

DISS. ETH NO. 23550

Smart Dynamic Casting

A digital fabrication method for non-standard concrete structures

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCE of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

ENA LLORET FRITSCHI

Architect MAA, Royal Danish Academy of Fine Arts

born on 31.10.1974

Citizen of Denmark

accepted on recommendation of

Prof. Fabio Gramazio

Prof. Matthias Kohler

Prof. Dr. Robert John Flatt

2016

Zusammenfassung

Spätestens seit der architektonischen Moderne ist Beton unmittelbar mit dem zeitgenössischen Bauen verknüpft. Und tatsächlich: Bis heute zählt Beton zu den am häufigsten verwendeten Baustoffen – nicht nur zur Realisierung konventioneller Bauwerke, sondern ebenso zur Herstellung nicht-standardisierter, freigeformter baulicher Strukturen und Tragwerke. Hierzu werden allerdings spezielle Schalungen benötigt, um den noch flüssigen Beton in die gewünschte Form zu bringen. Dies wiederum verursacht erhebliche Zusatzkosten, indem die benötigten Sonderschalungen zuerst aufwendig hergestellt und montiert werden müssen. Aber auch hinsichtlich ökologischer Aspekte ist dies vielfach problematisch, insofern, als die benötigten Sonderschalungen in den meisten Fällen lediglich ein einziges Mal verwendet werden können.

Damit hat sich die vorliegende Arbeit folgendes zum Ziel gesetzt: Das ist Verbindung von digitalen Fertigungsprozessen und materialwissenschaftlichen Ansätzen aus der Betonforschung, um einen neuartigen, ressourcen-effizienten Fabrikationsprozess für nicht-standardisierte Betonstrukturen zu entwickeln. Zentraler Ausgangspunkt ist das industriell-etablierte Gleitbauverfahren für grossmassstäbliche monolithische Betonstrukturen, das in dieser Arbeit auf den Bereich der digitalen Fabrikation übertragen wird. Die wesentlichen Fragestellungen befassen sich mit den damit verbundenen technologischen Paradigmen und materialtechnischen Herausforderungen – insbesondere mit der Bearbeitung von Beton in genau jenem Zeitfenster, in dem das Material die erforderliche Grundfestigkeit erreicht hat, ohne allerdings seine typische plastische Verformbarkeit zu verlieren.

Der experimentelle Schwerpunkt liegt folglich auf einem speziell entwickelten roboterbasierten Gleitschalungsprozess. Wesentlicher Vorteil ist nicht nur, dass die verwendete Gleitschalung wesentlich kleiner als die resultierenden Objekte ist und somit grössere bauliche Strukturen hergestellt werden können. Hinzu kommt ebenso, dass keine zusätzlichen Schalungssysteme erforderlich sind und freigeformte Betonstrukturen gewissermassen abfallfrei hergestellt werden können. Die Arbeit legt somit eine wichtige Grundlage für ein vollkommen neues, ökologisch aber auch ökonomisch effizientes Herstellungsverfahren im Bereich des digitalen Betonbaus.

Zu Beginn der Arbeit werden aktuelle Fertigungsansätze für nicht-standardisierte Betonstrukturen aufgezeigt. Hiernach folgt die Erläuterung der wichtigsten Grundsätze und

Anwendungsbeispiele des industriellen Gleitbauverfahrens. Im Anschluss werden die experimentellen Grundlagen der Arbeit dargelegt und vier unterschiedliche Experimentzyklen diskutiert, die ausschlaggebend für die Entwicklung dieses neuen roboterbasierten Gleitbauverfahrens namens "Smart Dynamic Casting" (SDC) waren. Die Arbeit schliesst mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse und weiterer zukünftiger Schritte ab.

Abstract

Reinforced concrete has been one of the great technological enablers of modern architecture, and remains one of the most common materials for enabling non-standard concrete structures in the building industry today. However, in particular when bringing this initially fluid material into a complex shape, a bespoke formwork is commonly required, which – because it is only used once – contributes to higher construction costs and increased waste.

This thesis combines digital fabrication methods and new developments in concrete material science with the well-established construction technique known as slipforming – commonly used to efficiently construct tall monolithic structures – to investigate whether this novel combination yields a resource-efficient approach for building non-standard (reinforced) concrete structures. The main challenge consists in developing methods and techniques that enable concrete to be shaped during the delicate phase when it changes from a soft to a hard material. This thesis investigates a robotic slipforming process, where a formwork that is substantively smaller than the resulting structure is used to shape the concrete during this phase – eliminating the need for custom-made formwork and laying the basis for an ecologically and economically sustainable fabrication method for non-standard concrete construction. The thesis begins by presenting existing casting techniques for non-standard concrete structures, and giving insight into the slipforming casting method (which is at present mainly used for in situ fabrication of tall structures). It then describes in detail four cycles of experimentation that were used to explore new production methods for shaping concrete as it changes from a soft to a hard material.