

01/24 steeldoc

Experimente



Inhalt

Editorial	3
Filter House, Vernier, Genf Ein Haus, das sich stets wandelt	4
Science Center im Primeo Energie Kosmos, Münchenstein Form folgt Verfügbarkeit	12
MX3D-Brücke, Amsterdam (NL) Am Anfang stand eine Idee	18
Cody Dock Rolling Bridge, London (UK) Rotieren und umdrehen – Brücke neu denken	24
Impressum	31

Kompetenz im Stahlbau

Das Stahlbau Zentrum Schweiz (SZS) ist das Schweizer Kompetenzforum für den Stahlbau. Als Fachorganisation vereint das SZS die wichtigsten stahlverarbeitenden Betriebe, Zulieferfirmen und Planungsbüros der Schweiz und erreicht mit seinen Aktivitäten mehr als 8000 Architektinnen, Bauplanende, Entscheidungsträger und Institutionen.

Das SZS informiert das Fachpublikum, fördert die Forschung, Entwicklung und Zusammenarbeit im Stahlbau, pflegt internationale Verbindungen und unterstützt die Aus- und Weiterbildung von Fachleuten. Seine Mitglieder profitieren von einem breiten Leistungsangebot zu günstigen Konditionen.

www.szs.ch

Stahlbau Zentrum Schweiz
Centre suisse de la construction en acier
Centro svizzero per la costruzione in acciaio
Swiss Center for Steel Construction

Am Anfang stand eine Idee

Bauherrschaft
Stadt Amsterdam

Tragwerksplanung
Arup und MX3D

Design
Joris Laarman Lab

Fertigstellung
2021



Luftaufnahme.

Die weltweit erste 3D-gedruckte Stahlbrücke für den Oudezijds Achterburgwal im Rotlichtviertel Amsterdams, die mit mehreren Designpreisen ausgezeichnet wurde, zeigt die Möglichkeiten, wie durch computerunterstütztes Design, verbunden mit modernster Roboterschweisstechnologie, die Idee des 3D-Stahlodrucks auch grossmassstäblich in gebaute Realität umgesetzt werden kann.

Michael Koller, Architekt – Urban Planner – Journalist

Was sich in erster Instanz als ein einfaches, organisch designtes Kunstobjekt im öffentlichen Raum präsentiert, entpuppt sich bei genauerer Nachforschung als das Resultat einer intensiven, langjährigen und internationalen Zusammenarbeit zwischen Universitätsinstituten, Tragwerksplanern, Software- und Stahlbauunternehmen. Bei diesem von Joris Laarman Lab und MX3D initiierten Projekt handelte es sich um ein innovatives und interdisziplinäres Forschungsvorhaben in

mehreren wissenschaftlichen Bereichen, das Expertinnen und Experten aus den Datenwissenschaften und der Statistik, dem Ingenieurwesen, den Materialwissenschaften, dem Industriedesign, der Informatik und der Technologiephilosophie zusammenbrachte, um an einem Projekt mit revolutionärem Potenzial zusammenzuarbeiten.

Diese übergreifende Kooperation wurde dementsprechend mit dem STARTS Prize 2018 (Science,

Die MX3D-Fussgängerbrücke spannt sich in einer durchgehenden, fließenden Bewegung über den Kanal Oudezijds Achterburgwal im Amsterdamer Rotlichtviertel und wurde von Joris Laarman Lab als Designobjekt im öffentlichen Raum entworfen.



Technology und Arts) der Europäischen Kommission honoriert: ein Preis, der für innovative und zukunftsweisende Projekte an der Schnittstelle von Wissenschaft, Technologie und Kunst vergeben wird.

Und die Idee wurde zum Design

Joris Laarman und Gijs van der Velden, Geschäftsführer von MX3D – einem Start-up-Unternehmen, das sich auf die Entwicklung roboterunterstützter WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing)-Technologie für 3D-Stahl Druck spezialisiert hat – ging es von Anfang an darum, mit der Fussgängerbrücke ein Ausstellungs- und Gebrauchsobjekt zu konzipieren, das Besucher anzieht, um mehr über die Möglichkeiten und den Stand der Technik im 3D-Stahl Druck zu erfahren.

Wie van der Velden vom Joris Laarman Lab betont, ist die Brücke als Designobjekt und Forschungsvorhaben entworfen worden. Sie sollte die Gestaltungsfreiheiten der innovativen Design- und Produktionstechniken für 3D-gedruckte Stahlelemente ausschöpfen und darstellen; und aufzeigen, wie diese Technologien die Bauwelt beeinflussen können.

«Mittels der Brücke sollte den Menschen gezeigt werden, dass es im Bereich des 3D-Drucks einen Massstabssprung gegeben hat und dass es mittlerweile auch möglich ist, ein funktionelles Infrastrukturobjekt im geschäftigsten Viertel von Amsterdam zu drucken», so Velden.

Die Fussgängerbrücke als Designobjekt lag in einer Stadt wie Amsterdam quasi auf der Hand. Dieser Ort im Rotlichtviertel bot sich aus zwei Gründen an: Einerseits ist dieses Quartier ein Publikumsmagnet, den man für dieses Projekt bewusst gesucht hat; andererseits musste die alte Brücke restauriert werden und es musste eine Zwischenlösung gefunden werden. Das ist auch der Grund, weshalb diese Brücke an diesem Ort nicht mehr besucht werden kann. Im Oktober wurde die provisorische 3D-Brücke abgebaut. Nach Angaben eines Sprechers des Bezirks Centrum wird die alte Brücke, die inzwischen repariert wurde, wieder an ihren Platz gebracht. Vermutlich wird dies Ende März 2024 so weit sein.

Aufgrund der zahlreichen noch unbekannt Parameter bezüglich der Materialkapazitäten und der Tragfähigkeit des Bauwerks wurden die Risiken des Pilotprojekts auf eine kleine Struktur mit geringer Spannweite beschränkt. Daher erwiesen sich die schmalen Kanäle dieses ältesten Stadtgebiets Amsterdams als die beste Option für den Brückenstandort.



Der von ABB zur Verfügung gestellte 6-Achs-Schweißroboter trägt in einem ununterbrochenen Arbeitsschritt die Stahlschichten der Brüstungsteile und der Hohlstahlprofile des Laufstegs auf.

Und die Idee suchte einen Ort

Tatsächlich war der Druck der Brücke ursprünglich direkt vor Ort geplant. Ein Vorhaben, das, wie van der Velden erklärt, aus verschiedenen Gründen fallen gelassen werden musste:

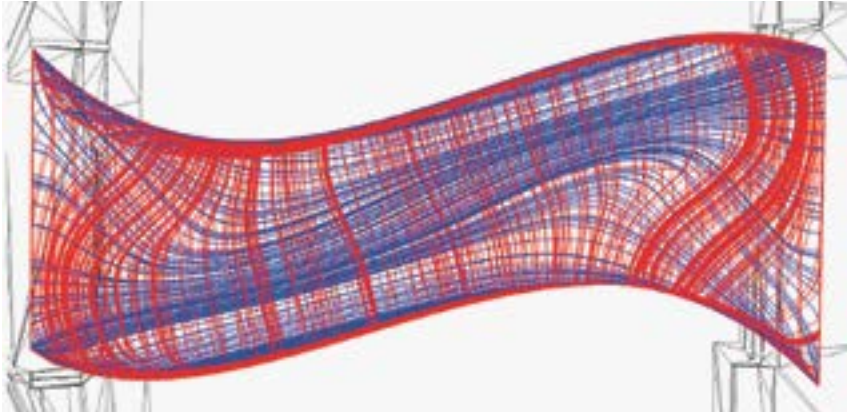
- Erstens mangelte es in dem sehr dichten, belebten und hektischen Stadtteil am notwendigen Platz, um eine mehrmonatige Baustelle einzurichten, weshalb eine Baubewilligung verweigert worden wäre.
- Zweitens wollte man das Design- und Produktionsteam sowie die technischen Apparaturen nicht den wechselnden Witterungseinflüssen aussetzen.
- Drittens wollte man technische Probleme und Risiken minimieren, die aufgrund des noch unbekannt Materialverhaltens (bei ständig wechselnden Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen vor Ort) zu einem Versagen des Bauwerks hätten führen können.

Aus diesen Gründen entschloss man sich, die Produktion in die Ateliers von MX3D in der NDSM-Werft (Nederlandsche Scheepsbouw Maatschappij) in Amsterdam-Noord zu verlegen, wo man die Kanalsituation für die verschiedenen Testversuche nachbaute und die fertige Brücke anschließend auf einem Boot zum Kanal transportierte.

Und die Idee wurde zur Form

Arup spielte als Tragwerksplaner eine entscheidende Rolle bei der Entwurfsentwicklung, während MX3D die erforderliche Software entwickelte, um die Schweißmaschinen in 3D-Druckroboter umzuwandeln.

In den ersten Computerentwürfen und Analysen ging man noch von einer stabartigen Baumstruktur der Brücke aus.



Oben: Die ersten Computeranalysen dienten zur Ermittlung der Hauptspannungsverläufe und der Verteilung der Zug- und Druckkräfte in der Struktur. Auf Basis dieser Spannungsverläufe wurde die Haupttragstruktur entwickelt und gleichzeitig ermittelt, welche Form zum optimalen und effizientesten Materialeinsatz führen würde.

Rechts: Die ununterbrochenen und durchlaufenden Handläufe dienen als Hauptgurte des U-förmigen Tragwerks.

Unten: Die 3D-gedruckten und gekrümmten Hohlstahlprofile des Laufstegs bilden die Unterkonstruktion des Bodens und sind gleichzeitig Teil der Tragstruktur.

Das Designteam um Joris Laarman kannte aus Erfahrung das Potenzial und die Machbarkeit solcher räumlicher Tragwerke, insbesondere im Hinblick auf mögliche Materialeinsparungen und die Tragfähigkeit der Strukturen.

Nach einer zweijährigen Testphase musste das Konzept der Brücke jedoch aufgrund von zwei wesentlichen technischen Erkenntnissen verändert werden:

- Einerseits war das Risiko eines Brückeneinsturzes aufgrund der Beschädigung eines Stabs durch ein Boot zu hoch.
- Andererseits war das horizontale Drucken zu langsam, da nicht nur weniger Material pro Schicht aufgebracht werden konnte, sondern auch die Formveränderungen des Materials unter dem Gewicht der Roboter berücksichtigt werden musste. Dies hatte letztendlich Auswirkungen auf das Tragverhalten der Gesamtkonstruktion. Um die Produktion zu beschleunigen und Kosten zu sparen, wurden die Schichten schliesslich vertikal aufgetragen.

Diese geänderten Rahmenbedingungen und die Entscheidung, in der Werft zu drucken, beeinflus-



ten den Entwurf entscheidend. Arup entwickelte ein parametrisch erstelltes, U-förmiges Tragwerk, in dem die ununterbrochenen und durchlaufenden Handläufe als Hauptgurte dienen. Die ebenfalls 3D-gedruckten und gekrümmten Hohlstahlprofile des Laufstegs bilden die Unterkonstruktion des Bodens und sind gleichzeitig Teil der Tragstruktur.

Die ersten Computeranalysen dienten zur Ermittlung der Hauptspannungsverläufe und der Verteilung der Zug- und Druckkräfte in der Struktur. Auf Basis dieser Spannungsverläufe wurde die Haupttragstruktur entwickelt und gleichzeitig ermittelt, welche Form zum optimalen und effizientesten Materialeinsatz führen würde. Die endgültige Form wurde sowohl in Bezug auf Tragwerk als auch Material so optimiert, dass sie die vorgeschriebene Sicherheitsmarge einschloss, die für die Genehmigung des Projekts durch die Gemeinde Amsterdam erforderlich war.

Das Designteam durchlief umfangreiche Iterationsverfahren, die aus wiederholten Zyklen von Prototyping und Testen bestanden, um mehrere Entwurfsphasen schnell zu durchlaufen und schliesslich zur endgültigen, organisch anmutenden Brückenform zu gelangen. Diese Iterationen begannen mit einem monolithischen, U-förmigen Brückentwurf als Ausgangspunkt. Gleichzeitig konnte die strukturelle Integrität und Funktionalität gewährleistet werden, indem ein vorgegebener Satz von Parametern berücksichtigt wurde, ohne dabei Kompromisse bei den ästhetischen Anforderungen einzugehen.

Diese Methode gewährleistete eine effiziente Struktur, indem sie es ermöglichte, den Stahl gezielt dort zu konzentrieren, wo es strukturell notwendig war. Durch dieses Vorgehen wurde dem Tragwerk die notwendige Redundanz hinzugefügt, um im Falle eines lokalen Versagens eine Umverteilung der inneren Kräfte zu gewährleisten.

Die parametrische Modellierung ermöglichte Arup, den Designprozess erheblich zu beschleunigen. Zur Verfeinerung des Designs arbeitete das Team mit Entwurfs- und Computerprogrammen wie Grasshopper und Karamba, die auf der Grundlage generativer Algorithmen neue Formen für den Einsatz in Rhino entwickelten.

Mithilfe der Software konnten dem ComputermodeLL präzise Materialeigenschaften zugewiesen und Belastungsanalysen und -simulationen durchgeführt werden, noch bevor die Brücke tatsächlich produziert wurde. Die Tragwerksberechnungen wurden dabei mit geometrischen Varianten kombiniert, um eine Optimierung des Materialeinsatzes zu erreichen.

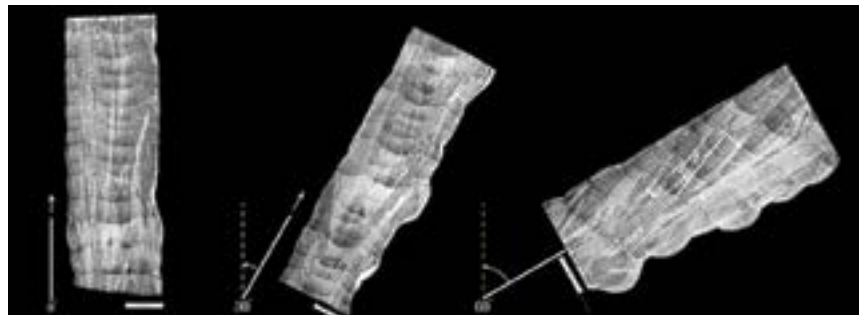
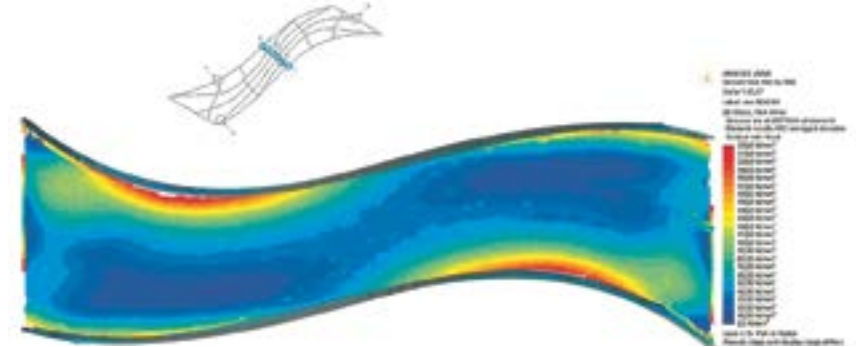
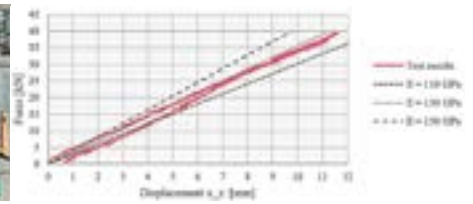
Und die Idee wurde gedruckt

Nachdem das Team Anfang 2017 zu einem endgültigen Entwurf gelangt war, ging man zur Produktionsphase über. Gijs van der Velden betont, dass man beim 3D-Stahldrucken immer vom Material und seinen Eigenschaften ausgehen muss, «da es bei dieser Produktionsmethode keine Standardelemente gibt und damit jedes Projekt eigentlich eine Neuentwicklung darstellt.»

Sowohl ArcelorMittal als Stahllieferant als auch Autodesk als Softwareentwickler erkannten den innovativen Charakter und die Herausforderung des Projekts, die auch ihre eigenen technischen Standards an neue Limits brachten.

Die Brücke wurde mittels des roboterunterstützten Wire Arc Additiven Manufacturing (WAAM) gedruckt. Vereinfacht ausgedrückt, verbindet WAAM konventionelle Schweißmaschinen mit einem mehrachsigen Roboterarm. Dabei trägt der computergesteuerte Arm den flüssigen Stahl Schicht für Schicht auf, um die dreidimensionale Form zu erstellen.

Die Brücke wurde aus S508LSi, einem austenitischen nichtrostenden Stahl, mit Wandstärken zwischen 3 mm und 10 mm gedruckt, wobei die Stromstärke und Drahtgeschwindigkeit an die unterschiedlichen Wandstärken angepasst wurden. Das Verständnis der Materialeigenschaften war einer der ersten Schritte des Designprozesses.



Die Testsequenz hatte zwei Hauptziele:

- mithilfe der Verfeinerung der Parameter die Einflüsse auf die Struktur zu analysieren
- die Tragfähigkeit der Brücke und der zulässigen Nutzlasten nachzuweisen

Im Gegensatz zu gewöhnlichem Baustahl weisen die Spannungs-Dehnungs-Kurven von Edelstahl keine deutlich ausgeprägte Streckgrenze auf. Als äquivalenter Wert zur Streckgrenze wird die 0,2%-Dehngrenze verwendet. Der offensichtlichste Vorteil dieses Stahltyps ist seine Korrosionsbeständigkeit. Ein weiterer Vorteil besteht in seiner relativen Unempfindlichkeit gegenüber grossen Wärmeeinträgen und dementsprechend dem Schweißprozess, wodurch er sich sehr gut für das WAAM eignet.

Das Material und die mechanischen Eigenschaften dieses selbsttragenden 3D-Druckstahls unterscheiden sich von herkömmlichem, gewalztem Stahl. Ein geschweißtes Produkt weist im Vergleich zu klassischen Stahlbauprofilen, beispielsweise warmgewalzten, eine geringere Homogenität auf. Jedoch haben Prüfungen ergeben, dass die Materialeigenschaften denen von Standard-Edelstahl ähneln, insbesondere hinsichtlich seiner plastischen Verformbarkeit wie Duktilität, Zähigkeit und

Oben links: Der Belastungsaufbau, bestehend aus Betonblöcken an den Enden und 1 m³ grossen Würfeln dazwischen, die langsam mit Wasser gefüllt wurden, um einen lastgesteuerten Versuchsaufbau zu schaffen.

Oben rechts: Die Testergebnisse in Bezug auf Modellvorhersagen bei verschiedenen Young-Modulen. Dieser Vergleich wurde verwendet, um die Steifigkeit des numerischen Modells im Originalmassstab zu kalibrieren.

Mitte: In einer letzten Robustheitsuntersuchung wurden die Hohlstahlprofile des Laufstegs im Finite-Elemente-Modell an spezifischen Punkten geschnitten, um mögliche Materialdefekte zu simulieren und deren Auswirkungen auf die gesamte Tragstruktur zu prüfen.

Unten: Die mikrostrukturellen Untersuchungen des gedruckten Stahls lassen erkennen, welchen Einfluss der Druckwinkel auf die Geometrie und die Materialstruktur hat und wie sich die Stahllagen dementsprechend ändern.



In der Werkhalle von MX3D in der NDSM-Werft wurden die Kanalsituation und die Kanalmauern massstabsgetreu für den Bau der Brücke nachgebaut.

Streckgrenze. Zudem sind die Eigenspannungen des Materials sehr gering. Allerdings ist der Elastizitätsmodul niedriger, wodurch die gedruckten Abschnitte eine geringere Steifigkeit besitzen.

Dank eines umfangreichen Testprogramms, das spezifisch für die Struktur entwickelt wurde, war ein Entwurf möglich, der über die traditionell verwendeten Materialien hinausging. Diese Tests wurden mit Unterstützung des Materialteams in Arups Londoner Büro, dem Imperial College London, ArcelorMittal, der TU Delft, der Universität Twente und der Universität Bologna durchgeführt.

Durch wiederholte Tests wurde es möglich, das Design über die kodifizierten Materialien hinaus zu entwickeln. Materialprüfungen an gedruckten Mustern mit geringen Querschnitten im Labor sowie Ergebnisse von Strukturelementtests und Tests der endgültigen Tragstruktur dienten den Ingenieuren als Grundlage für die Ausarbeitung des Entwurfs. Die Ergebnisse der Testsequenzen und die Erkenntnisse der Zug- und Druckeigenschaften des Materials flossen in die Strukturbewertung ein und ermöglichten es den Ingenieurinnen und Ingenieuren, die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Brücke zu überprüfen und anzupassen.

Ingenieur Mark Girolami von der Universität Cambridge, der mit seinem Team am digitalen Modell arbeitete, bestätigt, dass die ersten Hinweise auf die Festigkeit des 3D-gedruckten Stahls positiv seien: «Wir haben unter anderem herausgefunden, dass die Kraft von der Richtung abhängt, in der ge-

druckt wird. Was uns jedoch in gewisser Weise überraschte, war, dass die Grundfestigkeit ähnlich war, wie man es von frisch gewalztem Stahl erwarten würde. In bestimmten Richtungen war der 3D-gedruckte Stahl sogar noch stärker.»

Die 12,2 m lange, 6,3 m breite und rund 4500 kg schwere Edelstahlbrücke wurde in einem Zeitraum von rund sechs Monaten von vier 6-Achs-Schweisrobotern Schicht für Schicht gedruckt. Die fertige Brücke wurde im Oktober 2018 auf der Dutch Design Week aus- und den Besuchenden vorgestellt. 2019 wurde die Brücke an der Universität Twente auf die maximale Auslegungslast von 20 Tonnen getestet.

Aufgrund der erschwerten Zugänglichkeit und des begrenzten Platzes am Kanal wurde die MX3D-Brücke zunächst auf einen Transportponton verladen und anschliessend an ihren Bestimmungsort am Oudezijds Achterbrugwal geschleppt. Dort wurde sie mithilfe eines Krans auf die Fundamente gehoben und in den vorbereiteten Auflagern verankert. Am 15. Juli 2021 erfolgte die offizielle Eröffnung und Inbetriebnahme durch Königin Maxima.

Und die Idee wird gemessen

«Die Essenz und der Reiz des 3D-Drucks liegen letztlich in der Individualität jedes einzelnen Projekts, wodurch es eigentlich keine Standardisierung gibt», wie van der Velden betont: «Jedes neue Objekt stellt ein neues Forschungsprojekt dar, bei dem die Testphasen erneut durchlaufen werden müssen, bevor die Stabilität und Belastbarkeit einer räumlichen Struktur garantiert werden können.»

Parallel mit der Installation der Brücke am Kanal wurde ein von Autodesk, Force Technology, Imperial College London, Lenovo und HBM spezifisch entwickeltes Sensornetzwerk an der Brücke angebracht, mit dem Ziel, Daten über die Brücke zu sammeln: Spannungs- und Bewegungsänderungen durch Temperatur- und Witterungseinflüsse wie Wind, Korrosion und Luftqualität; Vibrationsverhalten und dynamische Belastungen beim Überqueren durch zu Fuss Gehende, Durchbiegungs- und Stützkkräfte durch Fremd- und Eigengewicht etc.

Um den Entwicklungsprozess weiterer Projekte zu beschleunigen und gewisse Testphasen in der Zukunft schneller durchlaufen zu können, entwickelte das Alan Turing Institute einen Digital Twin, also einen virtuellen, digitalen Zwilling der Brücke, der mit den vor Ort gemessenen Daten gespeist wurde, um die Struktur unter den sich verändernden Witterungs- und Belastungsverhältnissen digital zu modellieren.

Auf diese Art und Weise hofft man, unter Einhaltung bestimmter allgemeiner Entwurfs- und Materialparameter neue Strukturen teilweise vorausberechnen und in einem Digital Twin virtuell testen zu können und auf diese Weise komplexere Formen zu kreieren.

Und dem Experiment folgen weitere Projekte

Das Experiment der weltweit ersten 3D-gedruckten Stahlbrücke wird von allen Parteien, trotz des langatmigen Entwicklungsprozesses, als absoluter Erfolg beurteilt und durch die Nachfrage nach dem Produktionssystem auf internationalen Messen für 3D-Druck, wie der Frankfurter Messe im November 2023, bestätigt.

Den Vorteil der angewandten Produktionsmethode sieht Gijs darin, dass sie von bereits bekannten und gebräuchlichen Materialien und Produktionstechniken mit Standardmaschinen ausging, wodurch die Zuverlässigkeit und die Funktionssicherheit nicht in Frage gestellt wurde. Da es sich bei den Apparaturen, wie den Schweißrobotern von ABB, um bereits existierende und verwendete Maschinen handelt, sieht er auch schnell umsetzbare und umfangreiche Einsatzmöglichkeiten in der nahen Zukunft. Diese Annahme von Gijs hat sich bereits auf internationalen Messebesuchen bestätigt.

Von Beginn an war das Ziel von Joris Laarman Lab und MX3D, ein 3D-Drucksystem für Stahl zu entwickeln, das in der Zukunft auf breiterem Niveau im Bauwesen eingesetzt werden kann.

Neue Aufträge für Brücken mit grösseren Spannweiten, die sie seit der Fertigstellung der Fussgängerbrücke in Amsterdam erhalten haben, bestätigen, dass ihre Rechnung aufgegangen ist. Mit der Brücke haben sie tatsächlich, wie erhofft, den Massstabssprung von kleinen Kunstobjekten zu grossformatigen Bauprojekten im Bereich des 3D-Stahldrucks eingeleitet – auch wenn sie nicht mehr an dieser Stelle zu finden ist.



Projekt 3D-gedruckte Stahlbrücke,
Ort Kreuzung Oudezijds Achterburgwal mit dem Stooftsteeg
 Amsterdam-Centrum (NL)
Bauherrschaft Stadt Amsterdam
Design Joris Laarman Lab (NL)
Tragwerksplanung Arup
Material- und Tragwerksanalyse Imperial College London (UK)
Lieferant Stahl ArcelorMittal, Gandrange, Luxemburg
Baufirma MX3D, Amsterdam; Beratung Heijmans & Mous
Forschungsarbeit Autodesk
Konstruktionsart 3D-Stahldruck / WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing)
Tonnage 6,5 t gesamt, davon 4,5 t gedruckt
Stahlsorten Edelstahl
Abmessungen Länge: 12,2 m; Breite: 6,3 m; Höhe: 1,8 m

Die in der NDSM-Werft gedruckte Brücke wird für die Installation am Oudezijds Achterbrugwal auf einen Transportponton verladen.

Die letzten Anpassungen des Trottoirs im Bereich der Auflager für die offizielle Eröffnung durch Königin Maxima am 15. Juli 2021.



Impressum

steeldoc 01/24, März 2024
Experimente

Herausgeber:
SZS Stahlbau Zentrum Schweiz, Zürich
Isabel Gutzwiller, Laurent Audergon

Redaktion, Layout:
Isabel Gutzwiller, SZS

Mitgliederseite:
Andrea Vieira, SZS

Lektorat:
Hetty Bigelow, Isabel Gutzwiller, Anja Sierra

Korrektorat:
FO Fotorotar AG, Egg

Übersetzung DE–FR:
Interserv AG, Michel Crisinel

Projektbeschriebe aufgrund der Projektinformationen der Planenden. Die Pläne stammen von den Planungsbüros oder Stahlbauunternehmen.

Fotos:
Titelseite: Comte/Meuwly
Editorial: Comte/Meuwly
S. 4–11: Comte/Meuwly
S. 12–17: Fotos: Beat Ernst, Basel, © Rapp AG Münchenstein; Pläne: S. 14 Stamm Bau AG, S.15 Jonas Warmuth & Jan Brütting – SXL, EPFL
S. 18–23: Thea van den Heuvel (S. 18), Olivier de Grijter (S. 19), Adriaan de Groot (S. 20 rechts), Joris Laarman (S. 20 unten), Thijs Wolzak (S. 22, S.23 unten), Merlin Moritz (S. 23 oben)
S. 24–29: Jim Stephenson (S. 24, S. 25, S. 26), Guy Archard (S. 27, S. 28), Thomas Randall-Page (Plan S. 24, Illustration S. 26), Price Myers (Pläne S. 27, Illustration S. 28)
S. 30: Baltensperger AG, Aeby Perneger & Associés SA

Designkonzept:
Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zürich



Fischer Papier: Rebello FSC, Recycling, matt, ISO-Weisse 90, 100% Altpapier, Blauer Engel

Satz, Druck:
FO Fotorotar AG, Egg

ISSN 1662-2359

Jahresabonnement Inland CHF 60.– / Ausland CHF 90.–
Einzelexemplar CHF 18.– / Doppelnummer CHF 30.–
Preisänderungen vorbehalten
Bestellung unter www.szs.ch/steeldoc

Bauen in Stahl/steeldoc® ist die Bautendokumentation des Stahlbau Zentrums Schweiz und erscheint viermal jährlich in deutscher und französischer Sprache. Mitglieder des SZS erhalten das Jahresabonnement und die technischen Informationen des SZS gratis.

Die Rechte der Veröffentlichung der Bauten bleiben den Architekten vorbehalten, das Copyright der Fotos liegt bei den Fotografen. Ein Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlags und exakter Quellenangabe gestattet.

steeldoc abonnieren für CHF 60.– im Jahr (Studierende gratis) auf www.szs.ch/steeldoc



Stahlbau Zentrum Schweiz
Centre suisse de la construction en acier
Centro svizzero per la costruzione in acciaio
Swiss Center for Steel Construction

Seestrasse 105
CH-8002 Zürich
Tel. 044 261 89 80
info@szs.ch | www.szs.ch