«Digitale Fabrikation in der Bauindustrie / Roboter und additive Fertigung – neue Möglichkeiten für die Architektur»

KUB Focus - Wissensvorsprung für Bauherrenberater und Immobilienfachleute vom 13.09.2016

Sponsoren

V ZUG

BÜHLER & OETTLI AG
BAUMANAGEMENT
www.buehler-oettli.ch

Caretta + Gitz AG
Baumanagement
Gesamtplanung

DC ONE
consult | plan | engineer | build | run

an
ahochn.ch

data:hub

Beta Projekt Management AG
Bau, Immobilien, IT-Lösungen

synaxis
BAUINGENIEURE SA/USIC

Referenten

- **Dr. René Jähne**
  ETH Zürich, National Centre of Competence in Research / Digital Fabrication
  (http://www.dfab.ch)
- **Mathias Bernhard**
  Digital Building Technologies, ETH Zürich
  (http://dbt.arch.ethz.ch)

National Centre of Competence
in Research
Digital Fabrication

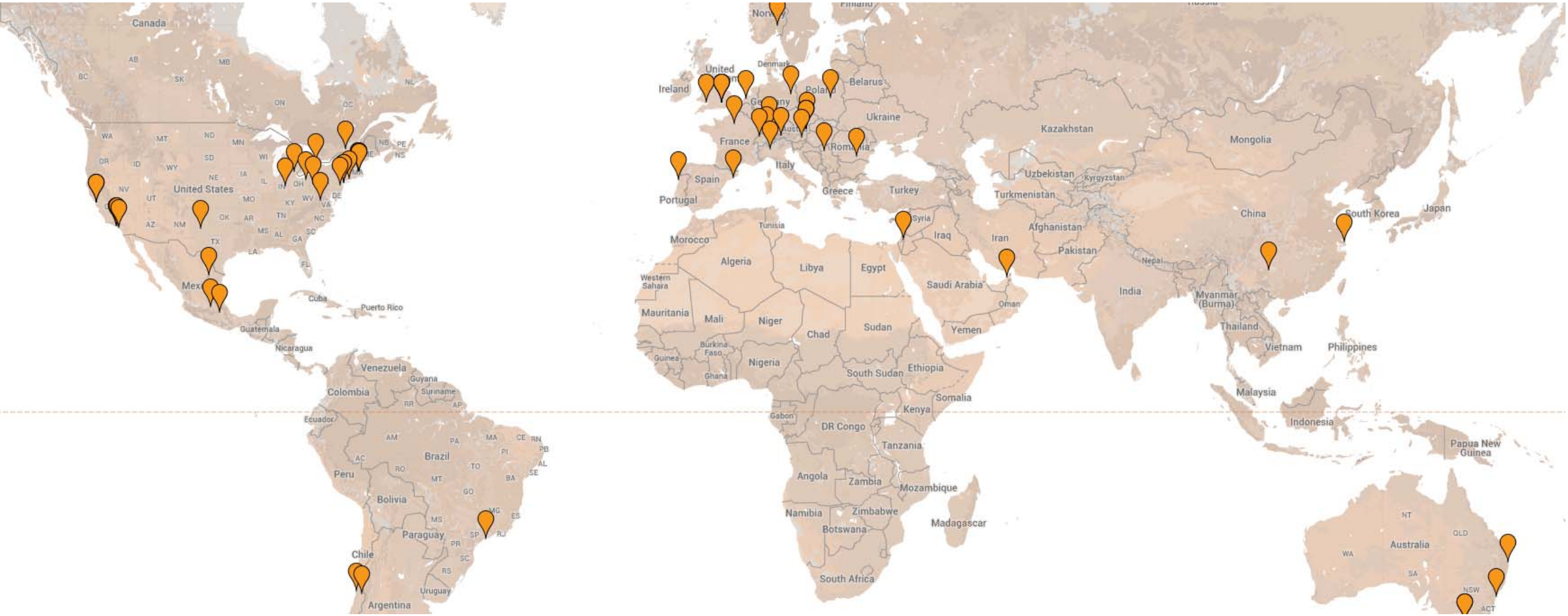
Digitale Fabrikation in der Architektur

Robotic fabrication lab, 2005
Gramazio Kohler Research, ETH Zürich

Robotische Fabrikation in der Architektur als Neues Forschungsfeld

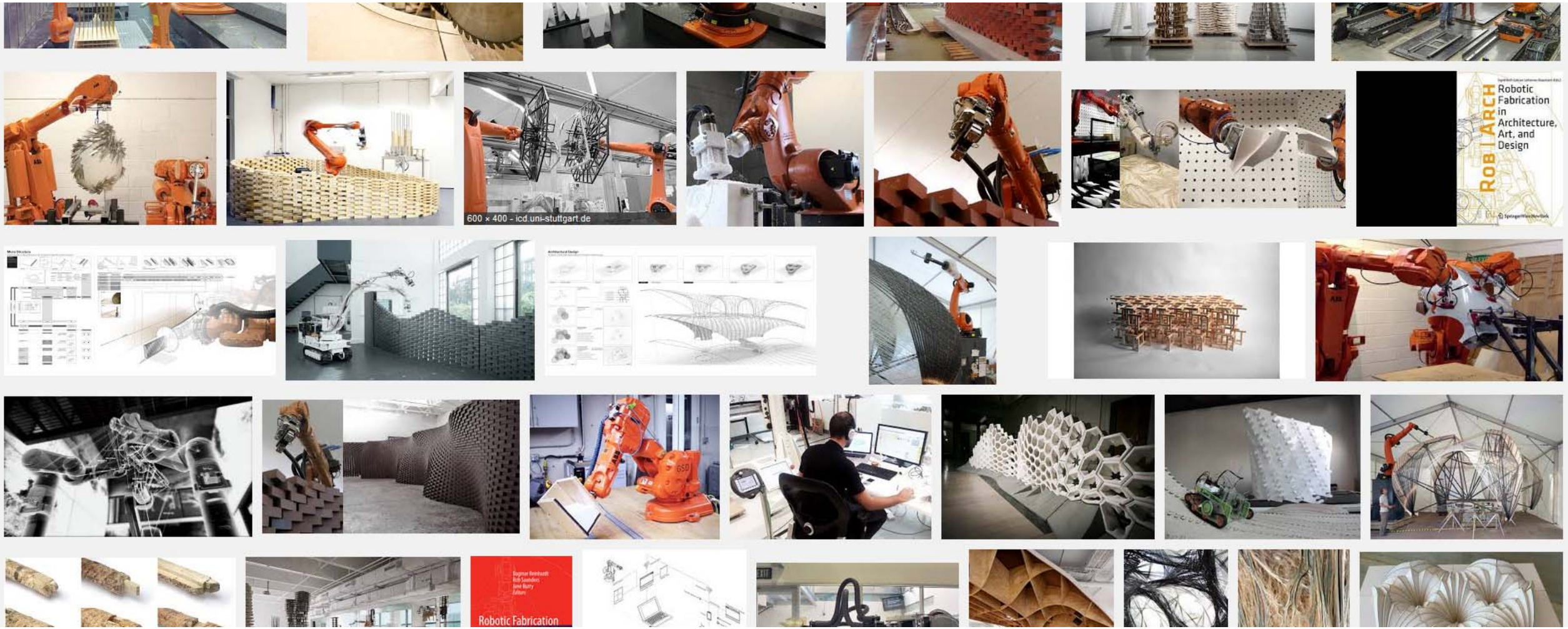
2005 ETH Zürich
2006 TU Wien
2006 Yale (USA)
2007 Harvard (USA)
2007 RMIT Melbourne
2009 Carnegie Mellon (USA)
2009 TU Graz
2010 UAE Dubai
2010 Universität Stuttgart
2010 University of Michigan (USA)
2011 SCI-Arc (USA)
2012 Future Cities Laboratory Singapur
2012 McGill University (Kanada)
2012 University College London
2012 TU Delft
2012 Universität Innsbruck
2012 IAAC Barcelona
2013 USM Chile
2013 UCLA (USA)
2013 Princeton (USA)
2014 UTS Sidney
2014 Kent State University (USA)
2014 University of Virginia (USA)
2014 UAI Chile
2014 Univ. für angewandte Kunst Wien
2014 Universität Porto
...

Robotische Fabrikation in der Architektur als Neues Forschungsfeld



Forschungsinstitute im Bereich Architektur mit robotischer Fabrikation, http://www.robotsinarchitecture.org/map-of-creative-robots
Quelle: www.robotsinarchitecture.org

Aktuelle Forschungsthemen



Google-Suche «robotic fabrication in architecture»
Quelle: Google.de

National Competence Center in Research (NCCR)/ Nationaler Forschungsschwerpunkt (NFS)

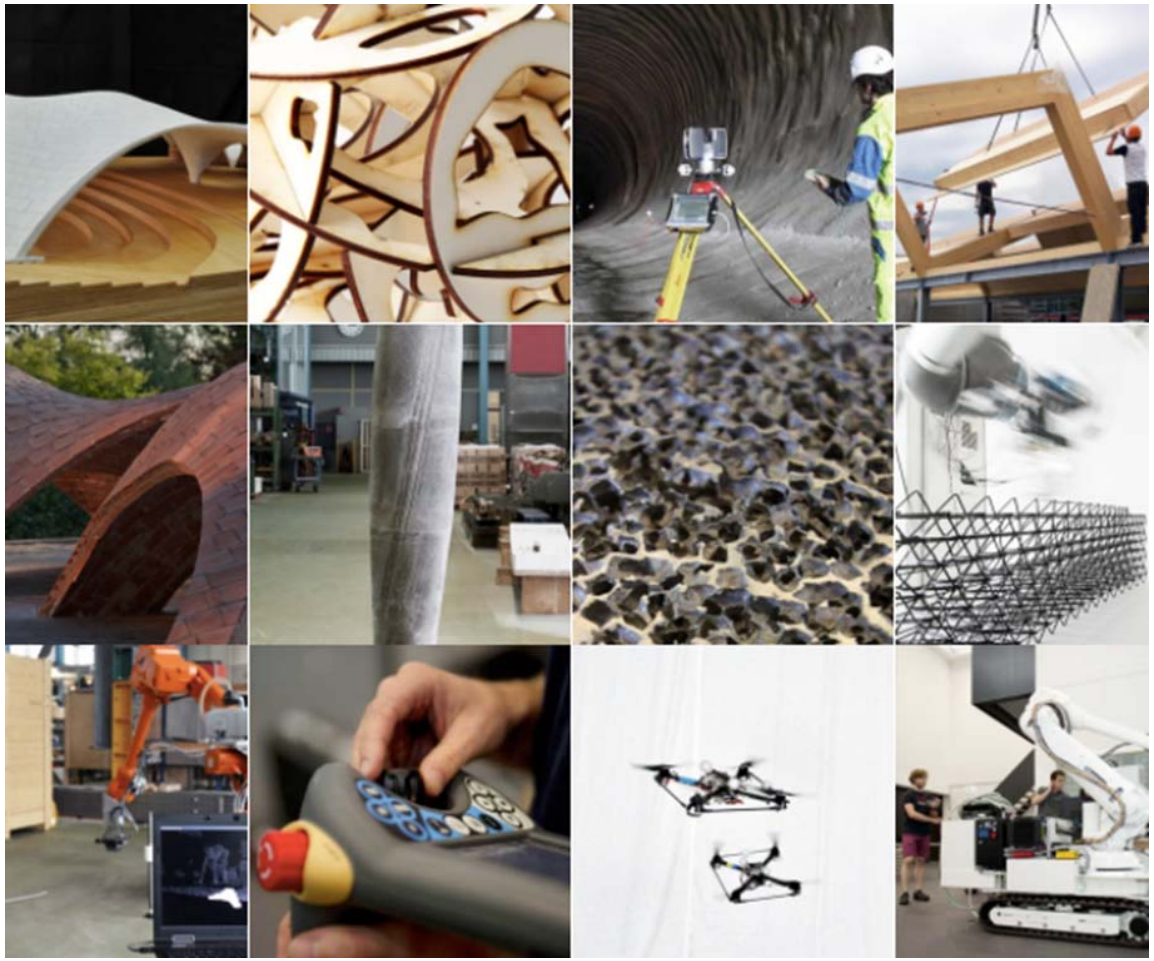
Forschungsinstrument des Schweizer Nationalfonds (SNF)

Ziele:

- Stärkung der Forschung in Bereichen von strategischer Bedeutung für die Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft
- Verbesserung der Arbeitsteilung zwischen den Forschungseinrichtungen
- Etabilierung von Kollaborationen zwischen akademischen und nicht-akademischen öffentlichen und privaten Instituten
- Aufbau von Verbindungen zu potentiellen Anwendern der Forschungsergebnisse (Wissens- und Technologietransfer)
- Unterstützung und Förderung talentierter Doktoranden und Post-Doktoranden

Quelle: Website SNSF

NFS Digitale Fabrikation



Kick-Off: Juni 2014

Forschungsschwerpunkte:

- Digitale Design und Planungsprozesse
- Material- und Konstruktionssysteme
- Neuartige digitale Produktionsmethoden

Beteiligte Forscher:

14 Leitende Forschende

~40 Doktoranden und Postdoktoranden

Beteiligte Forschungsinstitute:

ETH Zürich (Heimat Institution), EPF Lausanne, Berner Fachhochschule, Empa

www.dfab.ch

12 Jahresplan

Leitende Forschende

Philippe Block
Tragwerke

Jonas Buchli
Bewegliche Robotik

Benjamin Dillenburger
Digitale Architektur

Robert Flatt
Baumaterialien

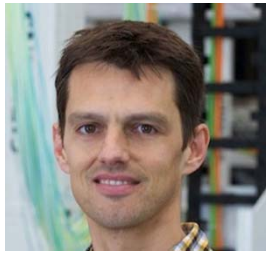
Fabio Gramazio
Digitale Fabrikation

Guillaume Habert
Nachhaltigkeit

Marco Hutter
Robotische Systeme

Matthias Kohler
Digitale Fabrikation

Manfred Morari
Regelungstechnik



Mark Pauly
Information

Roland Siegwart
Autonome Robotik

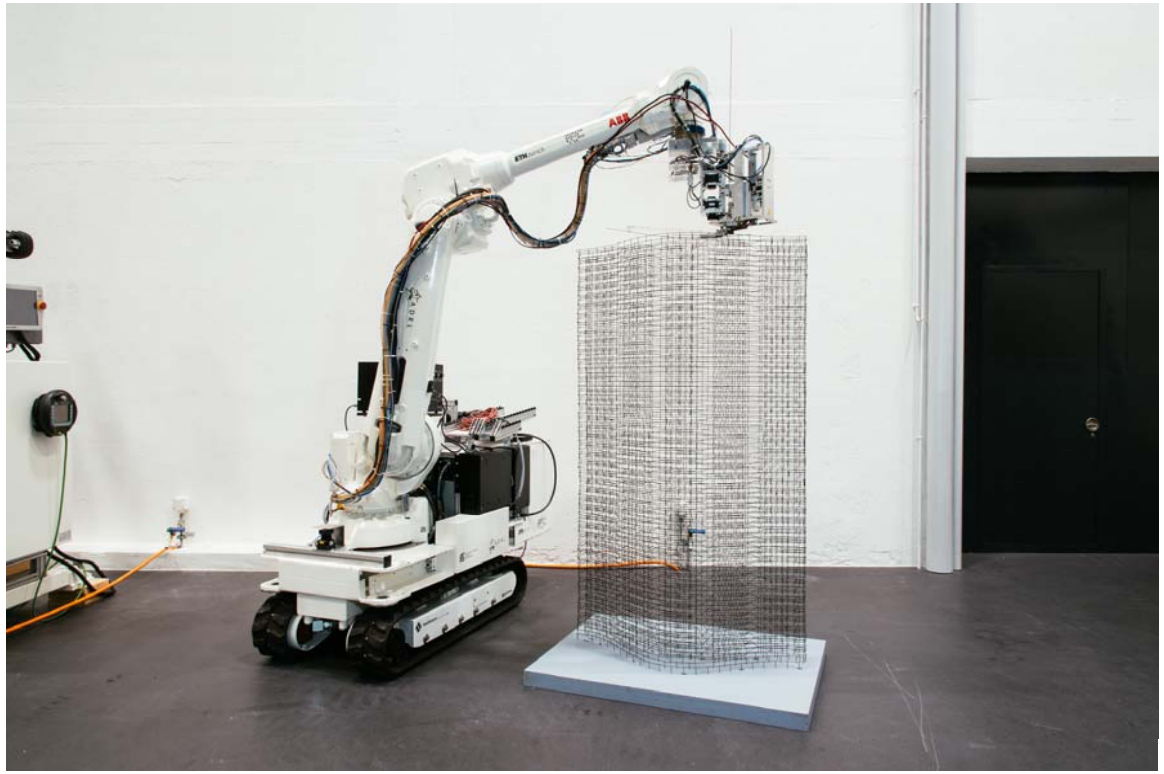
Roy Smith
Verteilte Regelung

Olga Sorkine
Informatik

Yves Weinand
Tragwerke

Zwei «Grand Challenges»

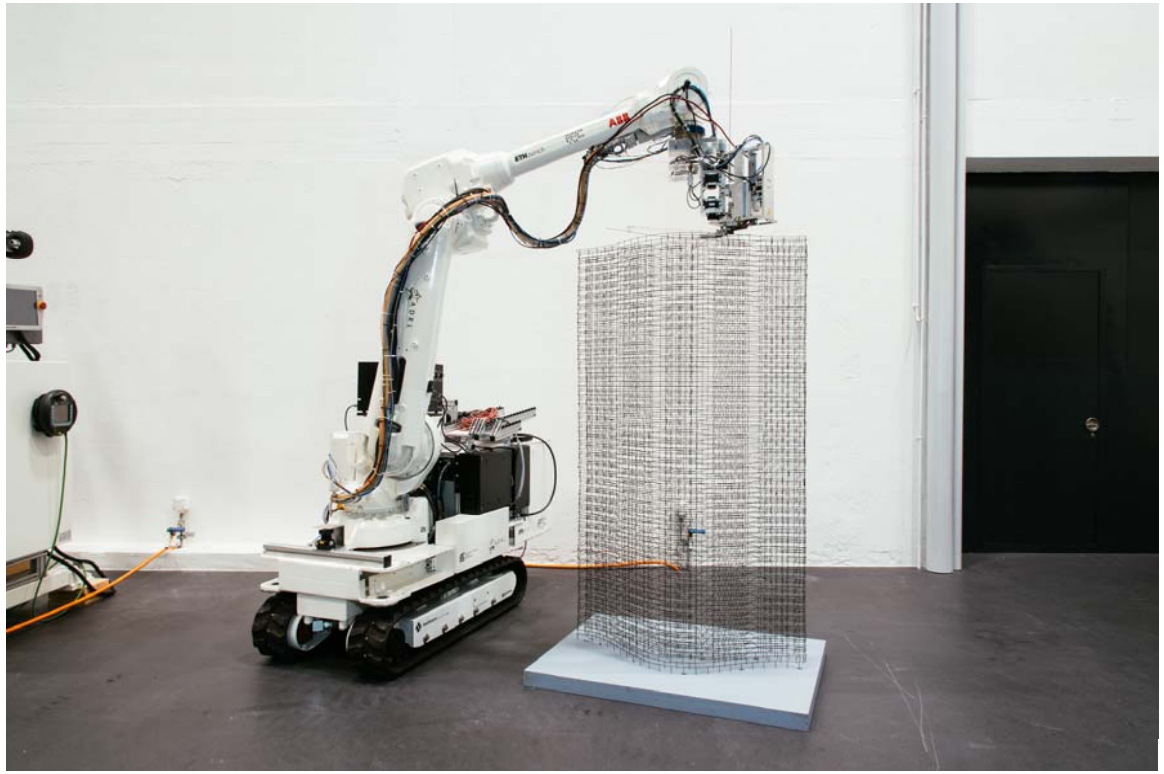
Digitale Vor-Ort-Fabrikation



Massgeschneiderte digitale Vorfabrikation

Zwei «Grand Challenges»

Digitale Vor-Ort-Fabrikation



Massgeschneiderte digitale Vorfabrikation

Forschungsprojekt – In situ Fabricator (IF)

Gemeinschaftliche Erfolge

- Entwurf und Realisierung IF 1.0
- Entwicklung von Algorithmen zur Roboterregelung
- Implementierung von Mesh Mould auf dem IF 1.0

Links: Kathrin Dörfler, Mitte: Markus Gifthaler, Rechts: Timothy Sandy
Kollaboration zwischen Agile and Dexterous Robotics Lab und Gramazio Kohler Research, ETH Zürich

ETH zürich
GRAMAZIO
KOHLER
RESEARCH
ADRL

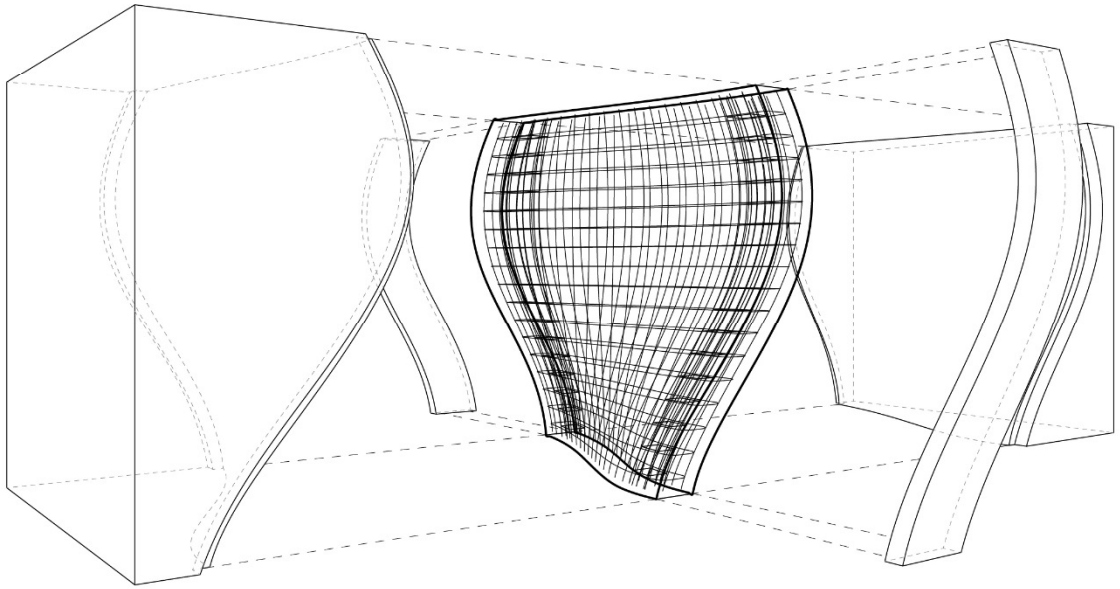
Forschungsprojekt – Mesh Mould

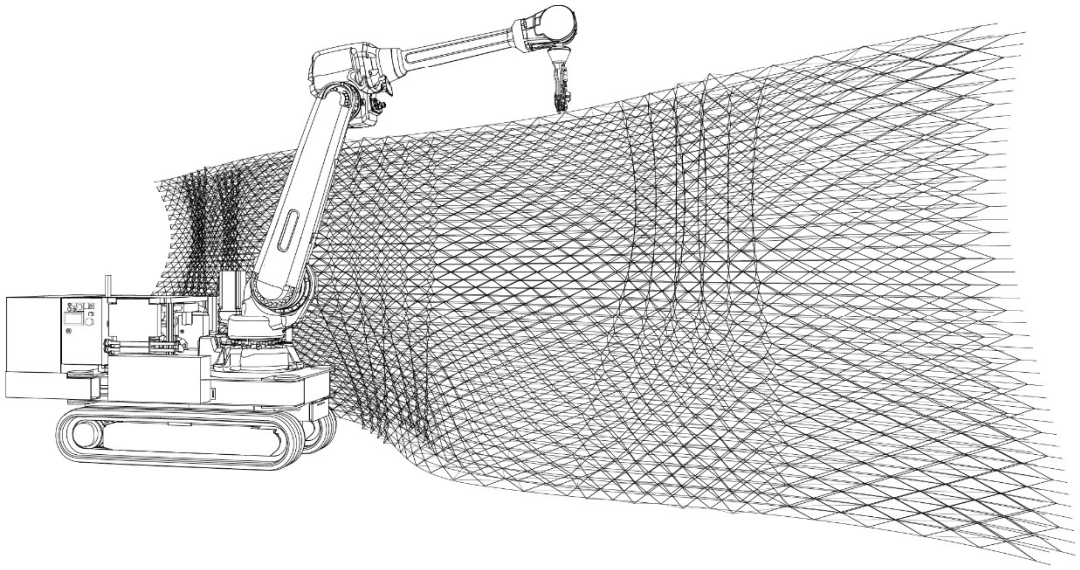
Gemeinschaftliche Erfolge

- prototypischer Fertigungsprozess für Stahlnetzstrukturen
- Endeffektor für Industrieroboter
- Integration der Bewegungsregelung von Roboterarm und Endeffektor
- Geplante experimentelle Erfassung der Leistungsfähigkeit der Struktur
- Entwicklung Betonmischungen und Füllprozeduren

Von links nach rechts: Norman Hack, Nitish Kumar, Kathrin Dörfler, Jaime Mata Falcon, Tim Wangler
Kollaboration zwischen Agile and Dexterous Robotics Lab und Gramazio Kohler Research und Institute for building materials, ETH Zürich

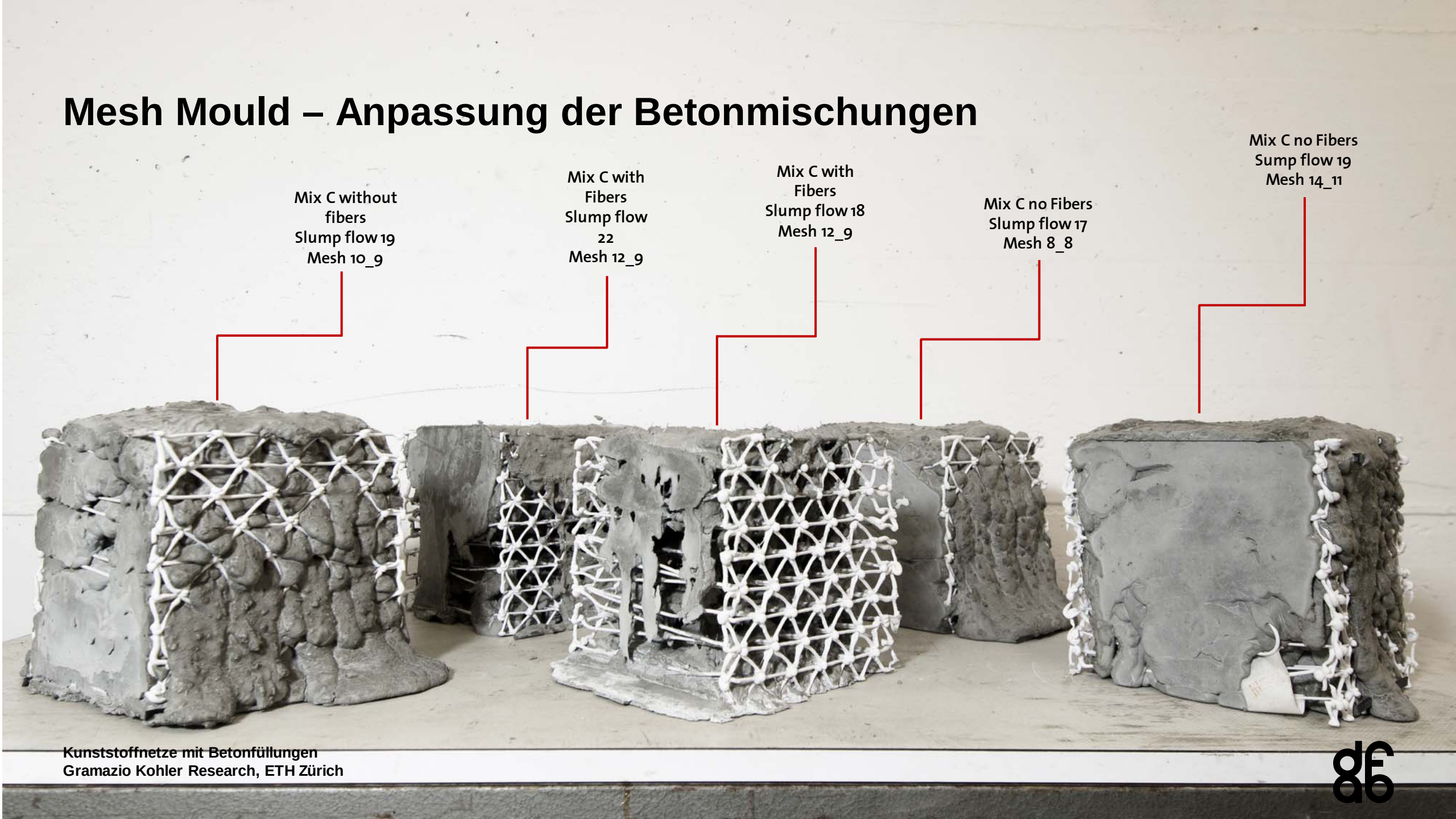
In situ Fabricator (IF) und Mesh Mould





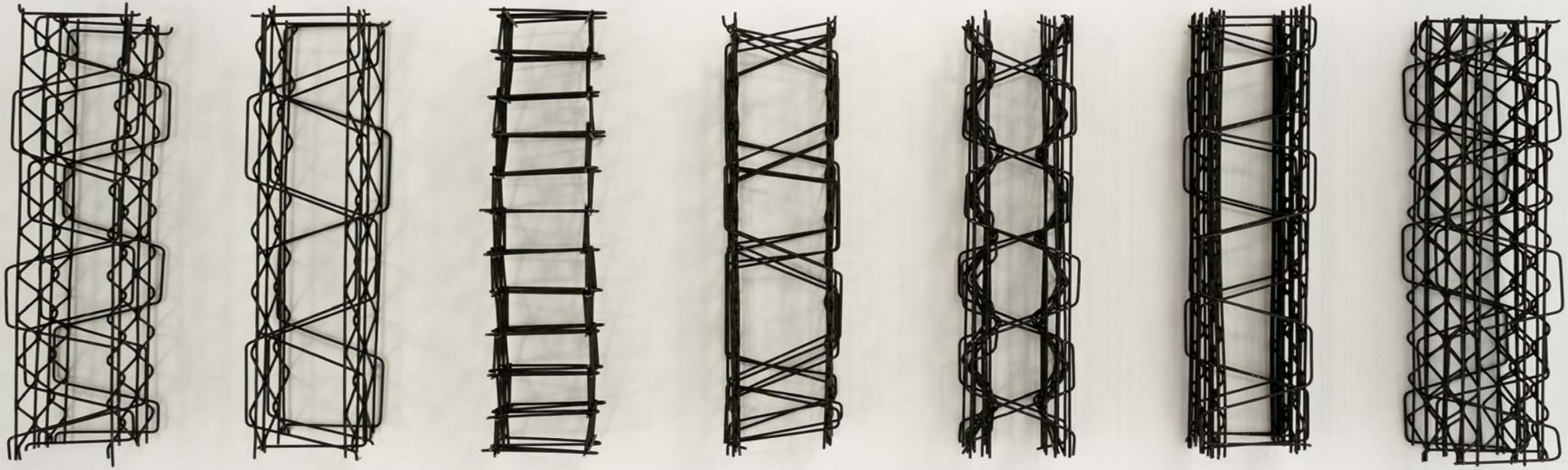
Links: Konventionelle Fabrikationsmethode, Rechts: Innovativer Fabrikationsprozess
Gramazio Kohler Research, ETH Zürich

Mesh Mould – Anpassung der Betonmischungen



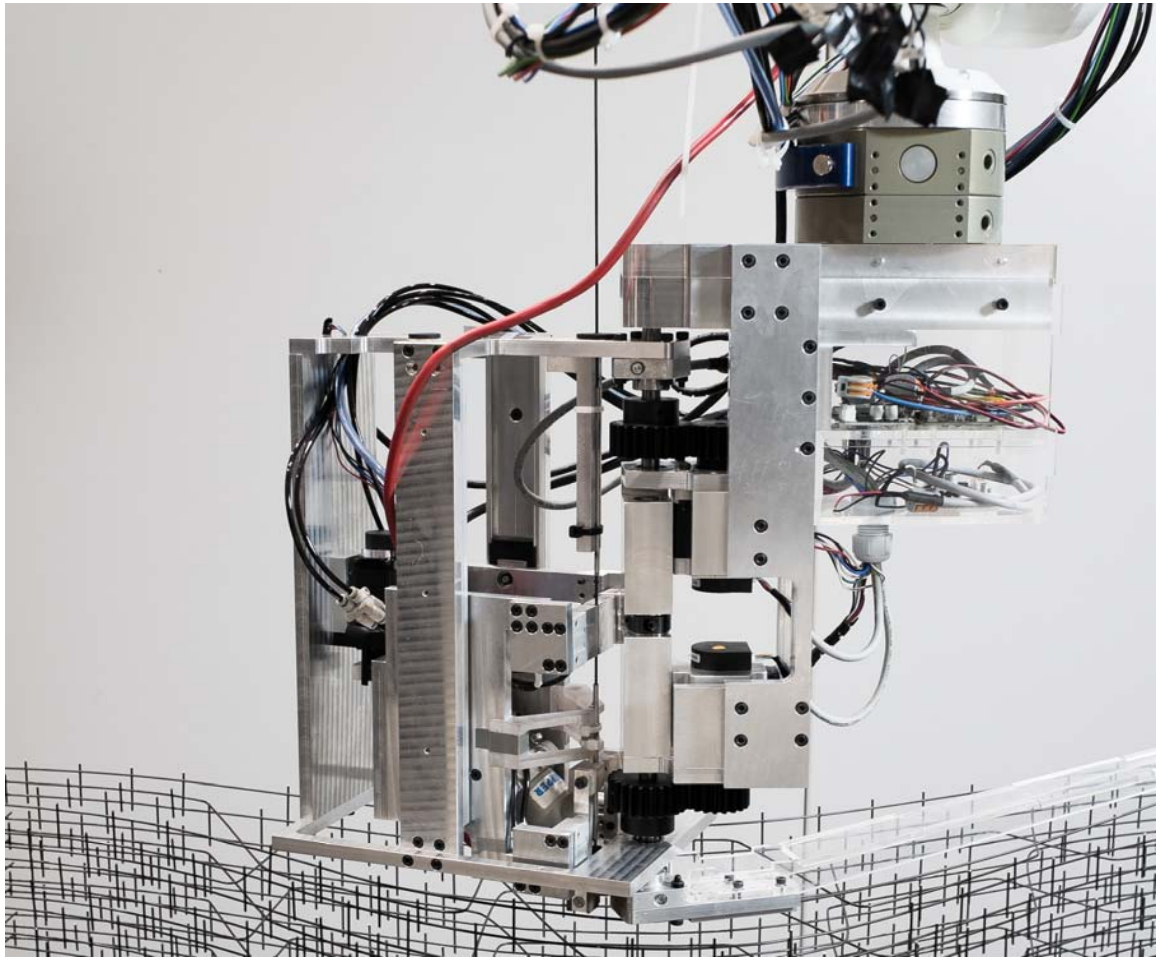
Kunststoffnetze mit Betonfüllungen
Gramazio Kohler Research, ETH Zürich

Mesh Mould – Netztopologien



Probekörper unterschiedlicher Metallnetztopologien
Gramazio Kohler Research, ETH Zürich

Mesh Mould



Neuentwickelter Werkzeugkopf
Kollaboration zwischen Agile and Dexterous Robotics Lab und Gramazio Kohler Research, ETH Zürich

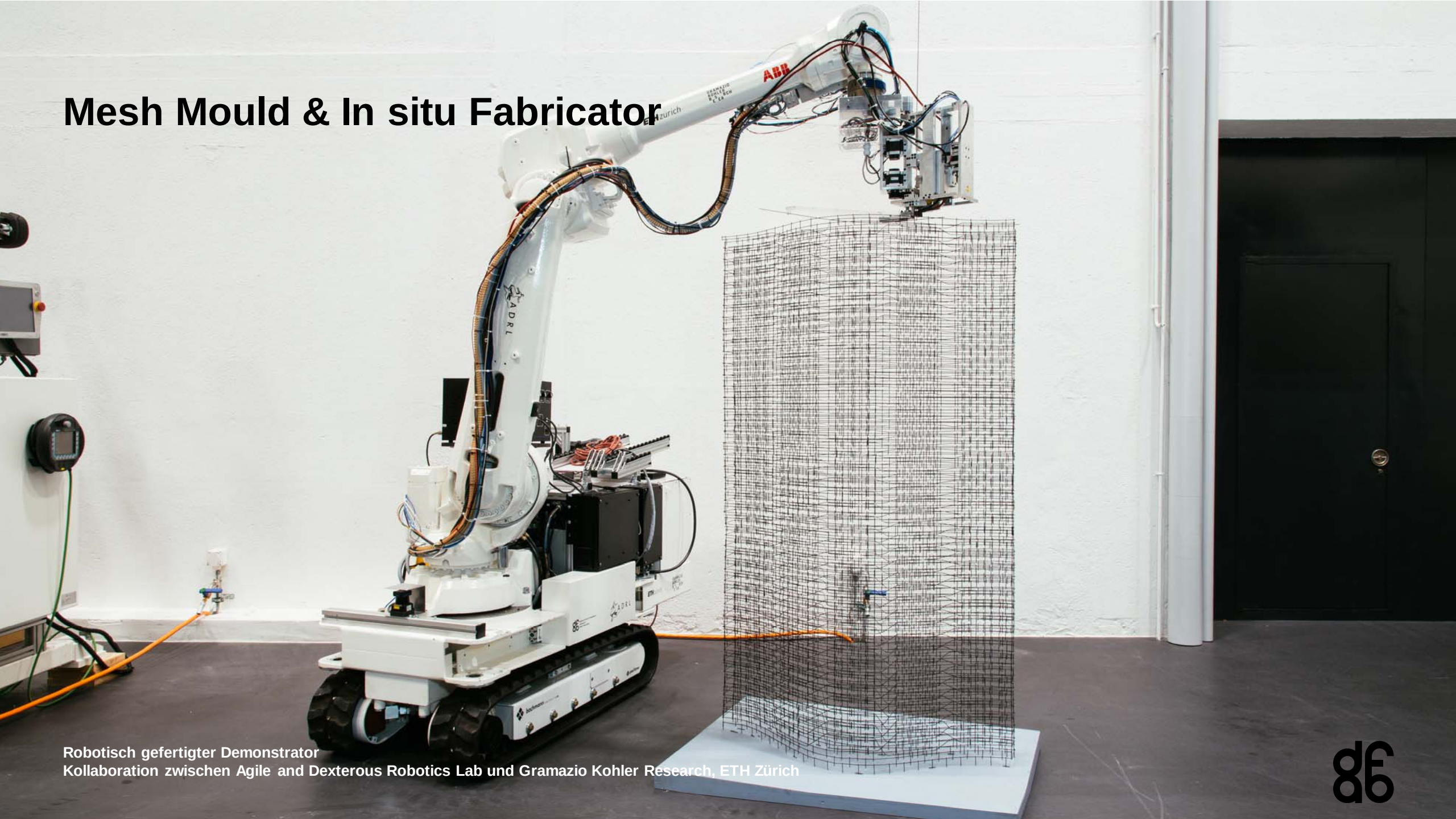
Forschungsziel

Automatische Fabrikation von 3D-Netzstrukturen zur Formgebung und als Bewehrung

Forschungsschwerpunkt

- Füllstrategien
- Oberfächenbearbeitung

Mesh Mould & In situ Fabricator



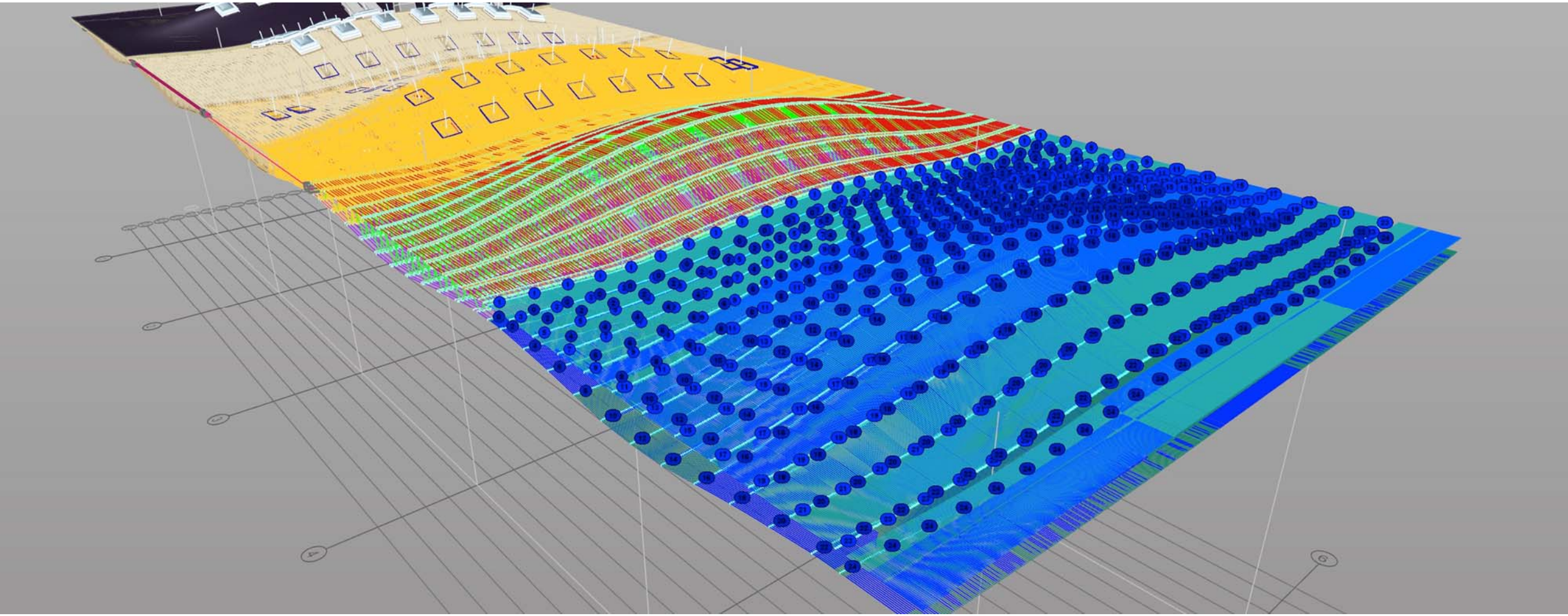
Robotisch gefertigter Demonstrator
Kollaboration zwischen Agile and Dexterous Robotics Lab und Gramazio Kohler Research, ETH Zürich

Zwei «Grand Challenges»

Digitale Vor-Ort-Fabrikation

Massgeschneiderte digitale Vorfertigung

Dach des neuen Institutsgebäudes

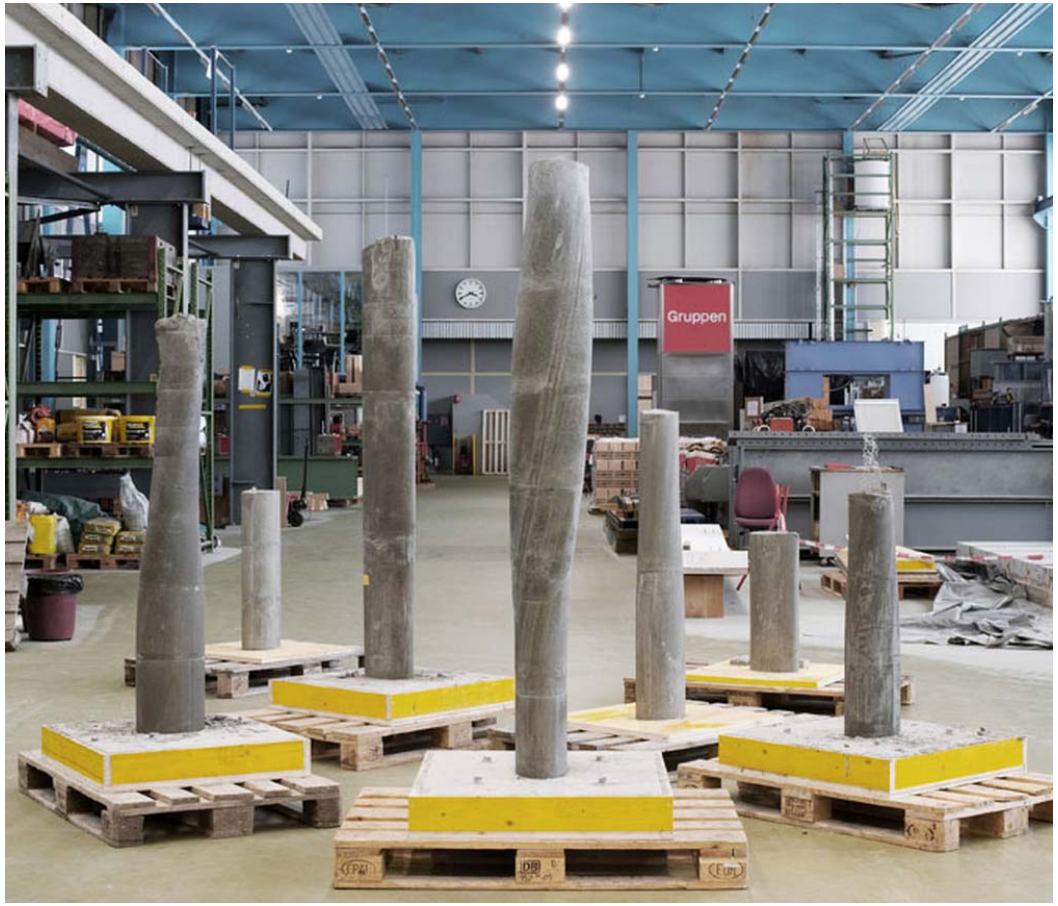


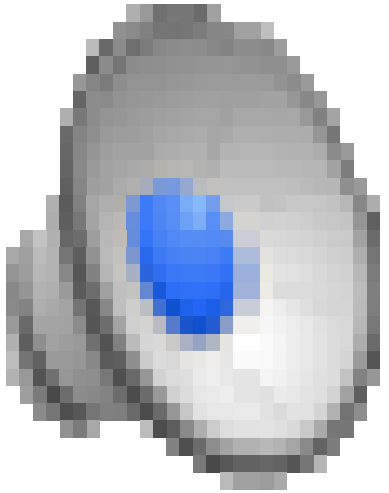
Digitales Planungs- und Fabrikationsmodell des Arch_Tec_Lab Dachs
Konzept und Planung bei Gramazio Kohler Research, ETH Zürich

ERNE
wir bauen vorwärts
ERNE
ERNE
ERNE

Robotische Vorfertigung Arch_Tec_Lab Dach
Konzept und Planung bei Gramazio Kohler Research, ETH Zürich

Smart Dynamic Casting (SDC)





Links: Betonsäulen mit gedrehten Querschnitten. Mitte: Betonkanufertigung. Rechts: Fertigungsprozess
Kollaboration zwischen Institut für Baustoffe und Gramazio Kohler Research, ETH Zürich

Forschungsprojekt – Koordinierte Regelung von flexiblen Strukturen und Schalungen

Doktoranden

Mariana Popescu, Maryanne Wachter (Prof. Dr. Philippe Block, ETH Zurich)

Yvonne Stürz (Prof. Dr. Roy Smith, Prof. Dr. Manfred Morari, ETH Zurich)

Weitere Mitarbeiter

Dr. Matthias Rippmann, Dr. Tom Van Mele, Dr. Andrew Liew (Prof. Dr. Philippe Block, ETH Zurich)

Dr. Sebastien Guillaume (Institute for Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich)

Links: Mariana Popsecu, Mitte: Maryanne Wachter, Rechts: Yvonne Stürz
Kollaboration zwischen Block Research Group und Automatic Control Laboratory

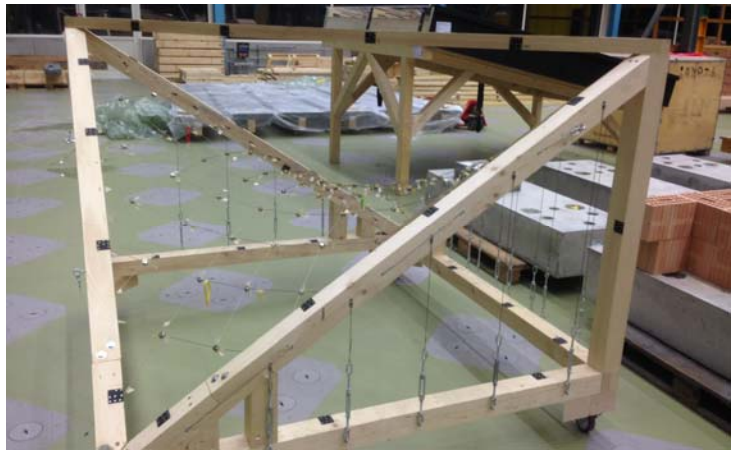
Traditioneller Bauprozess

Baustellenübersicht Ortsbetonarbeiten EPFL – Rolex Learning Center, SANAA, Bollinger + Grohmann (2010) Quelle: http://blogs.epfl.ch/learningcenternews)

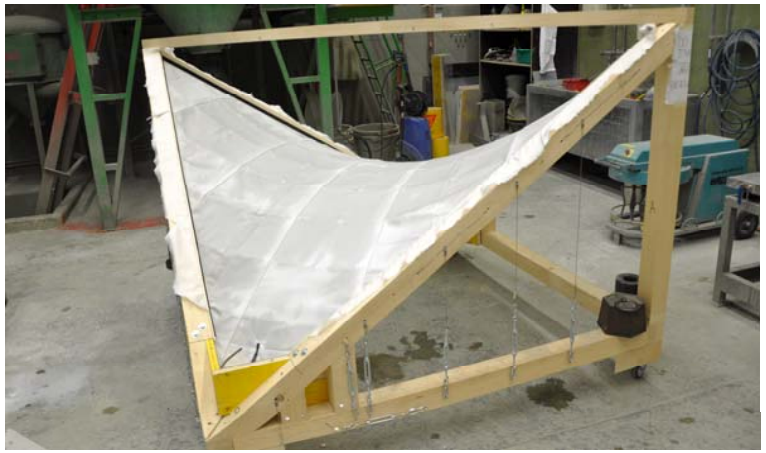
Traditioneller Bauprozess

Links: Schalungskonstruktion für Rolex Learning Center, Rechts: Holzabfall der Schalungen und Unterkonstruktionen
Quelle: http://www.designtoproduction.com

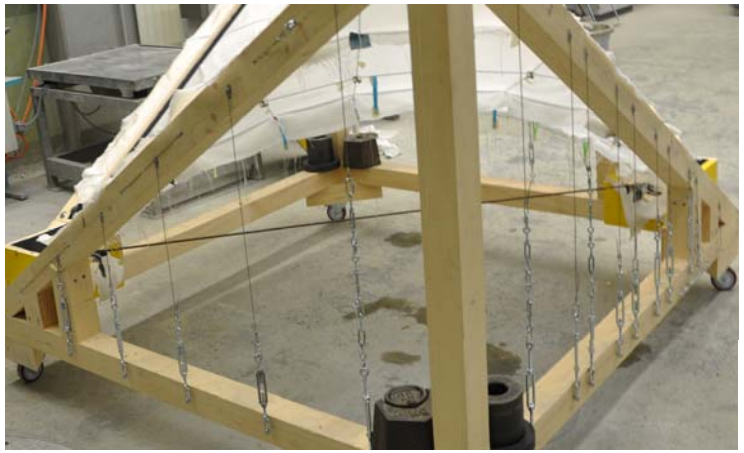
Flexible Schalungen



1- Rahmen und Stahlseilnetz



2- Gewebelage



3- Vorspannen des Kablenetzes

4- untere Betonschicht

5- Textilbewehrung

6- obere Betonschicht

Fabrikationsprozess mit flexiblene Schalungen
Block Research Group, ETH Zürich

Forschungsprojekt 3D – Sanddruck – Team

Benjamin Dillenburger

Mania Meibodi

Mathias Bernhard

Hyunchul Kwon

Andrei Jipa

3D-Druck von Komplexen Strukturen

Vorderansicht “Grotto wall”
Digital Building Technologies, ETH Zürich

Forschungsziel

Neue Entwurfs- und Fertigungsmethoden auf Basis hochauflösender additive Fertigungsstrategien

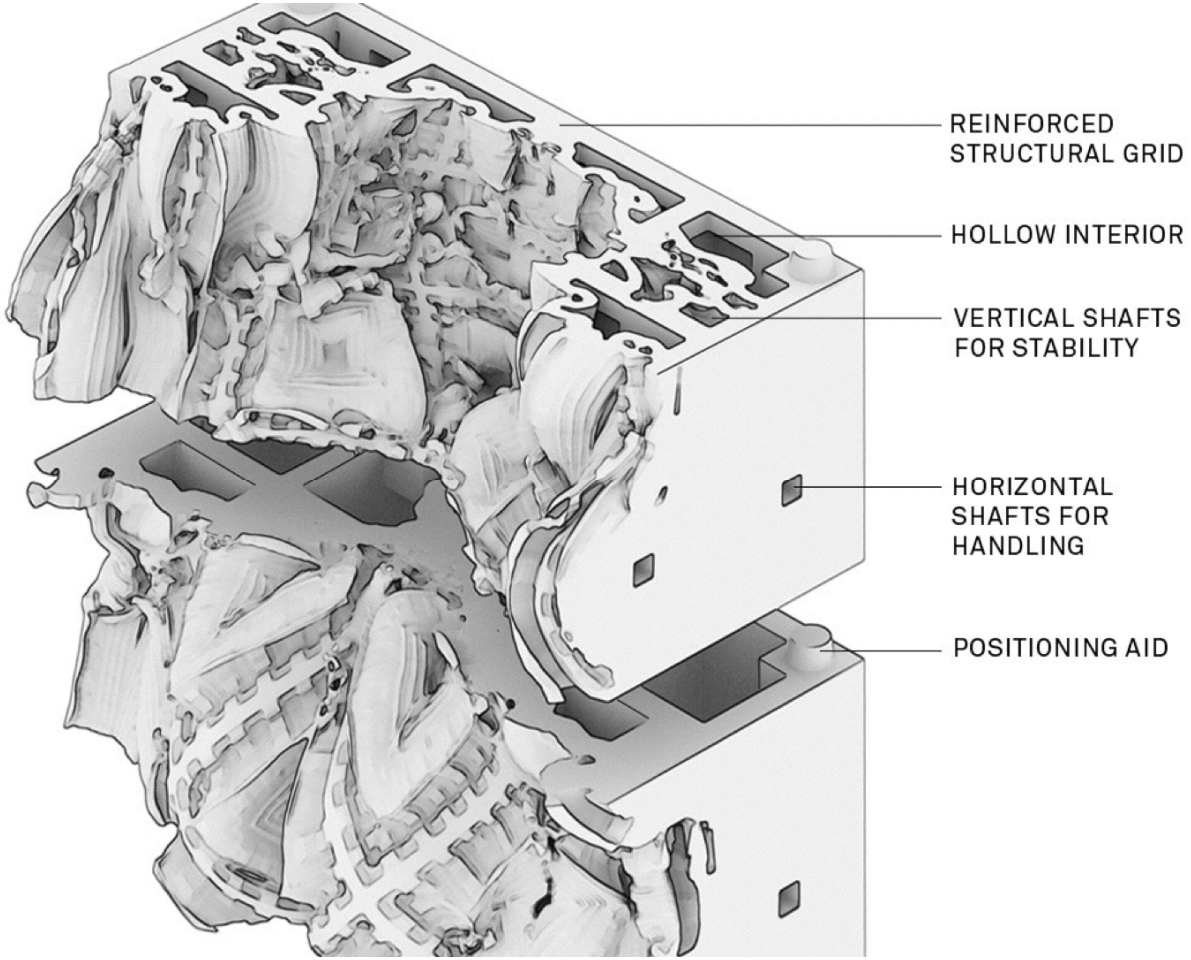
Forschungsschwerpunkte

- Design Software
- 3D Sand-Druck als verlorene Schalung für Betonelemente für integrierte Baukomponenten
- Kohlefaser-verstärkte Betonstrukturen

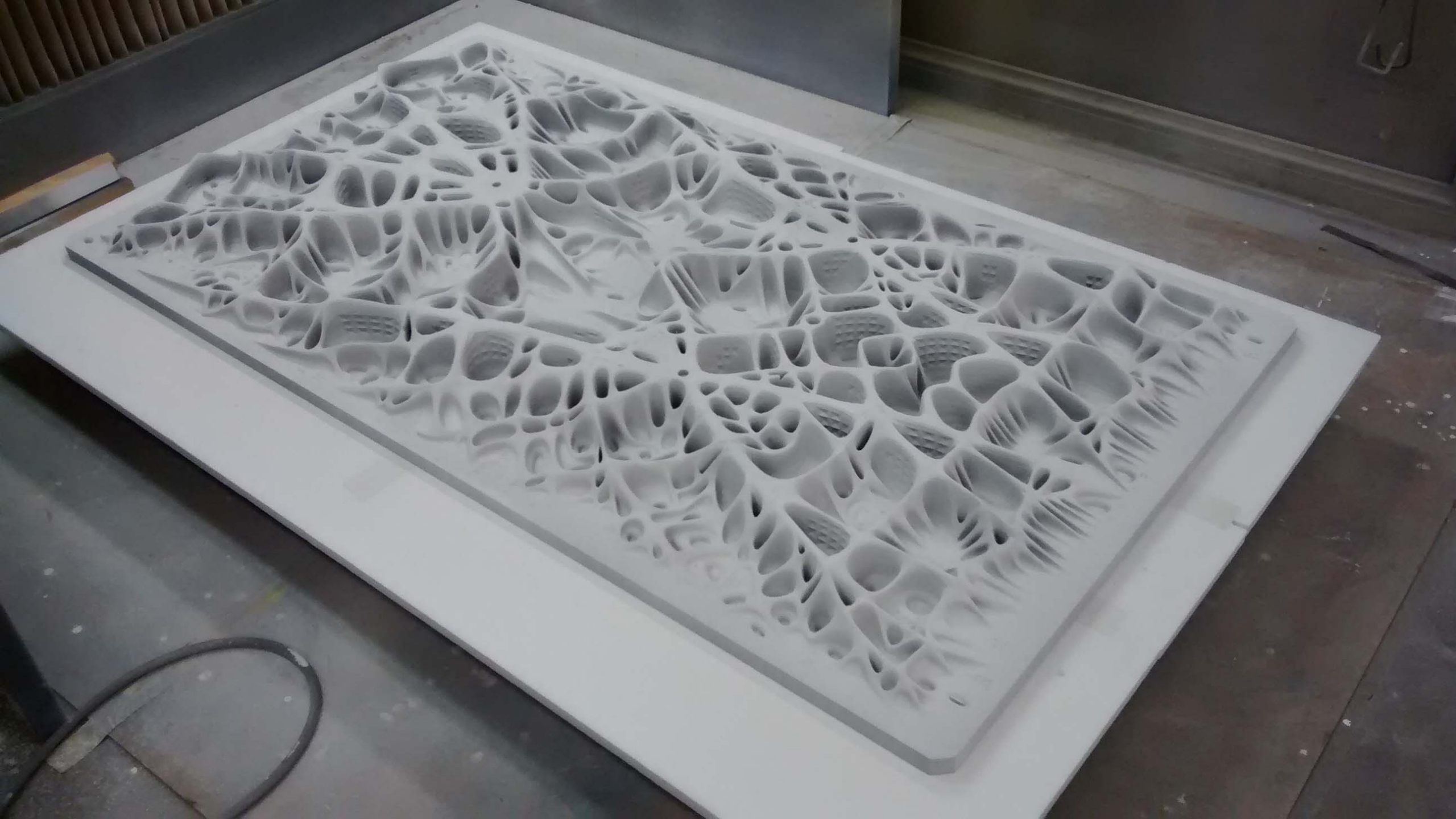
Pulverbasierter 3D-Druck
Digital Building Technologies, ETH Zürich

Pulverbasierter 3D-Druck
Digital Building Technologies, ETH Zürich

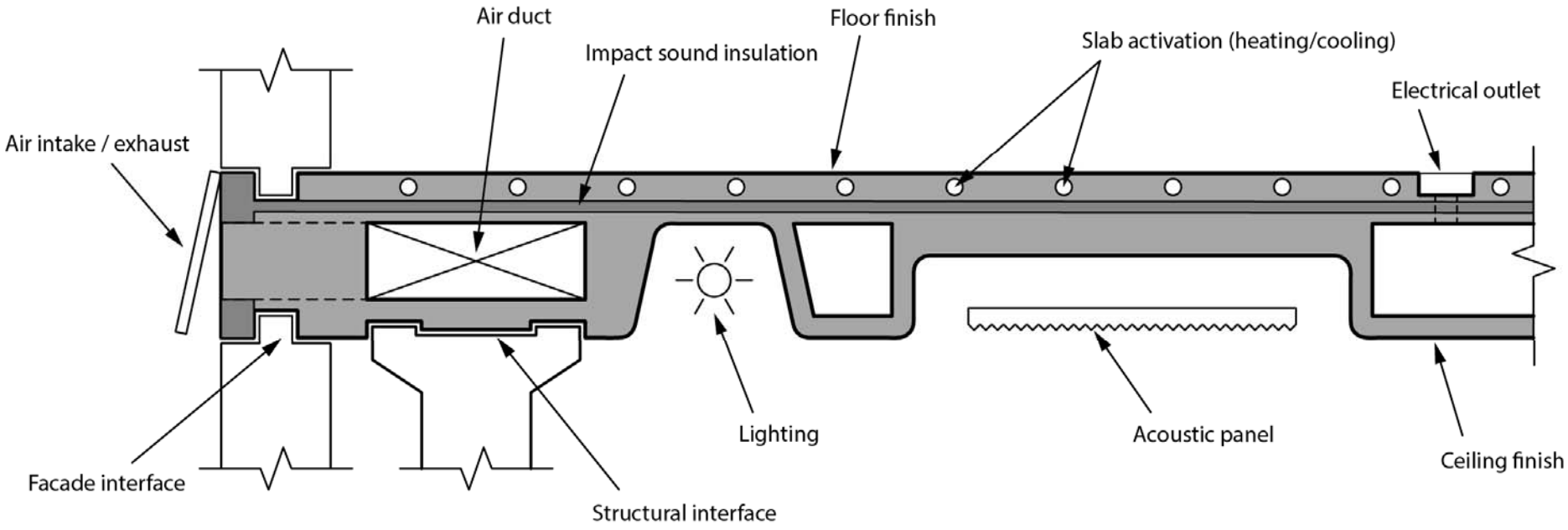
Smart Stones



Funktionsintegrierter Stein
Digital Building Technologies, ETH Zürich



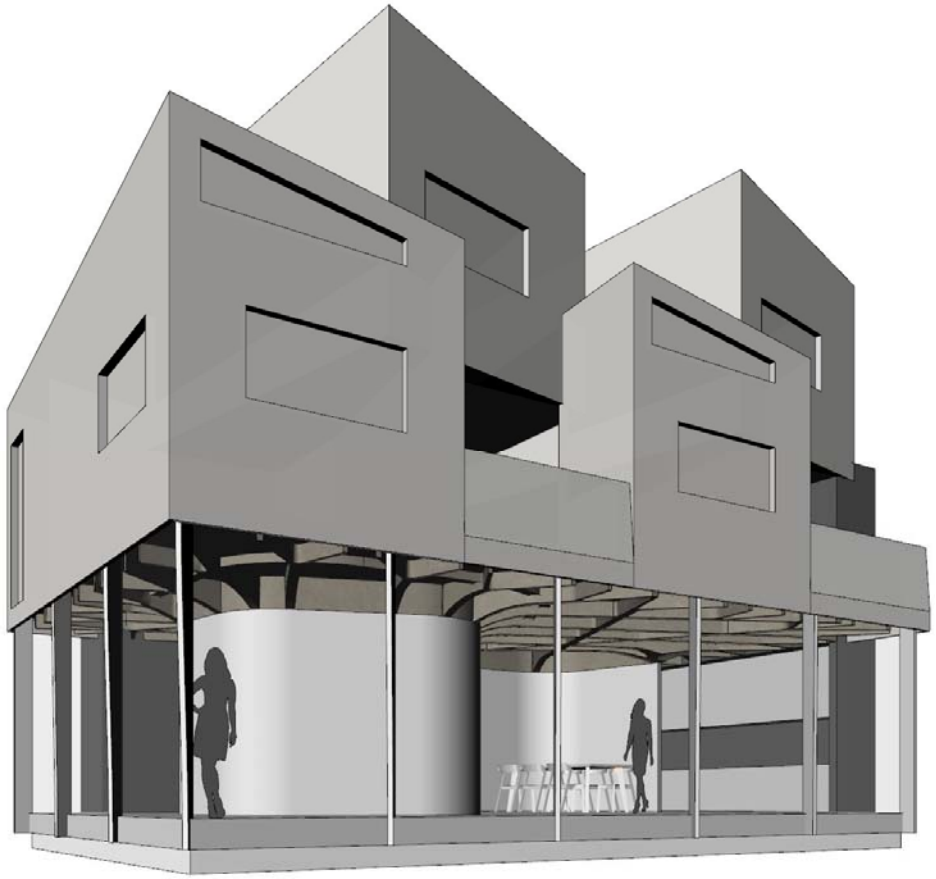
Smart Slab Konzept



Empa NEST-Projekt

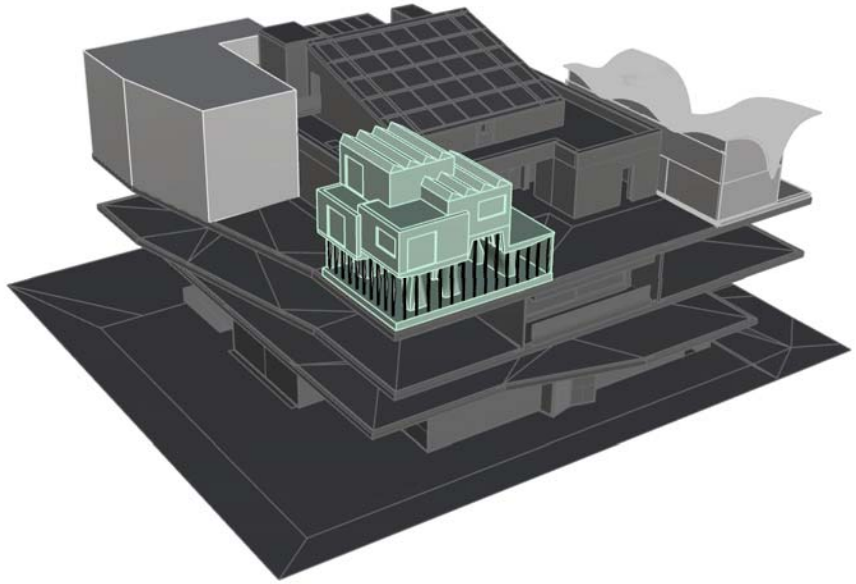
Rendering des NEST-Gebäudes
Empa

Innovations-Objekte im Gesamtkonzept



Konzeptansicht der NEST Unit, NCCR Digital Fabrication

NEST Konzeptskizze

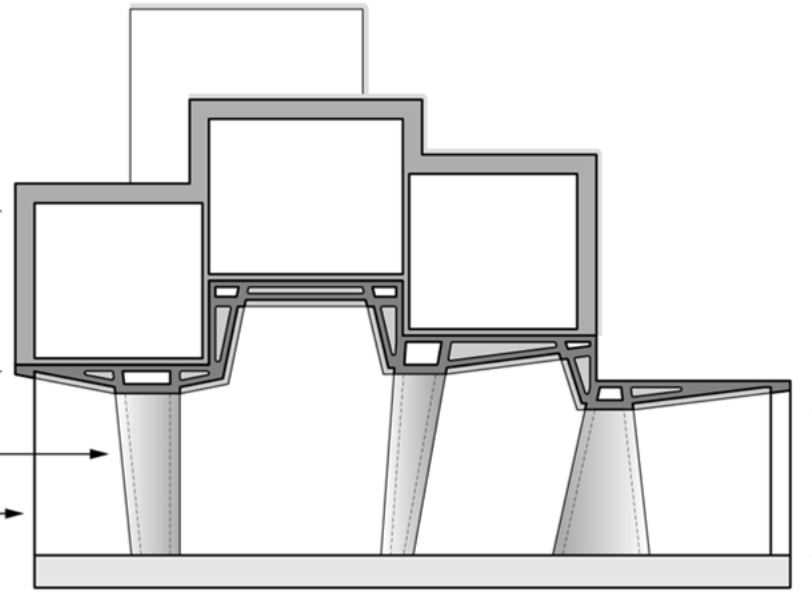


Prefabricated Living Cells
IO#5 Robotic assembly of integral line joints
IO#6 3D prefabricated timber structures

Smart Slab
IO#3 Integrated Floor Slab

Vertical Support and Space Organizer
IO#1 MeshMould
IO#2 In Situ Fabricator

Facade Structure
IO#4 Smart Dynamic Casting



Konzeptstudie der NFS-NEST Einheit
NFS Digitale Fabrikation

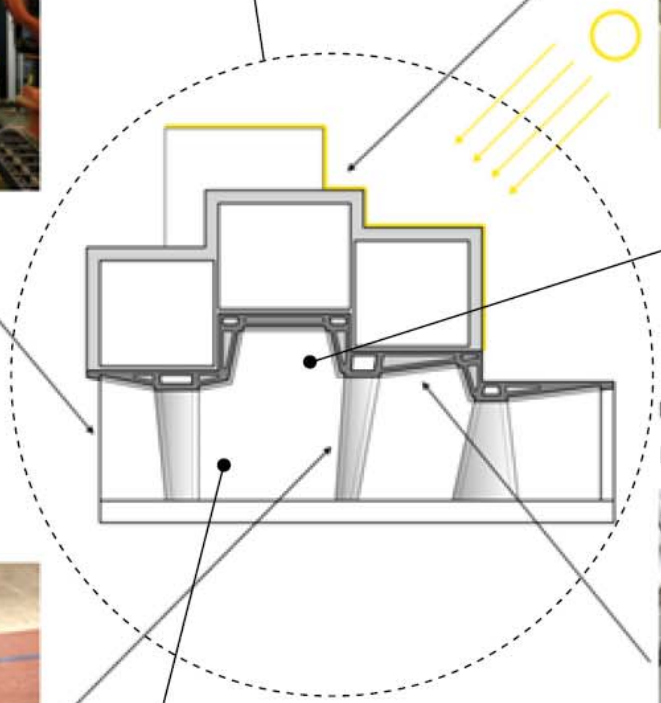
Façade Mullions with Optimized Cross Section

IO#4 Smart Dynamic Casting

Meta Topic

Planning Strategies for

Digital Fabrication



3D Prefabricated Integrated Timber Structures

IO#5 Integral Attachment of Timber Structures

IO#6 Robotic Prefabrication of Timber Structures

Industry Innovations

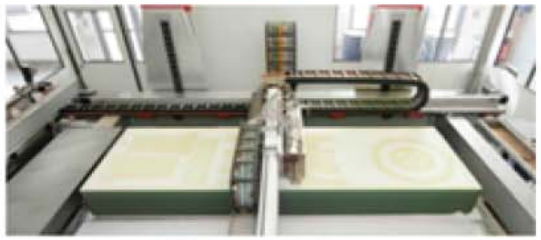
Smart Home

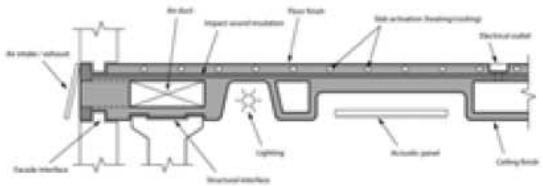
Lighting

BIM

Integrated Light-weight Floor Slab

IO#3 3D Printing for Complex Components





Free Form Loadbearing Wall Structure

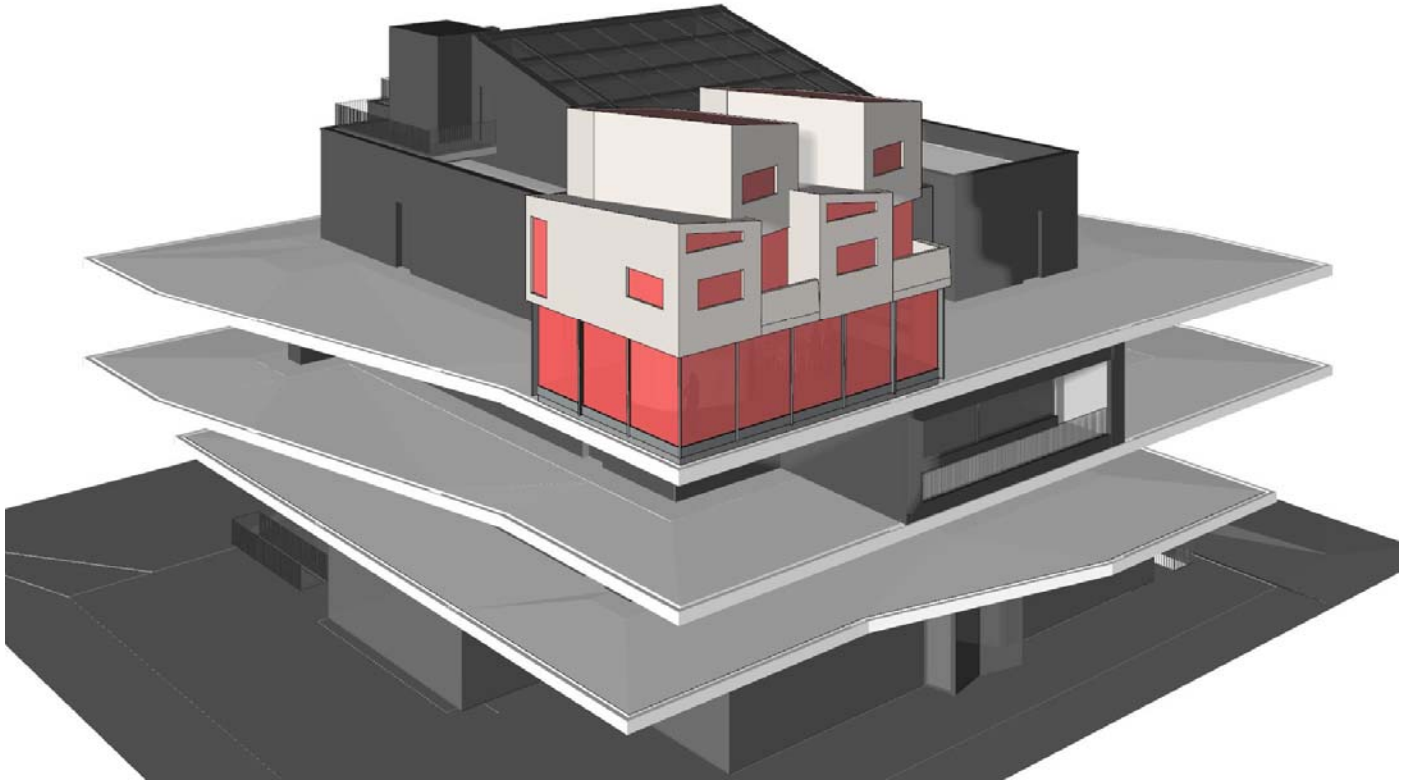
IO#1 Mesh Mould

IO#2 In Situ Fabricator

IO#7 Fireplace 2.0

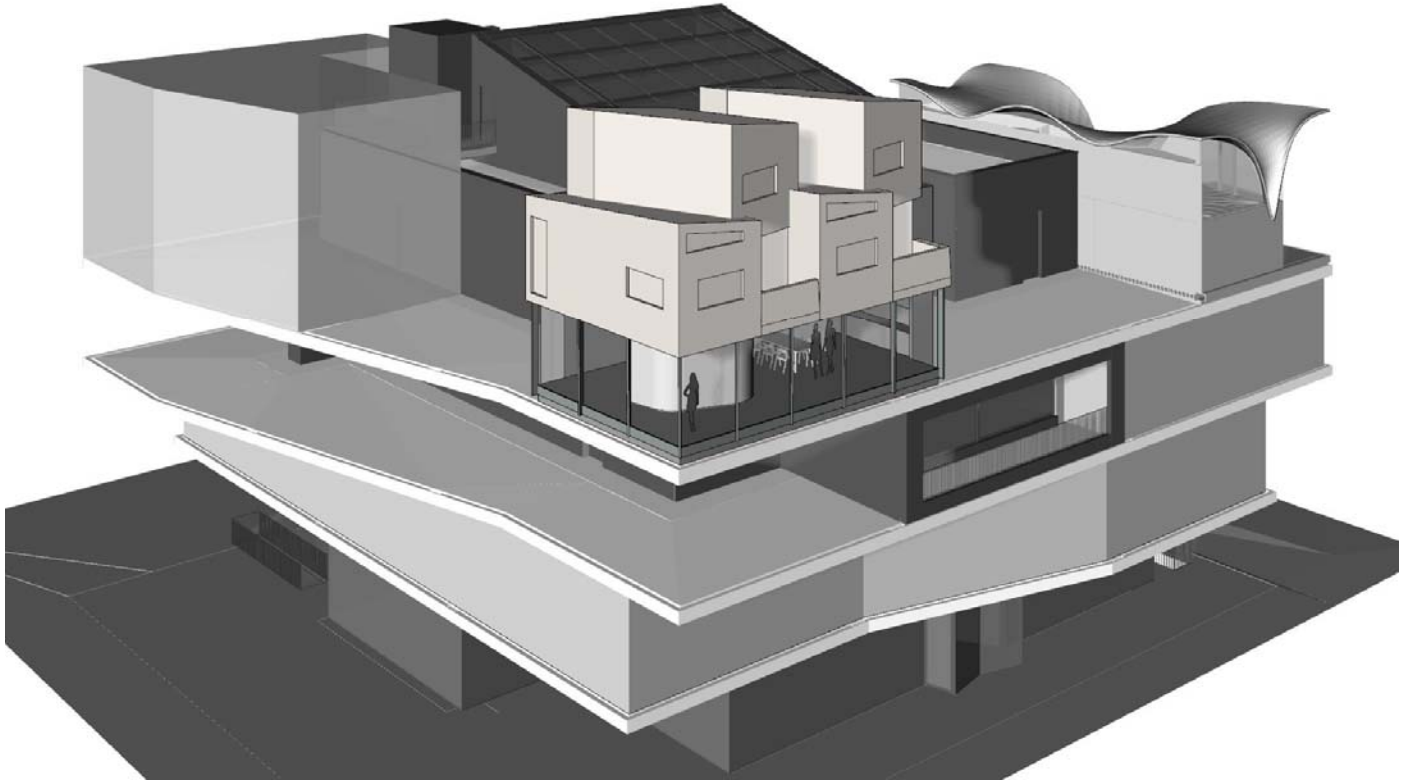
Erstellungs-Sequenz

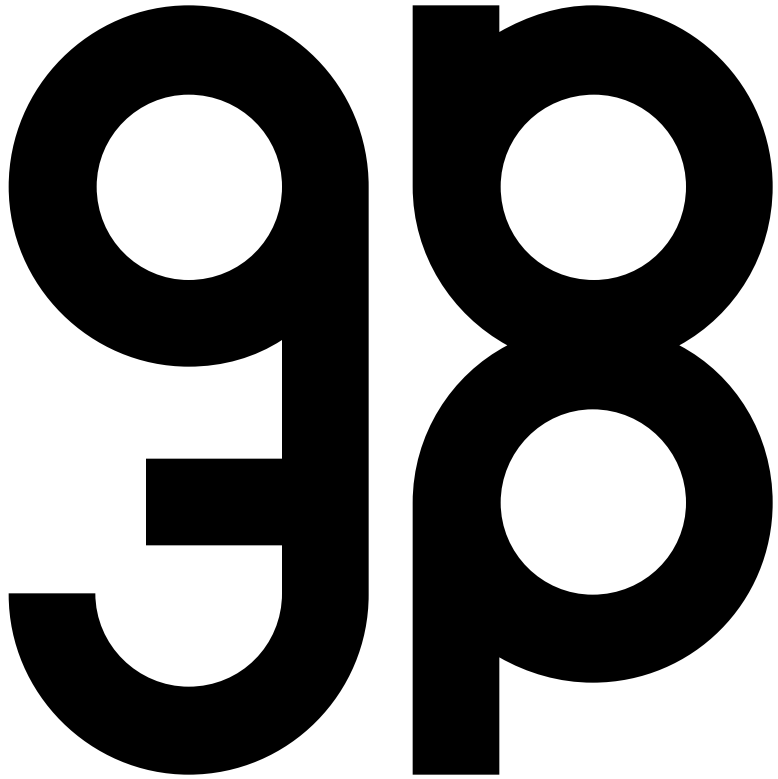
Technische Einbindung in die NEST Energie- und Wasser-Systeme



Erstellungs-Sequenz

Fertiggestellte NEST Unit





National Centre of Competence
in Research
Digital Fabrication

Digital Building Technologies - Printing Architecture

Prof. Benjamin Dillenburger
Institut für Technologie in der Architektur, ETH Zürich
Assistenzprofessor NCCR Digital Fabrication seit Januar 2016

Hintergrund: Computer Aided Architectural Design CAAD

- Unsolvable - Lösungen, die man nicht finden kann
- Undrawable - Entwürfe, die man nicht zeichnen kann
- Unbuildable - Architektur, die man (noch) nicht bauen kann

…any sufficiently advanced technology is indistinguishable from magic…

Arthur C. Clarke

Unsolvable

Heerhugoward, KAISERSROT, 2006-2008

Undrawable

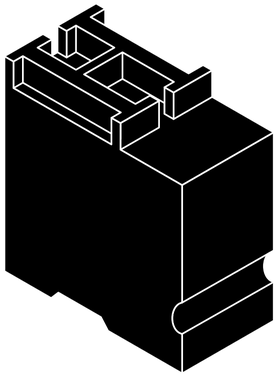
Cupolas, with M. Hansmeyer, 2013

Unbuildable

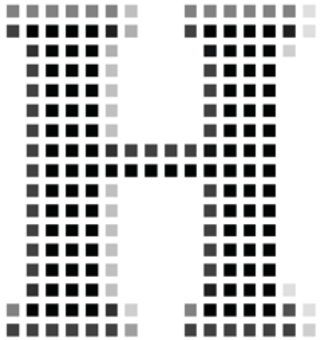
International Architecture Biennale Rotterdam, 2010

Digitale Fabrikation und die Versprechen des 3D Drucks

- Geometrische Komplexität ist keine Einschränkung
- Customization ohne Mehrkosten
- Verschmelzung mehrerer Fabrikationsmethoden in einen
- Multi-Material Elemente - funktional abgestufte Strukturen
- Optimierte Elemente mit hohem technischen Integrationsgrad

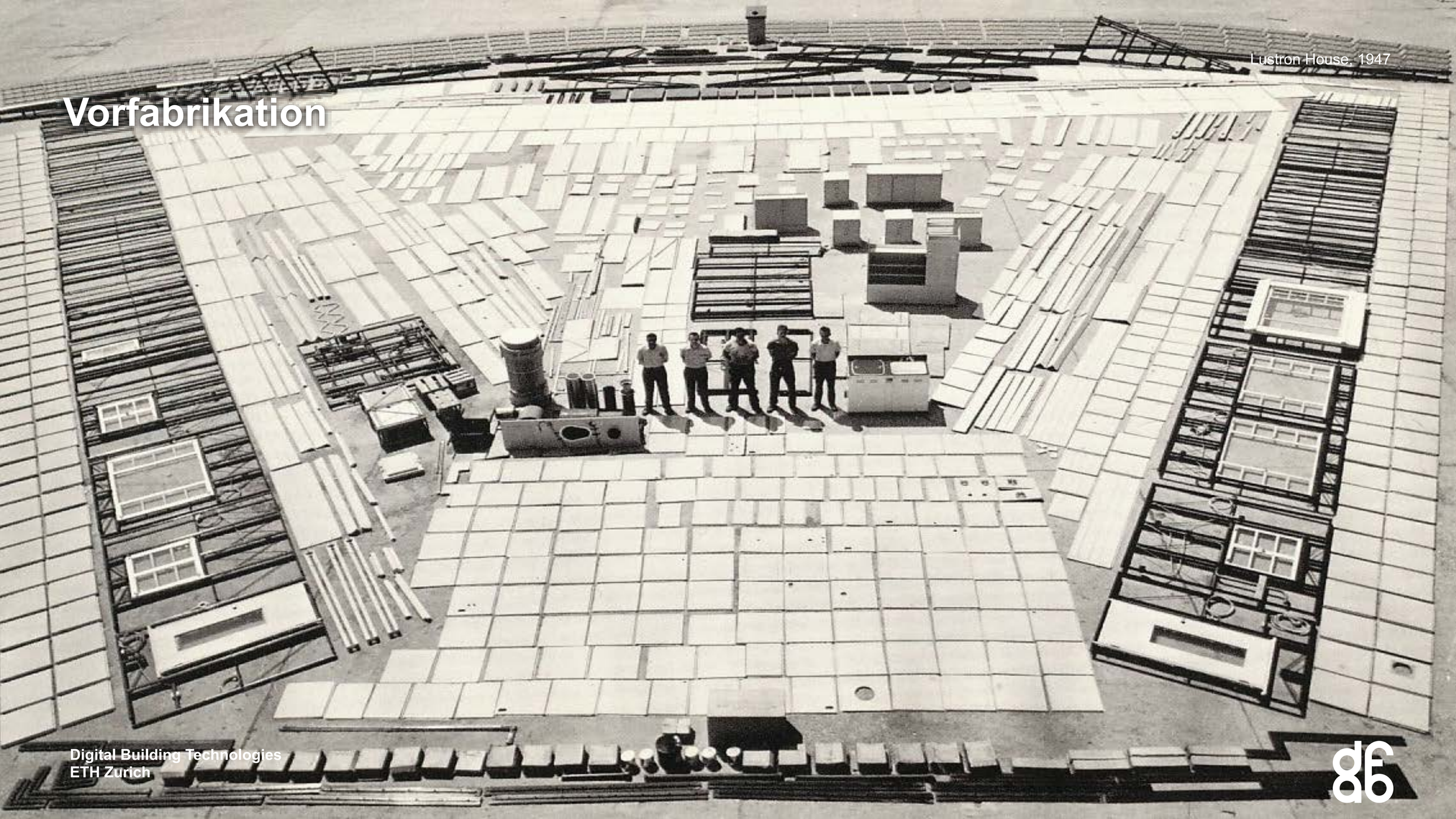


Movable Type



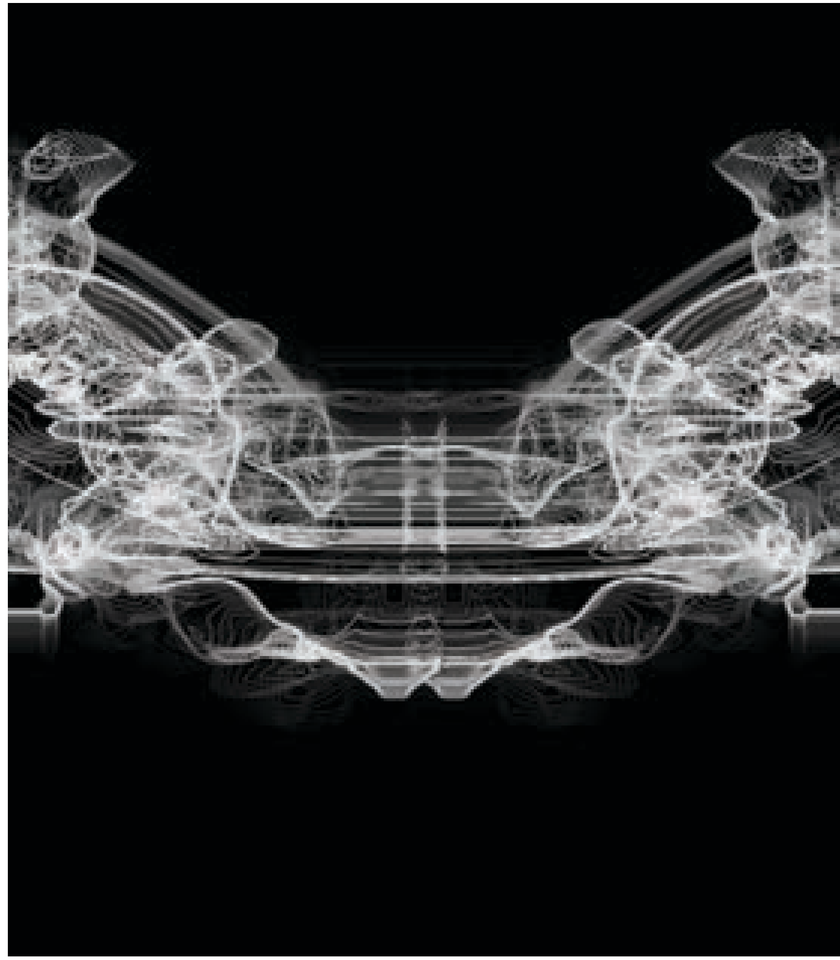
Digital Glyph

Vorfabrikation

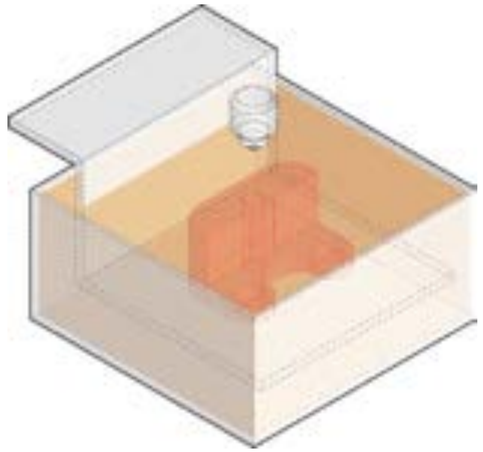


Lustron House, 1947

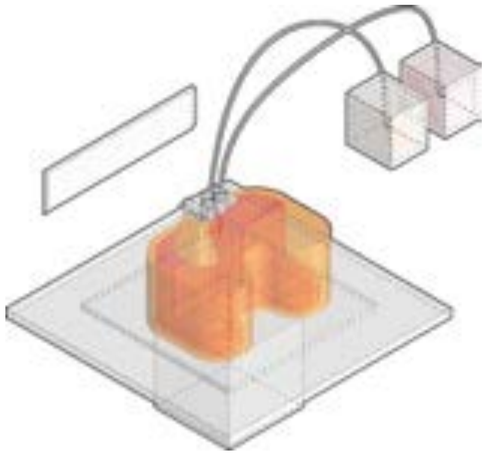
3D Druck: Material - Energie - Information



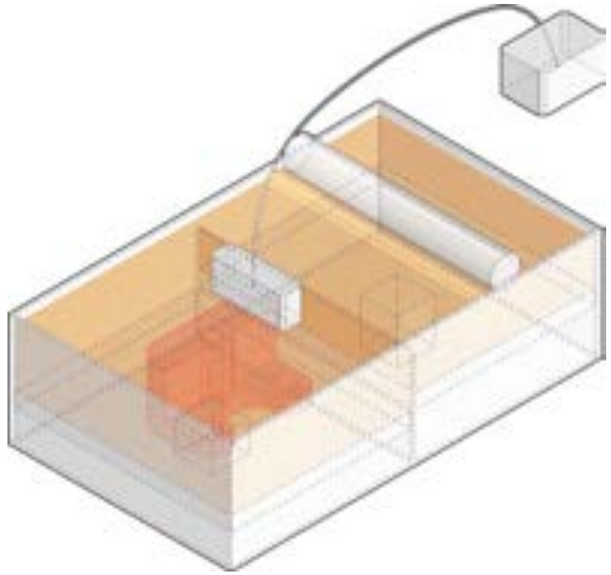
3D Druck: Strategien



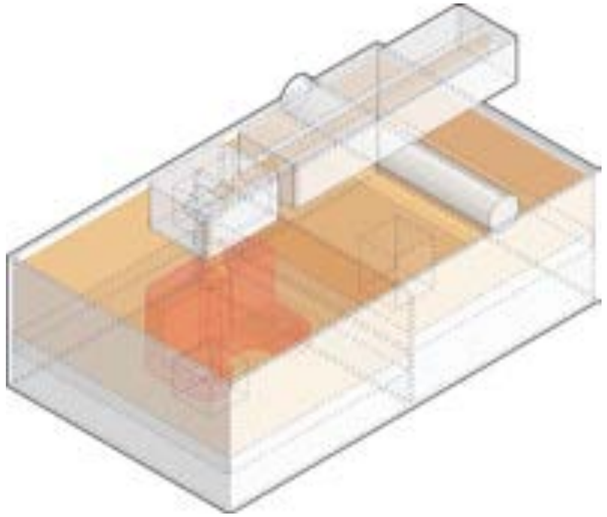
Vat Photopolymerisation



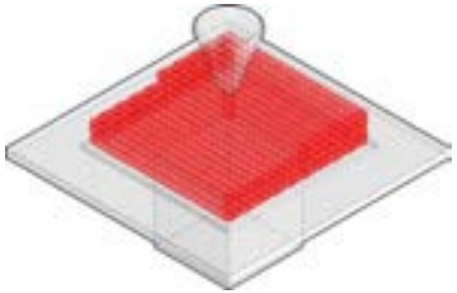
Material Jetting



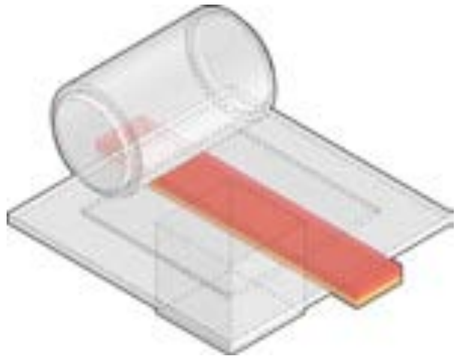
Binder Jetting



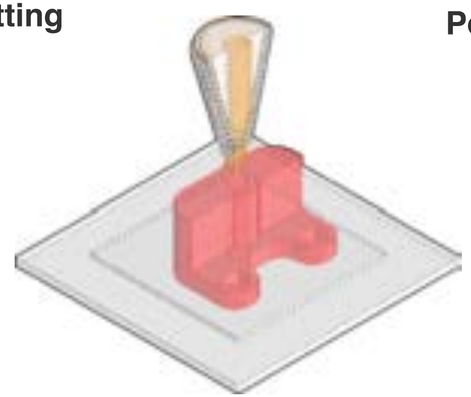
Powder Bed Fusion



Material Extrusion



Sheet Lamination



Directed Energy Deposition

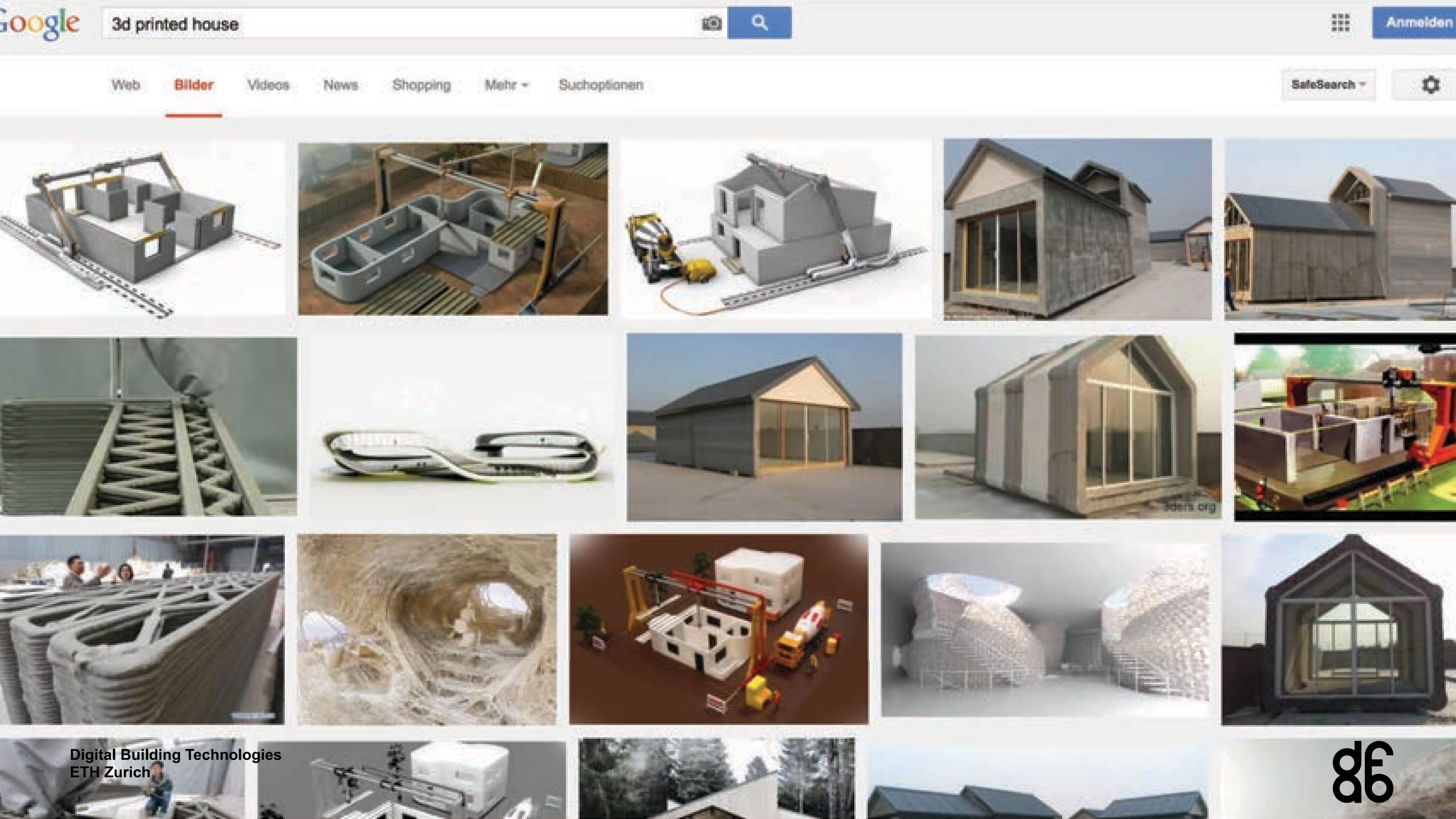
	Pulver-basierter 3D-Druck	**Extrusions-3D-Druck**
Vorteile	+ Geometric Freedom	+ Geschwindigkeit
	+ Präzision (ca. 0.2 mm)	+ Dimensionen
Herausforderungen / Forschung	- Erweiterung des verfügbaren Material-Spektrums	- Armierung
	- limitierte Geschwindigkeit / Grösse	- Geometrische Einschränkungen / Oberflächenqualität

Grossmassstäbliches Additive Manufacturing in der Architektur

- Jedes Haus ist ein Prototyp
- Gebäudeteile kommen nur in Kleinserien vor
- Zunehmende technische Integration und Komplexität der Bauteile
- Interesse an grösserem Entwurfs-Spielraum

Ziele

- Verbesserung der Qualität von vorfabrizierter, nicht-standardisierter Architektur
- Eröffnen von neuen entwerferischen Möglichkeiten für die Architektur


Google
3d printed house
Anmelden
Web
Bilder
Videos
News
Shopping
Mehr
Suchoptionen
SafeSearch

Herausforderungen für grossmassstäblichen 3D-Druck in der Architektur

- Grösse, Geschwindigkeit und Auflösung des 3D-Druck Prozesses
- Geometrische Einschränkungen abhängig vom gewählten Prozess
- Spektrum von Druckbaren Materialien
- Statische Tragfähigkeit der gedruckten Teile
- Entwurfswerkzeuge die erlauben die Freiheiten voll auszunutzen

Binder-Jetting

Pulverbasierter 3D-Druck

Image Voxeljet AG

Beton-Extrusion

MakerBot
MakerBot Replicator

Robotic Fabrication Laboratory

Digital Building Technologies
ETH Zurich

Hybrid Manufacturing

Lewis Grand Hotel by Andrey Rudenko, 3D Printed Concrete

Hybrid manufacturing = additive manufacturing + additional CNC-manufacturing (subtractive)

Projekte

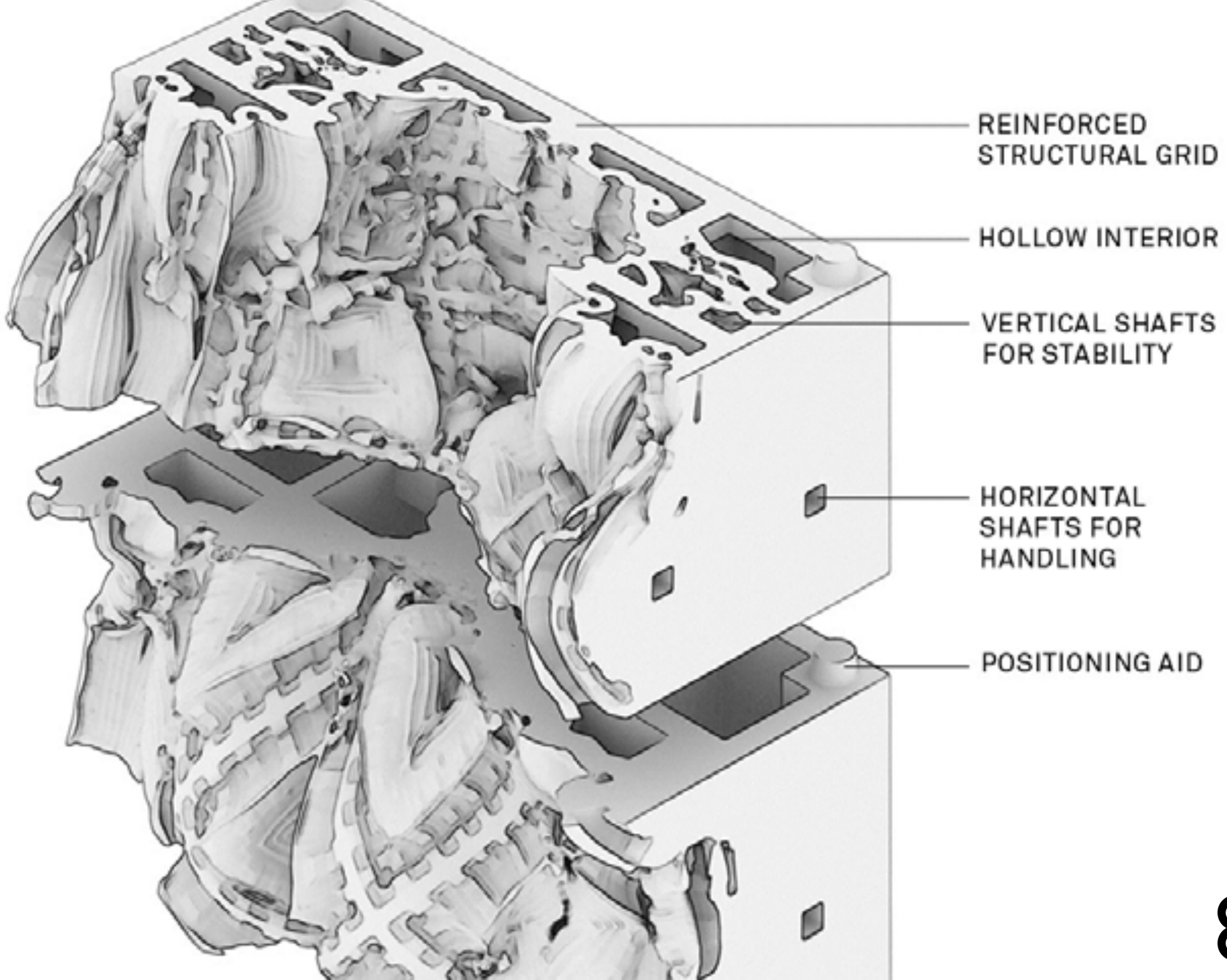
Initial Grotto Concept

Letztes 2D-Modell

Digital Grotesque, Commission FRAC, 2014

Digital Building Technologies
ETH Zurich

Smart Stones



Digital Grotesque, Commission FRAC, 2014

Keine Zusatzkosten durch Komplexität

Digital Grotesque, Commission FRAC, 2014

Digital Building Technologies
ETH Zurich

Virtual:

260 million facets

30 billion voxels

78 GB production data

1 year (1 day)

Physical:

11 tons of sandstone

0.13 mm layer height

16 m^2 area, 3.2 m height

1 month / 1 day

Digital Building Technologies
ETH Zurich

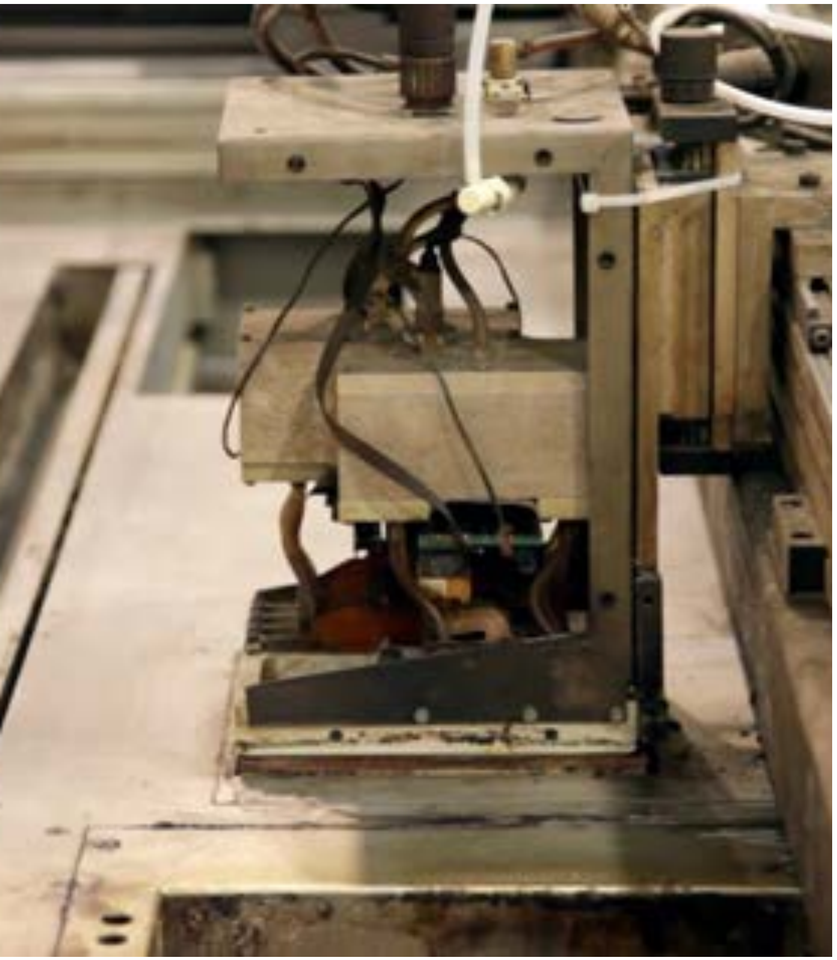
Digital Building Technologies
ETH Zurich

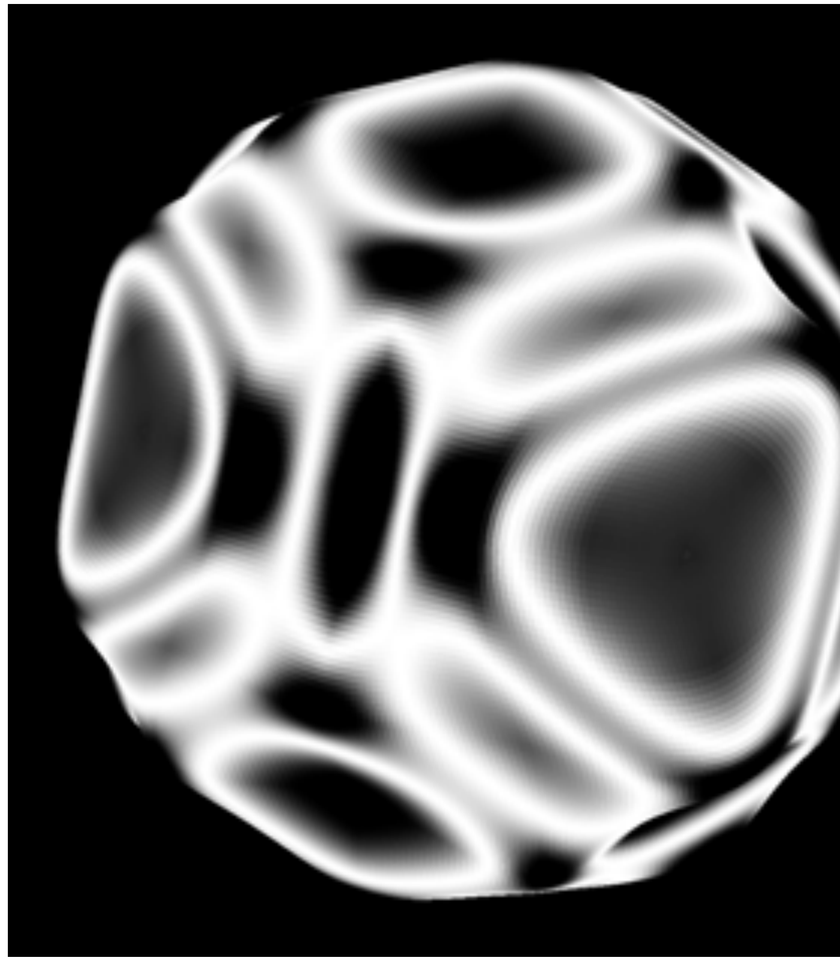
Photo: Demetris Shammas, Achilleas Xydis

Digital Building Technologies
ETH Zurich

PRINTING . ARCHITECTURE

Forschung: Fabrikation, Konstruktion, Computation





Forschungsschwerpunkte

Fabrikation (Large scale Additive Manufacturing)
Grosser Binder-Jet 3D-Druck (hohe Auflösung und hohe Komplexität, Vorfabrikation)
Grossmassstäbliche Extrusionsdruck & Hybrid Manufacturing
(geringere Auflösung, grössere Dimension, On Site)

Konstruktion
Freeform-Formwork (Schalungsbau)
Integrative Bauteile, Komposit-Konstruktionen
3D-gedruckte Leichtbau-Strukturen

Computational Design
Material Reduktion der 3D-gedruckten Elemente
Entwurfs-Software für 3D Strukturen
(Automatische Detailierung, Segmentation, Verbindungen, Integration von Infrastruktur)

Oberfläche

Digital Building Technologies
ETH Zurich

Volumen

Arabesque Wall, Design Exchange Museum, Toronto, 2015

Digital Building Technologies
ETH Zurich

Pulverbasierter 3D-Druck: Parametrische Freiform-Schalungen

Digital Building Technologies
ETH Zurich

INCIDENTAL

SPACE

LA BIENNALE
DI VENEZIA

SWISS
PAVILION

CHRISTIAN KEREZ
ZURICH AG

Digital Building Technologies
ETH Zurich

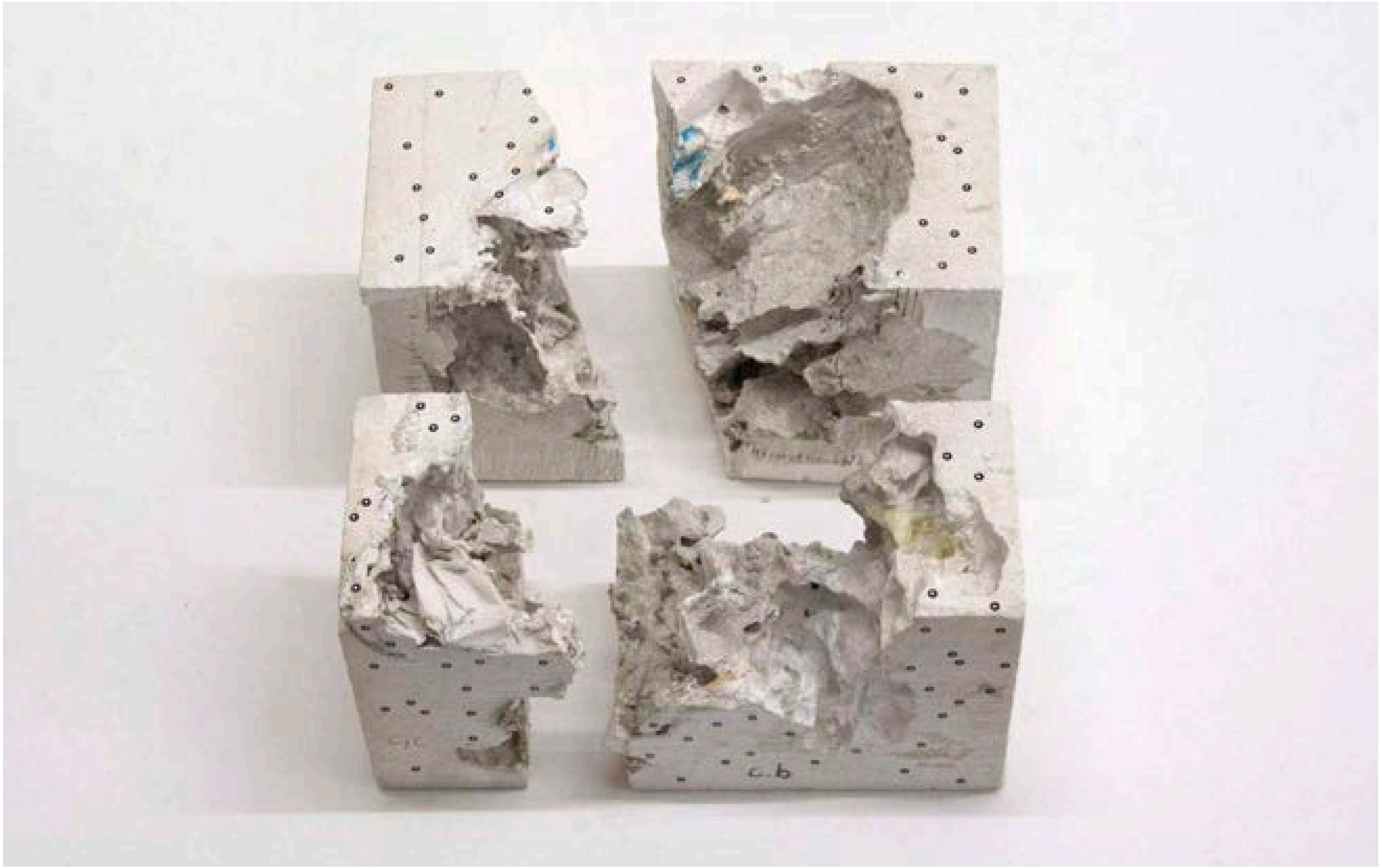
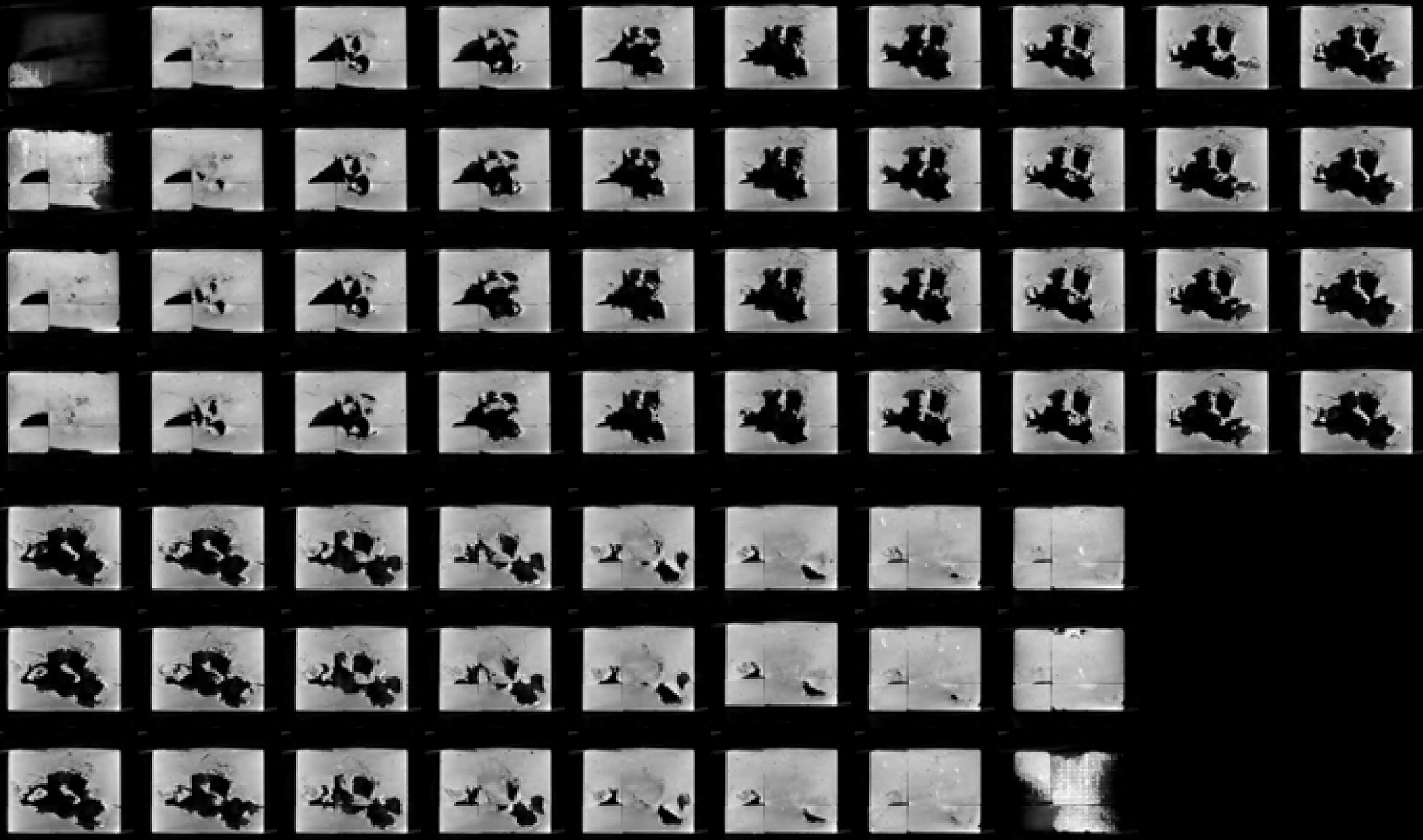


Image: Oliver Dubuis

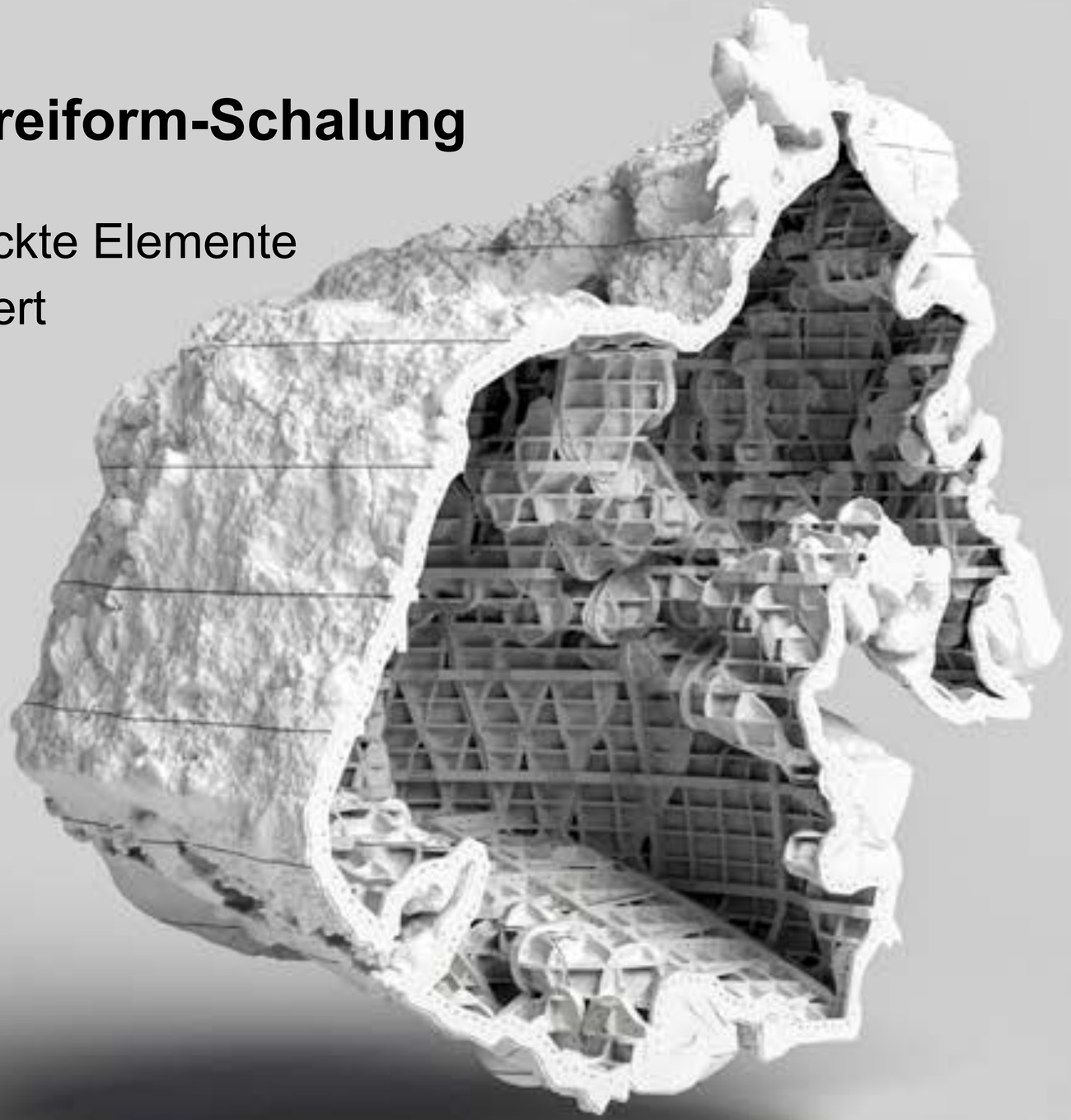


Rendering: Hyunchul Kwon

Diese Sequenz grosszügig einbetonieren, damit eine Überzugwirkung entsteht
D
4
3
2
horizontales Zugband
Zugband für „Pferdekopf"

3D gedruckte Freiform-Schalung

Über 100 3D gedruckte Elemente
automatisch detailliert



Rendering: Poltak Pandjaitan

Digital Building Technologies
ETH Zurich

Rendering: Poltak Pandjaitan

Digital Building Technologies
ETH Zurich

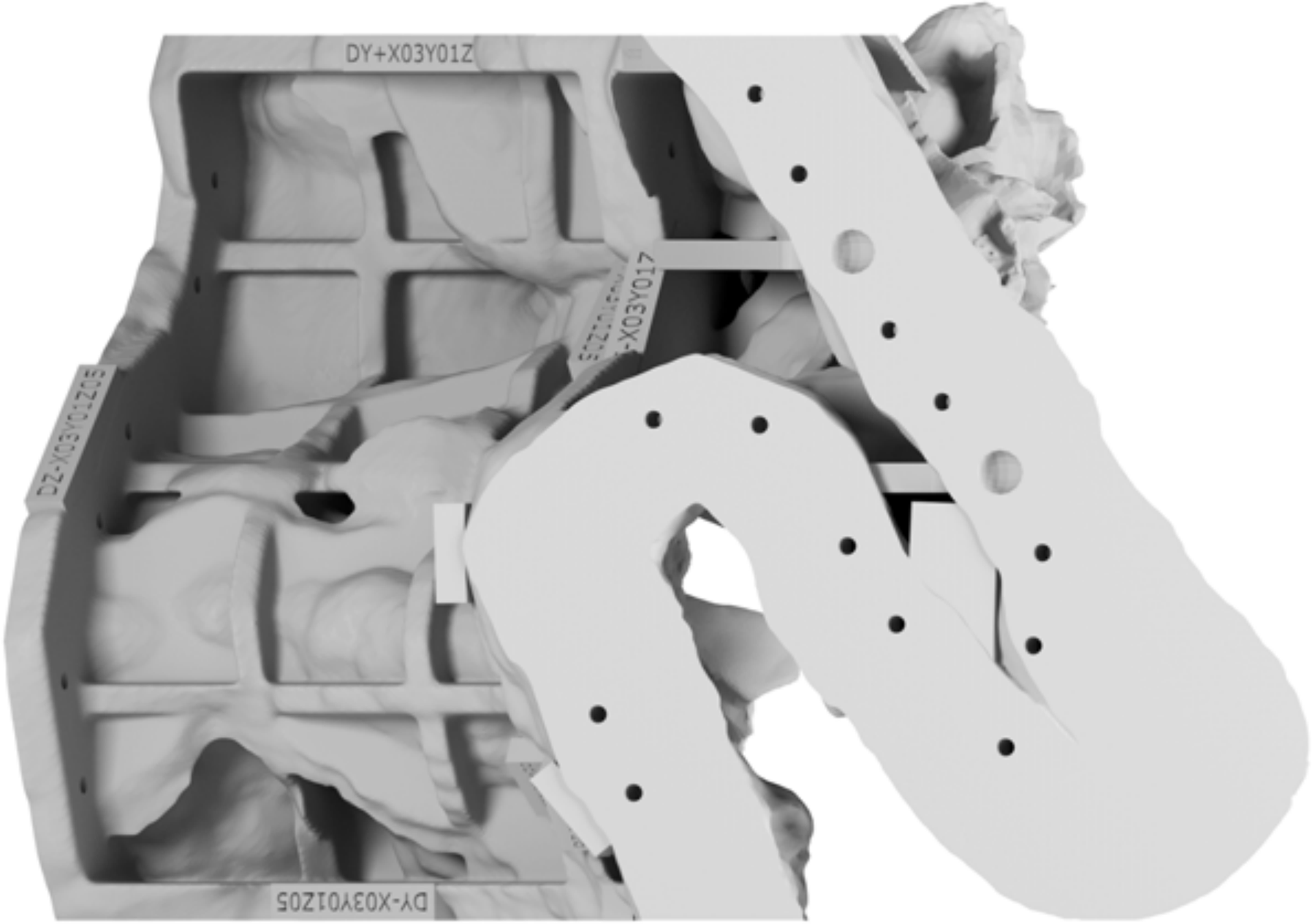

DY+X03Y01Z
DZ-X03Y01Z05
DY-X03Y01Z05

Image: Andrei Jipa

Faserverstärkter Spritzbeton

Leichtbau-Konstruktion von 20mm Dicke für einen 5m hohen Raum.

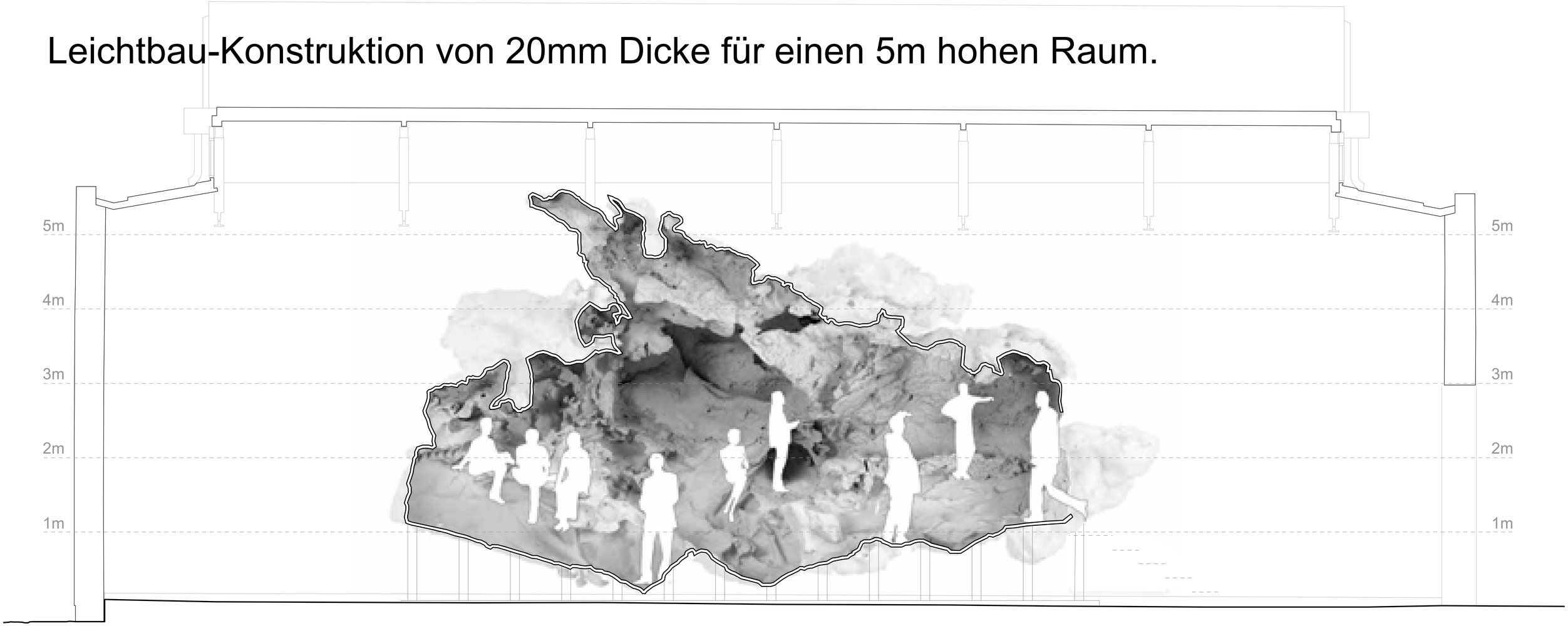


Image: C. Kerez

Image: Christian Kerez

Image: Christian Kerez

Digital Building Technologies
ETH Zurich

Image: Christian Kerez

Image: Christian Kerez

Digital Building Technologies
ETH Zurich

Image: Christian Kerez

Digital Building Technologies
ETH Zurich

Image: Christian Kerez

Digital Building Technologies
ETH Zurich

Image: Christian Kerez

Digital Building Technologies
ETH Zurich

3D gedruckte architektonische Bauteile

Eine NCCR dfab Zusammenarbeit

Digital Building Technologies (DBT / ITA / D-ARCH)

Benjamin Dillenburger, Mania Meibodi, Mathias Bernhard, Andrei Jipa

Physical Chemistry of Building Materials (PCBM / IFB / D-BAUG)

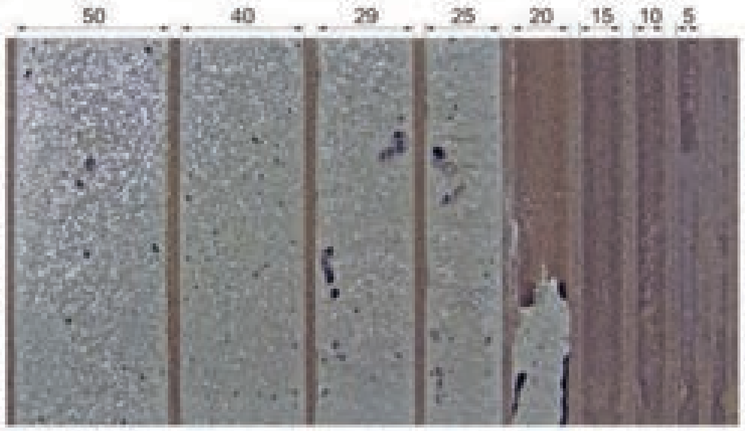
Robert Flatt, Timothy Wangler, Nicolas Ruffray

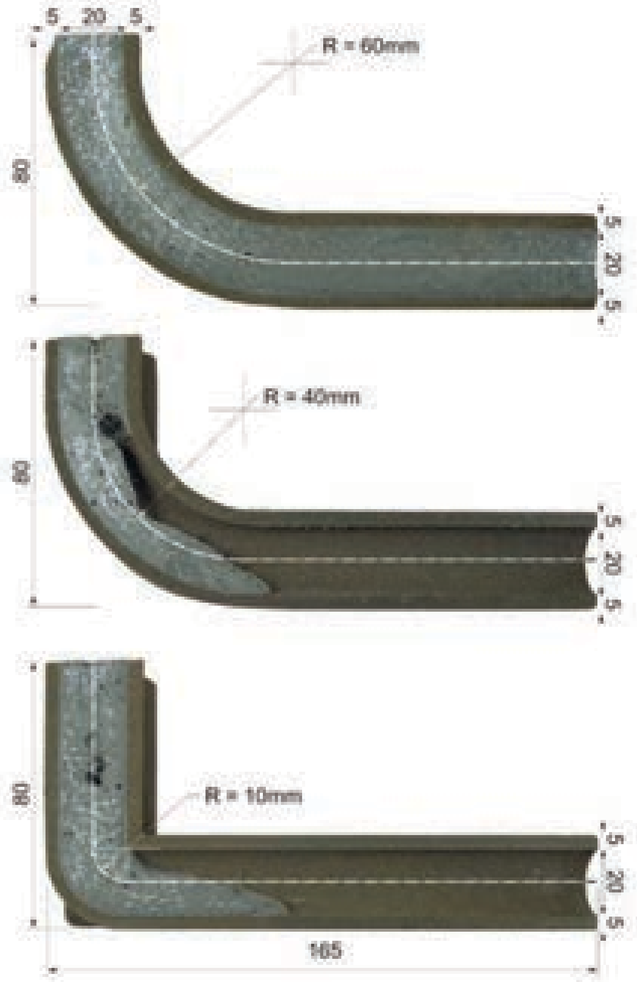
Studenten: Felix Stutz, Neil Montague de Taisne

Industrie Partner: Christen Guss AG

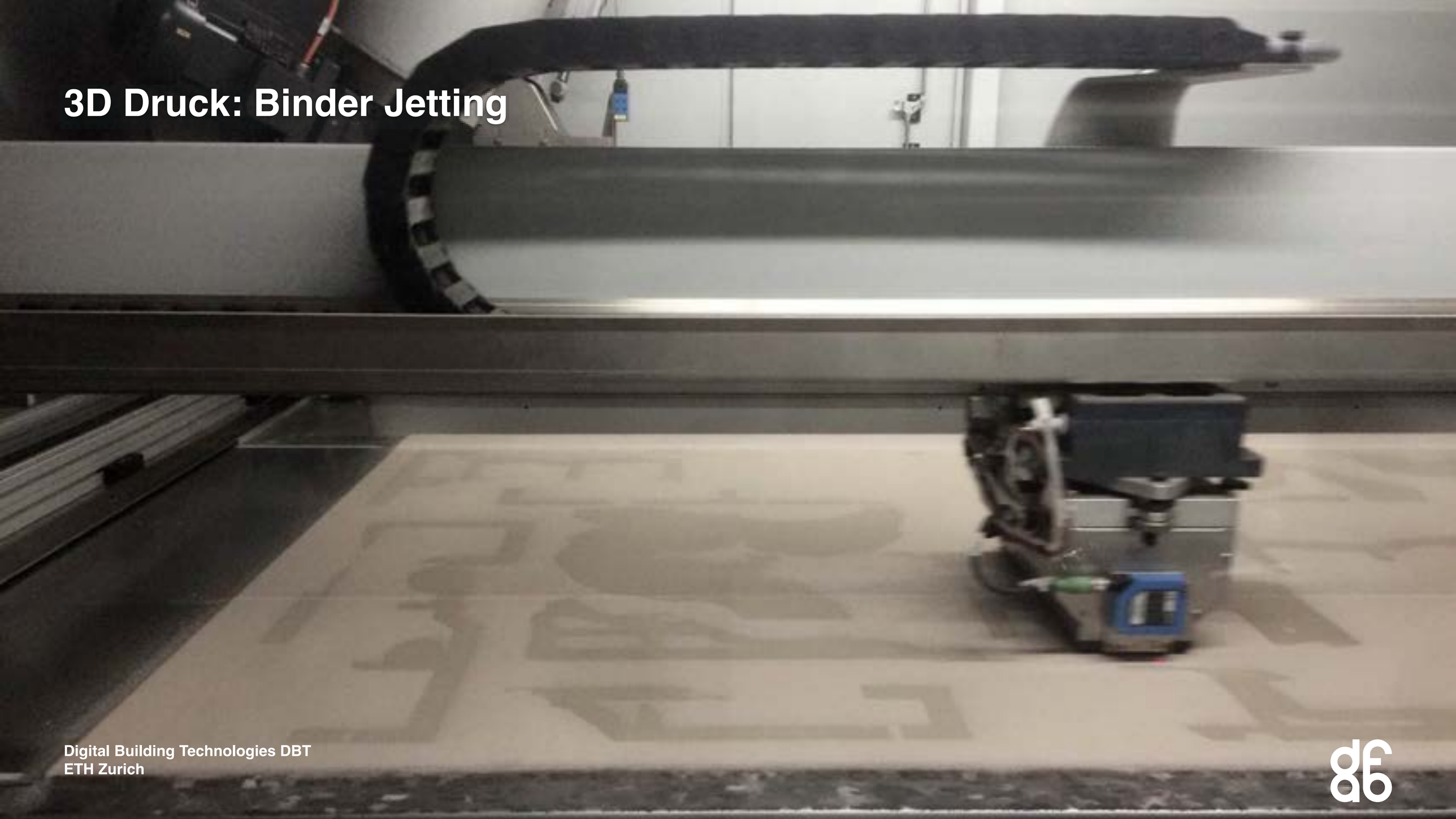
Druck- und Biegetests

3D-gedruckte Kompositbauteile





3D Druck: Binder Jetting

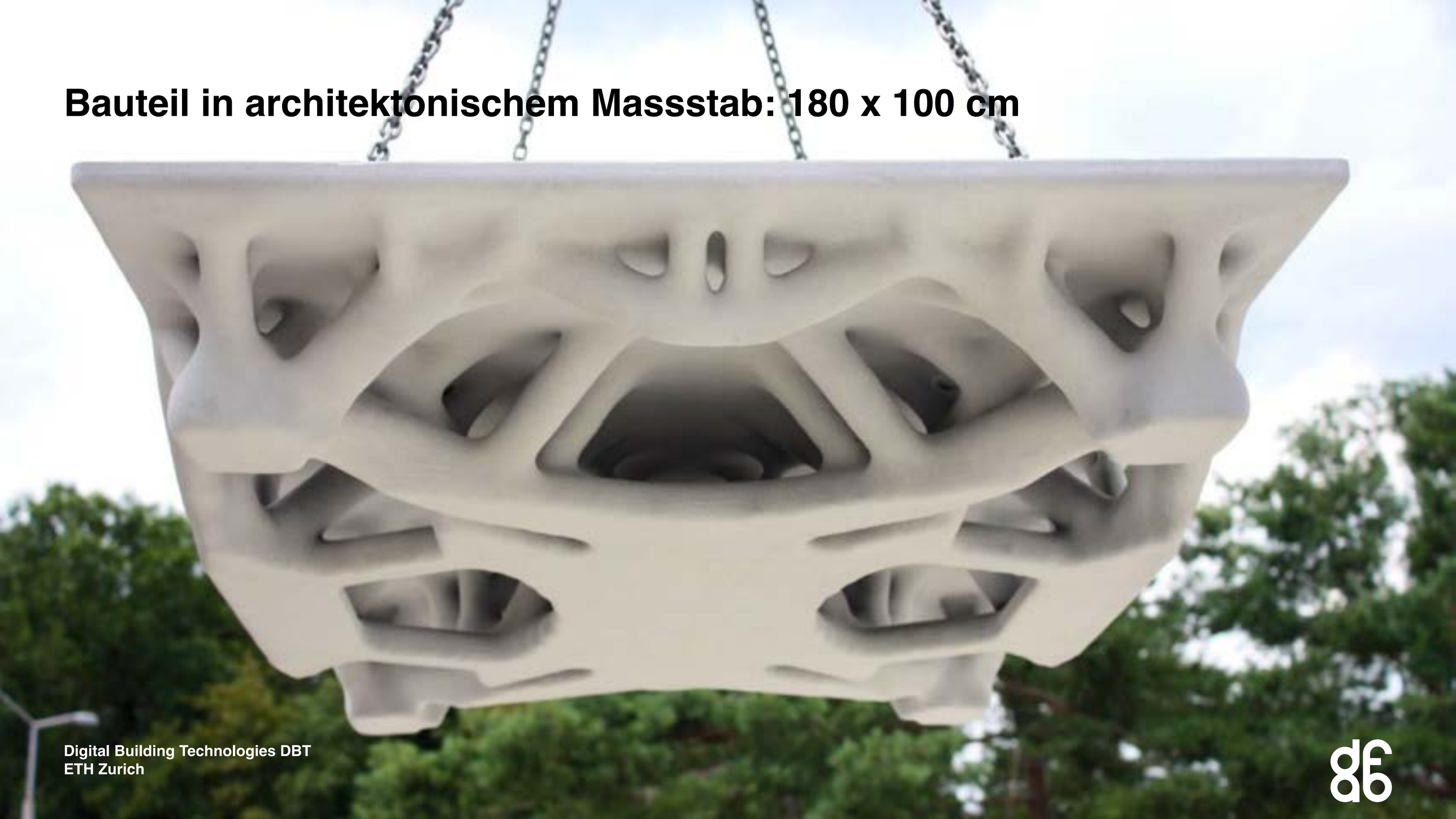


Entfernen des losen Sandes aus inneren Hohlräumen

Digital Building Technologies DBT
ETH Zurich

Schalung gefüllt mit 50 Litern faserverstärktem Beton
Betonmenge entspricht einer nur 3 cm dicken Platte
Faserlänge: 10 mm

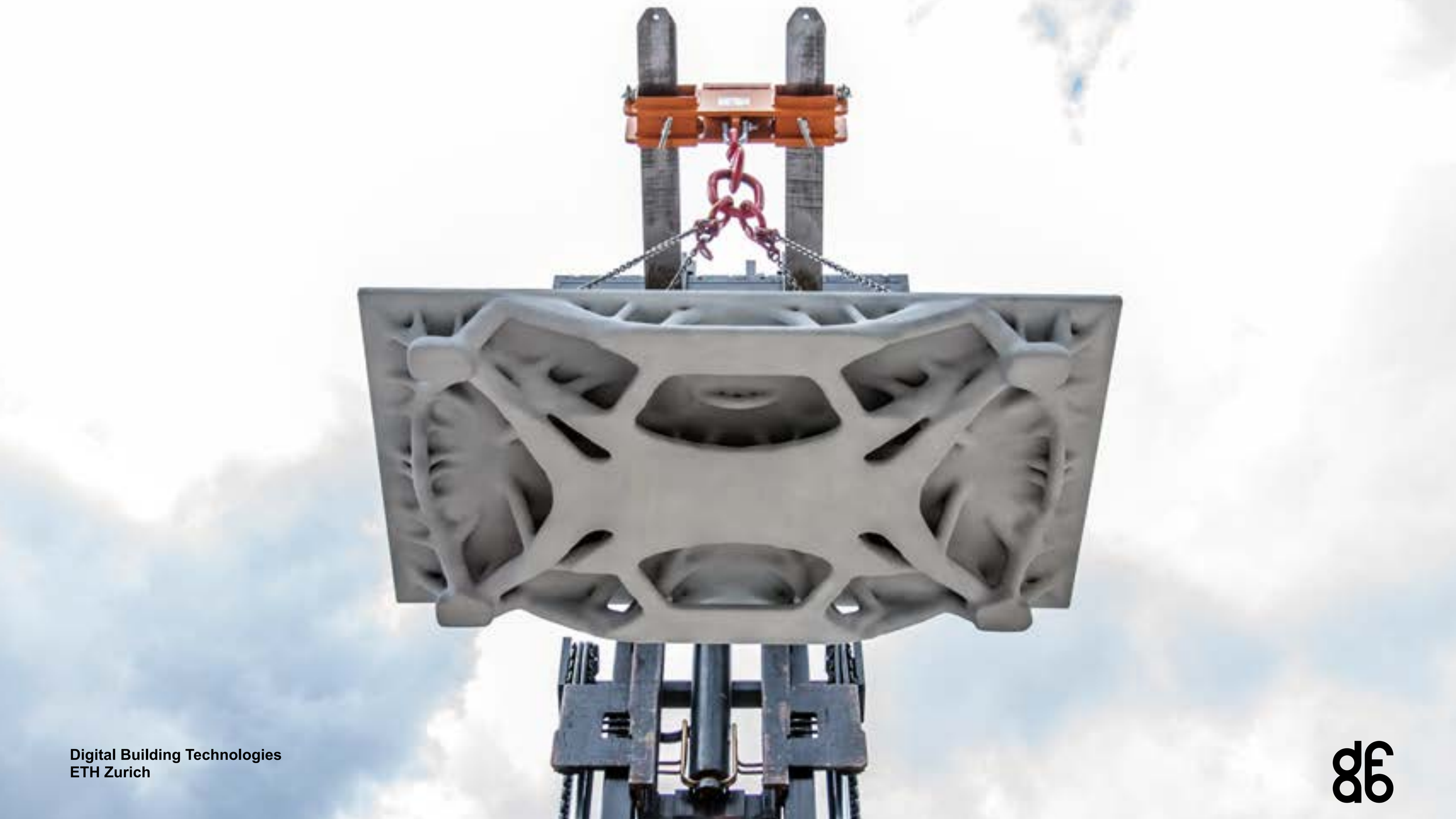
Bauteil in architektonischem Massstab: 180 x 100 cm



Tragfähiges Bauteil, erfolgreich getestet mit 480 kg

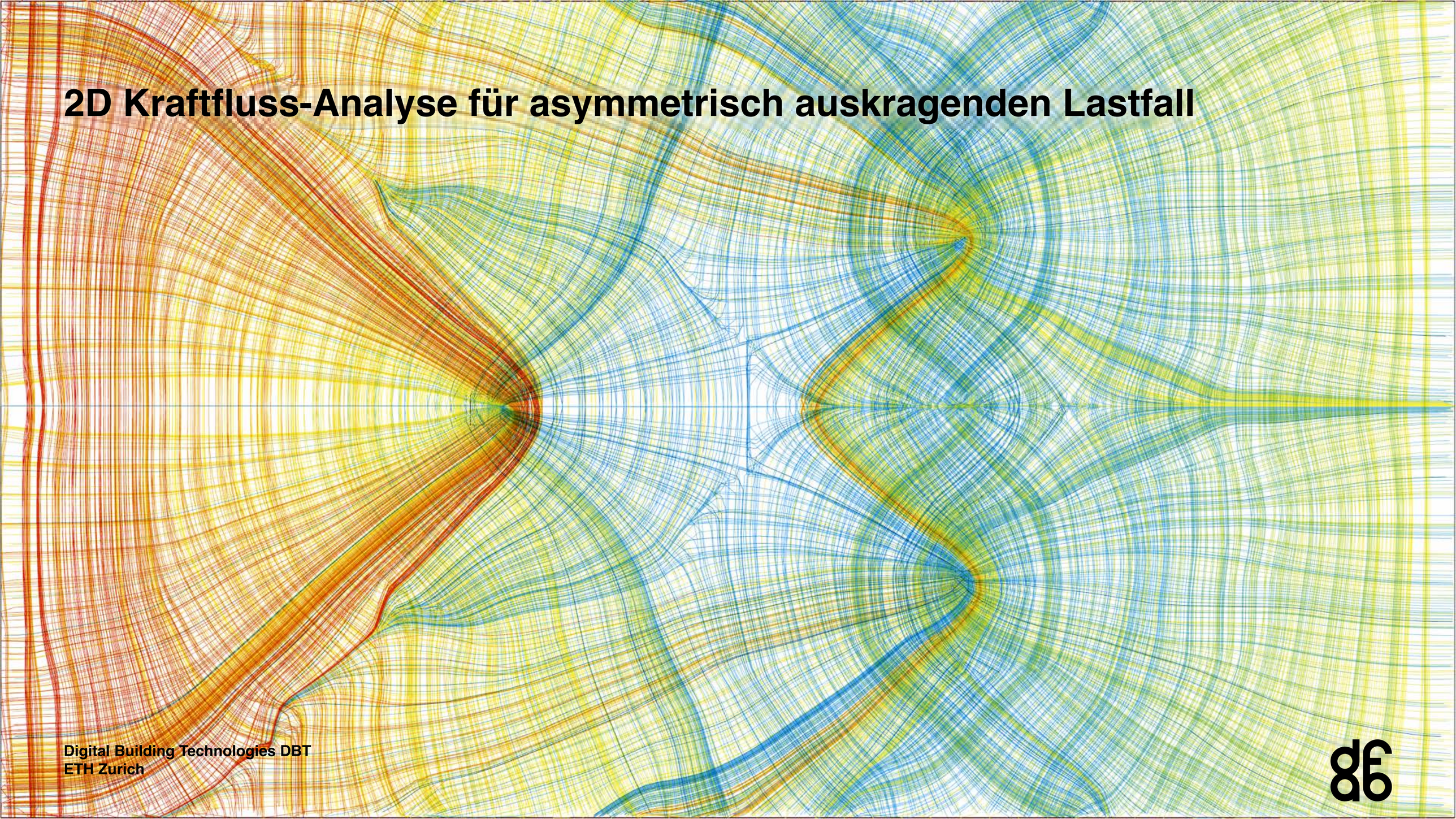
Digital Building Technologies DBT
ETH Zurich

Digital Building Technologies DBT
ETH Zurich



Digital Building Technologies
ETH Zurich

2D Kraftfluss-Analyse für asymmetrisch auskragenden Lastfall

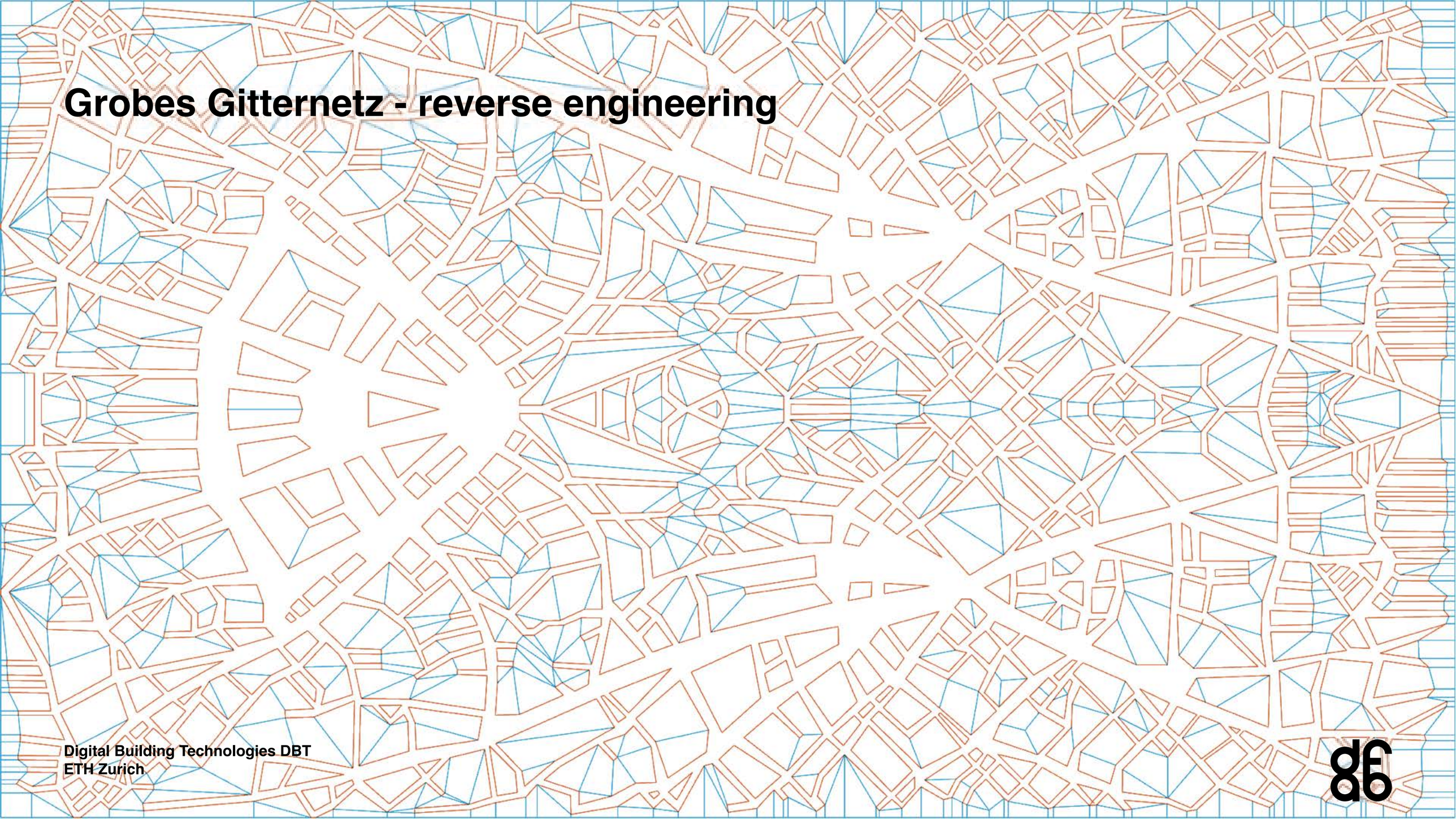


Digital Building Technologies DBT
ETH Zurich

Optimierte Topologie zur Reduktion von Material

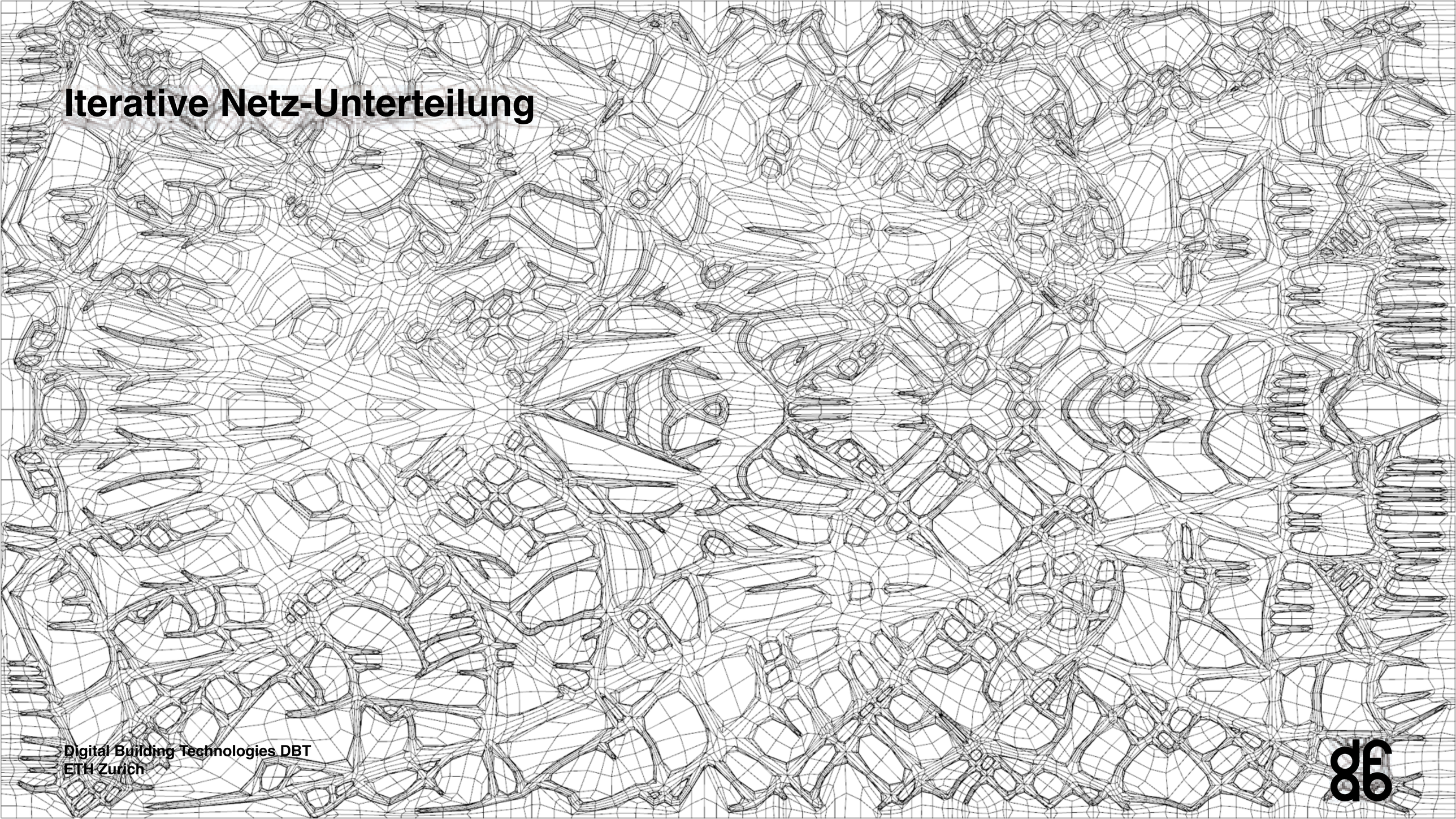
Digital Building Technologies DBT
ETH Zurich

Grobes Gitternetz - reverse engineering

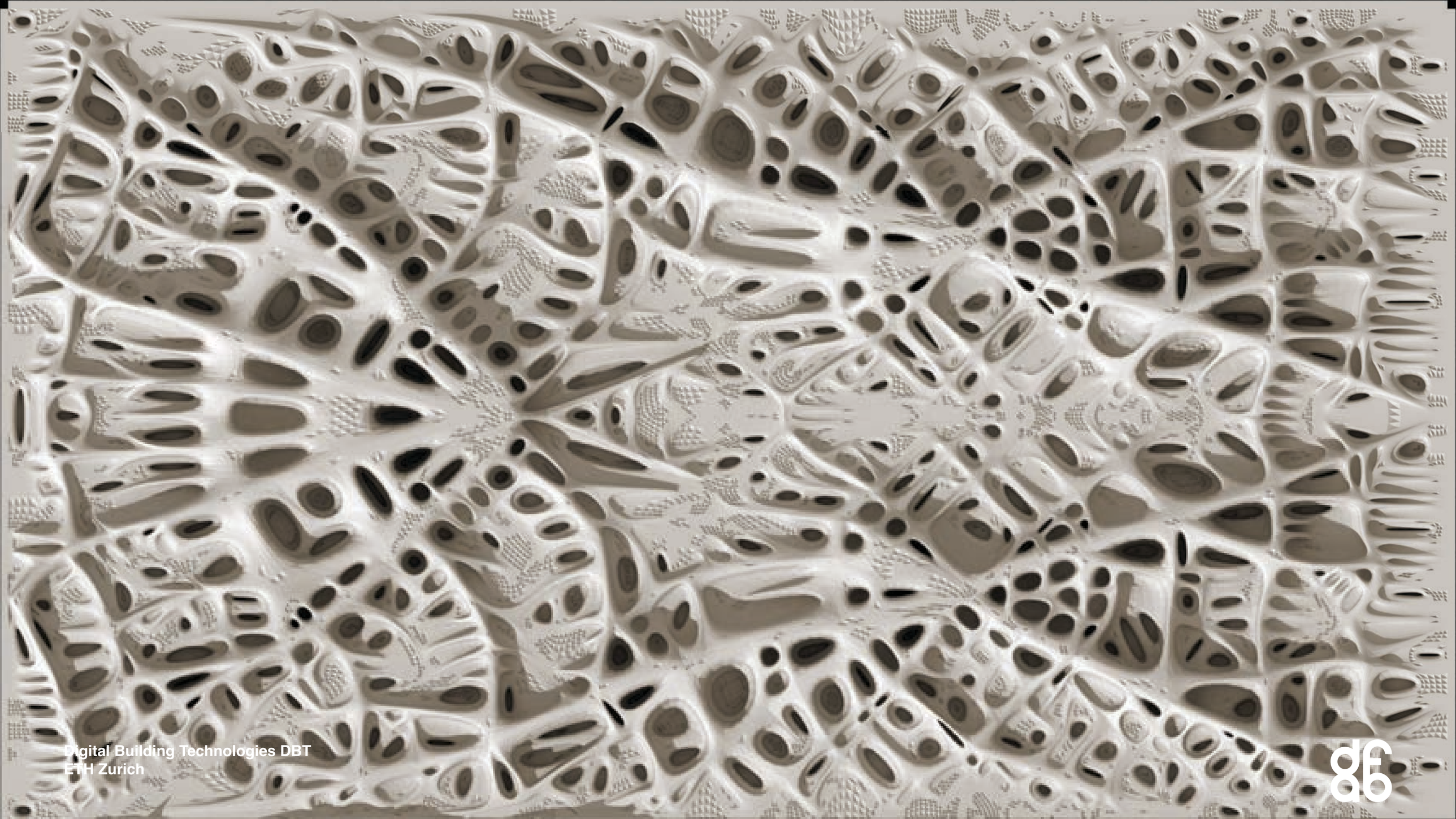


Digital Building Technologies DBT
ETH Zurich

Iterative Netz-Unterteilung



Digital Building Technologies DBT
ETH Zurich



Nachbearbeitung: Entfernen des losen Sandes

Räumliche Faltung - Rippenstruktur

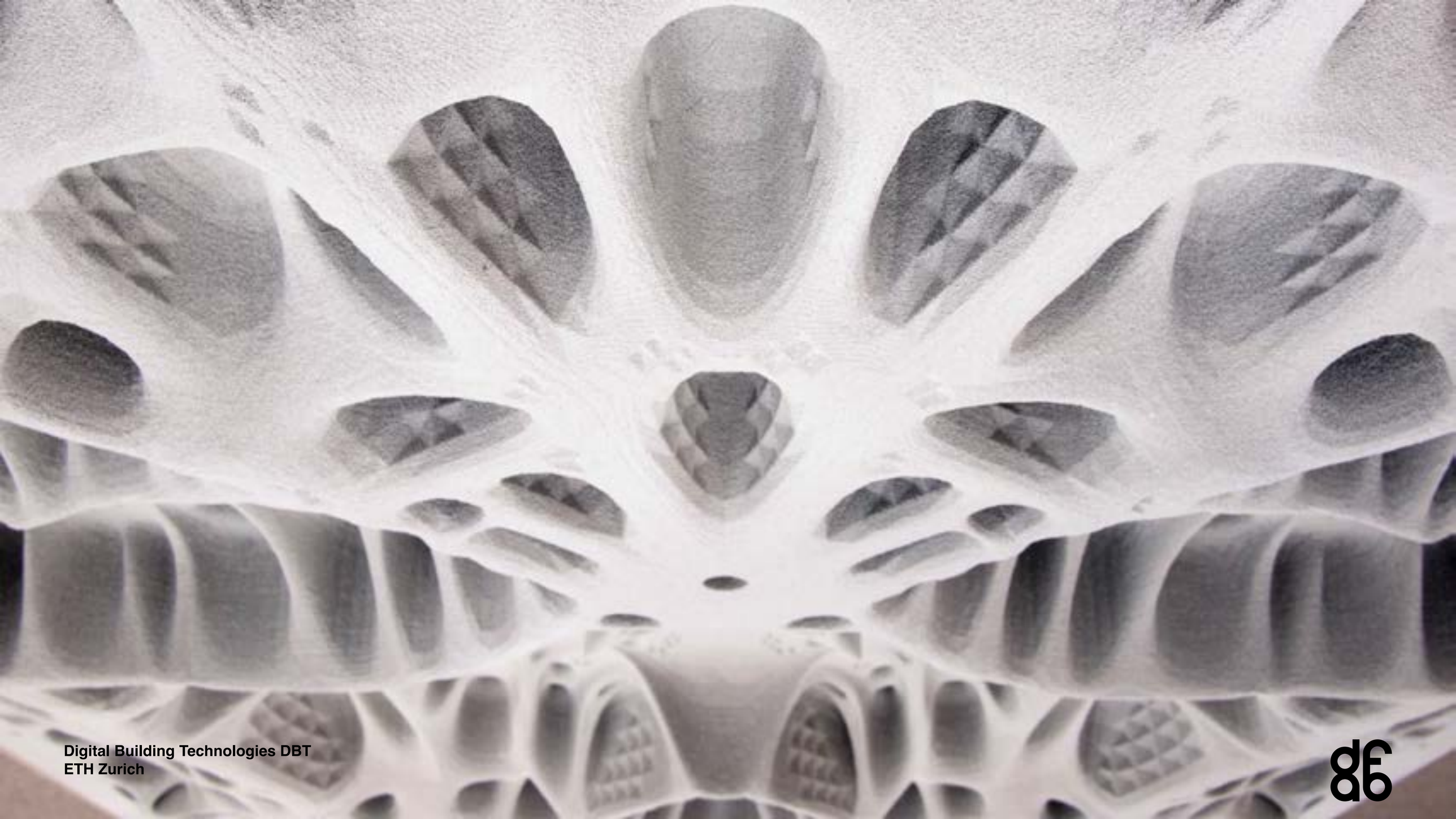
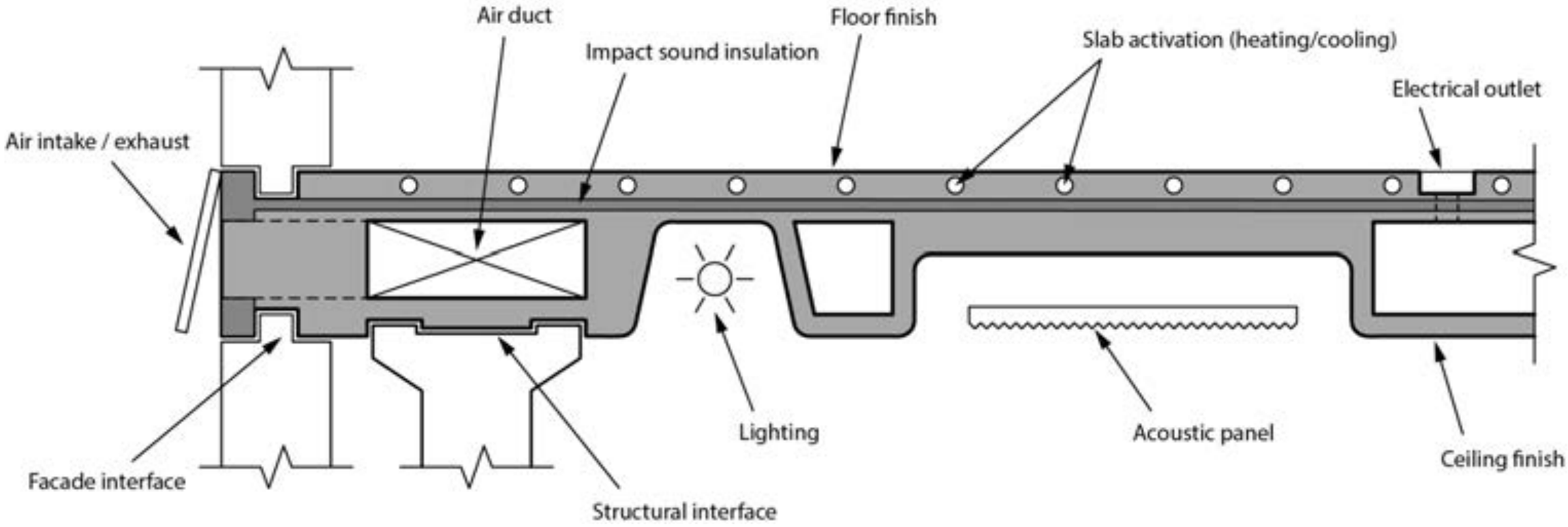


Image Konrad Graser

System-Integration



Wo stehen wir jetzt?

Benjamin Dillenburger

Mania Meibodi

Mathias Bernhard

Hyunchul Kwon

Andrei Jipa

National Centre of Competence
in Research
Digital Fabrication