



CC BAU

bayern innovativ



CARBON
COMPOSITES

Messe Augsburg, September 26, 2019; 20 + 5 min

A³ WIRTSCHAFTSDIALOG:

‘Druckbar? Einstieg und Anwendungsfelder in der Additiven Fertigung‘

Werden wir einmal in additiv gefertigten Häusern wohnen?

Ein HYPE oder fehlt zum Erfolg nur ein systematisches Vorgehen aller Disziplinen?

Prof. Dr.-Ing. habil. **Ralf Cuntze** VDI, Baustatiker
Ingenieur und Hobby-Werkstoffmodellierer

*Früher MAN-Technologie AG, **Augsburg**.*

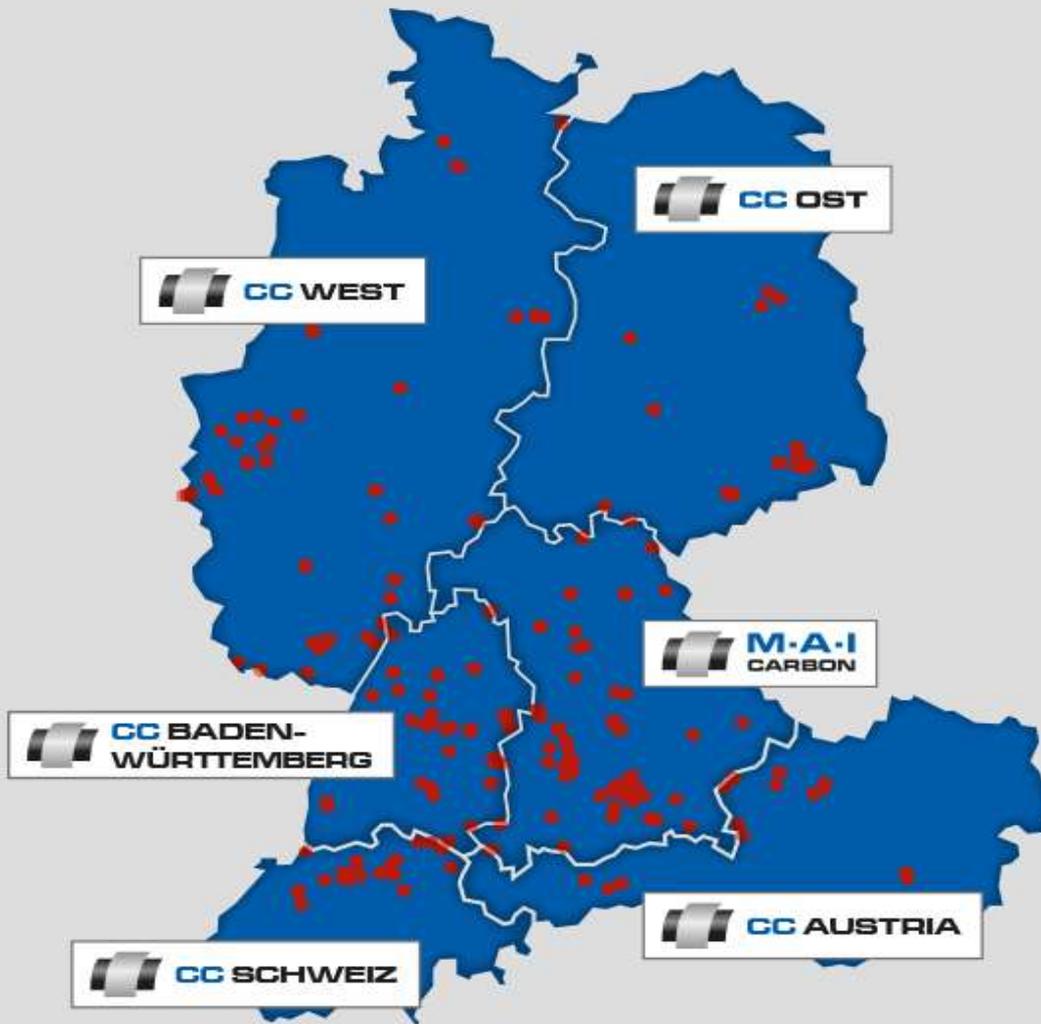
*Verbunden mit Carbon Composite e.V. (**CCeV**), **Augsburg**,*

im Vorstand der Fachabteilung CC Bau.

Leiter der Arbeitsgruppen “Engineering“ (Maschinenbau) + im Bauwesen

“Bemessung und Nachweis“ so wie kommissarisch der AG “Automatisierte Fertigung“.

Das Kompetenz-Netzwerk Carbon Composite e.V. (CCeV)



Regionalabteilungen

 CC BADEN-WÜRTTEMBERG	2014
 M-A-I CARBON	2012
 CC OST	2012
 CC WEST	2016
 CC AUSTRIA	2012
 CC SCHWEIZ	2012

DACH-weite Fachabteilungen

 CERAMIC COMPOSITES	2008
 CC BAU	2011

**Nach Vereinigung mit
CFK-Valley Stade zum 1.1.2019**

und 3-jährigem Übergang zum

Netzwerk

Composites United e.V. (CU)

(sinnvolle Namensänderung, da nicht nur Carbonfasern betrachtet werden)

**Weltweit-großes Kompetenz-Netzwerk (400 Mitglieder)
in diesem technischen Bereich**

Der 'CC Bau' im Netzwerk CCeV



2 Bereiche im Bauwesen werden zusammengeführt:

* **Textilbeton** (CFK-bestimmt) +

* **Faser-Verstärkte Kunststoff-Bauteile FVK** (mehr GFK-bestimmt).

Betrachtete Hauptaufgabe:

“Verstärkung mit Endlosfasern” wie GFK und CFK, Textilbeton
Erweiterung um “Automatisierte Fertigung im Bauwesen”,

“Verstärkung mit Kurz- bis Endlosfasern” aus Carbon, Glas, Basalt

Arbeitsgruppen (AGs)-Beginn:

Bemessung und Nachweis: Prof.-Dr.-Ing. habil. **Ralf Cuntze*** VDI (2011)

Faserverbundarmierter Beton: Dr.-Ing. **Ingelore Gaitzsch** (2016)

Faserverstärkte Kunststoffe: Prof. Dr.-Ing. **Jens Ridzewski** (2018)

Automatisierte Fertigung: (*kommis***arisch**: Ralf Cuntze) (2018)

- 28. März 2019: AG 'Faserarmierter Beton', TU Dresden.
 - 03. Juni 2019: Mitwirkung bei AG-Sitzung „*Beton als Matrix*“ (*Beschlichtung etc.*)
 - 13. Juni 2019: 2. AG 'Automatisierte Fertigung im Bauwesen', Uni Innsbruck
 - 22. Okt.2019 AG „*Bemessung und Nachweis – vom Werkstoff bis zur Zulassung für Bauteile mit Polymermatrix und Betonmatrix*“, an der Uni Weimar
-

- 19. Feb.2020, Ulmer Betontage. Workshop
„*Wie bekomme ich Carbonbeton-Anwendungen auf die Baustelle*“?;
- 17. März 2020 an Uni-Siegen
- ?? Mai 2020: 3. AG 'Automatisierte Fertigung im Bauwesen', Ort?
- 10. Sept.2020: AG 'Faserarmierter Beton', TU Chemnitz

2. Veranstaltung „**Automatisierte Fertigung** im Bauwesen“, Uni Innsbruck

9:15	Vorstellung des Instituts. <i>M. Colletti, J. Feix</i>
9:30	3D Concrete Printing - from Lab to Practice. <i>F. Bos, Uni Eindhoven Holland</i>
10:00	Eine mögliche zukünftige Bauweise für den Hoch- und Brückenbau unter den Gesichtspunkten von Lebensdauerkosten, Qualität, Erhaltung der Flexibilität des Ortsbetonbaus und BIM. <i>J. Kurath, ZHAW Winterthur</i>
10:30	Kaffeepause
11:00	Entwurfs- und Bemessungsstrategien für den Faserverbundpavillon auf der BUGA in Heilbronn 2019. <i>V. Koslowski, ITKE (Knippers) Uni Stuttgart</i>
11:30	Integration der Bewehrung in die additive Betonfertigung. <i>V. Mechtcherine, Institut für Baustoffe, TU Dresden</i>
12:00	Material und Prozess - adaptive Strategien in der Baurobotik mithilfe von Assistenzsystemen. <i>S. Brell-Cokcan, Lehrstuhl für Individualisierte Bauproduktion, RWTH Aachen</i>
12:30	Mittagspause
13:30	Technische Umsetzung des 3D-Betondrucks in praxisgerechte Fertigung. <i>E. Artner, O.Balog, Baumit GmbH Textile</i>
14:00	Modulares bauen bei Max Bögl. <i>J. Schaffrath, Max Bögl, Neumarkt in der Oberpfalz</i>
14:30	COEBRO - Additive Fabrication of Concrete Elements by Robots – Technologie und Anwendungsbeispiele. <i>A. Trummer, TU Graz</i>
15:00	Kaffeepause
15:30	Textile Bewehrung für den 3D Druck mit Beton. <i>J. Konzilia, G. Grasser, Uni Innsbruck</i>
16:00	Resümee, Abschlussdiskussion zur Inhaltsbelegung der AG “Roboter gestützte Fertigung“

”Bauen neu denken”
heißt es bei den Carbonbetonbauern in Dresden.

“Bauen neu lernen”
gehört für mich dazu
und ein Teil davon ist das

“Automatisierte Bauen mit Additiven Fertigungsverfahren”
damit wir preiswerter, nachhaltiger, qualitativ besser, und
zukünftig auch noch schneller bauen.

ZIEL:

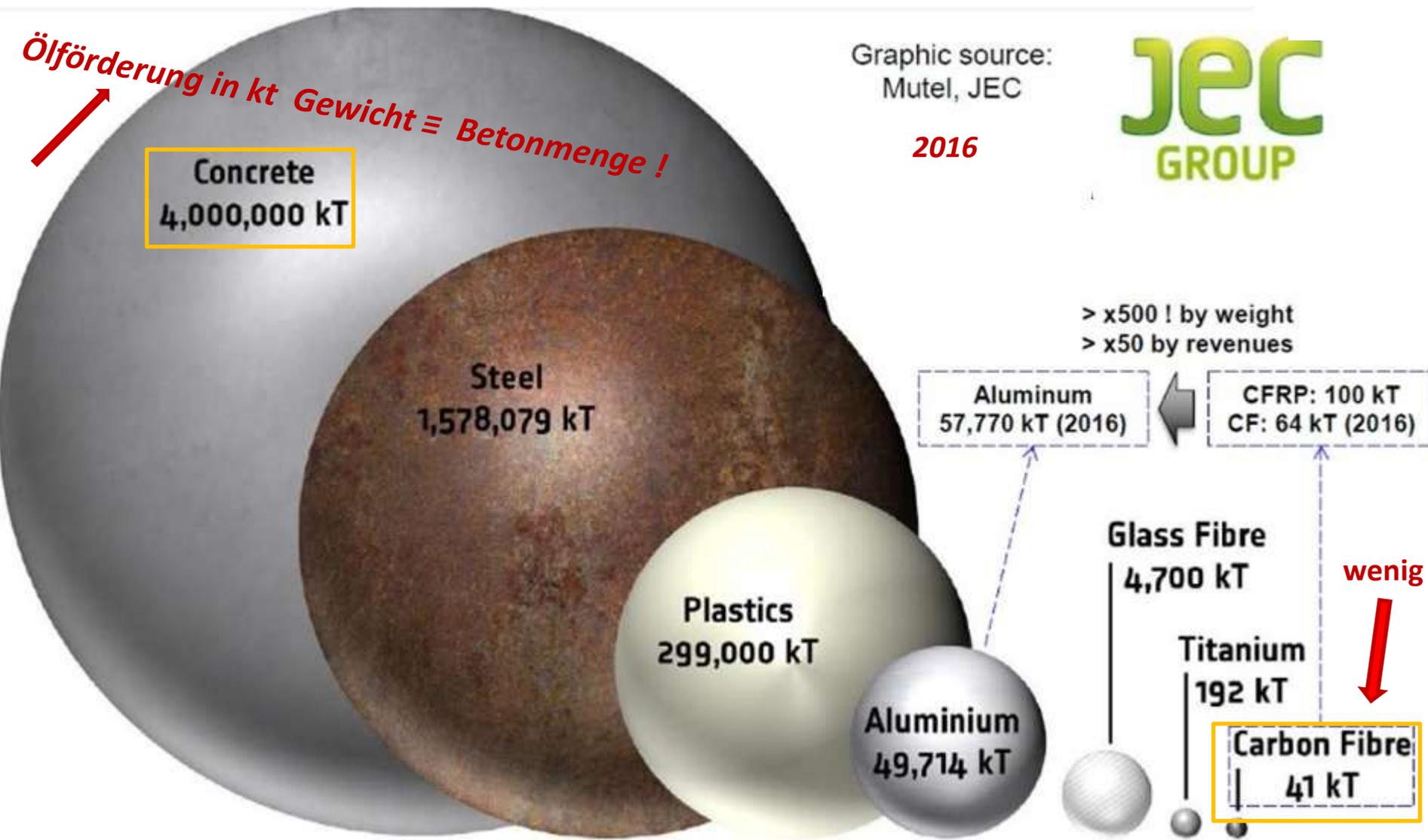
“Eine kraftwegorientierte Ablage von minimaler Betonmenge inklusive etwaiger Faserverstärkung (kurz, lang, endlos) zu erzielen und den riesigen CO₂-Rucksack der riesigen Betonmenge verringern!”

Um welche Mengenverhältnisse geht es, mit Bezug Bauwesen?

Graphic source:
Mutel, JEC

2016

JEC
GROUP



CF insgesamt / Stahl = 1/10000, in D gilt CF insgesamt/ Betonstahl $\approx 0.1\%$
Beton / Öl = 1
GF / CF = 100

Für den Anwender stellen sich generell die Fragen:

- Hält additive Fertigung, was der Hype verspricht?
- Welche Chancen bietet additive Fertigung in den verschiedenen Anwendungsfeldern ?
- Wie finden man dort Produkte, die sinnvollerweise additiv zu fertigen sind ?
- Welche additiven Fertigungsprozesse sind im Unternehmen vernünftig einsetzbar?

Fragen, auf die ich noch keine Antwort geben kann.

Einteilung der Fertigungsverfahren

- x Subtraktive Fertigungsverfahren (**Verschnitt**)
- x Formative Fertigungsverfahren
- x **Additive Fertigungsverfahren** [VDI 2403]

Bei **subtraktiven** Fertigungsverfahren wird die zu erstellende Geometrie durch definierten Abtrag einzelner Volumenbereiche erzeugt. Typische Vertreter dieser Gruppe der Fertigungsverfahren sind zerspanende Verfahren wie beispielsweise Drehen, Bohren oder Fräsen. **Holzbau i. W.**

Als **formative** Fertigung wird die Herstellung von Geometrien durch Umformen unter Einhaltung der Volumenkonstanz bezeichnet. Formative Fertigungsverfahren stellen das Tiefziehen, das Schmieden oder das Urformen dar.

Additive Fertigungsverfahren erzeugen eine Geometrie durch Aneinanderfügen von Volumenelementen (sogenannten "Voxeln"). **Betonbau i. W.**

Automatisiertes Substraktives Fertigungsverfahren

Holz-Pavillon, vom Seeigel inspiriert, aus 376 unterschiedlichen Freiform-Flächen-Bauelementen robotergestützt hergestellt und 3D-zusammengesteckt. Steckkastenprinzip [Knippers ITKE Stuttgart, Menges ICD, Koslowski, etc.]

BUGA-Heilbronn



Spezielles automatisiertes
Additives Fertigungsverfahren
mit
auf den fixen 'Fachwerk'-Knotenpunkten
roboterabgelegten Endlos-Fasersträngen.
Leichtgewichtiger 'Faser-Pavillon'
aus 60 **CFK-/GFK-Bauelementen**

[Knippers ITKE Stuttgart, Menges ICD, Koslowski, etc.]

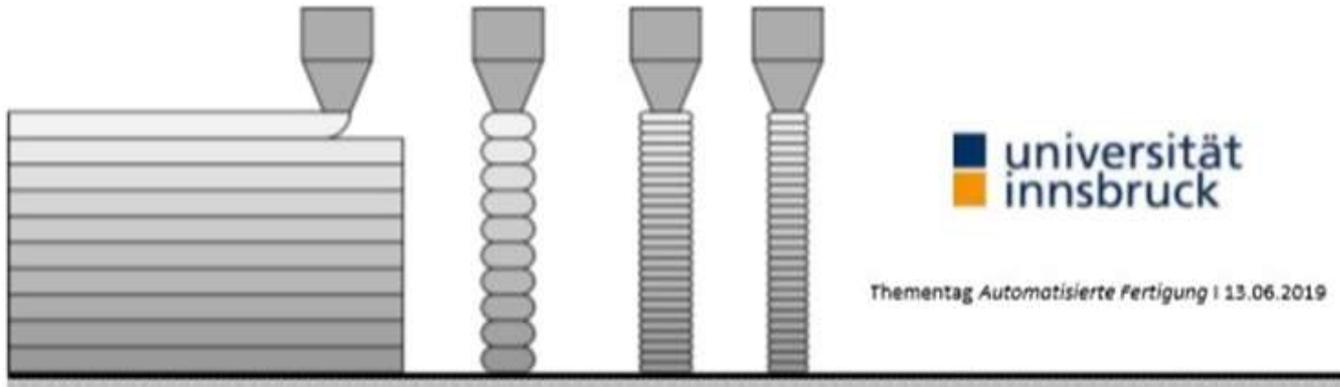
BUGA-Heilbronn



'Roving-
Wickelmaschine'



Raupenablage = Bead Casting (Wortschöpfung Cuntze)



Project Milestone,
city of Eindhoven
[Freek Bos
Uni Eindhoven]

Fertigungsverfahren, bei denen das Bauteil
– im Gegensatz zu subtraktiven Verfahren –
durch Hinzufügen von Volumenelementen (Betonraupen aus Spritzgussdüsen)
oder Schichten (3D-Druck genannt, z.B. zur Herstellung von Freiformflächenschalung [Voxeljet])
direkt aus digitalen 3D-Daten automatisiert aufgebaut wird.
Wesentliches Merkmal aller Verfahren ist werkzeugarme Fertigung

✓ **Drucken:** Verfahren, mittels Druck etwas aufzutragen (*Buchseite bedrucken etc.*)

Additive Fertigung im Bauwesen:

- **'3D-Druck' = 3D-Printing** [Voxeljet-Verfahren zur Schalungserstellung etc.]
Hat mit Drucken bereits nichts zu tun!! Es ist eigentlich eine additive Summe von Fertigungsschritten mit Additiver Fertigung eines Bauteils mit konsolidierten dünnen Scheibchen des gesamten Querschnitts
- **Raupenablage (Bead Casting)** *Unglücklicherweise ebenfalls 3D-Druck genannt!*
Hat mit Drucken/Drücken erst recht nichts zu tun! Es ist eigentlich, verwandt zum bekannten Bulk Mould Compound - Additive Fertigung eines Bauwerks über eine Betonraupenablage aus einem Extruderkopf

Verwendeter Beton, Bewehrung und Herstellung des additiven Aufbaus

Beton: Feinbeton-Rezeptur, Größtkorn < 4 mm

- Wasser + Zement + Gesteinskörnung (Sand, Kies, Schotter) +
- Zusatzmittel (Fließmittel, Verzögerer, + ?, +?)
- ohne und mit Kurzfasern (Carbon, Glas, Basalt; Polypropylen)

Bewehrung: Langfaser, Endlosfaser, Stab-Gitter, Gittermatte (textil?)

Additive Herstellverfahren:

* Standard: Gießen über Betonpumpe (auch additiv!)

* hier angesprochen ist die Raupenablage:

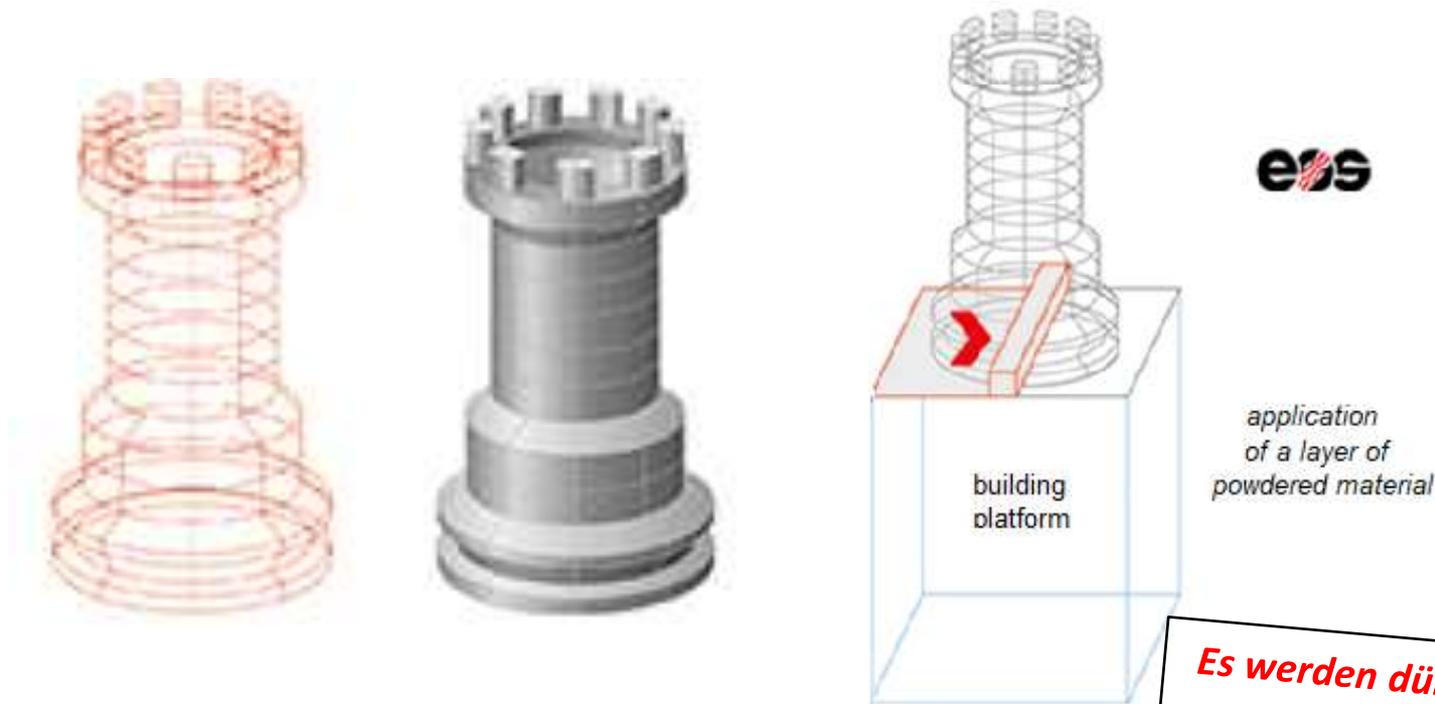
Aufbringung von Betonraupen mittels roboter-gestützter 'Spritzgusstechnik' .

Haupt-Einflussparameter: Dauer der Raupenablage, um ein Verbinden der Raupen zu erzielen.

- Die Geräte verfügen über ein oder auch mehr Spritzgussköpfe.
- Gradientenbeton für Druck-Zug-Bereich im Spritzguss herstellbar, mit und ohne Kurzfasern
- Das PolyJet-Verfahren bietet die Möglichkeit, Bauteile gleichzeitig aus verschiedenen Werkstoffen zu fertigen.

Roboter: Einzelroboter oder Portalkran

'3D-Druck' := Teilbereich additiver Fertigung AM



CAD-based *cross-section layer-additive* production

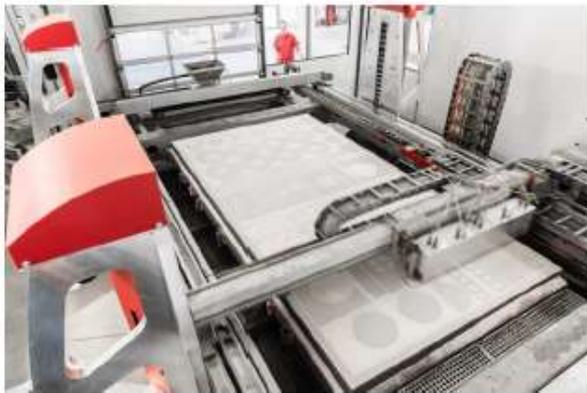
- * 3D geometry model or a 3D-scan info for the robot
- * application of a layer of powdered material (< 1mm)
- * solidification of the material
 - * repetition: building platform is lowered for next layer, etc.
- * loose powder removed
- * completed part

**Es werden dünne Schichten des
Gesamtquerschnitts
übereinander aufgebaut !**

Example for a 3D-Print in Construction Industry:

Powder-based binder-jetting for production of formworks, [King, Voxeljet]

3D printing vs. Contour crafting



3D Printed sand molds

- + Geometric freedom
- + Accuracy & resolution
- + No loss of material characteristics
- Additional step (casting)

Smart dynamic casting

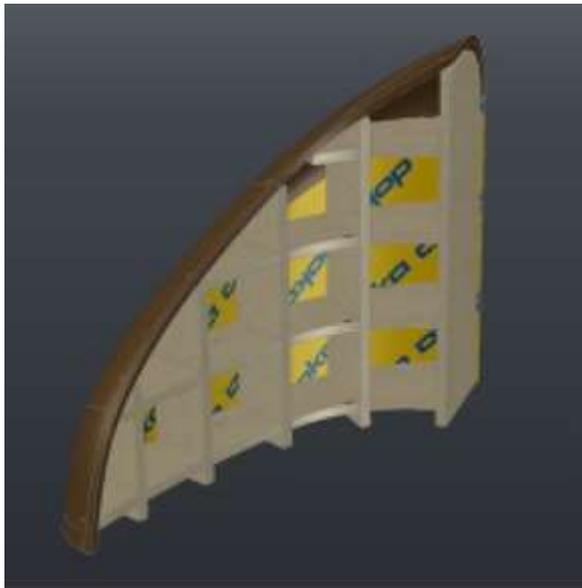
- + Speed
- Width restricted
- Geometric restrictions

Contour crafting

- + Speed
- + Size
- Accuracy
- Geometric restrictions
- No homogeneous structure



Pulverbasiertes Binder-Jetting für 3D-gedruckte Schalungen [Voxeljet]



Digitales Modell



Kombination konventionelle Schalung und
3D gedruckte Schalhaut



Vollendete Treppe

Interdisziplinarität gefragt

SMC: Sheet Molding Compound

containing short fibers = flächige Pressmasse (CF-SMC, GF-SMC),
Spritzguss. 2D, plattenförmiges Halbzeug mit duromerer Matrix und
Faserverstärkung in Mattenform, eventuell auch in Gewebeform.

(Note: Kurz- bis Langfasern < 50 mm. Umformprozess mit nachfolgender Aushärtung). Injektionsverfahren, wobei ein Thermoplast, Duromer oder Elastomer unter Druck in die Kavität eines Spritzgießwerkzeugs eingespritzt wird.

(Note: Eventuell Kurzfasernzugabe zur Matrixverstärkung, SMC, BMC. Produktionsprozess mit zumeist < 1 mm Einzelfasern, wie z. B. GF-PA6, granuliertes rCFK-PP)

BMC: Bulk Molding Compound (Bauwesenverfahren auch!)

containing short fibers = 3D-SMC (Pressmasse, Spritzguss)

Injection moulding and shotcrete with short fibres are related,
can be selected as Additive Manufacturing

Erste Fertigungsschritte zum Bau eines **additiv hergestellten** Wohngebäudes

Betonraupenablage [Eindhoven University of Technology]



Project milestone, city of Eindhoven

*Automatisierte Fertigung im Bauwesen.
beziehbar 2019. Spritzgußzusammensetzung:
Kurzfaser/ Zement. Ablegen von Raupen*

[Eindhoven University of Technology for future domestic buildings].



Ausführungsbeispiel Eindhoven



In den letzten Jahren wurden schon einige '3D-Druck'-Häuser produziert. Berühmt wurde ein NGO-Projekt für arme Bürger in Haiti und El Salvador. Das produzierte Häuser für je 4.000 US-Dollar, fertig gebaut in 12 bis 24 Stunden. Und in den Niederlanden entsteht nicht nur eine Siedlung in Eindhoven, auch die weltweit erste '3D-Druck'-Betonbrücke wurde dort 2017 eröffnet.

Ausführungsbeispiel '3D-Druck'-Brücke Eindhoven



Additiver Bau eines Gebäudes (Variante) *Freek Bos*

- CAD-Pläne für ein Gebäude werden in Steuerungsdaten für den AM-Roboter umgesetzt
- Über Betonbehälter wird schnell härtender Beton zugeführt
- Der Roboter baut dann 'Schicht für Schicht' einen Rahmen mithilfe des schnell härtenden Spezialbetons. Dabei legt seine computergesteuerte Spritzdüse ‚Betonraupen‘ ab, die von zwei seitlich angebrachten Kellen in ihre endgültige Form gebracht werden.
- Anschließend wird der Rahmen mit normalem Beton gefüllt. Es könnten auch wärmedämmende Schaumkugeln in die Hohlräume eingefüllt werden, was einfach zu recyceln ist. Außerdem wäre *Tragende Bewehrung* in den Hohlräumen einbringbar
- Eine gerichtete sog. *Konstruktive Bewehrung* mit Kurzfasern zur Betonmatrixverbesserung wäre realisierbar.



'Contour Crafting' am Bau



Extrusion von Frischbeton im Werk
Extrusion von Frischbeton vor Ort

*Dubai will bis 2030 25%
aller Bauten so bauen!*



Ausführungsbeispiel



Apis Cor also believes that in the near future homes may be printed using **dual extrusion**, allowing the **insulation** and other main components to be printed alongside the concrete structure. Apis Cor produced a home in a suburb of Moscow in just 24 hours. Source: Maxim Grigoryev / TASS

In's Ausland gehen? Heidelberg Cement's subsidiary Italcementi



HeidelbergCement's subsidiary Italcementi has been developing a high-tech concrete specially formulated for different types of 3D printing technologies. The results are encouraging: the material can be mixed, pumped and extruded through a nozzle of any shape at the head of different 3D printer types. The product sets quickly and permits the laying of successive concrete layers during the printing process. Research at the [i.lab in Bergamo](#) focused on both the performance of various concrete formulations and the printing process itself, using the extrusion technology.

Demonstrator-Kunstwerk „Cohäsion“, UIBK Innsbruck



Kooperation: Fa. Incremental 3D – Fa. Porr – Fa. Baumit

Spiralskulptur aus 47 Einzelteilen, eingeweiht anlässlich des 350-jährigen Jubiläums der Universität Innsbruck auf dem Campus. (pm/es)

[Institut für experimentelle Architektur.hochbau]

Neue Möglichkeiten für Architekten



 universität
innsbruck

[Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix,
Dipl.-Ing. Matthias Egger]

„Verlorene
Schalung“



Present stage of the 3D Construction industry- the hype & the "truth"

- Winsun did not 3D print all of the Office of the future in Dubai
 - not the "architecturally interesting parts"
 - And not in Dubai but in China
- Apis Cor did not print the house in 24h in Moscow and not for just 10.000 \$;
 - It took them from Oct. 2016 to Feb. 2017
 - The real total cost was way above 10.000 \$
- Cazza will not print skyscrapers in 2022 in Dubai
 - Cazza is de facto out of business
 - Only created the hype to try to get funding



The hype in Dubai

The truth in China



The hype in Feb. 2017

The truth in the fall of 2016



The hype in Mar. 2017

The truth in early 2018



dafür nun Gründung
„Vinci Construction“

Bilder von
Digital Concrete 2018,
Zürich

Von Tobias Grün, Voxeljet

Alles Bauwerke unter
Druckbeanspruchung
der Betonraupenfugen.

Wo bleibt die
Biegebeanspruchung?

Eine Bewertung: Additives Fertigungsverfahren “Betonraupenablage“

- Hype der Medien
- Unehrliche Angaben der Hersteller feststellbar

Schwerpunkte bisher:

- ❖ Digitale Fertigung
- ❖ architektonische Kunstwerke
- ❖ kaum Tragwerke, Kurzfaserbewehrung i. W.
- ❖ *druckbeanspruchte* Baukonstruktionen

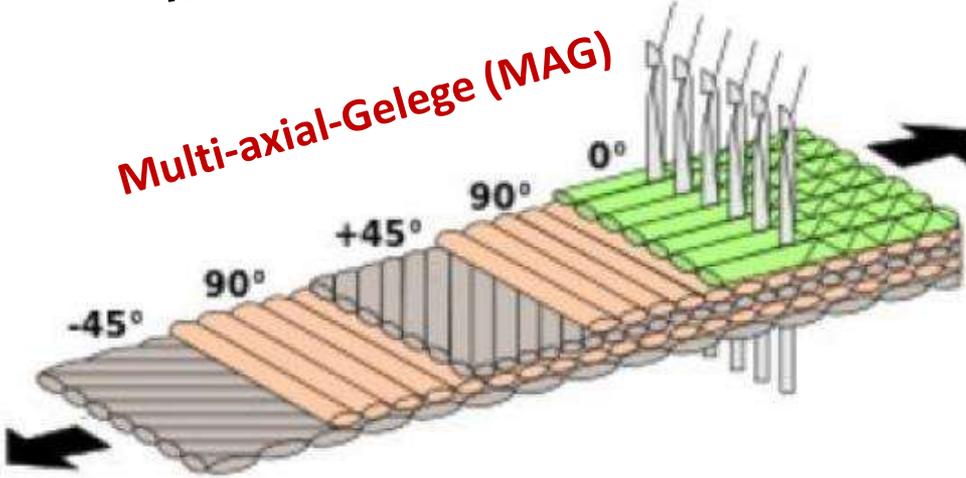
Schwerpunkte reale Bauindustrie:

- Kosten?, Zeitersparnis?, Markt?
- Rezeptur des Mörtels + Aushärtungsprozedur (ablegezeitabhängig, analog Polymermatrix)
- Guter Verbund der übereinanderliegenden Raupen notwendig
- Baustoffcharakterisierung voran treiben: Qualitätssicherung von Mörtel, Fasern, Beton und Fertigungsverfahren
- Fertigungsverfahren mit ‘echter’ Bewehrung *zugbeanspruchter* Bauteile
Tragfähigkeitsnachweis, Zulassungsverfahren
- **Muss noch interdisziplinärer werden** (Ausspruch eines Herstellers „Wir sollten nun auch Baustatiker heranziehen“ belegt dies ! Ist keine Domäne von Architekten und Digitalisierern) . **Dann hat das Additive Fertigungsverfahren “Betonraupenablage“ (meine Wortschöpfung) eine Chance auf sinnvolle Anwendungsbereiche.**

Endlosfaser-Bewehrung: Gelege, Gewebe, Textiles Gitter und Stab-Gitter

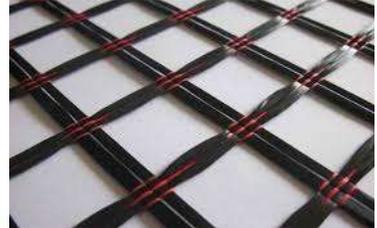
Einbringung von **Endlosfaser**- Bewehrung:
Wie weit lösbar für GZT?

Multi-axial-Gelege (MAG)

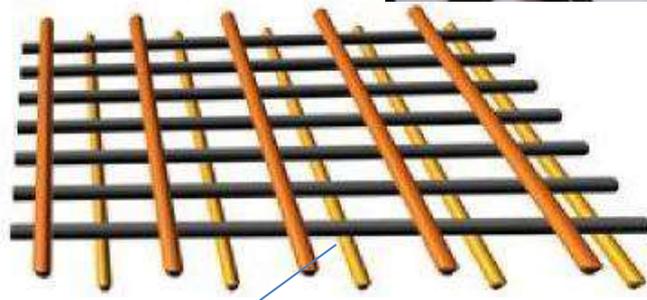


Gitterartige Bewehrungsstrukturen

textile Gitter



Bewehrungs-
-matten



UD-Gelege (≡ Lamelle), Gewebe, Stab-Gitter



Geschlossene Bewehrungsstrukturen

Wer ‚klotzt‘ aber z. B. viel mehr als wir Deutschen ??



Huashang Luhai



Bewehrung zwischen
Betonraupenablage einbringen

Additive Fertigung mit Leichtbeton
Klaudius Henke Technische Universität München,
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion

Aufgrund bisheriger Erfahrung:

Es wäre schön, wenn sich die unterschiedlichen Ingenieurdisziplinen Bauwesen (Bauingenieure, Architekten, Baustoffkundler) und Maschinenbau so nahe wären, wie es Flußpferd und Krokodil zeigen!



ZIEL muss es also sein:

Gemeinsam, vom bisher mehr architektonischen Kunstwerk zum zugelassenen seriellen Tragwerk zu kommen.

Dies gelingt nur, wenn alle Betroffenen – *forschungsmittel-unterstützt* – in einem interdisziplinären Team *robotergestützt* die Produktions-Entwicklung voran treiben.

**Es darf nicht sein, dass wir in D den
Zug „Additive Fertigung im Bauwesen“ verpassen !**

Werden wir einmal in additiv gefertigten Häusern wohnen?

Zur Zeit nicht beantwortbar, weil es noch keine
bauingenieur-gemeinsame Aufgabe
geworden ist.

Keep in mind !
All is difficult prior to becoming simple!
[Moslik Saadi]