105 CUDZIK, 2018, S.2.
- 106 <https://www.faz.net/aktuell/feuilleton/documenta-empfehlung-das-new-babylon-des-kuenstlers-constant-172956.html>.
- 107 <https://www.faz.net/aktuell/feuilleton/documenta-empfehlung-das-new-babylon-des-kuenstlers-constant-172956.html>.
- 108 CUDZIK et al, 2017, S.3.
- 109 CUDZIK et al, 2017, S.3.
- 110 CUDZIK et al, 2017, S.4.
- 111 CUDZIK et al, 2017, S.3.
- 112 CUDZIK et al, 2017, S.4.
- 113 ELMOKADEM et al, 2018, S.753.
- 114 <https://medium.com/designscience/1976-22121bb498c4>.
- 115 CUDZIK et al, 2017, S.4.
- 116 CUDZIK et al, 2017, S.4.
- 117 AFZALI et al, 2016, S.186.
- 118 CUDZIK, 2019, S.23.
- 119 <https://www.calatrava.com/projects/ernstings-warehouse-coesfeld.html>.
- 120 CUDZIK, 2019, S.23.
- 121 AFZALI et al, 2016, S.186.
- 122 LEE, 2011, S.13.
- 123 CUDZIK, 2019, S.23.
- 124 CUDZIK, 2019, S.27.
- 125 KHALED, Sherbini & KRAWCZYK, Robert, *Overview of intelligent architecture*, in: *1st ASCAAD International Conference, e-Design in Architecture KFUPM*, Saudia Arabia, 2004, S.138 (<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.73.2649>).

126 CUDZIK, 2019, S.24.

127 KOLAREVIC, Branko, *Architecture in the digital age. Design and manufacturing*, London and New York, Routledge, 2016, S.3.

128 CUDZIK, 2019, S.24-25.

129 AFZALI et al, 2016, S.187.

130 AFZALI et al, 2016, S.190.

131 <https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects>.

132 <https://www.dailytonic.com/dynamic-facade-kiefer-technic-showroom-by-ernst-giselbrecht-partner-at/>.

133 AFZALI et al, 2016, S.189.

134 AFZALI et al, 2016, S.189.

135 <https://inhabitat.com/heliotrope-the-worlds-first-energy-positive-solar-home/>.

136 <https://www.dezeen.com/2007/04/07/glenn-howells-in-dubai/>.

137 https://www.academia.edu/16439094/Suite_Vollard_Brazil.

138 AFZALI et al, 2016, S.190.

139 <https://www.ubm-development.com/magazin/rotating-tower-dubai/>.

140 <https://dubai-experience.com/dynamic-tower-project/>.

141 <https://www.ubm-development.com/magazin/rotating-tower-dubai/>.

142 <https://dubai-experience.com/dynamic-tower-project/>.

143 <https://verdeprofilo.com/en/news-and-blog/david-fisher-dynamic-tower>.

164 POPPER, Frank, *Origins and development of kinetic art*, New York Graphic Society Ltd, Greenwich, 1968, S.251.

165 EL RAZAZ, Zeinab, *Sustainable vision of kinetic architecture*, in: *Journal of Building Appraisal*, Vol. 5, 4, Macmillan Publisher Ltd., Egypt, 2010, S.343.

166 SARICIOGLU, Pelin & YILDIRIM, M.Tayfun, *Kinetic Elements in Residential Designs*, in: Gazi University Journal of Science, 32 (1), Gazi, 2019, S.39-61 (<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/660187>).

167 MOLONEY, Jules, *Designing kinetics for architectural facades, State Change*, Routledge (Taylor & Francis), USA & Canada, 2011, S.7.

168 ZUK et al, 1970, S.33-133.

169 FOX, Michael & YEH, Bryant, *Intelligent Kinetic Systems in Architecture*, in: Nixon P., Lacey G., Dobson S. (eds) *Managing Interactions in Smart Environments*, Springer, London, 2000, S.93-103.

170 SANCHEZ-DEL-VALLE, 2005, S.130.

171 KRONENBURG, Robert, *Architecture in Motion*, Routledge (Taylor & Francis), USA & Canada, 2014, S.3.

172 MEGAHED, 2016, S.136.

173 SANCHEZ-DEL-VALLE, 2005, S.137.

174 FOX et al, 2000, S.93-103.

175 RAMZY et al, 2011, S.176.

176 FOX, Michael & KEMP, Miles, *Interactive Architecture*, Princeton Architectural Press, New York, 2009, S.31.

177 FOX et al, 2009, S.31.

178 İLERISOY et al, 2018. S.344-345.

144 <https://www.ubm-development.com/magazin/rotating-tower-dubai/>.

145 <https://verdeprofilo.com/en/news-and-blog/david-fisher-dynamic-tower>.

146 RAMZY et al, 2011, S.172.

147 RAMZY et al, 2011, S.172.

148 RAMZY et al, 2011, S.172.

149 RAMZY et al, 2011, S.172.

150 KIM, Harry, „*Structural Performance of Spoke Wheel Roof Systems*“, Massachusetts Institute of Technology, 2017, S.12.

151 RAMZY et al, 2011, S.172.

152 KRONENBURG, 2007, S.149-150

153 ELMOKADEM et al, S.755.

154 <https://www.kalhoefer-korschildgen.de/de>

155 CUDZIK et al, 2017, S.5.

156 CUDZIK, 2019, S.26.

157 CUDZIK et al, 2017, S.5.

158 <https://mug.didaktik-graz.at/Files/Mathematikum/Tensegrity.pdf>.

159 CUDZIK et al, 2017, S.5.

160 KRONENBURG, 2007, S.226.

161 KRONENBURG, 2007, S.224.

162 MEGAHED, 2016, S.132.

163 MEGAHED, 2016, S.132.

180 CUDZIK, Jan & NYKA, Lucyna, *Reasons for implementing Movement in Kinetic Architecture*, in: *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 245 042073*, 2017, S.1.

181 SARICIOGLU et al, S.43.

182 MEGAHED, 2016, S.135.

03

*DESIGN
STRATEGIEN*

*„Jede Bewegung verläuft in der Zeit
und hat ein Ziel.“*

- Aristoteles

PROLOG

DESIGN STRATEGIEN

Wenn sich Objekte im Raum bewegen hat dies immer eine Wirkung auf unsere Wahrnehmung. Mit manchen Bewegungsabläufe in unserer gebauten Umwelt sind wir tagtäglich konfrontiert und sie sind unabdingbar, um die Funktion gewisser Objekte zu gewährleisten. Manchmal können bewegliche Objekte im Raum aber auch prägend für die ästhetische Wahrnehmung sein. Sie können eine überraschende, fesselnde und kunstvoll eindruckliche Wirkung auf uns haben.

Die Herangehensweise für die Gestaltung kinetischer Systeme und Strukturen ist sehr umfassend. Die Ästhetik einer Bewegung kann in ihrem Ablauf vielseitig inspiriert, durch natürliche Umstände eingeschränkt und durch unterschiedliche Gestaltungsparameter gesteuert werden. Einige Umstände und Strategien, die das Design kinetischer Abläufe beeinflussen, werden in dem vorliegenden Kapitel besprochen.

In erster Linie unterliegt jede Bewegung den Regeln der Physik. Die bewegliche Gestaltung von Bauteilen in der Architektur und der Kunst fällt in den Teilbereich der (technischen) Mechanik. Diese überträgt physikalische Grundlagen auf technische Systeme. Auf einige **Grundlagen aus der Physik** und insbesondere der **Mechanik** wird in dem ersten Teil des vorliegenden Kapitels eingegangen.

Ebenso wird in dem Teilbereich **Typologien** besprochen, wie eine Bewegung in der Architektur gestaltet sein kann und durch welche Eigenschaften eine Bewegung bestimmt ist.

Ein weiterer Aspekt der in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle spielt ist die **Materialwahl**. Die Beschaffenheit der einzelnen Bauteile hinsichtlich **Material und Form** steht in direktem Zusammenhang mit dem Einsatz unterschiedlicher **Bewegungsarten und -typologien**.

ÜBERSICHT

DESIGN STRATEGIEN

03		DESIGN STRATEGIEN			
3.1		3.2		3.3	
GRUNDLAGEN		TYPOLOGIEN		MATERIALIEN	
3.1.1	Grundbegriffe	3.2.1	Starre Bauteile	3.3.1	Innovation
3.1.2	Bewegungsformen			3.3.2	Bioinspiriert
3.1.3	Bewegungsarten	3.2.2	Weiche Bauteile	3.3.3	3D - Druck

3.1

GRUNDLAGEN AUS DER MECHANIK

„Mechanik ist die Lehre von Wirkung der Kräfte“

„Aufgabe der Mechanik ist es, die Bewegungszustände von Körpern zu untersuchen und zu beschreiben.“⁸

Der Teilbereich der Physik, welcher die Gesetzmäßigkeiten, nach denen die Bewegung materieller Körper verläuft, untersucht, heißt **Mechanik**. Die Bewegung erfolgt unter dem Einfluss von Kräften, die in der Mechanik als bekannt vorausgesetzt werden.¹

Das Wort Mechanik kommt ursprünglich aus dem griechischen, „μηχανική τέχνη, *mechané*“, was „*Maschine, Kunstgriff, Wirkungsweise*“ bedeutet.²

Zur Einteilung der Mechanik gibt es mehrere Möglichkeiten. Je nach dem welcher Gesichtspunkt im Zentrum der Betrachtung steht, kann eine andere Einteilung herangezogen werden.

AGGREGATZUSTÄNDE

Eine wichtige Einteilung der Mechanik erfolgt bezüglich der **Aggregatzustände**.^{3,4}

1. Festkörpermechanik
2. Fluidmechanik
 - Flüssige Körper
 - Gasförmige Körper

Im Zusammenhang mit der Architektur ist vor allem die Festkörpermechanik relevant, weil es meist feste Körper sind, die die gebaute Umwelt und die darin vorkommenden Bauteile bestimmen.⁵

Zu den festen Körper zählen starre, elastische und plastische Körper. Die Zuteilung eines Körpers zu einer Kategorie erfolgt je nach seinem Verhalten in der eingesetzten Anwendung und Dimension.⁶

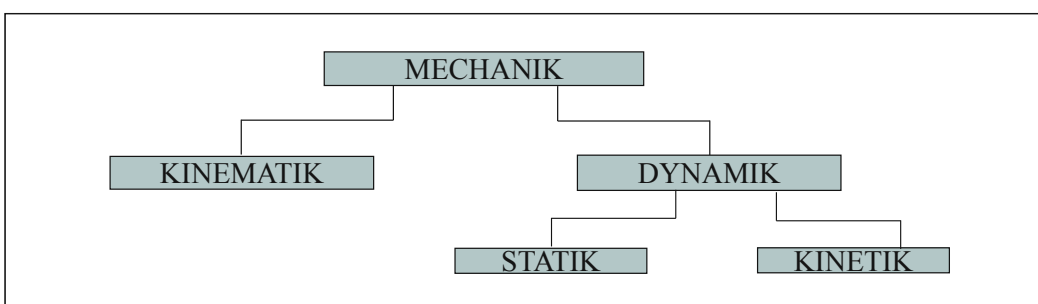
In der Architektur werden typischerweise starre Bauteile in Kombination mit Gelenken verwendet um Bewegung zu ermöglichen. Ebenso wächst allerdings das Einsatzgebiet elastischer Baustoffe und geht bereits über die klassische Anwendung biegsamer Zeltstangen hinaus.⁷

Ein Einblick in den Forschungsstand zu solch innovativen Materialien die Bewegung begünstigen wird in 3.3 gegeben.

GRUNDBEGRIFFE

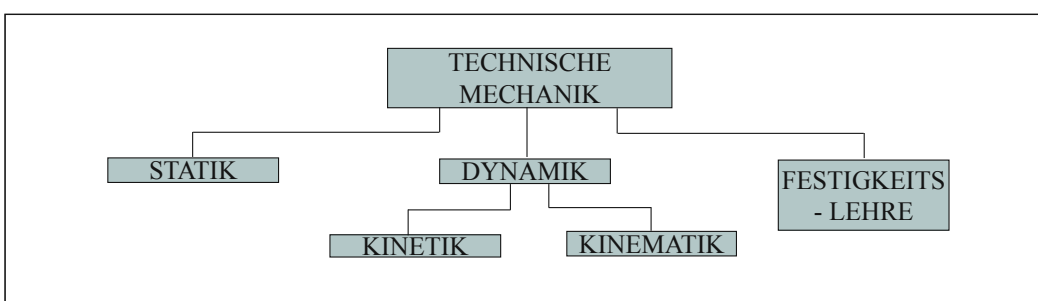
MECHANIK IM FACHBEREICH PHYSIK

Eine häufig genutzte Einteilung der Mechanik aus dem Fachbereich der Physik bezieht sich auf die sogenannte theoretische oder klassische Mechanik. Hierbei wird zwischen der **Kinematik** und der **Dynamik** unterschieden, wobei die Dynamik wiederum unterteilt wird in die **Statik** und die **Kinetik**.⁹



FACHBEREICH TECHNISCHE MECHANIK

Die Einteilung im Fachbereich der technische Mechanik unterscheidet sich dadurch, dass die **Dynamik** neben der **Statik** und der **Festigkeitslehre** steht, wobei die Dynamik wiederum in Kinetik und Kinematik unterteilt wird.¹⁰



Das Wort „**Kinematik**“, die Bewegungslehre kommt aus dem griechischen „*kinema*“, was „*Bewegung*“ bedeutet.¹¹

Die Kinematik beschreibt Bewegungszustände mit rein geometrischen Veränderungen eines Körpers über die Zeit. Dabei sind neben ortsbezogene Veränderungen auch Größen wie Zeit/Dauer, Geschwindigkeit und Beschleunigung im Zentrum der Betrachtung. Nicht berücksichtigt werden die wirkenden Kräfte und die Masse. Es geht also um die Beschreibung einer Bewegung und nicht um die Ursache der Bewegungsänderung.¹²

Das Wort „**Dynamik**“ stammt von dem griechischen Wort „*dynamis*“, was „*Kraft*“ bedeutet.¹³

Der Bewegung eines Körpers geht immer eine auf diesen wirkende Kraft voraus.¹⁴ Dementsprechend befasst sich die Dynamik mit der Wirkung von Kräften und beschreibt Bewegungszustände im Hinblick auf die einwirkenden Kräfte, die diese hervorrufen.¹⁵

Wenn eine auf den Körper wirkende Kraft überwiegt wird der Körper in einen Bewegungszustand versetzt - dieser Fall wird mit der **Kinetik** beschrieben.¹⁶

Wenn die Kräfte im Gleichgewicht sind und der Körper somit unbewegt (unbeschleunigter Körper) ist, spricht man von der **Statik**.¹⁷

GRUNDBEGRIFFE

Im physikalischen Sinne versteht man unter **Bewegung** die Änderung des Ortes eines physikalischen Körpers mit der Zeit, relativ zu einem Bezugssystem oder einem Bezugskörper.¹⁸

Es wurde bereits erwähnt, dass sich die Kinematik mit der geometrischen Beschreibung von Bewegungsabläufen unter Berücksichtigung von den Größen Zeit, Ort, Beschleunigung und Geschwindigkeit, befasst. Die Auseinandersetzung mit einiger Möglichkeiten für die Beschreibung einer Bewegung findet im Folgenden statt.

BEWEGUNG und RUHE

Um festzustellen, ob sich ein Körper in Bewegung befindet, muss die Beurteilung dessen in Relation zu einem Bezugssystem oder einem Bezugskörper stattfinden (Gebäude bzgl. Sonne = Bewegung; Gebäude bzgl. Erdoberfläche = Ruhe). Wenn sich die Lage des Körper gegenüber einem Bezugssystem ändert (rollender Ball bzgl. Erdoberfläche), so ist dieser in Bewegung. Ändert sie sich nicht, so spricht man von Ruhe (Gebäude bzgl. Erdoberfläche).¹⁹

FREIHEITSGRADE

Die Bewegungsmöglichkeiten eines Körpers werden als Freiheitsgrad bezeichnet. Je nach dem ob sich der Körper in einer Ebene, entlang einer Linie oder frei im Raum bewegen kann, unterscheidet man zwischen einem, zwei oder drei Freiheitsgraden.²⁰

Freie Bewegung:

Der Körper kann sich uneingeschränkt in allen drei Dimensionen bewegen.

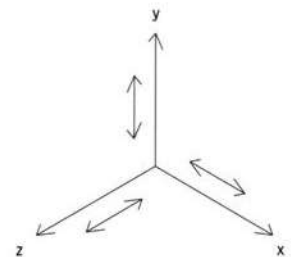
Gebundene Bewegung:

Der Körper ist durch eine Zwangsbindung (z.B. Zuggleis) eingeschränkt.

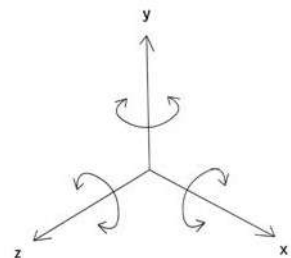
RÄUMLICHE und ZEITLICHE Betrachtung von Bewegung

Die Beschreibung einer Bewegung kann auf unterschiedliche Arten und im Bezug auf unterschiedliche Kriterien erfolgen. Die **Bewegungsformen** beschreiben den **räumlichen** Verlauf einer Bewegung, also in was für einer Bahn sich dieser bewegt. Mit den **Bewegungsarten** wird der **zeitliche** Verlauf der Bewegung beschrieben.²¹

TRANSLATION Geradlinige Bewegung

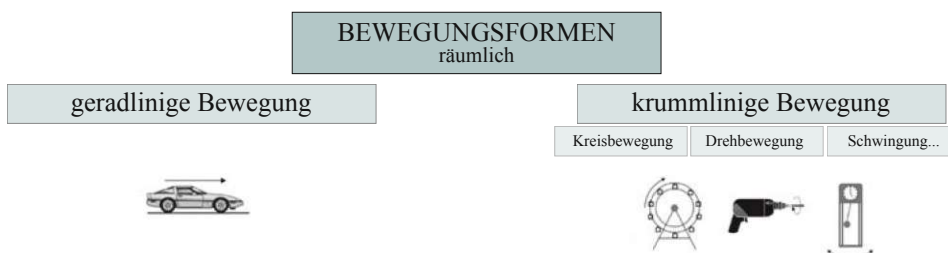


ROTATION Drehbewegung



Sowohl bei der Translation, als auch bei der Rotation, lassen sich jeweils drei Freiheitsgrade der Bewegung bestimmen.

BEWEGUNGSFORMEN



Bezüglich der räumlichen Betrachtung einer Bewegung unterscheidet man grundsätzlich zwischen zwei Formen von Bewegung:

Die geradlinige Bewegung (Translation):

Die geradlinige bzw. lineare Bewegung, oder auch Translationsbewegung, beschreibt den Zustand, wenn ein Körper sich, während der gesamten Bewegung, auf einer geraden Bahnkurve bewegt. Ein Beispiel dafür ist ein Auto, welches auf einer langen geraden Autobahnstrecke fährt.²²

Die krummlinige Bewegung:

Wie der Name schon vermuten lässt, verlaufen krummlinige Bewegungen auf gekrümmten Bahnen. Dabei kann es sich zum Beispiel um einen Ball handeln, der geworfen wird und in einem Bogen fliegt. Zwei Spezialfall der krummlinigen Bewegung sind die Kreisbewegung (inkl. Drehbewegung/Rotation) und die Schwingung.²³

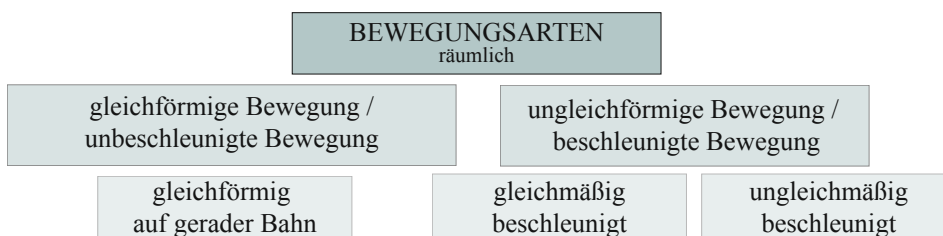
Kreisbewegung: Körper bewegt sich entlang einer kreisförmigen Bahn

Drehbewegung/Rotation: Körper bewegt sich um seine eigene Achse.

Schwingung: Körper bewegt sich zwischen zwei Punkten hin und her.

BEWEGUNGSARTEN

BEWEGUNGSARTEN



Neben der räumlichen Unterscheidung gibt es noch eine wichtige Einteilung der Bewegung nach ihrem zeitlichen Verlauf, wobei hier verschiedene Bedingungen für die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Körpers gelten.²⁴

Gleichförmige Bewegung/unbeschleunigte Bewegung:

Die gleichförmige Bewegung kennzeichnet sich dadurch, dass sich der Körper mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Der Betrag und die Richtung der Geschwindigkeit bleiben über die gesamte Bewegungsdauer hinweg unverändert - es findet keine Beschleunigung statt. Beispiel: Ein Auto, das auf einer geraden Strecke mit einer gewissen Geschwindigkeit fährt.²⁵

Ungleichförmige Bewegung/beschleunigte Bewegung:

Die ungleichförmige Bewegung ist dadurch gekennzeichnet, dass sich der Körper mit veränderlicher Geschwindigkeit bewegt. Der Betrag der Geschwindigkeit oder die Richtung des Körpers, oder beides, sind nicht konstant - es findet eine Beschleunigung statt. Beispiel: Eine Straßenbahn, die anfährt und dabei beschleunigt.²⁶

Hierbei können wiederum zwei Fälle unterschieden werden:

gleichmäßig beschleunigte Bewegung: Beschleunigung ist konstant

ungleichmäßig beschleunigte Bewegung: Wert der Beschleunigung ändert sich

TYPOLOGIEN

DER BEWEGUNG IN DER ARCHITEKTUR

Ein Gebäude kann in seiner Gesamtheit beweglich sein, wie beispielsweise ein Haus, welches sich um die eigene Achse dreht. Ebenso können einzelne Räume innerhalb oder aus der Außenhülle hinaus bewegt werden um beispielsweise den Innenraum zu vergrößern oder Außenflächen zu schaffen. Am geläufigsten sind allerdings Bewegungen in kleinerem Maßstab, wobei es darum geht, Raum begrenzende Flächen und Bauteile zu bewegen.²⁷

Einer gesamtheitlichen, großmaßstäblichen Bewegung liegen oft kleinere, detailliertere Bewegungsabläufe zugrunde, welche sich in ihrem Typus, ihrer Geometrie und Komplexität von dem sichtbaren Bewegungsablauf im großen Maßstab unterscheiden. Der mechanische oder theoretische Bewegungstyp unterscheidet sich also manchmal von dem funktionsgemäßen.²⁸ Der Bewegungsablauf des Öffnens einer Türe zum Beispiel, sieht auf der Makroebene oft nach einer einfachen Drehung aus - auf der Mikroebene unterliegt die Bewegung allerdings

komplexen kinetischen Verkettungen, in Folge welcher das Scharnier erst aus der Ebene gehoben und dann, in einer weiteren Bewegung, gedreht wird.²⁹ Manchmal ist also für die Umsetzung einer Hauptbewegung, eine Summe an voneinander abhängigen Einzelbewegungen erforderlich - dies bezeichnet man als die Systemtiefe. Für die baupraktische Umsetzung einer gewünschten Bewegung ist also, je nach Komplexität der Anforderung, eine andere Systemtiefe erforderlich.³⁰

Wenn man die Bewegungsabläufe in der Architektur betrachtet und Bewegungstypologien bestimmt werden sollen, gilt es in erster Linie zu unterscheiden, was für eine Art von Bauteil bewegt werden soll. Hierbei hält sich diese Arbeit an die Einteilung in **starre** und **weiche (deformierbare) Bauteile**, welche in dem Buch „Move“ von *Michael Schumacher, Oliver Schaeffer und Michael Markus Vogt* vorgenommen wurde.³¹

STARRE BAUTEILE

Traditionell findet die Bewegung meist in Form von starren Körpern, welche durch gelenkige Verbindung zu beweglichen Bauteilen zusammengefügt werden, ihren Weg in die Architektur.³²

Dabei gibt es unterschiedliche Möglichkeiten wie die Bewegungen gestaltet sein kann, wobei sie immer auf die beiden Grundbewegungen, „**Schieben**“ (Translation) und „**Drehen**“ (Rotation), oder eine Kombination dieser zurückzuführen sind.³³

Diese beiden Grundbewegungen wurden bereits in dem Kapitel „Grundlagen aus der Mechanik“ erwähnt. Die Translation beschreibt die geradlinige Bewegung wobei sich ein Objekt im Raum parallel zu den Koordinatenachsen verschiebt. Die Rotation beschreibt die Drehung eines Objekts um die Koordinatenachsen.³⁴

Alle mechanischen Bewegungen starrer Bauteile in der Architektur lassen sich zwar auf diese beiden Grundbewegungen „Schieben“ und „Drehen“, oder eine Kombination dieser zurückführen, allerdings wird bei dieser Einteilung weder die Lage der Gelenke, noch die Schwerkraft des zu bewegenden Körpers berücksichtigt, weswegen es in der Architektur Sinn macht eine weitere Systematisierung, nach Bewegungstypen, vorzunehmen.³⁵

Basierend auf der Rotation spielen die Be-

griffe **Drehen**, **Rotieren** und **Klappen** eine Rolle. Das Drehen bezeichnet eine Hin- und Herbewegung des Körpers um seine eigene Schwerachse, wobei typischerweise ein Anschlag die Drehbewegung in beide Richtungen begrenzt. Beim Rotieren hingegen bewegt sich der Körper komplett, also 360° um die eigene Schwerachse. Wenn die Drehachse außerhalb der Schwerachse liegt, so bezeichnet man die Bewegung als Klappen.












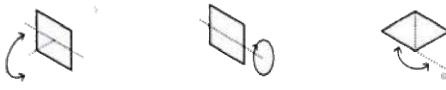
















Auf die Grundform der Translation sind die Bewegungen des **parallelen** und **senkrechten Schiebens** zurückzuführen. Der Körper ändert bei dieser Art der Bewegung seine Position im Raum bei gleich bleibender Ausrichtung.

Weiters gibt es Bewegungen, die sowohl die Dreh- als auch die Schiebewegung beinhalten. Dabei lässt sich der architektonische Bewegungstypus des **Faltens** ableiten, wobei eine gelenkige Verbindung von mindestens zwei Bauteilen entlang ihrer Kanten besteht.

Diese Systematisierung von *Michael Schumacher*, *Oliver Schaeffer* und *Michael Markus Vogt* wurde in dem Buch „*Move*“ aus dem Jahr 2010 vorgenommen. Eine visuelle Zusammenfassung und Veranschaulichung dieser unterschiedlichen Bewegungstypen aus dem Buch befindet sich im Anschluss, gefolgt von jeweils einem Beispiel zu den Bewegungstypen aus der Architektur.

STARRE BAUTEILE

BEWEGUNG AUS STARREN BAUTEILEN³⁶

<p>MECHANISCHER ÜBERBEGRIFF</p> <p>ARCHITEKTONISCHER TYPUS</p>	<p>ROTATION</p>  <p>wechselndes Drehen</p>  <p>Rotieren</p>  <p>Klappen</p> 	<p>ROTATION und TRANSLATION</p>  <p>Falten</p>  <p>Doppeltes Falten</p> 	<p>TRANSLATION</p>  <p>Paralleles Schieben</p>  <p>Senkrecht Schieben</p> 
<p>HORIZONTAL (FLÄCHE)</p> <p>VERTIKAL (FLÄCHE)</p> <p>EBEN (FLÄCHE)</p>	  	  	  
<p>HORIZONTAL (VOLUMEN)</p> <p>VERTIKAL (VOLUMEN)</p> <p>EBEN (VOLUMEN)</p>	  	  	  

3.2.1

DREHEN

LAVRARIA DA VILA
Sao Paulo, Brasilien, 2007
Isay Weinfeld

Das im Jahr 2007 zu einer Buchhandlung umgebaute zweigeschossige Gebäude ist mit einem vom Thema Buch geprägten Innenraum gestaltet - Innenwände, Treppenläufe und Brüstungen sind komplett aus Bücherregalen gestaltet. Diese und zahlreiche Sitzmöglichkeiten unterstützen den Bibliothekscharakter und leiten den Besucher durch den freien Grundriss.³⁷ Über eine Fassade, welche im Erdgeschoss aus fünf drehbaren Bücherregalen besteht, wird das Thema Buch auch nach Außen getragen. Die Regale sind im gleichen Stil wie der Innenraum gestaltet und dienen in geschlossenem Zustand als Raumabschluss und Schaufenster - wird das Geschäft geöffnet so können die Regale über eine Seitenachse in den Innenraum gedreht werden und schaffen eine einladende Eingangssituation.³⁸



Abb. 107



Abb. 108

3.2.1

ROTIEREN

MPAVILION 2017 Melbourne, Australien, 2017 Office for Metropolitan Architecture (OMA)

Der MPavilion aus dem Jahr 2017 entstand im Rahmen einer jährlich stattfindenden Architekturveranstaltung in Melbourne. Er ist ein öffentliches Gebäude und dient als Kulturstätte wo Veranstaltungen zum Thema Architektur, Kultur und Design abgehalten werden. Der Pavillon besteht aus einer zentralen Bühnenfläche welche von einem zweiteiligen Amphitheater umfasst wird sowie aus einem offenen, 2m hohem Kasettendach. Das kleinere Tribünenelement hat die Form eines Viertelkreises und kann manuell, von zwei Personen, um eine der wenigen Stützen, welche das Kasettendach tragen, gedreht werden. Dadurch entstehen unterschiedliche Bühnenkonstellationen. Entweder ist das Tribünenelement der mittigen Fläche zugewandt oder dessen Rückseite bildet eine Rückwand und schließt die Bühnenfläche einseitig ab.³⁹

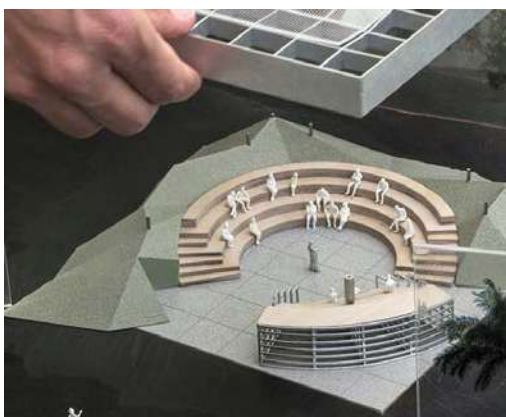
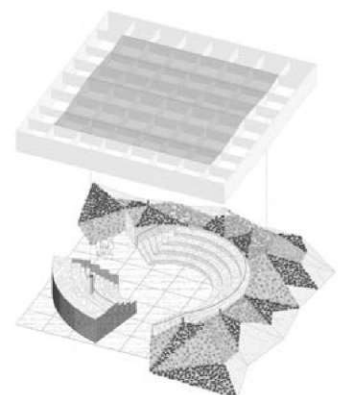
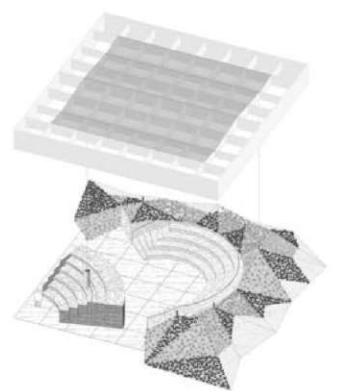


Abb. 109

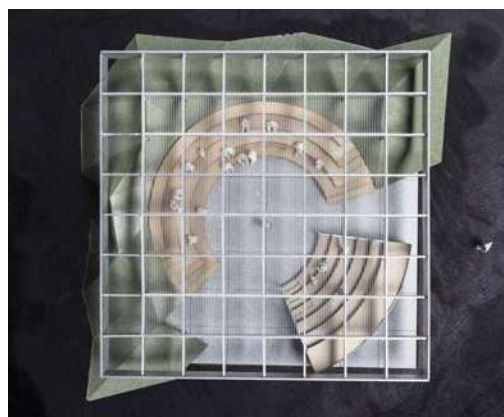


Abb. 110

Abb. 111

3.2.1

KLAPPEN

MPAVILION 2014 Melbourne, Australien, 2014 Sean Godsell Architects

Der MPavilion aus dem Jahr 2014 entstand im Rahmen einer jährlich stattfindenden Architekturveranstaltung in Melbourne. Es war ein öffentlich zugänglicher Veranstaltungsort für kulturelle Veranstaltungen und Aktivitäten - nach 4 Monaten im Queen Victoria Garden in Melbourne wurde dieser wieder demontiert.

Der Pavillon zeichnet sich durch eine bewegliche Hülle (Dach und Fassade) aus, welche aus einer vorgefertigten Stahlkonstruktion besteht. Diese ist mit perforierten Metallpaneelen bedeckt die mittels elektrischem Antrieb geöffnet und geschlossen werden können. Die Paneele lassen sich bis zu 90° öffnen und ermöglichen

ein Spiel mit Licht und Schatten. Die gesamte Fläche die der Pavillon einnimmt beträgt 12m x 12m wobei er für den Transport in einzelnen Module (2,40m x 2,40m) geteilt und innerhalb weniger Tage aufgebaut werden kann.⁴⁰



Abb. 112



Abb. 113

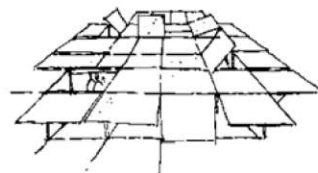
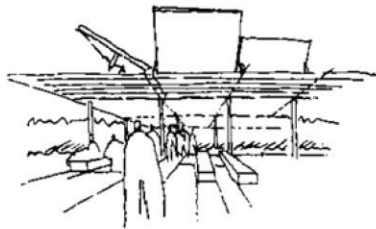
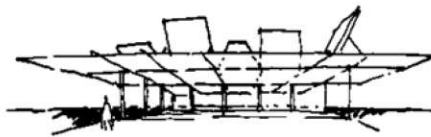


Abb. 114



Abb. 115



Abb. 116

3.2.1

CARNARY WHARF KIOSK **London, Großbritannien, 2013** **Make Architects**

Der Canary Wharf Kiosk wurde für das Wharf Ice Sculpturing Festival 2014 von *Make Architects* entworfen und in doppelter Ausgabe hergestellt. Er fungierte als Verkaufs- und Informationsstelle des Festivals. Die Gestaltung erinnert an eine komplexe Origamifaltung. Die Konstruktion besteht aus einem rechteckigen Skelettbau aus quadratischen Hohlprofilen und ist mit pulverbeschichteten, dreieckigen Aluminiumpaneelen verkleidet. Der Kiosk lässt sich

auf einer Seite „auffalten“, womit Besucher einen Blick ins Innere bekommen. Die Paneele an der Vorderseite, welche beim Öffnen des Kiosks bewegt werden, sind über die gesamte Länge mit beweglichen Scharnieren miteinander verbunden. Der Bewegungsmechanismus funktioniert über drei beweglich ausgeführte Stahlrahmen mit jeweils einem Gegengewicht, welche die Rahmen in Position halten und durch Aktivierung einer elektrischen Winde bewegt werden können.⁴¹



Abb. 117



Abb. 118



Abb. 119

FALTEN

3.2.1

doppeltes FALTEN

XXXX SOFA Kyoto, Japan, 2011 Yuya Ushida

Der Name dieses transformierbaren Möbelstücks basiert auf der Struktur der einzelnen Elemente aus welchen die Konstruktion besteht. Diese sind X förmig und werden aus nur wenig unterschiedlichen, aus Kunststoffspritzguss hergestellten Teilen, zusammengesetzt. Das Sofa besteht aus 8000 Stäben in vier verschiedenen Längen, sowie 2000 Ringen und Verbindungselementen, welche X förmig zusammengebaut werden und in Kombination miteinander eine geometrisch komplexe bewegliche Struktur bilden.⁴²



Abb. 120



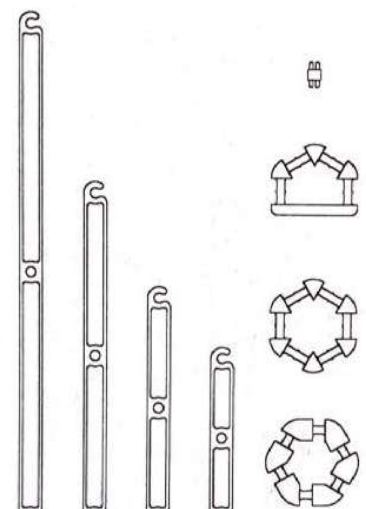
Abb. 121



Abb. 122



Abb. 123



3.2.1

parallel **SCHIEBEN**

PAPERHOUSE London, Großbritannien, 2009 Heatherwick Studio

Um die Londoner Zeitungskiosk-Landschaft etwas aufzufrischen, hat das Architektur- und Designstudio *Heatherwick* einige neue Konzepte für Londoner Zeitungsstände, unter dem Namen „*Paperhouse*“ entwickelt. Der ovale Körper besteht aus von oben nach unten abgestuften, horizontal übereinander liegenden Lagen, welche mit patiniertem Messing verkleidet sind. Die Front des ovalen Körpers ist zweigeteilt und kann nach rechts und links auf-

geschoben werden, wodurch im Inneren Abstufungen entstehen, welche optimale Flächen für die Auslage der Zeitungen bieten.

Die Konstruktion des Kiosks ist ein Stahlskelett, welches aus CNC gefrästen Flachstählen, kombiniert mit Doppel-T-Trägern, besteht. Diese folgen am Boden der ovalen Form des Kiosks und dienen als Führungsschiene für die beweglichen Schiebetüren.⁴³



Abb. 125



Abb. 126



Abb. 127



Abb. 128

3.2.1

senkrecht SCHIEBEN

THEATERTURM AM JULIERPASS Graubünden, Schweiz, 2017 Giovanni Netzer, Walter Bieler

Der blutrote *Theaterturm am Julierpass* befindet sich auf 2300m in den Schweizer Alpen und wurde als temporäre Spielstätte für das *Origen Festival Cultural* im Kanton Graubünden errichtet. Weil das Grundstück auf welchem der Turm steht außerhalb des Baugebiets liegt, wurde es nur als temporäres Projekt genehmigt und hätte ursprünglich schon Ende 2020 wieder zurückgebaut werden sollen, die Frist wurde al-

erdings bis Mitte 2023 verlängert. Entworfen wurde der Turm vom Intendanten des Festivals, *Giovanni Netzer*. Geplant und umgesetzt wurde der Turm in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro *Walter Bieler*.⁴⁴

Der Turm hat einen abstrakten, sternförmigen Grundriss, welcher sich, über die gesamten Kubatur, 30m noch oben erstreckt. Alle Öffnungen/Zuschauerlogen des Turms sind als Rundbögen ausgeführt und erstrecken sich über 5 Geschosse. Nach Außen können die Zuschauer den Ausblick betrachten, wäh-

rend sich mit dem Blick nach Innen ein offenes Zentrum im Kern des Turmes präsentiert.

Dort befindet sich ein runder Luftraum, in welchem vertikal eine Bühnenplattform mit einem Durchmesser von 8m auf und ab gefahren werden kann. Diese wird von einem abgehängten, motorisierten Kettenzug angetrieben und vertikal bewegt. Zwischen den offenen Zuschauerlogen befinden sich 10 sternförmig angeordnete Pfeiler, welche den konstruktiven Kern des Turms bilden und auch die Erschließungen beinhalten.⁴⁵



Abb. 129



Abb. 130

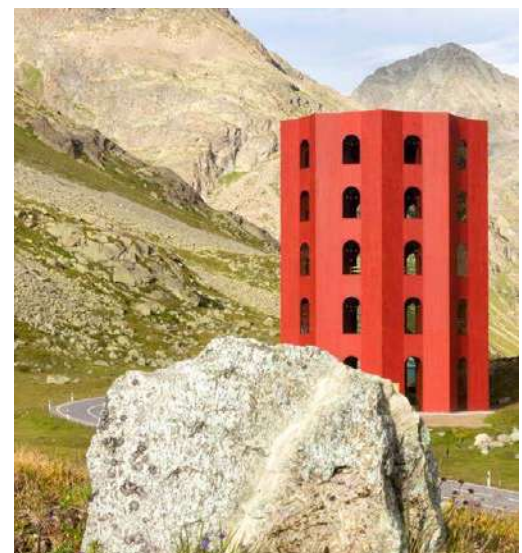


Abb. 131

3.2.1

DREHEN & FALTEN

EVOLUTION DOOR Wien, Österreich, 2013 Klemens Torggler

Die Evolution Door stammt von dem bildenden Künstler *Klemens Torggler*, womit er ein Kunstobjekt und eine alternative Türegestaltung gleichzeitig anbietet. Der Bewegungsmechanismus basiert auf dem der, ebenso von *Klemens Torggler* stammenden, Drehplattentür. Allerdings werden bei dieser zwei rechteckige Platten übereinander geschoben - bei der Evolution Door hingegen, funktioniert die Öffnung über eine Dreh-Faltbewegung. Die beiden quadratischen Flächen werden bei der Bewegung in vier dreieckige Flächen gefaltet - zwei der vier Dreiecke werden hierbei aus der Verschiebeebene rotiert und dann, in neuer Position der Tür, wieder eingefügt. Die Konstruktion besteht aus mit MDF-Platten verkleidete Holzrahmen sowie einer vertikal angeordnete, unsichtbaren, Zweipunktbefestigung mit Beschlägen aus Stahl. Die Abmessung des Objekts/der Türe umfasst 2,60m x 1,30m - die Plattenkonstruktion ist 3,6cm dick. Das zu bewegende Gewicht beträgt 60kg, wobei die gesamte Konstruktion 100kg ausmacht.⁴⁶



Abb. 133



WEICHE BAUTEILE

Neben starren Bauteilen können auch **weiche (deformierbare) Bauteile** Anwendung in der beweglichen Architektur finden. Ausschlaggebend für die Bewegungsmöglichkeiten eines deformierbaren Körpers ist dessen Beschaffenheit bezüglich der räumlichen Ausbreitung. Ein lineares Objekt verhält sich im Bezug auf Bewegung anders, als ein flächiges oder Volumenobjekt des selben Materials. Die im Anschluss bereitgestellte Systematisierung deformierbarer Bauteile nach *Michael Schumacher, Oliver Schaeffer und Michael Markus Vogt*, aus ihrem Buch *Move*, orientiert sich an der Unterscheidung zwischen 1-D, 2-D, und 3-D Objekten für die Einteilung in mögliche Bewegungsmuster deformierbarer Materialien.⁴⁷

Während bei den starren Bauteilen die Bewegung durch unterschiedliche Positionen der an sich unveränderlichen Objekte zueinander betrachtet wird, ist es bei den deformierbaren Bauteilen das Objekt bzw. das Material selbst welches fähig ist Bewegungen auszuführen. Hierbei wird zwischen **formlabilen** (oder biegeschlaffen) und **elastischen Körpern** unterschieden. Auch plastische Körper lassen sich durch die Einwirkung von Kräften bewegen

und verformen, jedoch irreversibel, weswegen sie in der Architektur kaum Anwendung finden.⁴⁸

Formlabile Materialien: Formlabile Materialien zeichnen sich dadurch aus, dass sie, unter Einwirkung äußerer Kräfte, ihre Form permanent ändern, ohne dabei ihren übergeordneten Formzusammenhang zu verlieren. Besonders in Form von Textilien (Gewebe, Gewirke, Gestricke) finden formlabile Materialien in flächigem Zustand Anwendung in der Architektur. Andere (lineare) formlabile Bauteile sind beispielsweise Fäden, Seile und Schnüre.⁴⁹

Elastische Materialien: Elastische Materialien zeichnen sich dadurch aus, dass sie, nach erfolgter Deformation, ohne äußere Krafteinwirkung, wieder in ihren Ausgangszustand zurück kehren. Weil viele elastische Materialien nicht die notwendigen Bedingungen (Größe, Dauerhaftigkeit, optische Qualität) für die Anwendung in der Architektur erfüllen, wurden sie lange Zeit eher kleinmaßstäblich in Form von beispielsweise Stahlfedern oder Gummidämpfern angewendet.⁵⁰ Einige Anwendungsbereiche für größere Objekte aus Kunst und Architektur

gibt es allerdings dennoch - so z.B. die biegbare Glasfaserstäbe für Zeltkonstruktionen oder Objekte aus biegsamen Holz.

Es gibt auch eine Vielzahl an visionären Projekten, welche sich mit der Elastizität von innovative Materialien beschäftigen. Diese versuchen die Eigenschaften der Materialien im Bezug auf Elastizität zu verbessern. Deren Haupteinsatzgebiet ist zwar nicht die Architektur, diese setzt sich, als interdisziplinäre Feld, allerdings schon immer mit zukunftsgerichteten Fragen auseinander. Dementsprechend finden innovative Materialien auch in der Architektur Anwendung und ermöglichen geometrische Veränderungen durch die Eigenschaften des Materials selbst.⁵¹ Einige Beispiele solcher Innovationen im Bereich der Materialentwicklung, werden im Teilbereich 3.3 näher erläutert.

Pneumatische Formen: Wie bei einem Luftballon können aus flächigen, deformierbaren Materialien, wenn diese bestimmte Bedingungen erfüllen, durch eingeblassenen Luftdruck, dreidimensionale Objekte hergestellt werden, welche unter Umständen Anwendung in der Architektur finden.⁵²

WEICHE BAUTEILE

BEWEGUNG AUS DEFORMIERBAREN BAUTEILEN⁵³



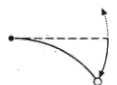










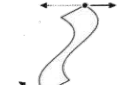
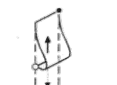

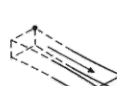



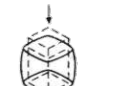
1-D Objekte	 Strecken	 Rollen	 Biegen	 Scheren	 Flattern	 Frei	 Raffen (vertikal)	 Raffen (horizontal)
2-D Objekte								
3-D Objekte								

Abb. 134



Abb. 135



Abb. 136



Abb. 137

TEXTILE ARCHITEKTUR



Abb. 138

ELIE TAHARI FASHION SHOWROOM

Gisela Strohmeyer

New York, USA

2011

Das Modelabel *Elie Tahari* ist ein weltweites, ursprünglich israelisches Modelabel, mit Hauptsitz in New York City. Für den Showroom in New York entwarf die Designerin *Gisela Strohmeyer* im Jahr 2011 eine Textil-Installation. Dabei spannte sie den elastischen Stoff *Lycra* in zwei Ausführungen - transparenten und opak - durch den Raum. Die Stoffbahnen sind mit Haken punktuell miteinander verbunden. Auch die Befestigung an Wänden und Decke erfolgt über Haken - am Boden sind die Bahnen an verschiebbaren Gewichten befestigt. Die Stoffbahnen bilden zylinderförmige Skulpturen mit halbovalen Öffnungen, in welchen die Kollektion präsentiert wird.⁵⁴

Anthropomorphe Form (Installation)

EMI Architekten

Die Installation *Anthropomorphe Form* wurde von dem Zürcher Büro *EMI Architekten* anlässlich der *Swiss Art Awards 2021* entworfen. Die Installation besteht aus einer textilen, sich konstant bewegenden, Decke, die die gesamte Ausstellungshalle überspannt. Das hellgraue, lichtdurchlässige Textil ist an dünnen Seilen in fünf Achsen aufgehängt. Die Seile werden durch, von einem Algorithmus gesteuerte Motoren, bewegt. Dadurch verändert sich die Decke laufend, allerdings so langsam, dass die Bewegung kaum wahrnehmbar ist. Der Algorithmus verarbeitet Information der menschlichen Aktivität wie den Geräuschpegel, die Anzahl der Besuchenden oder die Geschwindigkeit ihrer Bewegungen.^{56 57}



Abb. 139



Tubaloon Pavillon, Kongsberg Jazz festival, Snohetta Architects, Kongsberg, Norway 2006

Für das Kongsberg Jazz-Festival in Norwegen entwarf das norwegisch/US-amerikanische Architekturbüro *Snohetta* eine 20x40m große, pneumatische Membranstruktur. Die Struktur folgt, wie der Name „*Tubaloon*“ vermuten lässt, der Form einer Tuba. Hierbei wurde eine gespannte Membran mit einer pneumatische Konstruktion kombiniert. Die Membran wurde über außenliegende Konstruktionselemente abgespannt, während die statische Struktur der Skulptur innerhalb der pneumatischen Hülle liegt.⁵⁵

ZELTE



Abb. 141

**Sternwellenzelt,
Kölner Tanzbrunnens
Frei Otto
1957**

Im Rahmen der Kölner Bundesgartenschau im Jahr 1957 überspannte *Frei Otto* die Tanzfläche des Kölner Tanzbrunnens mit einem *Sternwellenzelt*. Dieses basiert auf der Membranbauweise. Es besteht aus zwölf gleich großen Zeltabschnitten, die um einen Ring mit einer 28 m² großen Öffnung arrangiert sind. Gestützt wird das Sternwellenzelt, durch sechs Leichtbaumasten die jeweils etwa zehn Meter hoch sind. Ursprüngliches Material des Zelts war Baumwollsegeltuch, das jedoch bei einer Restaurierung im Jahr 2001 durch beschichtetes Polyester-Polyplan ausgewechselt wurde.⁵⁹



Abb. 142

**MAIDAN ZELT
ABVM Studio und
Leo Bettini Oberkalmsteiner, 2018**

Unter der Leitung des Architekten *Leo Bettini Oberkalmsteiner* hat ein Team des *ABVM Studios* den ersten Prototypen des „*Maidan Tent*“ fertiggestellt. Das Projekt soll geflüchteten Menschen, die derzeit in Griechenland auf politisches Asyl warten, als Ort für medizinisch-psychologische Hilfe und den sozialen Austausch dienen. Die Tragkonstruktion besteht aus Aluminium und Stahl, kombiniert mit einer Zeltmembran aus wasser- und windfestem Stoff. Die Grundfläche besteht aus acht voneinander abgetrennten Bereichen - der innere Kreis bietet ein Ort für soziale Aktivitäten, während sich in den Außenbereichen semi-private Flächen befinden.⁵⁸

**JNBY by
HHD_FUN,
Shanghai, China
2010**

JNBY in Shanghai ist ein, von dem Design-Studio *HHD_FUN*, in dem Jahr 2010 entworfene, temporäre Zeltstruktur, die als Veranstaltungsort für Modenschauen, Konzerte und Firmenveranstaltungen dient. Die Struktur besteht aus einer Stahlkonstruktion, die mit einem elastischen, wasserdichten Material überspannt wurde. Das Tragwerksdesign basiert auf Origami - Dreiecken kombiniert mit der Verwendung der neuesten parametrischen Designwerkzeuge und topologischen Analysen - es kann vielseitig konfiguriert und platzsparend verstaut werden.⁶⁰



MATERIALIEN

DIE INNOVATIV SIND UND BEWEGUNG BEGÜNSTIGEN

Die Auswahl eines geeigneten Materials für eine bewegliche Konstruktion ist von vielen Aspekten abhängig. Je nach dem welchen Ansprüchen ein Bauteil gerecht werden muss oder was für eine Art von Bewegungsablauf gewünscht wird, ergibt sich ein sogenanntes Anforderungsprofil. Diesem unterliegt die Konstruktion und die Materialwahl des Bauteils.⁶¹

Gewisse Materialien und technische Lösungen haben sich wegen ihrer Beschaffenheit und Eigenschaften schon längst für bestimmte Anwendungsbereiche etabliert.

So werden beispielsweise für bewegliche und adaptive Anforderungen, meist möglichst leicht ausgeführte, steife Bauteile, in Kombination mit Verbindungselementen verwendet. Ebenso finden traditionelle Textilien oder andere „weiche“ Materialien und Bauteile, in Kombination mit Rollen oder Ösen etc. Anwendung, um dynamischen Entwürfe zu ermöglichen.⁶²

Die Bewegungen welche durch eine solche Vorgehensweise ermöglicht wird, erfolgt aller-

dings immer um eine vorbestimmte Rotationsachse oder entlang einer vorbestimmten linearen Führung - sie ist somit geometrisch stark eingeschränkt.⁶³

Allerdings gibt es durchaus Innovationen aus den unterschiedlichsten Bereichen, die es sich zur Aufgabe gemacht haben, die geometrische Einschränkung der Bewegung von Bauteilen und Objekten zu minimieren.

So gelang es in der Vergangenheit bereits Materialien zu entwickeln, die neue Eigenschaften in Bezug auf Elastizität, Festigkeit und elektrische Leitfähigkeit eröffnen. Diese ermöglichen wiederum faszinierende neue Möglichkeiten der Konstruktion wobei der Fokus darauf liegt, geometrische Veränderungen unmittelbar durch Eigenschaften des Materials zu erreichen, also ohne Gelenke, Schienen oder externe Antriebe.⁶⁴

Im Anschluss wird eine Auswahl dieser Innovationen der Materialentwicklung und -herstellung kurz vorgestellt und besprochen.

INNOVATION

ALG-A Algae Architecture Ivan Marjanović, Milena Stavric

Ivan Marjanović beschäftigte sich in seiner Masterarbeit „Alginat in der Architektur - Ein experimenteller Ansatz“ unter der Leitung von Milena Stavric, an der TU Graz, mit Alginat. Alginat ist das strukturgebende Element von Algen, welches in den Zellwänden gebildet wird und diesen ihre typische Flexibilität verleiht. Marjanović beschäftigt sich in seiner Arbeit mit dem Potential von Alginat für die Anwendung in der Architektur. In einer Reihe von Experimenten untersuchte er, welche architektonischen Elemente mit einem solchen Material hergestellt werden können und wie natürliche Zusatzstoffe die mechanischen Eigenschaften des Basis-Alginats verändern.⁶⁵



Abb. 144

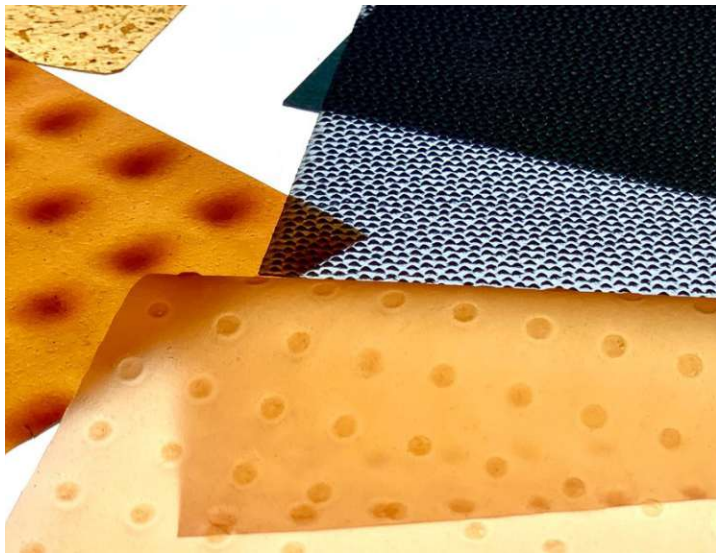


Abb. 145

APeel – Biomaterial Innovation Youyang Song

APeel von Youyang Song entwickelt, ist eine Technik, mit welcher sich aus Bioabfällen ein weiches und dennoch robustes, lederähnliches Material gewinnen lässt. Dabei wurden Bananen- und Orangenschalen und Sojamilchresten verwendet und mit natürlichen Bindemitteln als Substrat kombiniert - es resultiert ein Verbundstoff der vollständig biologisch abbaubar ist. Das Material ist für den Wiederaufkochungsprozess geeignet und somit wiederverwendbar. Das Biomaterial ist mit seinen zähen, haltbaren und wasserbeständigen Eigenschaften mit Leder vergleichbar, fühlt sich gut an und verfügt über einen fruchtigen Geruch.⁶⁶

Abb. 146

Auxetisches Material

Auxetische Materialien zeichnen sich durch ihre besonderen Eigenschaften bezüglich ihrer Ausbreitung aus. Anders als andere Materialien, breiten sie sich unter Zug, nicht nur in Zugrichtung, sondern auch quer zur Streckrichtung aus. Die Forschung zu auxetischen Materialien bewegt sich meist im kleinen Maßstab und bietet keine effizienten Design und Prototyp Methoden für Architekturschaffende. Milena Stavric beschäftigte sich, gemeinsam mit anderen Forschenden, in der wissenschaftlichen Publikation „Non-Linear Matters: Auxetic Surfaces“ mit der Entwicklung von Designprinzipien und Workflow-Methoden zur Umwandlung von Standardmaterialien in auxetische Oberflächen im architektonischen Maßstab. Das entstand eine experimentelle Installation mit auxetischen Flächenmodulen, die elektromechanisch betätigt



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

BIOINSPIRIERT

Schon in der griechischen Mythologie soll es die Natur gewesen sein, die Daedolos die Inspiration für eine große Erfindung gab. Nach dem Vorbild eines Vogels baute er für sich und seinen Sohn Ikarus Flügel, mit denen sie von König Minos fliehen konnten. Auch heute blicken Architekten und Ingenieure auf die Natur um Inspiration für bewegliche Mechanismen zu finden.⁶⁸

Seit den frühen sechziger Jahren gibt auch ein Wort für das uralte Prinzip der Übertragen von Phänomenen der Natur auf die Technik - **Bionik**, ein Kofferwort zusammengesetzt aus Biologie und Technik.⁶⁹

Wer in die Natur blickt findet viele Bewegungsmechanismen, die auf elastischer Biegung faserartiger Materialien beruhen. Dort sind elastische Materialien, welche sich nicht nur entlang vorbestimmter Gelenke, sondern in jedem Punkt bewegen können, durchaus üblich.

Für die Entwicklung kinetischer Bauteile werden diese effizienten Bewegungsabläufen, als Vorbild herangezogen und bieten Inspiration für neue Gestaltungsmöglichkeiten von beweglichen Bauteilen, bei denen die mechanische

Komplexität möglichst reduziert ist.⁷⁰

Allerdings gilt es zu unterscheiden zwischen visueller, romantische Bionik und konstruktiver, technischer Bionik. Visuelle Bionik ist nicht durch die Mechanismen der Natur inspiriert sondern versucht über materialaufwendige komplizierte mechanische Lösung Bewegungsabläufe aus der Natur zu kopieren.

Die konstruktive Bionik hingegen zeichnet sich dadurch aus, dass sie versucht die Naturstoffe auf Zellebene zu verstehen um daraus Erkenntnisse für neuartige Konstruktionen zu gewinnen. Das bionische Konstruktionsprinzip lässt sich mit drei Worten beschreiben: Analyse, Abstraktion, Übertragung.⁷¹

Selbst wenn jedoch, ein Mechanismus aus der Natur genau studiert und verstanden wurde und die Funktion und Eigenschaften einer Biostruktur bekannt sind, ist die Adaption und die Umsetzung desselben in einem menschengemachten Mechanismus oft sehr schwierig.⁷²

Einige Beispiele wo es gelang Prinzipien aus der Natur technisch zu übertragen folgen im Anschluss.

BIOINSPIRIERT



Abb. 147

HYGROSKIN

Meterosensitive Pavilion, 2011-13

Permanent Collection, FRAC Centre Orleans, France

Achim Menges, Oliver David Krieg, Steffen Reichert

Dabei handelt es sich um einen Pavillon mit klimasensitiven „Klappen“, welche sich, abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit, öffnen und schließen. Der Mechanismus nutzt die Eigenschaft des Quellen und Schwindens von Holz. Die „Haut“ des Pavillons ist gleichzeitig die Konstruktion und besteht aus 28 konkav verformten Komponenten aus Sperrholz, mit runden Öffnungen, die mit 1.100 feuchtigkeitsempfindlichen Klappen geschlossen werden können.⁷³ Die Bewegung geht von dem Material selbst aus - es ist sozusagen selbstaktivierend - solche Materialien werden als **Shape Memory Materials** bezeichnet. Die Besonderheit dieser liegt in einer Technologie, die reproduzierbare Eigenschaftsveränderungen gewährleisten. Der eigenständige Bewegungsmechanismus des Materials, macht einen externen Antrieb überflüssig.⁷⁴

FLECTOFIN

Institut für Tragkonstruktionen und
Konstruktives Entwerfen (ITKE),
Universität Stuttgart

Die Inspiration für das Verschattungssystem kommt aus der Natur, von der Paradiesvogelblume - wenn ein Vogel auf der Blütenstange landet, klappen die Blütenblätter auf. Dieses Bewegungsprinzip wurde in Form eines Verschattungselement auf den architektonischen Maßstab übertragen.⁷⁵ Die Grundlage für den Klappmechanismus ist ein Stab aus glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), der hochelastische Eigenschaften hat und gut verformt werden kann. An diesen ist eine dünne Lamelle angebracht, die sich, wenn sich der Stabe verbiegt, mitbewegt und auf- und zuklappen. Der Klappmechanismus funktioniert ohne technische Gelenke oder Scharniere und lässt sich daher auch auf aufwendig zu schattierende, gekrümmte Fassaden anbringen. So zum Beispiel beim *One Ocean Pavillon der EXPO 2012* in Yeosu, Südkorea (siehe S. 208).⁷⁶



Abb. 148

KLETTVERSCHLUSS

Ein sehr stark verbreiteter Mechanismus, der uns im Alltag sehr oft begegnet, ist der Klettverschluss. Auch dieser beruht auf einer Funktionsweise aus der Natur - die „große Klette“ so heißt die Blüte über welche der Erfinder des Klettverschlusses, *Georges de Mestral*, auf den Mechanismus aufmerksam wurde. Dieser funktioniert über kleine Häkchen mit welchen jede Spitze der Samenstacheln ausgestattet ist. Diese setzen sich sehr schnell in gewobenen Stoffen fest und haften gut.

Dieses Phänomen setzte Mestral in seiner Erfindung mit dem Namen „*Velcro*“ um und patentierte sie. Nicht lange danach, 1959, gründete Mestral die Firma „*Velcro Industries*“ mit ihrem Hauptsitz in Manchester, New Hampshire, USA. Noch im Gründungsjahr brachte sie den ersten Klettverschluss auf den Markt, welcher heute noch sehr beliebt ist und stetig Anwendung findet.⁷⁷



Abb. 149

3D-DRUCK

Neben den Innovationen die sich im Bereich der Materialentwicklung bewegen, gibt es auch jene, die sich mit dem Herstellungsprozessen von Materialien und Bauteilen befassen. Durch 3D Druckverfahren können komplizierte Bauteile schnell, günstig und mit geringem Materialaufwand hergestellt werden. Das die Komplexität eines Bauteils dessen Herstellungsprozess kaum mehr beeinflusst, sondern es nur noch der Materialaufwand ist, der für Kosten und Zeitmanagement relevant ist, stellt einen gravierenden Unterschied zu bisherigen Produktionsmöglichkeiten von Bauteilen dar.⁷⁸

Außerdem ermöglicht der 3D-Drucker die Umsetzung computergenerierter Entwürfe, die die Verteilung des gedruckten Material so optimieren, dass es die Anforderungen für gewünschte Beanspruchung erfüllt. Dabei entstehen Formen, die der Mensch so nicht umsetzen/vorhersagen könnte. So beispielsweise ein 3D gedruckter Stahlverbindungsknoten von *Arup* aus dem Jahr 2015, der dem Vorbild der Topologie und Materialoptimierung folgt (*Abb.150*).⁷⁹

Lange Zeit stellte die Abhängigkeit der Bauteilgröße von der Größe der Maschine eine Hürde für das Drucken im architektonischen Maßstab dar. Es gibt allerdings auch schon Technologien und Ansätze, die diese überwinden.

Das Unternehmen *MX3D* arbeitet für die Umsetzung einer gedruckten Edelstahlbrücke von dem Designer *Joris Laarman* mit einer mobilen

gestellten Struktur bewegen kann (*Abb.151*). Auch mehrere „Drucker“ gleichzeitig können sich auf der Struktur bewegen - dadurch kann die Druckgeschwindigkeit erhöht werden.⁸⁰

Auch im Bezug auf die Beweglichkeit und Flexibilität von Bauteilen und die Entwicklung kinetischer Innovationen eröffnen 3D-Druckverfahren neue Möglichkeiten. Durch neue Technologie kann eine bislang unerreichte Synthese aus Geometrie und Material gelingen, was es ermöglicht, Materialien zu erschaffen, die in ihren Eigenschaften einzigartig sind.⁸¹

Es können kinetische Bauteile produziert werden, die nicht mehr, wie zuvor, aus vielen Einzelteilen zusammengesetzt werden müssen, sondern, mit ihrer vollen kinetischen Funktion, direkt aus dem Drucker kommen. Diese Prozesse sind allerdings für die breite Anwendung noch zu wenig ausgereift und oft zu ungenau. Deswegen finden sie in der Architektur eher selten Anwendung.⁸²

Eine weitere Innovation im Bereich der kinetischen Bauteile und Konstruktionen, die im Zusammenhang mit 3D-Druckverfahren entstehen, ist das Drucken mit flexiblen und weichen Materialien. Die Herstellung von Festkörpergelenk wie es zum Beispiel eine Pinzette hat, wird durch diese Technologie vereinfacht. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass es kein mechanisches Gelenk zwischen zwei einzelnen starren Bauteilen gibt, sondern, dass die kinetische Funktion in einem oder mehreren Punkten

durch die Elastizität des Materials selbst gegeben ist. Ein gutes Beispiel für eine solche Anwendung ist eine Pinzette.⁸³

Auch gedruckte Soft Robotics, bei denen die Bewegung nicht mehr nur an einem bestimmten gelenkig Punkt gegeben ist, sondern der gesamte Körper flüssige und kontinuierliche Verformungen in jedem Punkt zulässt werden durch 3D-Druckverfahren unterstützt.⁸⁴



Abb. 150



Abb. 151

3D-DRUCK

KINEMATIC DRESS Nervous System, 2013

Neue Technologien im Bereich des 3D-Drucks ermöglichen Verfahren, bei denen bewegliche Mechaniken nicht mehr aus Einzelteilen zusammengesetzt werden müssen, sondern in einem Stück gedruckt werden können. Ein solches Beispiel ist das *Kinematic Dress* von dem Design Studio *Nervous System*. Ein 3D gedrucktes Kleid, welches aus Tausenden gelenkig miteinander verbundenen einzelnen Nylonplatten besteht.⁸⁵ Das Verfahren welches eine solche Vorgehensweise ermöglicht heißt *Selective-Laser-Sintering (SLS)-Verfahren*, ein generatives Schichtbauverfahren, welches, mit Hilfe von Laserstrahlen, beliebige dreidimensionale Geometrien, aus einem Kunststoffpulver erzeugt.⁸⁶

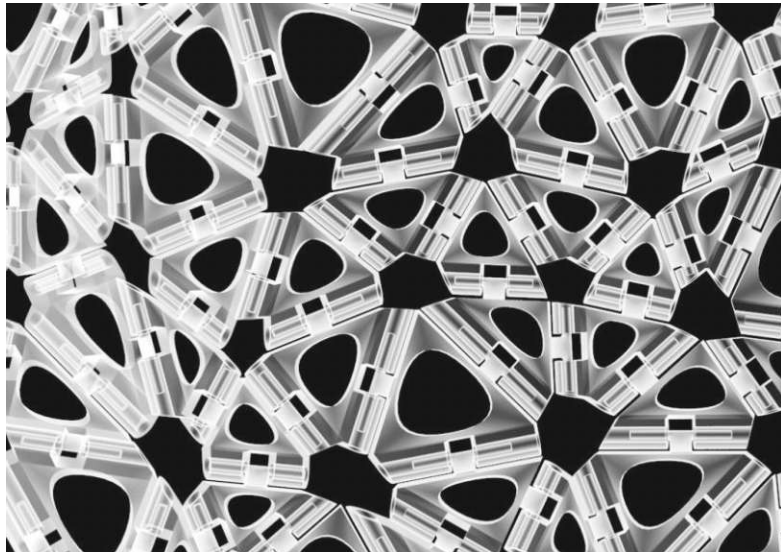


Abb. 152

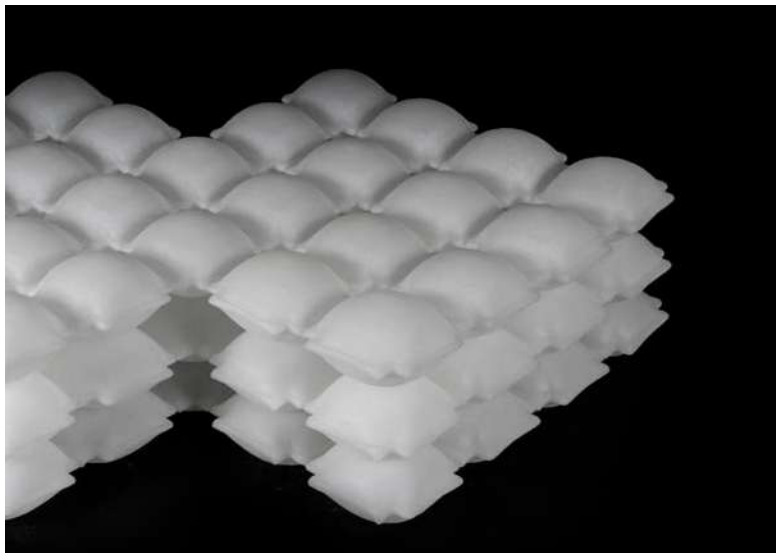


Abb. 153

LIQUID PRINTED PNEUMATICS, 2018 MIT, Self-Assembly Lab & BMW Design Dep.

Die *BMW Designabteilung* und das *Self-Assembly Laboratory des MIT* (Massachusetts Institute of Technology) haben sich in einem gemeinsamen Projekt mit den Grenzen der Materialtechnologien beschäftigt und etwas erfunden, was diese verschiebt. Ausgangspunkt für die Forschung des MIT, waren die von BMW bereits konzipierten Studien zu zukünftigen Innenräumen und wie diese anpassungsfähig gemacht werden können. Aus der Zusammenarbeit resultierte ein aufblasbares Material, das komplett gedruckt ist und seine Form abhängig vom Luftdruck ändert.⁸⁷

Active Textile Tailoring MIT, Self-Assembly Lab

Das *Self Assembly Lab* und das *Ministry of Supply* (MIT eigenes Bekleidungsunternehmen) des MIT's haben eine neue Technologie im Bereich der Bekleidungsentwicklung entwickelt: *Active Textile Tailoring*. Dies demonstriert ein völlig neues System für „smarte“ Textilien, bei dem die Fasern als Reaktion auf Hitze und Feuchtigkeit ihre Form und Struktur ändern.⁸⁸



ANMERKUNGEN 03

- 1 FLIESSBACH, Thorsten, *Mechanik - Lehrbuch zur Theoretischen Physik I*, 7. Auflage, Springer, 2015, S.1.
- 2 MOTZ, Heinz Dieter, *Ingenieur Mechanik - Technische Mechanik für Studium und Praxis*, VDI Verlag, 1991, S.1.
- 3 MAHNKEN, Rolf, *Lehrbuch der Technischen Mechanik - Statik, Grundlagen und Anwendung*, Springer, 2012, S.5.
- 4 SCHUMACHER, Michael, VOGT Michael-Marcus, KRUMME, Luis A. Cardón, *Move*, Birkhäuser Basel, Berlin 2009, S. 36.
- 5 SCHUMACHER, 2009, S. 36.
- 6 MAHNKEN, Rolf, *Lehrbuch der Technischen Mechanik - Statik, Grundlagen und Anwendung*, Springer, 2012, S.5.
- 7 SCHUMACHER, 2009, S. 36.
- 8 MOTZ, 1991, S.1.
- 9 <https://biancahoegel.de/mechanik/mechanik.html>
- 10 https://biancahoegel.de/mechanik/mechanik_tech.html
- 11 STEGLICH, Patrick, HEISE, Katja, *Vorkurs Physik fürs MINT-Studium*, Springer Spektrum, 2021, S.13 (<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-62126-4.pdf>).
- 12 MOTZ, 1991, S.2.
- 13 STEGLICH et al, 2021, S.33.
- 14 SCHUMACHER et al, 2009, S.37.
- 15 <https://biancahoegel.de/mechanik/dynamik.html>.
- 16 <https://biancahoegel.de/mechanik/kinetik.html>.
- 17 <https://biancahoegel.de/technik/bauwerk/statik.html>.
- 18 <https://www.br.de/alphalernen/faecher/physik/0-bewegung-bezugssystem-definition100.html>.
- 19 <https://www.studysmarter.de/schule/physik/mechanik/geradlinige-bewegung/>.
- 20 https://itp.tugraz.at/LV/schnizer/Analytische_Mechanik/node8.html.
- 21 KÖBNER, JAKOB, <https://www.sofatutor.com/physik/videos/bewegungen-ueberblick>.
- 22 <https://www.studysmarter.de/schule/physik/mechanik/geradlinige-bewegung/>.
- 23 <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/bewegungsarten-und-bahnformen>.
- 24 <https://www.studysmarter.de/schule/physik/mechanik/>.
- 25 <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/arten-von-bewegungen>, 2010.
- 26 <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/arten-von-bewegungen>, 2010.
- 27 SCHUMACHER et al, 2009, S.40.
- 28 SCHUMACHER et al, 2009, S.44.
- 29 SCHUMACHER et al, 2009, S.44.
- 30 SCHUMACHER et al, 2009, S.42.
- 31 SCHUMACHER et al, 2009, S.44 - S.47.
- 32 SCHUMACHER et al, 2009, S.36.
- 33 SCHUMACHER et al, 2009, S.44.
- 34 SCHUMACHER et al, 2009, S.37.
- 35 SCHUMACHER et al, 2009, S.44.
- 36 SCHUMACHER et al, 2009, S.45.
- 37 SCHUMACHER, Michael, VOGT Michael-Marcus, KRUMME, Luis A. Cardón, *New Move*, Birkhäuser Basel, Berlin, 2019, S.108.
- 38 SCHUMACHER et al, 2019, S.108.
- 39 SCHUMACHER et al, 2019, S.122.
- 40 SCHUMACHER et al, 2019, S.146.
- 41 <https://www.makearchitects.com/projects/canary-wharf-kiosks/>.
- 42 SCHUMACHER et al, 2019, S.192.
- 43 SCHUMACHER et al, 2019, S.132.
- 44 JUR, Marie Claire, <https://www.engadinerpost.ch/2020/03/30/Test-Julierturm>, 2021.
- 45 SCHUMACHER et al, 2019, S.136.
- 46 SCHUMACHER et al, 2019, S.194.
- 47 SCHUMACHER et al, 2009, S.47.
- 48 SCHUMACHER et al, 2009, S.47.
- 49 SCHUMACHER et al, 2009, S.47.
- 50 SCHUMACHER et al, 2009, S.47.
- 51 SCHUMACHER et al, 2019, S.10.
- 52 SCHUMACHER et al, 2009, S.47.
- 53 SCHUMACHER et al, 2009, S.47.
- 54 <https://www.architonic.com/de/project/gisela-stromeyer-design-elie-tahari-fashion-showroom/5101011>.
- 55 <https://www.architonic.com/de/story/susanne-fritz-bau-stoff-textile-architektur-teil-1/7000625>.
- 56 <http://www.emi-architekten.ch/projekt/kunstpreis/>.
- 57 <https://www.swiss-architects.com/de/architecture-news/gefunden/bewegliches-dach-gewinnt>.
- 58 <https://www.detail.de/blog-artikel/rundes-kollektiv-maidantent-von-abvm-studio-und-leo-bettini-oberkalmsteiner-33658/>.
- 59 <https://www.baukunst-nrw.de/objekte/Sternwellenzelt-des-Koelner-Tanzbrunnens--2861.htm>.
- 60 https://www.archdaily.com/111922/jnby-hhd_fun-architects?ad_medium=office_landing&ad_name=article.
- 61 SCHUMACHER et al, 2009, S.48.
- 62 SCHUMACHER et al, 2019, S.28.
- 63 SCHUMACHER et al, 2019, S.44.
- 64 SCHUMACHER et al, 2019, S.10.
- 65 MARJANOVIĆ, Ivan, *Alginat in der Architektur - Ein experimenteller Ansatz eines neuen nachhaltigen Baustoffes*, Masterarbeit - Betreuung durch STAVRIC, Milena, Technische Universität Graz, 2021, (<https://gad-awards.tugraz.at/projekt/alginate-in-architektur/>).
- 66 <https://ars.electronica.art/center/de/apeel/>.
- 67 STAVRIC Milena et al, *Non-Linear Matters: Auxetic Surfaces*, Conference: Acadia 2017 Disciplines & Disruption: Proceedings of the 37th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture At: Cambridge, USA, 2017, (https://www.researchgate.net/publication/320833890_Non-Linear_Matters_Auxetic_Surfaces).
- 68 SEIDEL, Branko, *Bionik bringt Architektur in Bewegung*, Hays

World 02, 2013, S.25-27. (https://www.haysworld.de/fileadmin/Websites/Haysworld/pdf/Ausgabe_02_2013/HaysWorld_2.2013_ARCHITEKTUR_IN_BEWEGUNG.pdf)

-
- 69 <https://www.biokon.de/bionik/was-ist-bionik/>.
-
- 70 SCHUMACHER et al, 2019, S.10.
-
- 71 SEIDEL, Branko, 2013, S.25-27.
-
- 72 SEIDEL, 2013, S.25-27.
-
- 73 MAIER, FLORIAN, 2013, DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, Online Artikel, <https://www.detail.de/artikel/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-11029/>.
-
- 74 SCHUMACHER et al, 2019, S.27.
-
- 75 SCHUMACHER et al, 2019, S.28.
-
- 76 SCHUMACHER et al, 2019, S.28.
-
- 77 SEIDEL, Branko, , 2013, S.25-27.
-
- 78 SCHUMACHER et al, 2019, S.38.
-
- 79 SCHUMACHER et al, 2019, S.39.
-
- 80 SCHUMACHER et al, 2019, S.29.
-
- 81 SCHUMACHER et al, 2019, S.20.
-
- 82 SCHUMACHER et al, 2019, S.29.
-
- 83 SCHUMACHER et al, 2019, S.39.
-
- 84 SCHUMACHER et al, 2019, S. 44.
-
- 85 SCHUMACHER et al, 2019, S.39.
-
- 86 SCHUMACHER et al, 2019, S.39.
-
- 87 <https://selfassemblylab.mit.edu/liquid-printed-pneumatics>.
-
- 88 <https://selfassemblylab.mit.edu/active-textile-tailoring>.
-

04

MOTIVATION

FÜR DIE IMPLIKATION KINETISCHER MECHANISMEN IN ARCHITEKTUR UND KUNST

„There is a deep human need for beauty and if you ignore that need in architecture your buildings will not last“¹

- Roger Scruton

PROLOG

MOTIVATION

Unterschiedliche Publikationen die sich mit den Gründen für die Implikation von Bewegung in die Architektur befassen, wurden bereits in der Klassifikationstabelle des zweiten Kapitels dieser Arbeit zusammengefasst. Aus dieser geht hervor, dass die Anlässe und Motivationen für das Planen und Errichten von Gebäuden, die Bewegung beinhalten, sehr vielseitig sind. Zwar verfolgen diese unterschiedlichen Publikationen und Auseinandersetzungen teilweise leicht abweichende Ansätze, im Wesentlichen sind sich aber, trotz variierender Bezeichnungen, eine Vielzahl der Autoren einig und teilen die Gründe für die Implikation von Bewegung in die Architektur, nach ähnlichen Kriterien ein.

Historisch betrachtet war die ursprüngliche Motivation sehr pragmatisch.² Bei den frühen kinetischen Projekten, die noch auf sehr simplen Mechanismen beruhen, lag der Hauptfokus meist darauf funktionale Lösungen für gegebene

Problemstellungen zu finden. Die späteren Projekte waren bereits experimenteller und verfolgten das Anliegen, eine bessere Umweltverträglichkeit von Gebäuden zu gewährleisten.³

Auch bei vielen gegenwärtigen Beispielen liegt die Hauptmotivation für die Implikation von kinetischen Systemen darin, die stetig steigenden Anforderungen an räumliche Flexibilität und programmatische Änderungen, den umsichtigen Umgang mit Ressourcen sowie einen verantwortungsbewussten Energieverbrauch zu gewährleisten.⁴

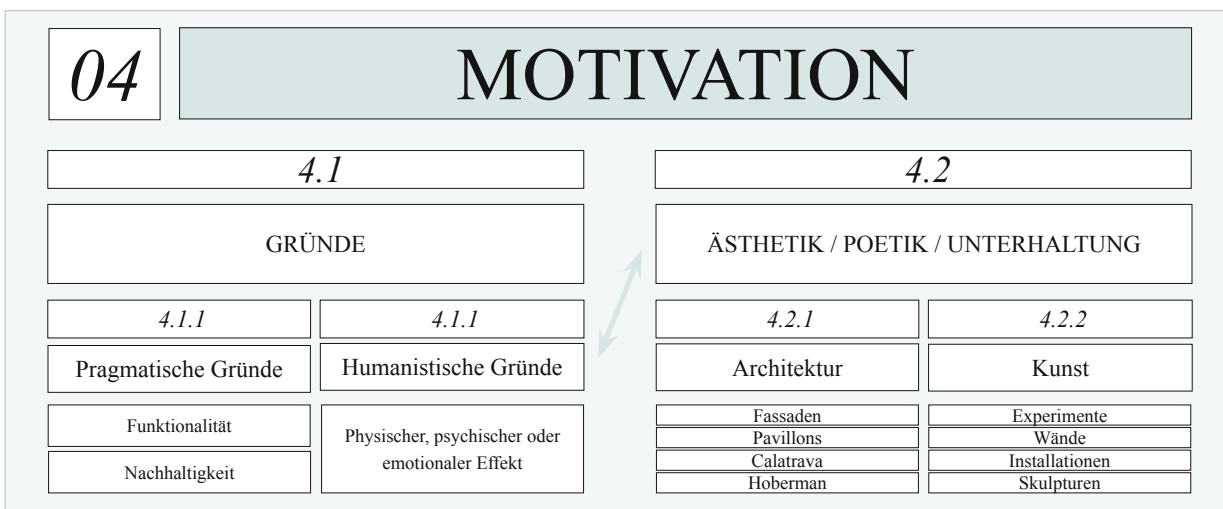
Die jüngsten Entwürfe beziehen sich allerdings, neben den pragmatischen Gründen, mehr und mehr auch auf kinetische Lösungen, die neue ästhetische Ansätze erproben und auf die Verwirklichung außergewöhnlicher und innovativer räumlicher Effekte ausgerichtet sind. Umso komplizierter und aufwändiger die Art der Be-

wegung, desto wahrscheinlicher ist es, dass der Grund für die Implikation über das traditionelle Verständnis von Funktion hinaus geht. Rückwirkend kann aber auch festgehalten werden, dass durch das Experimentieren mit ungewöhnlichen räumlichen Qualitäten und neuer Ästhetik im Bezug auf Kinetik, gleichzeitig kreative funktionale Lösungen geboren werden.⁵

Dementsprechend lassen sich drei Hauptgründe für die Implikation von Bewegung in die Architektur ableiten, auf die im Anschluss näher eingegangen wird: **Funktionalität, Nachhaltigkeit und Ästhetik/Poetik/Unterhaltung.** In dieser Arbeit liegt ein besonderer Fokus auf dem Beweggrund der Ästhetik. Im zweiten Teil dieses Kapitels, werden Beispiele von Projekten aufgezeigt, die hauptsächlich dieser Motivation zuzuordnen sind.

ÜBERSICHT

MOTIVATION



GRÜNDE

FÜR DIE IMPLIKATION VON BEWEGUNG IN ARCHITEKTUR UND KUNST

Michael Fox und Miles Kemp sprechen in dem Kapitel über kinetische Architektur aus dem Buch „interactive architecture“ von einer grundsätzlichen Einteilung in pragmatische und humanistische Gründe für das Einbinden von Bewegung und Flexibilität in Entwürfe.⁶

Unter die **pragmatischen Gründe** fallen jene, bei denen die Optimierung von Effizienz und Funktionalität im Vordergrund steht.⁷ Diese werden in dem ersten Teil des vorliegenden dritten Kapitels behandelt. Es wird auf die **Funktionalen und Ökologischen Gründe** eingegangen. Als Nebeneffekt dieser sind auch ökonomische und soziale Gründe zu verzeichnen.

Unter den **humanistischen Grundgedanken** fallen jene Ansätze, bei denen der Betrachter oder Nutzer direkt (physisch oder psychisch) betroffen ist. Durch die Implikation von Kinetik in den Entwurf wird direkt ein **physischer, psychischer oder emotionalen Effekt** ausgelöst. Unter diesem Punkt fallen jene Gründe für

den Einsatz von Bewegungsmechanismen die eine **ästhetische, poetische oder unterhaltende** Wirkung auf den Betrachter beabsichtigen.⁸

Hier findet sich die Schnittstelle zur Kunst. Es werden einige Beispiele aus diesen Bereichen, sowie aus der Architektur aufgezeigt und besprochen.

Diese Kategorisierung erfolgt auf Basis der Informationen aus den in der Klassifikationstabelle gelisteten Auseinandersetzungen, gepaart mit eigenem Verständnis, Interesse und emotionalen Filtern.

Dabei ist festzuhalten, dass die Zugehörigkeit eines Entwurfs zu einer Kategorie diesen nicht aus den Anderen ausschließt. Es gibt viele Beispiele, bei denen der Grund für die Implikation der Bewegung nicht eindeutig einer Kategorie zugeteilt werden kann. Die meisten kinetische Entwürfe aus der Architektur verfolgen mehrere Anliegen gleichzeitig.

PRAGMATISCHE GRÜNDE

FÜR DIE IMPLIKATION VON BEWEGUNG IN DIE ARCHITEKTUR

FUNKTIONALITÄT

Die schnellen ökonomischen, sozialen und technologischen Entwicklungen der heutigen Zeit verändern den Alltag und die Gewohnheiten der Menschen stetig.⁹

Typischerweise ist die gewünschte Funktionalität einer Architektur nur über einen gewissen Zeitraum gegeben. Die Anforderungen des Architekturnutzenden, oder der ursprüngliche Zweck eines Gebäudes ändern sich über die Zeit und die Architektur ist aufgefordert dementsprechend zu reagieren. Oft ist diese aber nicht reaktionsfähig konzipiert und als Folgewirkung wird sie dann aufwendig umgestaltet oder gar abgebrochen und neu gebaut.¹⁰

Besonders mit dem steigenden Aufkommen von „intelligenter Architektur“, die es ermöglicht, dass Räume und Objekte Informationen über Nutzeraktivitäten sammeln können, stellt sich zunehmend die Frage, wie die gebaute Umgebung und die Architektur auf solche Erkenntnisse reagieren kann und diese in physische Änderung im Raum einfließen lassen kann.¹¹

Kinetische Architektur hat ein großes Potential um Lösungen bereitzustellen, die es ermöglichen auf die gewonnenen Erkenntnisse zu

reagieren und dem Menschen eine physische Umwelt zu bieten, in der es für diesen möglich wird, bestimmten Handlungen und Bedürfnissen nachzukommen. Die physische Adaption und Anpassungsfähigkeit eines Raumes bedarf eines vorgestellten kinetischen Bewegungsablaufes.¹²

In diesem Zusammenhang spielen erweiterbare, abnehmbare, faltbare und verschiebbare Elemente, die eine gewisse Flexibilität in der räumlichen Gestaltung gewährleisten, eine Rolle. So zum Beispiel, kann die Kapazität eines Raumes, abhängig von der Anzahl der Personen die sich in ihm befinden, vergrößert oder verkleinert werden.¹³

Diesbezüglich haben kinetische Lösungen auch die Fähigkeit auf soziale Umstände zu reagieren. Kinetische Architektur kann auf Situationen wie Familienzulauf oder individuelle Bedürfnisse eingehen und diese physisch bedienen.¹⁴

Schneider und Til unterscheiden, zwischen einer „harten“ und „weichen“ Einbindung von Flexibilitätsstrategien. *Weich* bezieht sich auf eine Strategie in der sich der Architekturschaffende eher im Hintergrund hält - hier ist wenig

vorbestimmt und der Mensch kann den Grundriss spontan nach eigenem Ermessen adaptieren. *Hart* bezieht sich auf eine Strategie, bei der der Architekturschaffende im Vordergrund agiert und während des Planungsprozesses bestimmt, wie der Raum über die Zeit genutzt und verändert werden kann.¹⁵

Mit dem Einsatz von multifunktionalen und flexiblen Systemen werden automatisch auch ökonomische Aspekte mitgedacht. Zwar sind kinetische Systeme in der Anschaffung oft recht teuer, durch stetig neu entwickelte Technologien werden diese jedoch immer erschwinglicher.¹⁶

Durch die Anpassungsfähigkeit von Gebäuden können die laufenden Kosten gesenkt werden und auch die Nutzbarkeit und Lebensdauer eines Objekts oder Gebäudes kann durch den Einsatz von Flexibilitätsstrategien verlängert werden.¹⁷

Anstatt ein Gebäude abzubauen und neu zu bauen, wenn es nicht mehr den gewünschten Erwartungen entspricht, kann es adaptiert und verändert werden. Diese Strategie kann auch teuren Renovierungs- und Umbauarbeiten entgegenwirken.¹⁸

PRAGMATISCHE GRÜNDE

FÜR DIE IMPLIKATION VON BEWEGUNG IN DIE ARCHITEKTUR

NACHHALTIGKEIT

Ein weiteres Potential, das die Integration von kinetischen Systemen birgt, ist die Anpassungsfähigkeit von Gebäuden an klimatische Bedingungen. Durch Systeme und Konstruktionen die auf äußere Einflüsse wie Tageslicht, Wind, Temperatur etc. reagieren, kann nicht nur der Komfort des Architekturnutzenden gesteigert werden, sondern auch Energie gespart oder gewonnen werden.¹⁹

Ein System mit integrierten Bewegungsmechanismen kann ganz wesentlich zur Reduktion des Energieverlustes eines Gebäudes beitragen und wichtige Schritte setzen, um den in den letzten Jahren rasant zunehmenden Umweltproblemen entgegenzuwirken. Ebenso geht mit dem Einsparen von Energie auch ein ökonomischer Vorteil einher.²⁰

In diesem Zusammenhang spielen insbesondere kinetische Fassaden und intelligente Gebäudehüllen eine wichtige Rolle. Um die Bedingungen im Innenraum zu beeinflussen und auf die Bedürfnisse des Nutzers zu reagieren, öffnen bzw. schließen sich Fassadenelemente wie Lammeln, Klappen etc. als Reaktion auf Messwerte der äußeren Einflüsse wie Wetterlage und Sonneneinstrahlung. Dies geschieht entweder autonom oder basierend auf computergenerierten Abläufen und gewährleistet, dass

auf die Wetterlage optimal eingegangen und der Energieverlust eines Gebäudes minimiert wird.²¹

Neben solchen Systemen die einen übermäßigen Energieverbrauch verhindern, gibt es auch Ansätze über die Energie gewonnen werden kann. So zum Beispiel gibt es Konzepte für kinetische Windfassaden, die vorsehen, dass möglichst viele kleine Elemente möglichst großflächig über die Fassade eines Gebäudes verteilt angebracht werden.²²

Diese Idee basiert auf der *Nano Vent-Skin Technologie*, die aktuell von dem jungen Designer *Augustin Otegui* entwickelt wird und das Ziel verfolgt eine möglichst energieeffiziente Konzept für Fassaden zu ermöglichen. Die kleinen Fassadenelemente bzw. kleine Windturbinen sollen Wind- und Solarenergie gewinnen und gleichzeitig CO₂ aus der Luft filtern.²³

Diese Technologie soll auch bei geringeren Windstärken funktionieren und auch Windkräfte die durch Sogwirkung (durch vorbeifahrende Autos oder Züge entstehen), erzeugt werden, in Energie umwandeln können. Der Einsatz von solchen Systemen ist jedoch aufgrund von hohem Wartungsaufwand den diese kleinteiligen Strukturen erfordern, noch umstritten.²⁴

HUMANISTISCHE GRÜNDE

FÜR DIE IMPLIKATION VON BEWEGUNG IN DIE ARCHITEKTUR

ÄSTHETIK / POETIK / UNTERHALTUNG

Neben den ökologischen und funktionalen Aspekten, die dazu bewegen Kinetik in einem Entwurf mitzudenken, spielt vor allem auch die Ästhetik, Poetik und Unterhaltung eine wichtige Rolle. Durch die Betrachtung von Bewegungsabläufen entstehen visuelle Effekte, die sehr ansprechend sein können für das menschliche Auge. Die scheinbar automatische Transformation von einem Zustand in den Nächsten kann eine fesselnde und beeindruckende Wirkung haben. Insbesondere dann, wenn diese darauf ausgelegt ist, ein unterhaltendes Spektakel zu bieten.²⁵

„When one sees this special behavior (of transformation), one feels it in one's body - perhaps a psychological connection, because there is a sensation, a physical sensation and a mental perceptual sensation.“²⁶

Es gibt immer mehr Architekturschaffende und DesignerInnen, die das ästhetische Potential kinetischer Systeme erkennen und sich dazu entscheiden diese in ihre Entwürfe einzubinden. Dabei wollen sie entweder lediglich mit neuen ästhetischen Effekten experimentieren und

dieses entdecken, oder sie sind auf der Suche nach Möglichkeiten, um reaktions- und anpassungsfähige Qualitäten in die Architektur zu bringen.²⁷

In diesem Fall sind die kinetischen Lösungen meist sehr komplex und einzigartig. Sie gehen über die Zweckmäßigkeit des alltäglichen Lebens hinaus und gelten eher als kreative Untersuchungen, Studien und Experimente, die das Anliegen verfolgen, neue Formen der Ästhetik zu schaffen und bislang unbekannte räumliche Effekte zu erproben.²⁸

Einige jener jüngst entwickelten kinetischen Projekte, die das Anliegen verfolgen mit neuen Formen der Ästhetik zu experimentieren, haben jedoch, über ihr eigentliches Bedürfnis hinaus, gleichzeitig kreative Ansätze eröffnet, um funktionale Fragen in der Architektur zu klären. Ebenso haben sie das Potential, die zwischenmenschliche soziale Interaktion zu fördern - so wurde beispielsweise festgestellt, dass interaktive Installationen im öffentlichen Raum die menschliche Beteiligung und soziale Interaktion untereinander steigern können.²⁹

ÄSTHETIK, POETIK, UNTERHALTUNG

„Angetrieben durch die Hoffnung auf eine bessere Welt, waren Visionen und utopische Ideen schon immer ein elementarer Bestandteil der Architektur. Fortschritt ist dabei mit Bewegung assoziiert, mit einer gerichteten Bewegung hin zu etwas erstrebenswertem Neuen. Auf diese Weise richten sich bewegliche visionäre Projekte an der Schnittstelle von Architektur und Kunst auf eine Gestaltung der Zukunft.“³⁰

Diese Verbindung zur kinetischen Kunst, steckt besonders im Spiel auf und mit der Bühne. Das Theater und die Szenografie sowie kinetische Installationen bewegen sich an der Schnittstelle zwischen Architektur, Ingenieurwesen und Kunst und bieten die besten Voraussetzungen, um die kinetischen Möglichkeiten der Architektur zu erproben.³¹

Auch aus der Architektur gibt es viele Beispiele, die, mit oder ohne Begleitung anderer Anliegen, darauf ausgerichtet sind, den Architektur-

betrachtenden über die Poetik der Bewegung zu faszinieren. Schon bei einigen der aufgezeigten Fassaden und anderen Beispiele aus dem zweiten Kapitel ist offensichtlich, dass der ästhetische Anspruch für den Architekturschaffenden eine entscheidene Rolle spielt.

Die Poesie der Bewegung und die Betrachtung eines Bewegungsprozess, verändert wie wir die Architektur und die Umwelt wahrnehmen. Das Potential der Ästhetik von kinetischen Prozessen zeigt sich beispielsweise, wenn mechanische Bewegungen es schaffen, unmittelbar Gefühle im Betrachtenden zu erzeugen und auszudrücken.³²

Im Folgenden werden einige Beispiele aus der Architektur, aus dem Produktdesign und aus der Kunst aufgezeigt, bei denen die Gründe für die Implikation der Bewegung in den Entwurf die Ästhetik, die Poetik und die Unterhaltung sind.

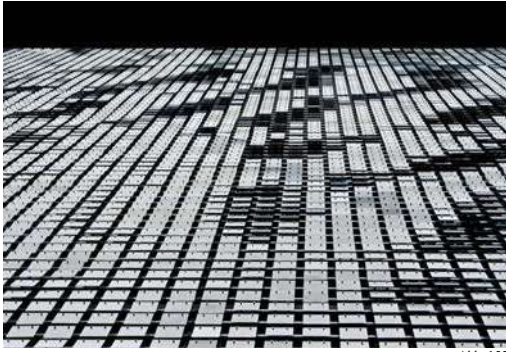


Abb. 155

**2011, NED KAHN,
Brisbane Airport Parking Garage**

Die Fassade besteht aus 250000 Aluminium-Panelen, die sich mit dem Wind bewegen und eine wellenartiges Muster an die Fassade werfen, welches an vertikal fließendes Wasser erinnert. Im Inneren des Gebäudes entstehen durch die Bewegung der Fassade ein attraktives Muster aus Sonne und Schatten.³³



Abb. 156

**2012, SOMA,
One Ocean, Theme Pavilion Expo Yeosu**

Die vertikalen, elastisch verbiegbaren Lamellen können ein offenes oder geschlossenes Bild der Fassade erzeugen und kontrollieren tagsüber die Lichtverhältnisse im Inneren des Pavillons. Nachts wird der visuelle Effekt durch LEDs verstärkt. Die Verwendung von glasfaserverstärkten Kunststoffen (GfK) erlaubt große reversible elastische Verformungen und ermöglicht somit eine komplett neue Interpretation wandelbarer Strukturen.³⁴



Abb. 157

**2014, ASIF KAHN
Mega Faces**

Der Londoner Architekt *Asif Kahn*, wurde von einer russischen Telekommunikationsgesellschaft beauftragt, eine kinetische Struktur zu entwerfen, die eine Bereicherung für die Menschen ist, unabhängig davon, was sie machen oder wer sie sind.

In dem Konzept welches *Asif Kahn* daraufhin entwarf, kombinierte er ein topographisches Experiment mit einem Multimedia Projekt. Er fand eine Möglichkeit um eine einfache zweidimensionale Oberfläche über die dritte Dimension zu erweitern und schafft es so, Tiefe und Raumwirkung nicht nur visuell sondern tatsächlich räumlich zu erzeugen.



Abb. 158

Die Fassade präsentiert das Abbild menschlicher Gesichter, die sich dreidimensional von der Fassadenoberfläche abheben. Die Konstruktion besteht aus 11000 beweglichen Gliedern, die bis zu 2,4 Meter ausgefahren werden können und an deren Ende sich LED Blenden befinden. Die LEDs funktionieren wie die Pixel einer Fotografie und können in der Masse ein Bild erzeugen, das durch die aneinander gereihten beweglichen Glieder auch über die dritte Dimension gestaltet wird.

Das entstandene Bild ist 8 Meter hoch und schafft es drei Gesichter, die in einer allein für diesen Zweck eingerichteten Scankabine aufgenommen wurden, gleichzeitig zu zeigen.³⁵

4.2.1

ARCHITEKTUR

KINETISCHER PAVILLON

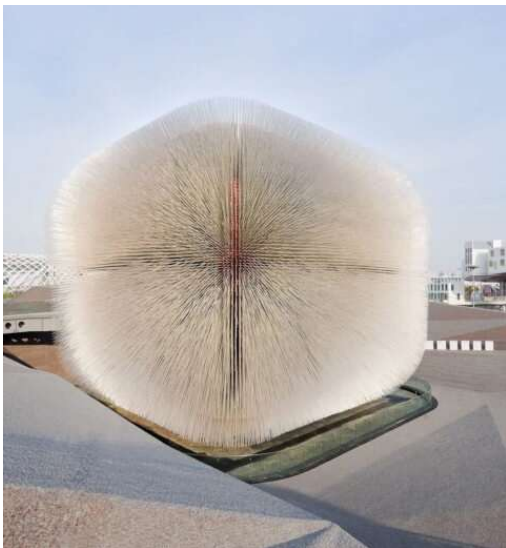


Abb. 159



Abb. 160



Abb. 161



Abb. 162

EXPO 2010 PAVILION Heatherwick Studio, Shanghai

Der englische Pavillon für die Expo 2010 in Shanghai, des Architekturbüros *Heatherwick Studio* wurde mit dem Anliegen realisiert, sich, durch die einzigartige Gestalt und Umsetzung, von den restlichen Pavillons der Expo, abzuheben und die besondere Position Londons, als grünste Stadt ihrer Größe, zu unterstreichen. Daher kam die Idee den Pavillon als organische Metapher einer „Samen-Kathedrale“ zu gestalten.

Das Objekt bestand aus einer Stahl und Holzkonstruktion, versehen mit Öffnungen für 60.000 lichtdurchlässige, flexible Glasfaserröhren, die an ihren Enden, in versiegelten Kapseln, die Samen aus der umfangreichen Samenbank des Londoner „*Royal Botanic Gardens at Kew*“ eingeschlossen hatten. Die elastische Elemente waren jeweils 7,5 Meter lang und im Schnitt quadratisch, mit einer Seitenlänge von nur zwei Zentimetern.

Die Ausführung war so konzipiert, dass sich die einzelnen Elemente im Wind bewegten was den organische Charakter des Gebäudes zusätzlich verstärkte. Während sich die Glasfaserelemente bewegten, ließen sie Licht in den Innenraum. Ebenso betonten die am äußeren Ende jedes Elements angebrachten Lichter, die Dynamik des Objekts auch in der Nacht.³⁶

SANTIAGO CALATRAVA

Der spanisch - schweizerische Architekt, Bauingenieur und Künstler Santiago Calatrava beschäftigt sich in seinen Entwürfen mit seiner Kindheitsfaszination: den Ausdruck von Bewegung und Veränderung. Er verfolgt das Anliegen, die Konvention der Architektur, als etwas starres und unbewegliches, zu brechen und nutzte seine Studium der Architektur und des Bauingenieurwesens dazu, Wege zu erforschen, die es ermöglichen, dass Strukturen sich bewegen. Dabei setzt er auf eine raffinierte Synthese aus Technik und Kunst und schafft es fortgeschrittene Bewegungstechnologien und Ästhetik zu vereinen.³⁷



Abb. 163

Eingang, Pfalz Keller St. Gallen, Schweiz, 1999 Santiago Calatrava

Für eine, unter einem öffentlichen Platz liegende Mehrzweckhalle im schweizerischen St. Gallen, entwarf *Calatrava* einen kinetischen Eingang. Die Konstruktion ist als eine zur Gänze versenkbare Struktur ausgeführt, die sich aufklappen kann und dann den Eingang in die unterirdisch liegenden Räume preisgibt. Wenn der Eingang geschlossen ist, bildet er das Dach des darunterliegenden Ganges und wird von oben betrachtet, Teil des öffentlichen Platzes. Die volle geometrische Form, kann also nur im geöffneten Zustand bestaunt werden.³⁸



Garagentor, Ernstings Warehouse Coesfeld, Deutschland, 1985 Santiago Calatrava

Weil die Möglichkeiten der Ausführung des Gebäudes (siehe S. 98), wegen strenger Vorgaben und Beschränkungen durch den Kunden, recht begrenzt waren und nur eine konventionelle Lösung zuließen, fokussierte sich *Calatrava* in diesem Projekt auf die Garagentüren. In der ausgeklügelten Klappstruktur, die an eine kinetische Skulptur erinnert, spiegeln sich die Studienjahre, die der Architekt damit verbracht hat, sich mit komplizierten ingenieurstechnischen Problemen auseinanderzusetzen.³⁹

**Milwaukee Art Museum,
Wisconsin, USA, 2001
Santiago Calatrava**

Das *Milwaukee Art Museum* befindet sich am Ufer des Lake Michigan und erinnert an einen Vogel, der gerade abhebt, um über den See zu fliegen.⁴⁰

Das Gebäude ist Calatravas postmoderne Interpretation einer gotischen Kathedrale mit fliegenden Strebepfeilern, Spitzbögen, Kreuzrippengewölben und einem Mittelschiff das mit Glas überdacht ist. Charakteristisch für das Museum sind die beweglichen Flügel des Gebäudes, die eine Spannweite von rund 66 Metern aufweisen.⁴¹

Das Öffnen und Schließen der Flügel braucht ca. 3,5 Minuten und wird über einen hydraulischen Motor angetrieben, der über windsensible Sensoren automatisch gesteuert wird. Wenn die Windgeschwindigkeit 23 mph übersteigt, schließen sich die Flügel automatisch.⁴²

Der bemerkenswerte Bewegungsmechanismus der Flügel wurde vor Allem angedacht um das Design-Konzept des Gebäudes zu stärken und einen unterhaltenden und ästhetischen Mehrwert zu generieren. Allerdings kann über die Bewegung auch die Temperatur und das Licht in der Eingangshalle kontrolliert werden.⁴³



Abb. 165



Abb. 166

4.2.1

ARCHITEKTUR

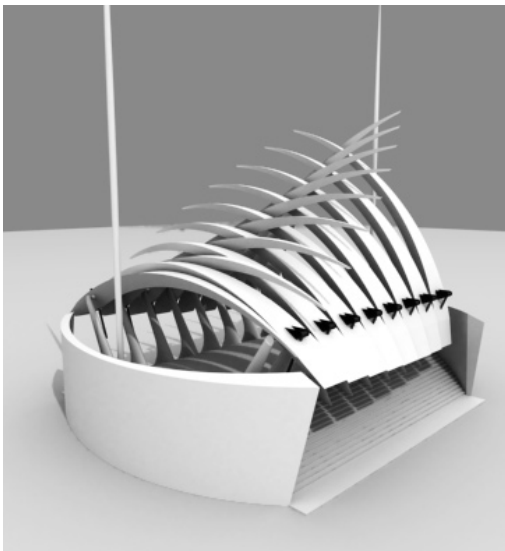


Abb. 167

**Kuwait Pavillon,
Sevilla, Spain, 1992
Santiago Calatrava**

Die Struktur des Daches des *Kuwait Pavillons* besteht aus 17 beweglichen Elementen, die an die einzelnen Elemente eines Palmenblattes erinnern und die, wenn in Bewegung, wie die Finger zweier Hände in der Mitte zusammen kommen.⁴⁴

Die einzelnen Elemente sind spitz zulaufend und 25 Meter lang. Sie bestehen aus Holz und werden von Betonsäulen unterstützt. Der Bewegungsmechanismus wird durch hydraulische Motoren angetrieben, die jedes Element separat ansteuern und in Bewegung setzen können.⁴⁵

Der Pavillon mit vollständig geschlossenem Dach repräsentiert den Schutz des kuwaitischen Volkes. Wenn das Dach vollständig geöffnet ist, symbolisiert es ein Schiffssegel, das Kuwaitis Leben als Händler und Entdecker des Meeres vor der Entdeckung des Öls zeigt.⁴⁶

Das Dach in halboffener Position ähnelt einem Beduinenzelt, das als Haus zum Schutz der kuwaitischen Bevölkerung vor den Wüstenstürmen diente. Die Dacharme verschränken sich im vollständig geschlossenen Zustand zu einer Abdeckung des Pavillongebäudes und spenden im Sommer Schatten.⁴⁷



Abb. 168

CHUCK HOBERMAN

Chuck Hoberman ist ein amerikanischer Künstler, Architekt, Produktdesigner und Ingenieur. Er hat einen Bachelor Abschluss in Bildhauerei (Cooper Unio) und einen Master in Maschinenbau (Columbia University). Seine akademische Laufbahn widerspiegelt auch seinen späteren beruflichen Werdegang an der Schnittstelle von Kunst, Architektur und Ingenieurwesen.⁴⁸

Im Jahr 1990 gründete er sein Unternehmen „*Hoberman Associates*“, welches zu den führenden Ansprechpartnern für wandelbares und flexibles Design gehört. Das Unternehmen arbeitet an unterschiedlichsten Projekten, die disziplinübergreifend Lösungen für transformierbare Produkte, Strukturen und Gebäude bietet, die sich in Größe und Form ändern und zeigen, dass sich Objekte faltbar und formändernd verhalten können. Die transformierbaren Strukturen die aus dem Büro mit Sitz in New York kommen, finden ihren Weg in viele Bereiche der Designwelt.⁴⁹

Für die **Architektur** bietet das Büro strukturelle Lösungen, um Räume zu schaffen, die durch ihre dynamischen Eigenschaften optisch einzigartig sind. Ebenso verfügen die bereitgestellten Systeme auch innovative, funktionale Eigenschaften, wie z.B. die Anpassungsfähigkeit an sich ändernden Umweltbedingungen.⁵⁰

Auch im **Produktdesign** ist das Unternehmen tätig und arbeitet stetig an konstruktiven und designtechnischen Lösungen, die die Entwicklung innovativer und einzigartiger Erzeugnisse ermöglicht. Vor Allem auf dem Markt für Kinderspielzeug, aber auch in anderen Bereiche sind die originellen Produkte sehr beliebt.⁵¹

Ebenso hat Hoberman in der **Kunst** viele Objekte, Skulpturen und Exponate für Museen und den öffentlichen Raum geschaffen, die die beeindruckenden visuellen Möglichkeiten aufzeigen, die durch kinetische Mechanismen erzielt werden können.⁵²

CHUCK HOBERMAN

In der **Architektur** war *Chuck Hoberman* in der Entwicklung innovativer Fassadensysteme involviert. Die *Adaptive Building Initiative* ist in der Zusammenarbeit von *Hoberman Associate* und dem Ingenieurbüro *Buro Happold* im Jahr 2008 entstanden. Sie wurde gegründet, um gemeinsam an innovativen Lösungen für die Anpassung von Gebäuden an ökologische Gegebenheiten zu arbeiten. Das Anliegen von *ABI* war es, neue Technologien zu entwickeln, mit denen sich sowohl Architekten als auch Ingenieure auseinandersetzen konnten, um ein Gleichgewicht zwischen Ästhetik und Effizienz zu finden. So zum Beispiel entstanden das *Tessellate™* und das *Strata™* System. Bei beiden Technologien handelt es sich um adaptive Fassadensysteme, die auf externe Faktoren wie beispielsweise Sonneneinstrahlung reagieren.⁵³

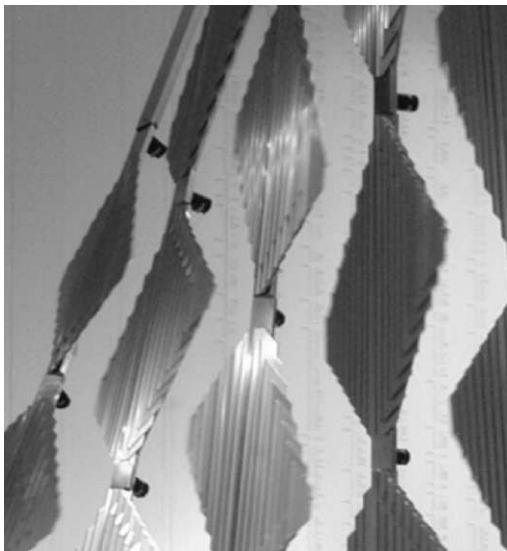


Abb. 169



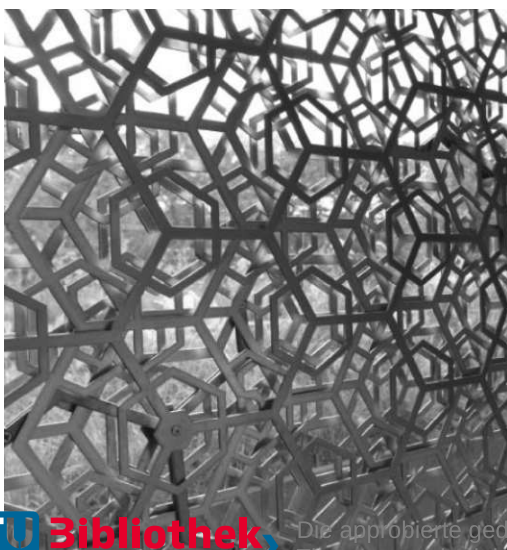
Abb. 170



Abb. 171



Abb. 172



4.2.1

ARCHITEKTUR

Strata™ System

Das *Strata™* System ist ein adaptives Fassadensystem, das auf Tageslicht und Sonneneinstrahlung reagiert. Es besteht aus automatisierten modularen kinetischen Einheiten, die in ein schlankes Profil eingefahren werden können und wurde in der Architektur beispielsweise 2010 in Kooperation mit *SOM* und der *Permatelisa Gruppe* in *Helio Trace Fassade* angewendet.⁵⁴

Basierend auf dieser Technologie hat *Chuck Hoberman* auch die kinetische Installation *Emergent Surface* für das *MOMA* entworfen.⁵⁵

Tessellate™ System

Das *Tessellate™* System wurde erstmals 2010 im *Simons Center for Geometry and Physics* der *Stonybrook University* in *New York* angewendet.⁵⁶ Es System besteht aus einzelnen Paneelen mit einem jeweils einzigartigen geometrischen Muster, die sich in einem vorbestimmten Bereich bewegen können.⁵⁷

Basierend auf der Sonnenposition können die überlappenden Schichten der Panele ihre Position ändern und in Summe mehr oder weniger die gesamte Fläche abdecken - dadurch kann das Schattensum im Rauminneren gesteuert werden.⁵⁸

Mit dieser Technologie können über einfache Methoden komplexe geometrische Muster erzeugt werden die gemeinsam ein flüssiges Bild erzeugen.⁵⁹

Eine beeindruckende Darstellung, des Einsatzbereiches kinetischer Systeme, ermöglicht *Chuck Hoberman* durch die Erfindung der „gewinkelten Schereneinheit“, welches eine kreisförmige Entfaltung der Scherengestänges ermöglicht, wodurch eine Öffnung im Mittelpunkt entsteht.⁶⁰

Durch den Einsatz der gewinkelten Elemente entwarf Hoberman beispielsweise, im Jahr

2002, den *Hoberman Bogen* für die Bühne der olympischen Winterspiele in Salt Lake City. Der Bogen untermalte die auf der Bühne stattfindenden Veranstaltungen, durch das beeindruckende mechanische Spektakel, wobei der Bogen sich, an eine menschliche Iris erinnernd, öffnen und schließen kann.⁶¹

Die Konstruktion besteht aus einem statischen Bogen kombiniert mit beweglichen Elementen,

welche in vier unterschiedliche Formen ausgeführt wurden. Diese sind polysymmetrisch übereinanderlappend angeordnet und schaffen es die Bühnenfront, in ausgefahrenem Zustand, vollständig zu schließen. Die, über einen Elektromotor betriebene, Konstruktion hat einen Durchmesser von 22 Metern und ist 11m hoch, wobei die Höhe der Module im zusammengefahrenen Modus 1,80 m beträgt.⁶²



Abb. 175



Abb. 176



Abb. 177

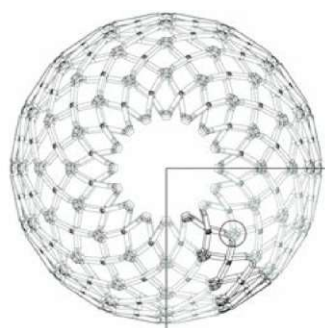


Abb. 178

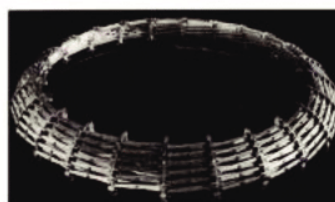
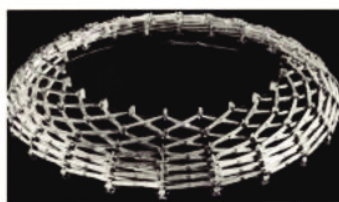
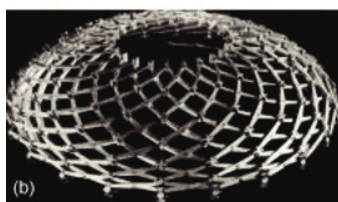
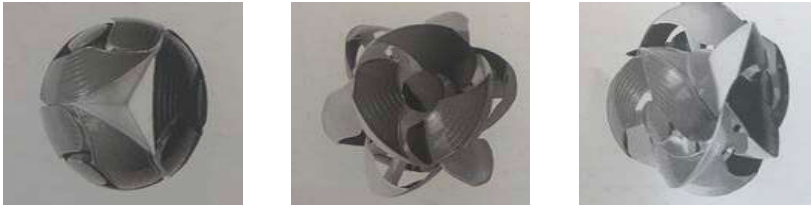


Abb. 179

Eine weiterer System von *Hoberman*, welches durch die Erfindung der „gewinkelten Schereneinheit“ ermöglicht wurde, ist die *Iris-Kuppel*.⁶³

Die Konstruktion beruht auf dem selben Prinzip, wobei die abgewinkelten Elemente hier in sechs konzentrischen Ringen angeordnet sind. Diese sind in der offenen Konfiguration übereinander gestapelt, während sie bei geschlossener Kuppel eine durchgehende Fläche bilden.⁶⁴

Das System wurde erstmals 1994 im MOMA in New York vorgestellt.⁶⁵ Die erstmalige Anwendung im Außenbereich geschah mit dem *Iris Dome*, der neben dem Deutschen Pavillon auf der Expo 2000 – der Weltausstellung in Hannover, gezeigt wurde.⁶⁶



Switch Pitch Toy, 2001

Das *Switch Pitch Toy* ist ein Spielzeugball, der, basierend auf der Drehung, die entsteht wenn das Objekt in die Luft geworfen wird, seine Farbe ändert.

Dies geschieht, weil die zwei Seiten der einzelnen beweglichen Elemente, aus denen das Objekt besteht, in unterschiedlichen Farben ausgeführt sind. Durch das Werfen drehen sich die Elemente und die vorherige Unterseite bildet nun die Oberfläche des Objekts.

Dieser Mechanismus wurde von Hoberman patentiert und wird als „*Inside-Out*“ Mechanismus bezeichnet. Das Spielzeug kam erstmals 2001 auf den Markt und wurde seither kontinuierlich produziert.⁶⁷



Abb. 181

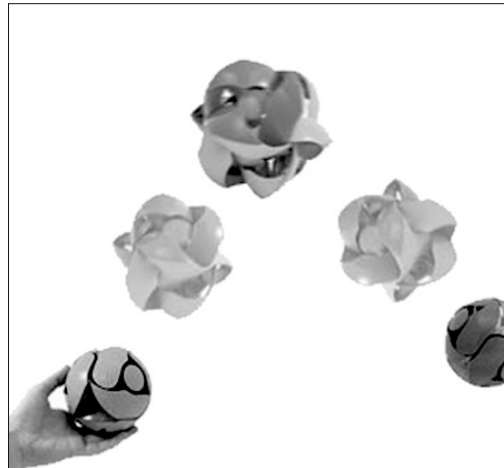


Abb. 180

Abb. 182

Hoberman Sphere, 1995

Die *Hoberman Sphere* wurde 1995 als innovatives Spielzeug vorgestellt. Das Objekt gilt als Ikone des zeitgenössischen Produktdesigns. Sie besteht typischerweise aus sechs Kreisen aus einzelnen beweglichen Elementen die über Gelenke miteinander verbunden sind. Die Gelenke wiederum sind über einen Scherenmechanismus miteinander verknüpft, wodurch die Bewegung an einer Stelle, eine Winkeländerung an allen anderen Gelenken bewirkt. Besonders die bunten Kunststoffversionen haben sich als Spielzeug durchgesetzt, wobei das ursprüngliche Design von 15 cm im Durchmesser auf 76 cm erweitert werden kann.⁶⁸



Abb. 183

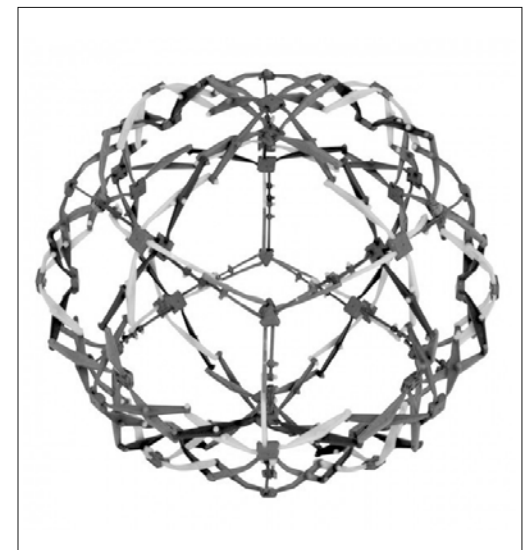


Abb. 184

Expanding Geodesic Dome, 90er

Die Struktur der *Hoberman Sphere* ist verwandt mit jener des *Hoberman Geodesic Dome*, welcher nach dem selben Prinzip funktioniert. Die Kuppel kann von einer kompakten Struktur mit 1,5m Durchmesser von der Basis im Zentrum nach Außen auf 6m ausgezogen werden. Im aufgefalteten Zustand erinnert das Muster der Kuppel an die statische geodätische Kuppel von *Buckminster Fuller* und bringt diese bahnbrechende historische Struktur ins 21. Jahrhundert.⁶⁹



Abb. 185

CHUCK HOBERMAN

Shape Changing Sculptures, 2013

Im Jahr 2013 entwarf *Hoberman*, auf den Wunsch des Architekten Sammler *Ulises Liceaga*, eine Reihe von kinetischen, formwandelnden Skulpturen, für dessen Kunstsammlung, mit dem Anspruch, etwas noch nie dagewesenes zu kriieren.

Die dabei entstandenen Skulpturen, bestehen aus mehreren aneinander gereihten gebogenen Stäben, welche sich jeweils um die eigene Achse drehen und ein, sich kontinuierlich veränderndes, Volumen bilden. Der Mechanismus ist im wesentlichen sehr einfach. Der bei der Betrachtung der Skulpturen erzeugt Effekt hingegen, ist enorm. Das entstandene, sich kontinuierlich verändernde Bild bietet dem Betrachtenden, über einfache Mittel, eine komplexen, illusorisch Erfahrung.

Im Jahr 2019 waren die Skulpturen, als Leihgabe, in der Galerie *Chase Contemporary*, in New York, ausgestellt.⁷⁰

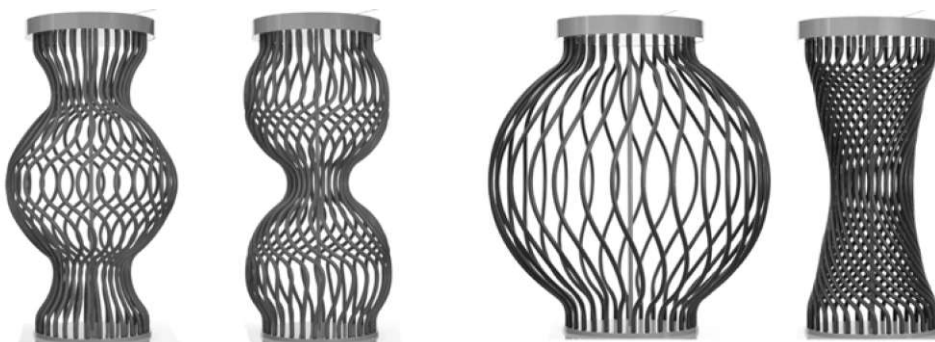


Abb. 186



Abb. 187

CHUCK HOBERMAN

10° (TEN DEGREES), 2016

Bei *10°* handelt es sich um eine interaktive, kinetische Installation. Diese besteht aus vier großen kinetischen Metallskulpturen, die von den Besuchenden der Ausstellung bewegt werden können. Die Bewegung, der 3-4 Meter hohen und Hunderten von Pfund schweren Skulpturen, erfolgt über jeweils einen Hebel, wobei das Maß der möglichen Bewegung auf vordefinierte Bewegungsbahnen beschränkt ist. Abhängig von den möglichen Bewegungsrichtungen wurde auch der Titel der Ausstellung bestimmt: die vier Skulpturen können in Summe innerhalb von zehn Bewegungsbahnen bewegt werden.

Der Betrachter ist eingeladen, diese zehn Dimensionen der einzelnen Formen interaktiv zu erkunden wodurch sowohl die einzelnen Objekte, als auch die Gesamtkonfiguration der Ausstellung im stetigen Wandel ist.⁷¹

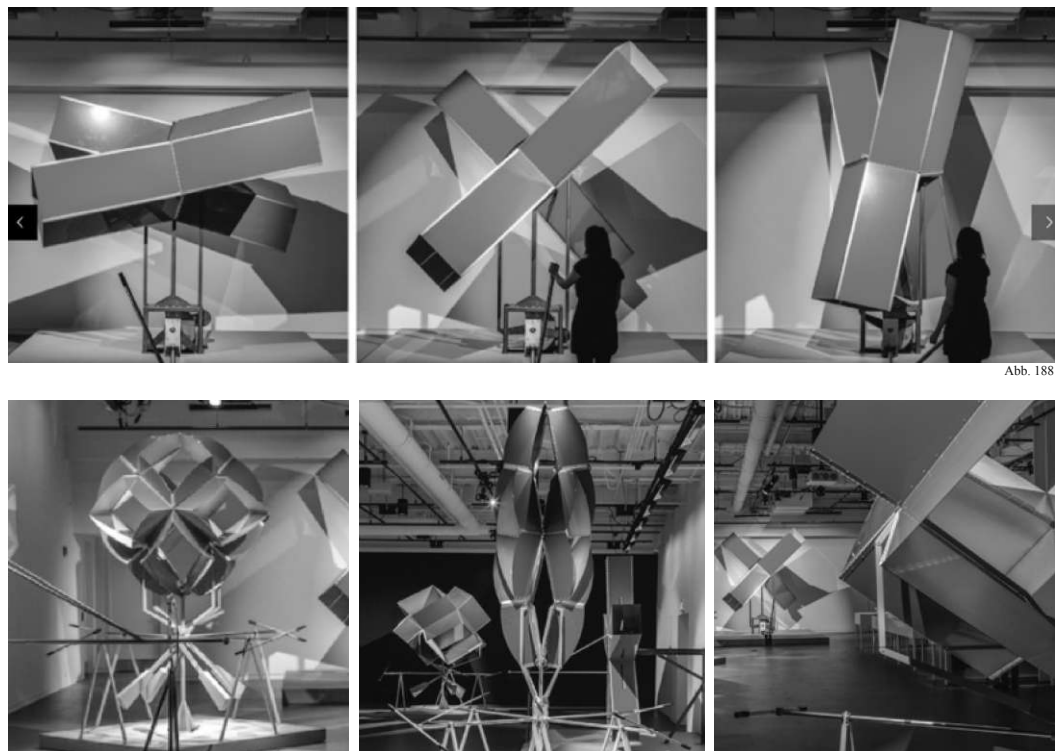


Abb. 188

Abb. 189

KINETISCHE EXPERIMENTE



Abb. 190

BUBBLES, FoxLin Architects

Bubbles ist eine pneumatische Rauminstallation im urbanen Maßstab, die, abhängig davon, ob sich Menschen in ihr befinden, aufbläst. Die Installation besteht aus großen pneumatischen Volumina aus Stoff. Jedes der Objekte ist mit Sensoren ausgestattet, die die Aktivität der jeweils an den Objekten angebrachten Ventilatoren steuern. Befinden sich keine Besuchenden in der Installation so ist das Volumen zwischen den einzelnen Stoffobjekten fast zur Gänze ausgefüllt. Wenn Menschen kommen reagiert der Raum auf diese und die Volumina „machen Platz“.⁷²



Abb. 191

LOTUS DOME, Studio Roosegaarde

Lotus Dome ist eine scheinbar lebendige Kuppel, die aus hunderten licht- und wärmeempfindlichen Blumen besteht, die sich als Reaktion auf Wärme und Licht auf bzw. zuklappen.⁷⁴ Lotus Dome schafft es, dass der Mensch, die Begegnung mit dem Objekt, wegen der Art wie dieses sich bewegt, als eine sinnliche Erfahrung erlebt. Diese Erfahrung wird noch einmal verstärkt, durch die Tatsache dass das Objekt in einer französischen Kirche, aus dem 17. Jahrhundert, in Lille, steht.⁷⁵



THE MUSCLE, Kas Oosterhuis, 2004

The Muscle von dem niederländischen Architekten Kas Oosterhuis, aus dem Jahr 2004, ist eine experimentelle kinetische Struktur die aus künstlichen Muskeln (bestehend aus einer Rohrkonstruktion) und einem dehnbaren Stoff besteht. Die Länge der Muskeln ändert sich je nach Luftdruckschwankungen und bewirkt eine Formänderung der gesamten Struktur.⁷³

FLOW 5.0, Studio Roosegaarde, 2007

FLOW 5.0 besteht aus einer 8 Meter langen, freistehenden Wand, welche mit 640 kleinen Ventilatoren besetzt ist. Ein Infrarotsensor an jedem Ventilator, aktiviert diesen, bei Annäherung einer Person. Durch die Summe der Ventilatoren entsteht, nach Abhängigkeit der Position des Besuchenden, ein Windstrom, welcher der Bewegung der Person folgt. Durch die Drehung der Ventilatoren, verändert sich auch die Transparenz der Wand lokal und macht die Interaktion zusätzlich visuell erfahrbar.⁷⁶



Abb. 193

4D-PIXEL, Studio Roosegaarde, 2005

4D-PIXEL ist eine intelligente Wand, die physisch auf akustische Signale, wie Musik oder Stimmen, reagiert. Die Installation besteht aus hunderten kleinen Zylinder-Elementen, die sich, abhängig von der Tonfrequenz, bewegen und somit das Erscheinungsbild und die Oberfläche der Wand bestimmen. Unterschiedliche Disziplinen, wie elektromagnetischer Technologie, intelligentes Software-Engineering und Elektronik, werden in diesem Projekt zusammen gebracht.⁷⁷



Abb. 194

WIND 3.0 Studio Roosegaarde, 2006

Die interaktive Installation *WIND 3.0* ist mit hunderten Fasern besetzt, die sich, basierend auf der Präsenz und Bewegung von Personen, durch künstlich erzeugten Wind bewegen. Neben dem spürbaren Wind den der Besucher beim Vorbeigehen erfährt, erzielt diese Installation auch einen starken visuellen Effekt - die durch den künstlichen Wind angetriebenen Fasern bewegen sich parallel zu den Bewegungen des Besuchers.⁷⁸

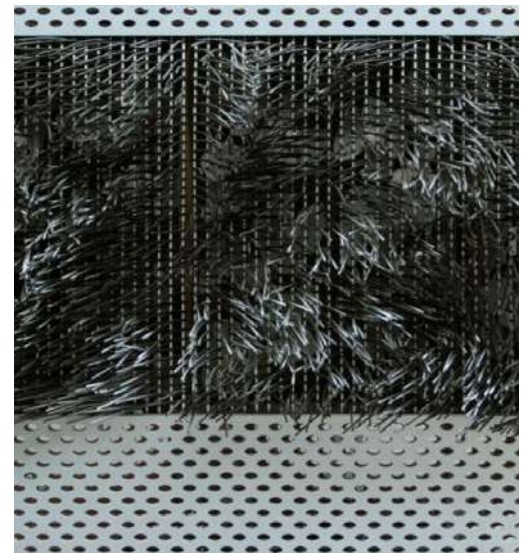


Abb. 195

HEXI RESPONSIVE WALL, Thibaut Sld, 2014

Bei der *Hexi Responsive Wall* handelt es sich um eine, aus 60 sechseckigen Paneelen bestehende, interaktive, kinetische Wand, die auf die Präsenz und Bewegung von Personen reagiert. Dies geschieht über die Verarbeitung von Echtzeitdaten, die mit Hilfe von Tiefenkameras über eine Motion-Tracking-Technologie gesammelt werden und die Daten der menschlichen Aktivität in organische Bewegungen der Wandpaneele übersetzt.^{81, 82}



Abb. 196

THE AEGIS HYPOSURFACE, dECOi Architects, Mark Goulthorpe, 2001

Bei *HypoSurface* handelt es sich um eine, von dem MIT Professor *Mark Goulthorpe* entwickelte, kinetische Struktur. Diese besteht aus tausenden kleinen, motorisch betriebenen Metallplättchen, welche sich, abhängig von äußeren Inputs (Bewegung von Personen, Geräuschen, elektronische Informationen) mit einer Höchstgeschwindigkeit von knapp unter 100 km/h bis zu 60 cm aus der ebenen Fläche hinaus bewegen können.^{79,80}

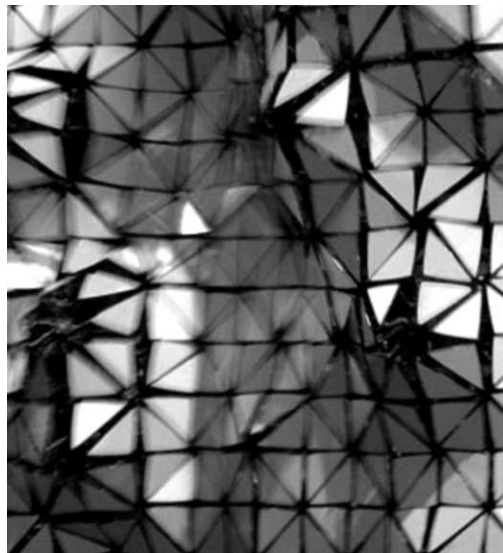


Abb. 197

KINETIC WALL, Barkow Leibinger, 2014

Die deutschen Architekten *Frank Barkow* und *Regine Leibinger* präsentieren bei der Architekturbiennale 2014 eine *kinetische Wand*, deren Oberfläche sich stetig bewegt. Dies geschieht durch motorisierten Elementen, die sich hinter der Wandoberfläche aus elastischem, durchscheinendem Gewebe befinden und so programmiert sind, dass sie sich periodisch ein- und ausfahren. Diese Aktivität bewirkt, dass sich die Gewebe-Oberfläche rhythmisch ausdehnt und zusammenzieht.^{83,84}



Abb. 198

KINETISCHE INSTALLATION



Abb. 199

DISOBEDIENCE, STUDIO INI, London Design Biennale, 2018

Die von der Designerin und Ingenieurin *Nassia Inglessis*, und dem von ihr gegründeten *Studio INI*, entworfene Installation für die London Design Biennale 2018 ist eine 17 m lange kinetische Wand, die aus einem, aus recyceltem Kunststoff aufgebauten, Stahlfederskelett besteht.⁸⁵

Es handelt sich um einen kinetischen Tunnel, welcher unsere Wahrnehmung von Design und Architektur als etwas Statisches oder emotional Inaktives herausfordert.

Wenn man die Installation erblickt, denkt man im ersten Moment, dass es sich lediglich um eine harmlose Mauer handelt, betritt man diese allerdings, so beginnt die Struktur, um den Besucher, dynamisch zu werden. Sie wellt und regt sich, als Reaktion auf die Bewegung und Aktivität der Person, die sich in ihr befindet.⁸⁶

“The structure becomes a physical megaphone for the emotions experienced in the act of disobedience,” so Inglessis, *“from curiosity or frustration to temptation, excitement and wonder.”*⁸⁷



Abb. 200

KINETISCHE INSTALLATION



Abb. 201



Abb. 202



Abb. 203

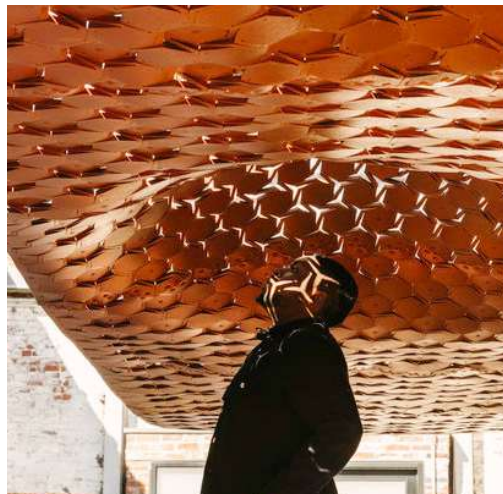


Abb. 204

URBAN IMPRINT STUDIO INI A/D/O by MINI, NYCxDesign, 2019

Urban Imprint ist eine, von *Nassia Inglessis* und *Studio INI*, in Kollaboration mit der Automarke MINI entstandene, ortsspezifische Installation, die für den Hinterhof von A/D/O in Brooklyn geschaffen wurde.⁸⁸

Die kinetische Struktur besteht aus einer Bodenkonstruktion und einer über 400 Drähten abgehängten Deckenkonstruktion. Wenn eine Person den Boden betritt, korrespondiert dieser mit der Decke und bietet die Möglichkeit den physischen Raum durch ihre eigene Bewegung neu zu gestalten.⁸⁹

Die Decke passt sich an den Besuchenden an - sie hebt und senkt sich, abhängig von der Position der Person, die sich in der Installation befindet.⁹⁰ Inglessis kommentiert die kinetische Installation folgendermaßen:

“The goal of Urban Imprint is to explore the potential of a highly responsive urban space; one that I hope can allow its visitors to feel present and empowered through their own unique imprint.”⁹¹

KINETISCHE SKULPTUR



Abb. 205



Abb. 206

STRANDBEEST THEO JANSEN

Der niederländische Künstler, *Theo Jansen*, entwickelt seit 1990 kinetische Kunstobjekte, die er *Strandbeest* nennt. Es handelt sich dabei um Skelettähnliche Windskulpturen, die aus gelben Plastikrohren (niederländische Stromrohre) bestehen und sich bewegen bzw. laufen können. In einem „Tier“ wurden im Durchschnitt zwei bis drei Tausend Meter des Rohres verbaut. Die Objekte beziehen ihre Energie aus dem Wind und haben bereits 12 Evolutionsperioden durchlebt. Jede Periode ist durch bestimmte Entwicklungen und Erkenntnisse gekennzeichnet.⁹²

„As the creator of the strandbeests, I go through a cycle every year. In winter I am mainly inventing, sketching and building a new beast in my winter studio. In spring there is already some result and I take them with me to the beach. During the summer I continue to test and develop until they behave according to what I had in mind. At the end of the summer I am a bit wiser how these animals can survive the circumstances on the beach in the future, and declare them extinct.“⁹³



Abb. 207

KINETISCHE SKULPTUR



Abb. 208

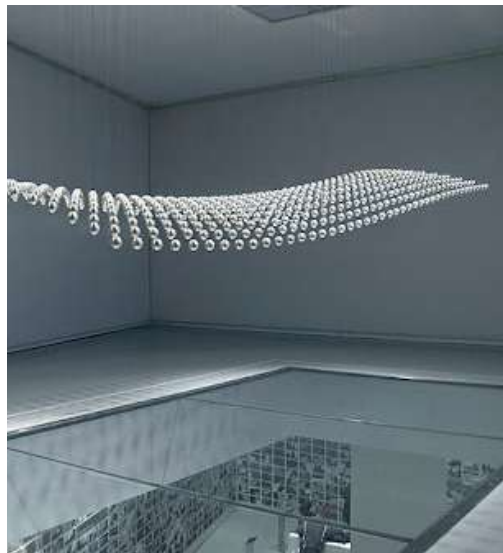


Abb. 209

KINETIC SCULPTURE , JOACHIM SAUTER, 2008 BMW

Im ersten Raum des BMW Museums erwartet den Besucher eine große kinetische Skulptur, die eine metaphorische Darstellung, des Designprozesses eines Autos, zeigt.

Es handelt sich um eine schwebende, dynamische Oberfläche, die eine Fläche von sechs Quadratmetern überspannt. Sie besteht aus 714 Metallkugeln, die über Stahldrähte befestigt, von der Decke hängen und über Mechanik, Elektronik und Code bewegt und zum Leben erweckt werden können.

Die Kugeln bewegen sich unabhängig voneinander und imitieren den Designprozess eines Autos. Anfangs ergibt die Kombination der Kugelpositionen ein chaotisches Bild, nach und nach, ordnen sich diese aber und generieren die ersten abstrakten Formen, bis sie schließlich ihre Endposition finden und die Gestalt des fertigen Fahrzeuges repräsentieren.

Das visuelle Spektakel wird von einer Sound-Installation begleitet, die die Idee hinter der Installation für den Besucher zugänglicher macht.⁹⁴



Abb. 210

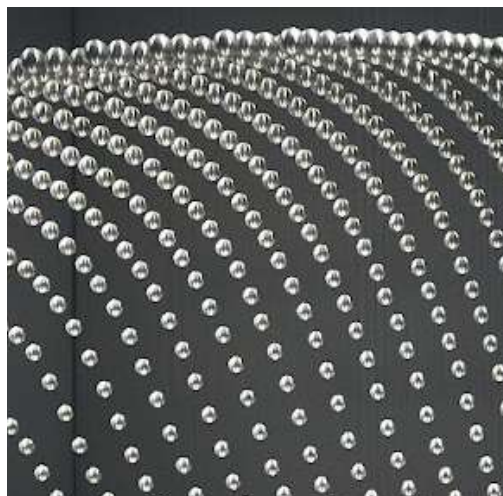


Abb. 211

- 1 <https://quotlr.com/quotes-about-beautiful-architecture>.
- 2 FOX, Michael & KEMP, Miles, *Interactive Architecture*, Princeton Architectural Press, New York, 2009, S.28.
- 3 CUDZIK, Jan & NYKA, Lucyna, *Reasons for implementing Movement in Kinetic Architecture*, in: *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 245 042073, 2017, S.1.
- 4 İLERISOY, Zeynep Yeşim & PEKDEMİR BASEGMEZ, Merve; *Conceptual Research of Movement in Kinetic Architecture*, in: *Gazi University Journal of Science GUJS*; Gazi, 2018; S. 344.
- 5 CUDZIK et al, 2017, S.1.
- 6 FOX et al, 2009, S.30.
- 7 FOX et al, 2009, S.30.
- 8 FOX et al, 2009, S.30.
- 9 İLERISOY et al, 2018, S.344.
- 10 FOX et al, 2009, S.27.
- 11 FOX et al, 2009, S.26.
- 12 FOX et al, 2009, S.27.
- 13 İLERISOY et al, 2018, S.345.
- 14 LEE, Joshua David, *Adaptable, Kinetic, Responsive, Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design*, Texas, 2012, S.27.
- 15 TILL, Jeremy & SCHNEIDER, Tatjana, *Flexible housing: the means to the end*, in: *Architectural Research Quarterly*, Volume 9, Issue 3-4, Cambridge University Press, London, 2005, S.289.
- 16 LEE et al, 2012, S.3.
- 17 LEE et al, 2012, S.3.
- 18 LEE et al, 2012, S.3.
- 19 İLERISOY et al, 2018, S.345.
- 20 SARICIOGLU, Pelin & YILDIRIM, Tayfun, *Kinetic Elements in Residential Designs*, in: *Journal of Science*, Volume 34 - Issue 2, Gazi University, 2019, S.46.
- 21 <https://blog.allplan.com/de/kinetische-architektur>.
- 22 <https://www.detail.de/artikel/future-building-trends-integrative-energiegewinnung-4507/>.
- 23 ALLAM, Sammar, *Nano Science and Nano Technology in Architecture*, in: *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 5, Issue 11, Alexandria University, Ägypten, 2014, S.7-8.
- 24 <https://www.detail.de/artikel/future-building-trends-integrative-energiegewinnung-4507/>.
- 25 SARICIOGLU et al, 2021, S.57.
- 26 FOX et al, 2009, S.31.
- 27 CUDZIK et al, 2017, S.6-7.
- 28 CUDZIK et al, 2017, S.6-7.
- 29 CUDZIK et al, 2017, S.1.
- 30 SCHUMACHER, Michael, VOGT Michael-Marcus, KRUMME, Luis A. Cardón, *New Move*, Birkhäuser Basel, Berlin, 2019, S.12.
- 31 TABACKI, Nebojsa, *Kinetische Bühne*, Transcript Verlag, Bielefeld, 2014, S.21.
- 32 SCHUMACHER et al, 2019, S.8.
- 33 <https://weburbanist.com/2010/07/23/another-wave-in-the-wall-vertical-lake-building-facade/>.
- 34 KNIPPERS, Jan & JUNGJOHANN, Hauke & SCHEIBLE, Florian & OPPE, Matthias, *Bio-inspirierte kinetische Fassade für den Themenpavillon „One Ocean“ EXPO 2012 in Yeosu, Korea*, in: *Bautechnik* 90 (2013), Heft 6, Ernst & Sohn, S.341.
- 35 CUDZIK, Jan, *Change Taking place in the kinetic architecture over the 20th and 21st centuries*, in: *Space & Form*, Issue 38, Polen, 2019, S.25.
- 36 <https://www.archdaily.com/58591/uk-pavilion-for-shanghai-world-expo-2010-heatherwick-studio>.
- 37 <https://competence.khs.com/en/012014-striving-for-success/the-aesthetics-of-functionality/>.
- 38 CUDZIK et al, 2017, S.4.
- 39 <https://archinect.com/features/article/150061865/from-the-ground-up-santiago-calatrava>.
- 40 FOUAD, Soha Mohamed Abd El-Hady, *Design Methodology: Kinetic Architecture*, Egypt, 2012, S.65-68.
- 41 FOUAD, 2012, S.65-68.
- 42 FOUAD, 2012, S.65-68.
- 43 FOUAD, 2012, S.65-68.
- 44 AFZALI, Narges & HAMZEHLUO, Sara, *Kinetic, an innovative approach in contemporary architecture*, in: *International Conference on modern reasearch in civil engineering, architectural, and urban development*, Volume 5, Iran, 2016, S.192.
- 45 AFZALI et al, 2016, S.192
- 46 ASEFI, Maziar, *Transformation and movement in architecture*, in: *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 5, Issue 11, Alexandria University, Ägypten, 2014, S.7-8.
- 47 ASEFI, Maziar, et al, 2012, S.1007.
- 48 <https://www.chasecontemporary.com/artists/chuck-hoberman/available-works?view=slider#4>.
- 49 <https://www.designdirectory.com/hoberman?AspxAutoDetectCookieSupport=1>.
- 50 <https://www.designdirectory.com/hoberman?AspxAutoDetectCookieSupport=1>.
- 51 <https://www.designdirectory.com/hoberman?AspxAutoDetectCookieSupport=1>.
- 52 <https://www.designdirectory.com/hoberman?AspxAutoDetectCookieSupport=1>.
- 53 DROZDOWSKI, Ziggy, *The Adaptive Building Initiative: The Functional Aesthetic of Adaptivity*, in: *Special Issue: Experimental Green Strategies: Redefining Ecological Design Research*, Volume81, Issue 6, John Wiley & Sons Ltd., New Jersey, 2011, S.120.
- 54 AFZALI et al, 2016, S.188.
- 55 <https://www.hoberman.com/portfolio/emergent-surface/>.
- 56 CUDZIK, 2019, S.25.
- 57 DROZDOWSKI et al, 2011, S.120.
- 58 DROZDOWSKI et al, 2011, S.120.
- 59 CUDZIK, 2019, S.25-26.
- 60 SCHUMACHER et al, 2019, S.100.
- 61 SCHUMACHER, et al, 2019, S.100.
- 62 SCHUMACHER, Michael, VOGT Michael-Marcus, KRUMME, Luis

63 SCHUMACHER et al, 2019, S.100.

64 MADEN, Feray, *The Architecture of Movement: Transformable Structures and Spaces*, in: *6th International Congress on Livable Environments & Architecture - LIVENARCH-VI 2019: Replacing Architecture*, Türkei, 2019, S.555-556.

65 <https://www.hoberman.com/portfolio/iris-dome-at-moma/>.

66 <https://www.hoberman.com/portfolio/iris-pavilion-2/>.

67 <https://www.hoberman.com/portfolio/switch-pitch-toy/>.

68 <https://www.hoberman.com/portfolio/hoberman-sphere-toy/>.

69 <https://www.hoberman.com/portfolio/expanding-geodesic-dome/>.

70 <https://www.hoberman.com/portfolio/shape-changing-sculptures/>.

71 <https://www.hoberman.com/portfolio/10-ten-degrees/>.

72 https://foxlin.com/portfolio_item/bubbles/.

73 GRONOSTAJSKA, Barbara Ewa et al, *Responsive solutions in shaping innovative architectural structures* in: *E3S Web of Conferences 49*, Polen, 2018, S.5. (https://www.researchgate.net/publication/327007969_Responsive_solutions_in_shaping_innovative_architectural_structures).

74 <https://www.studiooosegaard.net/project/lotus-dome>.

75 GRONOSTAJSKA et al, 2018, S.4.

76 SCHUMACHER, et al, 2009, S.153.

77 <https://www.studiooosegaard.net/project/4d-pixel>.

78 <https://studiooosegaard.net/data/files/2018/08/328/>

79 SCHUMACHER, et al, 2009, S.155.

80 <https://parametrichouse.com/hyposurface/>.

81 <http://cultureandlife.co.uk/2014/02/27/hexi-responsive-wall/>.

82 <https://archello.com/product/hexi-responsive-wall>.

83 https://barkowleibinger.com/archive/view/kinetic_wall.

84 <https://www.dezeen.com/2014/06/18/kinetic-wall-barkow-leibinger-elements-venice-biennale-2014/>.

85 <https://www.londondesignbiennale.com/participant/greece-0>.

86 <https://www.londondesignbiennale.com/participant/greece-0>.

87 <https://www.londondesignbiennale.com/participant/greece-0>.

88 https://www.mini.com/en_MS/home/a-d-o/studio-ini/urban-imprint.html.

89 https://www.mini.com/en_MS/home/a-d-o/studio-ini/urban-imprint.html.

90 https://www.mini.com/en_MS/home/a-d-o/studio-ini/urban-imprint.html.

91 https://www.mini.com/en_MS/home/a-d-o/studio-ini/urban-imprint.html.

92 <https://www.strandbeest.com>.

93 <https://www.strandbeest.com/page/frequently-asked>.

94 SAUTER, Joachim, JASCHKO, Susanne, ÄNGESLEVÄ, Jussi, *ART+COM, Media Spaces and Installations*, Gestalten, Berlin, 2011, S.156-161.

05

*EXPERIMENTELLER
ENTWURF*

*Was man lernen muss, um es zu tun, das lernt man,
indem man es tut.“*

- Aristoteles

PROLOG

EXPERIMENTELLER ENTWURF

Das vorliegende Kapitel, „*Experimenteller Entwurf*“ dokumentiert den experimentellen Vorgang für die Entwicklung einer kinetischen Struktur, die als Konzept für eine interaktive kinetische Installation fungiert - das Konzept, in all seinen Stadien, trägt den Titel „**WALLume Pro**“. Ziel ist es, ein System zu erschaffen, mit welchem die Ästhetik der Bewegung, über experimentelle Methoden, erprobt und untersucht werden kann.

Daraus entsteht das Konzept für die kinetische Struktur:

WALLume Pro:

Eine flach am Boden liegende Struktur die sich, wie durch Zauberhand, in Richtung der z-Achse ausbreitet, sich stetig verändert, bewegt und unterschiedliche Formen annimmt.

Der Prozess für die Entwicklung der kinetischen Struktur beginnt mit einem Recherche-teil, in welchem eine kombinierte Betrachtung einiger gängiger beweglicher Strukturen und die dazugehörigen Mechanismen, welche die Bewegung ermöglichen, stattfindet. Die betrachteten Strukturen - Scherengitter, Leporello und Wabenstruktur - sind aus dem Alltag gegriffen und haben gemeinsam, dass ihr Zu-

stand, durch eine Krafteinwirkung, zwischen „*kompakt und geschlossen*“ und „*ausgebreitet und offen*“, wechselt. Die Auseinandersetzung mit diesen dient zur Inspiration auf der Suche nach einer geeigneten Grundstruktur, welche dann, im zweiten Teil des Kapitels, ihre Form findet.

Ausgangspunkt für die Entwicklung der Grundstruktur ist ein bereits bestehendes Stecksystem für das Bett 2.0 von dem Berliner Unternehmen RIAB. Von diesem leitet sich die Struktur von **WALLume Pro** ab. Sie folgt der Formensprache des Stecksystems: Ein System aus starren Elementen die über Scharniere gelenkig miteinander verbunden werden. Durch den Einsatz der 3D-Druck Technologie wird sowohl die Verbindung der einzelnen Bauteile optimiert, als auch eine möglichst Material- und gewichtseffizient Umsetzung ermöglicht.

Der Antrieb für die Bewegung funktioniert durch die punktuelle Energiezufuhr in Form von pneumatischen Elementen. Diese sind an unterschiedlichen Stellen in der Struktur verortet und verfügen über separat gesteuerte Kanäle für die Energiezufuhr. Über diese kann die Luftzufuhr punktuell gesteuert werden, was

eine vielseitige Ausbreitung und Bewegung der Struktur ermöglicht.

Die Struktur wurde im Maßstab 1:5 entworfen, untersucht und umgesetzt. Die Umsetzung in Originalgröße und im architektonischen Kontext wurde ebenfalls visualisiert und bietet den Anreiz, nach technischer Überarbeitung bezüglich Machbarkeit und Maßstab, weiterentwickelt zu werden. In diesem Zusammenhang wurden in dem vierten Teil des vorliegenden Kapitels einige Anwendungsvorschläge und Szenarien überlegt und visualisiert.

**WALL + VOLUMEN + PROTOTYP =
WALLume Pro.**

Der Name setzt sich aus den englischen Wörtern *wall* (Wand), *volume* (Volumen) und *prototype* (Prototyp) zusammen.

Bringt man einen aus der Architektur gängigen Typus mit der Idee von **WALLume Pro** in Verbindung, dann ist das die Wand - jenes Bauteil welches sich in Richtung der z-Achse ausbreitet. Die Volumen bringende Luft in den einzelnen pneumatischen Elementen ermöglicht dies für die Struktur **WALLume Pro**.

ÜBERSICHT

EXPERIMENTELLER ENTWURF

05

EXPERIMENTELLER ENTWURF

WALLume Pro - ein Konzept für eine kinetische Struktur

5.1		5.2		5.3		5.4		5.5	
RECHERCHE		STRUKTUR		ANTRIEB		ANWENDUNG		CHOREOGRAPHIEN	
5.1.1	Scherengitter	5.2.1	Ausgangspunkt	5.3.1	Z-Achse	5.4.1	Steuerungssystem	5.5.1	I
5.1.2	Leporello	5.2.2	Modifikation	5.3.2	X-Achse			5.5.2	II
5.1.3	Wabenstruktur	5.2.3	Optimierung	5.3.3	Externe Steuerung	5.4.2	Interaktive kinetische Installation	5.5.3	III
								5.5.4	IV
								5.5.5	V

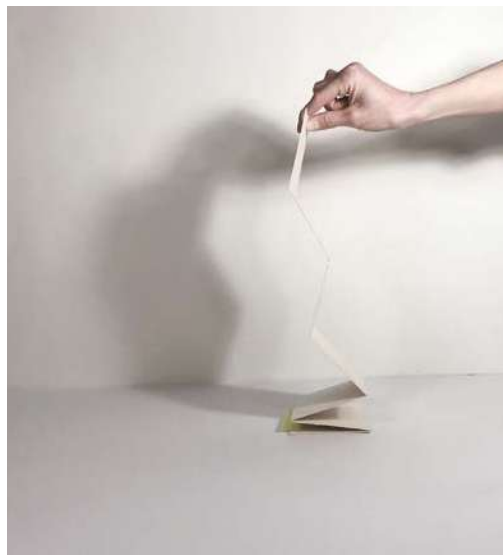
5.1

RECHERCHE



SCHERENGITTER

Das Scherengitter besteht aus mehreren linearen Elementen die gekreuzt angeordnet und an bestimmten Punkten gelenkig verbunden sind. Das Prinzip, welches bei Scheren angewendet wird, wird hierbei flächig erweitert, wobei die linearen Elemente durchgängig sind und die Veränderung des Winkels an einem Punkt das gesamte Gitter bewegt. Scherengitter werden in der Architektur gerne für Einbruchssicherungen verwendet. Auch in vielen anderen Bereichen, beispielsweise im Garten als Rankgitter oder als Absperrung im Straßenverkehr, finden Scherengitter Anwendung.



LEPORELLO

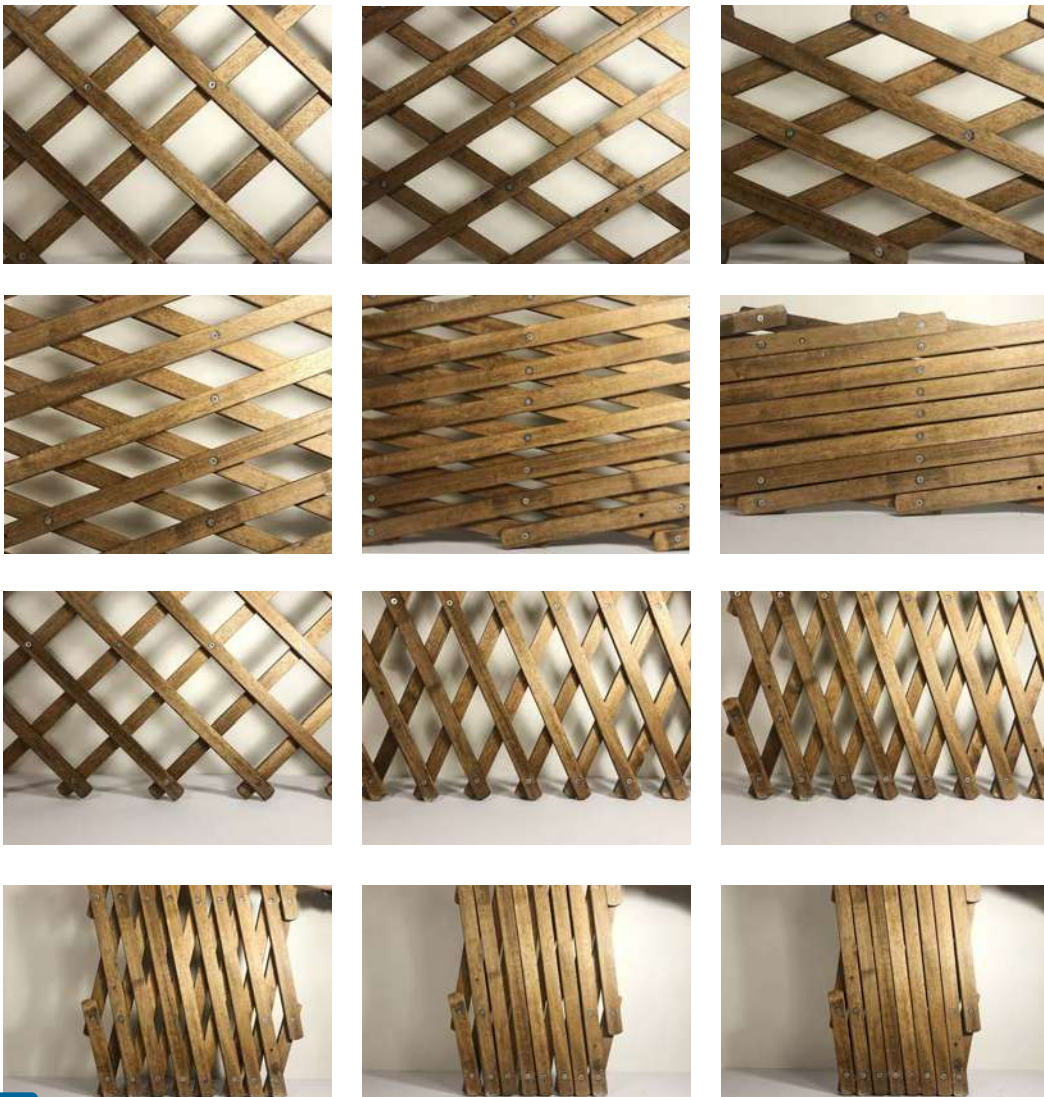
Leporello ist die Bezeichnung für ein wechselseitig gefaltetes Heft, welches aus einem langen Papier oder Kartonstreifen besteht. Dieses ist so gefaltet, dass mehrere Seiten entstehen, die dann ziehharmonikaartig aufgeklappt werden können. Die Größe und das Format der einzelnen, einklappbaren Seiten kann variieren.



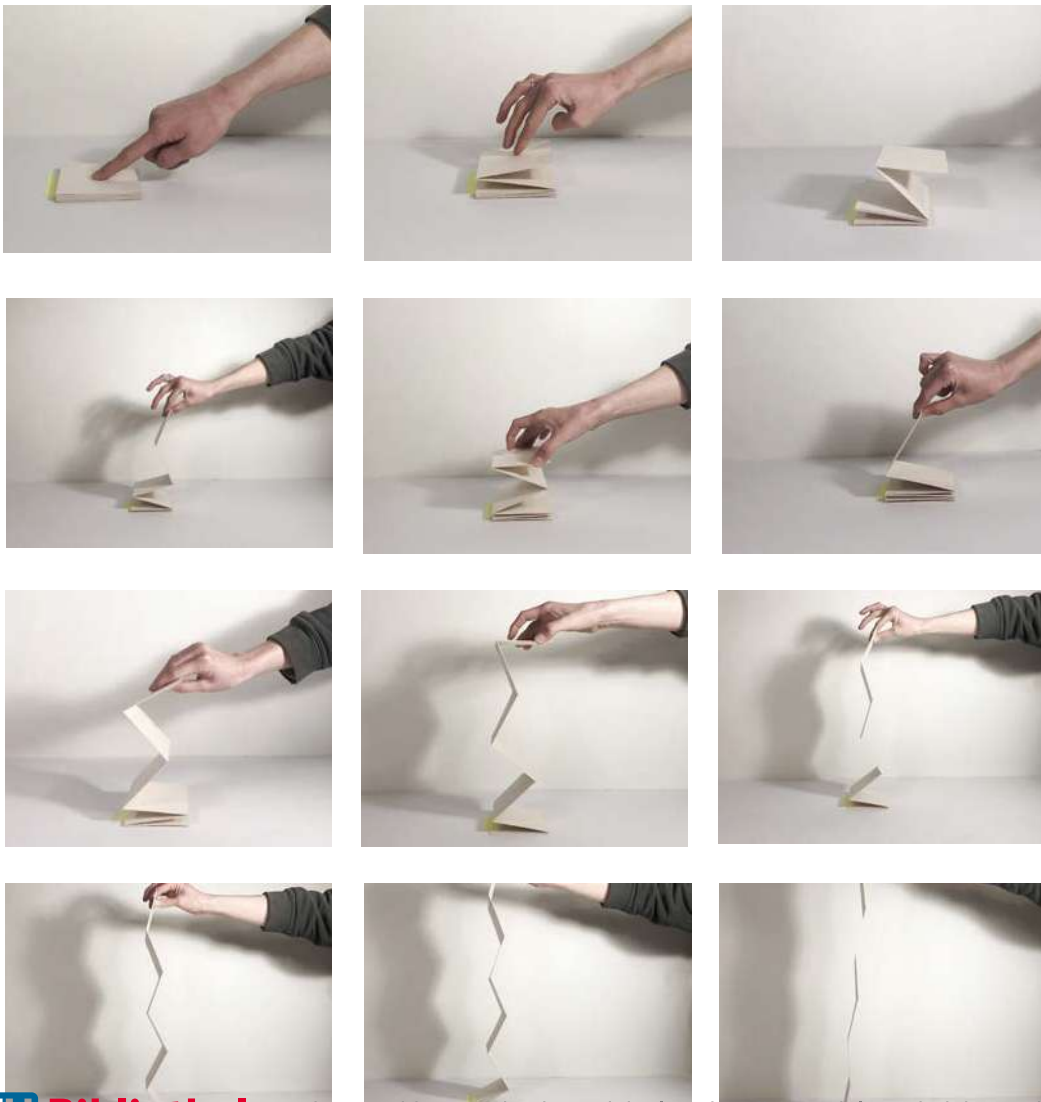
WABENSTRUKTUR

Im Bereich der Sandwichplatten hat sich die Wabenstruktur etabliert. Zwischen zwei planen Oberflächen wird in der klassischen Sandwichplatte ein wabenförmiger Stützkern eingeschlossen. Diese Konstruktion wird in unterschiedlichen Materialien umgesetzt. Besonders interessant ist, im Zusammenhang mit diesem Kapitel, die Sandwichplatte aus Karton/Papier. Werden die beiden Oberflächen entfernt erhält man die Wabenstruktur aus Papier, welche interessante Eigenschaften im Bezug auf ihre Verformbarkeit besitzt.

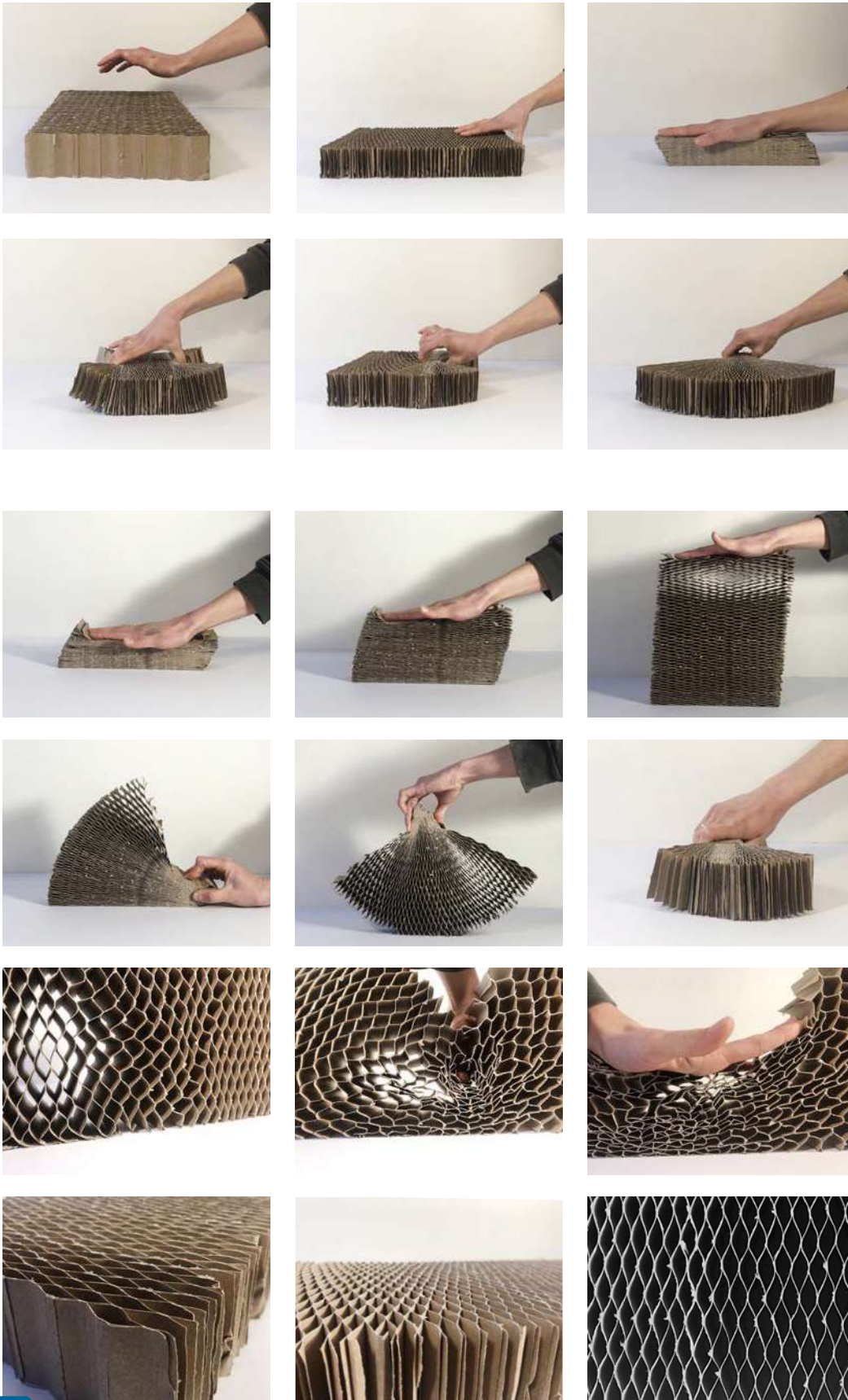
SCHERENGITTER



LEPORELLO



WABENSTRUKTUR

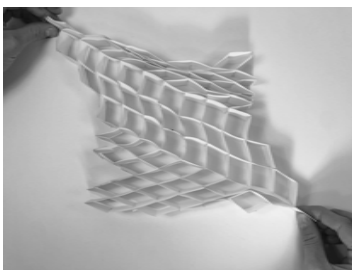


STRUKTUR

Aus der Recherche im ersten Teil dieses Kapitels hat sich ergeben, dass insbesondere die Ausbreitung von Strukturen in Richtung der Z-Achse und der wechselnde Zustand zwischen „kompakt und geschlossen“ und „ausgebreitet und offen“ im Fokus des Interesses liegen.

5.2.1

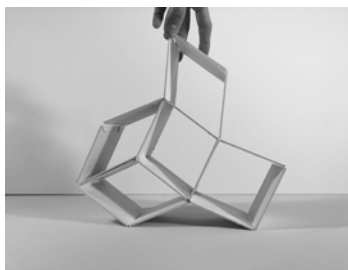
AUSGANGSPUNKT



Stecksystem von Bett 2.0

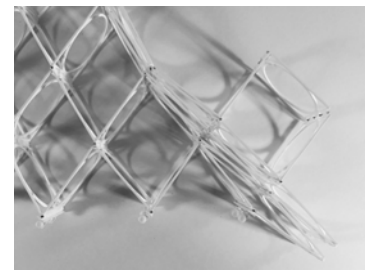
5.2.2

MODIFIKATION

Starre Bauteile,
gelenkig verbunden

5.2.3

OPTIMIERUNG



3D - Druck

Als Ausgangspunkt dient das Stecksystem, welches bei einem Möbelstück des Berliner Unternehmens *RIAB* angewendet wurde. Dieses besteht, wie auch das Scherengitter, aus durchgängigen Elemente die allerdings dem flächigen Charakter des Leporellos und der Wabenstruktur entsprechen.

Das Stecksystem wird dann modifiziert - die Formsprache der Ausgangsstruktur bleibt beibehalten. Diese Ausführung basiert auf einer Kombination des Leporellos und der Wabenstruktur - das Prinzip des Leporellos wird im Stil der Wabenkonstruktion vervielfältigt, wobei starre Elemente gelenkig miteinander verbunden werden.

Durch den Einsatz der 3D-Druck Technologie wird sowohl die Verbindung der einzelnen Bauteile optimiert, als auch eine möglichst material- und gewichtseffizient Umsetzung ermöglicht.

AUSGANGSPUNKT

STECKSYSTEM DES BETT 2.0 VON RIAB

Das „Bett 2.0“ des Berliner Unternehmens „RIAB“ besteht aus linearen Pappstreifen die mit halbhohe Einschnitten ausgeführt sind und dadurch ineinandergesteckt werden können. Dabei entsteht eine spezielle Wabenstruktur, die mit der Formsprache des Scherengitters verwandt ist.

Das Stecksystem des Bettes dient als Ausgangspunkt für die Entwicklung der Struktur. Dieses wurde allerdings leicht abgeändert, indem die Bauteilenden verklebt wurden, um eine für die Weiterentwicklung notwendige Durchgängigkeit der Bauteilverbindungen zu gewährleisten.

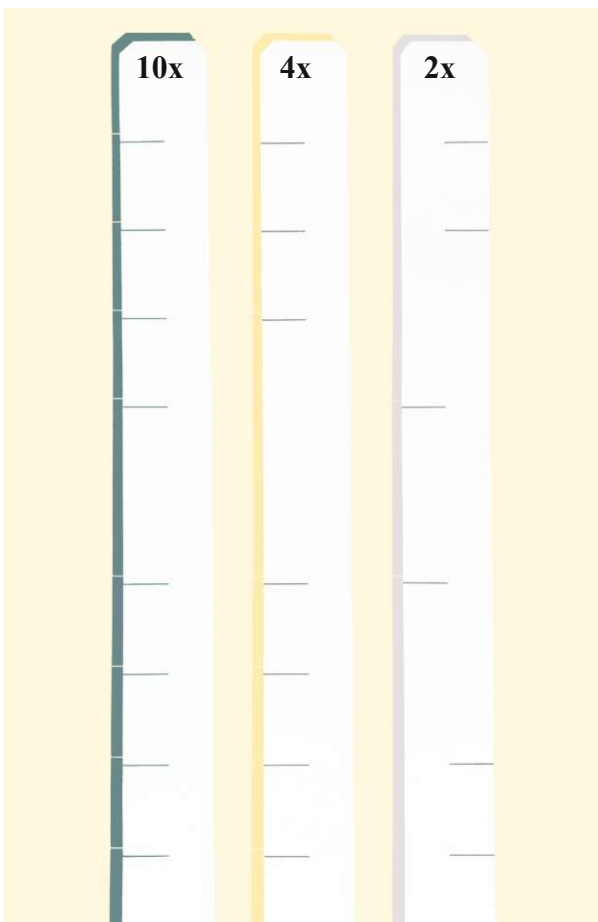


AUSGANGSPUNKT

STECKSYSTEM DES BETT 2.0 VON RIAB

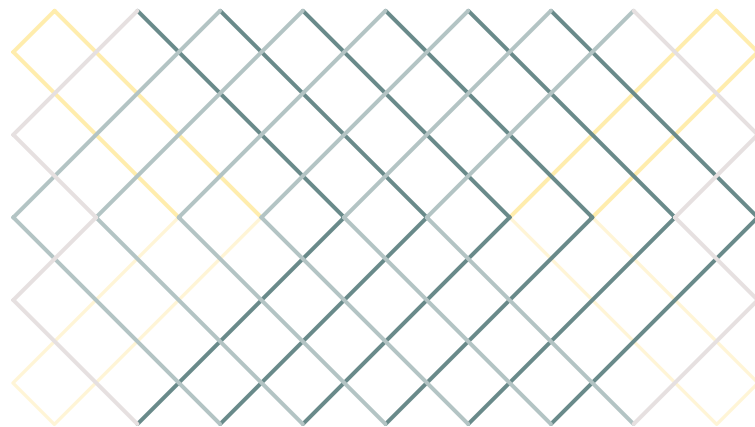
BAUTEILE

Die Konstruktion besteht aus 16 Papierstreifen in drei unterschiedlichen Ausführung, die abwechseln halbhoch eingeschnitten sind.



ZUSAMMENSETZUNG

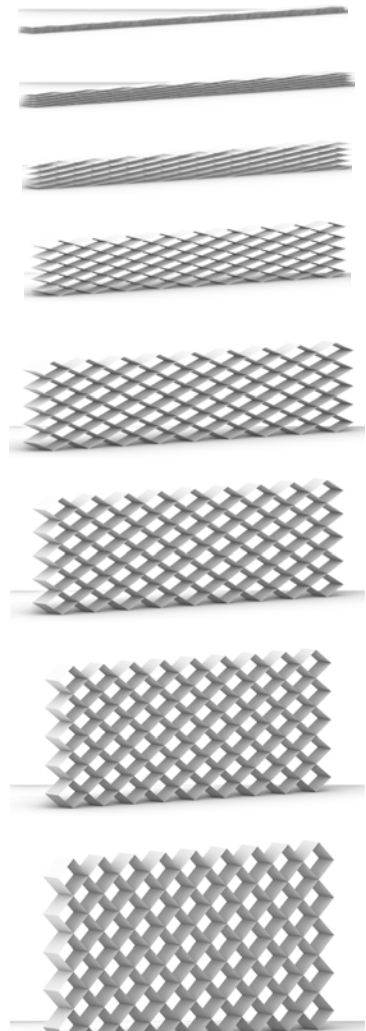
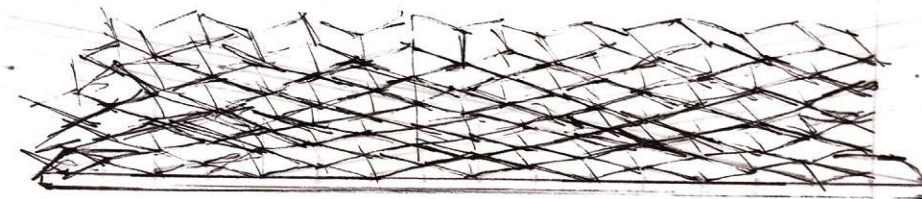
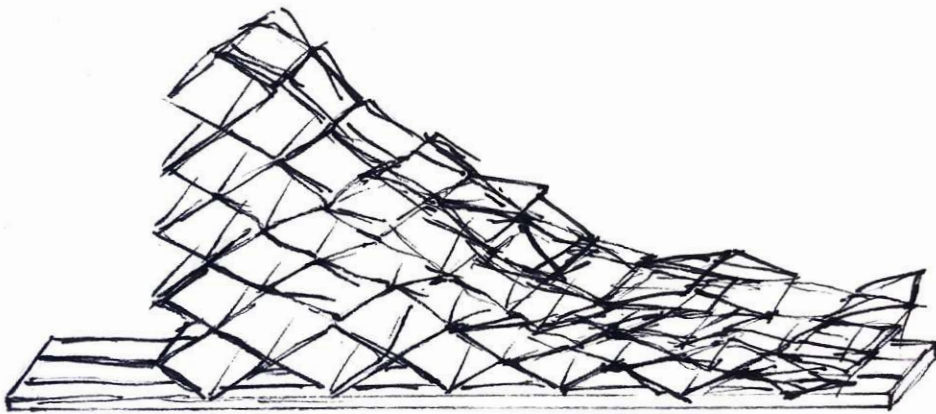
Die Papierstreifen werden, wie in der Darstellung farblich kennzeichnet, ineinander gesteckt. Die Bauteilenden werden im Anschluss miteinander verklebt.



AUSGANGSPUNKT

STECKSYSTEM DES BETT 2.0 VON RIAB

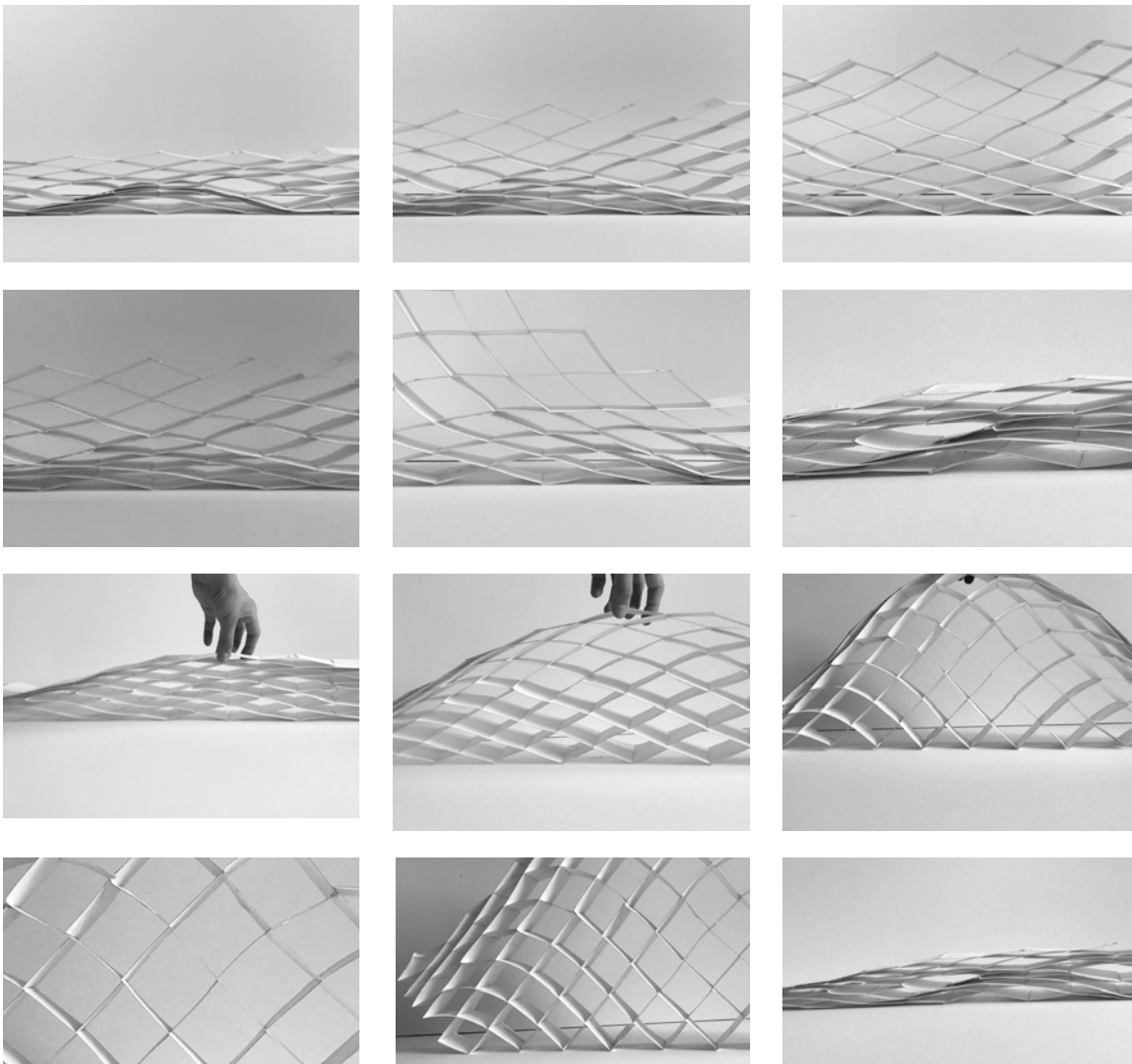
STUDIEN und SKIZZEN



AUSGANGSPUNKT

STECKSYSTEM DES BETT 2.0 VON RIAB

STUDIEN und SKIZZEN



AUSGANGSPUNKT

STECKSYSTEM DES BETT 2.0 VON RIAB

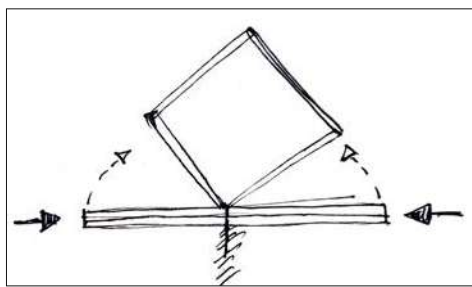
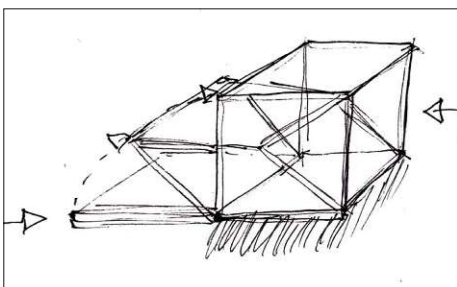
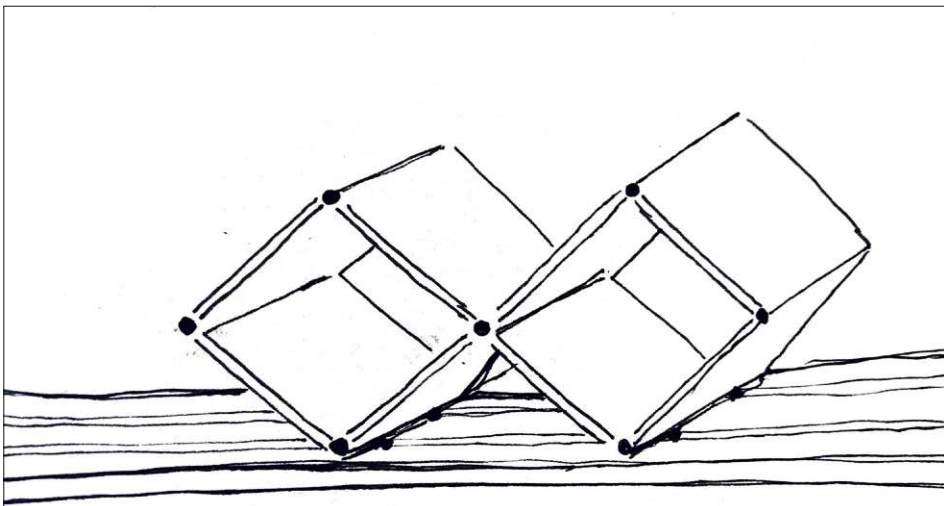
STUDIEN und SKIZZEN



MODIFIKATION

STARRE BAUTEILE GELENKIG MITEINANDER VERBUNDEN

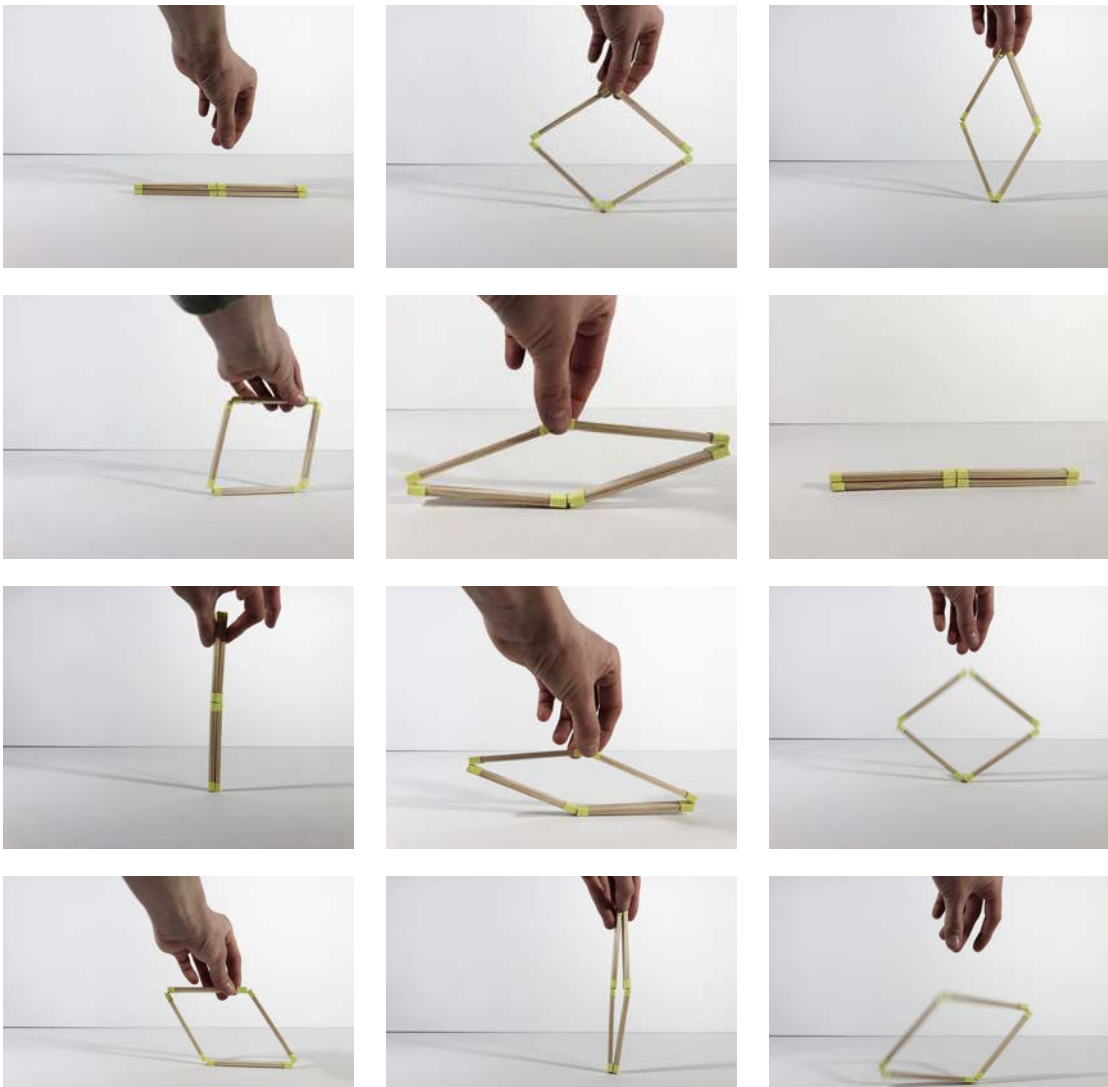
Die Struktur welche als Ausgangspunkt fungiert hat wird nun modifiziert und in einer ähnlichen Formensprache auf neue Art umgesetzt. Dabei werden die langen durchgängigen Elementen, welche über ein Stecksystem miteinander verbunden waren zerteilt und einzelne starre Bauteile werden gelenkig miteinander verbunden.



MODIFIKATION

STARRE BAUTEILE GELENKIG MITEINANDER VERBUNDEN

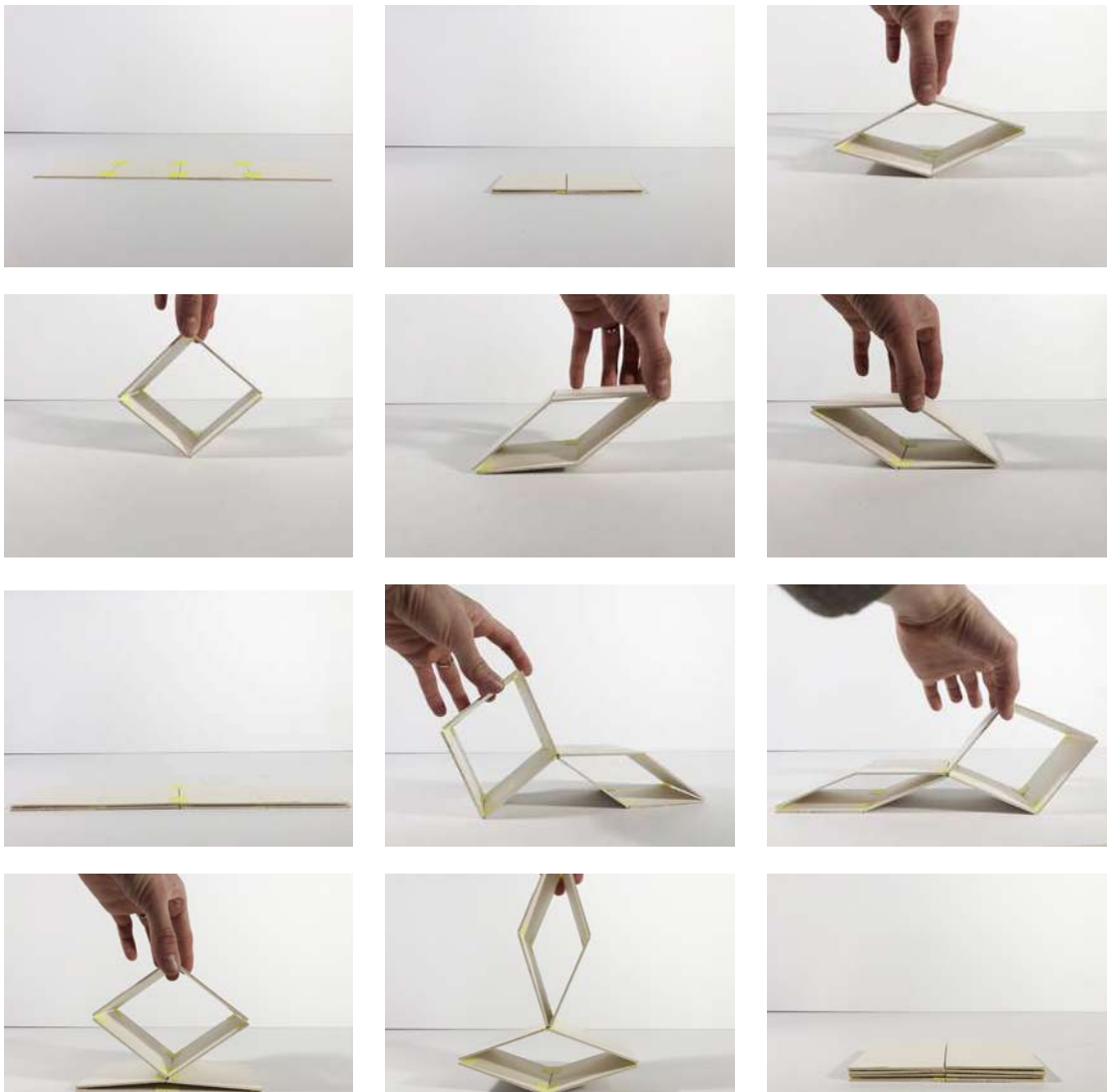
gelenkige Verbindung, lineares Bauteil



MODIFIKATION

STARRE BAUTEILE GELENKIG MITEINANDER VERBUNDEN

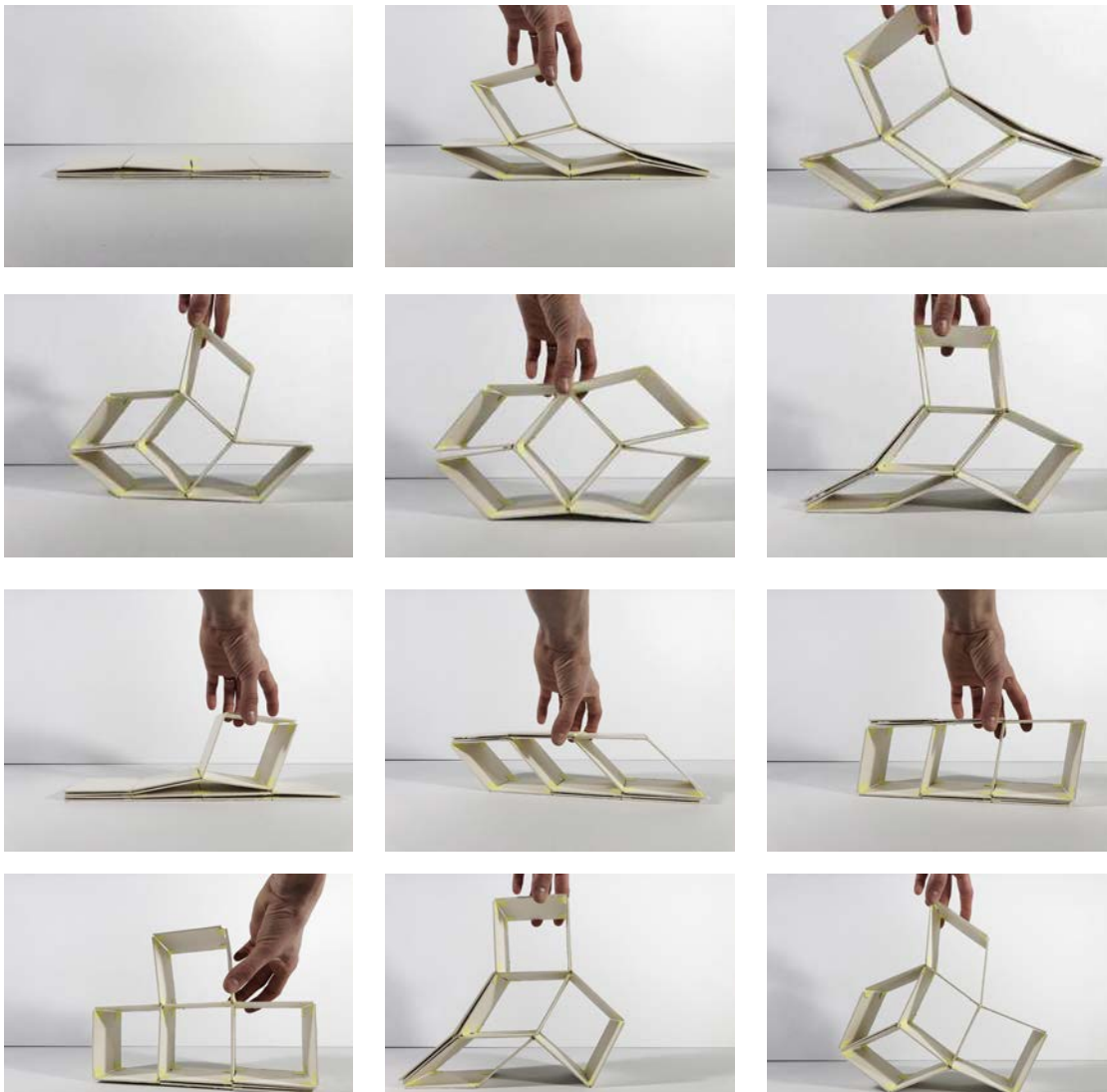
gelenkige Verbindung, flächiges Bauteil



MODIFIKATION

STARRE BAUTEILE GELENKIG MITEINANDER VERBUNDEN

gelenkige Verbindung, flächiges Bauteil



OPTIMIERUNG

3D-DRUCK

Für die Konstruktion der endgültigen Struktur wurde auf die digitale Methode des **3D-Drucks** zurückgegriffen. Dadurch können die Bauteile sehr genau geplant und detailreich ausgeführt werden. Die präzise Ausführung ermöglicht die genaue Umsetzung einer vorher erdachten und digital erprobten Zusammensetzung einzelner Bauteile.

Hierbei wurde eine Vorgehensweise verfolgt, bei der **starrten Bauteilen, gelenkig miteinander**

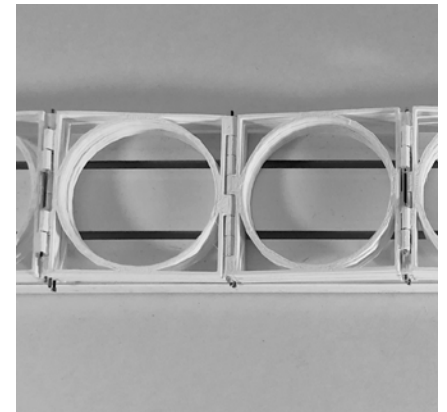
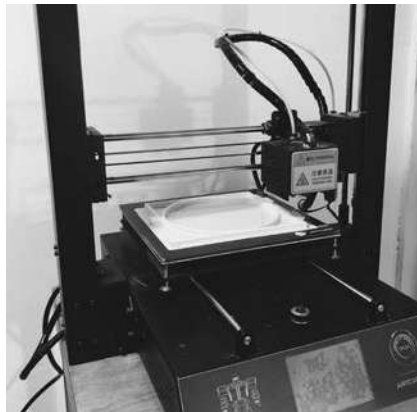
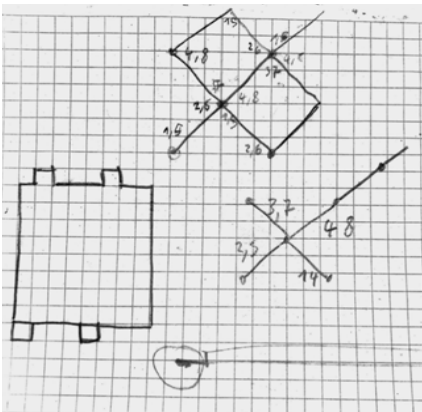
verbunden werden. In einer Stelle kommen jeweils vier Bauteile zusammen die mit jeweils zwei Scharnieren pro Seite ausgeführt sind. Durch einen Stift der durch alle acht Scharniere hindurch gesteckt wird, entsteht ein Gelenk, um welches sich jeweils vier Bauteile bewegen können.

Durch den Einsatz der **3D-Druck Technologie** wird sowohl die Verbindung der einzelnen Bauteile optimiert, als auch eine möglichst material-

und gewichtseffizient Umsetzung ermöglicht.

In dem Teil „*Optimierung*“ wird als erstes auf das Bauteil an sich eingegangen und die Ausführung dessen anhand von Plänen vorgestellt.

Im Anschluss wird auf die Zusammensetzung der einzelnen Bauteile eingegangen, gefolgt von der, sowohl digital als auch analogen, Dokumentation der fertigen, zusammengesetzten Struktur.

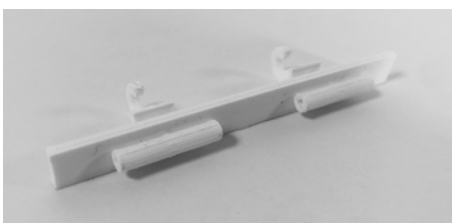
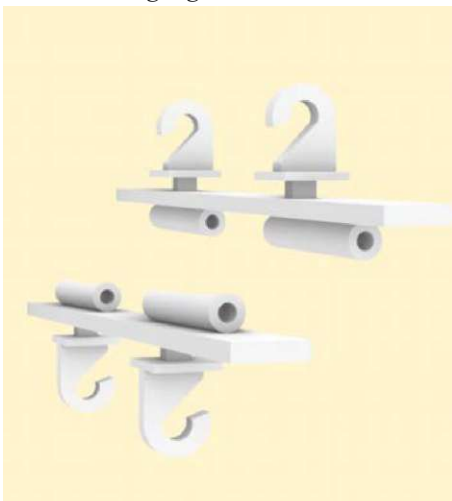


OPTIMIERUNG

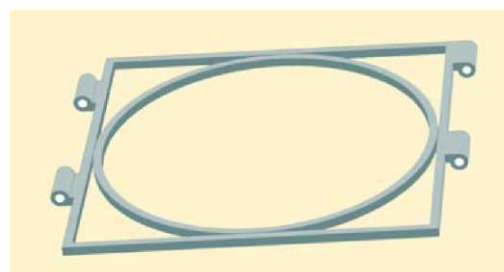
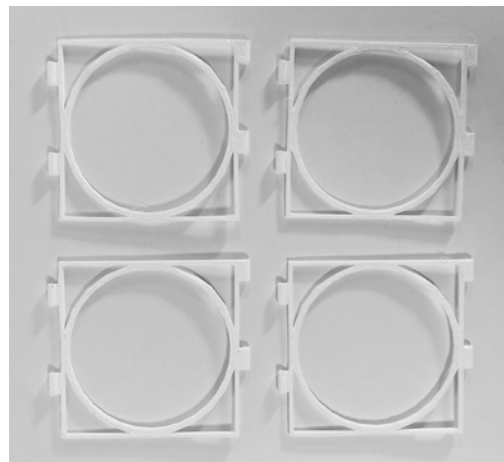
BAUTEILE

Die Konstruktion der Struktur besteht aus **72 aus PVC gedruckten quadratischen Bauteilen** mit jeweils einem Stabilisationsring in der Mitte. Am unteren Ende der Struktur, wo jeweils nur zwei Bauteile zusammen kommen, werden diese durch ein Weiteres ergänzt, ein **Schienenübergangsstück mit Rollen**, welches die Struktur nach unten hin abschließt und so ausgelegt ist, dass eine reibungslose Bewegung, in einer später vorgestellten Schiene, ermöglicht wird.

Schienenübergangsstück x 6



Bauteil x 72

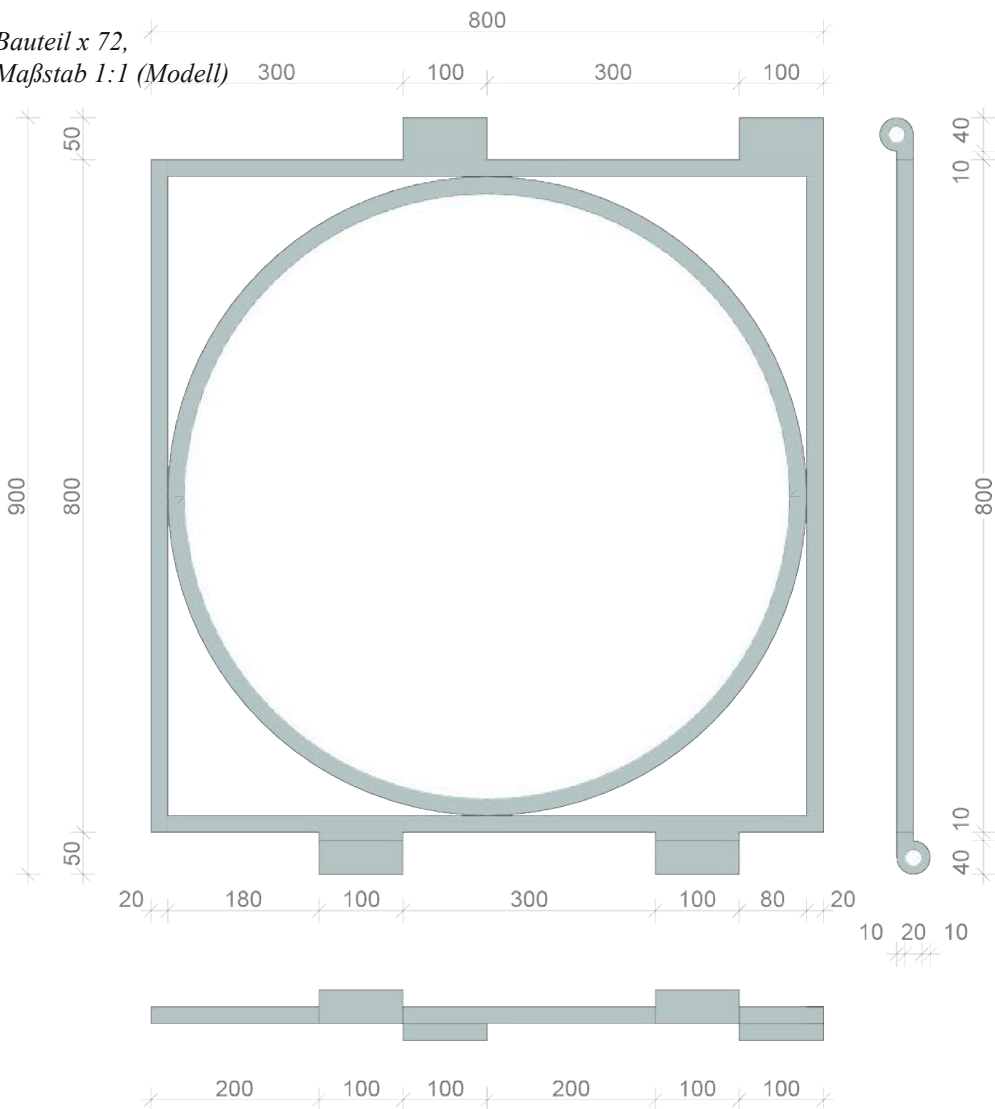


5.2.3

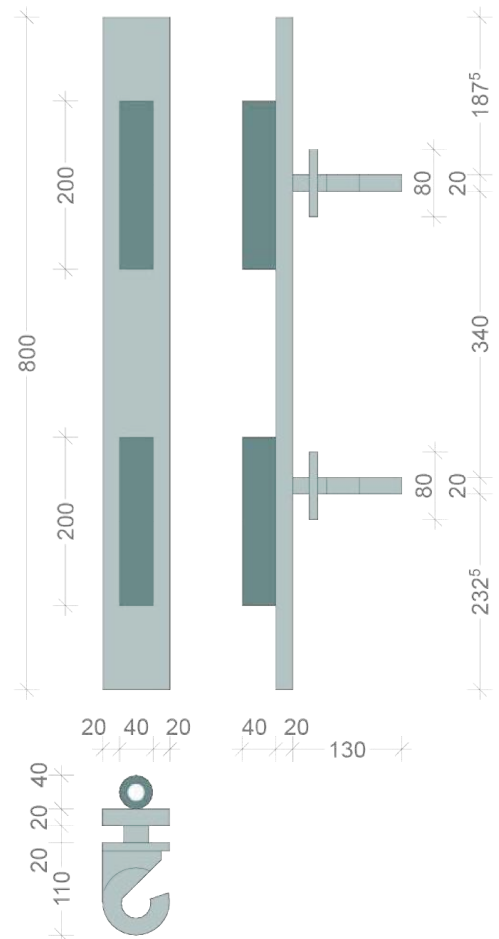
OPTIMIERUNG

BAUTEILE

Bauteil x 72,
Maßstab 1:1 (Modell)



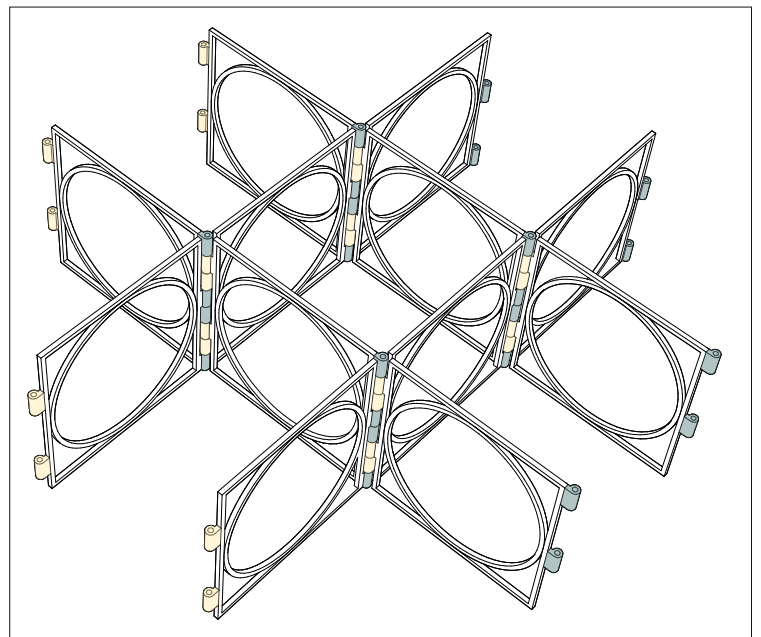
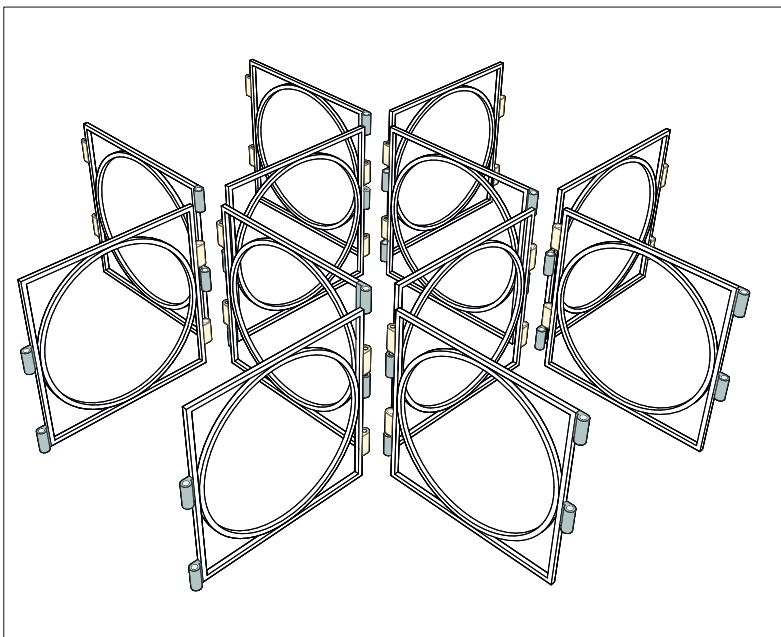
Schienenübergangsstück x 6,
Maßstab 1:1 (Modell)



OPTIMIERUNG ZUSAMMENSETZUNG

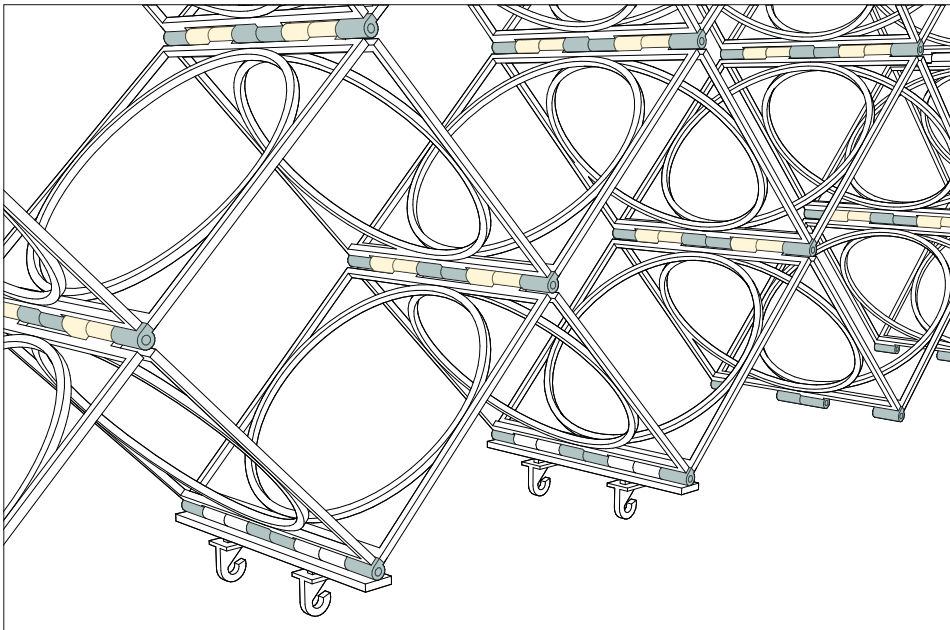
Zusammensetzung der einzelnen Bauteile, mit farblich gekennzeichnete Position der Scharnieren

Jedes der 72 Bauteile ist mit vier integrierten Scharnieren versehen - jeweils zwei pro Bauteilseite. Diese liegen auf der einen Seite am unteren, auf der anderen Seite am oberen Bauteilrand. Sie sind so positioniert, dass sie, wenn vier Bauteile an einer Stelle zusammenkommen, einen durchgängigen Tunnel bilden. Ebenso sind die Scharniere, durch die variierende Positionierung und Ausrichtung, nach der Zusammensetzung, auf einer gemeinsamen Höhe und passen so ineinander, dass sie die Bauteilseite durchgängig abschließen.



OPTIMIERUNG ZUSAMMENSETZUNG

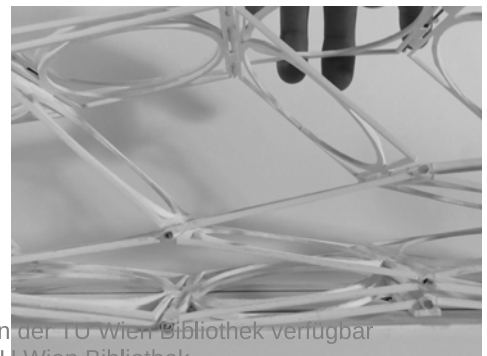
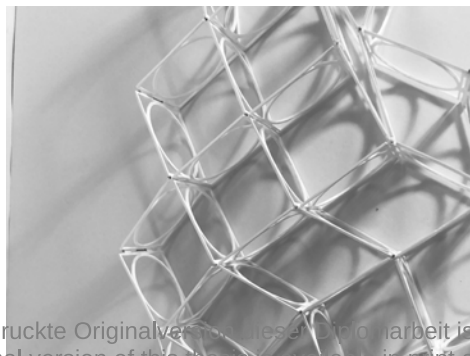
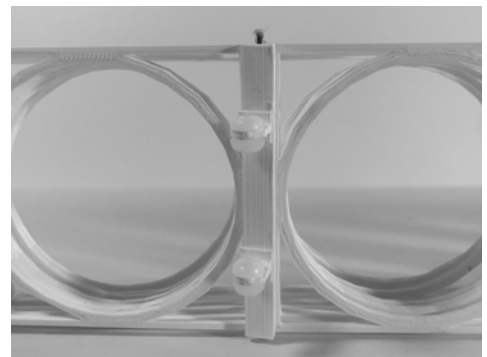
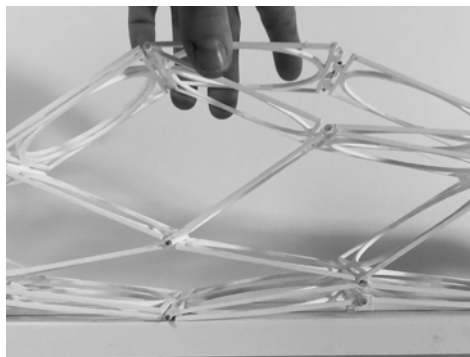
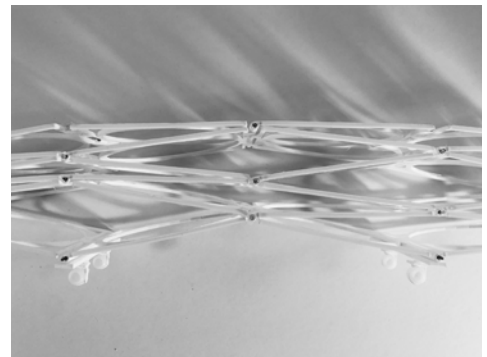
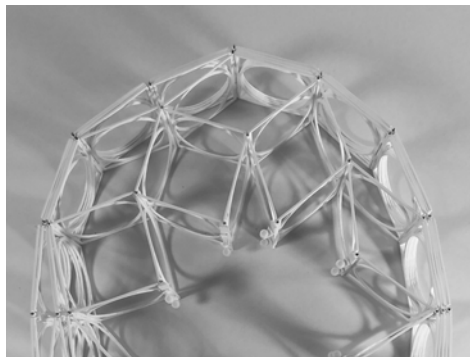
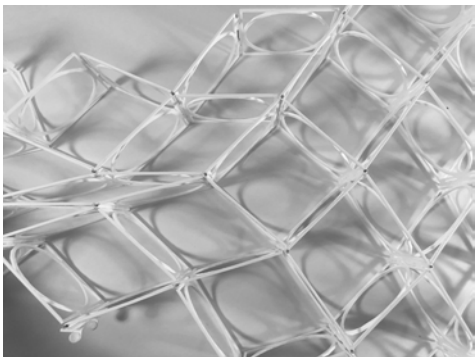
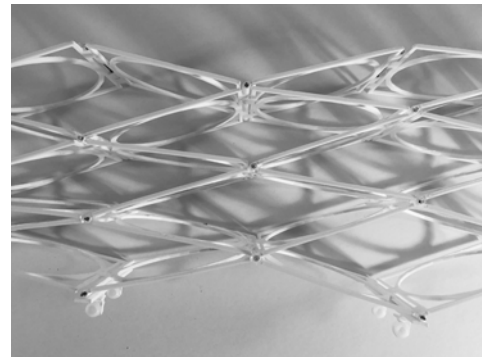
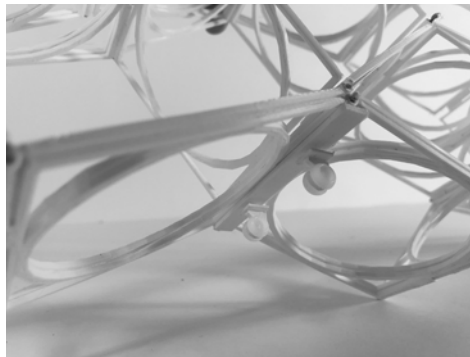
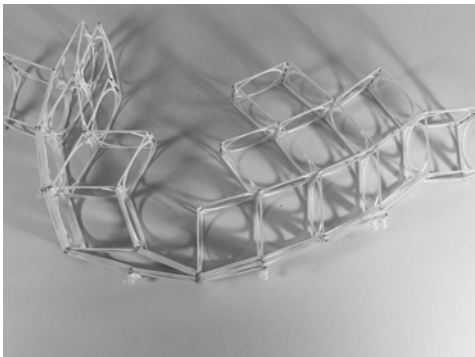
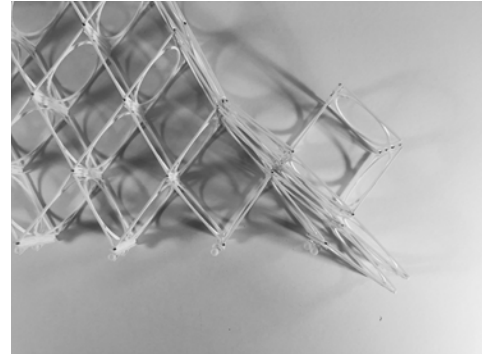
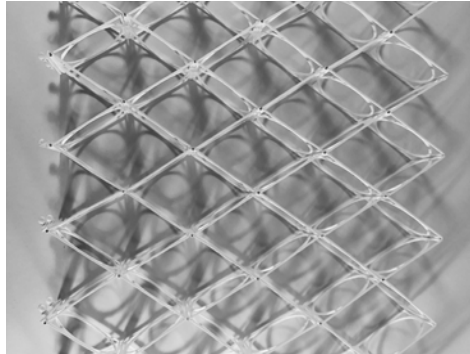
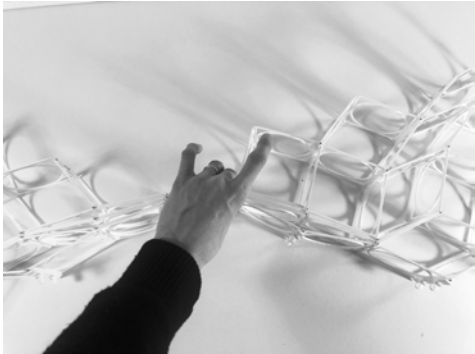
Zusammensetzung der einzelnen Bauteile
samt unterem Abschluss druch das **Schienenübergangsstück**



5.2.3

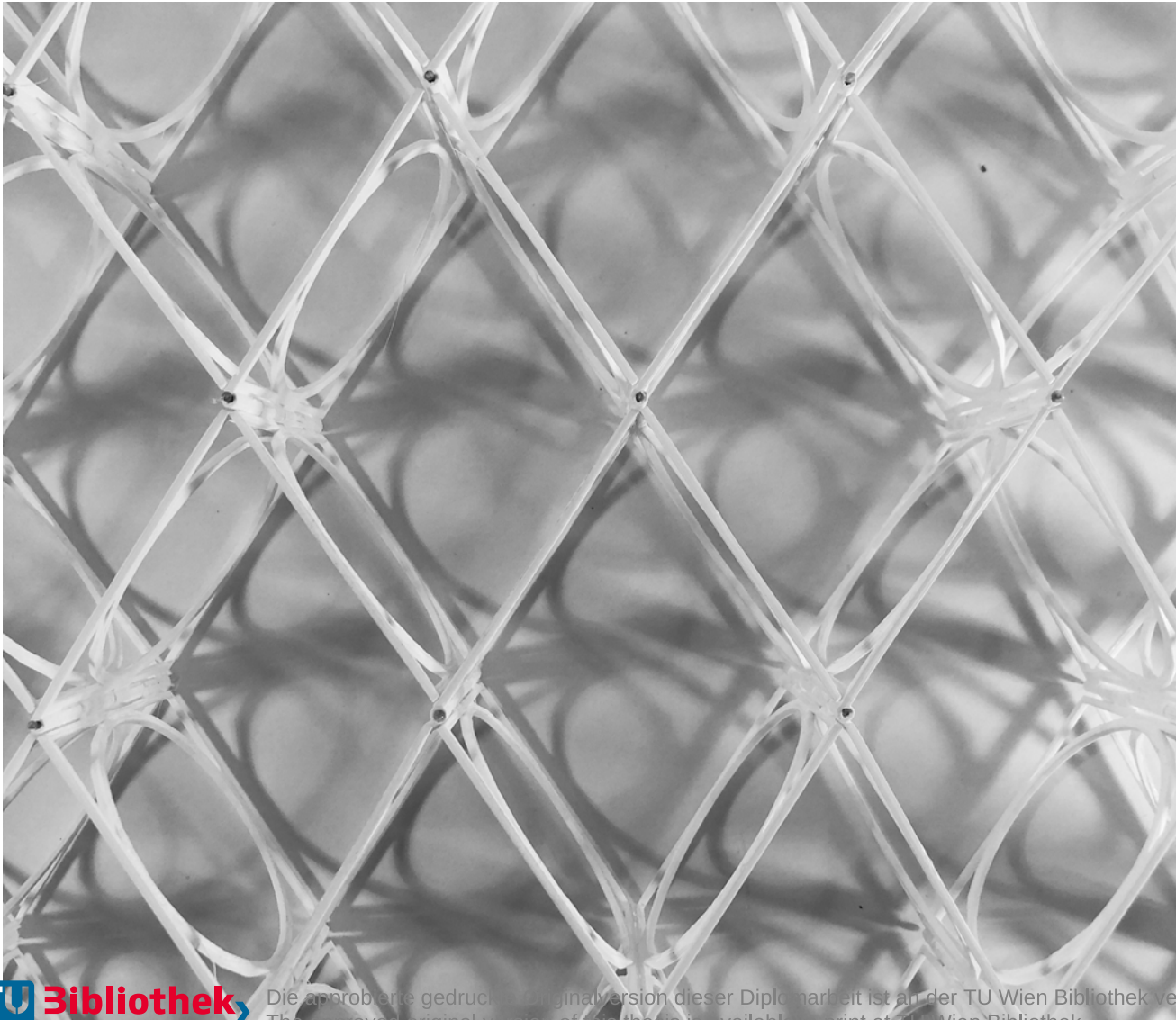
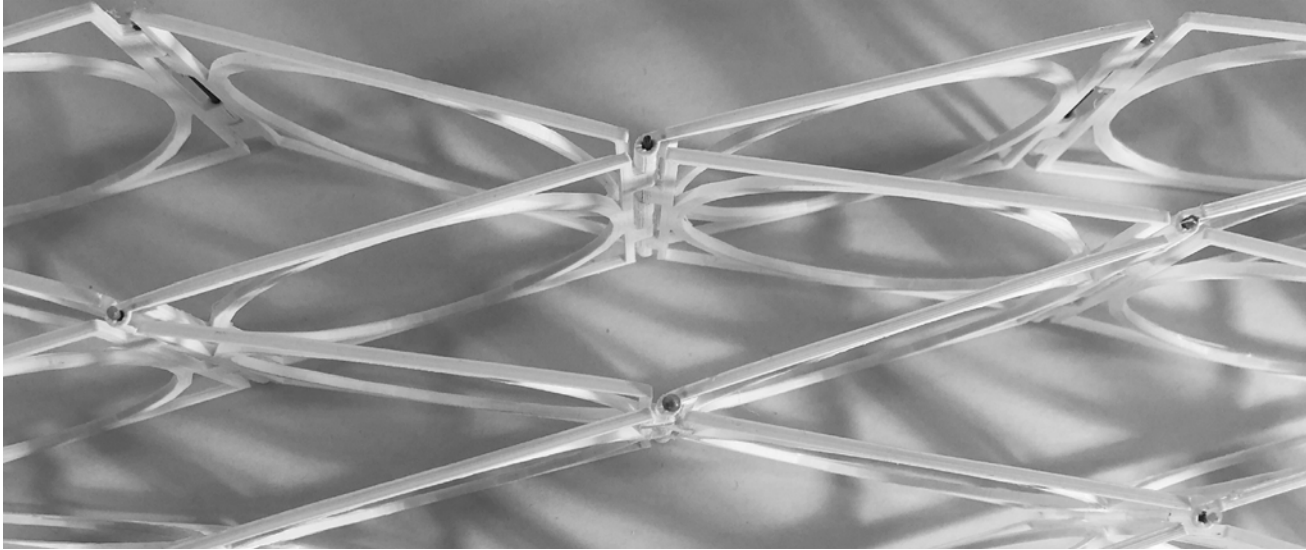
OPTIMIERUNG

DOKUMENTATION - FERTIGE STRUKTUR, ANALOG



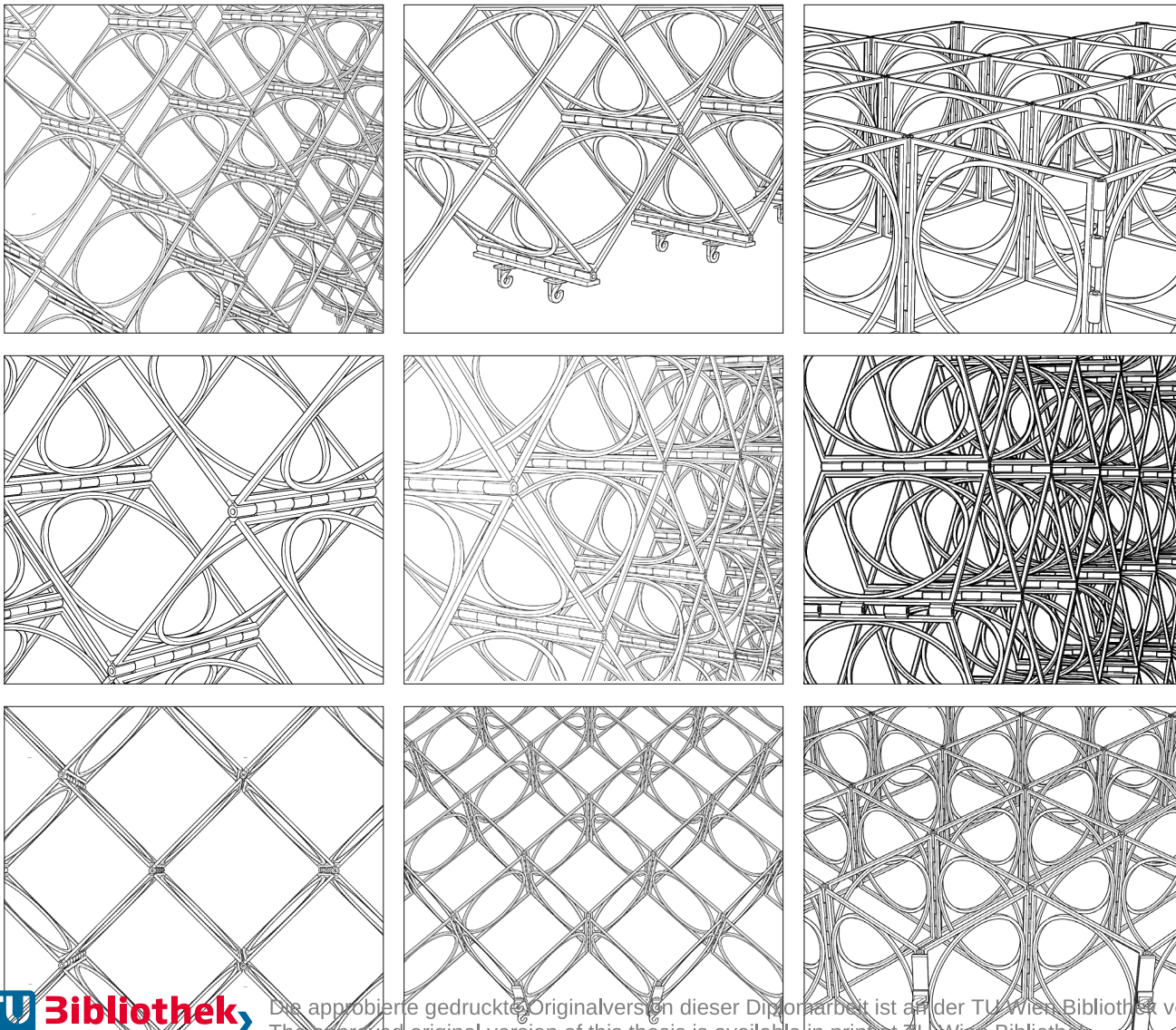
OPTIMIERUNG

DOKUMENTATION - FERTIGE STRUKTUR, ANALOG



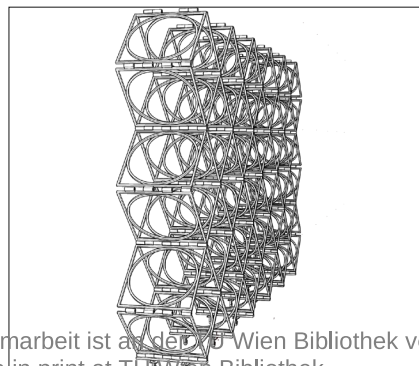
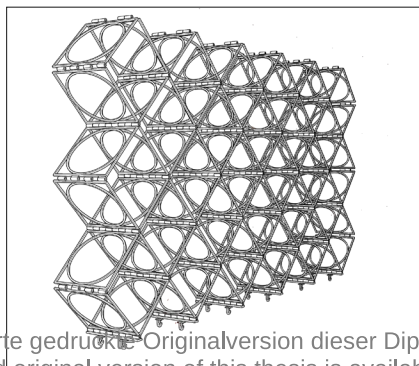
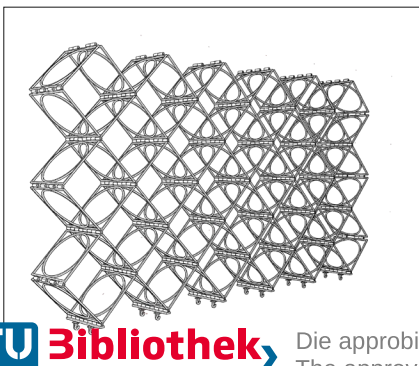
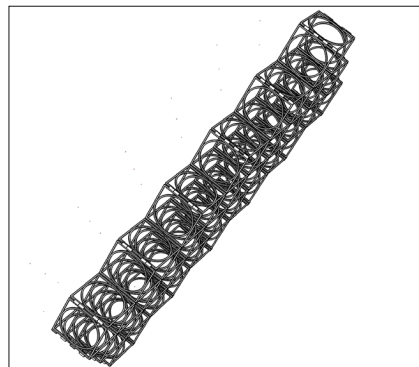
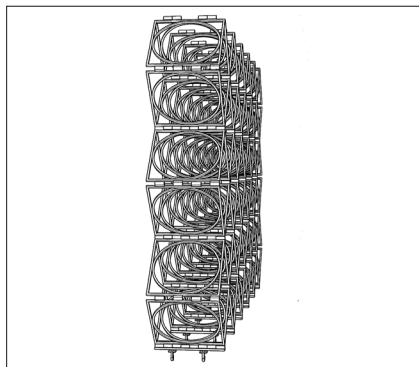
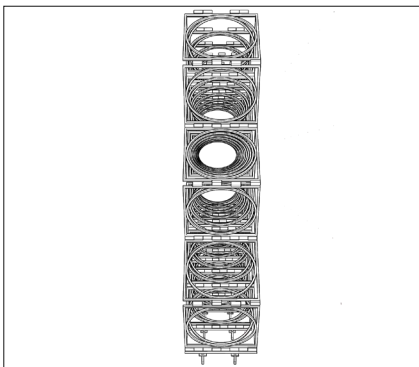
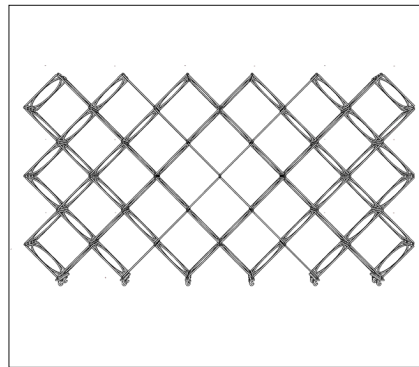
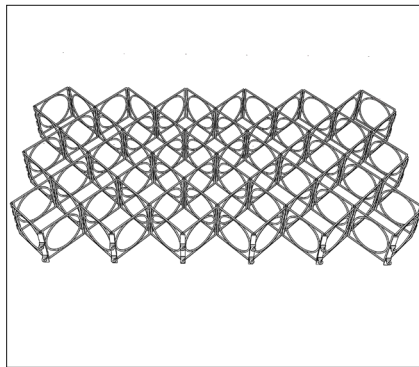
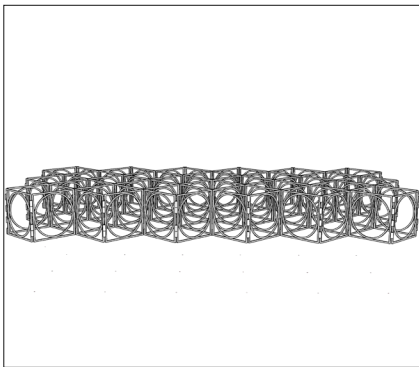
OPTIMIERUNG

DOKUMENTATION, FERTIGE STRUKTUR, DIGITAL



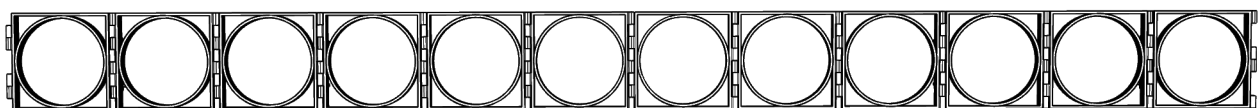
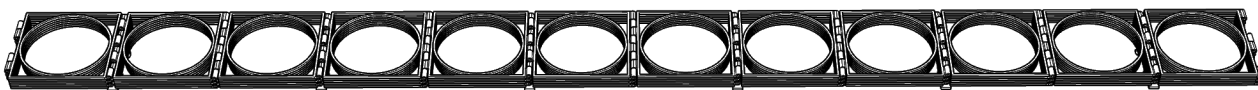
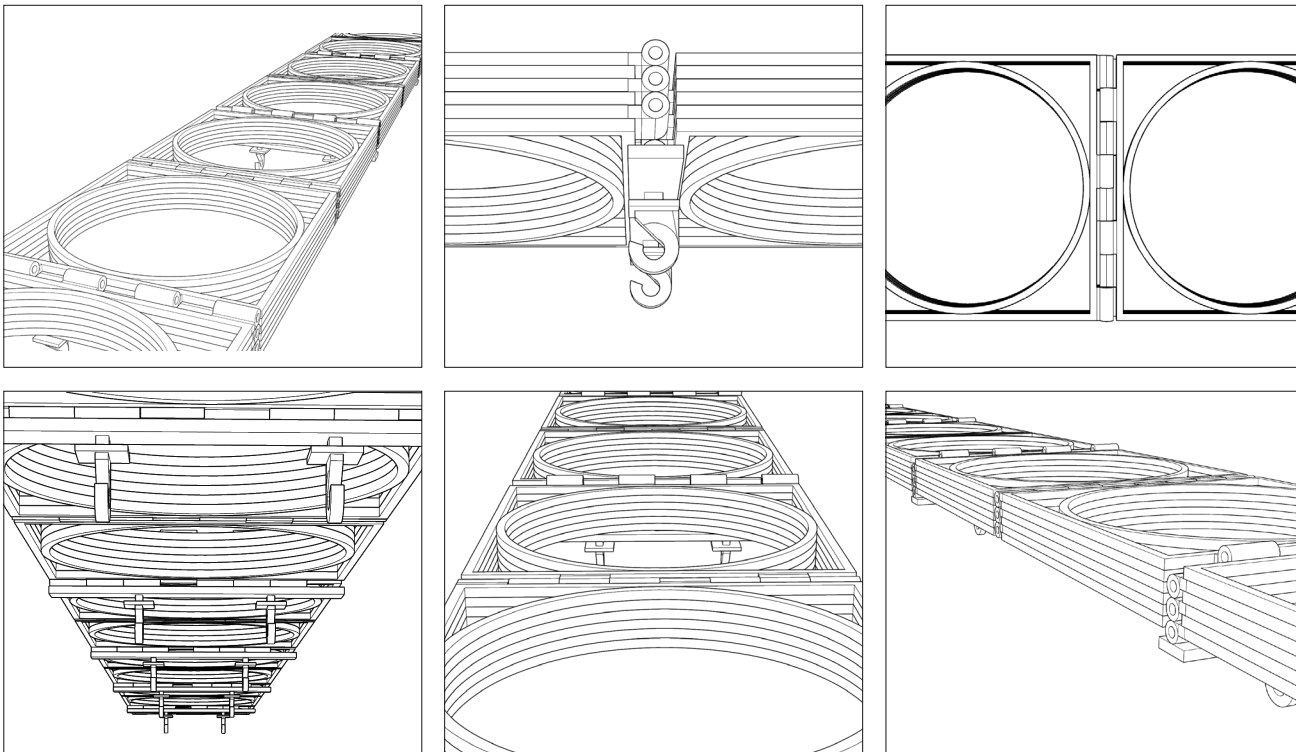
OPTIMIERUNG

DOKUMENTATION, FERTIGE STRUKTUR, DIGITAL



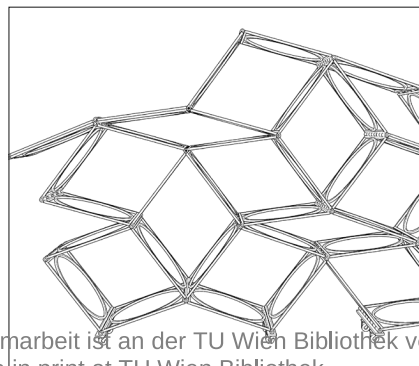
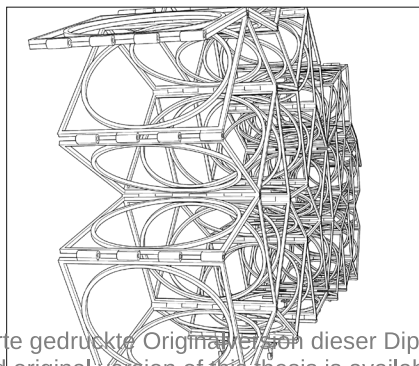
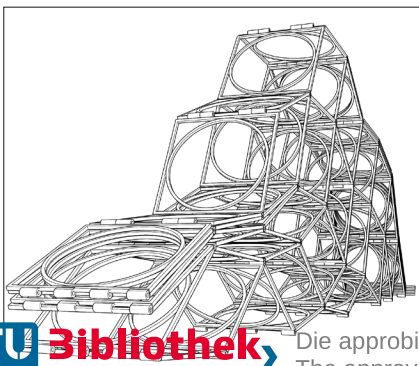
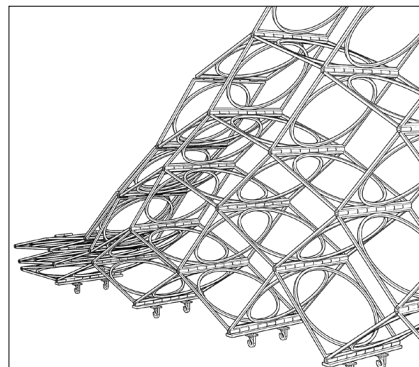
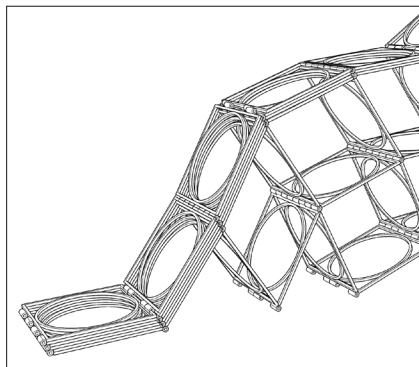
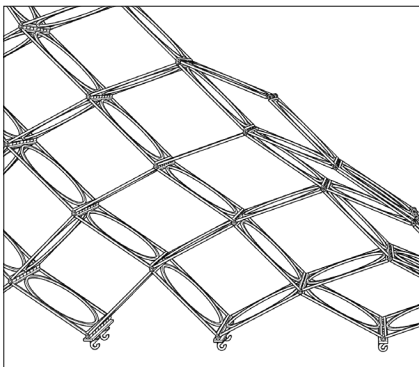
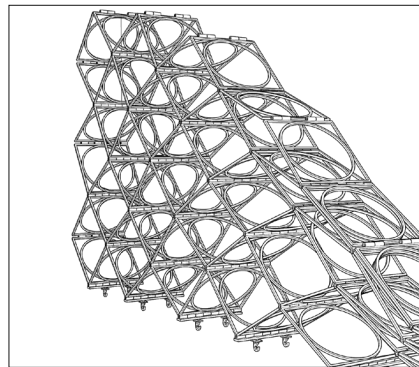
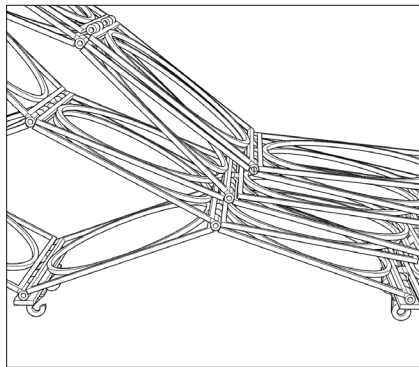
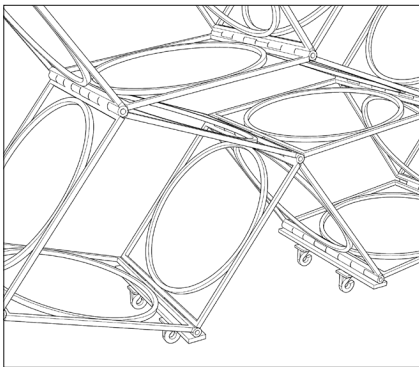
OPTIMIERUNG

DOKUMENTATION, FERTIGE STRUKTUR, DIGITAL



OPTIMIERUNG

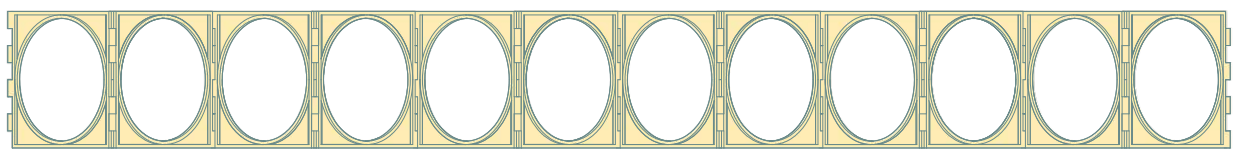
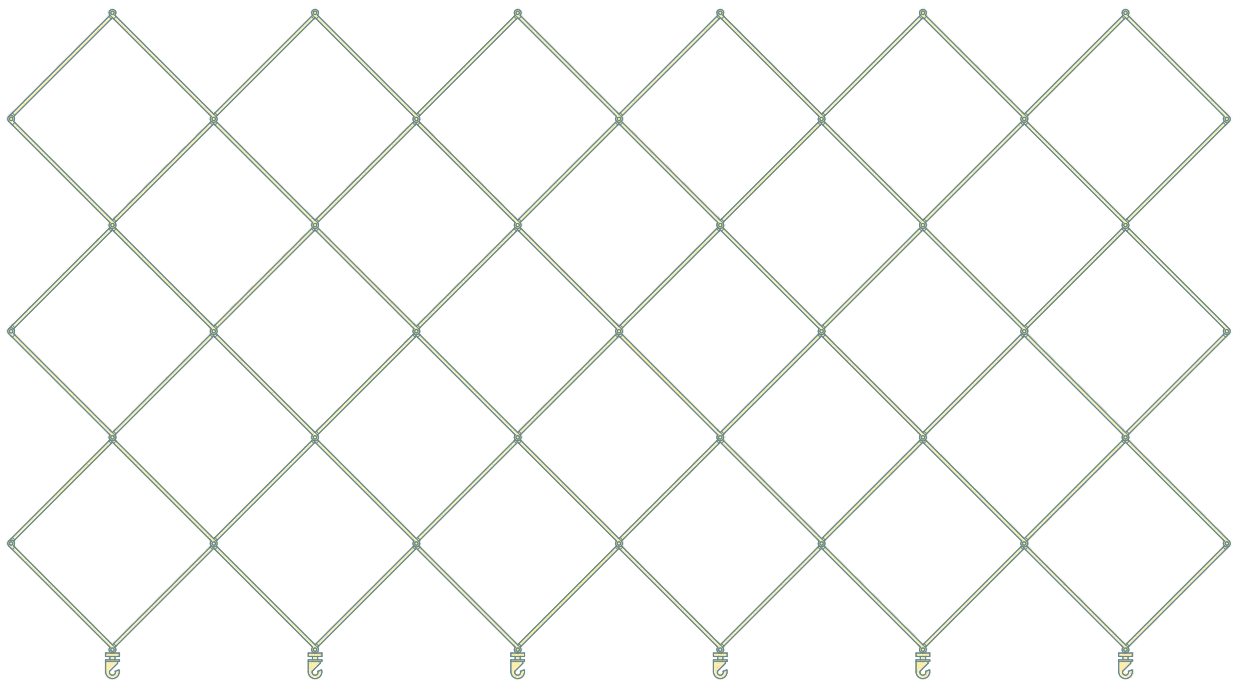
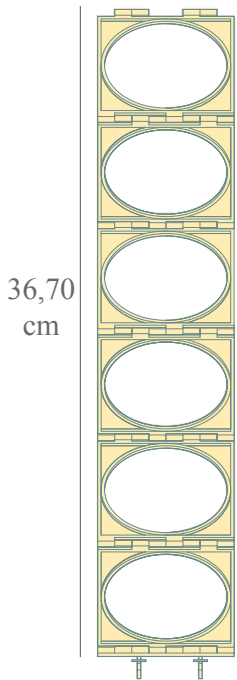
DOKUMENTATION, FERTIGE STRUKTUR, DIGITAL



OPTIMIERUNG

DOKUMENTATION, FERTIGE STRUKTUR, DIGITAL

Struktur geöffnet,
45° Winkel

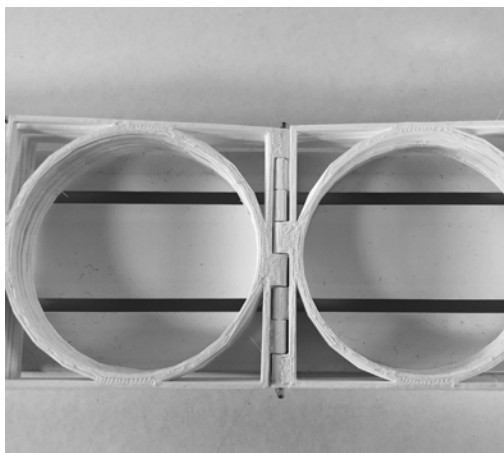
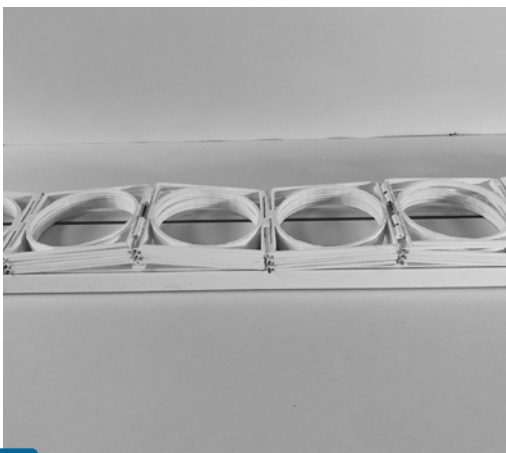
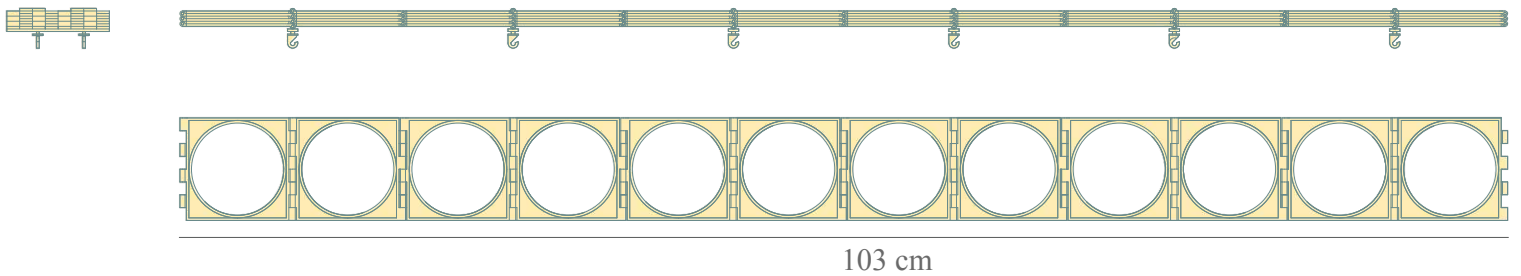


5.2.3

OPTIMIERUNG

DOKUMENTATION, FERTIGE STRUKTUR, DIGITAL

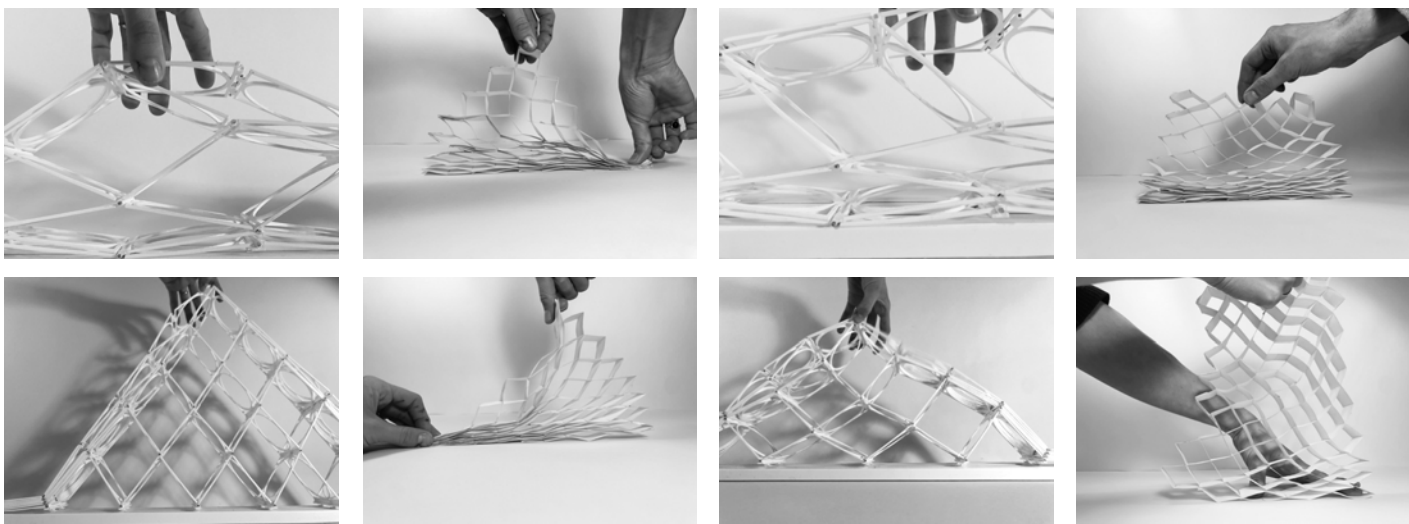
Struktur *geschlossen*,
flach am Boden liegend



ANTRIEB

Die manuelle, unselbstständige Ausbreitung in Richtung der z-Achse wurde bereits untersucht - nun gilt die Suche nach einem Antrieb für eine **selbstständige** Ausbreitung der Struktur in Richtung der **z-Achse**. Diese Bewegung bringt gleichzeitig auch eine Bewegung entlang der **x-Achse** mit sich - auch eine Lösung um diesen Bewegungsablauf reibungslos zu gestalten wird im Anschluss vorgestellt.

Unselbstständige Ausbreitung entlang der Z-Achse



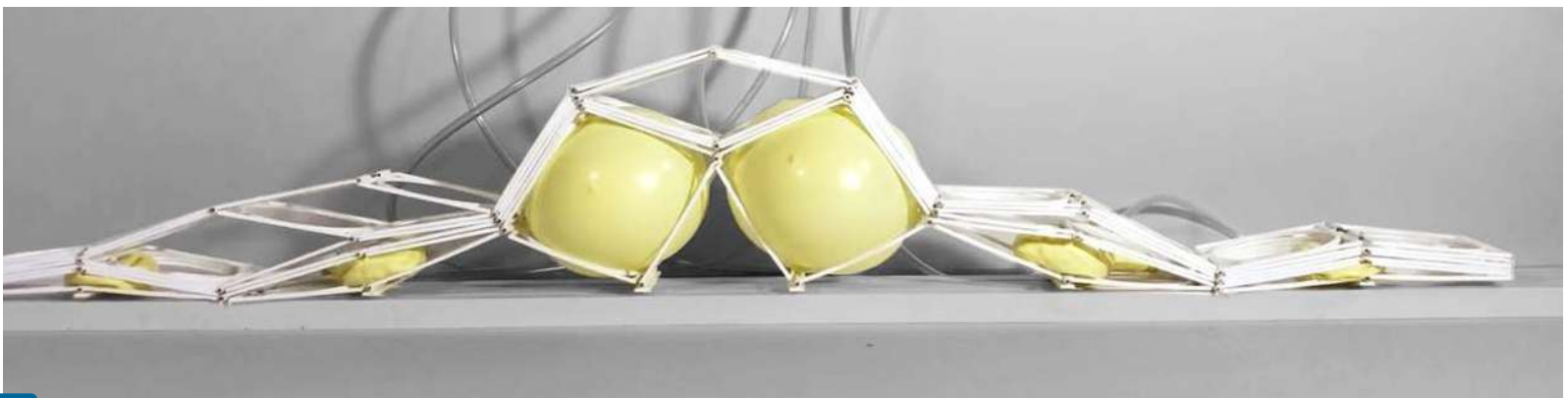
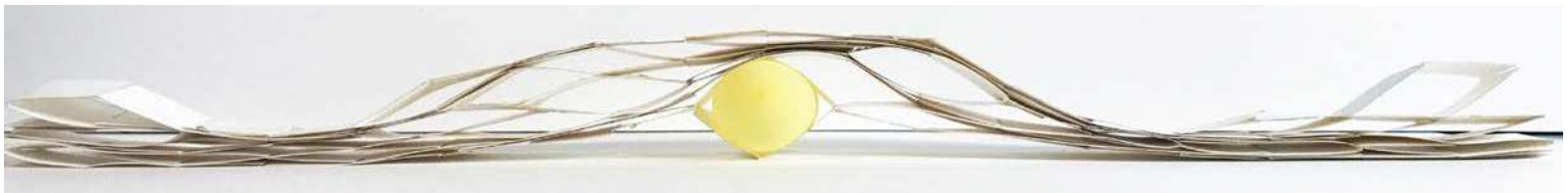
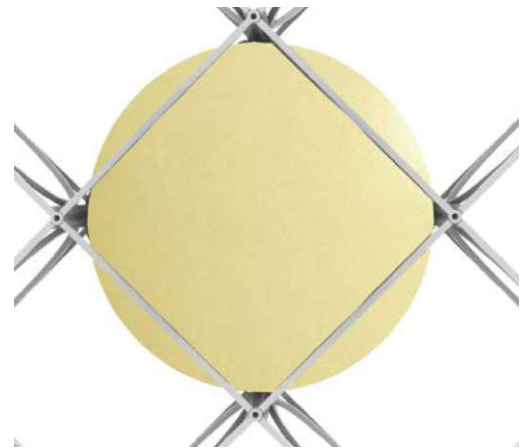
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Z-ACHSE

AUSBREITUNG IN RICHTUNG DER Z-ACHSE

Für die **selbständige Ausbreitung entlang der z-Achse** gilt es einen Weg zu finden, der eine möglichst große Formvielfalt ermöglicht. Dafür wurde die Möglichkeit einer punktuellen Energiezufuhr in den einzelnen viereckigen Kacheln der Struktur betrachtet. Um dies zu erreichen, fiel die Entscheidung für einen, auch visuell bereichernden Antrieb, in Form von **pneumatischen Elementen**, die in der Struktur sitzen und aufgeblasen werden können - dadurch bewegt sich die Struktur.

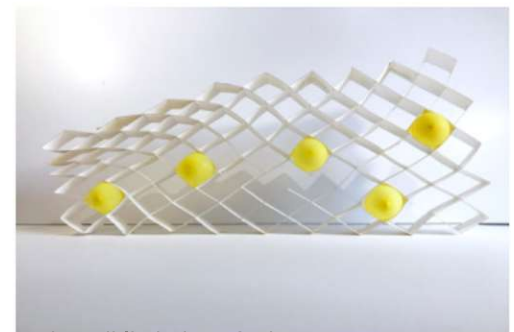
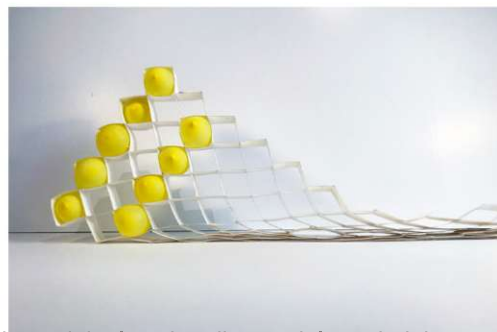
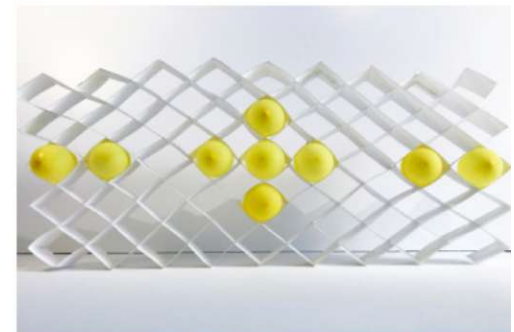
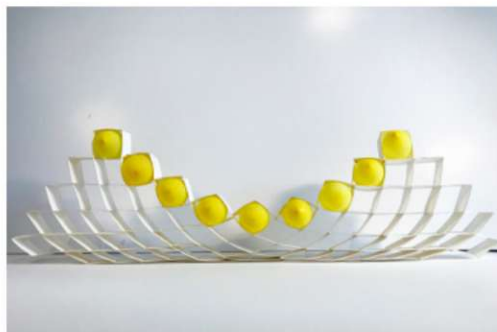
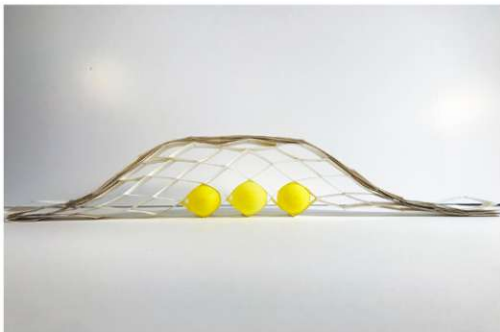
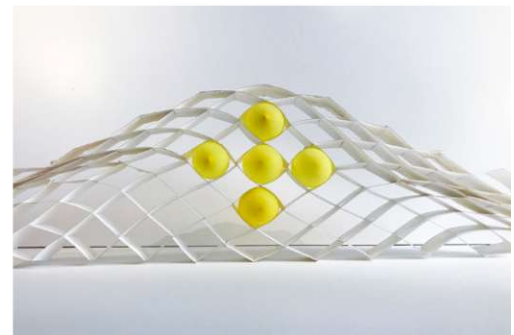
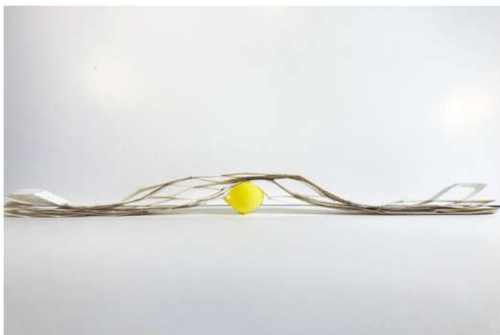
Die pneumatischen Elemente sind einfache **Luftballone**. Aus deren variierender Aktivierung und Positionierung in den einzelnen Kacheln resultiert eine veränderbare Krafteinwirkung an mehreren Stellen gleichzeitig. Strömt Luft in einen Ballone, so breitet sich das Feld, in welchem dieser positioniert ist, aus - je nach dem welcher Ballon/welches Feld aktiviert wird, wird eine Kettenreaktion ausgelöst und auch benachbarte Felder breiten sich aus und bewegen sich. Wird die Luftzufuhr gestoppt, kehrt der Ballon wieder in seine Ausgangsform zurück und bewirkt eine erneute Bewegung der Struktur. Dieser Prozess kann beliebig oft und mit varrierender Positionierung/Aktivierung der Ballone wiederholt werden.



5.3.1

Z-ACHSE

AUSBREITUNG IN RICHTUNG DER Z-ACHSE

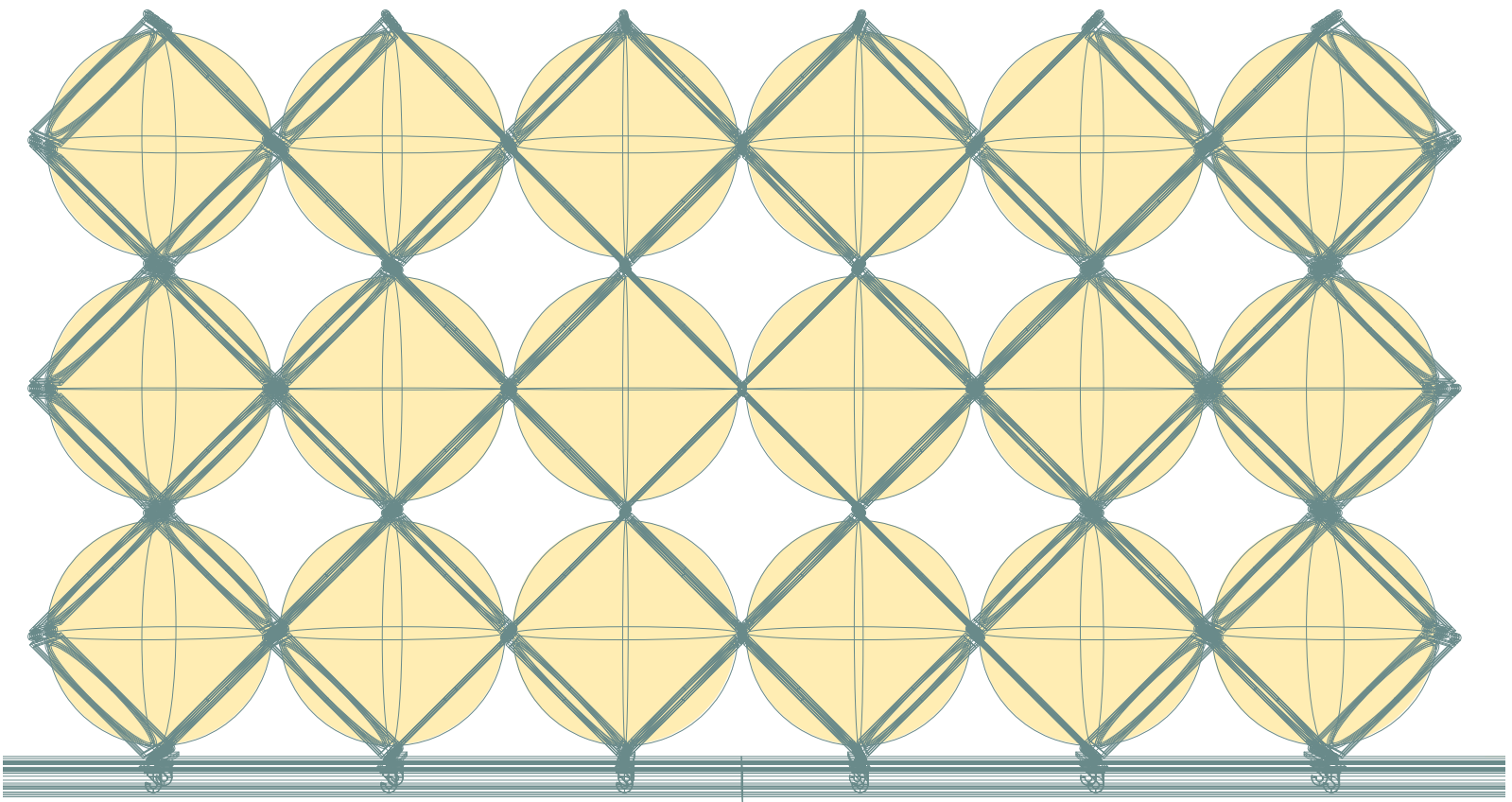


5.3.1

Z-ACHSE

AUSBREITUNG IN RICHTUNG DER Z-ACHSE

Struktur *geöffnet*,
45° Winkel mit pneumatischen Elementen

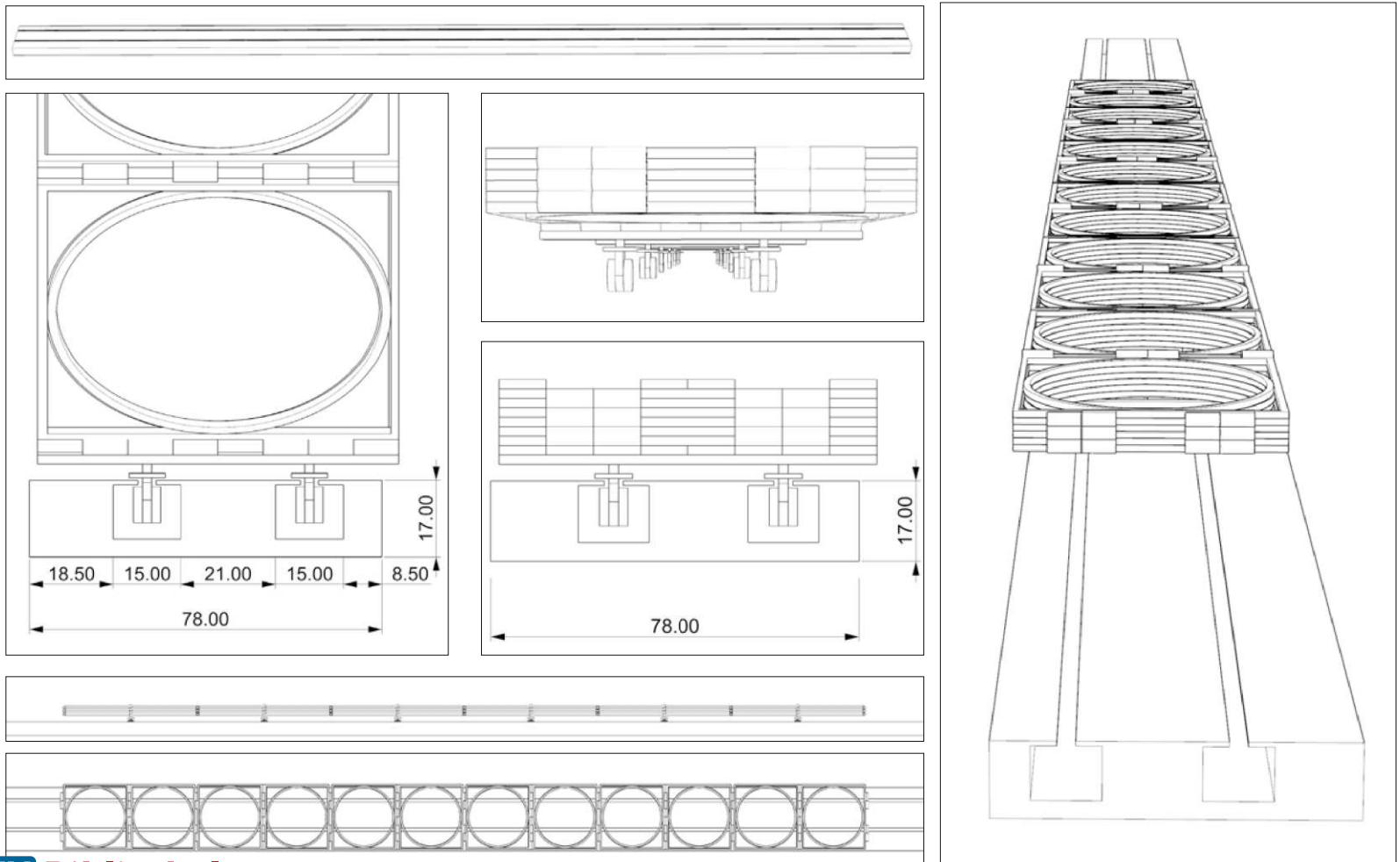


5.3.2

X-ACHSE

BEWEGUNG ENTLANG DER X-ACHSE

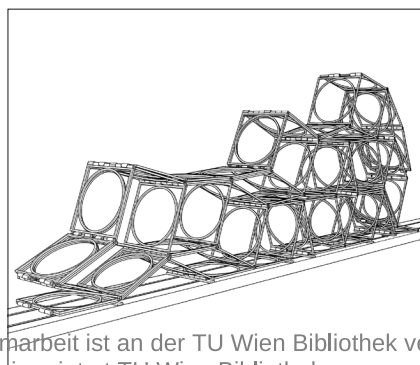
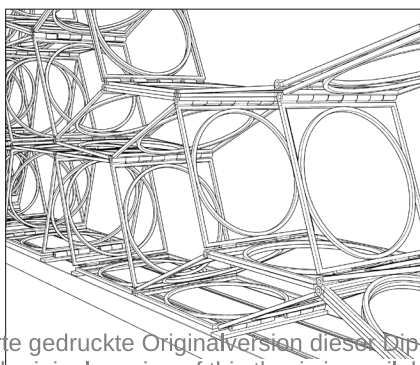
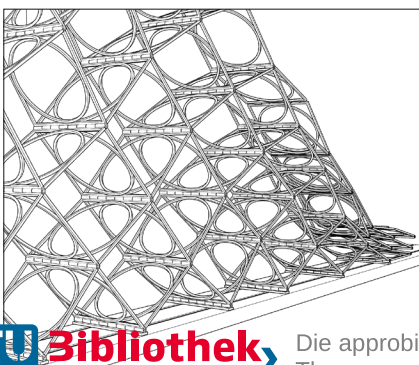
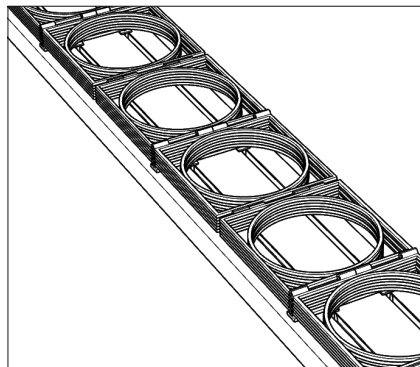
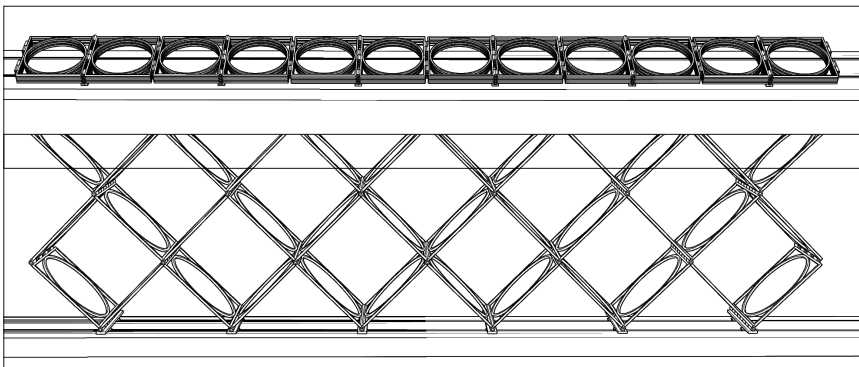
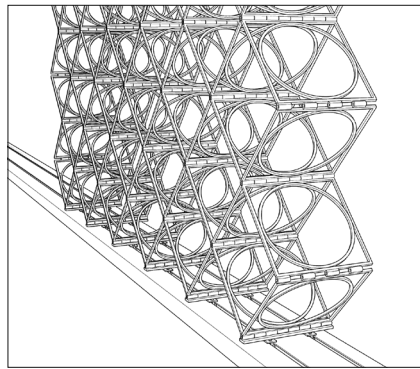
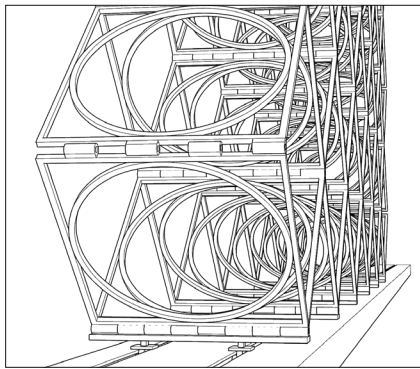
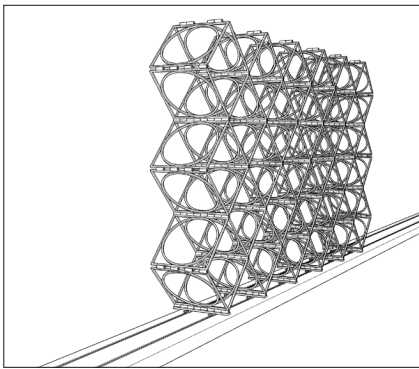
Während die reibungslose Ausbreitung in Richtung der z-Achse über das pneumatische System geregelt wird, sorgt eine Schiene und die bereits vorgestellten, 3D gedruckten Gleitelemente (Schieneübergangsstücke) für eine reibungslose **Bewegung entlang der x-Achse**.



5.3.2

X-ACHSE

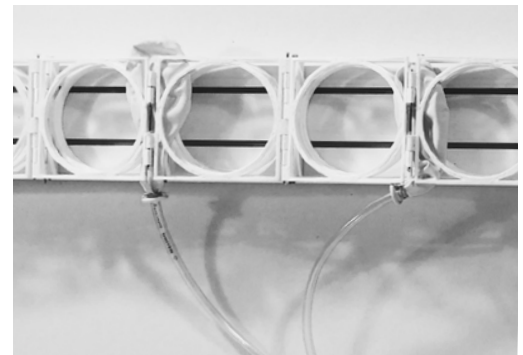
BEWEGUNG ENTLANG DER X-ACHSE



EXTERNE STEUERUNG

Die kontinuierliche und selbstständige Verformung der Struktur wird durch die Veränderbarkeit der Luftzufuhr in den einzelnen Ballonen ermöglicht. Weil eine automatisierte und programmierte Luftzufuhr den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wurde eine **externe Form der Steuerung** gewählt. Eine **spezielle Luftpumpe** wird über ein **Schlauchsystem** mit den Ballonen verbunden und ermöglicht deren Aktivierung.

Die in der Struktur positionierten Ballone werden mit separaten Schläuchen verbunden. Diese führen zu der analog gesteuerten Luftpumpe. Wird die Luftzufuhr zu einem Ballon gestoppt, kehrt dieser wieder in seine Ausgangsform zurück und bewirkt eine erneute Bewegung in der Struktur. Dieser Prozess kann beliebig oft und mit variierender Positionierung und Aktivierung der Ballone wiederholt werden.



EXTERNE STEUERUNG

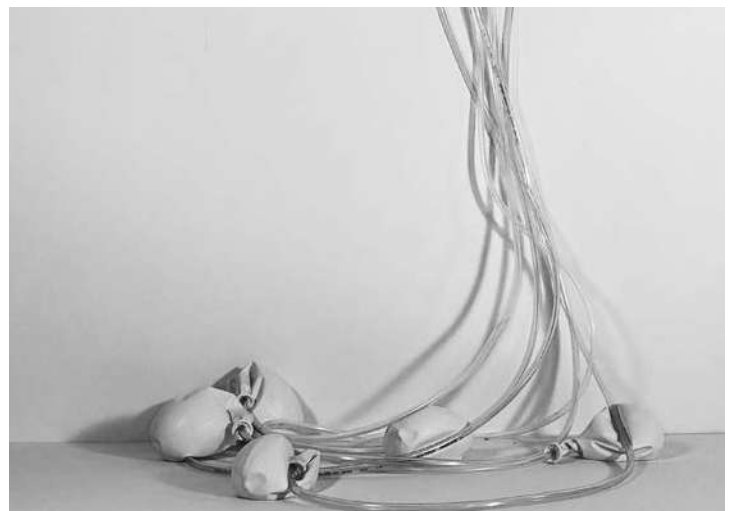
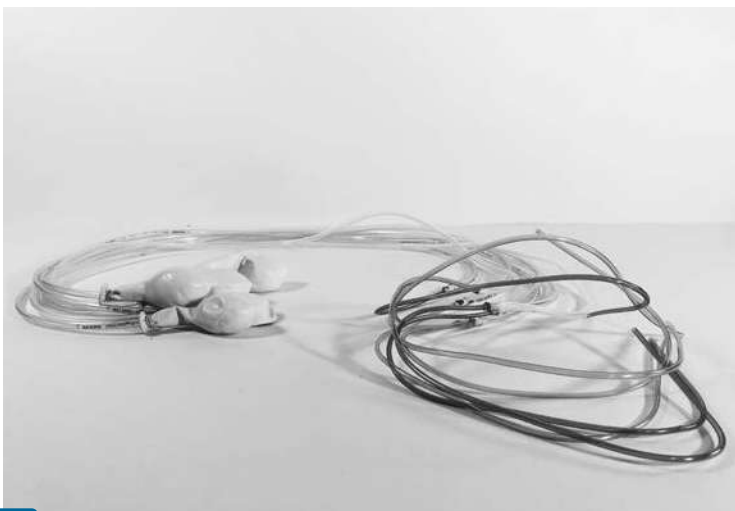
SCHLAUCHSYSTEM



Schlauchsystem

Über ein Schlauchsystem, bestehend aus zwei unterschiedlich dicken Schläuchen werden die Ballone mit der Pumpe verbunden.

Die Stelle an welcher der Schlauch in den Ballon führt wird mit einem Gummiband verschlossen, um ein zu schnelles Ausweichen der Luft zu verhindern.



EXTERNE STEUERUNG

SPEZIELLE LUFTPUMPE



Spezielle Luftpumpe

Die dünnere Ausführung der beiden verwendeten Schläuche passt in die Eingänge der Pumpe. Diese verfügt über 3 Steckfelder in die unterschiedlich viele Schläuche passen. Das kleinste Feld verfügt über 8 Züänge, das Größte über 40. Diese können über Drehen des Aufsatzes abwechselnd aktiviert werden.



Je nach aktiviertem Steckfeld und eingesteckten Schläuchen, können unterschiedlich viele Ballone gleichzeitig aufgeblasen werden.



Auf diese Art und Weise kann die Bewegung der Struktur durch Drehen des Pumpaufsatzes, durch Aktivieren und Deaktivieren der Pumpe und durch das Umstecken/Ausstecken der Schläuche, choreografiert werden.



Die Menge der strömenden Luft ist bei jedem Steckfeld die gleiche, wobei der Luftdruck und die strömende Menge pro Loch mit der Anzahl der Löcher pro Steckfeld variiert. Wenn wenige Löcher die gleiche Menge Luft empfangen, dann empfangen die eingesteckten Schläuche jeweils mehr Luft mit höherem Druck und höherer Geschwindigkeit.

ANWENDUNG

INTERAKTIVE KINETISCHE INSTALLATION

Bisher wurde der experimentelle Vorgang für die Entwicklung der tatsächlich umgesetzten Struktur im kleinen Maßstab dokumentiert. Im vorliegenden Teil wird nun auf die Anwendung im architektonischen Bezugsrahmen, in einem größeren Maßstab, eingegangen. Das umgesetzte Modell entspricht in diesem Kontext einer Ausführung im Maßstab 1:5.

Weil der Fokus in diesem Entwurf auf der Ästhetik der Bewegung liegt, ist es grundgegeben, dass die Anwendung auch im architektonischen Kontext vor Allem im künstlerischen Bereich am nächsten liegt. In dem Szenario auf das in diesem Teil der Arbeit näher eingegangen wird, dient die Installation als Medium, um die physische Aktivität des Menschens zu visualisieren.

Es handelt sich um eine **interaktive kinetische Installation**, wobei die Bewegung durch das menschliche Handeln und dessen Aktivität gesteuert wird. Die Handlung ist in diesem Fall die physische Anwesenheit und das physische Auftreten einer Person - die Struktur bewegt sich korrespondierend mit der menschlichen Aktivität auf einer projizierten Grundfläche.

In der bereits vorgestellten Ausführung wird der Tanz der Struktur, live von einem Menschen, choreografiert. Durch die punktuelle Aktivierung bzw. Deaktivierung der Luftzufuhr, indem die jeweiligen Schläuche ein- und ausgesteckt werden, bewegt sich die Struktur in einer gewünschten Choreografie oder nach zufälligen Mustern.

Für die Umsetzung im architektonischen Kontext, wird hier ein Vorschlag gemacht, um die Steuerung der Bewegung noch etwas spielerischer, intuitiver und in der Handhabung weniger komplex zu gestalten.

Die Idee ist, dass sich Menschen auf einem „intelligenten Untergrund“ bewegt. Dieser ist in Felder unterteilt - jedes Feld korrespondiert mit einer Kachel der Struktur. Abhängig davon, in welchem Feld sich ein Mensch auf dem Untergrund befindet, werden Informationen an ein automatisiertes System weitergegeben. Dieses aktiviert/deaktiviert die Ventile einer Pumpe die über gleich viele Luftauslässe verfügt wie es Felder / Kacheln gibt. Mit jedem Ventil der Pumpe ist ein Schlauch verbunden der wieder-

um zu jeweils einem pneumatischen Element in der Struktur führt.

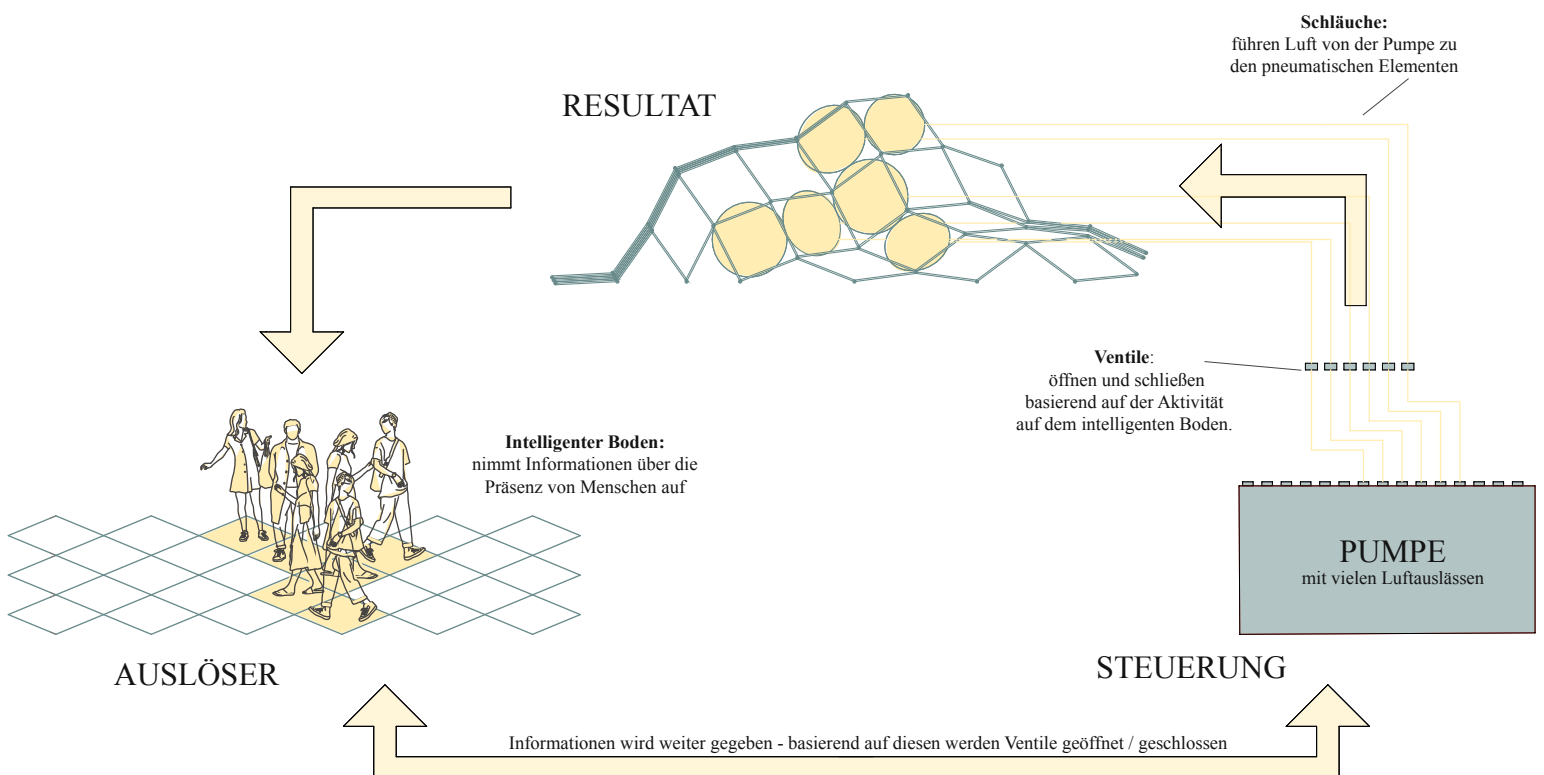
Abhängig davon in welchem Feld sich der Mensch auf dem intelligenten Untergrund befindet und die damit zusammenhängende offene bzw. geschlossene Position des Ventils, wird über den mit dem Ventil verbundenen Schlauch Luft in den dazugehörigen pneumatischen Körper geblasen. Dieser bläst sich auf und bewegt die Struktur.

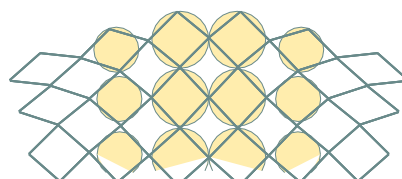
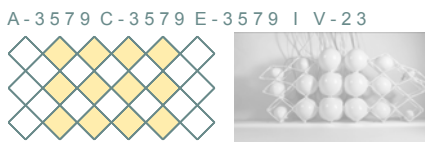
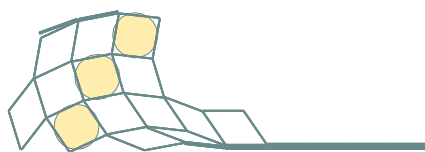
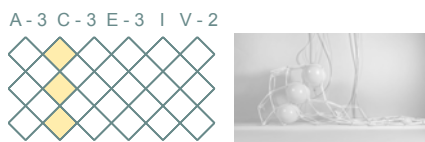
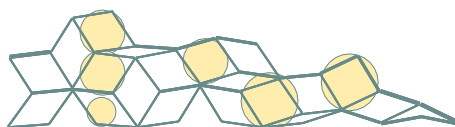
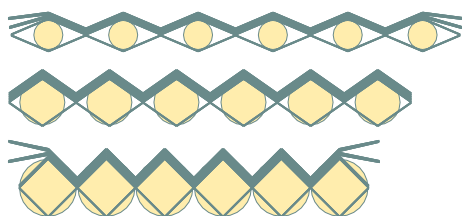
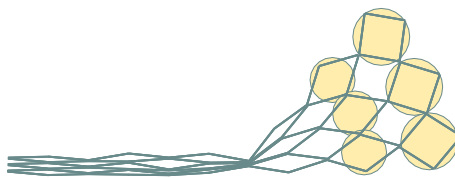
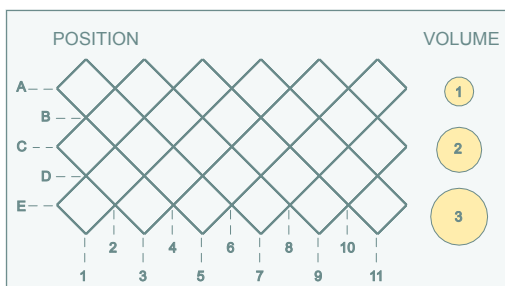
Resultat ist, dass sich die Form der Struktur abhängig von der Position des Menschens ändert - ändert der Mensch seine Position, so ändert sich auch die Form der Struktur.

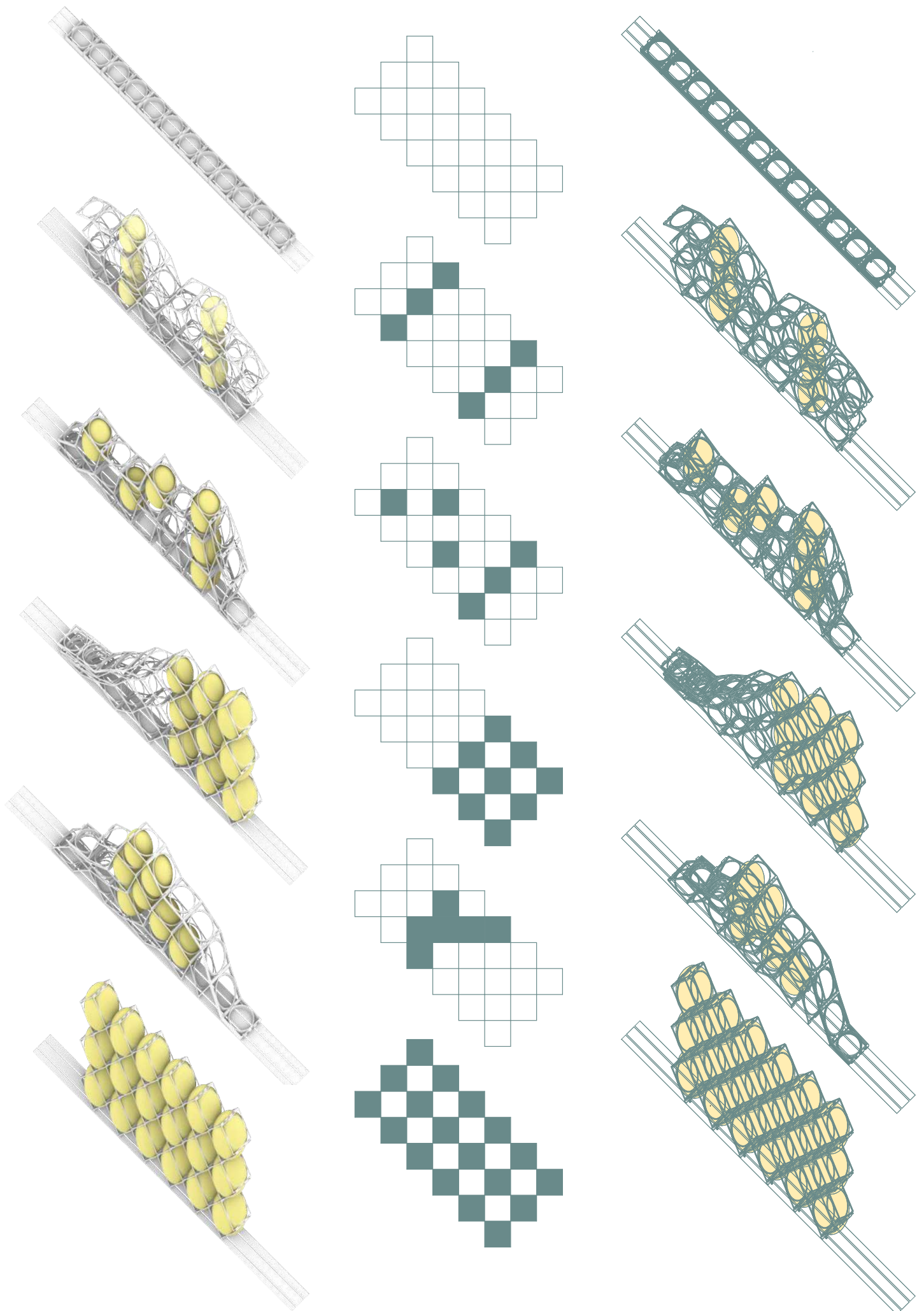
Der Auslöser für die Steuerung der Ventile könnte auch auf andere Art und Weise stattfinden. So zum Beispiel könnte diese vorprogrammiert sein und kontinuierlich und im wiederholten Ablauf vonstatten gehen.

Ebenso wäre beispielsweise ein Szenario denkbar, in welchem die Steuerung der Ventile über ein Fernbedienungs geschieht.

STEUERUNGSSYSTEM





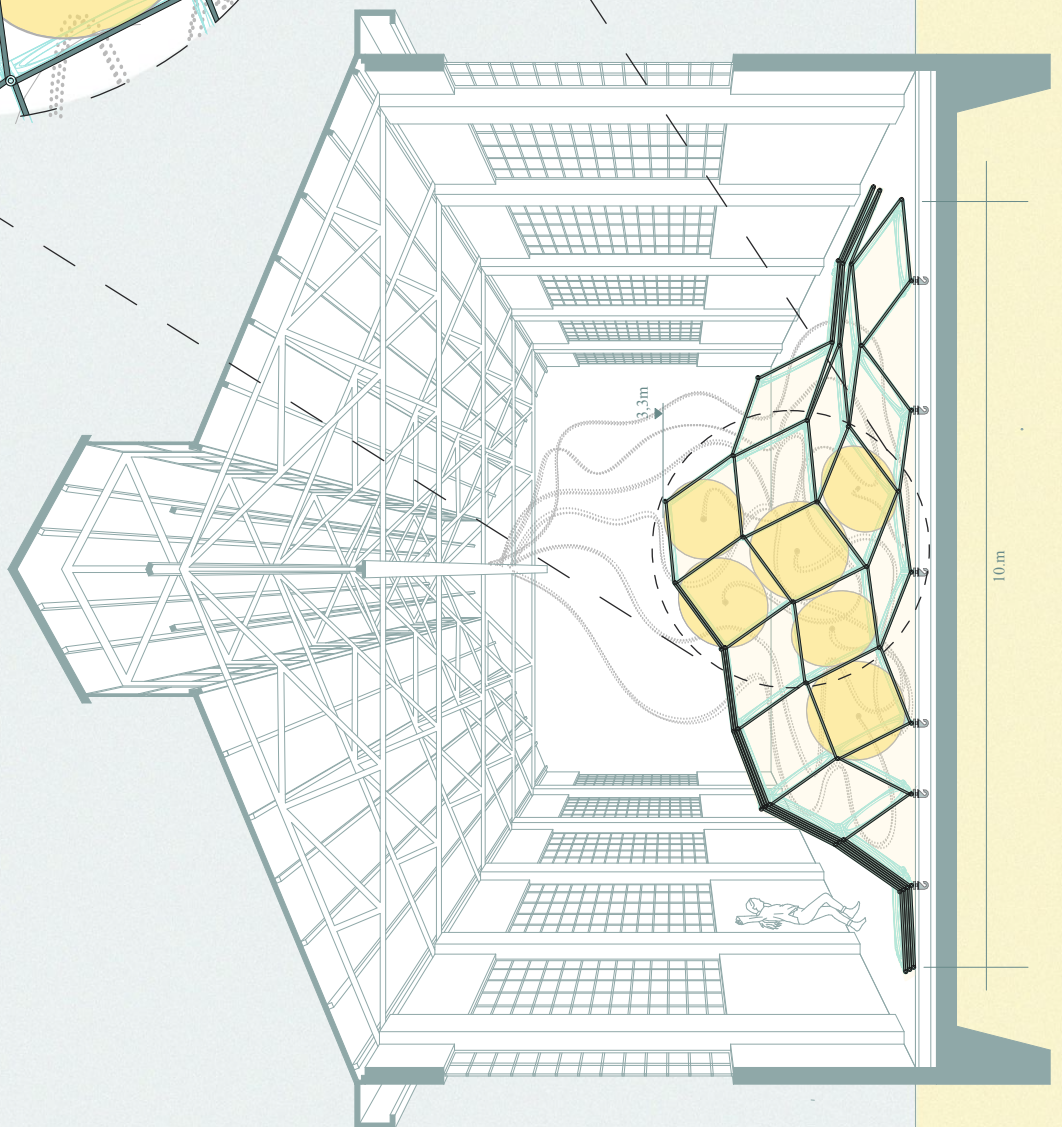
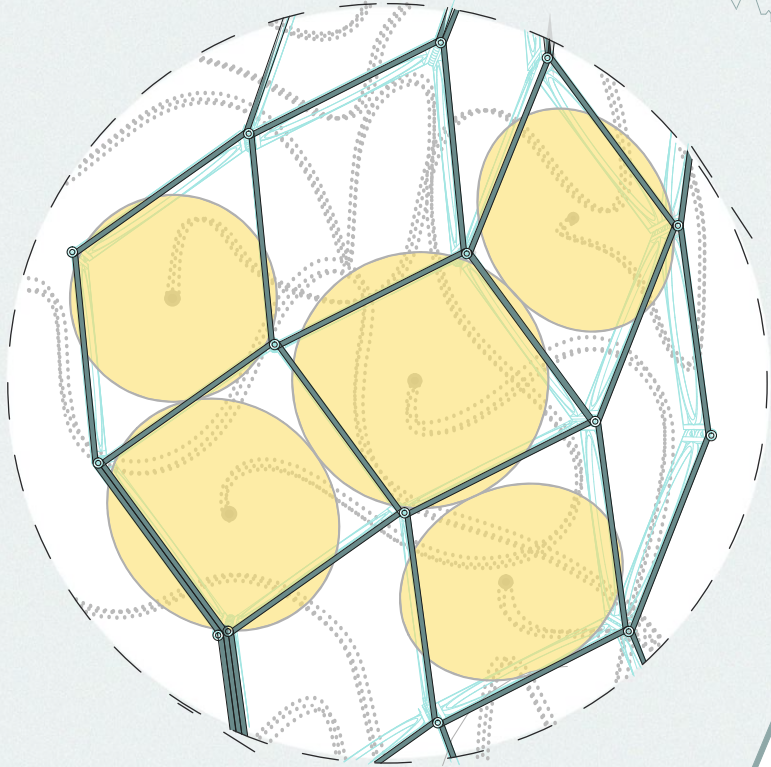


INTERAKTIVE KINETISCHE
INSTALLATION

SCHNITTPERSPEKTIVE - WALLume Pro in einem fiktiven Ausstellungsraum

Maßstab 1:100

5.4.2

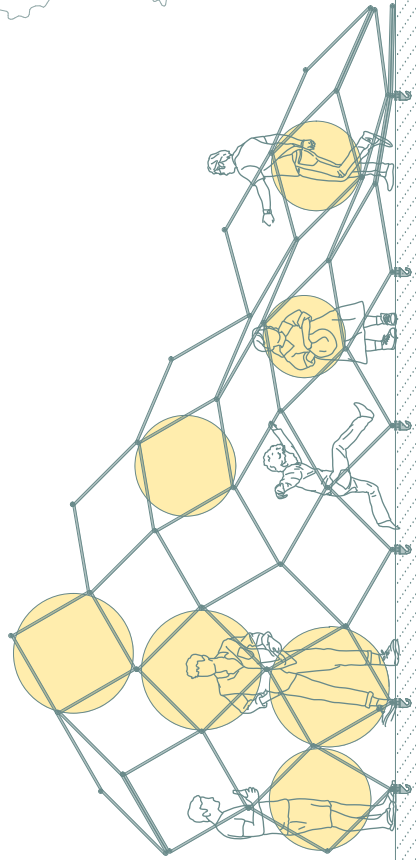


INTERAKTIVE KINETISCHE
INSTALLATION

SCHNITT / ANSICHT / DRAUFSICHT - WALLume Pro im Außenraum

Maßstab 1:65

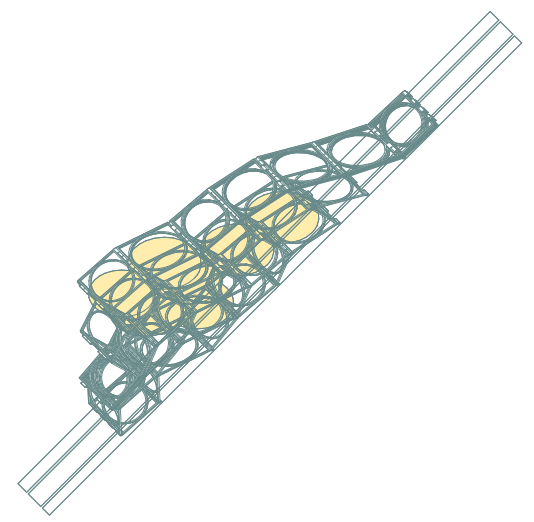
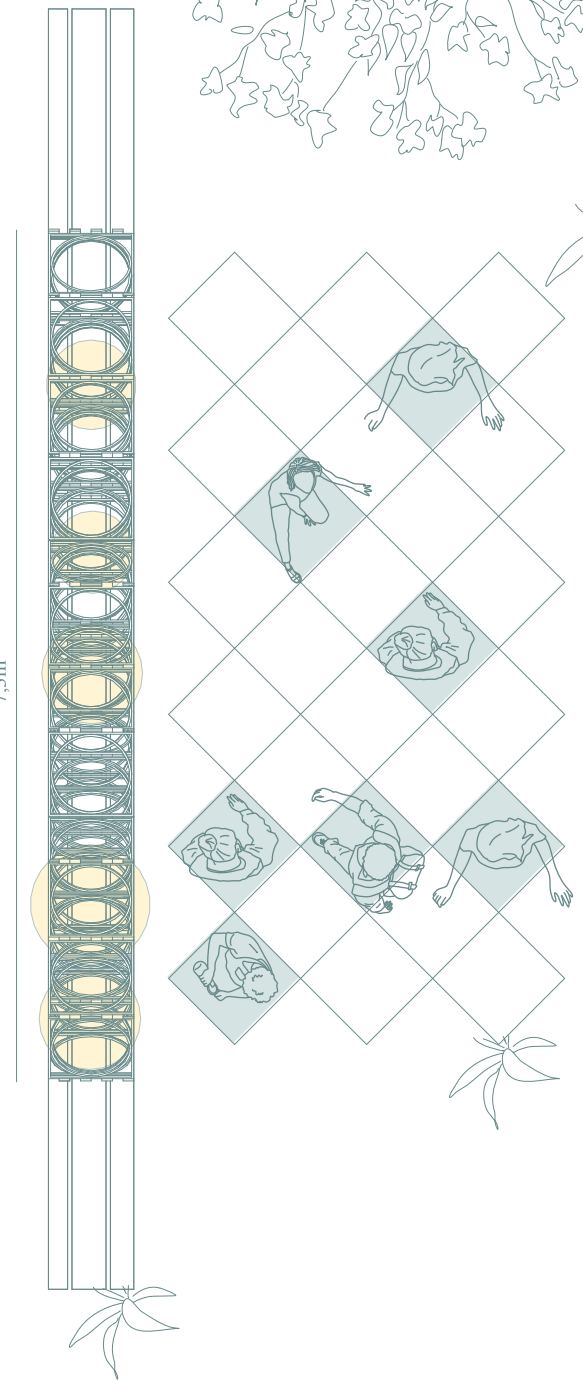
5.4.2



3,3m

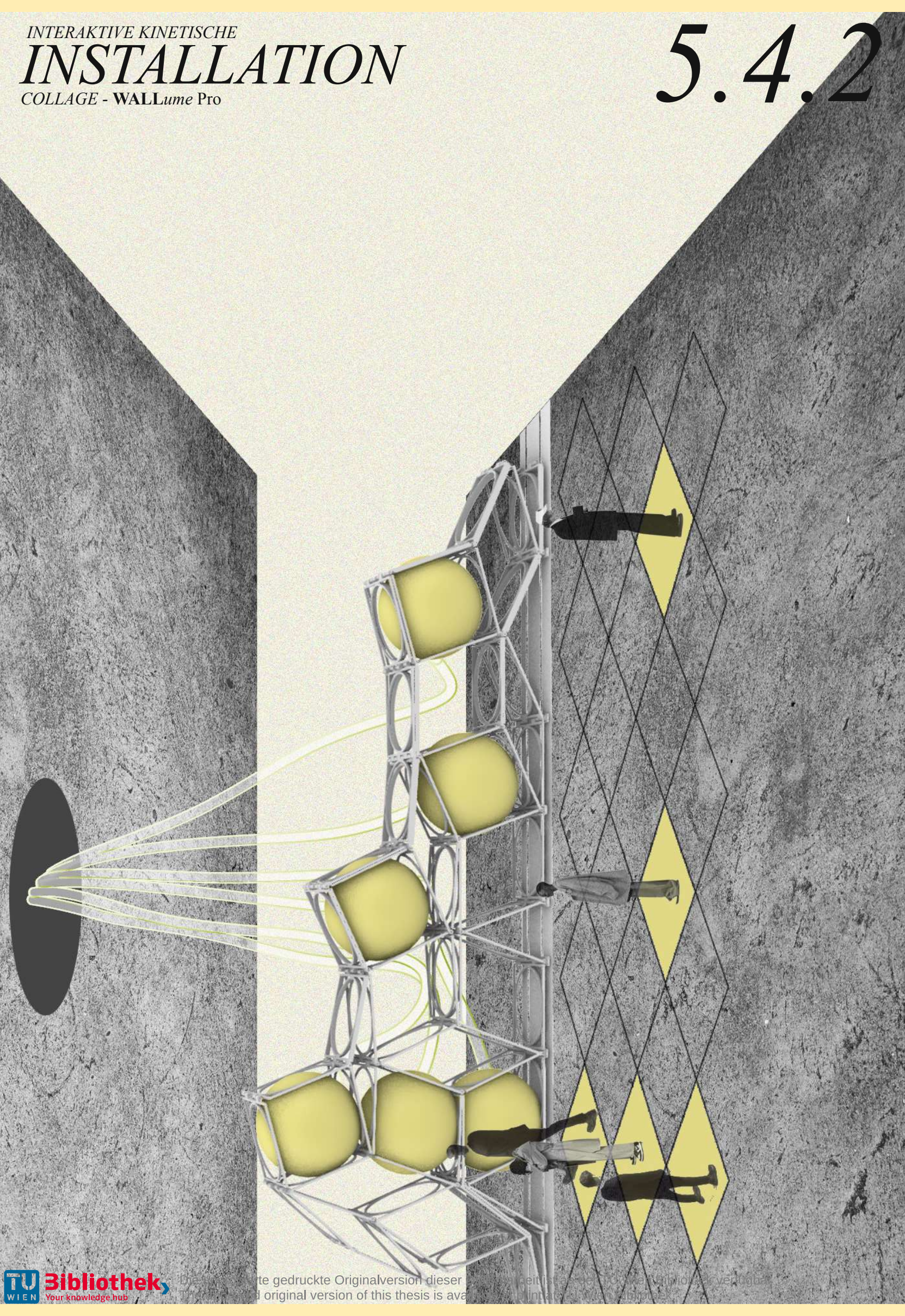


7,3m



INTERAKTIVE KINETISCHE
INSTALLATION
COLLAGE - WALLume Pro

5.4.2



5.4.2

INTERAKTIVE KINETISCHE
INSTALLATION

SCHAUBILD - WALLume Pro auf der Biennale in Venedig 1



INTERAKTIVE KINETISCHE
INSTALLATION

SCHAUBILD - WALLume Pro auf der Biennale in Venedig 2



INTERAKTIVE KINETISCHE
INSTALLATION

SCHAUBILD - WALLume Pro auf der Biennale in Venedig 3



INTERAKTIVE KINETISCHE
INSTALLATION

SCHAUBILD - WALLume Pro auf der Biennale in Venedig 4



5.4.2

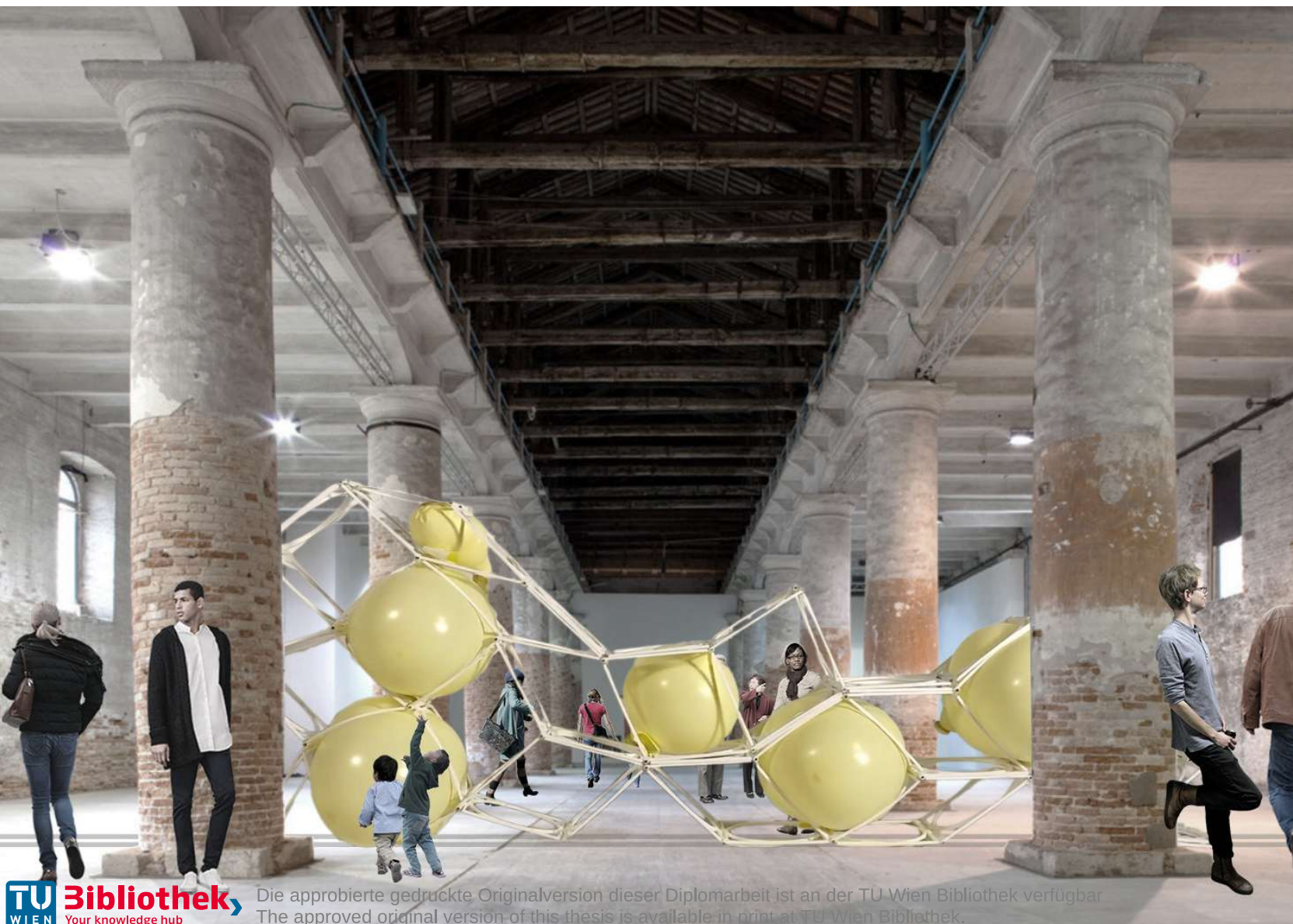
INTERAKTIVE KINETISCHE
INSTALLATION

SCHAUBILD - WALLume Pro auf der Biennale in Venedig 5



INTERAKTIVE KINETISCHE
INSTALLATION

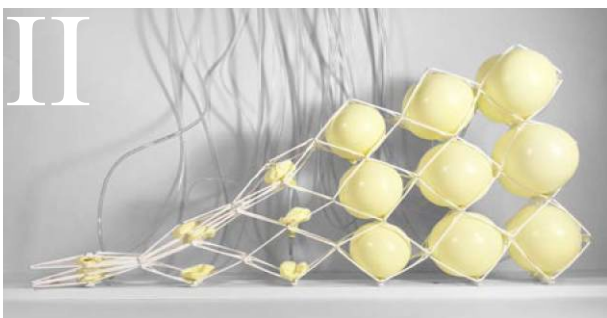
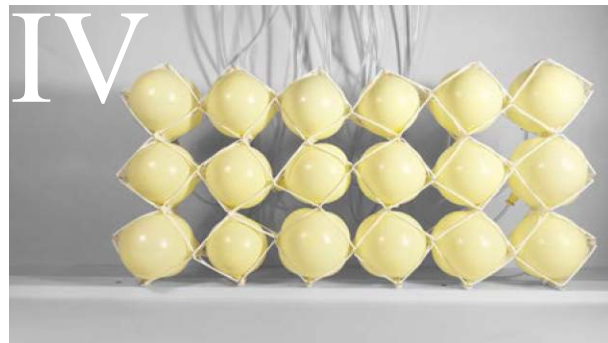
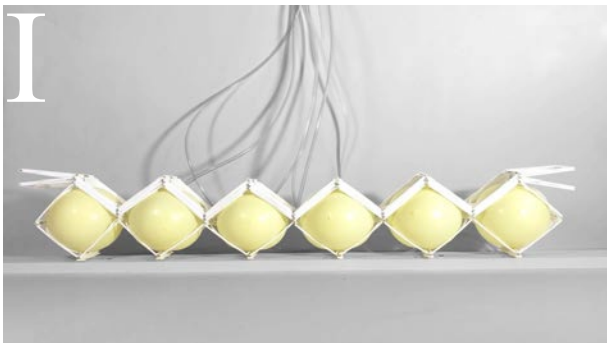
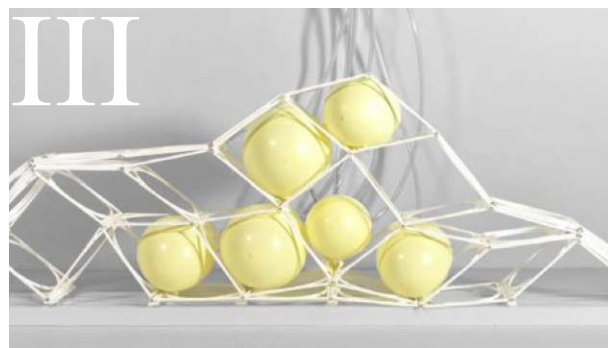
SCHAUBILD - WALLume Pro auf der Biennale in Venedig 6



5.5

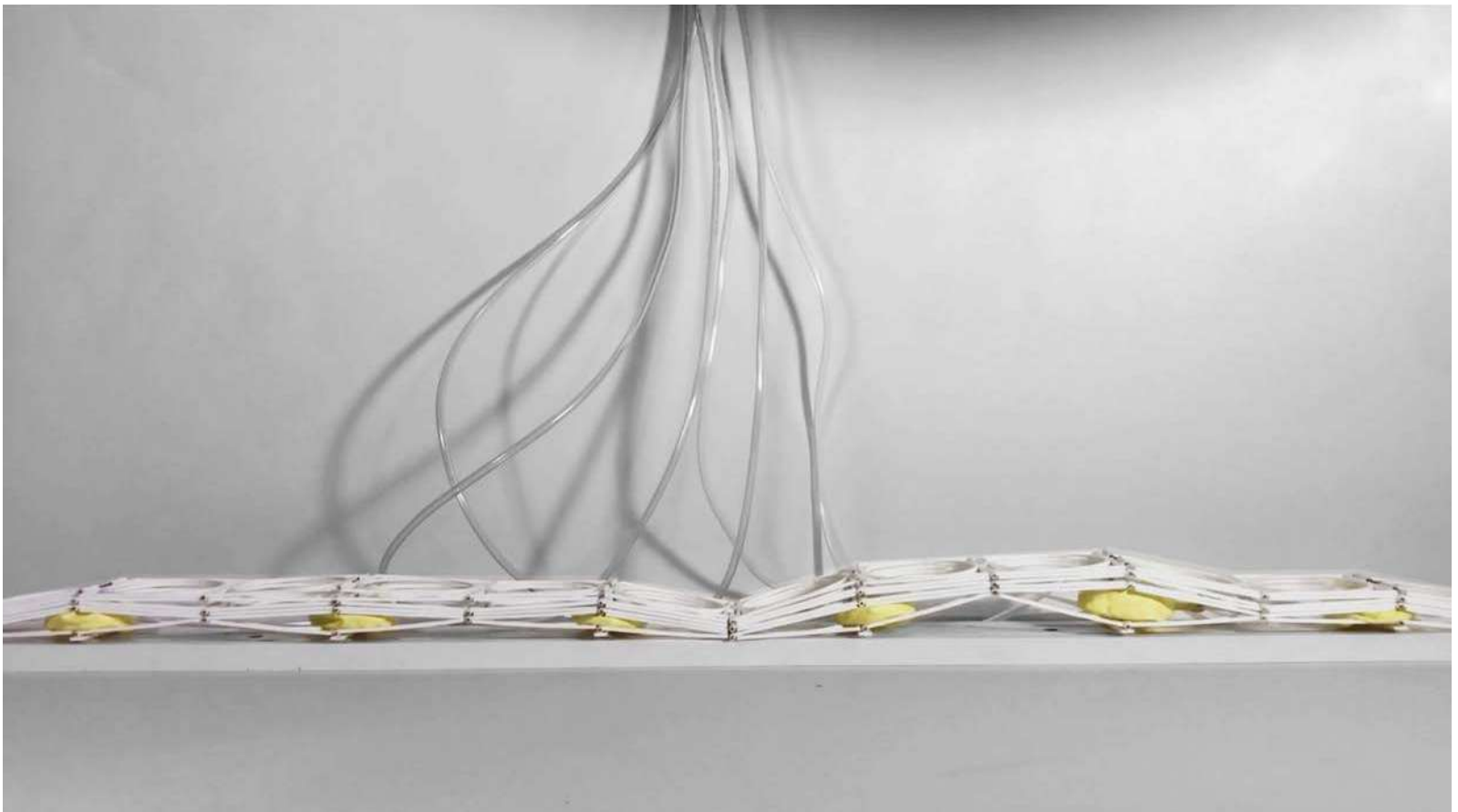
CHOREOGRAPHIEN

I-V



5.5.1

CHOREOGRAPHIE I



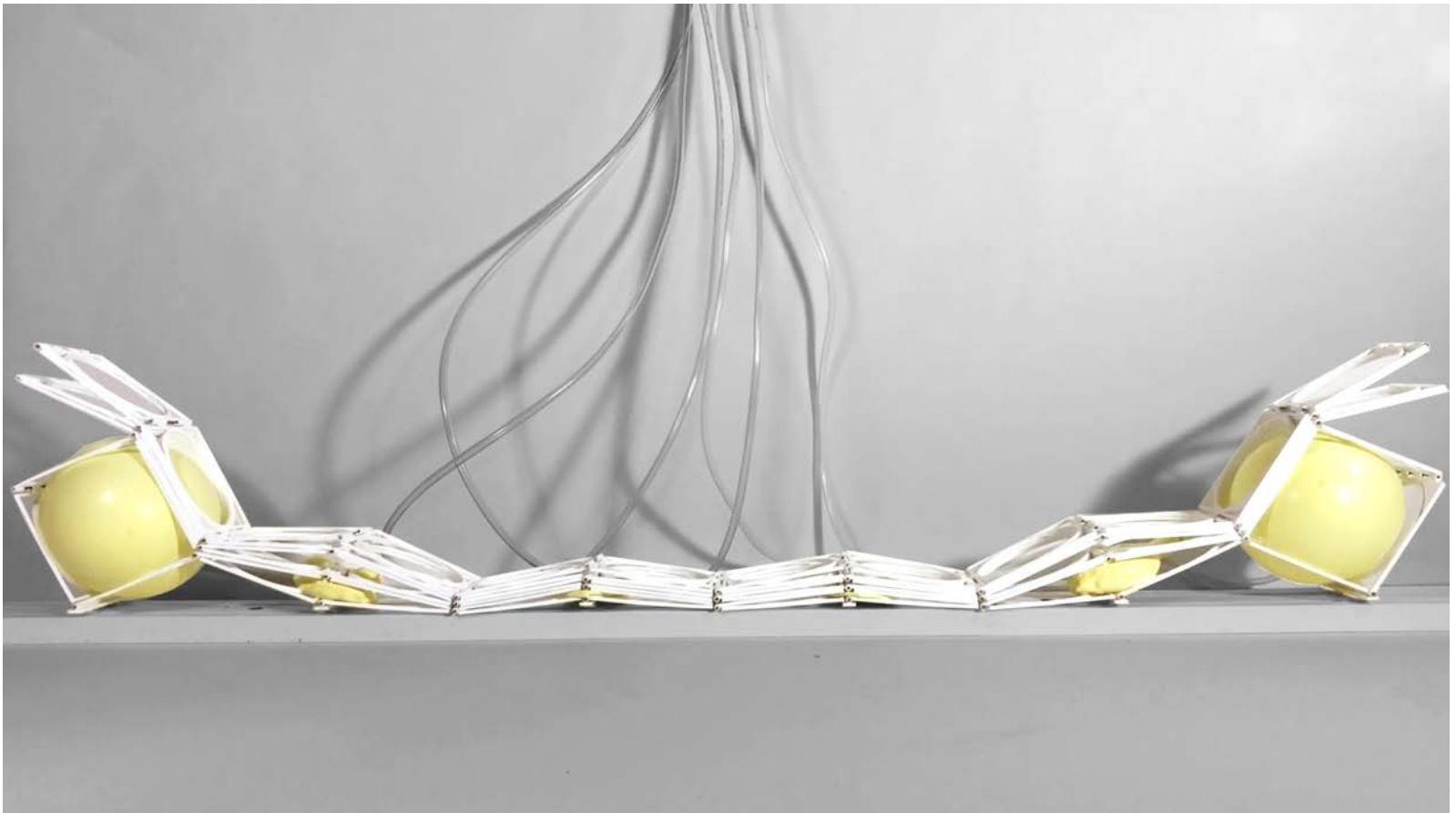
5.5.1

CHOREOGRAPHIE I



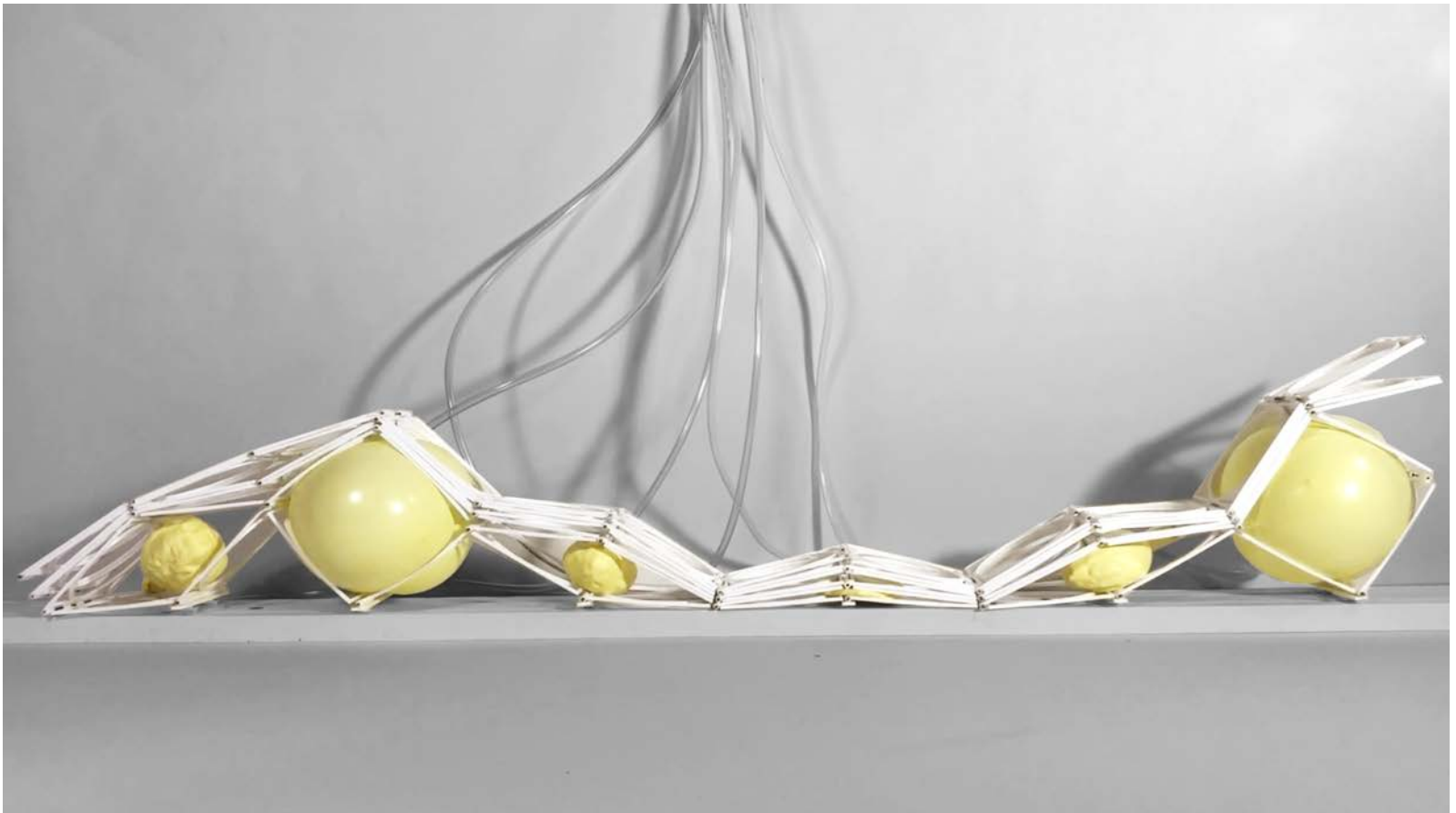
5.5.1

CHOREOGRAPHIE I



5.5.1

CHOREOGRAPHIE I

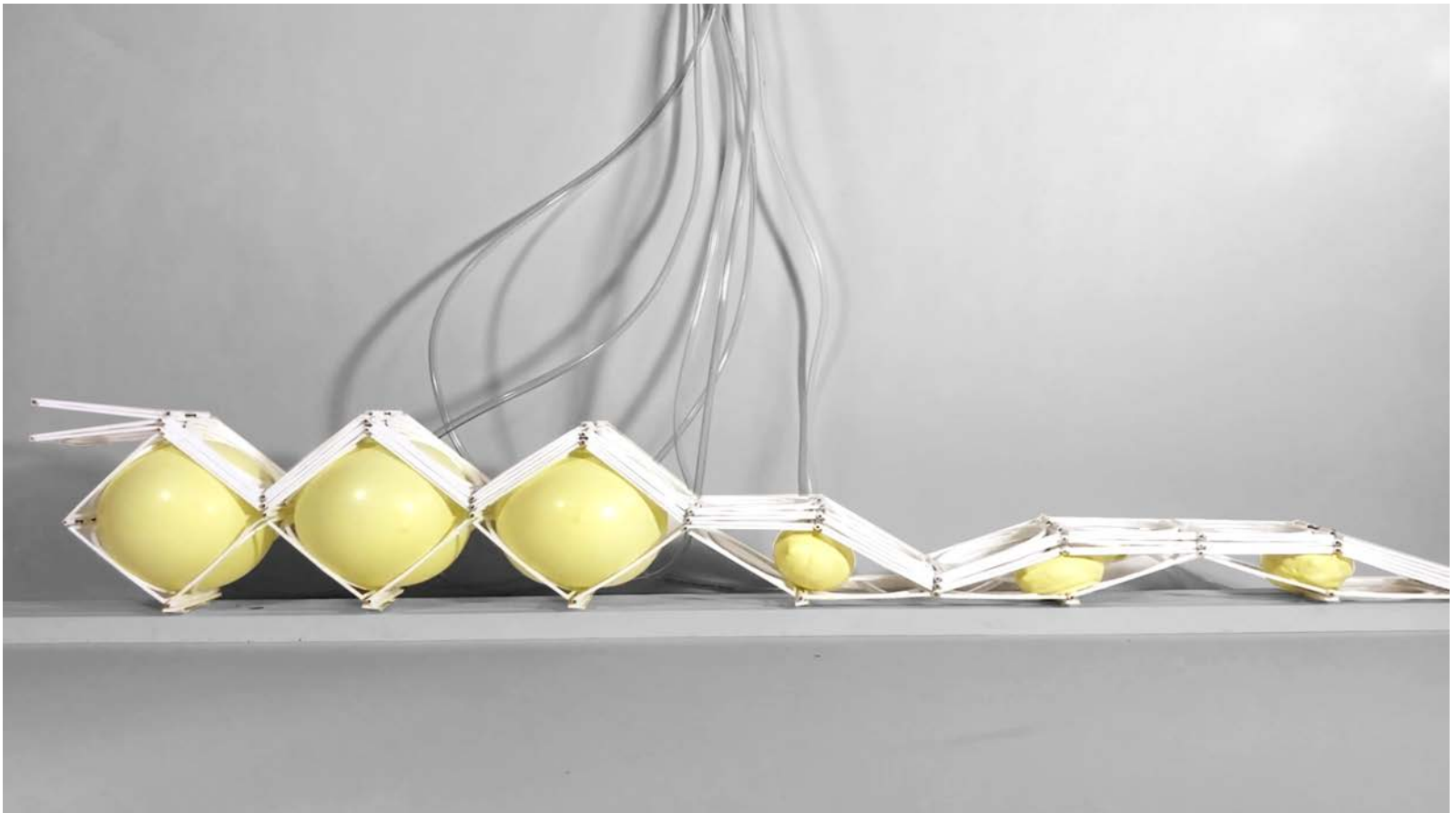


5.5.1

CHOREOGRAPHIE I



CHOREOGRAPHIE I



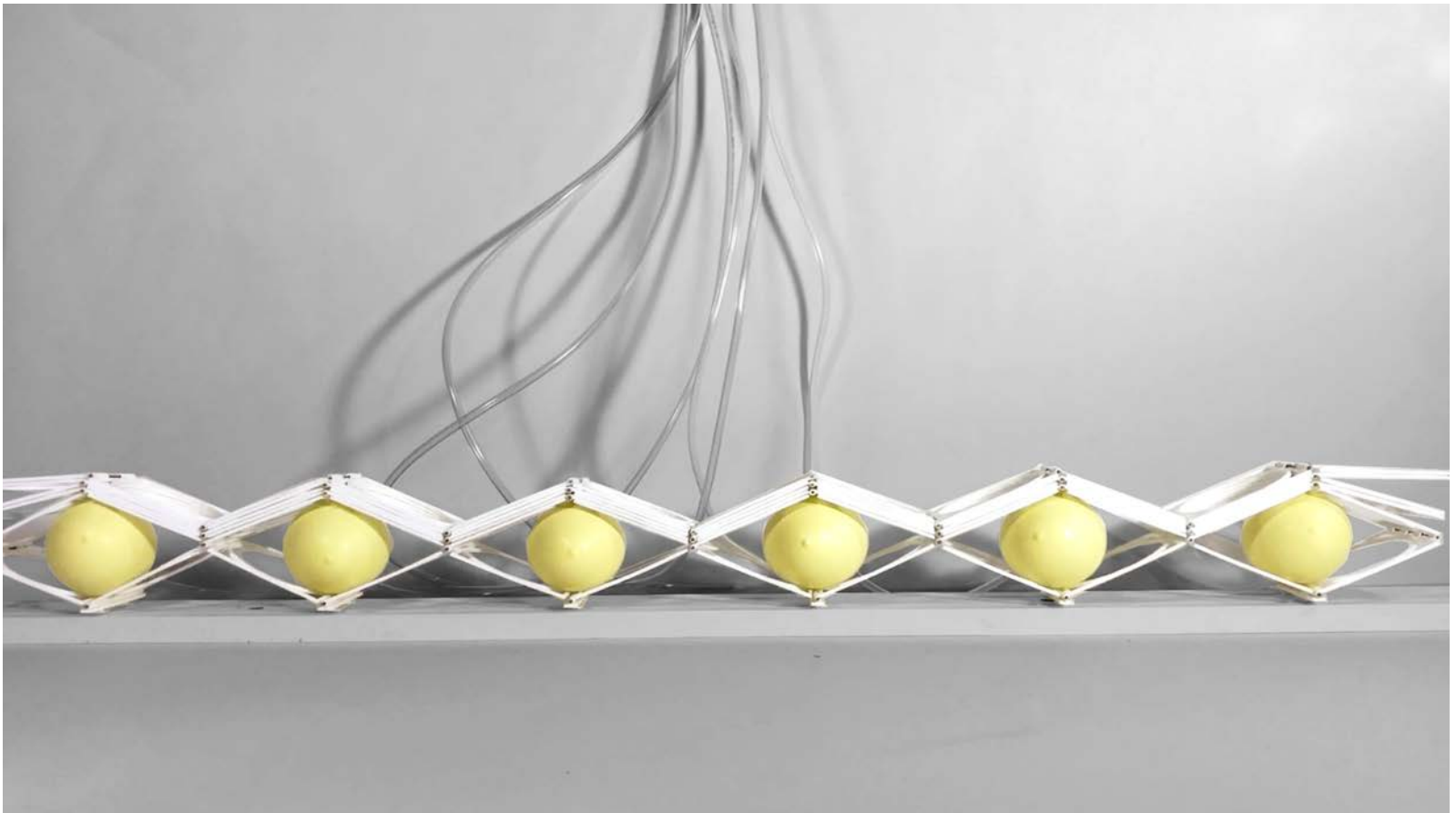
5.5.1

CHOREOGRAPHIE I



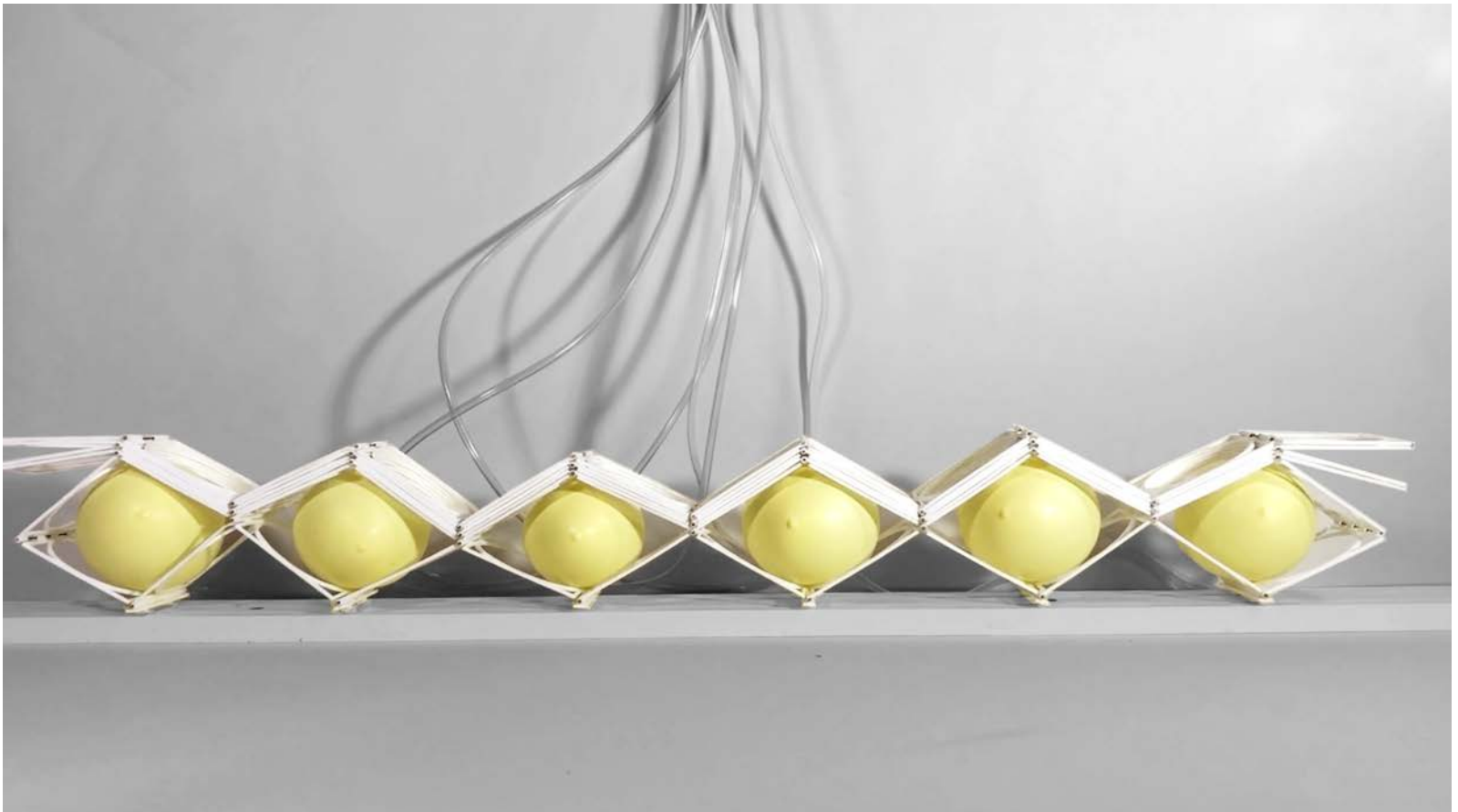
5.5.1

CHOREOGRAPHIE I



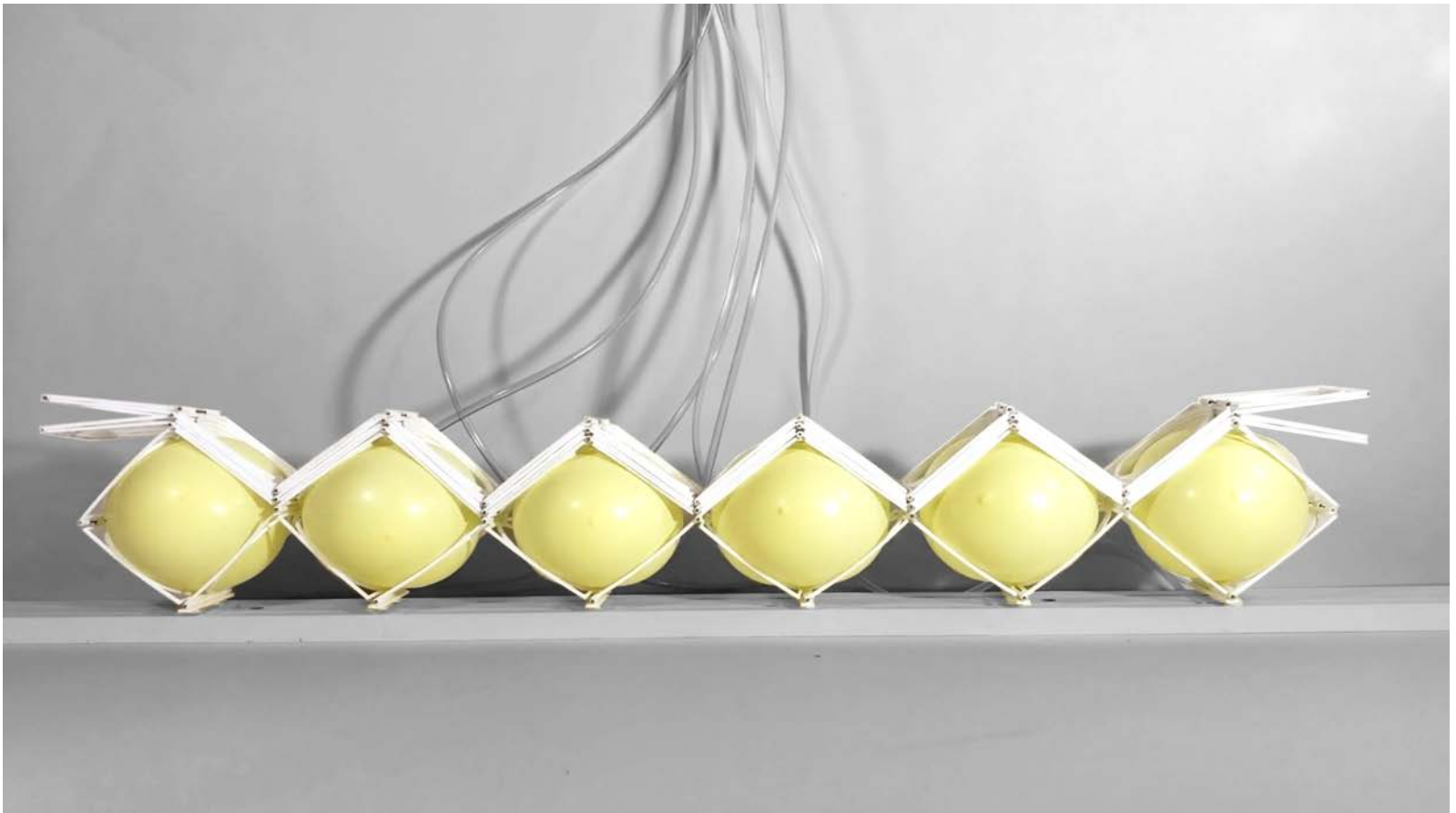
5.5.1

CHOREOGRAPHIE I



5.5.1

CHOREOGRAPHIE I



5.5.2

CHOREOGRAPHIE II



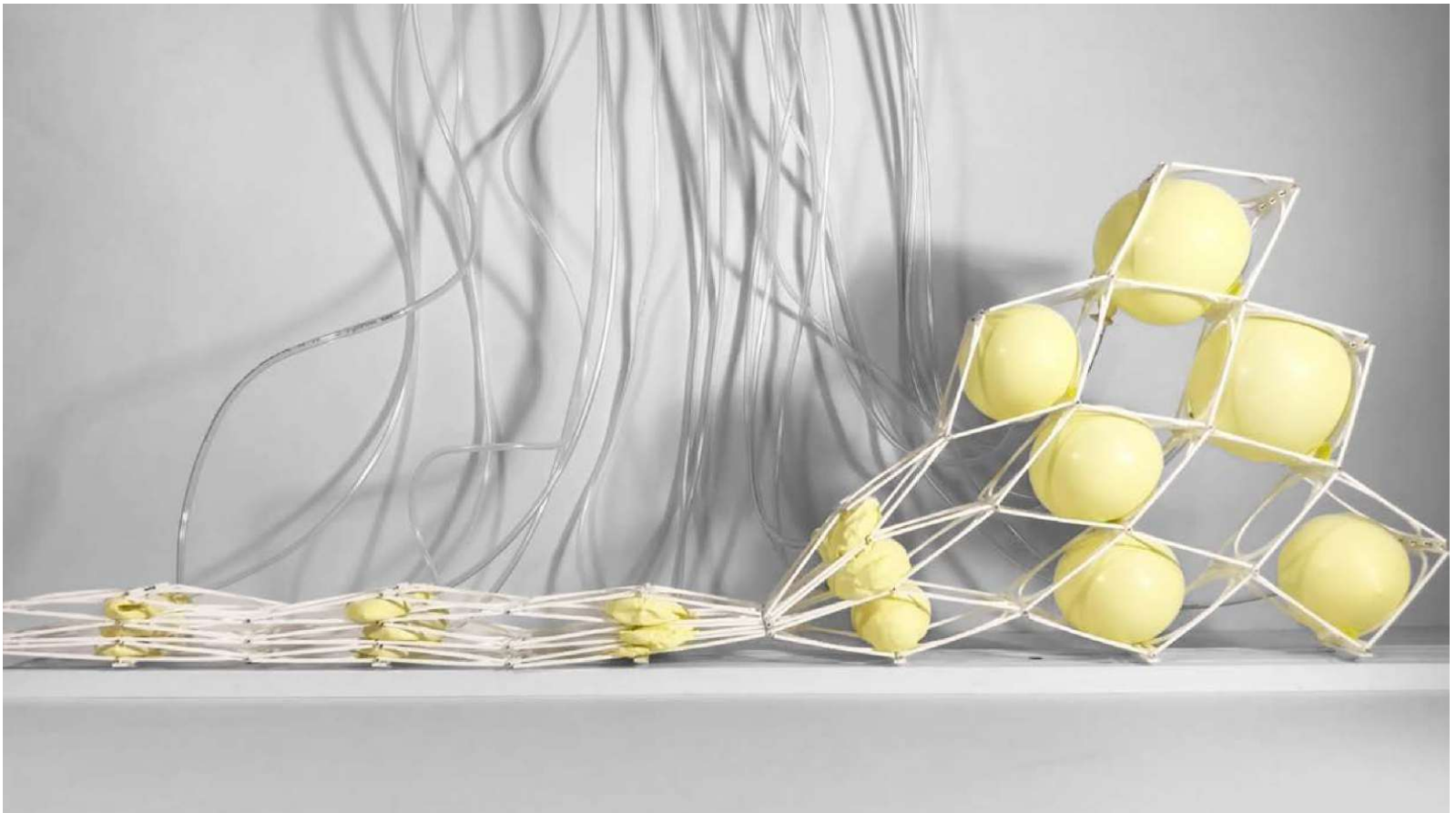
5.5.2

CHOREOGRAPHIE II

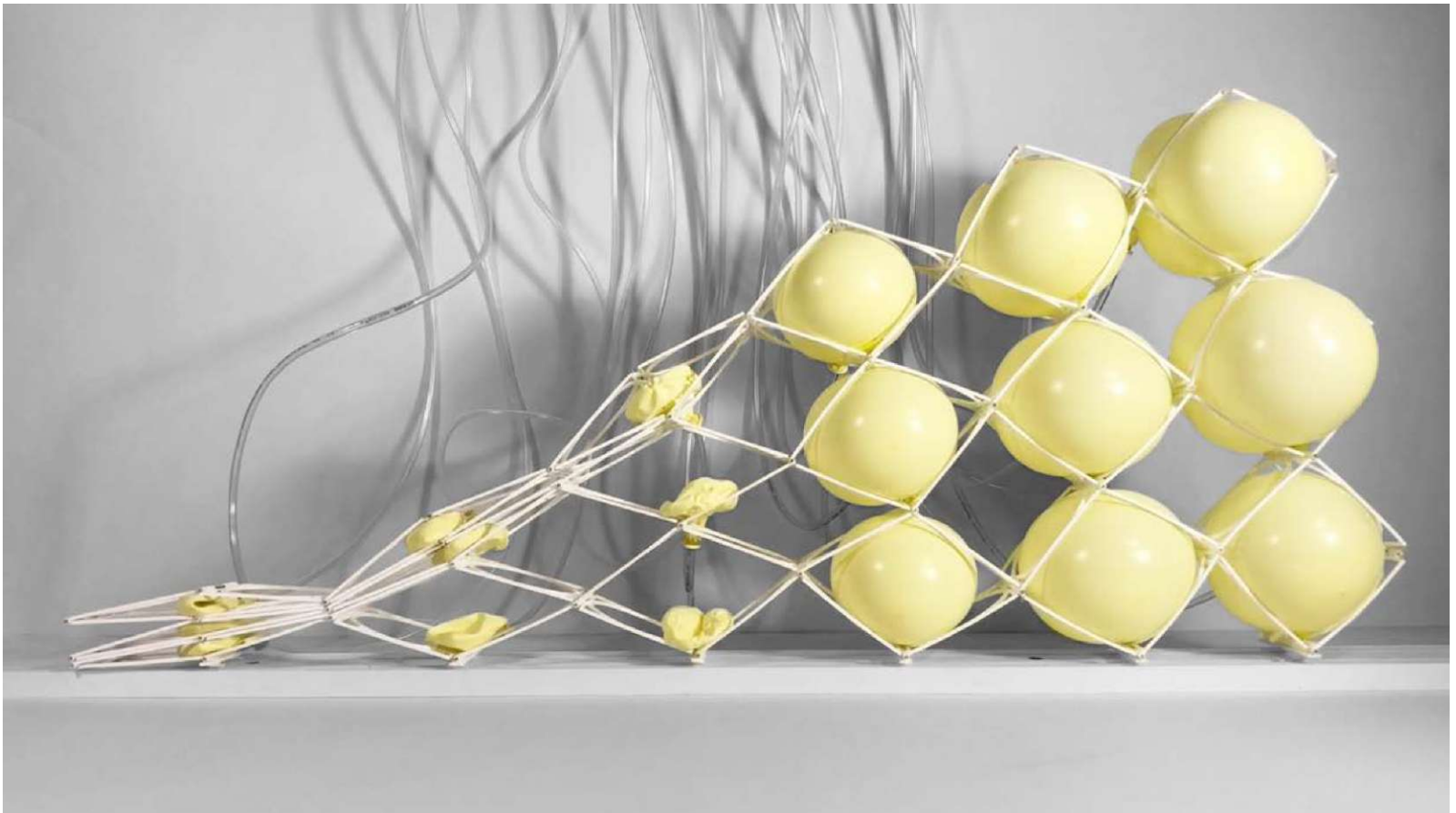


5.5.2

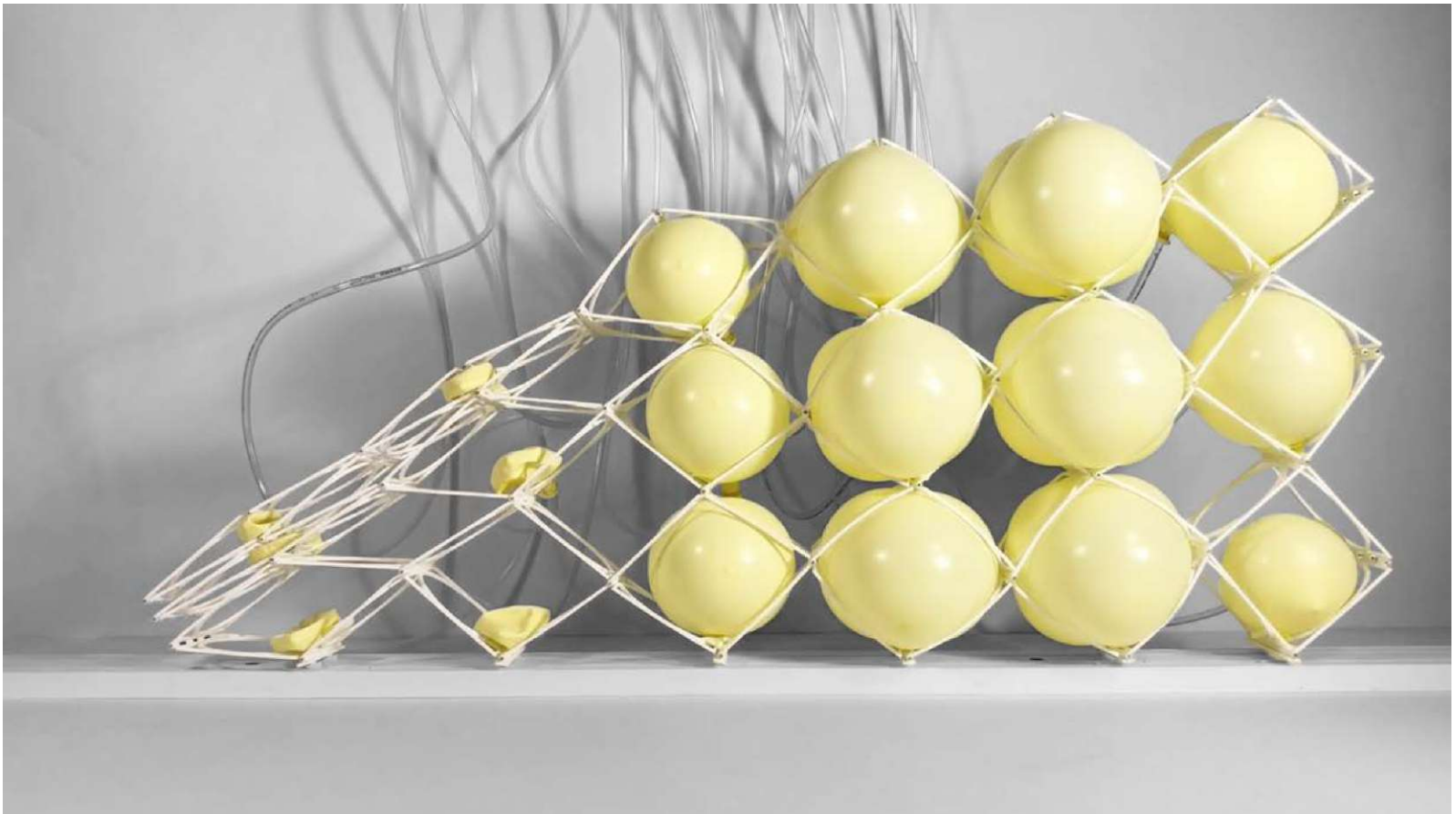
CHOREOGRAPHIE II



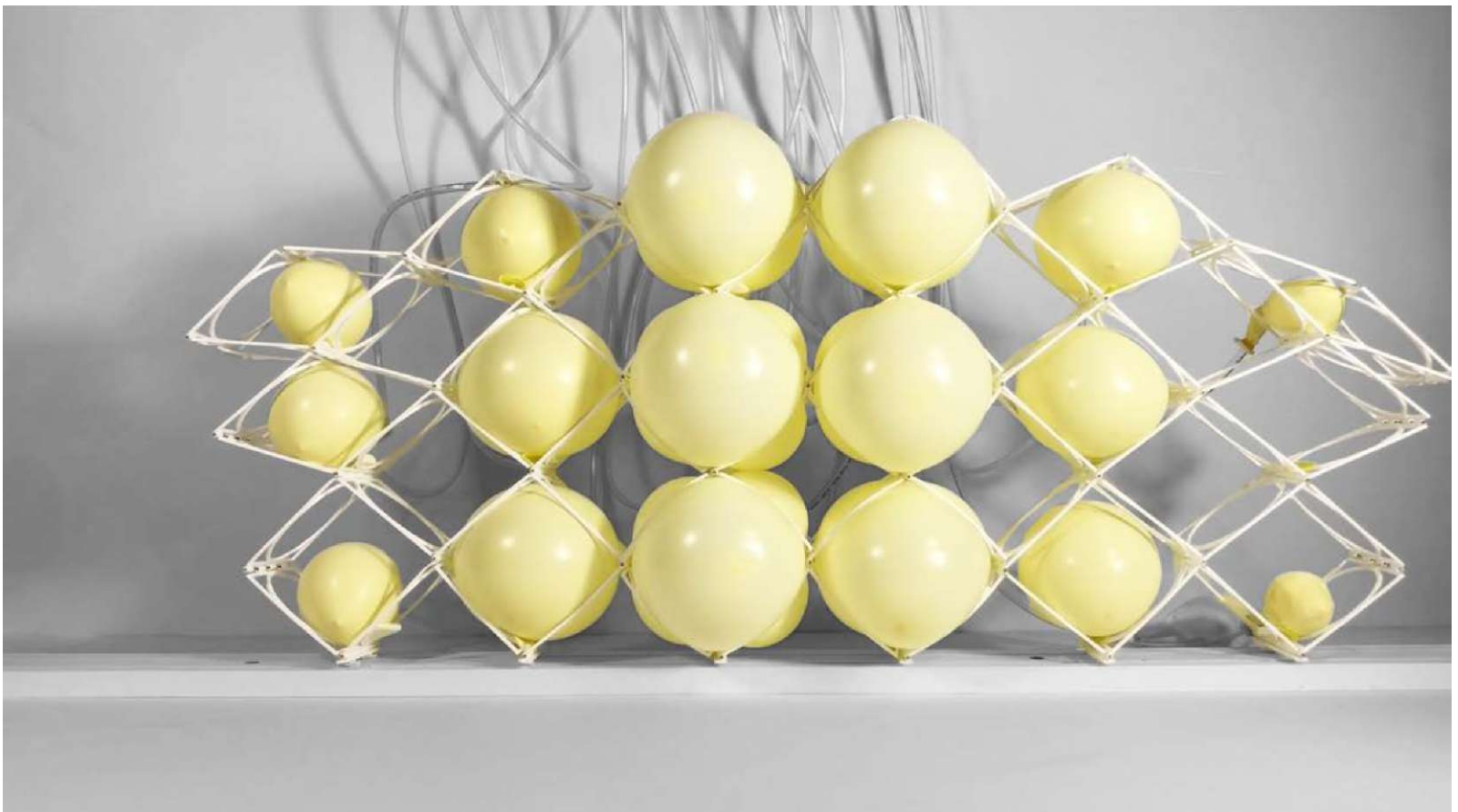
CHOREOGRAPHIE II



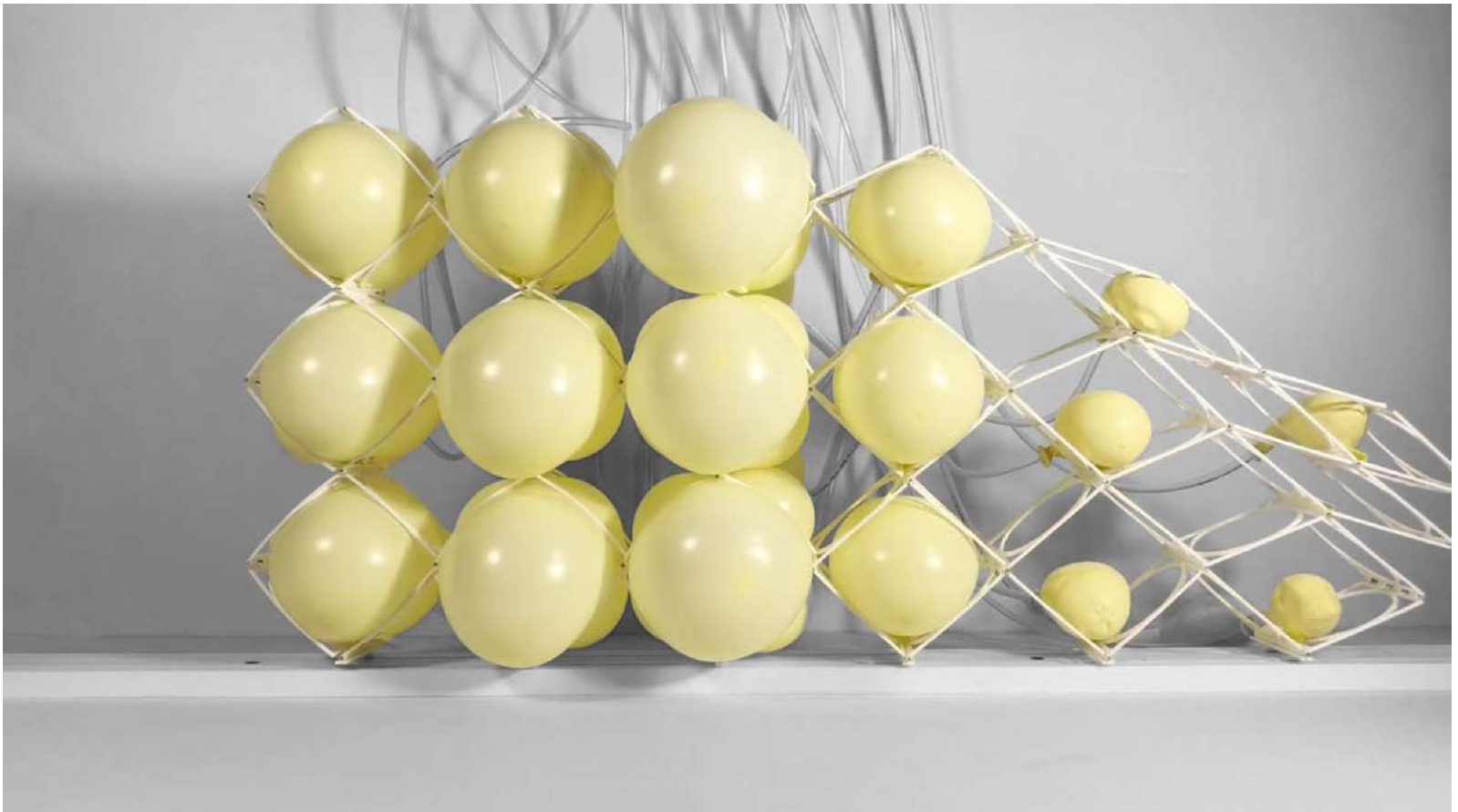
CHOREOGRAPHIE II



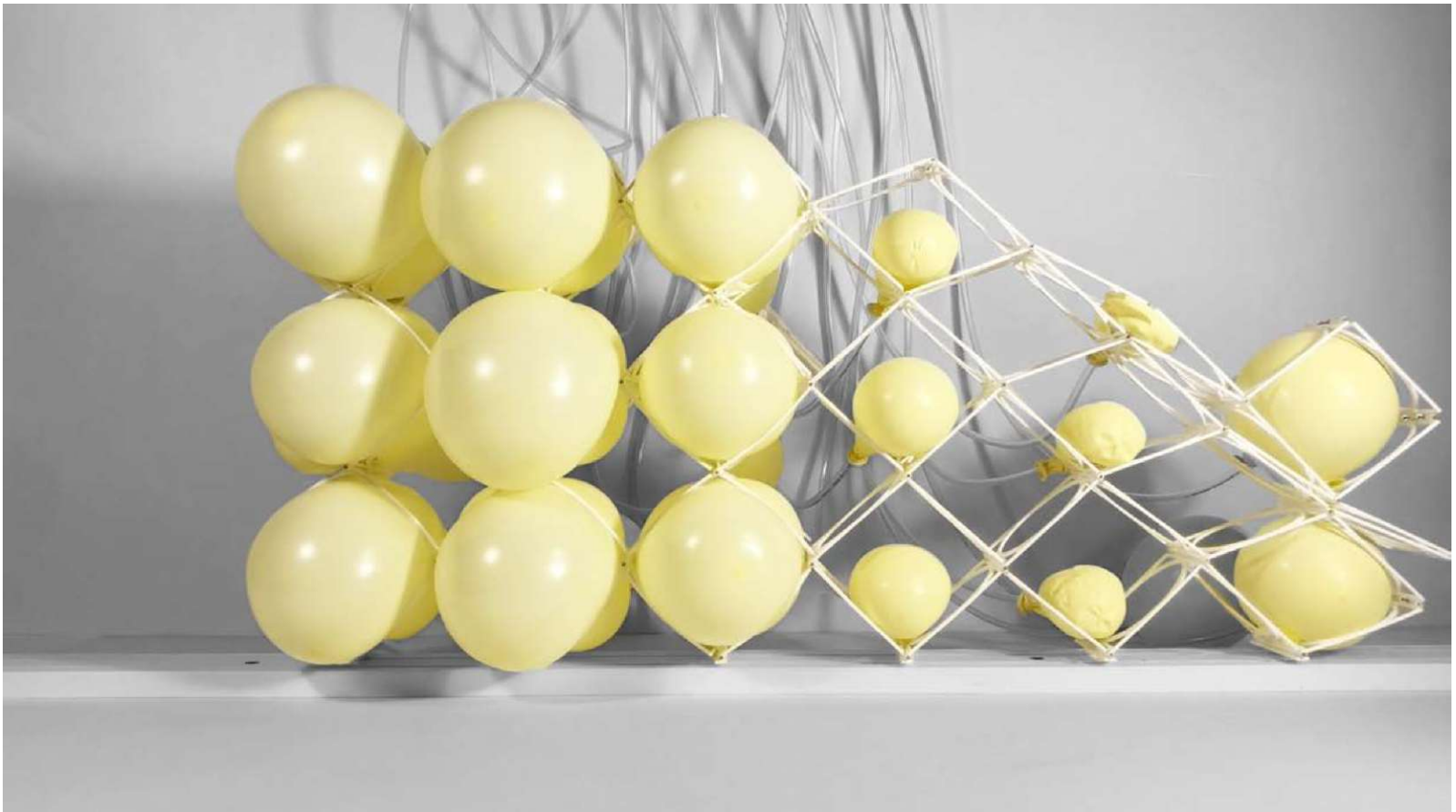
CHOREOGRAPHIE II



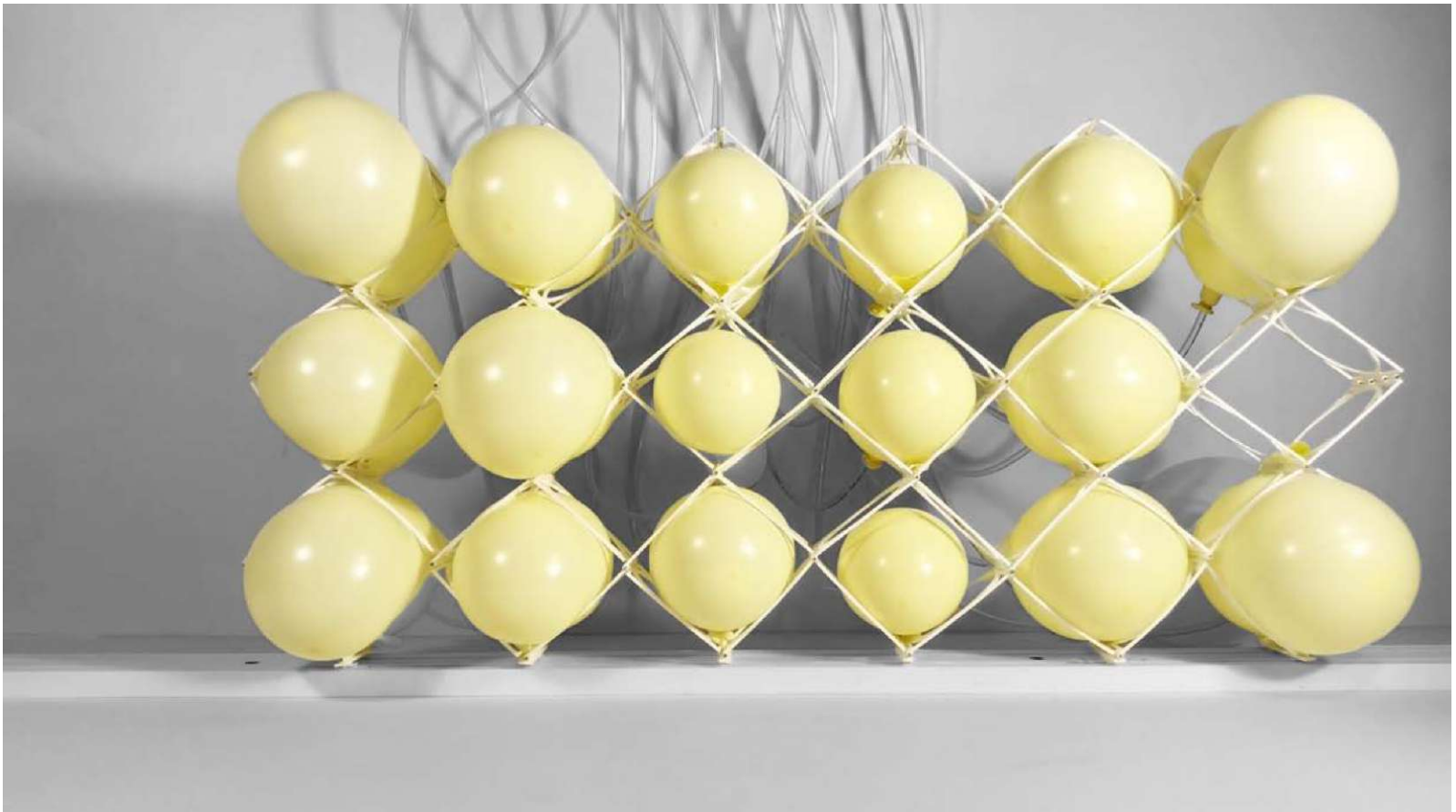
CHOREOGRAPHIE II



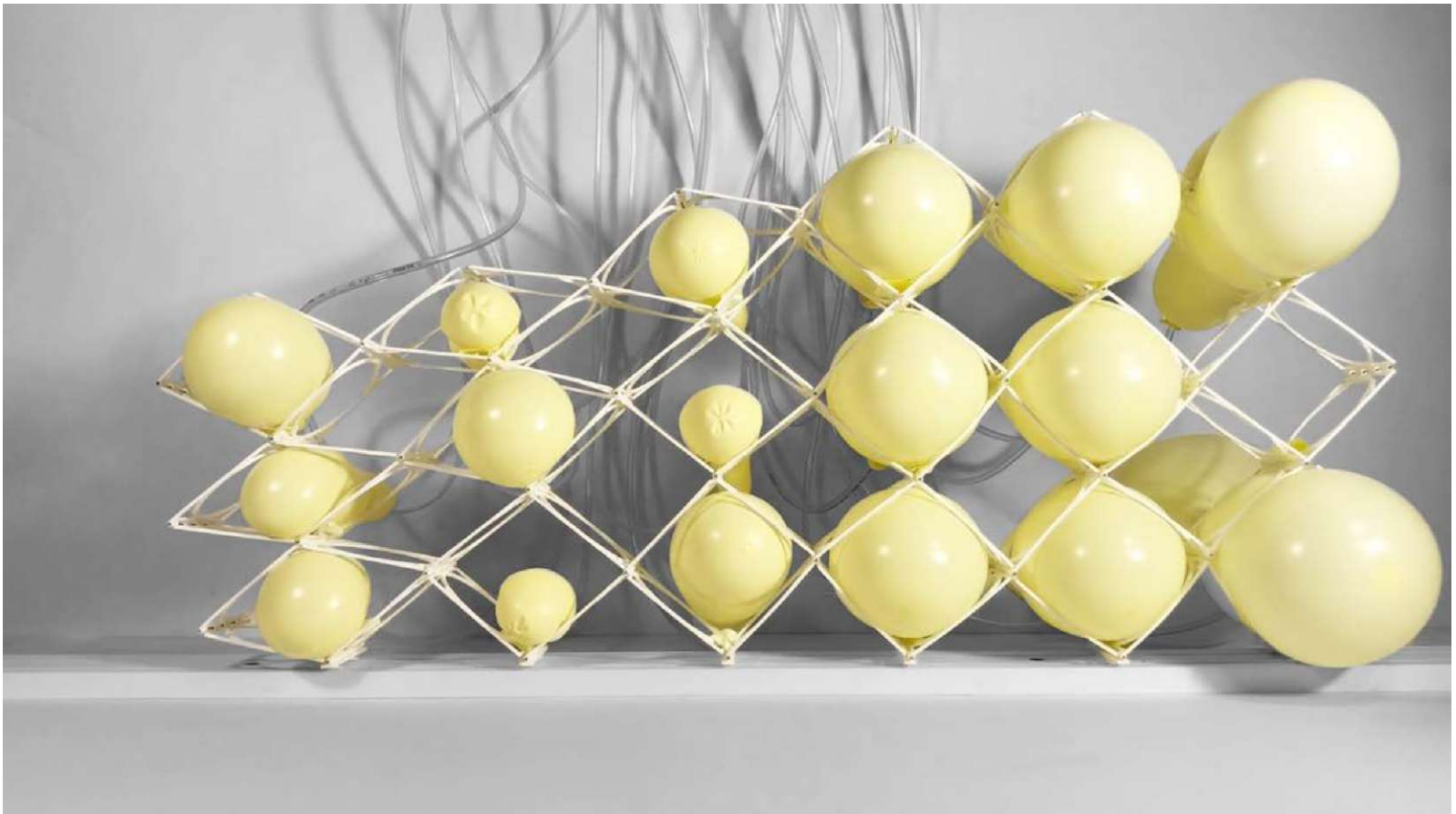
CHOREOGRAPHIE II



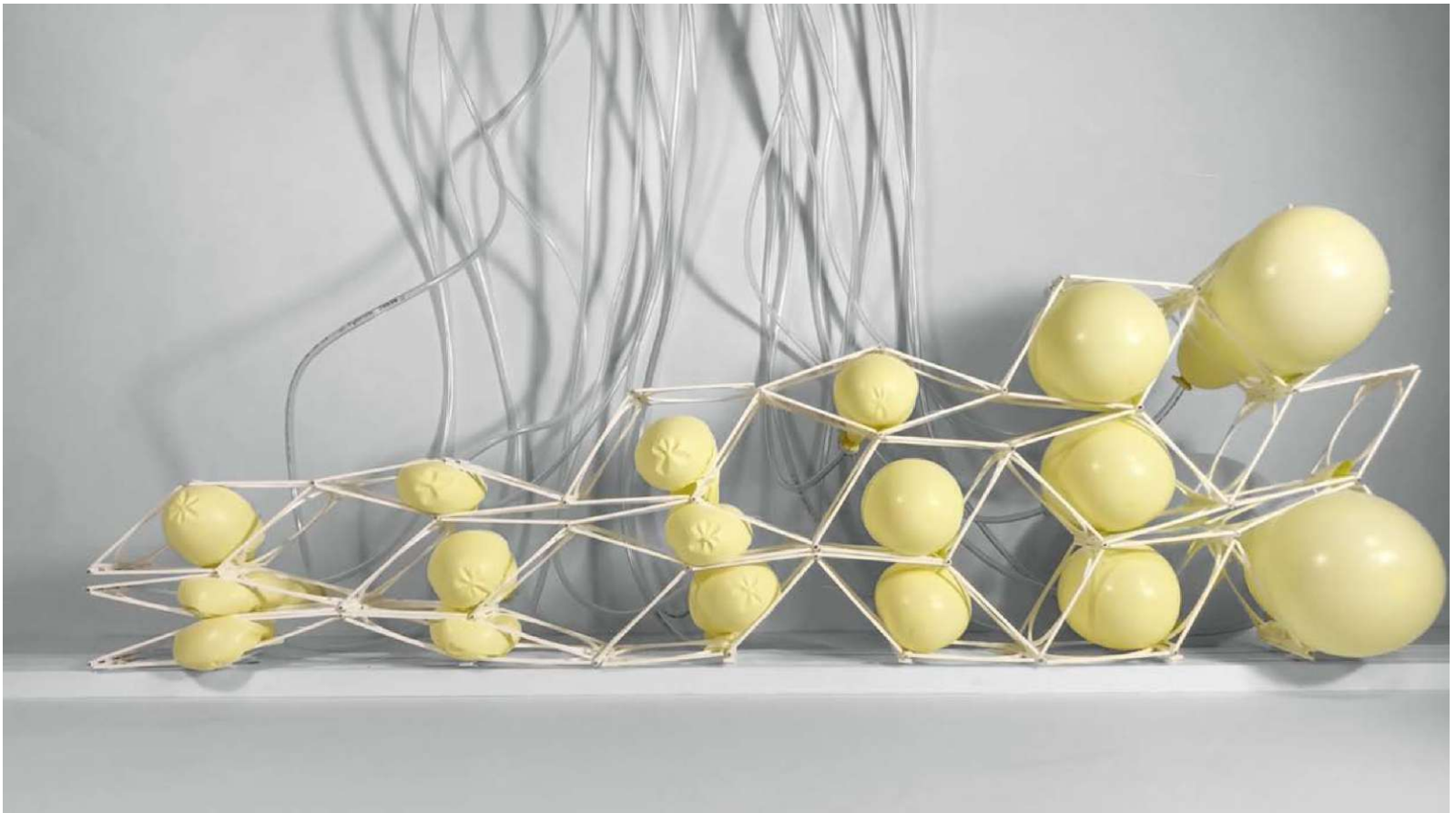
CHOREOGRAPHIE II



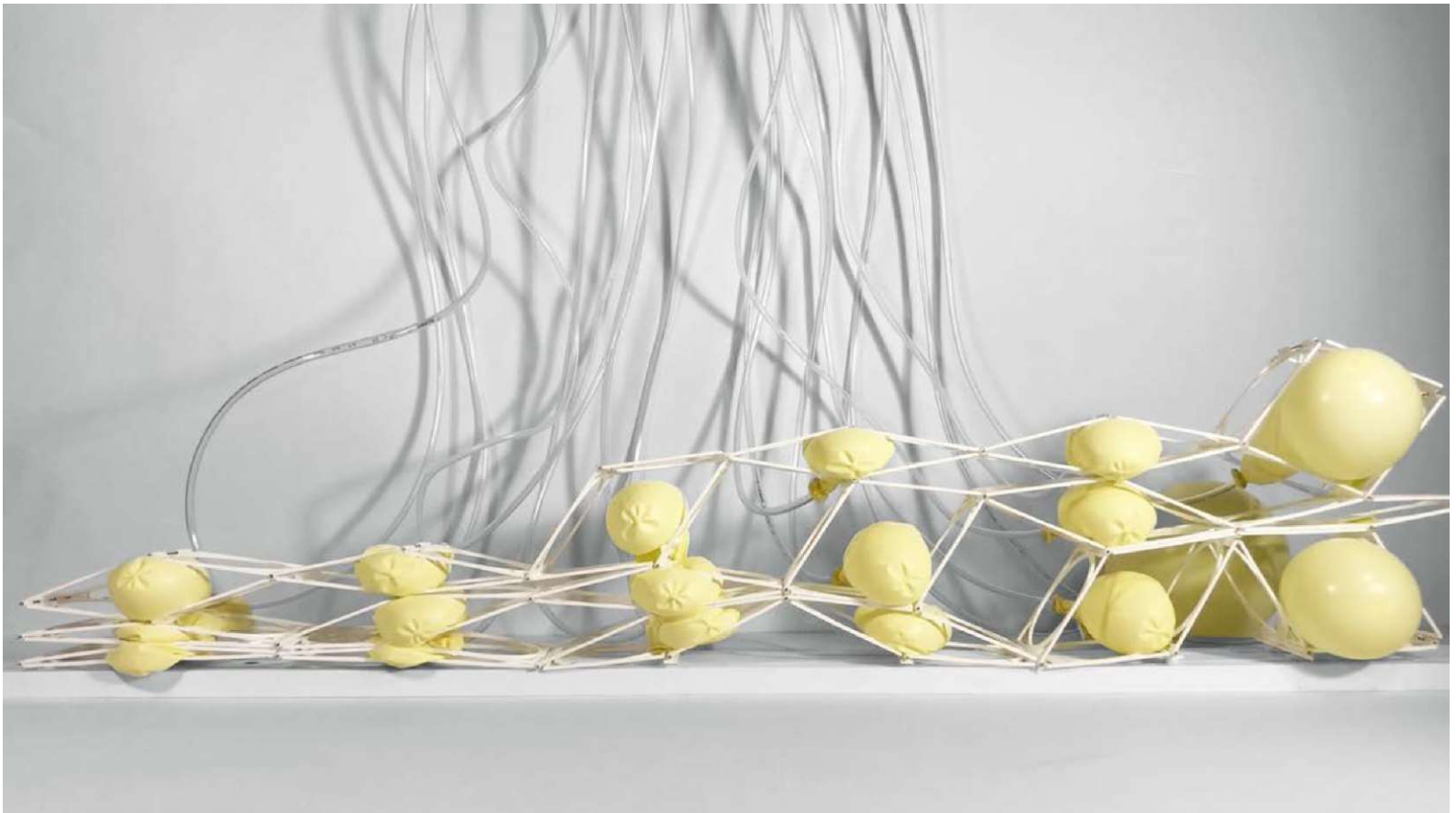
CHOREOGRAPHIE II



CHOREOGRAPHIE II



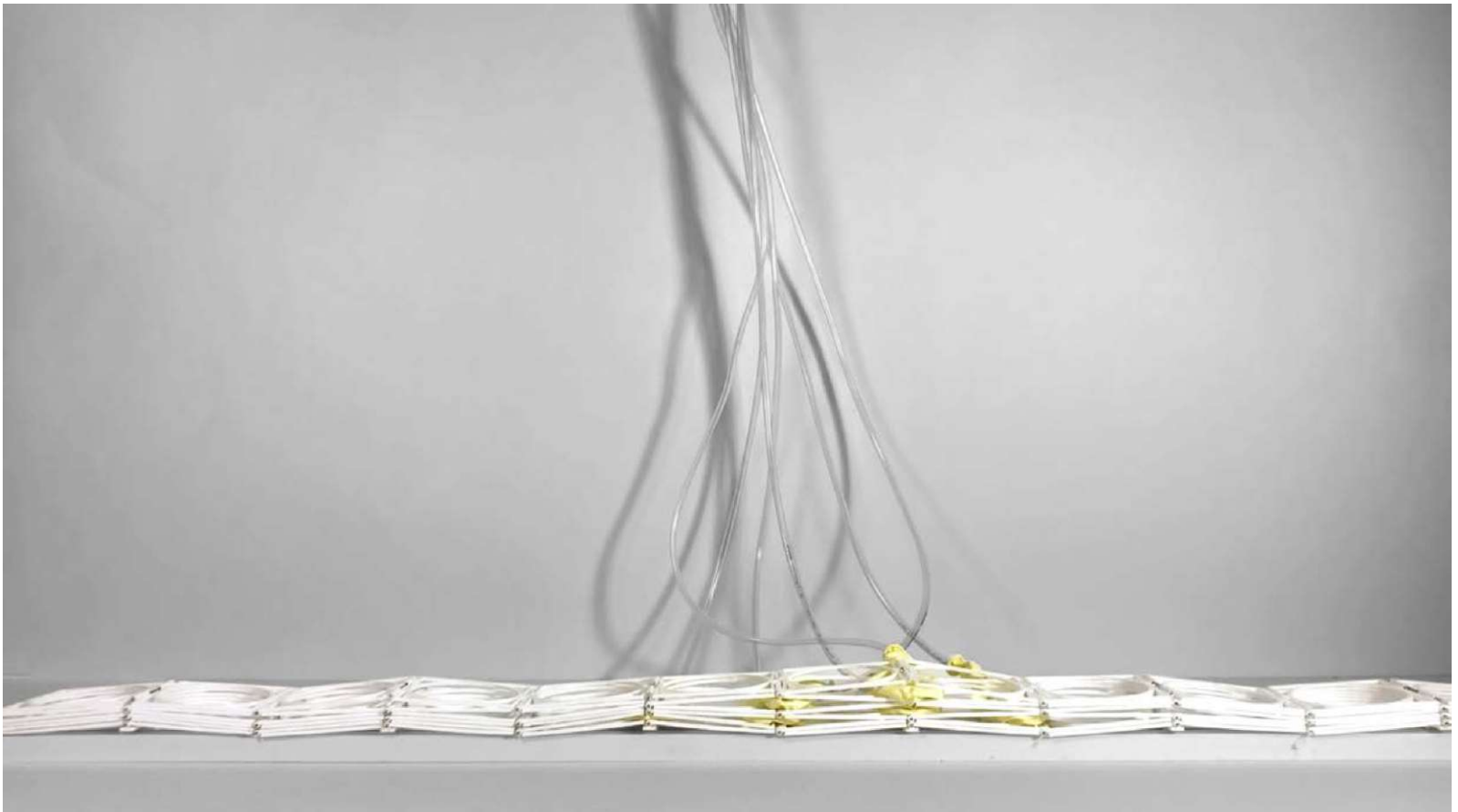
CHOREOGRAPHIE II



CHOREOGRAPHIE II



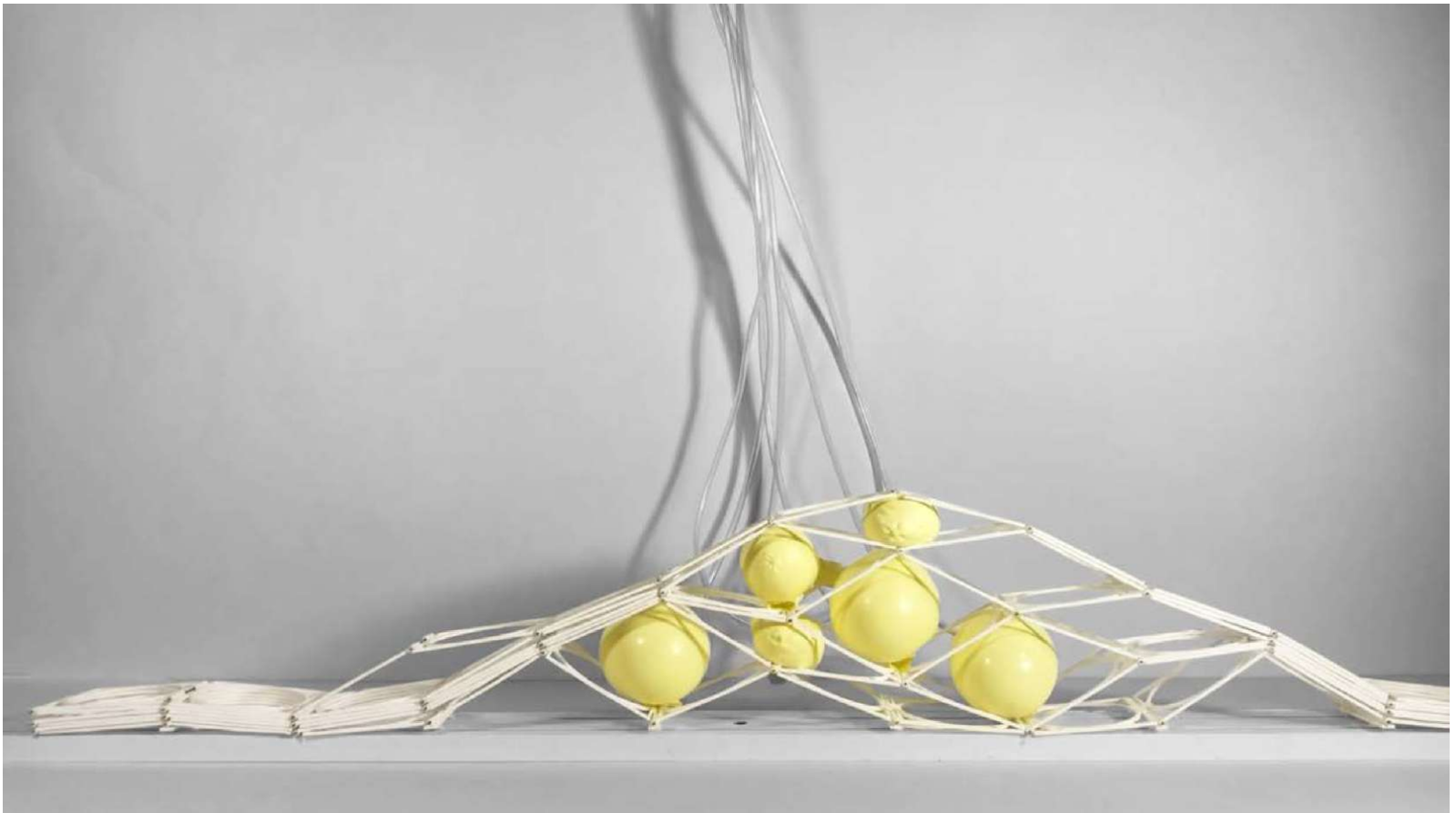
CHOREOGRAPHIE III



CHOREOGRAPHIE III



CHOREOGRAPHIE III

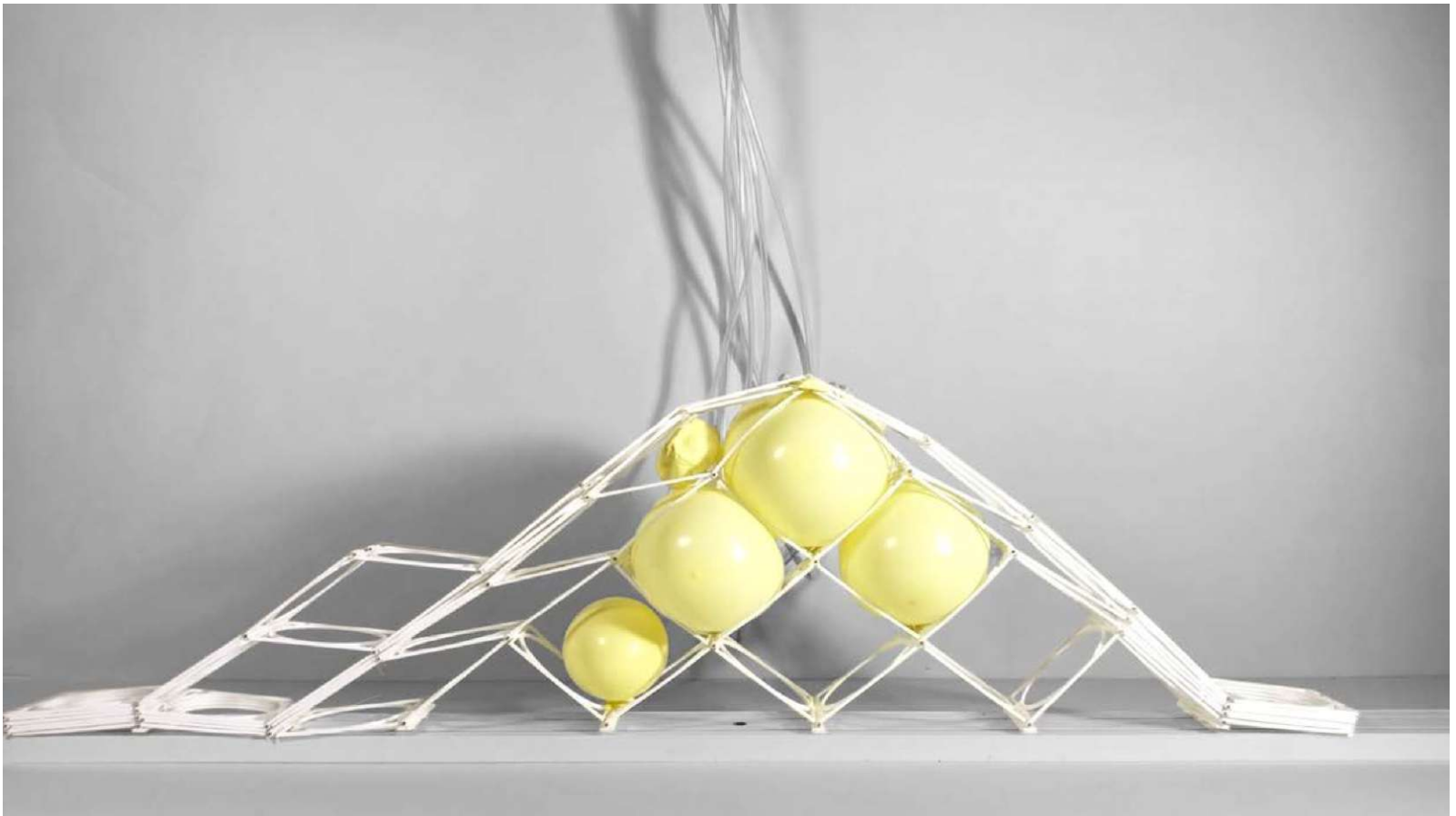


5.5.3

CHOREOGRAPHIE III

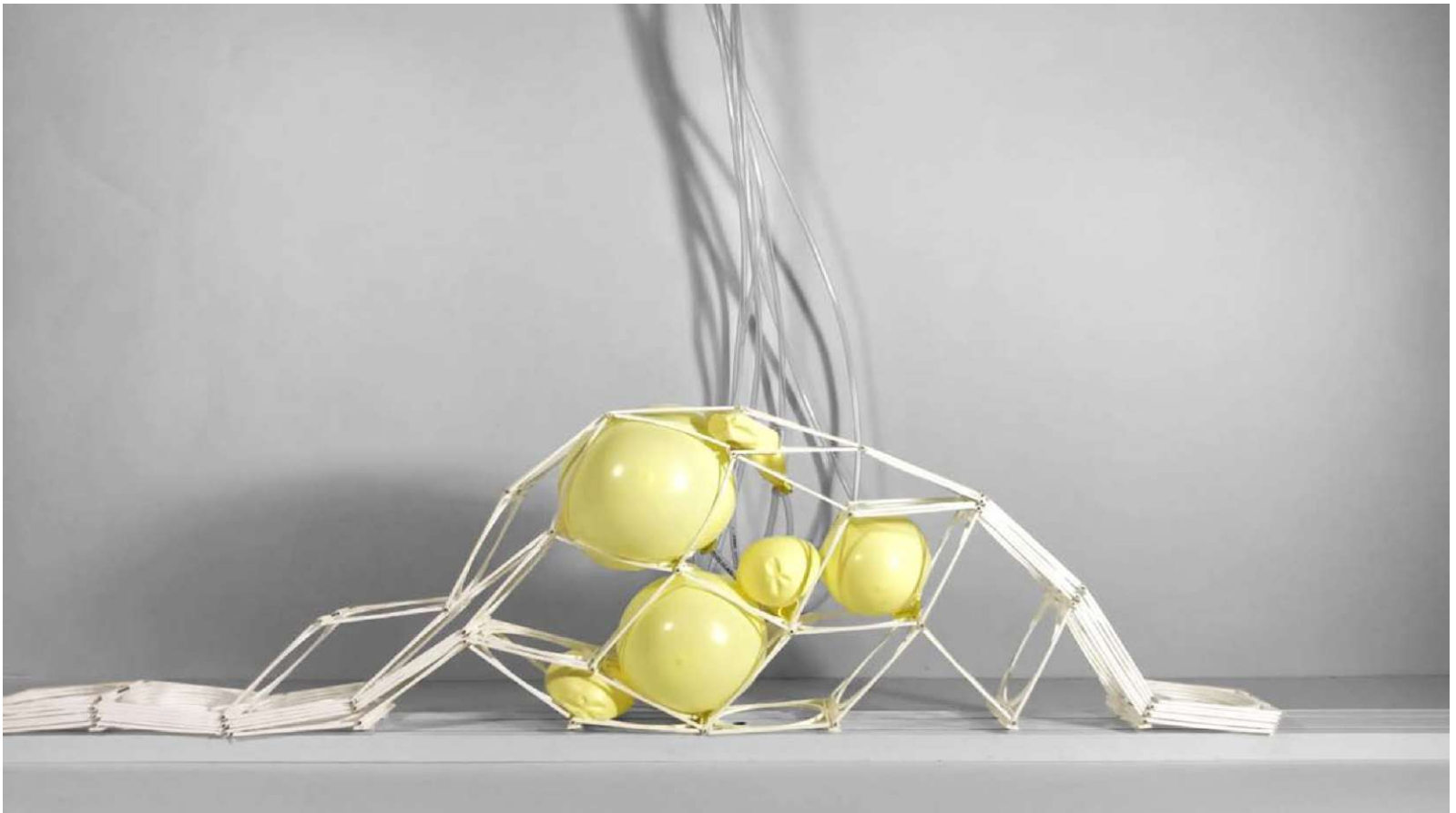


CHOREOGRAPHIE III



5.5.3

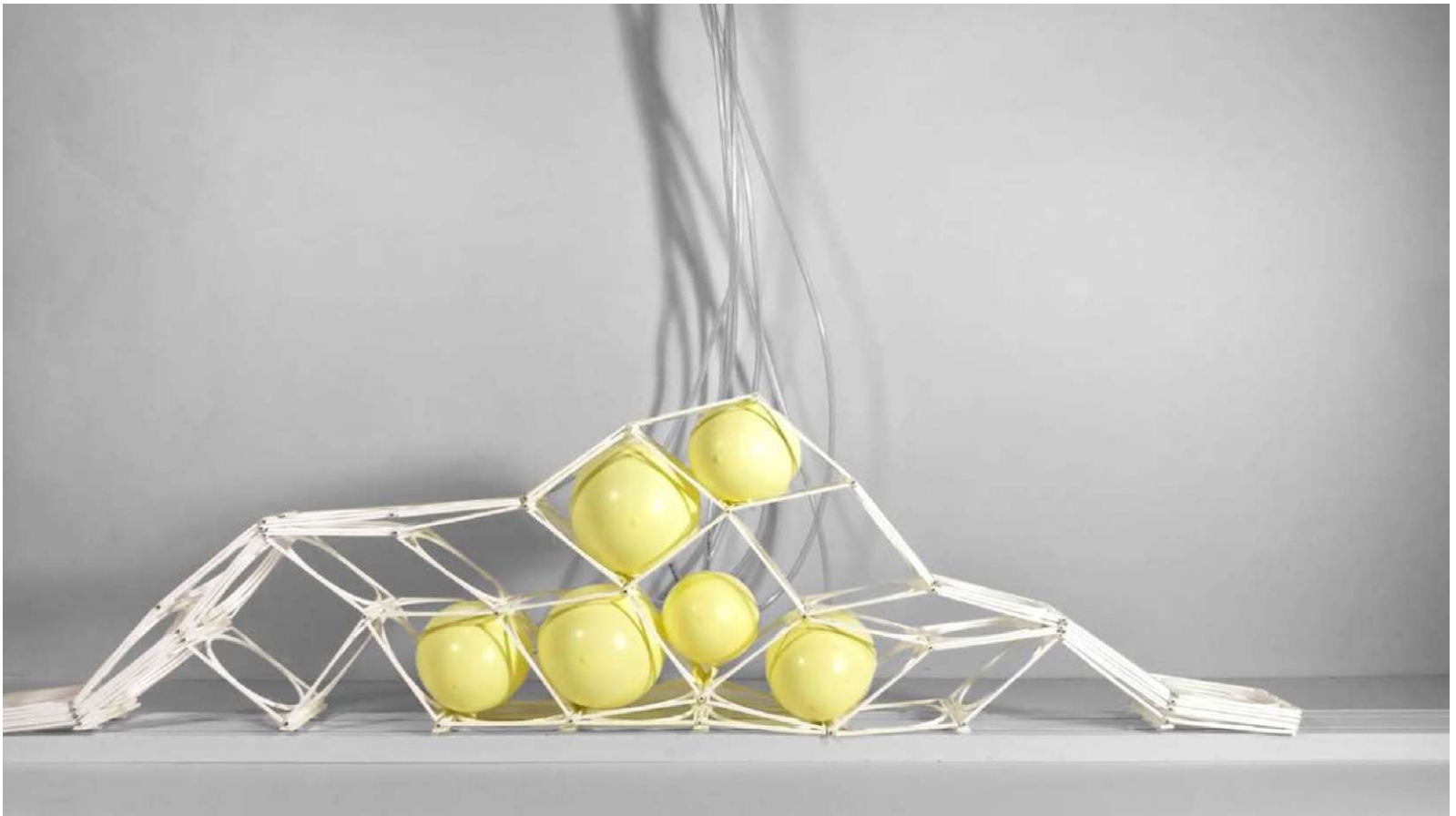
CHOREOGRAPHIE III



CHOREOGRAPHIE III



CHOREOGRAPHIE III



CHOREOGRAPHIE III

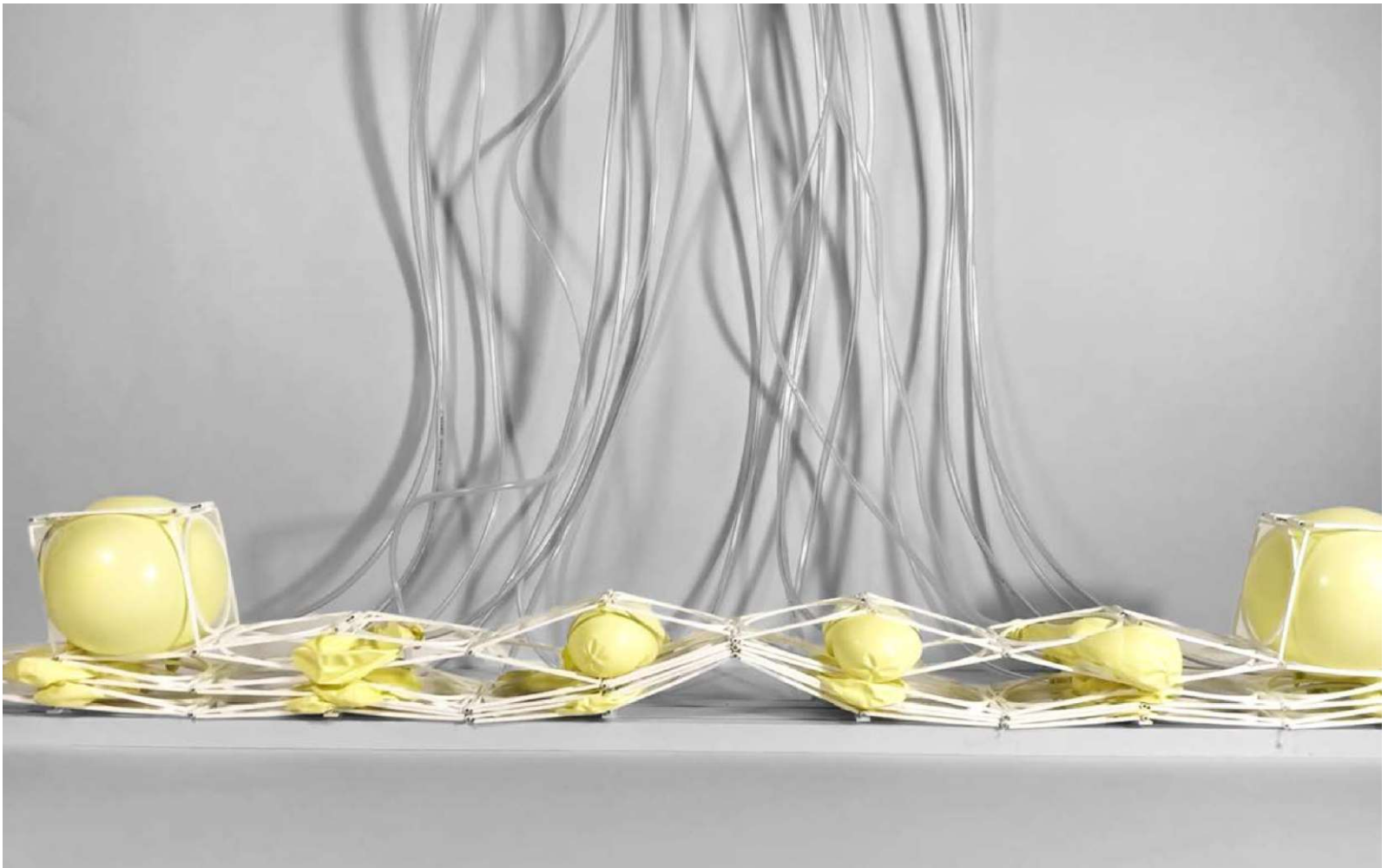


CHOREOGRAPHIE IV



5.5.4

CHOREOGRAPHIE IV



5.5.4

CHOREOGRAPHIE IV



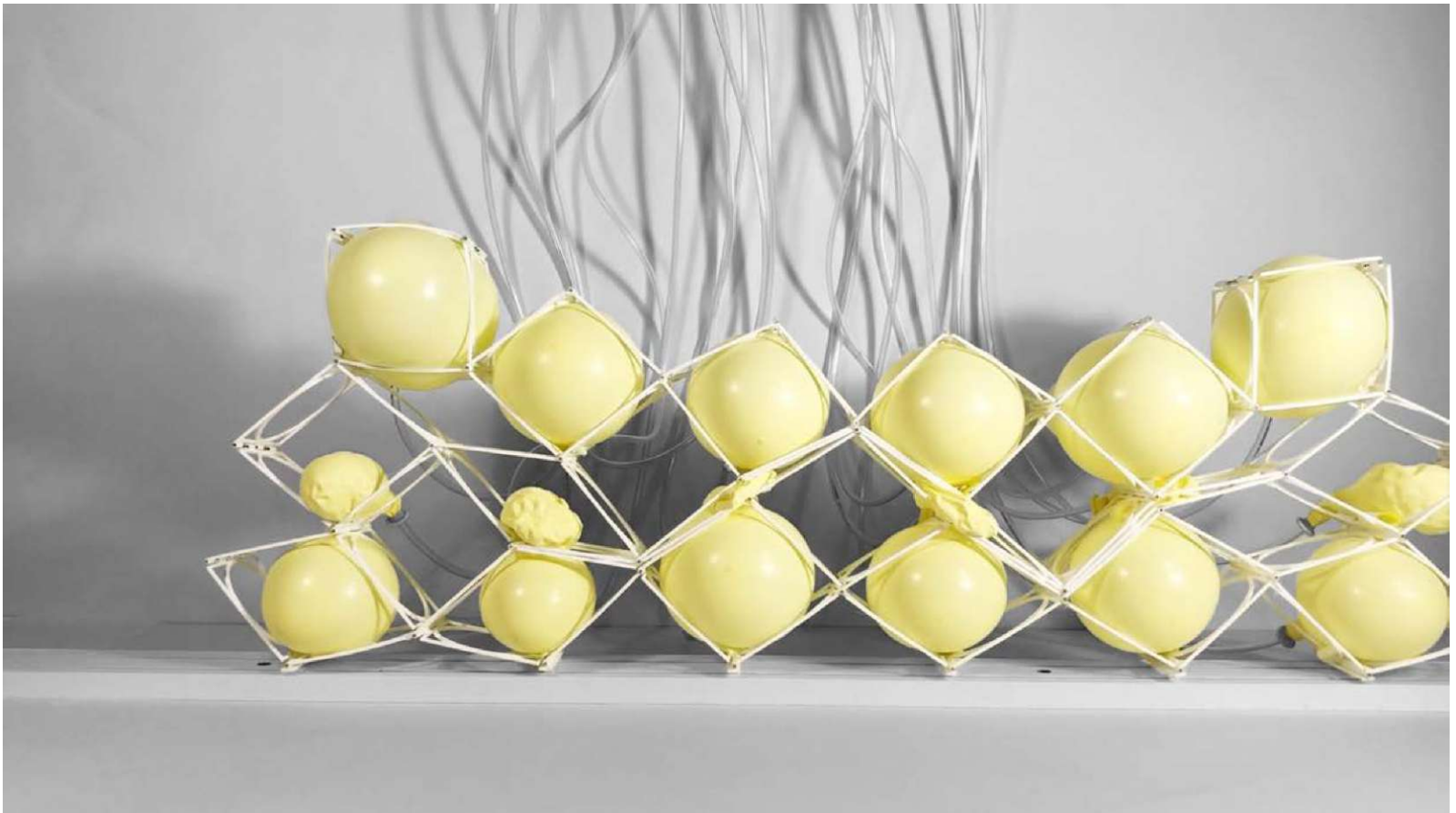
5.5.4

CHOREOGRAPHIE IV



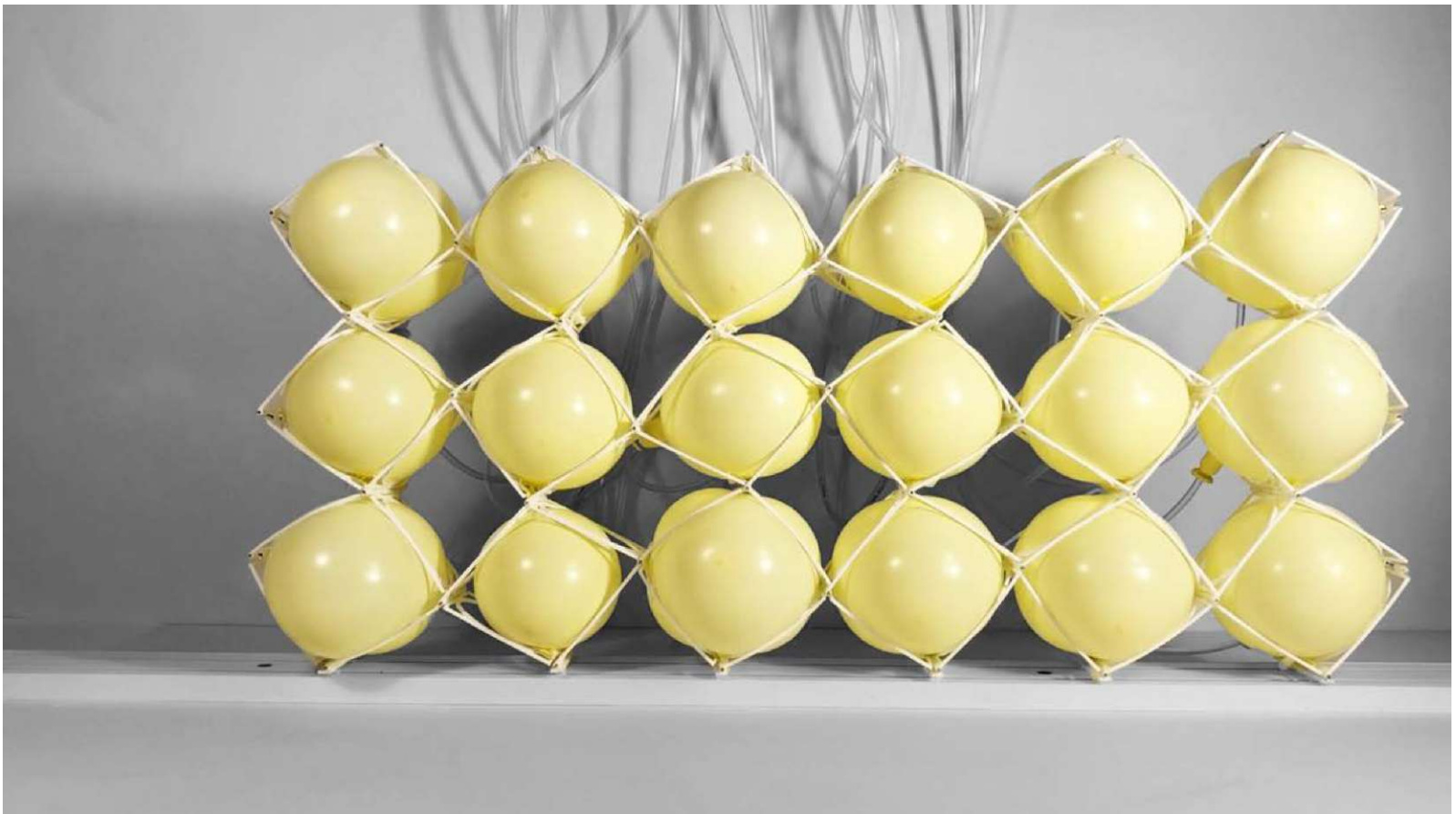
5.5.4

CHOREOGRAPHIE IV



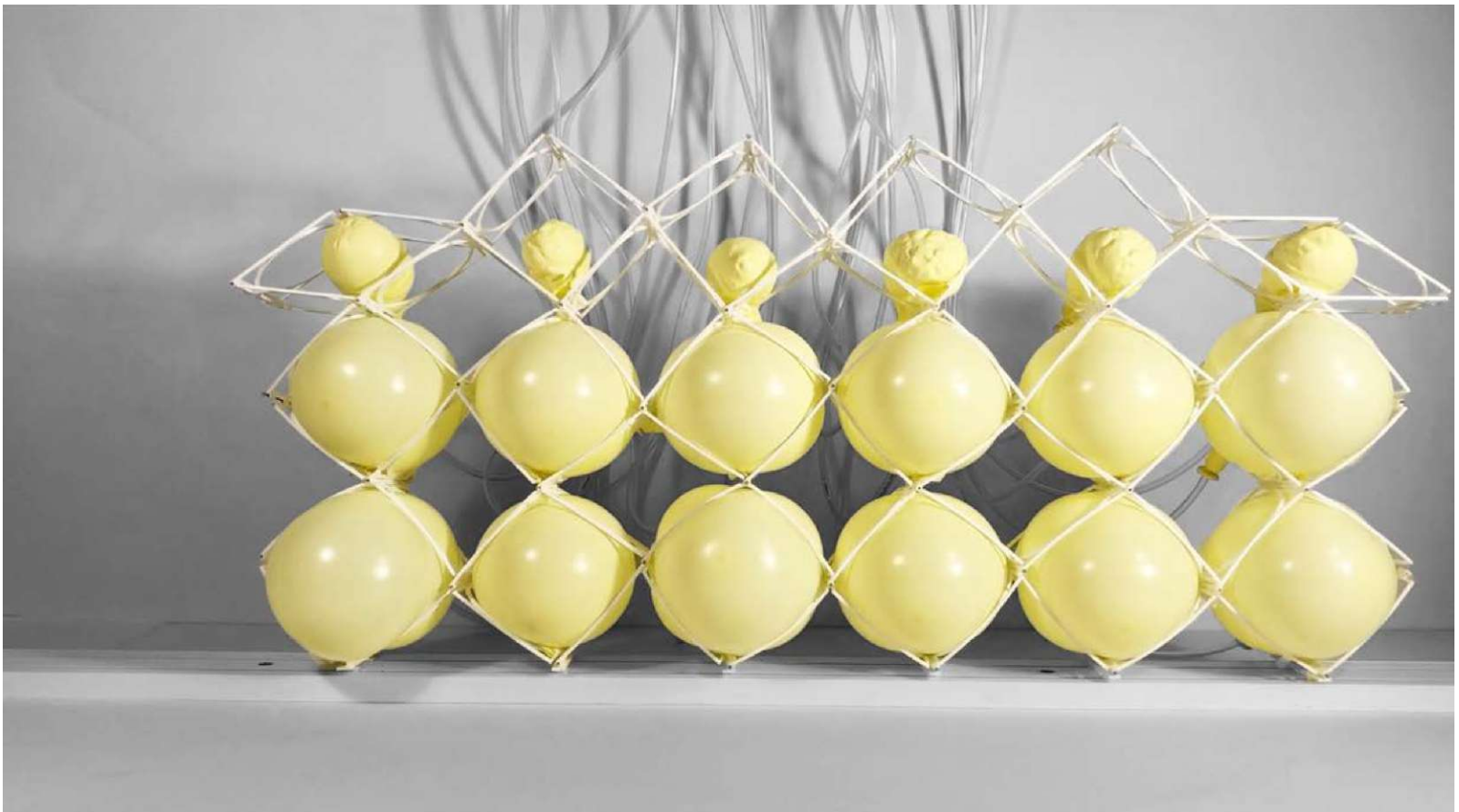
5.5.4

CHOREOGRAPHIE IV

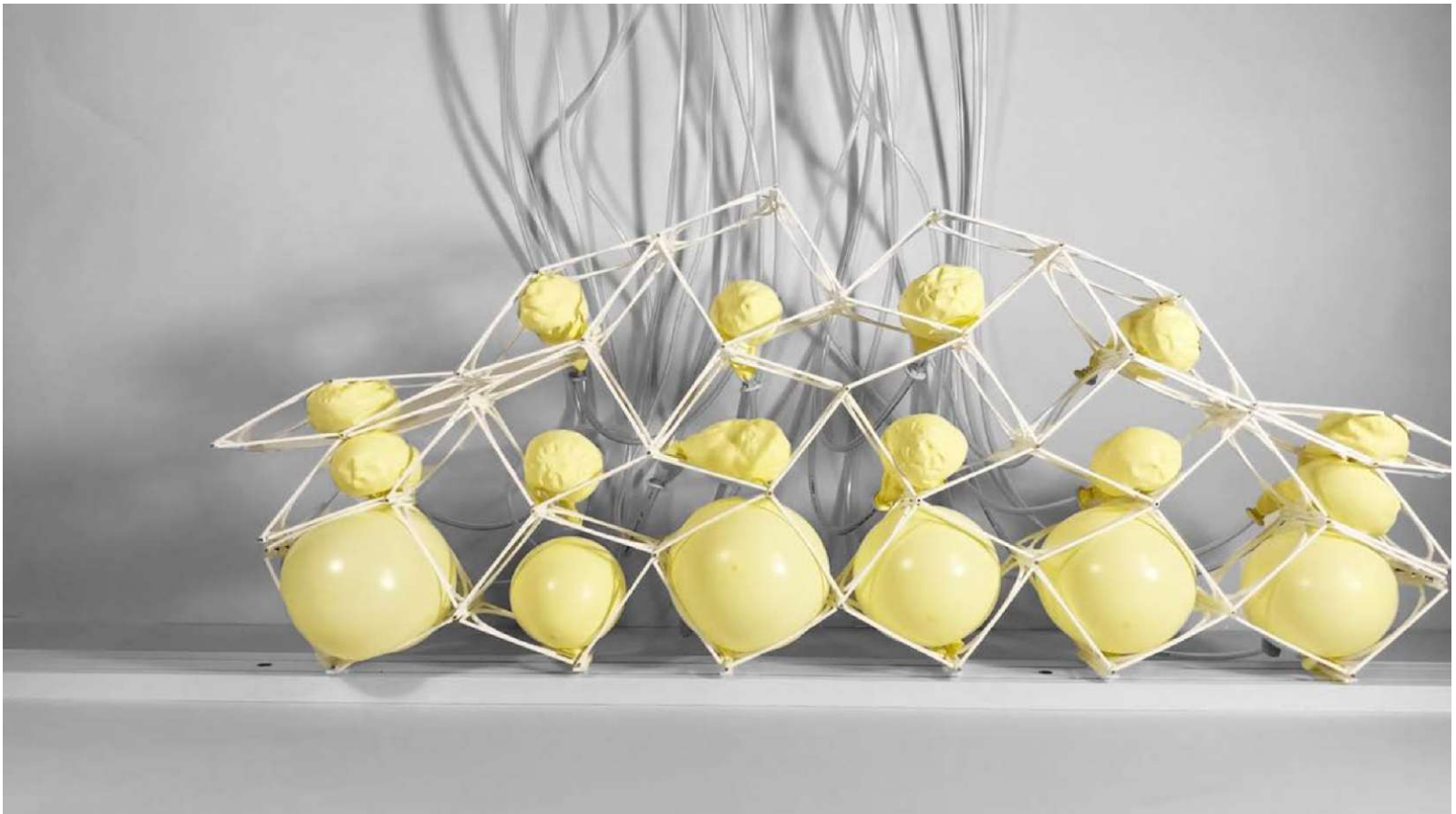


5.5.4

CHOREOGRAPHIE IV



CHOREOGRAPHIE IV



5.5.4

CHOREOGRAPHIE IV



5.5.5

CHOREOGRAPHIE V



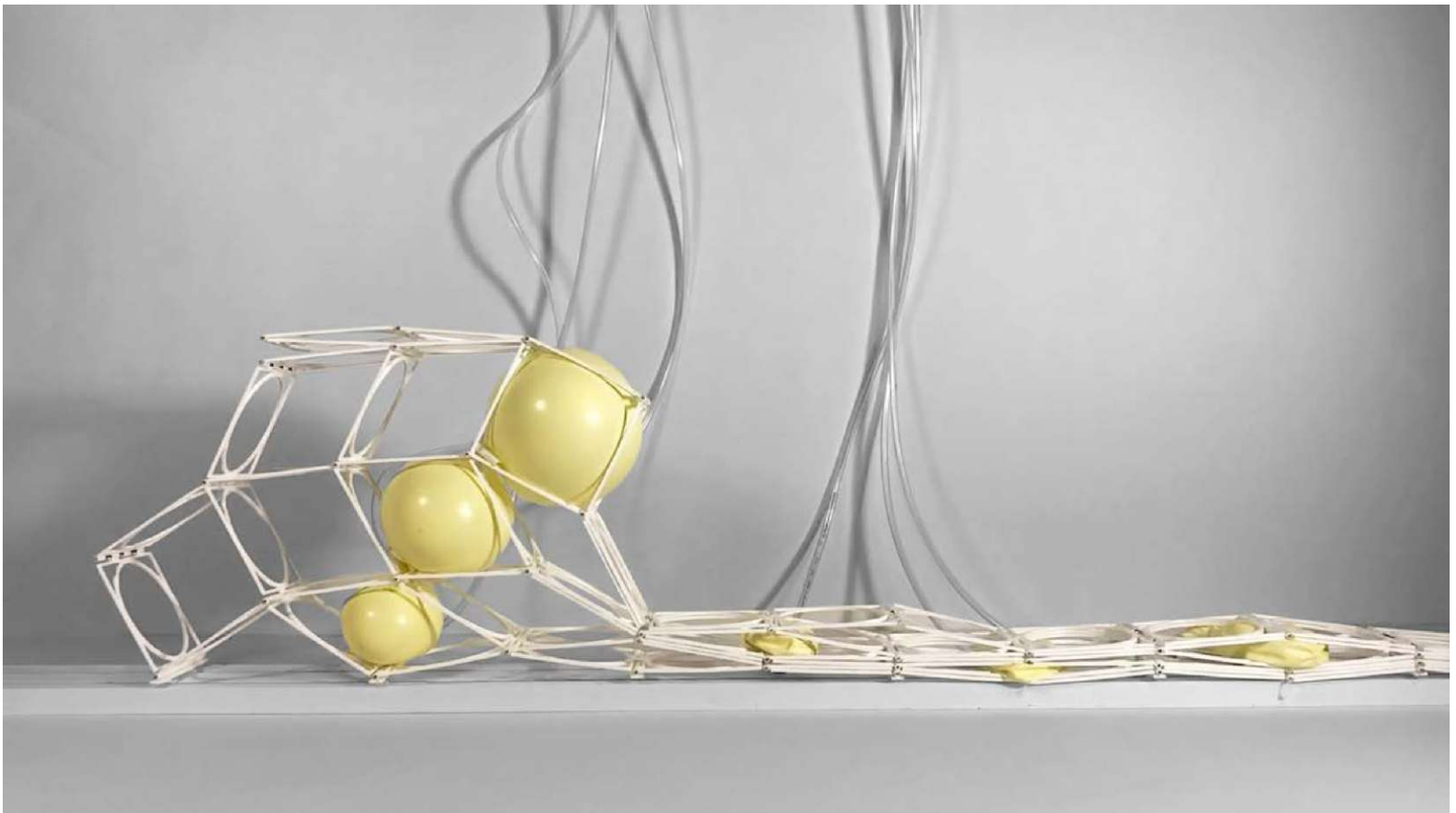
5.5.5

CHOREOGRAPHIE V



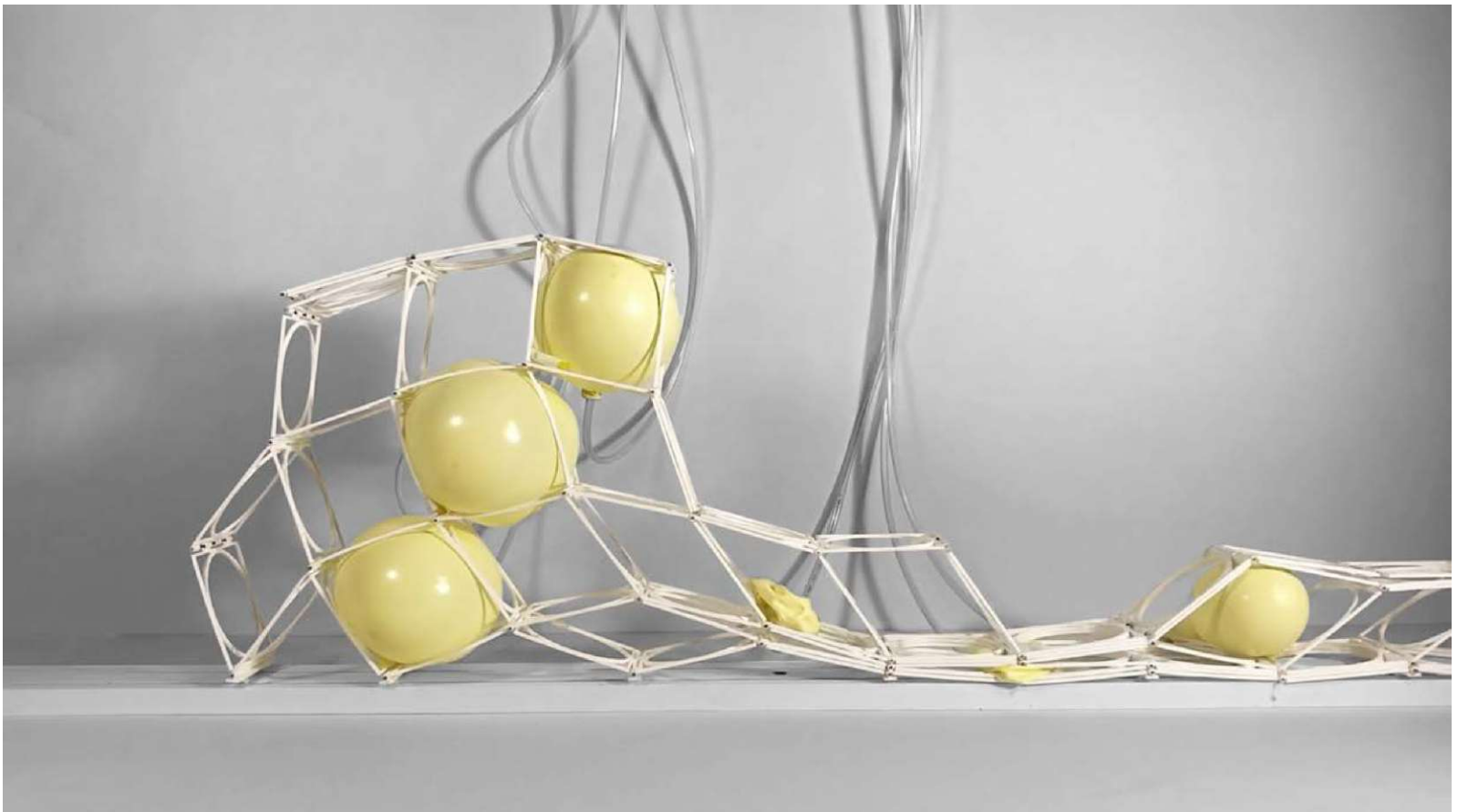
5.5.5

CHOREOGRAPHIE V



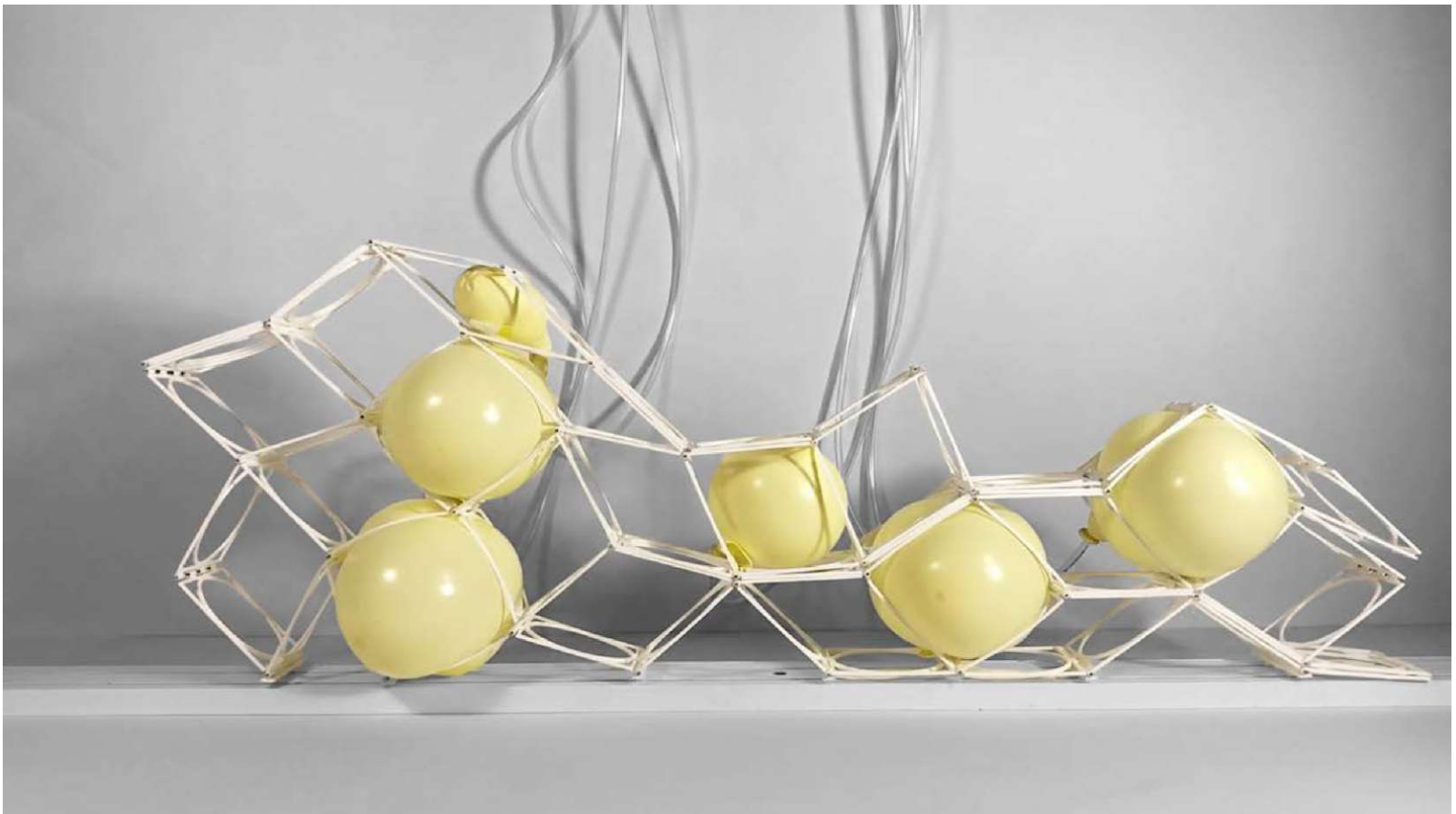
5.5.5

CHOREOGRAPHIE V



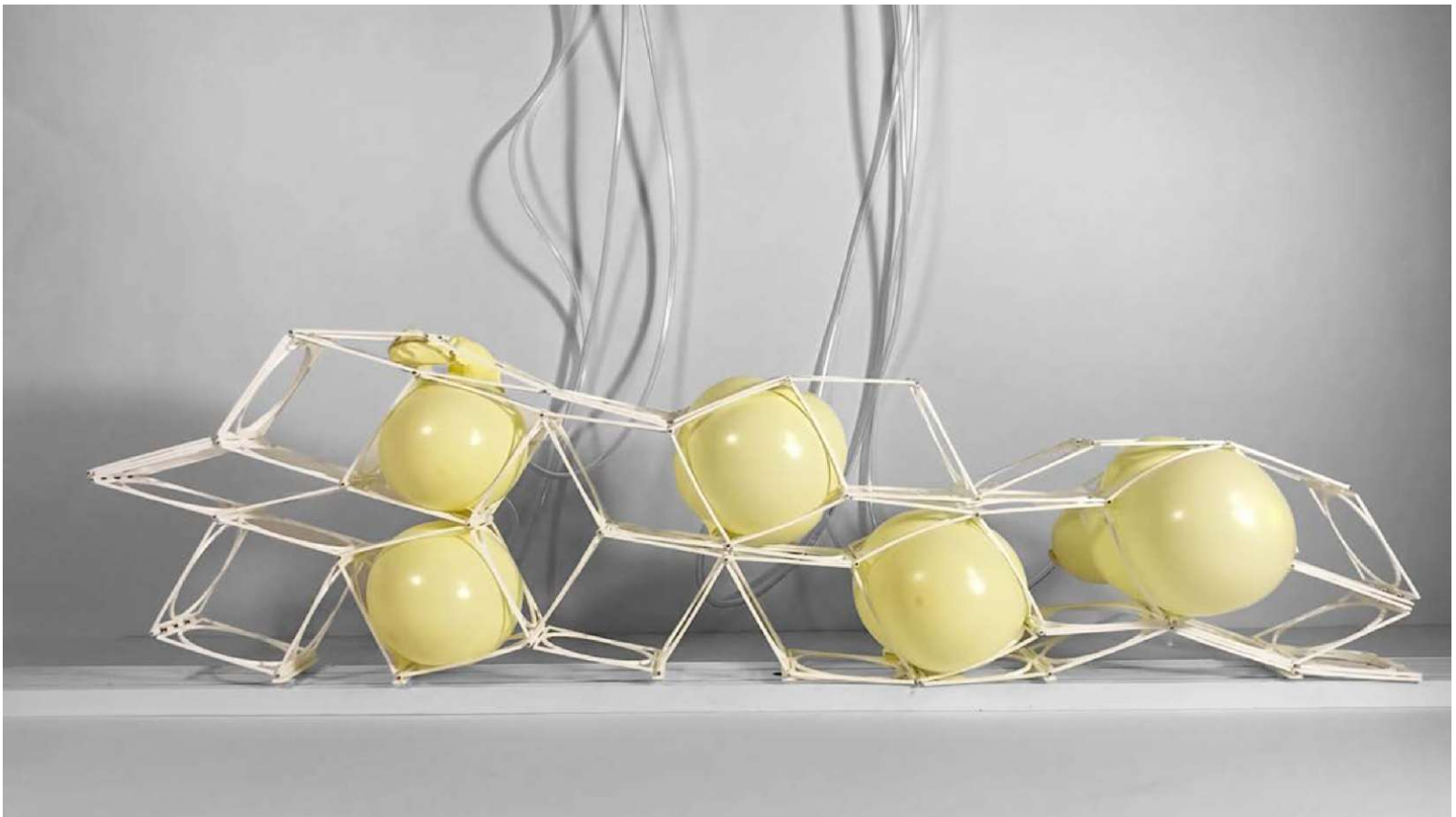
5.5.5

CHOREOGRAPHIE V



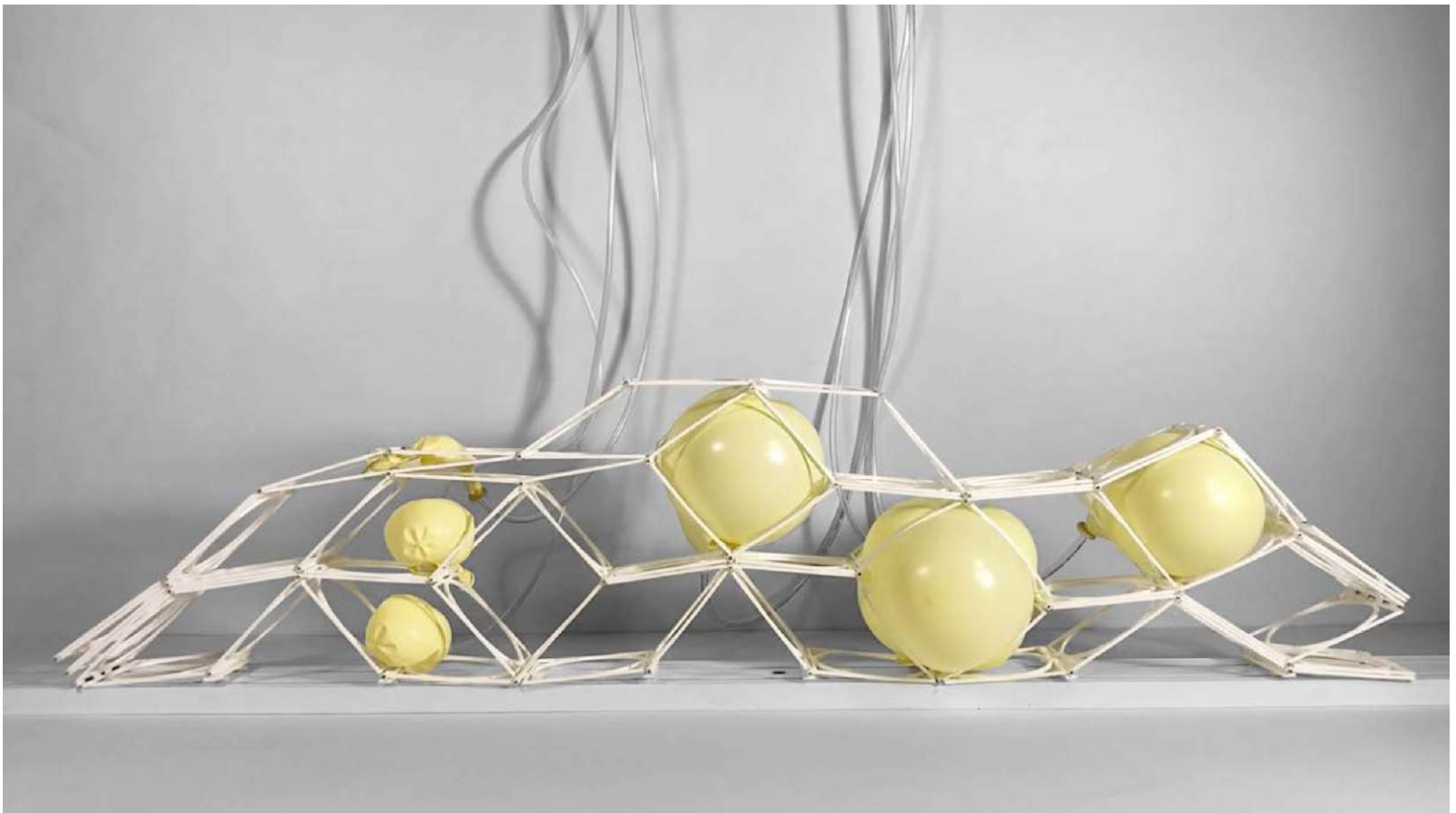
5.5.5

CHOREOGRAPHIE V



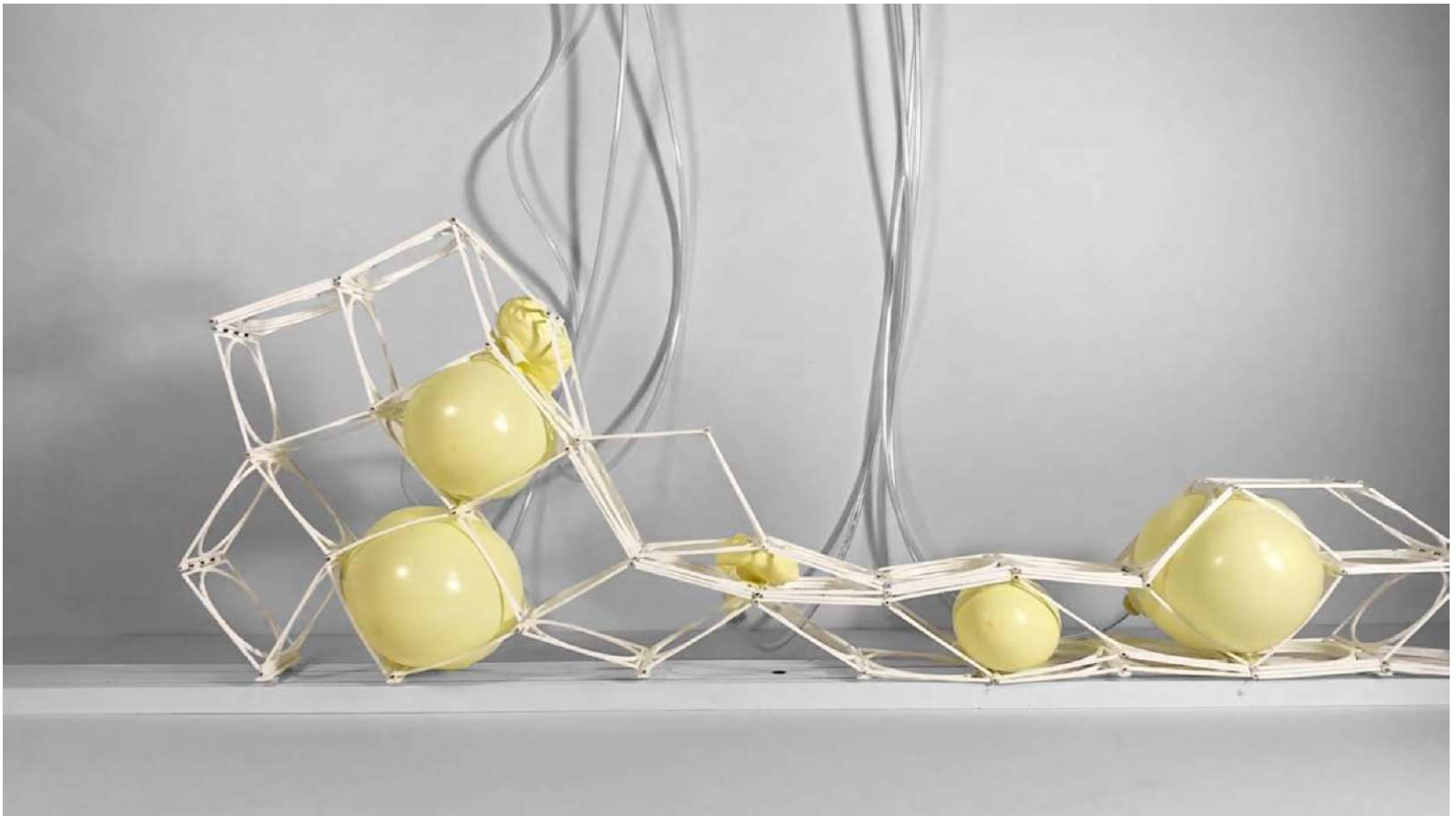
5.5.5

CHOREOGRAPHIE V



5.5.5

CHOREOGRAPHIE V



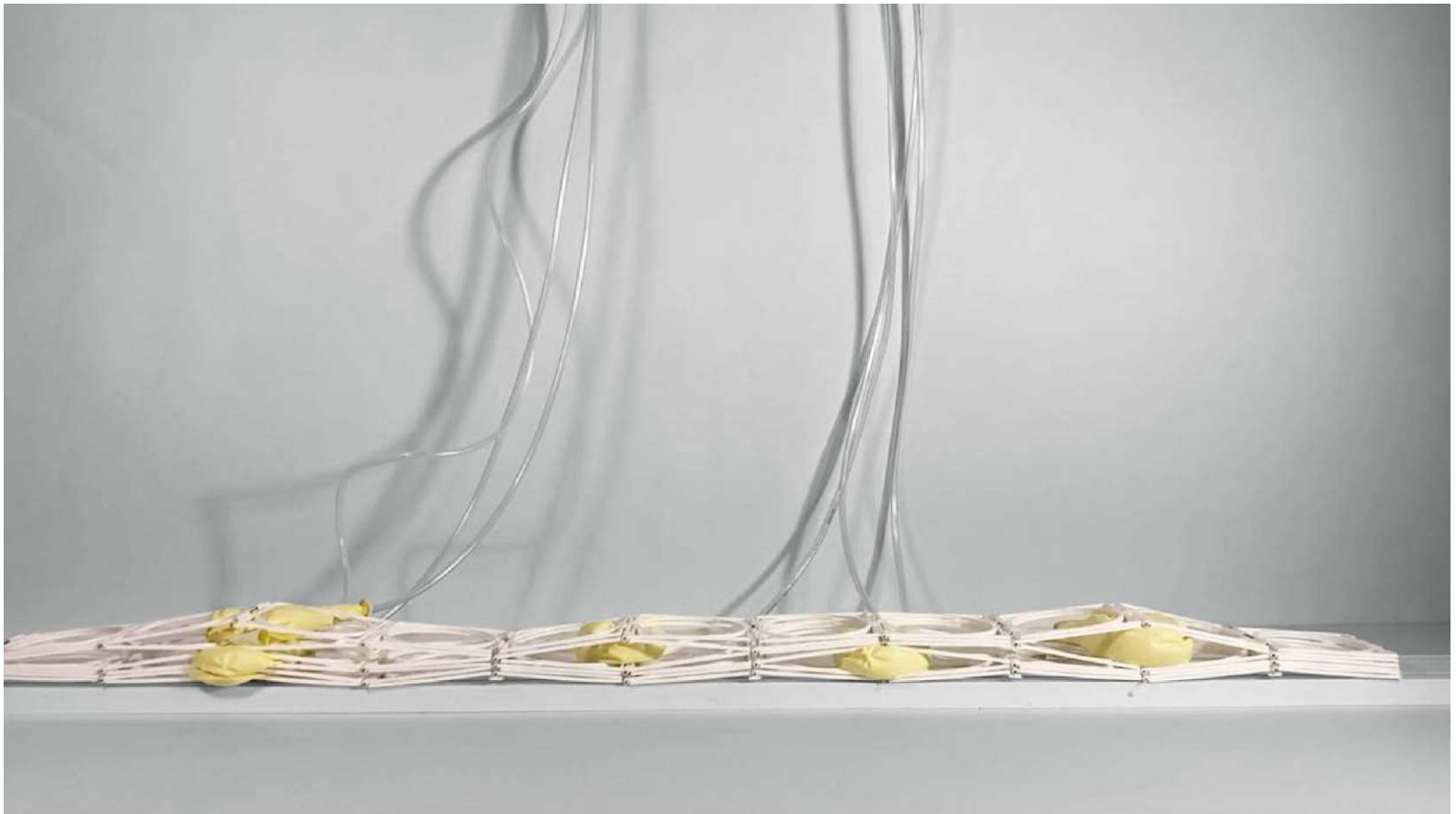
5.5.5

CHOREOGRAPHIE V



5.5.5

CHOREOGRAPHIE V



ANHANG

LITERATURVERZEICHNIS

BÜCHER UND WISSENSCHAFTLICHE PUBLIKATIONEN

ALLARD, James G. *The thousand dreams of Stellavista in Vermilion Sands*, London, 1962 und 1971.

AFZALI, Narges & HAMZEHLUO, Sara, *Kinetic, an innovative approach in contemporary architecture*, in: *International Conference on modern reasearch in civil engineering, architectural, and urban developement*, Volume 5, Iran, 2016, (<https://www.sid.ir/en/Seminar/SearchPaper.aspx?str=&journal=&subject=&writer=732670&year=&PDF=>).

AHMADI, Mosleh, *The experience of movement in the built form and space: A framework for movement evaluation in architecture*, in: *Cogent Art & Humanities*, 2019 (<https://doi.org/10.1080/23311983.2019.1588090>, zuletzt aufgerufen am 3.8.2021).

ALLAM, Sammar, *Nano Science and Nano Technology in Architecture*, in: *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 5, Issue 11, Alexandria University, Ägypten, 2014, (https://www.researchgate.net/publication/326547026_Nano_Science_and_Nano_Technology_in_Architecture).

ASEFI, Maziar, *Transformation and movement in architecture: the marriage among art, engineering and technology*, in: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 51, ELSEVIER, 2012, (<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.278>).

BRAUNECK, Manfred, *Die Welt als Bühne : Geschichte des europäischen Theaters*. Band 1. Metzler, Stuttgart, 1993.

CUDZIK, Jan, *Change Taking place in the kinetic architecture over the 20th and 21st centuries*, in: *Space & Form*, Issue 38, Polen, 2019, (https://www.pif.zut.edu.pl/images/pdf/pif%2038/DOI%2010_21005_pif_2019_38_B-02_Cudzik.pdf).

CUDZIK, Jan, *Contemporary approach towards responsive architecture*, in: *5th SGEM International Multidisciplinary Scientific Conferences on SOCIAL SCIENCES and ARTS SGEM2018*, Polen, 2018, (https://www.researchgate.net/publication/329925667_CONTEMPORARY_APPROACH_TOWARDS_RESPONSIVE_ARCHITECTURE).

CUDZIK, Jan & NYKA, Lucyna, *Reasons for implementing Movement in Kinetic Architecture*, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 245 042073*, 2017, (https://www.researchgate.net/publication/320846093_Reasons_for_Implementing_Movement_in_Kinetic_Architecture).

CUDZIK, Jan & NYKA, Lucyna, *Utopian Kinetic Structures and Their Impact on the Contemporary Architecture*, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 245 052090*, IOP Publishing Ltd, Bristol, 2017, (DOI: 10.1088/1757-899X/245/5/052090).

DROZDOWSKI, Ziggy, *The Adaptive Building Initiative: The Functional Aesthetic of Adaptivity*, in: *Special Issue: Experimental Green Strategies: Redefining Ecological Design Research*, Volume 81, Issue 6, John Wiley & Sons Ltd., New Jersey, 2011.

EASTMAN, Charles, *Adaptive-Conditional Architecture* in Nigel Cross (ed.), *Design Participation: Proceedings of the Design Research Society Conference*, London, 1971, (<https://dl.designresearchsociety.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=conference-volumes>).

ELMOKADEM, Ashraf et al (Prof. Dr. Ashraf Elmokadem, Prof. Dr. Magda Ekram, Dr. Ahmed Waseef, Basma Nashaat), *Kinetic Architecture: Concept, History and Application*, in: *International Journal of Science and Research (IJSR)*, Volume 7, Issue 4, 2018, (DOI: 10.21275/ART20181560).

EL RAZAZ, Zeinab, *Sustainable vision of kinetic architecture*, in: *Journal of Building Appraisal*, Vol. 5, 4, Macmillan Publisher Ltd., Egypt, 2010 (<https://link.springer.com/article/10.1057/jba.2010.5>).

FOUAD, Soha Mohamed Abd El-Hady, *Design Methodology: Kinetic Architecture*, Egypt, 2012, (https://www.academia.edu/4485555/Design_Methodology_Kinetic_Architecture).

FOX, Michael & YEH, Bryant, *Intelligent Kinetic Systems in Architecture*, in: Nixon P., Lacey G., Dobson S. (eds) *Managing Interactions in Smart Environments*, Springer, London, 2000, (https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0743-9_9).

FOX, Michael & KEMP, Miles, *Interactive Architecture*, Princeton Architectural Press, New York, 2009.

FOX, Michael, „Kinetic Architectural Systems Design“ in: KRONENBURG, Robert, *Theory, Context Design and Technology, Transportable Environments 2*, Span Press (Francis & Taylor), London & New York, 2003.

FORTY, Adam, *Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture*, Thames & Hudson, London, 2000.

FLIESSBACH, Thorsten, *Mechanik - Lehrbuch zur Theoretischen Physik I*, 7. Auflage, Springer, 2015.

GRONOSTAJSKA, Barbara Ewa et al, *Responsive solutions in shaping innovative architectural structures* in: *E3S Web of Conferences 49*, Polen, 2018, (https://www.researchgate.net/publication/327007969_Responsive_solutions_in_shaping_innovative_architectural_structures).

GRÖSEL, Bruno, *Bühnentechnik: meachnische Einrichtung*, 5. Auflage, Oldenbourg, Wien, 2007.+

HARDY, Adam, *The expression of movement in architecture*, in: *The Journal of Architecture*, Volume 16, Number 4, Routledge (Taylor & Francis), USA & Canada, 2011 (<https://doi.org/10.1080/13602365.2011.598698>).

HATTON, Hap, *The tent book*, Mariner Books, Boston, 1979.

İLERISOY, Zeynep Yeşim & PEKDEMİR BASEGMEZ, Merve, *Conceptual Research of Movement in Kinetic Architecture*, in: *Gazi University Journal of Science GÜJS*, Gazi, 2018, S.342-343 (https://www.researchgate.net/publication/328007141_Conceptual_Research_of_Movement_in_Kinetic_Architecture).

JORMAKKA, Kari, *FLYING DUTCHMAN, Motion in Architectur*; Birkhäuser, Basel, 2002.

JORMAKKA, Kari, *genius locomotionis*, Edition Selene, Wien, 2005.

KHALED, Sherbini & KRAWCZYK, Robert, *Overview of intelligent architecture*, in: *Ist ASCAAD International Conference, e-Design in Architecture*

KFUPM, Saudia Arabia, 2004, (<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.73.2649>).

KIM, Harry, „Structural Performance of Spoke Wheel Roof Systems“, Massachusetts Institute of Technology, 2017, (<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/111513>).

KNIPPERS, Jan & JUNGJOHANN, Hauke & SCHEIBLE, Florian & OPPE, Matthias, *Bio-inspirierte kinetische Fassade für denThemenpavillon „One Ocean“ EXPO 2012 in Yeosu, Korea*, in: Bautechnik 90 (2013), Heft 6, Ernst & Sohn. (<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bate.201300034>).

KOLAREVIC, Branko, *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*, London and New York, Routledge, 2016.

KOLAVERIC Branko & PARLAC Vera, *Building dynamics: Exploring architecture of Change*, Taylor & Francis, New York, 2015, (http://papers.cumincad.org/data/works/att/ascaad2014_001.pdf).

KRONENBURG, Robert, *Flexible: Architecture that Responds to Change*, Laurence King Publishing Ltd., London, 2007.

LEE, Joshua David, *Adaptable, Kinetic, Responsive, Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design*, Texas, 2012 (DOI: 10.13140/RG.2.1.4826.9044).

LE CORBUSIER, *Le Corbusier Talks with Students: From the Schools of Architecture*, Princeton Architectural Press, New York, 1999.

LYNN Greg & GAGE, Mark Foster, NIELSON Stephen, RAPPORT Nina, *Composites, Surfaces, and Software: High Performance Architecture*, New Haven, Yale School of Architecture, 2010.

LAUBIN, Reginald, LAUBIN, Gladys, VESTAL Stanley, *The Indian tipi: its history, construction and use*, 2. Edition, Norman, University of Oklahoma Press, Oklahoma, 1977.

MADEN, Feray, *The Architecture of Movement: Transformable Structures and Spaces*, in: 6th International Congress on Livable Environments & Architecture - LIVENARCH-VI 2019: Replacing Architecture, Türkei, 2019, (https://www.researchgate.net/publication/336233684_The_Architecture_of_Movement_Transformable_Structures_and_Spaces).

MAHNKEN, Rolf, *Lehrbuch der Technischen Mechanik - Statik, Grundlagen und Anwendung*, Springer, 2012.

MARJANOVIĆ, Ivan, *Alginat in der Architektur - Ein experimenteller Ansatz eines neuen nachhaltigen Baustoffes*, Masterarbeit - Betreuung durch STAVRIC, Milena, Technische Universität Graz, 2021, (<https://gad-awards.tugraz.at/projekt/alginat-in-architektur/>).

MEGAHED, Naglaa Ali, *Understanding kinetic architecture: typology, classification, and design strategy*, 2016, in: *Architectural Engineering and Design Management*, Taylor & Francis, London, 2017, Volume 13, No. 2, S.133 (<https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1203676>).

MELKI, H. *Windows as environmental modifiers in Lebanese vernacular architecture*, in: PLEA 2006, Conference of passive and low energy architecture, Geneva, Switzerland, 2006, (http://web5.arch.cuhk.edu.hk/server1/staff1/edward/www/plea2018/plea/2006/Vol1/PLEA2006_PAPER884.pdf).

MOLONEY, Jules, *Designing kinetics for architectural facades, State Change*, Routledge (Taylor & Francis), USA & Canada, 2011.

MOORE, Charles & YUPELL, Robert, *Body, Memory & Architecture*, Yale University Press, 1977.

MOTZ, Heinz Dieter, *Ingenieur Mechanik - Technische Mechanik für Studium und Praxis*, VDI Verlag, 1991.

NEGROPONTE, Nicholas, *Soft Architecture Machines*, MA: MIT Press, Cambridge, 1975

PALLASMA, Juhani *The eyes of the skin: Architecture and senses*, 3. Edition, Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, England, 2005, (http://cc-catalogo.org/site/pdf/Pallasmaa_EyesoftheSkin.pdf).

RAMZY, Nelly, FAYED Hatem, *Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings*, in: *Sustainable Cities and Society*, Elsevier, Volume 1, Issue 3, Netherlands, 2011, (<https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.07.004>).

RANDL Chad, *Revolving architecture: a history of buildings that rotate, Swivel, and Pivot*, Princeton Architectural Press, New York, 2008.

SAUTER, Joachim, JASCHKO, Susanne, ÄNGESLEVÄ, Jussi, *ART+COM, Media Spaces and Installations*, Gestalten, Berlin, 2011.

SANCHEZ-DEL-VALLE, Carmina, *Adaptive Kinetic Architecture: A Portal To Digital Prototyping* in: *Annual Conference of the Association for Computer Aided Design In Architecture (ACADIA) 05: Smart Architecture: Integration of Digital and Building Technologies*, Savannah, Georgia, USA, 2005, (http://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia05_128.content.pdf).

SARICIOGLU, Pelin & YILDIRIM, M. Tayfun, *Kinetic Elements in Residential Designs*, in: Gazi University Journal of Science, 32 (1), Gazi, 2019, (<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/660187>).

SCHUMACHER, Michael, VOGT Michael-Marcus, KRUMME, Luis A. Cardón, *Move*, Birkhäuser Basel, Berlin 2009.

SCHUMACHER, Michael, VOGT Michael-Marcus, KRUMME, Luis A. Cardón, *New Move*, Birkhäuser Basel, Berlin, 2019.

SHEMESH, Avishag & BAR, Moshe & GROBMAN, Yasha Jacob, *SPACE AND HUMAN PERCEPTION –Exploring Our Reaction to Different Geometries of Spaces*, in: IKEDA, Yasushi & KIM, Mi Jeong & HERR, Christiane & HOLZER, Dominik, *Emerging Experience in Past, Present and Future of Digital Architecture, Proceedings of the 20th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA*, 2015, Hong Kong, (https://www.researchgate.net/publication/287644310_Space_and_Human_Perception_-_Exploring_Our_Reaction_to_Different_Geometries_of_Spaces).

SHERBINI, Khaled & KRAWCZYK Robert, *Overview of intelligent architecture*, Dhahran, Saudi Arabien, 2004, in: 1st ASCAAD International Conference: e-Design in Architecture KFUPM, Dhahran, Saudi Arabia, 2004, (https://www.academia.edu/3095388/Overview_of_Intelligent_Architecture).

STAVRIC Milena et al, *Non-Linear Matters: Auxetic Surfaces*, Conference: Acadia 2017 Disciplines & Disruption: Proceedings of the 37th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in ArchitectureAt: Cambridge, USA, 2017, (https://www.researchgate.net/publication/320833890_Non-Linear_Matters_Auxetic_Surfaces).

STEGLICH, Patrick, HEISE, Katja, *Vorkurs Physik fürs MINT-Studium*, Springer Spektrum, 2021.

STICKELLS, Lee, *Conceiving an architecture of movement*, in: *Urban History*, Vol 14, Nr. 1, 2010, Cambridge University Press (<https://de.scribd.com/document/270268249/Architecture-of-movement>).

TABACKI, Nebojsa, *Kinetische Bühne*, Transcript Verlag, Bielefeld, 2014.

TILL, Jeremy & SCHNEIDER, Tatjana, *Flexible housing: the means to the end*, in: *Architectural Research Quarterly*, Volume 9, Issue 3-4, Cambridge University Press, London, 2005, (DOI:10.1017/S1359135505000345).

WERNER, Carolina De Marco, *Transformable and transportable architecture: Analysis of buildings components and strategies for project design*, Barcelona, 2013.

ZIJLSTRA, Hielkje, *Rietveld originals- handle with care*, in: *SASBE09, 3rd CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Environments*, Delft, 2009, (<http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A5e74603a-525f-46c2-96d4-a5d9e88c89dd?collection=research>).

ZUK, William, CLARK Roger H., *Kinetic Architecture*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1970.

https://www.academia.edu/16439094/Suite_Vollard_Brazil

<https://www.akg-images.co.uk/CS.aspx?VP3=SearchResult&ITEMID=2UMEBM5UOHS97&LANGSWI=1&LANG=German>.

<https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects>.

<https://www.archdaily.com/58591/uk-pavilion-for-shanghai-world-expo-2010-heatherwick-studio>.

https://www.archdaily.com/111922/jnby-hhd_fun-architects?ad_medium=office_landing&ad_name=article.

<https://archello.com/product/hexi-responsive-wall>.

<https://www.architonic.com/de/project/gisela-stromeyer-design-elie-tahari-fashion-showroom/5101011>.

<https://www.architonic.com/de/story/susanne-fritz-bau-stoff-textile-architektur-teil-1/7000625>.

<https://archinect.com/features/article/150061865/from-the-ground-up-santiago-calatrava>.

<https://ars.electronica.art/center/de/apeel/>.

https://barkowleibinger.com/archive/view/kinetic_wall.

<https://www.baukunst-nrw.de/objekte/Sternwellenzelt-des-Koelner-Tanzbrunnens--2861.htm>.

<https://biancahoegel.de/mechanik/dynamik.html>.

<https://biancahoegel.de/mechanik/kinetik.html>.

<https://biancahoegel.de/mechanik/mechanik.html>.

https://biancahoegel.de/mechanik/mechanik_tech.html.

<https://biancahoegel.de/technik/bauwerk/statik.html>.

<https://www.biokon.de/bionik/was-ist-bionik/>.

<https://blog.allplan.com/de/kinetische-architektur>.

<https://www.br.de/alphalernen/faecher/physik/0-bewegung-bezugssystem-definition100.html>.

<https://www.calatrava.com/projects/ernstings-warehouse-coesfeld.html>.

<https://www.chasecontemporary.com/artists/chuck-hoberman/available-works?view=slider#4>.

<http://cultureandlife.co.uk/2014/02/27/hexi-responsive-wall/>.

<https://competence.khs.com/en/012014-striving-for-success/the-aesthetics-of-functionality/>.

<https://www.dailytonic.com/dynamic-facade-kiefer-technic-showroom-by-ernst-giselbrecht-partner-at/>.

<https://de.thpanorama.com/blog/historia/los-30-inventos-de-leonardo-da-vinci-ms-importantes.html>.

<https://www.designdirectory.com/hoberman?Aspx.AutoDetectCookieSupport=1>.

<https://www.detail.de/artikel/future-building-trends-integrative-energiegewinnung-4507/>.

<https://www.detail.de/artikel/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-11029/>.

<https://www.detail.de/blog-artikel/rundes-kollektiv-maidan-tent-von-abvm-studio-und-leo-bettini-oberkalmsteiner-33658/>.

<https://www.deutschlandfunk.de/endlich-mal-erklaert-was-ist-ein-trompe-loeil-100.html>.

<https://www.dezeen.com/2007/04/07/glenn-howells-in-dubai/>.

<https://www.dezeen.com/2014/06/18/kinetic-wall-barkow-leibinger-elements-venice-biennale-2014/>.

<https://dictionary.cambridge.org/de/worterbuch/englisch/kinetic>.

<https://dubai-experience.com/dynamic-tower-project/>.

<https://www.duden.de/rechtschreibung/Kinetik>.

<http://www.emi-architekten.ch/projekt/kunstpreis/>.

<https://www.engadinerpost.ch/2020/03/30/Test-Julierturm, 2021>.

<https://www.faz.net/aktuell/feuilleton/documenta-empfehlung-das-new-babylon-des-kuenstlers-constant-172956.html>.

<https://www.floornature.de/calatrava-the-oculus-world-trade-center-transportation-hub-11474/>.

https://foxlin.com/portfolio_item/bubbles/.

https://www.haysworld.de/fileadmin/Websites/Haysworld/pdf/Ausgabe_02_2013/HaysWorld_2.2013_ARCHITEKTUR_IN_BEWEGUNG.pdf.

<https://hiddenarchitecture.net/villa-girasole/>.

<https://www.hoberman.com/portfolio/emergent-surface/>.

<https://www.hoberman.com/portfolio/expanding-geodesic-dome/>.

<https://www.hoberman.com/portfolio/hoberman-sphere-toy/>.

<https://www.hoberman.com/portfolio/iris-dome-at-moma/>.

<https://www.hoberman.com/portfolio/iris-pavilion-2/>.

<https://www.hoberman.com/portfolio/shape-changing-sculptures/>.

<https://www.hoberman.com/portfolio/switch-pitch-toy/>.

<https://www.hoberman.com/portfolio/10-ten-degrees/>.

<https://inhabitat.com/heliotope-the-worlds-first-energy-positive-solar-home>.

<https://www.intelligentliving.co/two-rotating-skyscrapers-dubai-generate-electricity/>

<https://iqbalaalam.wordpress.com/2011/12/05/cedric-price-influential-architect-and-theoritian/>.

https://itp.tugraz.at/LV/schnizer/Analytische_Mechanik/node8.html

<https://www.kalhoefer-korschildgen.de/de>.

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/arten-von-bewegungen>.

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/bewegungsarten-und-bahnformen>.

<https://www.londondesignbiennale.com/participant/greece-0>.

<https://www.makearchitects.com/projects/canary-wharf-kiosks/>.

<https://medium.com/designscience/1976-22121bb498c4>.

https://www.mini.com/en_MS/home/a-d-o/studio-ini/urban-imprint.html.

<https://mug.didaktik-graz.at/Files/Mathematikum/Tensegrity.pdf>.

<https://www.nextbigthing.blog/post/dynamic-tower>.

<https://parametrichouse.com/hyposurface/>.

<http://portico.space/journal//architectural-concepts-circulation>.

<https://www.professional-system.de/kommunikationsraum/projection-mapping-kreative-moeglichkeiten-auf-fassaden-und-in-ausstellungen/>.

<https://www.projetcoal.org/coal/2008/11/12/olafur-eliasson-yellow-fog/>.

<https://www.schlosslinderhof.de/deutsch/schloss/bild08.htm>.

<https://selfassemblylab.mit.edu/active-textile-tailoring>.

<https://selfassemblylab.mit.edu/liquid-printed-pneumatics>.

<https://www.sofatutor.com/physik/videos/bewegungen-ueberblick>.

<https://space10.com/project/digital-in-architecture/>.

<https://www.strandbeest.com>.

<https://www.strandbeest.com/page/frequently-asked>.

<https://studioroosegaard.net/data/files/2018/08/328/wind3.0factsheetroosegaard.pdf>.

<https://www.studioroosegaard.net/project/lotus-dome>.

<https://www.studioroosegaard.net/project/4d-pixel>.

<https://www.studysmarter.de/schule/physik/mechanik/>.

<https://www.studysmarter.de/schule/physik/mechanik/geradlinige-bewegung/>.

<https://www.swiss-architects.com/de/architecture-news/gefunden/bewegliches-dach-gewinnt>.

<https://www.ubm-development.com/magazin/rotating-tower-dubai/>.

<https://verdeprofilo.com/en/news-and-blog/david-fisher-dynamic-tower>.

<https://weburbanist.com/2010/07/23/another-wave-in-the-wall-vertical-lake-building-facade/>.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb 1. *Einsteinturm, Erich Mendelsohn, 1922, Potsdam,*
(https://ghdi.ghi-dc.org/sub_image.cfm?image_id=4196&language=german).
- Abb 2. *Rudolf Mosse Haus, Erich Mendelsohn, Richard Neutra, Rudolf Henning, 1923, Berlin*
(https://ghdi.ghi-dc.org/sub_image.cfm?image_id=4193).
- Abb 3. *Guggenheim Museum, Frank Ghery, 1997, Bilbao,*
([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Guggenheim_Museum,_Bilbao,_July_2010_\(09\).JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Guggenheim_Museum,_Bilbao,_July_2010_(09).JPG)).
- Abb 4. *The Heydar Aliyev Center, Zaha Hadid, 2012, Baku,*
(<http://idaaf.com/zaha-hadid-in-a-post-soviet-country-heydar-aliyev-center/>).
- Abb 5. *The Shanghai Tower, 2008, Gensler Architects, Shanghai,*
(<https://www.architecturaldigest.com/story/buildings-redefined-architecture-past-5-years>).
- Abb 6. *London City Hall, Norman Foster, London, 2002,*
(<http://hotcore.info/babki/Dan-White-City-Hall.html>).
- Abb 7. *Central Television Headquarters, Office for Metropolitan Architecture, Peking, 2012,*
(<https://arquitecturaviva.com/articulos/china-no-quiere-iconos>).
- Abb 8. *The Dancing Towers, Zaha Hadid, (Entwurf), Dubai, 2006,*
(<https://designbuzz.com/zaha-hadids-uniquely-designed-the-dancing-tower/>).
- Abb 9. *The Cube, Orange Architects, Beirut, 2015,*
(<https://www.archdaily.com/781615/the-cube-orange-architects/56b4020be58ecefad3000937-the-cube-orange-architects-photo>).
- Abb 10. *House stacked in the Sky, Herzog & de Meuron, New York, 2016,*
(https://en.wikipedia.org/wiki/56_Leonard_Street).
- Abb 11. *The Crescent Moon Tower, DSA Architects, (nicht gebaut, gestoppt 2009), Dubai, 2009,*
(<https://www.dbestlifestyle.com/a-new-skyscraper-of-dubai-crescent-moon-tower/>).
- Abb 12. *Co-Op Canyon, (Entwurf), Standard Architects, Texas, 2009,*
(https://www.archdaily.com/24598/co-op-canyon-standard-architecture/1623581280_rendering-street-final).
- Abb 13. *SEC Armadillo, Foster & Partner, Glasgow, UK, 1997,*
(https://www.flickr.com/photos/phil_king/46041961892).
- Abb 14. *The Solar Wind Pavilion, (Entwurf), Michael Jantzen, Fullerton, USA, 2007,*
(<https://archinect.com/michael-jantzen/project/the-solar-wind-pavilion>).
- Abb 15. *The Diamond Tower, Al-Masarat, Counstruction Co, Ltd, Jeddah, Saudi Arabia, 2020,*

(<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diamondtower.jpg>).
- Abb 16. *Massar Children's Discovery Center, Henning Larsen Architects, Damascus, Syria, 2011,*
(<http://www.rsarchitecture-studio.com/projects/massar-rose/>).
- Abb 17. *Bahrain World Trade Center, WS Atkins PLC, Manama, Bahrian, 2008,*
(<http://www.nassgroup.com/portfolio/bahrain-world-trade-center/>).
- Abb 18. *Emirate Towers, NORR Architects, Dubai, 2000,*
(<https://www.askideas.com/40-most-amazing-emirates-towers-dubai-pictures-and-images/>).
- Abb 19. *Swiss Re Tower, „the Gherkin“, Ken Shuttleworth & Norman Foster, London, 2004,*
(<https://www.archdaily.com/928285/30-st-mary-axe-tower-foster-plus-partners>).
- Abb 20. *Entertainment Center, Norman Foster, Astana, Kazakhstan, 2010,*
(<https://inhabitat.com/norman-fosters-entertainment-center-in-kazakhstan/norman-foster-norman-foster-astana-astana-entertainment-center-sir-norman-foster-norman-foster-entertainment-center-2/>).
- Abb 21. *Khajoo Brücke, Iran, 1650,*
(https://www.tripadvisor.at/Attraction_Review-g295423-d324078-Reviews-Khaju_Bridge-Isfahan_Isfahan_Province.html).
- Abb 22. *Islamische Ornamente,*
(https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Samarkand_Shah-i_Zinda_Tuman_Aqa_complex_cropped2.jpg).
- Abb 23. *Trompe l'oeuil, Palazzo Spada Borromini, 1548,*
(<https://www.turismoroma.it/de/node/1393>).
- Abb 24. *The Oculus World Trade Center Transportation Hub, Santiago Calatrava, 2016,*
(<https://www.floornature.de/calatrava-the-oculus-world-trade-center-transportation-hub-11474/>).
- Abb 25. *Rampe, Villa Savoye, Poissy, Frankreich, 1931,*
(Foto: Sophia Linhart)
- Abb 26. *Rampe, Villa Savoye, Poissy, Frankreich, 1931,*
(Foto: Sophia Linhart)
- Abb 27. *„Lob der Schatten“, Pitsou Kedem Architects, Tel Aviv, 1948,*
(https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Wohnhaus_bei_Tel_Aviv_von_Pitsou_Kedem_Architects_4242957.html?back_url=http%3A%2F%2Fwww.baunetz.de%2Fmeldungen%2Findex.html&bild=12).
- Abb 28. *Falling Water House, Frank Loyd Wright, Pennsylvania, 1939,*

(<http://ideasgn.com/architecture/fallingwater-frank-lloyd-wright/attachment/fallingwater-by-frank-lloyd-wright-002/>).

- Abb 29. *Yellow Fog, Verbund Zentrale, Kunstinstallation, Olafur Eliasson, Wien, 2008,*
(<https://www.projctcoal.org/coal/2008/11/12/olafur-eliasson-yellow-fog/>).
- Abb 30. *Fassade der Allianz-Arena, Herzog und de Meuron, München, 2005,*
(<https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/objekte/freizeit-sport/allianz-arena-in-muenchen-71704>).
- Abb 31. *Projektion auf Leopoldmusuem, Wien,*
(<https://www.mqw.at/programm/2017/11/winter-im-mq-2017/>).
- Abb 32. *Amerikanische Tipis,*
LEE, Joshua David, Adaptable, Kinetic, Responsive, Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design,
Texas, 2012, S.12 (DOI: 10.13140/RG.2.1.4826.9044).
- Abb 33. *Zentralasiatische Yurte,*
(https://en.wikipedia.org/wiki/File:Syr_Darya_Oblast._Kyrgyz_Yurt_WDL10968.png).
- Abb 34. *Nordafrikanische Beduinen Zelte,*
(<https://www.mampo.de/minimalismus/beduinenzelte/>).
- Abb 35. *Elektrischer Aufzug, Werner von Siemens, 1880,*
(<https://magazin.kone.de/article/siemens-aufzug-befluegelt-den-hochhausbau/>).
- Abb 36. *Bewegliche Brücke, Leonardo da Vinci,*
(<https://www.meisterdrucke.at/kunstdrucke/Leonardo-da-Vinci/792050/Entwurf-für-eine-parabolische-Drehbrücke,-1480-1490-1954..html>).
- Abb 37. *Rotary building, Thomas Gaynor, 1908,*
ELMOKADEM, Ashraf et al (Prof. Dr. Ashraf Elmokadem, Prof. Dr. Magda Ekram, Dr. Ahmed Waseef, Basma Nashaat), Kinetic Architecture: Concept, History and Application, in: International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 7, Issue 4, 2018, S.752, (DOI: 10.21275/ART20181560).
- Abb 38. *Bicycle Wheel, Marcel Duchamp, 1910,*
(<https://capovelo.com/heres-looking-at-marcel-duchamps-1913-bicycle-wheel/>).
- Abb 39. *Haus Schröder, Gerrit Rietveld, 1924,*
(<https://www.houzz.de/magazin/architekturikonen-das-rietveld-schroeder-haus-stsetivw-vs~28443742>).
- Abb 40. *Villa Girasole, Angelo Invernizzi, Italien, 1935,*
(<https://hiddenarchitecture.net/villa-girasole/>).
- Abb 41. *New Babylon, Constant Nieuwenhuys, 1950s,*
(<https://work-body-leisure.hetnieuweinstituut.nl/publication/constant-nieuwenhuys>).
- Abb 42. *Citta Nuova, Antonia Sant'Elia, 1912-1914,*
(<https://senkrechtstarter-blog.de/2015/10/kolumne-simmen-antonio-sant-elia/>).
- Abb 43. *Pittsburgh Civic Arena, Mitchell & Ritchey, 1961,*
(<https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Pittsburgh-pennsylvania-mellon-arena-2007.jpg>).
- Abb 44. *Skulptur „El Corcovado“, Alexander Calder, 1951*
(https://www.researchgate.net/figure/Kinetic-sculpture-based-on-the-principle-of-balance-Alexander-Calder-El-Corcovado-1951_fig1_337062807).
- Abb 45. *Fun Palace, Cedric Price, 1961,*
(<https://zeynepmerickus.wordpress.com/2018/11/03/fun-palace-by-cedric-price/>).
- Abb 46. *Helix City, Kisho Kurokawa, Japan, 1961,*
(https://www.researchgate.net/figure/Kisho-Kurokawa-Helix-City-1961_fig6_339472232).
- Abb 47. *Marine City, Kiyonori Kikutake, Japan, 1960,*
(<https://archeyes.com/marine-city-megastructure-kiyonori-kikutake/>).
- Abb 48. *Walking City, Ron Herron, Archigram, England, 1964,*
(<http://walkingthecityupolis.blogspot.com/2011/03/guest-post-archigrams-walking-city.html>).
- Abb 49. *Ernstings Family Distribution Depot, Siantago Calatrava, Deutschland, 1985,*
(https://calatrava.com/motion/ernstings-warehouse-coesfeld.html?view_mode=gallery&image=3).
- Abb 50. *Generator Project, Cedric Price, England, 1976,*
(<https://medium.com/designscience/1976-22121bb498c4>).
- Abb 51. *United States Pavilion, Buckminster Fuller, Montreal Expo, 1967,*
(<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/biosphere/about/united-states-pavillion-expo-67.html>).
- Abb 52. *Plug in City, Peter Cook. Archigram, England, 1964,*

(<https://www.moma.org/collection/works/796>).

- Abb 53. *The Rogers Center, Rod Robbie, Toronto, 1989,*
(<https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/toronto-feature-rogers-centre>).
- Abb 54. *Institute Monde Arabe, Jean Nouvel, Paris, 1987,*
(<https://www.paris360.de/urlaub-reisen/sehenswuerdigkeiten/institut-du-monde-arabe-institut-arabischen-welt>).
- Abb 55. *Doppeltheater* (<http://www.mmdtkw.org/RT04-ColosseumRotation.html>).
- Abb 56. *Doppeltheater* (<http://www.mmdtkw.org/RT04-ColosseumRotation.html>).
- Abb 57. *siehe Abb. 33.*
- Abb 58. *siehe Abb. 32.*
- Abb 59. *Schloss Herrenchiemsee, versenkbarer Esstisch,*
(https://www.herrenchiemsee.de/deutsch/n_schloss/speisezimmer.htm).
- Abb 60. *Schloss Linderhof, versenkbarer Esstisch,*
(<https://www.schlosslinderhof.de/deutsch/schloss/bild08.htm>).
- Abb 61. *siehe Abb. 38.*
- Abb 62. *siehe Abb. 44.*
- Abb 63. *Schröder Haus, Gerrit Rietveld, Utrecht, 1924,*
(<https://www.stylepark.com/de/news/konstellationen-rietveld-und-die-revolution-des-raums-teil-2>).
- Abb 64. *siehe Abb. 37.*
- Abb 65. *siehe Abb. 40.*
- Abb 66. *Constant Nieuwenhuys, New Babylon, Niederlande, 1959 - 1974,*
(<https://work-body-leisure.hetnieuweinstituut.nl/publication/constant-nieuwenhuys>).
- Abb 67. *Constant Nieuwenhuys, New Babylon, Niederlande, 1959 - 1974,*
(<https://bombmagazine.org/articles/constant/>).
- Abb 68. *Constant Nieuwenhuys, New Babylon, Niederlande, 1959 - 1974,*
(https://medium.com/@WALLACE_JOSHUA_2895401/constant-nieuwenhuys-new-babylon-central-station-bdada4787e6b).
- Abb 69. *siehe Abb. 45.*
- Abb 70. *Cedric Price, Fun Palace, 1961,*
(<https://hiddenarchitecture.tumblr.com/post/158032268485/interaction-centre-1972-1977-cedric-price>).
- Abb 71. *siehe Abb. 52.*
- Abb 72. *Peter Cook, Archigram, Plug in City, 1964,*
(<http://walkingthecityupolis.blogspot.com/2011/03/guest-post-archigrams-walking-city.html>).
- Abb 73. *siehe Abb. 50.*
- Abb 74. *Cedric Price, Generator Project, 1976,*
(<https://medium.com/designscience/1976-22121bb498c4>).
- Abb 75. *siehe Abb. 46.*
- Abb 76. *siehe Abb. 47*
- Abb 77. *siehe Abb. 43*
- Abb 78. *siehe Abb. 51.*
- Abb 79. *siehe Abb. 49*
- Abb 80. *siehe Abb. 54*
- Abb 81. *Kisho Kurokawa, Nakagin Capsule Tower, 1972,*
(<https://archeyes.com/nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/>).
- Abb 82. *Rod Robbie, The Rogers Center (Sky Dome), 1989*
(<https://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/1194253>).
- Abb 83. *Henning Larsen, University of Southern Denmark's new Kolding Campus, 2014,*

(<https://www.modlar.com/photos/11011/kolding-campus-university-of-southern-denmark-facade/>).

- Abb 84. Ernst Giselbrecht und Partner, Kiefer Technic showroom, 2007,
(<https://www.architonic.com/de/project/ernst-giselbrecht-partner-showroom-kiefer-technic/5100449>).
- Abb 85. Cloud 9 Architects, Media-TIC Gebäude, 2011,
(<https://www.baunetzwissen.de/fassade/objekte/sonderbauten/forschungs--und-buerogebaeude-media-tic-in-barcelona-e-2459223>).
- Abb 86. AHR Architects, Al Bahr Towers, 2012,
(<https://i.imgur.com/b2yvlUW.jpg>).
- Abb 87. Prof. Rolf Disch, Heliotrope House, 1994,
(<https://inhabitat.com/heliotrope-the-worlds-first-energy-positive-solar-home/>).
- Abb 88. Glenn Howell Architects, Time Residences, 2012,
(<https://www.dezeen.com/2007/04/07/glenn-howells-in-dubai/>).
- Abb 89. Nextoffice, Sharifi-ha House, 2013,
(<https://edition.cnn.com/style/article/tehran-transformer-house-sharifi-ha/index.html>).
- Abb 90. Bruno de Franco, Suite Vollard, 2001,
(https://www.academia.edu/16439094/Suite_Vollard_Brazil).
- Abb 91. Dynamic Tower; Entwurf, David Fisher, 2008,
(<https://www.ubm-development.com/magazin/rotating-tower-dubai/>).
- Abb 92. Dynamic Tower; Entwurf, David Fisher, 2008,
(<https://www.ubm-development.com/magazin/rotating-tower-dubai/>).
- Abb 93. Dynamic Tower; Entwurf, David Fisher, 2008,
(<https://www.ubm-development.com/magazin/rotating-tower-dubai/>).
- Abb 94. Peter Eisenmann & HOK Architects, Stadium of Phoenix University, 2006,
(https://de.wikipedia.org/wiki/State_Farm_Stadium).
- Abb 95. Schweger & Partner, Rothenbaum Tennis Centre Court, 1997,
(<https://www.ar-ingenieure.com/projects/am-rothenbaum-hamburg>).
- Abb 96. HOK Architects, Mercedes Benz Stadium, 2017,
(<https://blogs-images.forbes.com/keithflamer/files/2017/08/Best-Exterior-1200x797.png>).
- Abb 97. Studio Gang Architects, Bengt Sjoström Starlight Theatre, 2003,
(http://www.glasslimited.com/portfolio-item/bengt-sjoström-starlight-theatre/?lightbox=image1mpf&_escaped_fragment_).
- Abb 98. Kalthöfer-Korschildgen, Innenarchitektur, 2013,
(<https://www.kalhoefer-korschildgen.de/de/k-k-projekte/realisierung/fahrender-info-raum>).
- Abb 99. Kalthöfer-Korschildgen, Innenarchitektur, 2013,
ELMOKADEM, Ashraf et al (Prof. Dr. Ashraf Elmokadem, Prof. Dr. Magda Ekram, Dr. Ahmed Waseef, Basma Nashaat), Kinetic Architecture: Concept, History and Application, in: International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 7, Issue 4, 2018, S.755, (DOI: 10.21275/ART20181560).
- Abb 100. Reinhardtjung, FNS Apartment project, 2011,
(<https://www.designboom.com/architecture/reinhardtjung-reinhardtjung-fns-apartments-apartments/>).
- Abb 101. Reinhardtjung, FNS Apartment project, 2011,
(<https://www.designboom.com/architecture/reinhardtjung-reinhardtjung-fns-apartments-apartments/>).
- Abb 102. Manuel Kretzer, Research-Projekt, ETH Zürich, Phototropia, 2012,
(<http://materiability.com/portfolio/phototropia/#&gid=1&pid=4>).
- Abb 103. James Law, Cybertecture, Hong Kong Government RTHK, Artificial Intelligence Media, 2001,
KRONENBURG, Robert, Flexible: Architecture that Responds to Change, Laurence King Publishing Ltd., London, 2007, S.226.
- Abb 104. 5Subzero, Topotransegrity Structure, 2006,
(<http://www.unsquare.at/?p=165>).
- Abb 105. James Law, Cybertecture, Tolvanen Cybertecture House, 2002-2004,
KRONENBURG, Robert, Flexible: Architecture that Responds to Change, Laurence King Publishing Ltd., London, 2007, S.224.

Abb 106. Bewegungstypologien - Bewegung aus starren Bauteilen

- Abb 107. *Lavaria da Vila, Isay Weinfeld, Sao Paulo, Brasilien, 2007,*
(<https://www.archdaily.com/31172/livraria-da-vila-isay-weinfeld>)
- Abb 108. *siehe Abb. 107.*
- Abb 109. *MPavilion 2017, Melbourne, Australien, 2017, Office for Metropolitan Architecture (OMA),*
(<https://www.oma.com/projects/mpavilion>).
- Abb 110. *siehe Abb. 109.*
- Abb 111. *siehe Abb. 109.*
- Abb 112. *MPavilion 2014, Sean Godsell Architects, Melbourne, Australien, 2014,*
(<https://mpavilion.org/assets/files/2020/12/2014-MPavilion-Education-Resource.pdf>).
- Abb 113. *siehe Abb. 112.*
- Abb 114. *siehe Abb. 112.*
- Abb 115. *siehe Abb. 112.*
- Abb 116. *siehe Abb. 112.*
- Abb 117. *Carnary Wharf Kiosk, Make Architects, London, Großbritannien, 2013,*
(<https://www.makearchitects.com/projects/canary-wharf-kiosks/>).
- Abb 118. *siehe Abb. 117.*
- Abb 119. *siehe Abb. 117.*
- Abb 120. *XXXX Sofa, Yuya Ushida, Kyoto, Japan, 2011,*
<https://deavita.com/mobel/sofa-design-rezyklierten-teilchen.html>.
- Abb 121. *siehe Abb. 120.*
- Abb 122. *siehe Abb. 120.*
- Abb 123. *siehe Abb. 120.*
- Abb 124. *XXXX Sofa, Bauteile, Yuya Ushida, Kyoto, Japan, 2011,*
SCHUMACHER, Michael, VOGT Michael-Marcus, KRUMME, Luis A. Cardón, *New Move*, Birkhäuser Basel, Berlin, 2019, S.193.
- Abb 125. *Paperhouse, Heatherwick Studio, London, Großbritannien, 2009,*
(<http://www.heatherwick.com/project/paperhouse/>).
- Abb 126. *siehe Abb. 125.*
- Abb 127. *siehe Abb. 125.*
- Abb 128. *siehe Abb. 125.*
- Abb 129. *Theaterturm am Julierpass, Giovanni Netzer, Walter Bieler, Graubünden, Schweiz, 2017,*
(<https://www.world-architects.com/de/walter-bieler-ag-bonaduz/project/theaterturm-auf-dem-julierpass>).
- Abb 130. *siehe Abb. 129.*
- Abb 131. *siehe Abb. 129.*
- Abb 132. *Evolution Door, Klemens Torggler, Wien, Österreich, 2013,*
(<http://www.torggler.co.at/main/objects4.html>).
- Abb 133. *siehe Abb. 132.*
- Abb 134. *Bewegungstypologien - Bewegung aus weichen Bauteilen*
SCHUMACHER et al, 2009, S.44 - S.47.
- Abb 135. *Stockfoto, Seile*
(<https://www.pexels.com/de-de/foto/nahaufnahmefoto-des-seils-906060/>).
- Abb 136. *Stockfoto, Gewebe*
(<https://www.pexels.com/de-de/foto/trocken-textur-verwischen-braun-6044416/>).
- Abb 137. *Stockfoto, Schwamm*
(<https://www.pexels.com/de-de/foto/person-die-gelbes-und-weisses-brot-halt-7500356/>).
- Abb 138. *Elie Tahari Fashion Showroom, New York, USA, 2011*
(<https://www.architonic.com/de/project/gisela-stromeyer-design-elie-tahari-fashion-showroom/5101011>).
- Abb 139. *Anthropomorphe Form (Installation), EMI Architekten, 2021,*
(<http://www.emi-architekten.ch/projekt/kunstpreis/>).
- Abb 140. *Tubaloon Pavillon, Kongsberg Jazz festival, Snohetta Architects, Kongsberg, Norway, 2006*
(<https://www.architonic.com/de/story/susanne-fritz-bau-stoff-textile-architektur-teil-1/7000625>).
- Abb 141. *Maidan Zelt, ABVM Studio und Leo Bettini Oberkalmsteiner, 2018,*

- Abb 142. *Sternwellenzelt, Kölner Tanzbrunnens, Frei Otto, 1957,*
(<https://www.baukunst-nrw.de/objekte/Sternwellenzelt-des-Koelner-Tanzbrunnens--2861.htm>).
- Abb 143. *JNBY by HHD_FUN, Shanghai, China, 2010,*
(https://www.archdaily.com/111922/jnby-hhd_fun-architects?ad_medium=office_landing&ad_name=article).
- Abb 144. *ALG-A Algae Architecture, Ivan Marjanović, Milena Stavric,*
(<https://ars.electronica.art/center/de/alg-a-algae-architecture/>).
- Abb 145. *APeel – Biomaterial Innovation, Youyang Song (CH)*
(<https://youyangsong.com>).
- Abb 146. *Auxetisches Material*
STAVRIC Milena et al, *Non-Linear Matters: Auxetic Surfaces*, Conference: Acadia 2017 Disciplines & Disruption: Proceedings of the 37th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in ArchitectureAt: Cambridge, USA, 2017, (https://www.researchgate.net/publication/320833890_Non-Linear_Matters_Auxetic_Surfaces).
- Abb 147. *HYGROSKIN, Meteorosensitive Pavilion, 2011-13, Permanent Collection, FRAC Centre Orleans, France, Achim Menges, Oliver David Krieg, Steffen Reichert*
(<https://www.detail.de/artikel/klimaregulierung-aus-dem-3d-drucker-25787/>).
- Abb 148. *FLECTOFIN, Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE), Universität Stuttgart*
(<https://www.str-ucture.com/was/forschungsprojekte/reference/bionische-fassadenverschattung-flectofin/>).
- Abb 149. *Klettverschluss*
(<https://nikolaus-schule-meerbusch.de/biologie-und-technik/>) und (<https://www.frag-mutti.de/klettverschluss-wieder-wie-neu-a54992/>).
- Abb 150. *Stahlverbindungsknoten, Arup, 2015*
(SCHUMACHER et al, 2019, S.39).
- Abb 151. *gedruckten Edelstahlbrücke, MX3D, Joris Laarman*
(<https://www.sk.rs/clanak/2471/u-amsterdamu-je-otvoren-most-izgradjen-3d-stampom>).
- Abb 152. *Kinematic Dress, Nervous System, 2013,*
(<https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/sets/kinematics-dress/>).
- Abb 153. *Liquid printed pneumatics, 2018, MIT, Self-Assembly Lab & BMW Design Dep.*
(<https://selfassemblylab.mit.edu/liquid-printed-pneumatics>).
- Abb 154. *Active Textile Tailoring, MIT, Self-Assembly Lab*
(https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/58977341414fb5309fc954e6/1545186319271-UNB5F2PHC18PO7X/SQUSD/AFFOA_12.jpg?format=2500w).
- Abb 155. *Brisbane Airport Parking Garage, Ned Kahn, 2011,*
(<http://nedkahn.com/portfolio/turbulent-line>).
- Abb 156. *One Ocean, Theme Pavilion Expo Yeosu, SOMA, 2012,*
(<https://www.knippershelbig.com/en/one-ocean-pavillon-yeosu>).
- Abb 157. *Mega Faces, Asif Khan, 2014,*
(<http://www.asif-khan.com/project/sochi-winter-olympics-2014/>).
- Abb 158. *siehe Abb. 157.*
- Abb 159. *Heatherwick Studio, Shanghai, Expo Pavilion, 2010,*
(<https://publicdelivery.org/thomas-heatherwick-shanghai/>).
- Abb 160. *siehe Abb. 159.*
- Abb 161. *siehe Abb. 159.*
- Abb 162. *siehe Abb. 159.*
- Abb 163. *Eingang, Pfalz Keller, Santiago Calatrava, St. Gallen, Schweiz, 1999,*
(https://www.calatrava.com/projects/pfalzkeller-gallery-sankt-gallen.html?view_mode=gallery&image=4).
- Abb 164. *siehe Abb. 79.*
- Abb 165. *Milwaukee Art Museum, Santiago Calatrava, Wisconsin, USA, 2001,*
(https://de.wikipedia.org/wiki/Milwaukee_Art_Museum#/media/Datei:Milwaukee_Art_Museum_exterior.jpg).
- Abb 166. *Milwaukee Art Museum, Santiago Calatrava, Wisconsin, USA, 2001,*
(https://en.wikipedia.org/wiki/File:Millwaukee_Museum_from_south-west.jpg).
- Abb 167. *Kuwait Pavillon, Santiago Calatrava, Sevilla, Spain, 1992*
(<https://www.turbosquid.com/3d-models/kuwait-expo-3d-model/215432>).
- Abb 168. *Kuwait Pavillon, Santiago Calatrava, Sevilla, Spain, 1992*
(https://www.calatrava.com/index.php/projects/kuwait-pavilion-sevilla.html?view_mode=gallery&image=2).
- Abb 169. *Strata™ System,*

(<https://www.hoberman.com/portfolio/emergent-surface/>).

- Abb 170. siehe Abb 169.
- Abb 171. Tessellate™ System
<https://www.hoberman.com/portfolio/dynamic-windows/>
- Abb 172. siehe Abb 171.
- Abb 173. Tessellate™ System
DROZDOWSKI, Ziggy, *The Adaptive Building Initiative: The Functional Aesthetic of Adaptivity*, in: *Special Issue: Experimental Green Strategies: Redefining Ecological Design Research*, Volume 81, Issue 6, John Wiley & Sons Ltd., New Jersey, 2011
- Abb 174. siehe Abb. 173.
- Abb 175. Hoberman Bogen, Chuck Hoberman, 2002,
(<https://www.hoberman.com>).
- Abb 176. Iris-Kuppel, Chuck Hoberman,
(<https://www.hoberman.com/portfolio/iris-pavilion-2/>).
- Abb 177. siehe Abb. 176.
- Abb 178. siehe Abb. 176.
- Abb 179. Iris-Dome, Chuck Hoberman,
(MADEN, Feray, *The Architecture of Movement: Transformable Structures and Spaces*, in: *6th International Congress on Livable Environments & Architecture - LIVENARCH-VI 2019: Replacing Architecture*, Türkei, 2019, S.556)
- Abb 180. Switch Pitch Toy, Chuck Hoberman, 2001,
(<https://www.hoberman.com/portfolio/switch-pitch-toy/>).
- Abb 181. siehe Abb. 181.
- Abb 182. siehe Abb. 182.
- Abb 183. Hoberman Sphere, Chuck Hoberman, 1995
(<https://experimentis-shop.de/hoberman-sphere-regenbogenkugel-detail-725.html>).
- Abb 184. siehe Abb. 183.
- Abb 185. Expanding Geodesic Dome, Chuck Hoberman, 90er
siehe Abb. 179
- Abb 186. Shape Changing Sculptures, Chuck Hoberman, 2013
(<https://www.hoberman.com/portfolio/shape-changing-sculptures/>).
- Abb 187. siehe Abb. 186.
- Abb 188. 10° (Ten Degrees), 2016,
(<https://www.hoberman.com/portfolio/10-ten-degrees/>).
- Abb 189. siehe Abb. 188.
- Abb 190. Bubbles, FoxLin Architects,
(<http://www.af-z.ch/veranstaltungen/michael-a-fox/>).
- Abb 191. Lotus Dome, Studio Roosegaarde,
(<https://www.studioroosegaarde.net/project/lotus-dome>).
- Abb 192. The Muscle, Kas Oosterhuis, 2004,
(<https://news.yale.edu/2014/11/24/yale-exhibition-highlights-foundations-digital-architecture>).
- Abb 193. Flow 5.0, Studio Roosegaarde, 2007,
(https://www.domusweb.it/it/arte/2013/07/09/daan_rosegaarde_experiencing_light.html).
- Abb 194. 4D-Pixel, Studio Roosegaarde, 2005,
(<https://www.studioroosegaarde.net/project/4d-pixel>).
- Abb 195. Wind 3.0, Studio Roosegaarde, 2006,
(<https://www.studioroosegaarde.net/data/images/2017/10/347/139155/wind-3.0-3.jpeg>).
- Abb 196. Hexi Responsive Wall, Thibaut Sld, 2014,
(<https://archello.com/product/hexi-responsive-wall>).
- Abb 197. The Ageis Hyposurface, dECOi Architects, Mark Goulthorpe, 2001,
(<https://mcburry.net/aegis-hyposurface/>).
- Abb 198. Kinetic Wall, Barkow Leibinger, 2014,
(https://barkowleibinger.com/archive/view/kinetic_wall).
- Abb 199. Disobedience, Studio Ini, London Design Biennale, 2018,
(<https://www.londondesignbiennale.com/participant/greece-0>).

Abb 200.	siehe Abb. 199.
Abb 201.	Urban Imprint, Studio Ini, A/D/O by MINI, NYCxDDesign, 2019, (https://www.dezeen.com/2019/05/16/urban-imprint-studio-ini-ado-brooklyn-courtyard/).
Abb 202.	siehe Abb. 201
Abb 203.	siehe Abb. 201
Abb 204.	siehe Abb. 201
Abb 205.	Strandbeest, Theo Jansen, (https://www.strandbeest.com).
Abb 206.	siehe Abb. 205.
Abb 207.	siehe Abb. 205.
Abb 208.	Kinetic Sculpture, Joachim Sauter, 2008, BMW, (http://www.joachimsauter.com/en/work/bmwkinetic.html).
Abb 209.	siehe Abb. 208.
Abb 210.	siehe Abb. 208.
Abb 211.	siehe Abb. 208.

