



Technische  
Universität  
Braunschweig

**DBFtec**  
Kloft | Lowke | Hack

**iBMB** **MPA**  
TU BRAUNSCHWEIG



## **Additive Fertigung im Bauwesen**

*Ein Beitrag zum ressourceneffizienten Bauen der Zukunft*

**AKG Fachtagung - Möglichkeiten zum klimaneutralen Bauen  
Hamburg, 29. März 2019**

**Prof. Dr.-Ing. Dirk Lowke  
Prof. Dr.-Ing. Harald Kloft  
Prof. Dr.sc. Norman Hack**



Technische  
Universität  
Braunschweig

**DBFtec**  
Kloft | Lowke | Hack

**Digital Building Fabrication  
technology transfer**



**Prof. Dr.-Ing. Harald Kloft**



**Prof. Dr.-Ing. Dirk Lowke**



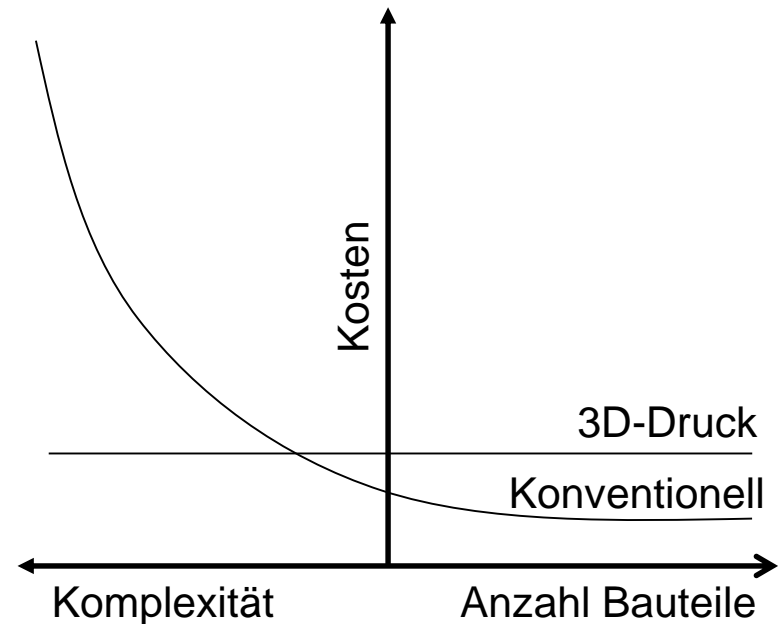
**Prof. Dr.sc. Norman Hack**

# Möglichkeiten und Vorteile der Additiven Fertigung

- Nahezu keine Begrenzung hinsichtlich Bauteilform und -komplexität
- Keine Notwendigkeit spezieller Werkzeuge für die Herstellung verschiedener Formen
- Entkopplung von Kosten und Anzahl hergestellter Bauteile und Komplexität

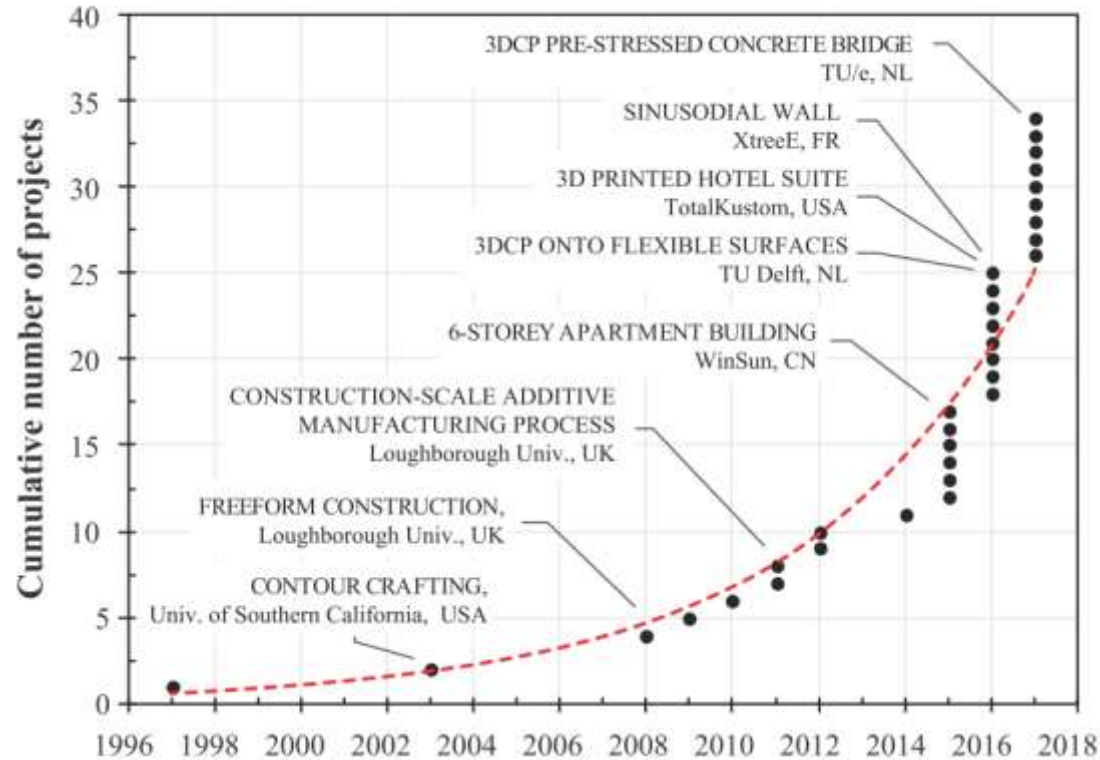


Bionisch optimierte Stütze (TU München 2017)



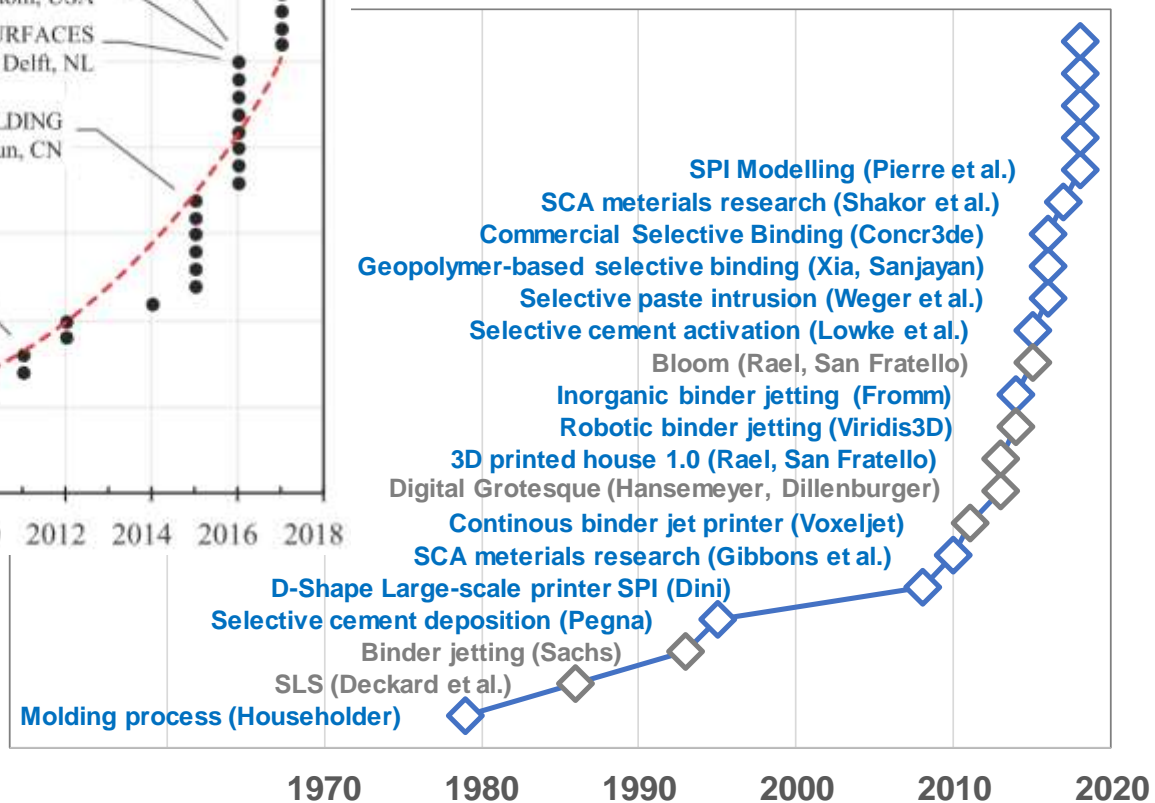
# F&E 3D-Druck im Bauwesen

## Extrusion-Deposition 3D Printing



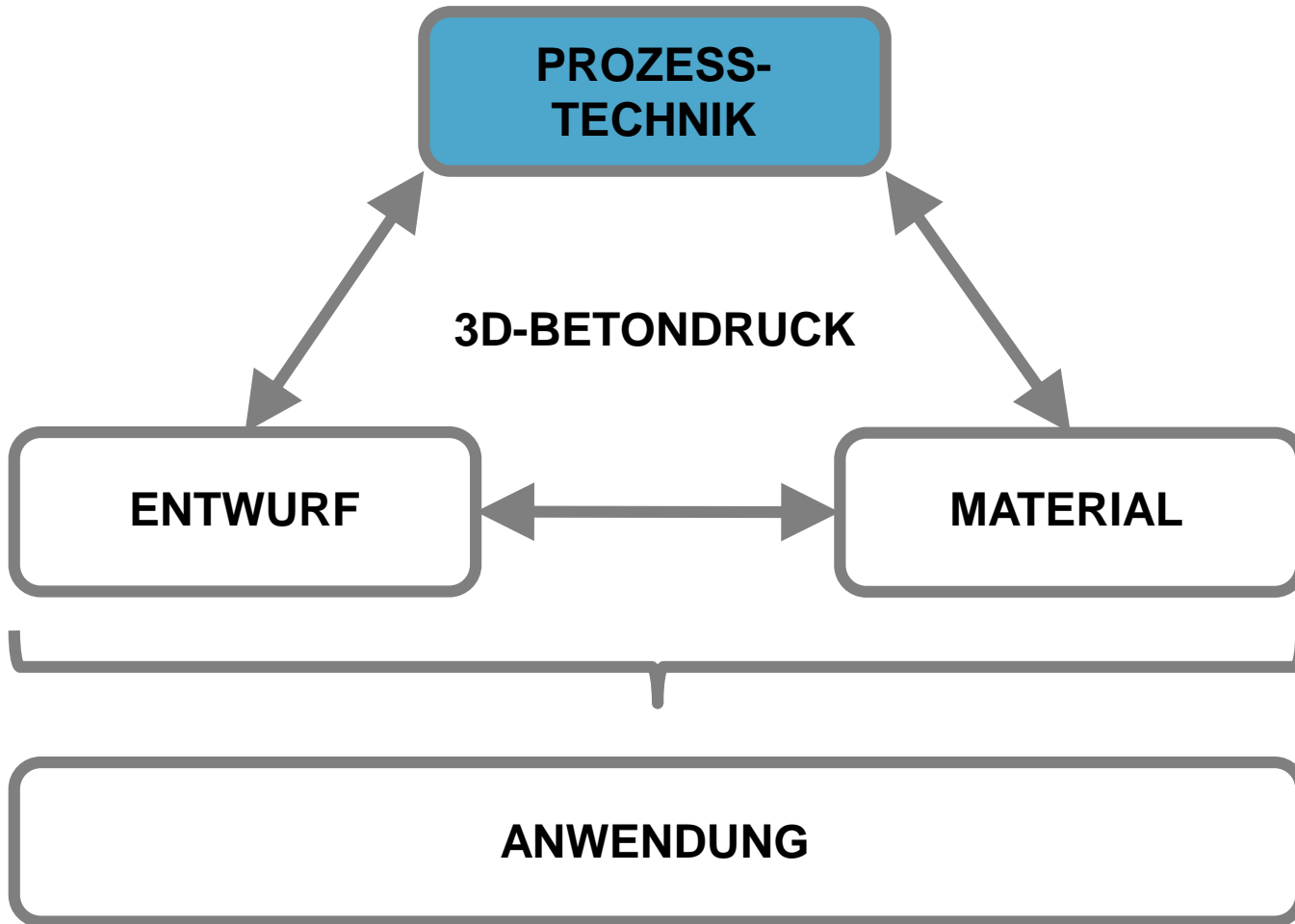
Buswell et al. *Cem Con Res* (2018)

## Particle-bed 3D Printing



Lowke Digital Concrete Conference (2018)

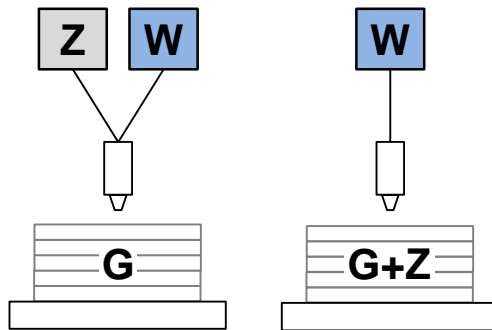
# 3D-Drucken mit Beton



# Prozesstechnik

## Partikelbett-3D-Druck

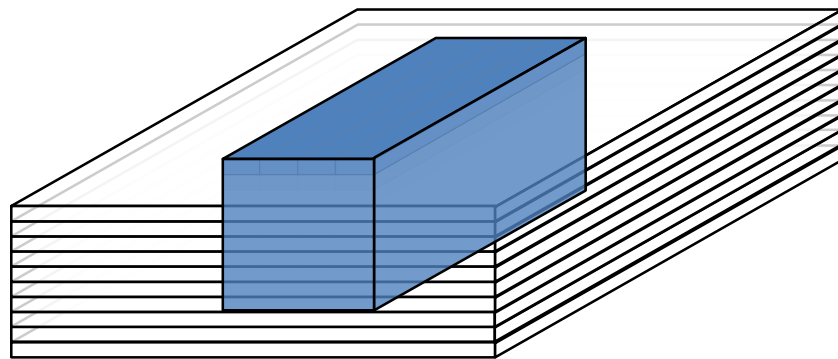
### Selektives Binden



## Freiraum-3D-Druck

### Extrusion-Ablegen

### Spritzen

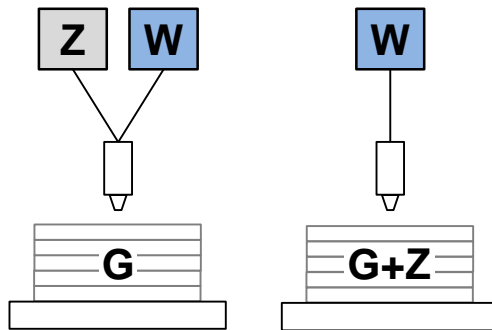


Grafik: D. Lowke

# Prozesstechnik

## Partikelbett-3D-Druck

### Selektives Binden



## Freiraum-3D-Druck

### Extrusion-Ablegen

### Spritzen

### Selektive Leim-Intrusion

- ▶ Schichten aus Gesteinskörnung

### Selektive Zement-Aktivierung

- ▶ Schichten aus Zement und Gesteinskörnung

## LOKALES AUFTRAGEN

- ▶ Fließfähige Zementsuspension
- ▶ Wasser und Zusatzmittel

# Partikellbett-3D-Druck durch Selektive Leim-Intrusion (Selective paste intrusion SPI)



Forschung TU München cbm (D. Weger, D. Lowke, C. Gehlen, 2017)



# Partikellbett-3D-Druck durch Selektive Zement-Aktivierung (Selective cement activation SCA)

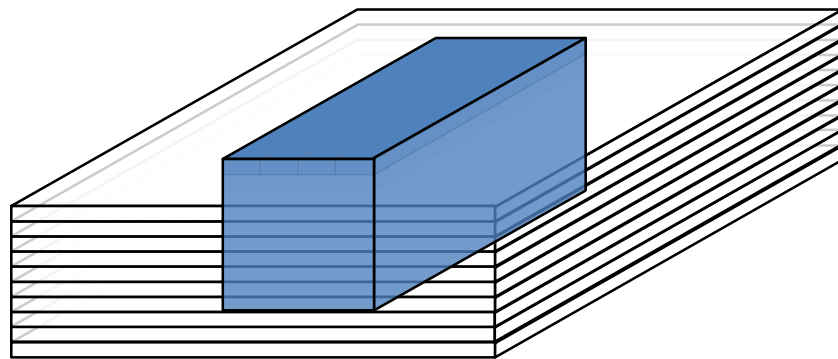
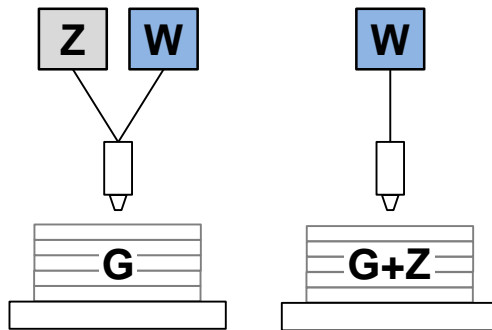


Forschung TU München cbm (D. Weger, D. Lowke, C. Gehlen, 2017)

# Prozesstechnik

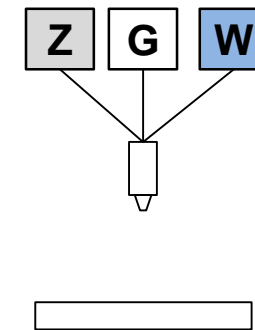
## Partikelbett-3D-Druck

### Selektives Binden

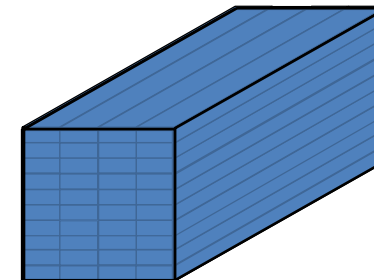


## Freiraum-3D-Druck

### Extrusion-Ablegen



### Spritzen



Grafik: D. Lowke

# Extrusions-3D-Druck

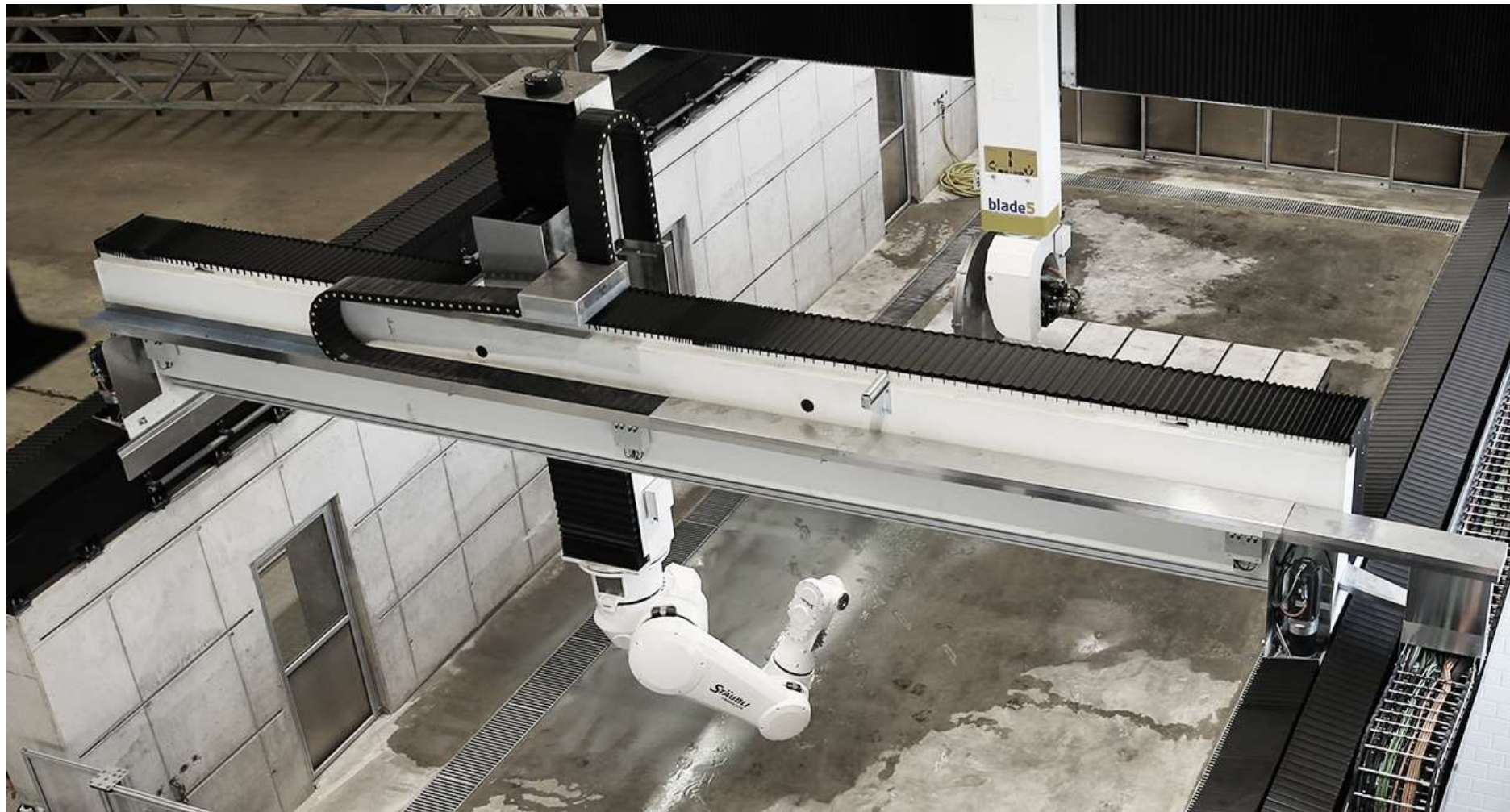
Sika



© Sika.com

# Shotcrete 3D printing (SC3DP)

## Technische Universität Braunschweig

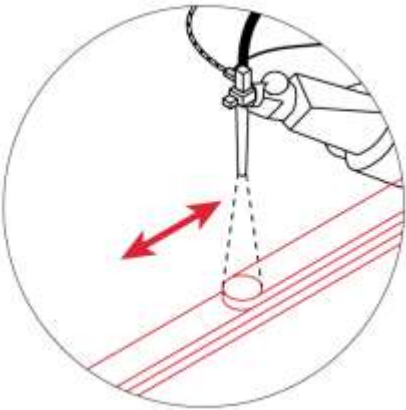


**Digital Building Fabrication Lab**

TU Braunschweig (© ITE, H. Kloft, 2018)

# Shotcrete 3D printing (SC3DP)

## Horizontales Schicht-Drucken - Wandelement



Forschung TU Braunschweig H. Kloft, N. Hack, K. Dröder, D. Lowke et al. 2018 (© ITE)

# Shotcrete 3D printing (SC3DP)

## Horizontales Schicht-Drucken - Säulen



Forschung TU Braunschweig (H. Kloft, N. Hack, K. Dröder, D. Lowke et al., 2018 (© ITE))

# Shotcrete 3D printing (SC3DP)

## Horizontales Schicht-Drucken und Oberflächen-Nachbearbeitung

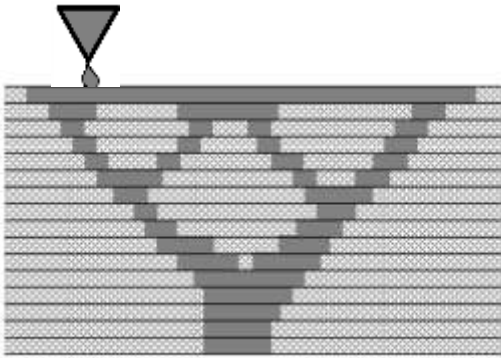


Forschung TU Braunschweig H. Kloft, N. Hack, K. Dröder, D. Lowke et al., 2018 (© ITE)

Prof. Dr.-Ing. Dirk Lowke | 15  
Additive Fertigung Bauwesen

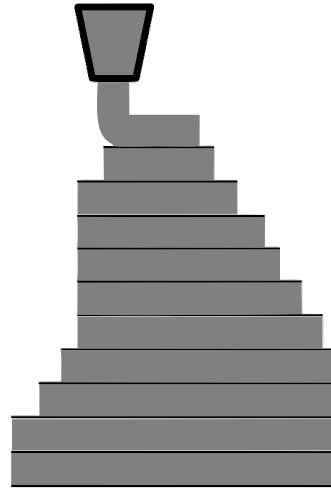
# Vorteile / Nachteile

## Partikelbett-3D-Druck



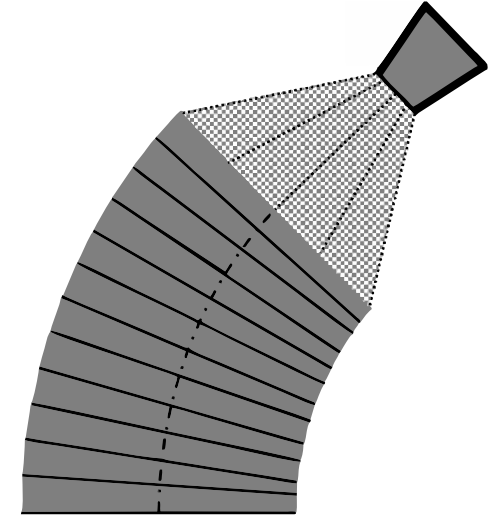
- Hohe Auflösung
- Nahezu keine Einschränkungen der Formfreiheit
- **Beschränkung der Größe durch Bauraum**
- **Recycling des ungebundenen Materials**

## Extrusions-3D-Druck



- Schnelle Herstellung großformatiger, monolithischer Strukturen
- **Beschränkung in Formfreiheit**
- **Geringe Auflösung**

## Spritzbeton-3D-Druck

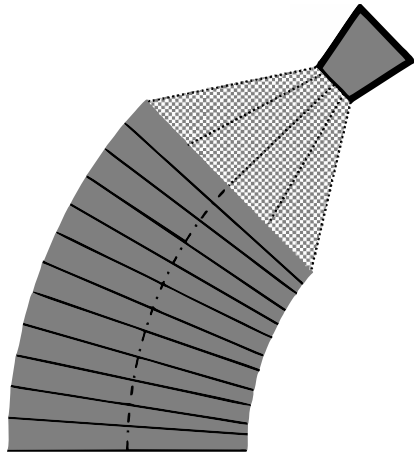


- Schnelle Herstellung großformatiger, monolithischer Strukturen
- "Echter" 3D-Druck
- Hohe Verdichtung der Zwischenschicht-Verbundbereiche
- **Geringe Auflösung**

Grafik: D. Weger



# Shotcrete 3D printing (SC3DP) Gradual Transition Printing

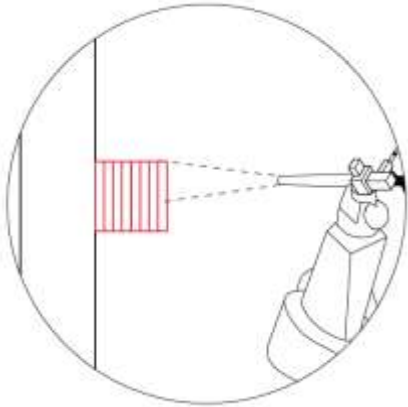


Grafik; D.Weger

TU Braunschweig (© ITE, N. Hack, H. Kloft, 2018)

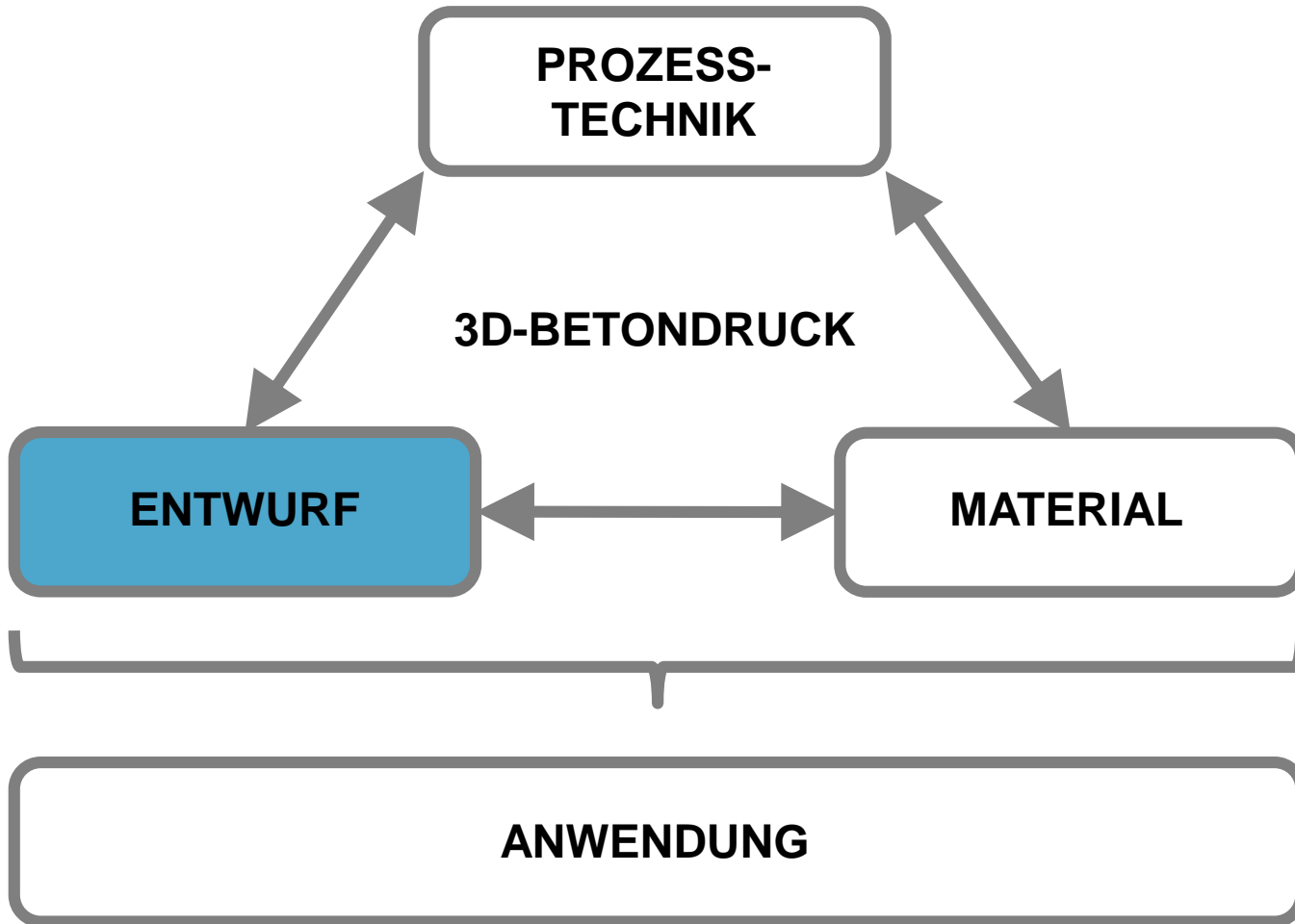
# Shotcrete 3D printing (SC3DP)

## Vertikales Schicht-Drucken



TU Braunschweig 2018 (© ITE)

# 3D-Drucken mit Beton



# 3D-Druck „konventioneller“ Strukturen



HuaShang Tengda



ApisCor



Rudenko/Yakich



US Army Construction Engineering Research Laboratory

# 3D-Druck „konventioneller“ Strukturen

Erste Versuche bleiben dekorativ, während die echten strukturellen Potentiale unangetastet bleiben

Antikes Natursteinmauerwerk



Quelle: Mauerwerksatlas

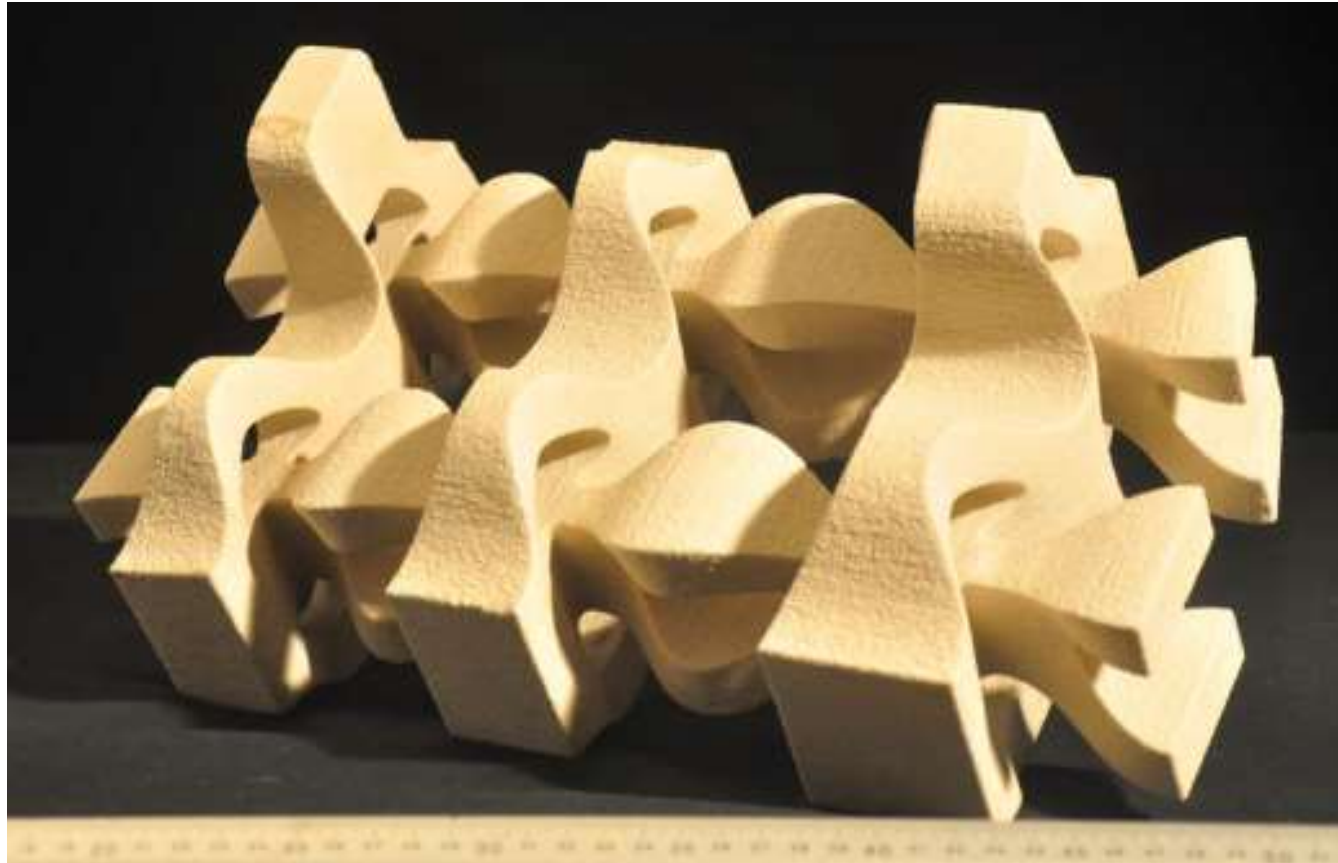
3D-gedrucktes Hotel von Andrey Rudenko (2016), Phillipinen



<https://i.pinimg.com/originals/a1/a7/e7/a1a7e73f003a9a22a9696a894c1a578a.jpg>

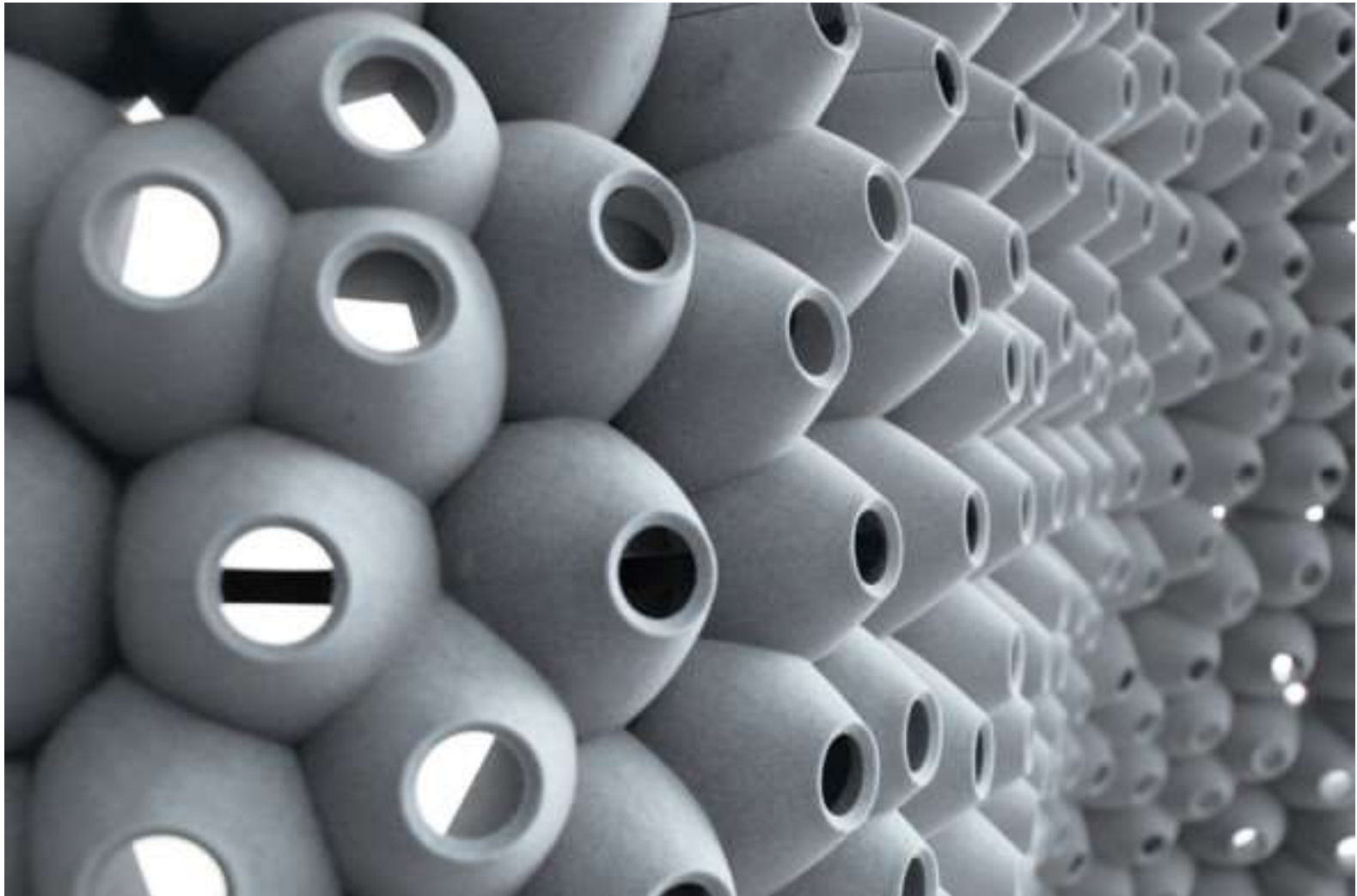
# Freiform

Parametrisches Objekt (konventionell nicht herstellbar)



© UAS Wismar, A. Fromm

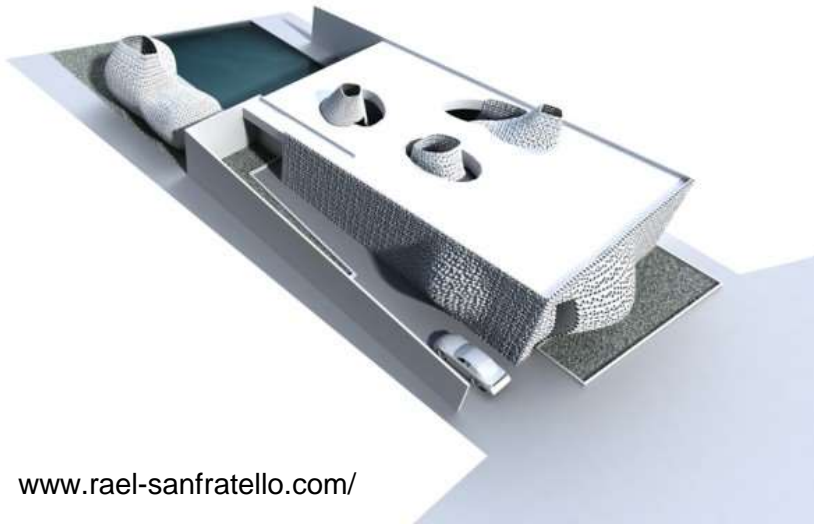
# Neuartiges Design und Ästhetik



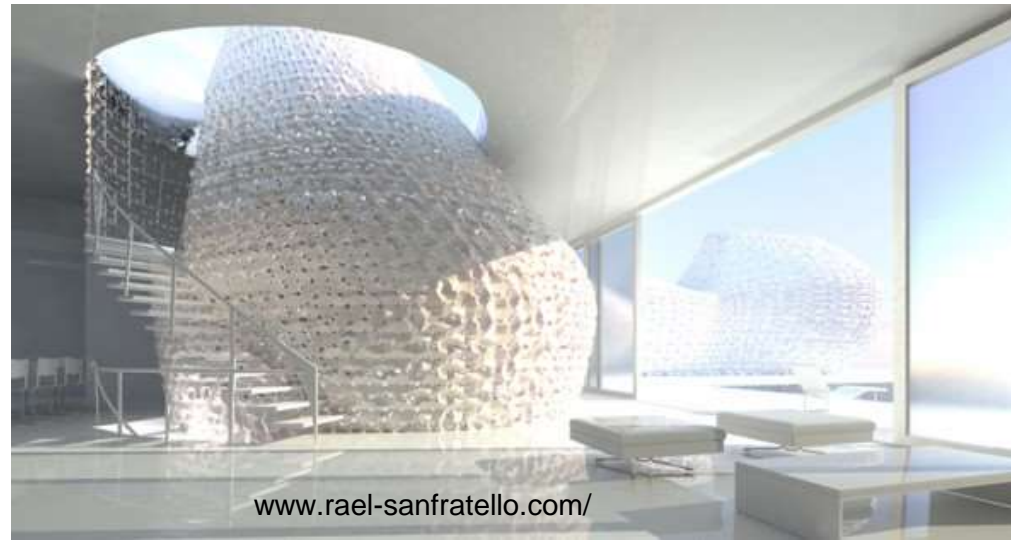
www.rael-sanfratello.com / www.emergingobjects.com

R. Rael: lichtdurchlässiges Wandelement mit organischen Formen

# Neuartiges Design und Ästhetik



[www.rael-sanfratello.com/](http://www.rael-sanfratello.com/)



[www.rael-sanfratello.com/](http://www.rael-sanfratello.com/)



[www.rael-sanfratello.com/](http://www.rael-sanfratello.com/)

3D printed house

© R. Rael, UC Berkeley (USA)



[http://www.architectmagazine.com/practice/material-focus\\_o](http://www.architectmagazine.com/practice/material-focus_o)



# Neuartiges Design und Ästhetik und Modularisierung



**Bloom**

© R. Rael, UC Berkeley (USA)



# Computergestützte Architektur mittels digitaler Entwurfsalgorithmen



## Digital Grotesque II

B. Dillenburger  
ETH Zurich (Schweiz)

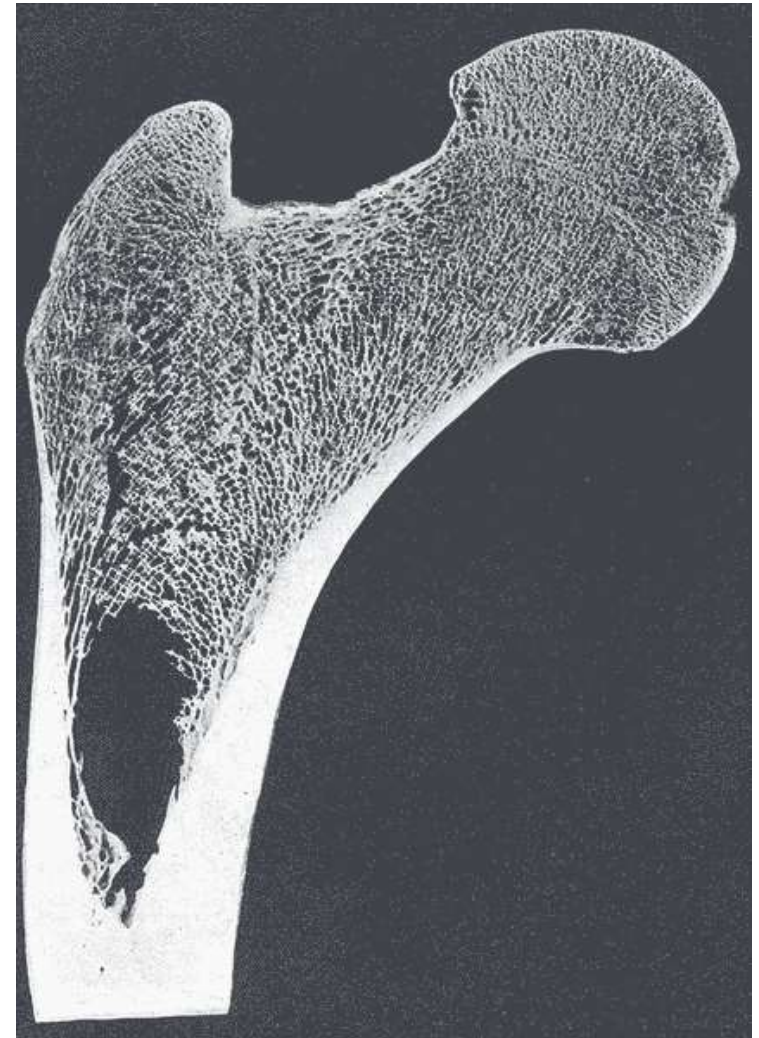
# Strukturoptimierung I

## Gradierung

- Form follows force
- Gradierung



Bionisch optimierte Säule  
TU München, 2017

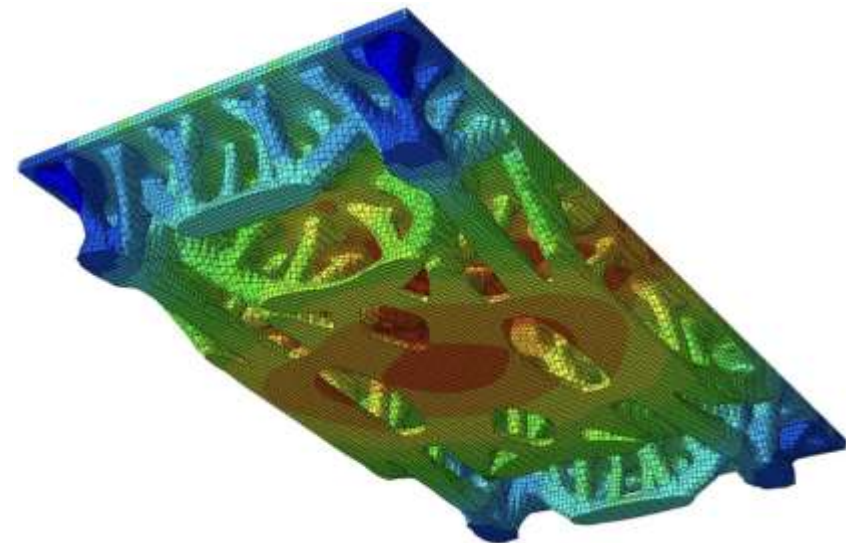


[www.bartleby.com/107/illus247.html](http://www.bartleby.com/107/illus247.html)

# Strukturoptimierung II

## Topologieoptimierung

- Form follows force
- Topologieoptimierung



Decken Prototyp  
ETH Zürich  
(© Benjamin Dillenburger)

# Strukturoptimierung III

## Hybrid Printing Techniques



Hybrid gedruckte Rippendecke  
TU Braunschweig 2018  
(© ITE)

# Hybrid 3D-Printing



© ITE

# Strukturoptimierung III

## Hybrid Printing Techniques



Hybrid gedruckte Freiform-Rippendecke  
TU Braunschweig 2018  
(© ITE)

# Strukturoptimierung IV

## Räumlich-komplexe Strukturen

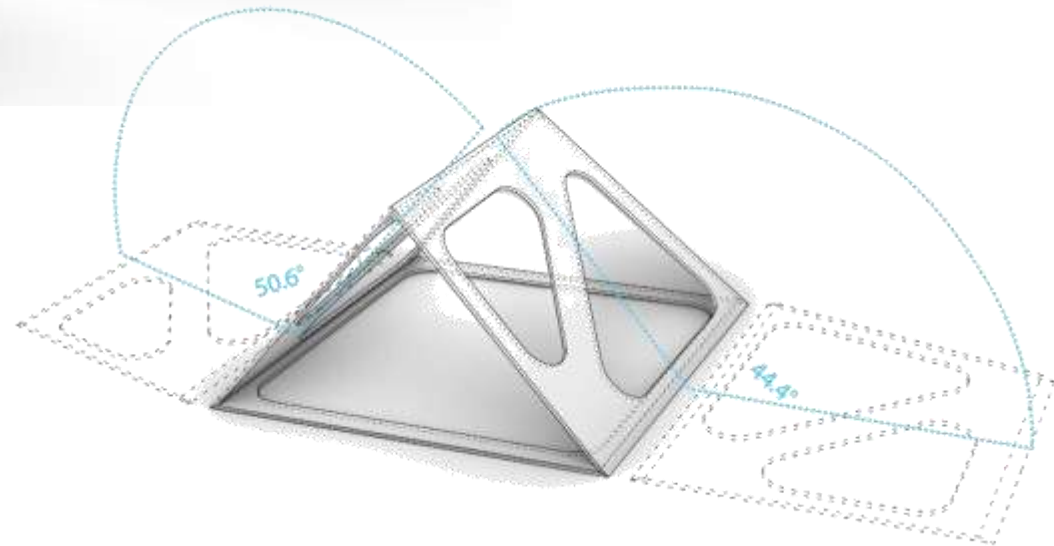
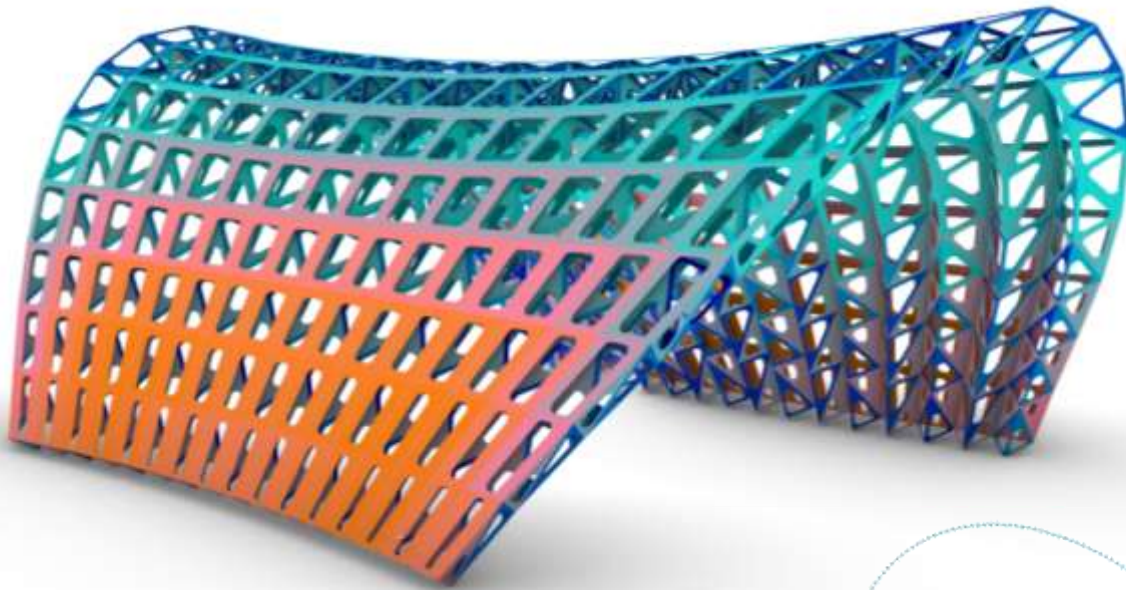


Exhibition hall for the Turin moto show  
Pier Luigi Nervi, Turin 1948



# Strukturoptimierung IV

## Räumlich-komplexe Strukturen



© ITE, N. Hack, H. Kloft



Technische  
Universität  
Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. Dirk Lowke | 33  
Additive Fertigung Bauwesen

**DBFtec**  
Kloft | Lowke | Hack

**iBMB MPA**  
TU BRAUNSCHWEIG

# Strukturoptimierung IV

## Räumlich-komplexe Strukturen



© ITE, N. Hack, H. Kloft

# Strukturoptimierung IV

## Räumlich-komplexe Strukturen



© ITE, N. Hack, H. Kloft

# Strukturoptimierung IV

## Räumlich-komplexe Strukturen



© ITE, N. Hack, H. Kloft

Exhibition hall for the Turin moto show  
Pier Luigi Nervi, Turin 1948