

# next floor



## Reise in das digitale Zeitalter

Industrie 4.0 – Evolution oder Disruption

Michael Nilles: «Digitalisierung einsetzen, wo es Sinn macht»

BIM – Bauen vor dem Bauen

Digitale Fabrikation – Quantensprung für Architektur



**Schindler**



Präzise und effizient: Norman Hack (links) und Markus Giftthaler präsentieren einen Baustellenroboter, der schweißen und Ziegelsteine schichten kann.

# Quantensprung für die Architektur



Am Computer entworfen, von Robotern gebaut: Die digitale Fabrikation soll den Bauprozess revolutionieren. Die Schweiz nimmt bei den neuen Technologien eine Spitzenposition ein.

TEXT RAPHAEL HEGGLIN BILD NIQUE NAGER

Wie ein kleiner Trümmerhaufen liegen die Gipselemente auf dem Labortisch. Vorsichtig greift Doktorandin Ursula Frick nach den einzelnen Teilen und stapelt sie aufeinander – ähnlich einem 3D-Puzzle. Nur: Die Teile sind weder ineinander gesteckt noch verklebt. «Die Form der Bauteile ist so berechnet worden, dass die Stabilität der Zielform nur über Druck- und Reibungskräfte realisiert wird.» Langsam formt sich – senkrecht stehend – das Wort DMSc.

«Es ist nur eine Studie, die ich für einen Fachkongress angefertigt habe», sagt Ursula Frick und zieht an einem der unteren Gipsteilchen – alles fällt in sich zusammen. Ursula Frick ist Architektin und forscht für den Nationalen Forschungsschwerpunkt Digitale Fabrikation an der ETH Zürich, Science City (siehe Box Seite 29). Nichts weniger als eine Revolution der Architektur und der Bauprozesse versprechen sich Ursula Frick und ihre Kolleginnen und Kollegen davon. Es geht darum, eine nahtlose Verbindung zwischen digitalen Technologien und physischem Bauprozess herzustellen. Die digitale Fabrikation umfasst dabei den Entwurf, die Planung, die Vorfabrikation von Bauteilen und das Bauen von Gebäuden vor Ort, die sogenannte Vor-Ort-Fabrikation.

#### Maschinelle Massfertigung

Doktorandin Ursula Frick entwickelt digitale Entwurfsverfahren, um Tragwerkskonstruktionen zu finden, die eine neue Formensprache erlauben.



Dank Ursula Fricks komplexen Berechnungen reichen Druck- und Reibungskräfte, um die Gipselemente zusammenzuhalten.

Entstanden sind so komplex gestapelte Modelle im optimalen Gleichgewicht. Statisch betrachtet, unterscheiden sich die Modelle kaum von historischen Steinbogenbrücken, die ebenfalls ohne Mörtel oder mechanische Verbindungselemente auskommen: Sie sind so konstruiert, dass nur Druckspannungen und keine Zugspannungen auftreten. Doch Ursula Fricks Bauteile sind wesentlich komplexer, und keines ist gleich wie das andere. Ihre Formen sind das Resultat neu entwickelter Berechnungsmethoden. «Müsste man solche Bauteile einzeln mit individuellen Schalungen fertigen, wären sie unbezahlbar. Nicht aber durch digitale Fabrikation: Sie ermöglicht eine effiziente Massfertigung», erklärt Ursula Frick.

Ohne effiziente Vorfabrikation lassen sich die von Ursula Frick konstruierten Strukturen kaum verwirklichen. Im Untergeschoss von Science City wird deshalb ebenfalls intensiv geforscht und getüfelt. Architektin Ena Lloret-Fritschi ist Doktorandin. In einem interdisziplinären Team fertigt sie individuelle Betonsäulen – ganz ohne statische Schalungen. «Grundvoraussetzung ist ein in enger Zusammenarbeit mit Materialwissenschaftlern entwickeltes Betongemisch», erklärt Ena Lloret-Fritschi. Dieses lasse sich aufschichten und formen, ohne dass es gleich zer- ▶

Ena Lloret-Fritschi zeigt modellierte Betonsäulen. Sie sind ohne Schalung entstanden.

► fließt. «Wir sind so in der Lage, Betonelemente mit den unterschiedlichsten Formen zu modellieren. Und das nicht von Hand, sondern mittels robotischer Maschinen.»

### Weniger Zeit und Material

Im nahe gelegenen Trocknungsraum reiht sich Betonsäule an Betonsäule – gekrümmte, spiralförmige, konisch zulaufende. Sie sind das handfeste Resultat des Forschungsprojektes «Smart Dynamic Casting» der Gramazio Kohler Research Group an der ETH Zürich. Im Rahmen des Projektes untersuchen Ena Lloret-Fritschi und weitere Forschende ein digitales Gleitbauverfahren für nicht-standardisierte Betonelemente. «Dank unserer neu entwickelten Fertigungsmethode können wir auf klassische Schalungen verzichten», sagt Ena Lloret-Fritschi. Doch nicht nur das: Grosser Formenreichtum wird so möglich. «Mit solchen Bauteilen können wir die Statik eines Gebäudes besser berücksichtigen. Säulen sind an jeder Stelle nur so massiv ausgeführt, wie es wirklich notwendig ist – das reduziert den Materialaufwand und somit die Kosten.» Hinzu kommt: «Dank weniger Beton und dem Verzicht auf individuelle Einmal-Schalungen verbessert sich auch die Ökobilanz eines Gebäudes.» Nicht nur das Herstellen der Bauteile, auch das Zusammenfügen soll künftig durch Roboter erfolgen.

Ein solcher steht in einer anderen Halle auf dem Campus und sieht auf den ersten Blick wenig spektakulär aus: Raupen zum Fortbewegen, Motoren, ein Roboterarm. Doch der Arm hat es in sich: «Je nach aufgesetztem Werkzeugkopf kann er Backsteine ablegen oder Stahldraht schneiden und schweissen», erklärt Markus Giffthaler, Doktorand in Robotik, und zeigt auf eine wellenförmig geschwungene Mauer aus Backsteinen. Kein Stein liegt dabei in gleicher Orientierung auf dem andern. «Es ist kaum denkbar, eine so differenzierte Mauer von Hand zu erstellen. Was unser Roboter in einer Stunde schafft, dauert von Hand Tage – und die robotische Präzision bleibt unerreicht.»

### Mensch weiterhin gefragt

Giffthalers Kollege Norman Hack, Doktorand in Architektur, zeigt auf dreidimensionale Drahtgeflechte, die neben dem Roboter stehen. «Auch das ist sein Werk.» Die an der ETH entwickelte Technologie soll dereinst das schalungsfreie Bauen von komplex geformten Stahlbetonstrukturen ermöglichen. Dazu schweisst der Roboter Stahlgeflechte in den Dimensionen der zu erstellenden Mauern. Diese Stahlgeflechte bestehen aus einer engmaschigen Vorder- und Rückseite, die mittels Draht verflochten sind und dann mit einem Betongemisch aufgefüllt werden. Aufgrund der engmaschigen Bauweise bleibt der Beton im Gitter, nur wenig fließt zwischen den Maschen hinaus und wird glatt gestrichen. Das Stahlgeflecht ist so vollständig von Beton umschlossen. «Mit dieser Technik erstellen wir Schalung und Armierung in einem – der Bauprozess wird so erheblich effizienter und gleichzeitig voll individualisiert. Dem Formenreichtum sind kaum Grenzen gesetzt», sagt Norman Hack.

Werden anstelle von Menschen bald nur noch Roboter auf Baustellen arbeiten? «Nein», sind die Forscherinnen und Forscher des Nationalen Forschungsschwerpunkts Digitale Fabrikation überzeugt. Die digitale Fabrikation werde neue Architekturformen ermöglichen und die Bauqualität verbessern. Jedes Gebäude lasse sich individuell und seiner Nutzung entsprechend erstellen. Roboter und ähnliche Maschinen seien die Schlüssel dazu. Doch auch sie müssen von Menschen programmiert und bedient werden. ►







## Digitale Fabrikation – neue Architekturformen und Konstruktionsarten

Wer jahrzehntealte Bilder einer Baustelle betrachtet, dem fällt auf: Das meiste wird heutzutage immer noch gleich gemacht. Zwar sind die Baumaschinen moderner, doch gemauert und betoniert wird heute genauso wie früher. Die Baubranche ist in diesem Punkt ein Spezialfall: In anderen Wirtschaftsbereichen hat die Digitalisierung längst Einzug gehalten. So produzieren Roboter in der gegenwärtigen Zeit zum Beispiel Autos, Möbel und elektronische Geräte. In der Architektur und auf der Baustelle ist hingegen noch heute vieles Handarbeit. Die Gründe dafür sind einerseits auf den Baustellen selbst zu suchen: Sie sind komplexe, sich ständig verändernde Arbeitsorte. Andererseits ist Bauen ein sehr individueller Prozess, fast jedes Gebäude ist ein Unikat, und selbst Fertighäuser variieren je nach Kundenwunsch. Die digitale Fabrikation nimmt darauf Rücksicht. Sie umfasst die Entwurfs- und Planungsphase, die Vorfabrikation einzelner Bauteile und deren Montage auf dem Bau sowie die direkte Vor-Ort-Fabrikation. Dabei geht es nicht darum, standardisierte Verfahren für Fertiggbauten zu entwickeln. Im Gegenteil: Die digitale Fabrikation ermöglicht neue Architekturformen und Konstruktionsarten. Gebäude werden am Computer entworfen und dimensioniert. Der so entstehende Datensatz dient dann Robotern und anderen Maschinen dazu, das Gebäude zu bauen. Doch nur durch intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit lässt sich das Potenzial der digitalen Fabrikation ausschöpfen.

Im Rahmen des Nationalen Forschungsschwerpunkts (NFS) Digitale Fabrikation arbeiten deshalb Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen Architektur, Tragwerksentwurf, Material- und Computerwissenschaften, Elektrotechnik, Maschinenbau sowie Robotik eng miteinander zusammen. Sie kommen aus verschiedenen Schweizer Hochschulen und Forschungseinrichtungen.

[www.dfab.ch](http://www.dfab.ch)

► Im Gespräch mit  
Dr. Russell Loveridge,  
Geschäftsführer  
Nationaler Forschungsschwerpunkt  
Digitale Fabrikation (NFS)

## «Planen und Bauen wird sich dramatisch verändern»



**H**äuser aus dem 3D-Drucker, mauernde Roboter und Beton, der ohne Schalung gegossen wird: Das klingt nach Zukunftsmusik. Wo liegen die Möglichkeiten kurz- und mittelfristig – und wie beeinflussen sie die Arbeit auf der Baustelle?

*Dr. Russell Loveridge:* In den nächsten zehn Jahren werden sich die Roboter weiter verbessern und langsam ihren Weg auf die Baustelle finden. Künftig werden Mensch und Maschine eng auf den Baustellen zusammenarbeiten. Wir erforschen und entwickeln Roboter, die in erster Linie repetitive oder körperlich anstrengende Arbeiten übernehmen – wie etwa das Erstellen von Mauerwerk. Bedeutsame Entwicklungen sind auch hinsichtlich der Materialien zu erwarten – zum Beispiel bei Karbonfasern sowie Verbund- oder Holzwerkstoffen. Doch schon heute ist die digitale Fabrikation im Bauprozess angekommen: und zwar bei der Vorfabrikation von Bauteilen. Sie werden in spezialisierten Industriebetrieben gefertigt und lassen sich auf der Baustelle effizient montieren – quasi im Plug-and-play-Verfahren.

**Energieeffizienz und Baubiologie sind mittlerweile zentrale Anliegen beim Bauen. Was kann die digitale Fabrikation hierzu beitragen?**

Die digitale Fabrikation hilft, Bauen nachhaltiger zu machen: Gebäude werden so designt, dass künftig weniger Baumaterialien nötig sind. Denn die Wahl und die Menge der Baumaterialien sowie die Art, wie diese in der Architektur des Gebäudes angeordnet sind, beeinflussen den ökologischen Fussabdruck eines Neubaus ganz wesentlich. Der Anteil an grauer Energie reduziert sich dadurch stark.

**Die digitale Fabrikation ermöglicht neue Architekturformen. Dürfen wir mit revolutionären Architekturkonzepten rechnen?**

Ich sehe die digitalen Technologien als Evolution, nicht als Revolution. Sie ändern zwar die Art und Weise, wie wir entwerfen und bauen, dramatisch. Doch das Erscheinungsbild eines Gebäudes hängt von vielen Faktoren ab – wie Bauvorschriften, Umgebung, Kultur und natürlich den Kosten. Architekten werden aber mehr gestalterische Möglichkeiten haben und das zu einem guten Preis-Leistungs-Verhältnis.

**Bauland wird knapper, wir bauen mehr in die Höhe. Welche Rolle spielt die digitale Fabrikation bei Hochhäusern und Wolkenkratzern?**

Die digitale Fabrikation wird die Palette an Möglichkeiten erweitern – nicht nur was Bauweise und Architektur, sondern auch was die Finanzierbarkeit von solchen Bauprojekten betrifft. Wir können dazu beitragen, dass der Bau von Wolkenkratzern einfacher und günstiger wird. ■