

Mit additiver Fertigung und Bionik zu mehr Nachhaltigkeit im Bauwesen

Joana Schulte | Digital Additive Production DAP, RWTH Aachen

12.05.2023 | Bionik Kongress Bremen

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

dap Digital Additive Production

RWTH AACHEN UNIVERSITY

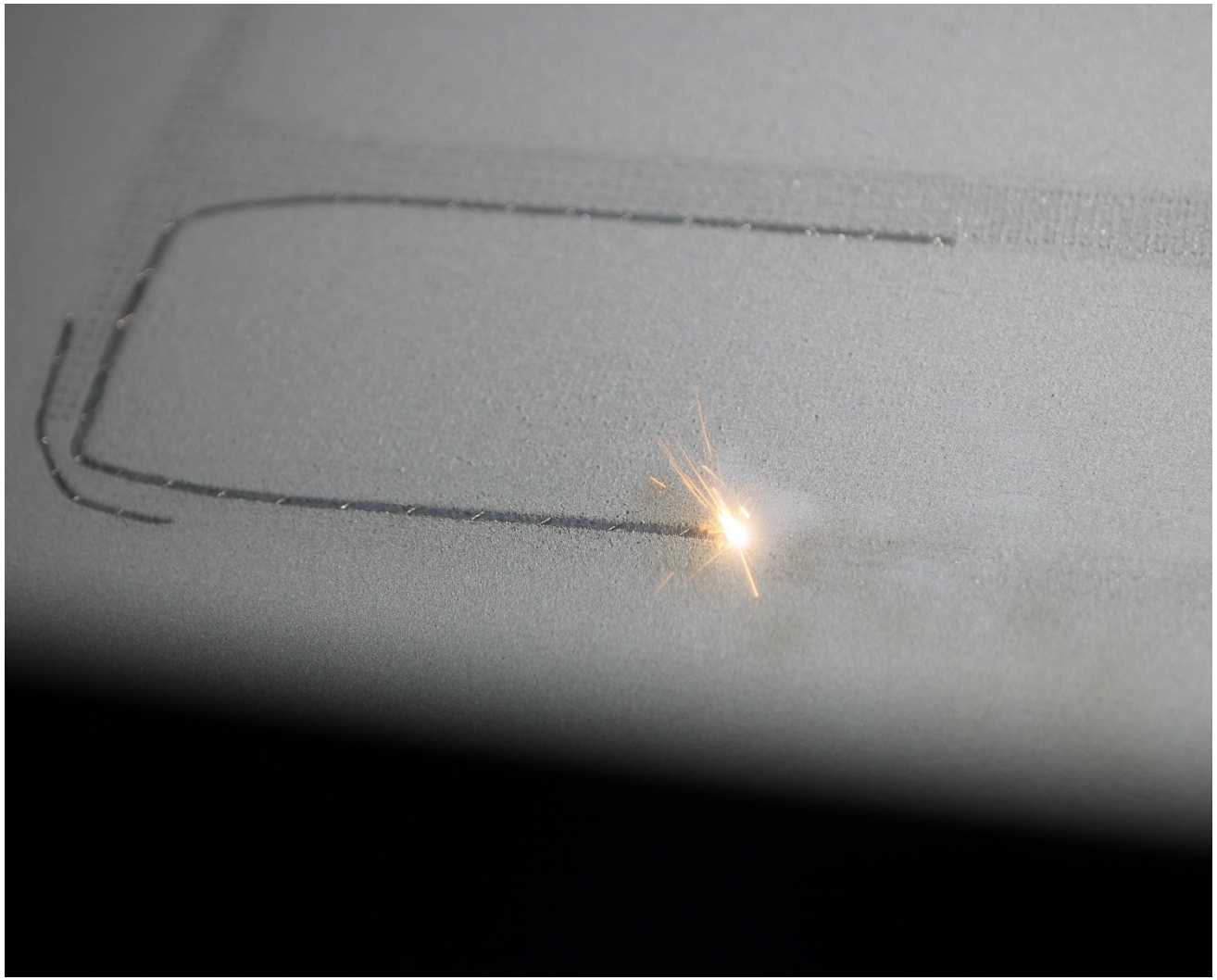
Motivation
Umwelteinfluss der Bauindustrie



- Die **Bau- und Gebäudebranche** ist einer der größten Verbraucher des weltweiten Energiebedarfs und einer der größten Verursacher der global ausgestoßenen Treibhausgasemissionen
- Bauen, Instandhalten und Betrieb von Gebäuden in 2019 [1]:
  - 35 % des globalen Energieverbrauchs
  - 38 % der energiebezogenen CO_2-Emissionen
- Die Bauindustrie ist daher eine **Schlüsselindustrie** für den Beitrag zu einer **nachhaltigeren Zukunft** durch die Reduzierung von:
  - Globalem Energiebedarf
  - Treibhausgasausstoß

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
dap Digital Additive Production
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Agenda



Bauwesen

- Energie und Ressourcen
- Bionik
- Additive Fertigung (AM)

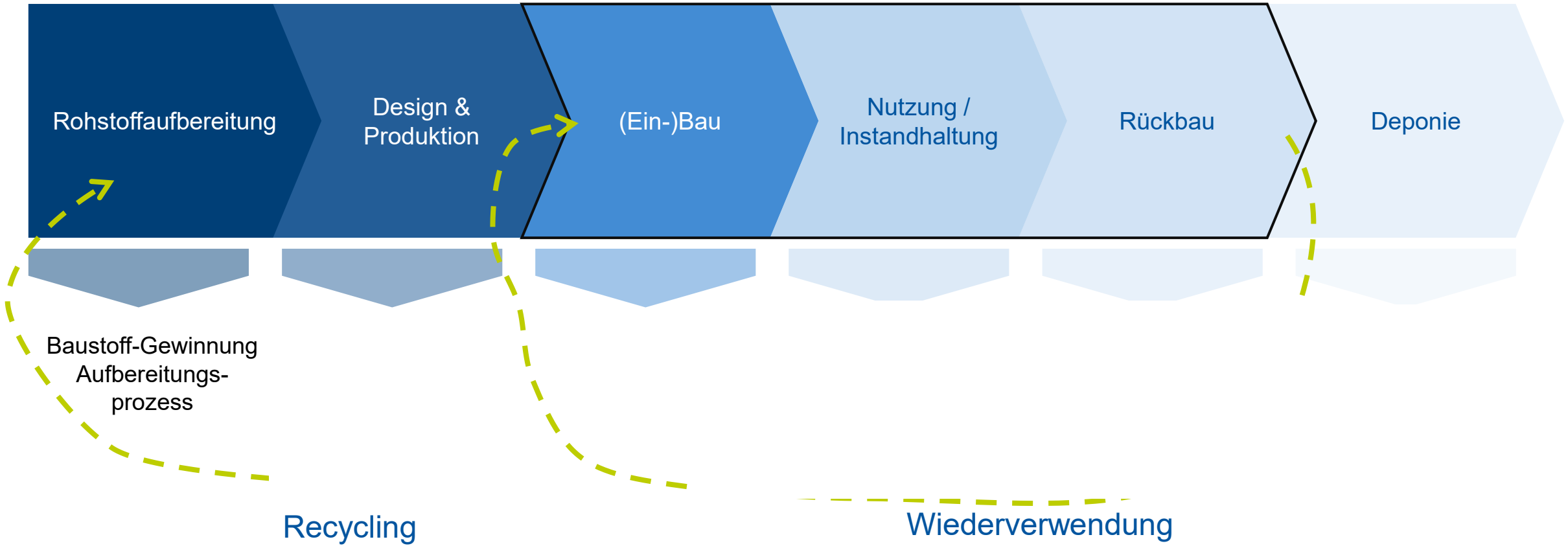
AddMamBa

- Bauphase
- Nutzungsphase
- Rückbauphase

Zusammenfassung

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
dap Digital Additive Production
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Einleitung
Energie- und Ressourcen im Bauwesen



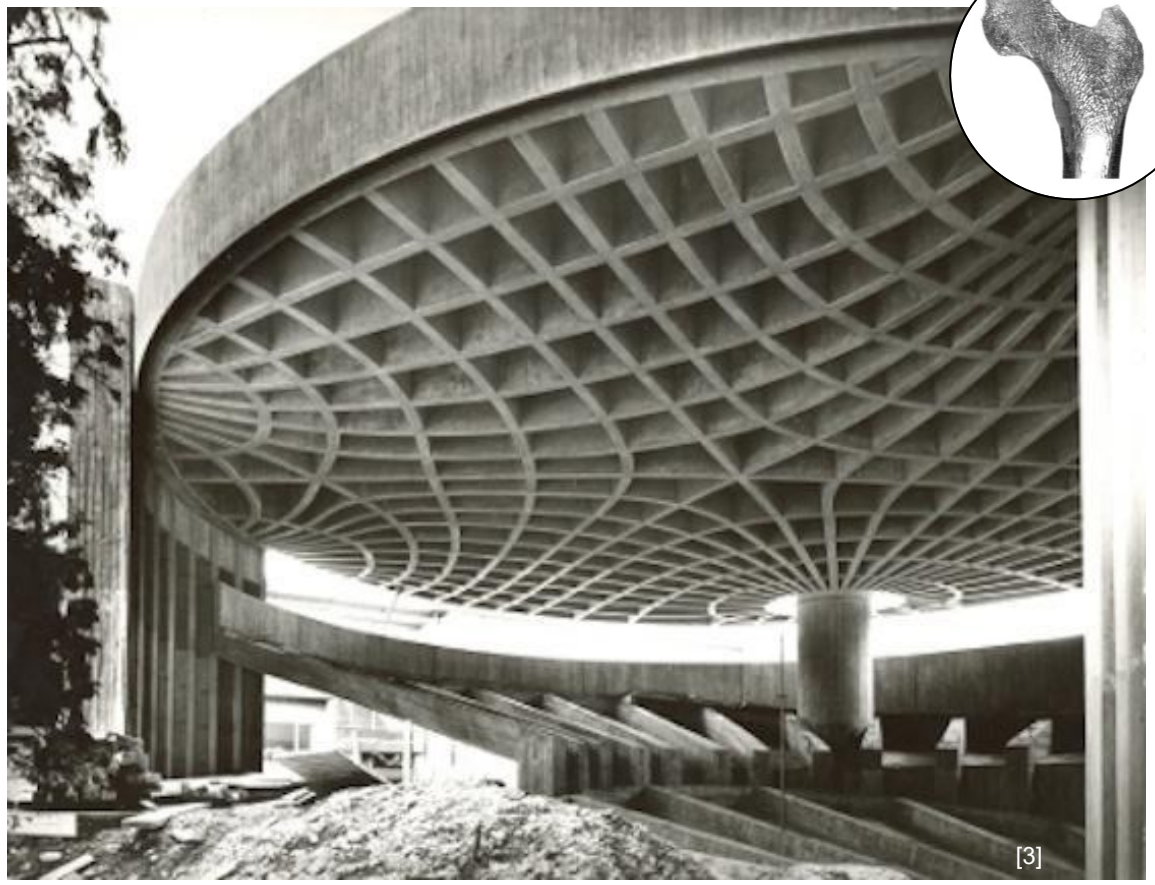
© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
dap Digital Additive Production
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Einleitung
Klassische „Bau-Bionik“



[4]

Bionische Lamellenkonstruktion Ozeanpavillon Expo 2012



[5]

„Knochendecke“ Zoologie Hörsaal Universität Freiburg

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP

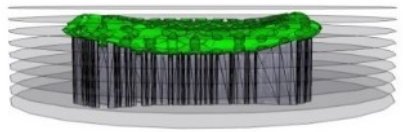
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

dap Digital Additive Production

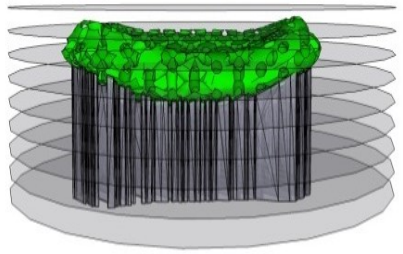
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Additive Fertigung
Powder Bed Fusion – Laser Beam/Metal (PBF-LB/M)

Pre-Process

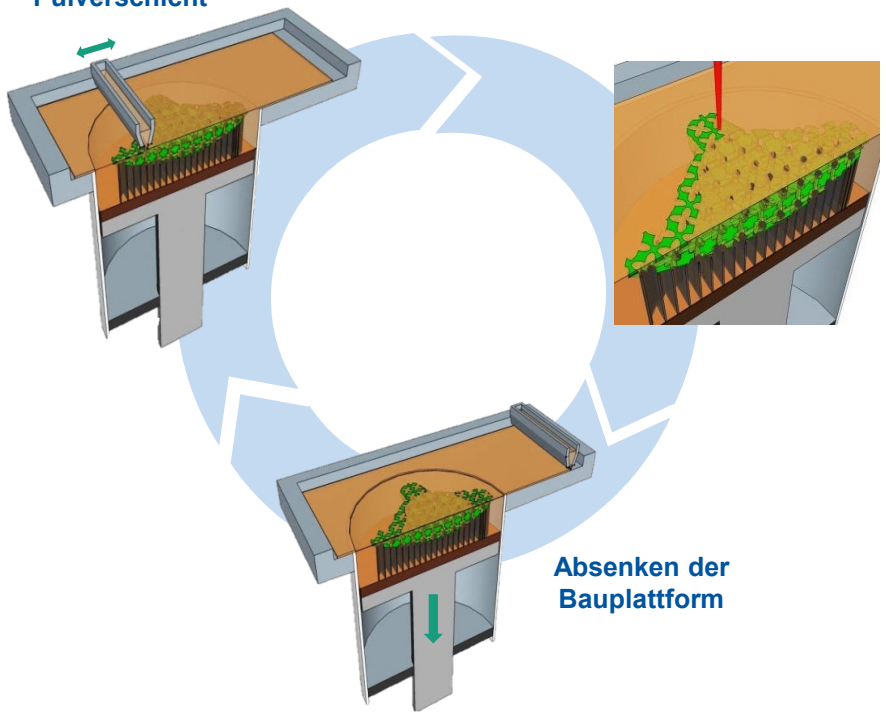


Slicing





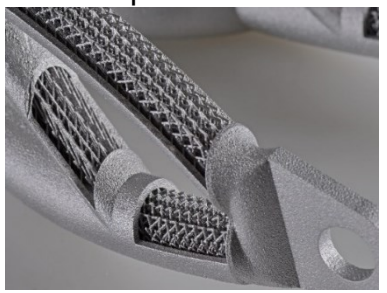
In-Process



Post-Process



Entpulvern & Entfernung von der Substratplatte



Fertiges Bauteil mit komplexen Details

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
dap Digital Additive Production | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Anwendung von AM im Bauwesen
Additiv gefertigte Knoten für Freiformfassaden

HivE – N-AM_Li3

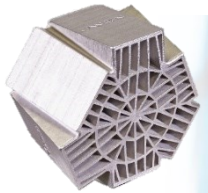


[7]

- Additiv gefertigte 3D-Fassadenknoten für Aluminiumprofil-Systeme
- Größere Designfreiheit
- Parametrisch generiert und topologieoptimiert
- Erster in DE zugelassener additiv gefertigter Fassadenknoten


[8]

Studie VISS³


PBF-LB/M


[9]

- Selbsttragende Fassade ohne Unterkonstruktion
- AM-gefertigte Knoten in Kombination mit VISS-Profilen
- Konkave und konvexe Formen, Mehrfachverbindungen, variierende Winkel


[9]

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
dap Digital Additive Production
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Potentiale zur Treibhausgasminderung innerhalb des Projekts AddMamBa





- Reduzierung von CO_2-Emmissionen während der Herstellung

  → Verwendung von Bauschrott als Ausgangsmaterial

- Materialeffizienz / Ressourceneffizienz

  → Leichtbauoptimierung durch Gestalt- und Topologieoptimierung, Bionik

- Steigerung der Energieeffizienz (Gebäudehülle) durch Wärmebrückenreduzierung

  → Wärmetechnisch optimierte Verbindungselemente/Fassadenhalter

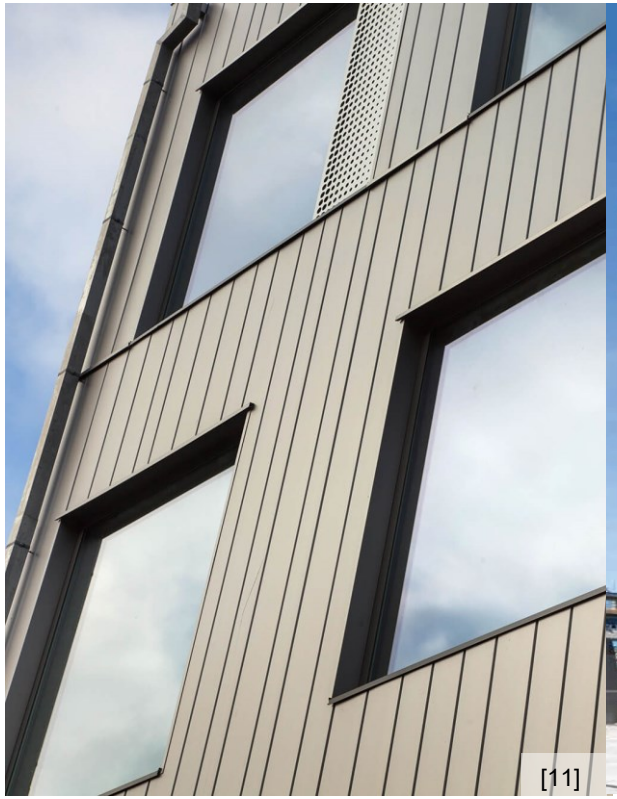
- Förderung der Wiederverwendung von Tragelementen

  → Herstellung lösbarer Verbindungselemente

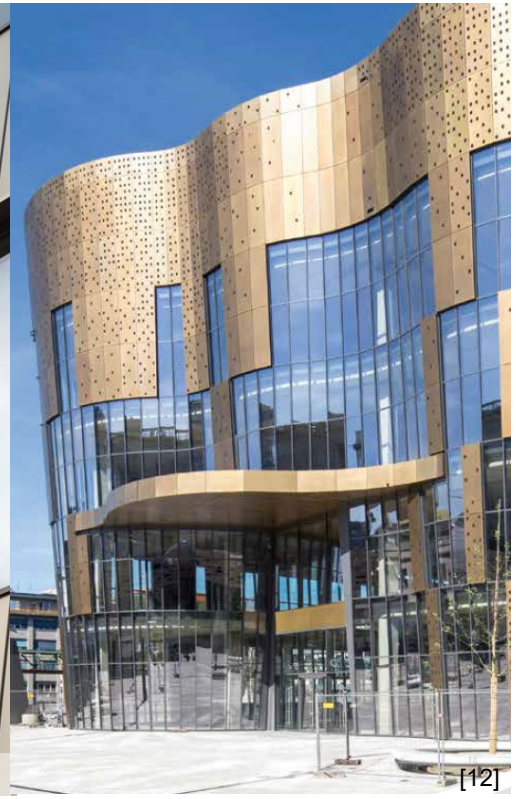
[10]

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Systemfassaden – Vorgehängte Hinterlüftete Fassaden (VHF)



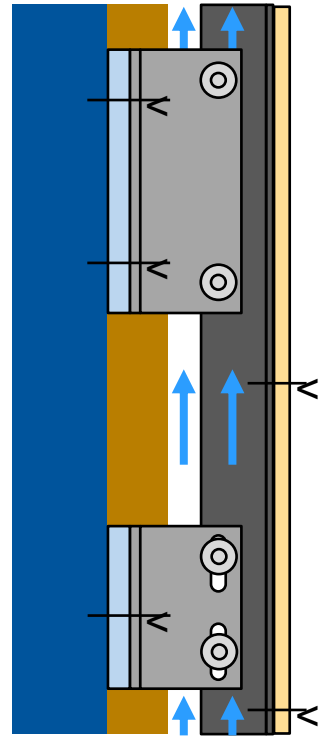
[11]



[12]



Verankerungsgrund
Mineralische Dämmung
Thermisches Trennelement
Wandkonsole
Befestigungselement
Tragprofil
Verbindungselement
Bekleidungselement
Hinterlüftungsraum



angelehnt an [12]



[13]

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

dap Digital Additive Production

RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bau- und Herstellungsphase – Materialeffizienz / Leichtbau

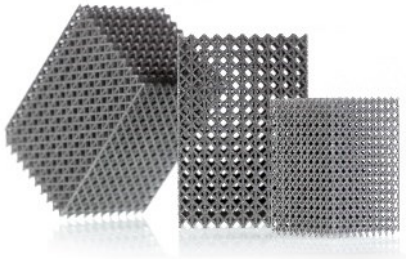
Strukturoptimierung

- Größenoptimierung
- Formoptimierung
- Topologieoptimierung



Gitterstrukturen

- Günstiges Festigkeits/Gewichtsverhältnis



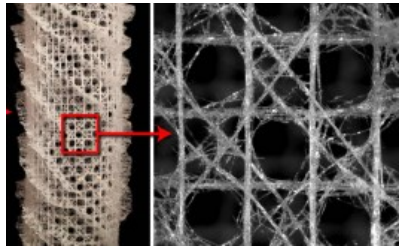


Bionik

- Materialeffizient
- Möglichkeit zu multi-funktionalen Lösungen



[15]



[14]



[13]

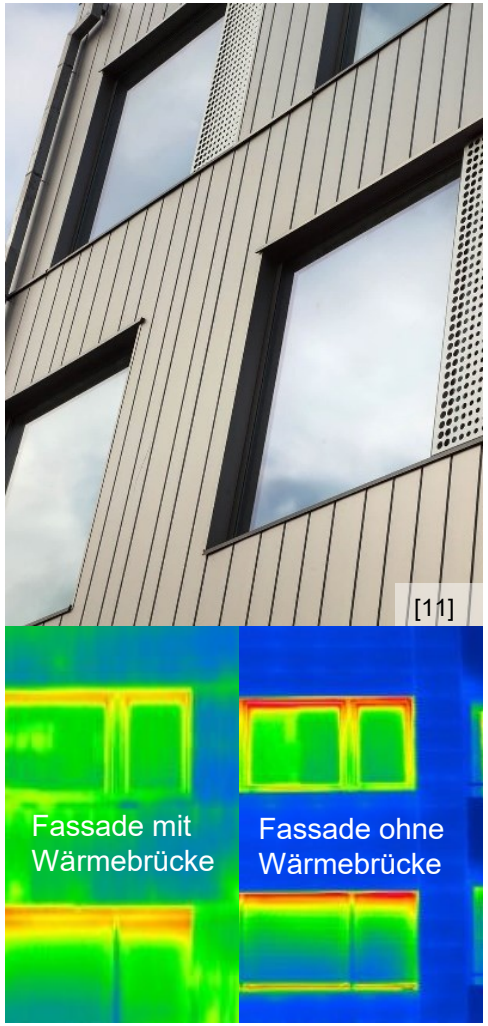
© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

dap Digital Additive Production

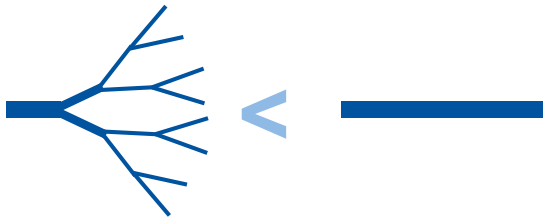
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Bau- & Nutzungsphase – Materialeffizienz / Energieeffizienz der Gebäudehülle



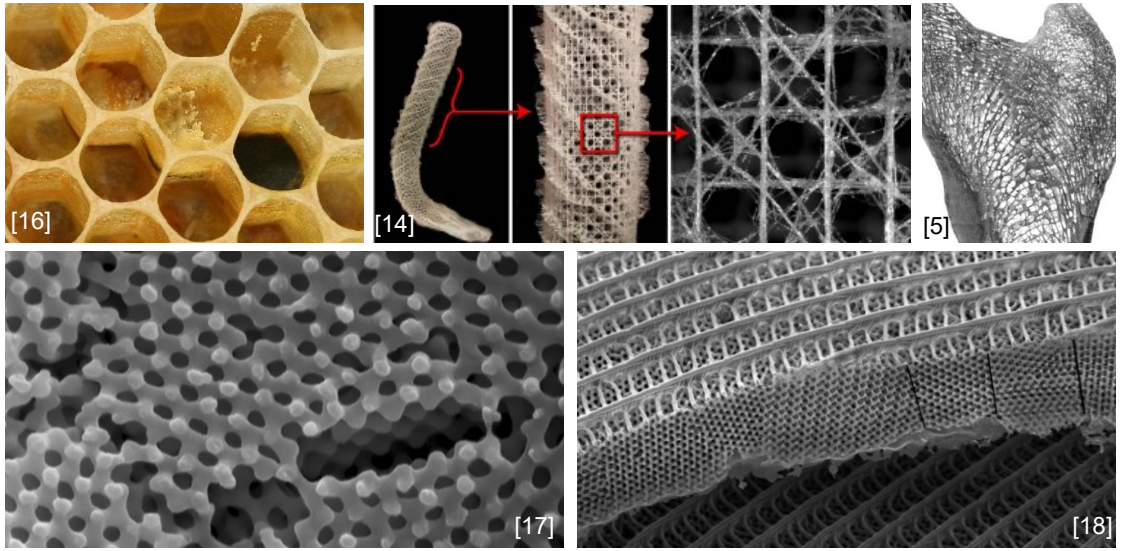
- Optimierungsziel: Materialeffizienz + geringe Wärmeleitung
- Optimierungsalgorithmen zu strukturmechanischen und bauphysikalischen Aspekten können gegenläufige Wirkungen haben
- In der Natur können multifunktionale Lösungen von Vorteil sein

Verzweigte Strukturen



Die effektive thermische Leitfähigkeit von baumähnlich verzweigten Netzwerken ist geringer als von Einzelstrukturen

Zelluläre Strukturen & Gitterstrukturen



© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

dap Digital Additive Production | RWTH AACHEN UNIVERSITY

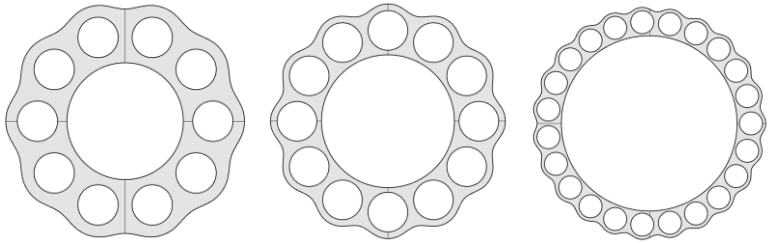
Bau- und Nutzungsphase – Materialeffizienz / verringerte Wärmeleitung

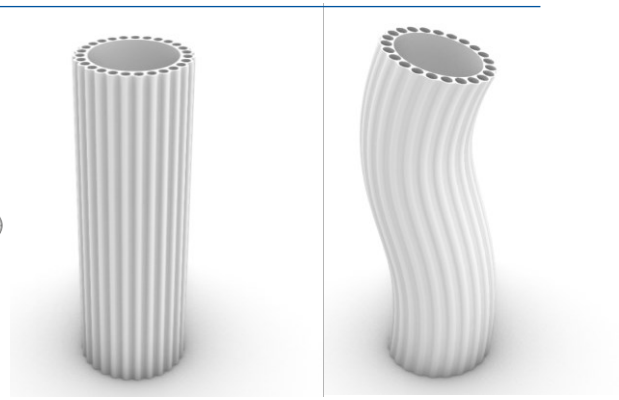
Vorbild Schachtelhalm



[15]

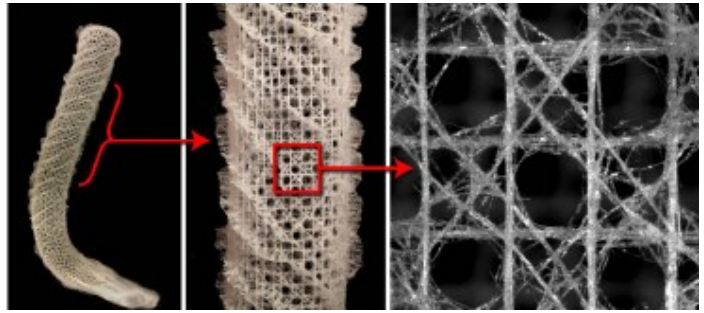
Parametrisches Modell





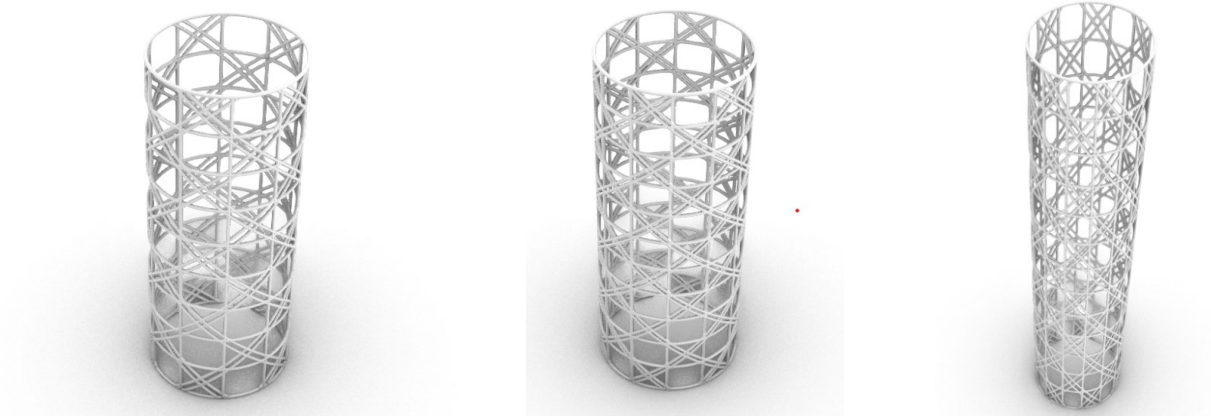


Vorbild Glassschwamm



[14]

Parametrisches Modell





[13]

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
dap Digital Additive Production
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Rückbau
Konventionelle Verbindungstechniken im Bauwesen


[19]


[20]


[22]

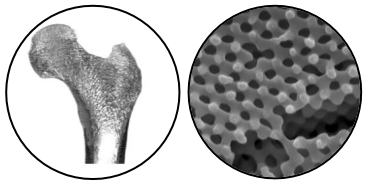

[21]

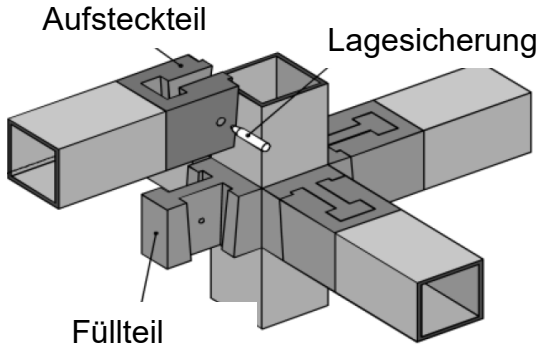
- Häufig verwendete Verbindungstechniken im Bauwesen:
  - Schweißen
  - Nieten
  - Schrauben
- (Zeit-) Aufwendig in der Montage vor Ort
- Nicht oder nur mit Aufwand wieder lösbar
- Wiederverwendbarkeit ist meist nicht gegeben

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
dap Digital Additive Production
RWTH AACHEN UNIVERSITY

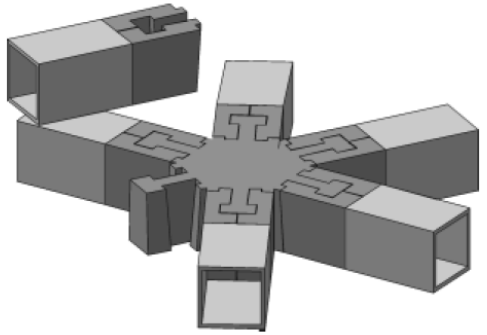
Lösbare Verbindungsmechanismen im Bauwesen

- Mit wenig Aufwand (de-) montierbare Verbindungsmechanismen:
  - Ermöglichen eine umfassende Vorfertigung
  - Minimieren Kosten und Zeitaufwand für den Bau vor Ort
  - Ermöglichen nach dem Rückbau die Wiederverwendung von Bauteilen
  - Erleichtern im Rückbau die recyclinggerechte Trennung von Baustoffen und fördern eine Erhöhung der Recyclingrate





[5],[17],[23]



© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP

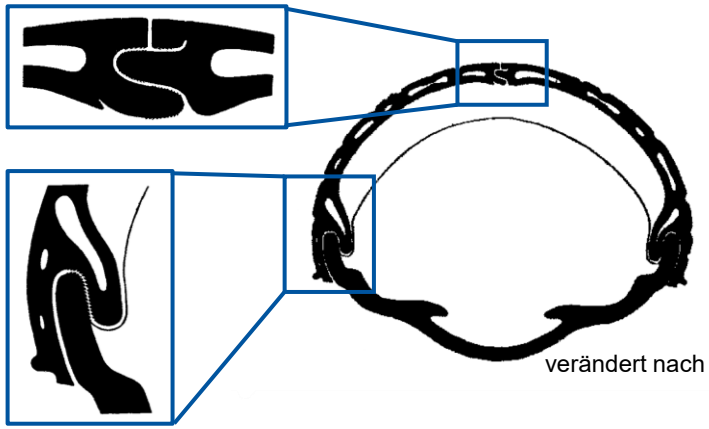
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

dap Digital Additive Production

RWTH AACHEN UNIVERSITY

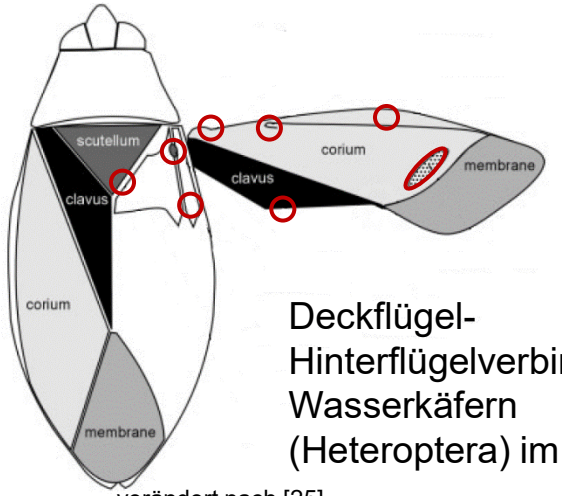
Verbindungen und Verankerungen in der Natur

- Verkopplungen zwischen Teilen eines Tieres
  - Flügelkopplungen
    - Flügel-Flügel-Kopplung
    - Flügel-Körper-Kopplung
- Verklammerungen und Verkopplungen zwischen Tier und Tier
  - Kopulationsorgane, Schüssel-Schloss-Prinzip
- Verhakungen und Verkopplungen zwischen Pflanze und Pflanze
  - Kletterpflanzen (z.B. Efeu, Hopfen)
- Statische Verhakung zwischen Pflanze und Tier
  - Disteln, Kletten



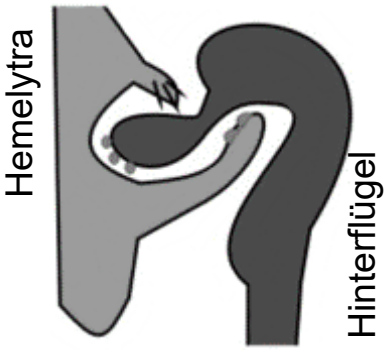
verändert nach [24]

Deckflügelverbindungen (Nut-Feder/Doppelfalz mit Zähnungen) des Wasserkäfers *Cnemidotus caesus* mit längs gerichteten Lufträumen



verändert nach [25]

Deckflügel-Hinterflügelverbindung von Wasserkäfern (Heteroptera) im Flug



verändert nach [25]

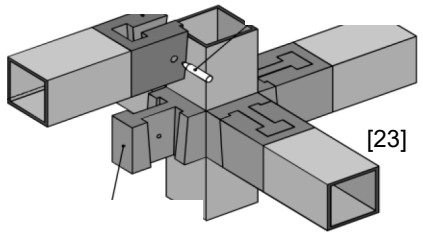
© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

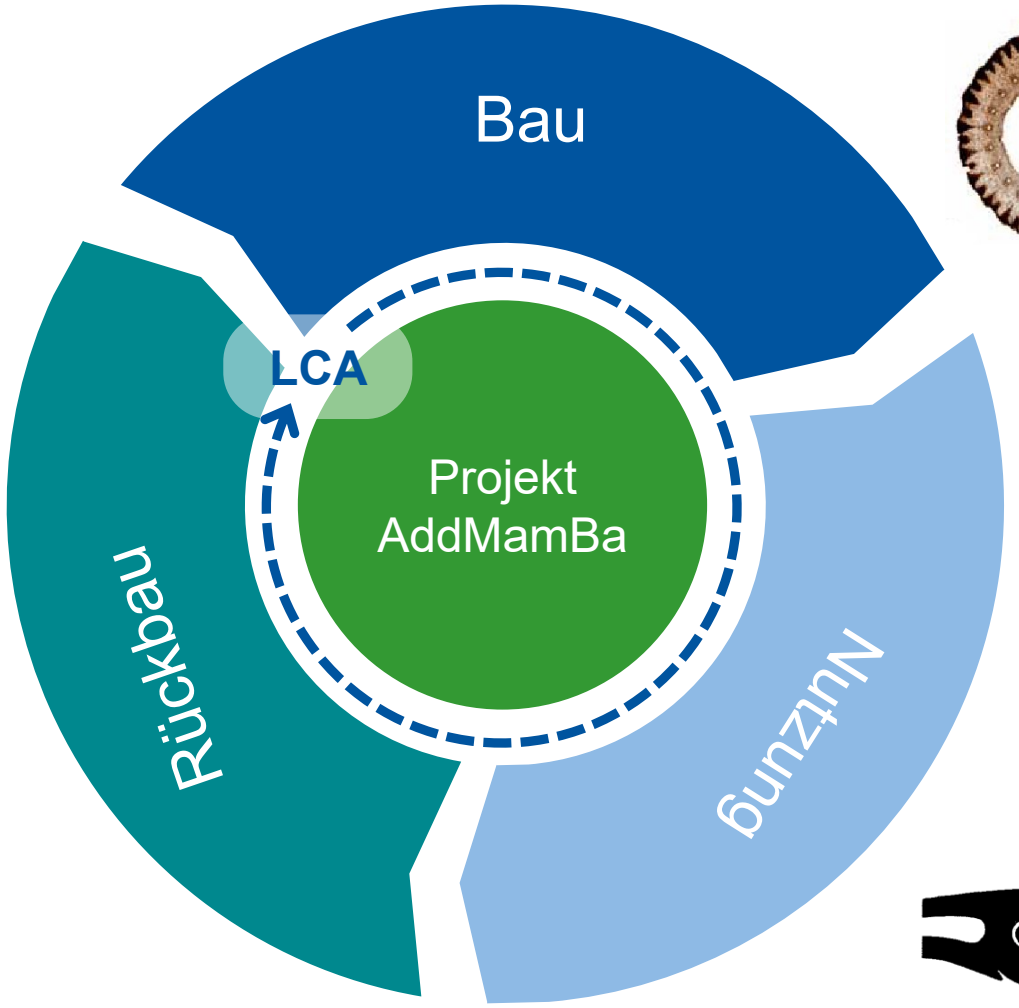
Mit additiver Fertigung und Bionik zu mehr Nachhaltigkeit im Bauwesen
Zusammenfassung


[26]

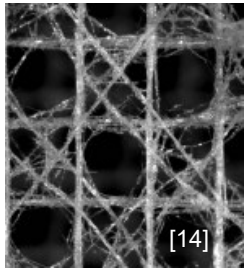

[27]

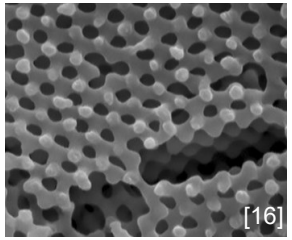


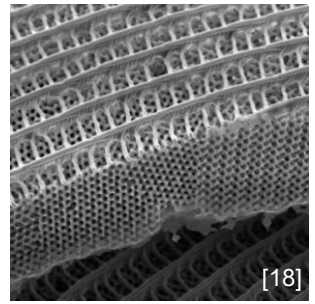

[23]




[15]

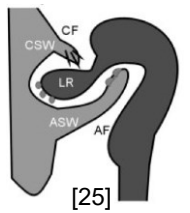

[14]


[16]


[18]


[24]





[25]

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
dap Digital Additive Production
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Quellen

[01] United Nations Environment Programme (2020): 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector

[02] https://www.knippershelbig.com/de/projekte/thematic-pavillon-expo-2012

[03] Plant Biomechanics Group Freiburg: https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/architektur/freiburger-knochendecke-vorbild-fuer-optimale-leichtbaukonstruktion/

[04] https://www.gartenjournal.net/strelizienbluete

[05] Sauer, A. (2008): Untersuchungen zur Vereinfachung biomechanisch inspirierter Strukturoptimierung, Dissertation Universität Karlsruhe

[06] Solukon: https://www.solukon.de/de/depowdering-metall/

[07] haute-innovation.com

[08] li3designers.com

[09] https://www.jansen.com/de/building-systems-stahlprofilsysteme/themen/jansen-viss3.html

[10] Shutterstock/Krisana Antharith

[11] vhf.aluform.de

[12] Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V. - FVHF (2018): Innovationen auf dem roten Teppich

[13] https://www.heinze.de/produkt/tekofix-a-fassadenkonsole/43212106/

[14] Fernandes, M.C., Aizenberg, J., Weaver, J.C. and Bertoldi, K. (2021): Mechanically robust lattices inspired by deep-sea glass sponges

[15] Masselter, T. & Speck, T. (2011): Biomimetic Fiber-Reinforced Compound Materials

[16] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Apis_mellifera_carnica_comb.jpg

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Quellen

[17] Wilts, B. & Saranathan, V. (2018): A Literal Elytral Rainbow: Tunable Structural Colors Using Single Diamond Biophotonic Crystals in *Pachyrrhynchus congestus* Weevils. Small 14(46)

[18] Pelanconi, M. & Ortona, A. (2019): Nature-Inspired, Ultra-Lightweight Structures with Gyroid Cores Produced by Additive Manufacturing and Reinforced by Unidirectional Carbon Fiber Ribs. Materials 12

[19] https://pixabay.com/de/photos/stahl-konstruktion-nieten-4431072/

[20] https://www.metallbau-magazin.de/artikel/mb_Fassaden_sicher_verankern-1812180.html

[21] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/95/HVSchraubverbindung.JPG

[22] Günther Weigle: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Vorhangfassadentechnik_Planung_von_Baukoerperverformungen-2403777.html

[23] Grube, R. & Landskröner, S. (2001): Der Sigma-Knoten – eine biegesteife Steckverbindung. Stahlbau 70(3)

[24] Nachtigall, W. (2005): Biologisches Design. Systematischer Katalog für bionisches Gestalten. Springer-Verlag, Berlin

[25] Gorb, S. & Perez Goodwyn, P.J. (2003): Wing-Locking Mechanisms in Aquatic Heteroptera. Journal of Morphology

[26] https://www.hausjournal.net/beton-entsorgen

[27] https://kaatsch.de/stahlschrott

© RWTH Aachen University – Digital Additive Production DAP

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Joana Schulte

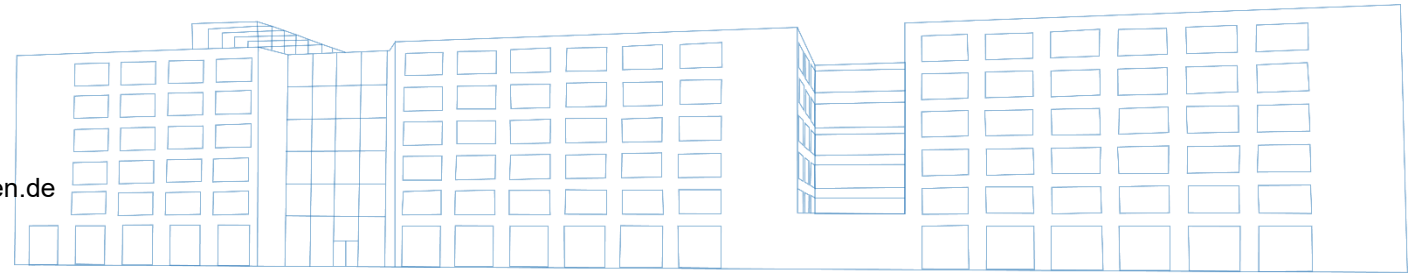
Research Associate

RWTH Aachen University - Digital Additive Production DAP
Campus Boulevard 73, 52074 Aachen, Germany

Campus-Boulevard 30
52074 Aachen

Phone +49 241 80 40618
Email joana.schulte@dap.rwth-aachen.de

www.dap-aachen.de



Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

dap Digital Additive Production

RWTH AACHEN UNIVERSITY