

MAS Digitales Bauen

Masterarbeit

Robotik in der Baubranche

Jose De Jesus
Amstein + Walthert
jdj@jdj.ch

Zusammenfassung. Die Arbeit ist in drei Kapiteln aufgeteilt und beinhaltet Folgendes: Das Ziel des ersten Kapitels der vorliegenden Arbeit ist in Erfahrung zu bringen, welche Roboter in der Baubranche aus heutiger Sicht verwendet werden. Diesbezüglich werden die Roboter der Baubranche kategorisiert. Es werden die bestehenden Herausforderungen, die Nachteile und die Vorteile, der verwendeten Roboter der Bauindustrie erläutert. Im zweiten Kapitel werden Analogien aus einer theoretischen Sicht beschrieben, die in Zusammenhang mit Robotik, BIM und «Cognitive Computing» stehen. Daraus erscheinen noch ungelöste Herausforderungen und Potenzial. Die Analogien bringen Modellierungswerkzeuge in Verbindung mit «Cognitive Computing». Es wird beschrieben nach welchen Kriterien, Automatisierung stattfinden soll. Des Weiteren werden Szenarien in Zusammenhang mit RFID, Logistik, Robotik und 4D-Technologien beschrieben. Im dritten und letzten Teil werden ein Experiment mit einem Industrieroboter beschrieben und die Resultate einer Befragung zum Thema Vorfertigung mittels Roboter aufgezeigt. Das Ziel des dritten Teils ist in Erfahrung zu bringen, welche Prozesse und Implikationen die Verwendung von Robotern mit sich bringt. Die Befragung steht in Zusammenhang mit der Vorfertigung mittels Roboter, der Digitalen Planung und der Koordination. Die Arbeit hat u.a. ergeben, dass es noch einige ungelöste Herausforderungen im Bereich der Robotik gibt. Wie zum Beispiel, das Greifen und Verwenden von Verbindungsmitteln oder die Orientierung und Navigation der Roboter in dynamischen Umgebungen. Die verwendete Software der Baubranche weist Potenzial in Zusammenhang mit künstlichen Intelligenzen auf. Die verwendete Software der Bauindustrie ist nach wie vor zu statisch und nicht assistierend. Es besteht diesbezüglich Potenzial für Entwicklungen, die assistierenden Programme miteinschliessen. Das Arbeiten mit einem Industrieroboter bedeutet Exaktheit. Die Befragung bestätigt, dass die Vorfertigung mittels Roboter, das Modellieren von «vorfabrizierbaren» Bauteilen impliziert. Während der Planungsphase ist deshalb von hoher Bedeutung zu prüfen und zu garantieren, dass das geplante Digitale Modell, aus der Sicht der Möglichkeiten der Roboter und der Produktion, automatisch hergestellt werden kann.

1. Einleitung

In dieser Masterarbeit wird generell den Fokus auf die folgenden Fragen gesetzt:

- Was bedeutet Robotik für die Planung?
- Welche Prozesse kommen in Zusammenhang mit Robotik in Frage?
- Welche Roboter werden bereits in der Baubranche verwendet?
- Wie müssen 3D-Modelle für den Einsatz von Robotern aufbereitet werden?

Im ersten Teil der Arbeit wird die Frage beantwortet, was Robotik ist. Es werden Roboter aus einem allgemeinen Blick beschrieben. Des Weiteren wird eine generelle Übersicht der in der Baubranche verwendeten Roboter dargestellt. Die Roboter werden kategorisiert. Zugleich werden die Herausforderungen, die Vorteile und die Nachteile der Roboter der Bauindustrie beschrieben. Im zweiten Teil werden Analogien und Szenarien beschrieben, in denen Herausforderungen und Potenzial aufgezeigt werden. Die Analogien und Szenarien weisen einen theoretischen Charakter auf und stehen in Zusammenhang mit Modellierungswerkzeugen und «Cognitive Computing». Des Weiteren werden Szenarien aufgezeigt, die mit Robotern, RFID-Technologien und 4D-BIM in Zusammenhang stehen können. Im dritten und letzten Teil der Arbeit wird ein Experiment mit einem Industrieroboter beschrieben. Bei dem Experiment geht es darum eine Bahnplanung in einer Simulationsumgebung zu planen, die später mit dem

Industrieroboter an einem Werkstück ausgeführt wird. Zusätzlich wird in diesem Teil eine Befragung zum Thema Vorfertigung mittels Roboter aufgeführt. Das Ziel der Befragung ist in Erfahrung zu bringen, welche Prozesse und Implikationen die Vorfertigung mittels Roboter mit sich bringt. Der Fokus der Befragung liegt auf die Digitale Planung, die Koordination und die Vorfertigung.

2. Vorgehen

Der erste Teil der Arbeit wurde durch Recherchen von Fachliteratur und Internetbeiträge erstellt. Zusätzlich und um die Inhalte der Recherchen zu bestärken wurden Fachleute zum Thema Robotik befragt. Folgendes wurde in diesem ersten Teil erarbeitet:

Prägend für die Entwicklung der Roboter und Maschinen waren die industrielle Revolution und die Nutzung der Elektrizität. Das führte zu weiteren Entwicklungen, wie die ersten Steuerungen und später der Computer. Roboter und Maschinen wurden mit Computertechnologien ergänzt und die klassische Robotik, wie wir sie heute in etwa kennen, entstand.

Roboter, insbesondere mobile Roboter, benötigen, um sich in unsere Umgebung selbständig bewegen zu können, ein Weltmodell. Die präzise Erstellung eines solchen Modells, insbesondere, wenn die Umgebung dynamisch ist und das Harmonisieren der daraus entstehenden Daten in der Softwarearchitektur des Roboters, sind nach wie vor Themen der Forschung. Lösungsansätze für spezifische Aufgaben sind vorhanden. Jedoch ist das aus einer gesamthaften funktionierenden Betrachtung noch nicht zufriedenstellend erreicht.

Bei der klassischen Robotik werden die Roboter aufgabenspezifisch programmiert. Ändert sich die Aufgabe, muss der Roboter umprogrammiert werden. Robotik-Ingenieure sind der Meinung, dass dieses Konzept veraltet ist. Deshalb versuchen sie weiter zu kommen und die Roboter mit zusätzlichen kognitiven Fähigkeiten zu gestalten. Sie bezeichnen dieses Gebiet als kognitive Robotik.

Bei der kognitiven Robotik werden Roboter mit Fähigkeiten ausgestattet, so dass sie in der Lage sind, Probleme selbständiger zu lösen. Das Gebiet der kognitiven Robotik umfasst verschiedene Disziplinen. Eine der tragenden Disziplinen der kognitiven Robotik ist das «Cognitive Computing». Das «Cognitive Computing» schliesst weitere Disziplinen, wie maschinelles Lernen und Sehen, Sprachwissenschaften, Mathematik und u.a. Neurowissenschaften mit ein. In der kognitiven Robotik werden diese Wissensgebiete multidisziplinär verwendet und zusammengeführt. Der Begriff KI, künstliche Intelligenz, ist verbunden mit «Cognitive Computing». Zurzeit fehlen exakte Definitionen und Abgrenzungen für diese Wissensgebiete.

Ein Ziel des «Cognitive Computing» ist die Intelligenz des Menschen, insbesondere die Denk- und Entscheidungsprozesse, technisch nachzubilden.

Im Allgemeinen werden Roboter in 4 Kategorien klassifiziert: Roboter als Maschinen, Roboter mit kollaborierenden Fähigkeiten, mobile Robotersysteme und Roboter mit kognitiven und perzeptiven Fähigkeiten. Mischarten von diesen Abstufungen sind vorhanden und zeigen die Vielfältigkeit der Robotik auf.

Hauptsächlich werden in der Bauindustrie, 3 Arten von Robotersystemen verwendet: Einzweckroboter (Single-Task Robots), Roboter in der stationären Fertigung (Offsite) und in mobilen Fabrikationsstätten auf der Baustelle (Onsite).

Es existieren über 20 verschiedene Arten von Einzweckrobotern für den Bausektor. Eindrücklich sind insbesondere die Roboter für Maurerarbeiten, wie der Roboter Hadrian der Firma Fastbrick Robotics.



Bildquelle: (<https://3druck.com/industrie/caterpillar-investiert-in-bau-roboter-unternehmen-fastbrick-robotics-5459733/>)

Einige der Herausforderungen der Roboter des Bausektors sind:

- Inkompatibilität der verschiedenen Robotersysteme, bedingt durch herstellerspezifische Programme und Schnittstellen.
- Die Durchgängigkeit der Daten und Prozesse bezüglich Datenvielfalt, Datenformate und technischen Fähigkeiten von Projektbeteiligten.
- Die für Roboter ungeeignete Beschaffenheit der verwendeten Verbindungsmittel der Baubranche.
- Die soziale Akzeptanz.
- Die Orientierung und das Gehen in einer dynamischen Umgebung, wie eine Baustelle.

Einige der Vorteile und Nachteile der Roboter der Baubranche sind:

Vorteile:

- Höhere Genauigkeit bei der Produktion.
- Wirtschaftlichkeit durch schnellere Produktionszeiten.
- Unermüdlichkeit.
- Schnellere Herstellung von komplexen Formen und Produkten.
- Schonen des Menschen, in dem schwere oder gefährliche Arbeiten durch Roboter übernommen werden.

Nachteile:

- Komplexität der Robotersysteme. Für die Bedienung und Entwicklung sind Fachkräfte notwendig.
- Kostspielig in der Beschaffung.
- Noch nicht gelöste technische Hürden können Fehler verursachen.
- Roboter sind nicht für alle Eventualitäten programmiert. Änderungen von Aufgaben und Situationen tragen Aufwände mit sich.
- Hohe Sicherheitsanforderungen bei der Verwendung und Wartung der Robotersysteme.

Die Analogien und Szenarien des zweiten Teils basieren auf die eigenen Erfahrungen im Bereich des Digitalen Bauens und Planen. Zusätzlich wurden auch hier Literatur und Befragungen verwendet.

Aufgrund von eigenen Erfahrungen kann bestätigt werden, dass die meisten Modellierungsprogramme statisch sind. Sie empfangen Daten und verhalten sich, wie Truhen von Informationen. Jedoch mehr machen sie nicht. Sie sind nicht intelligent und helfen beim Modellieren nicht aktiv mit. Die Werkzeuge warnen die Anwender bei Fehlern oder Problemen nicht. Anwender müssen, um produktiv arbeiten zu können, die Gesetzmäßigkeiten der Programme, die Nuancen der Daten und die Inhalte der Projekte bestens kennen und deuten. Das bedeutet hohes Können und auch Aufwand für Planer. Das zeigt sich vor allem unter Zeitdruck auf.

Angelehnt an das Prinzip des «Cognitive Computing» wären neue, ähnliche Ansätze für den Einsatz von Software im Bereich des Digitalen Bauen und Planen durchaus vorstellbar. Aufgrund der Herausforderungen der Baubranche ist Potenzial für Lösungen, die in Richtung künstliche Intelligenz gehen, vorhanden. Es könnten Systeme entstehen, die uns beim Entwerfen und Planen mit Wissen und Erfahrungswerten assistieren und uns auch warnen, wenn wir etwas falsch machen oder etwas vergessen. Zurzeit lastet die Deutung der Daten, die Qualitätsprüfung und das Nachführen von aktuellen Inhalten, noch zu sehr beim Menschen, was fehleranfällig ist. Des Weiteren sind im Allgemeinen und aus heutiger Sicht, die Integration von BIM und digitalen Methoden geprägt von Verwirrung. Werden Anwender klassifiziert, kann man sagen, dass die «Late Adopters» von BIM-Technologien, nun den frontalen Kontakt mit den Technologien erleben. Das zeigt sich besonders im Rahmen von Grossprojekten auf.

Im Allgemeinen ergeben sich einige Situationen, bei denen die Nutzung von künstlichen Intelligenzen durchaus vorstellbar wären, wie das dargestellte Programm «Der Projektassistent». Der Einsatz und die Entwicklung von solchen Programmen bedingen das Sammeln und Analysieren von Daten, wie Entscheidungsprozesse und Erfahrungswerte, die in einem System zusammengeführt werden müssen. Daten bekommen dadurch hohen Wert. Solche Programme sollten wohlwollend und assistierend dem Menschen beim Planen nützlich sein.

Um ein Informationssystem zu verwenden, welches anhand eines «verknüpferschen» Ansatzes, 4D-BIM, RFID-Technologien, logistische Prozesse und Robotersysteme zusammenführt, müssen einige Punkte, wie die folgenden beachtet werden:

Zentral von Bedeutung ist das Zuweisen von RFID-Kennungen den entsprechenden Bauteilen und die Verknüpfung der Kennungen mit den virtuellen Objekten der 3D-Modelle. Diese Daten bilden die Basis für die spätere Synchronisation der 4D-Modelle und die Erkennung der Bauteile durch ein RFID-Lesegerät auf der Baustelle.

Kriterien, wie ist montiert, ist erledigt, ist kontrolliert, ist verspätet und u.a. ist geliefert sind entscheidend. Die Erfassung von solchen Informationen muss mit einem RFID-Lesegerät, durch verschiedene Akteure, wie Monteure oder Bauleiter, vor Ort, am Bauteil selbst, angewendet werden können. Das Lesegerät ist an einem Netzwerk angeschlossen und liefert Informationen an das Informationssystem. Diese erfasste Informationen sind aktuelle Live-Daten. Diese Daten müssen harmonisiert und in einer 4D-Simulation visuell dargestellt werden können. Daraus entstehen die Prognosen des Bauablaufs und die Abbildung des Ist-Zustandes.

Die zusätzliche Integration von Robotern, wie Drohnen oder Humanoiden, in das Informationssystem bedeutet Folgendes:

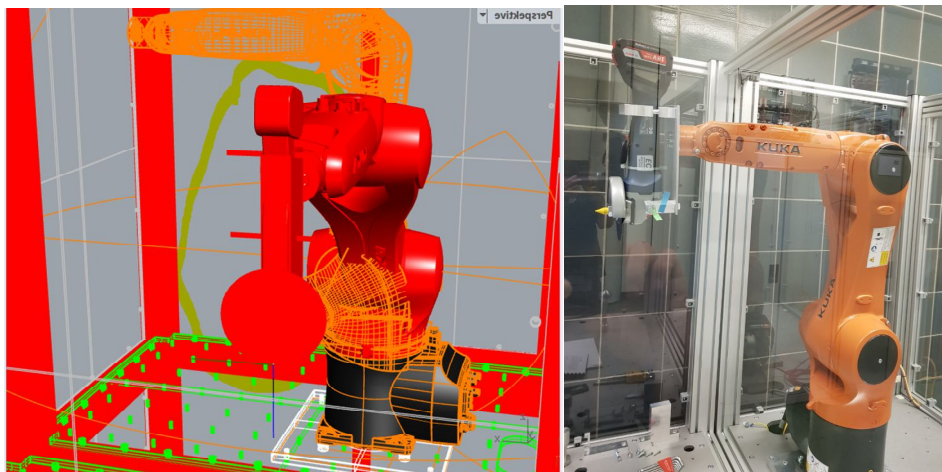
Drohnen können bereits heute für die Aufnahme von Punktwolken und Fotografien verwendet werden. Das bedeutet sie können helfen aktuelle Zustände von einer Baustelle abzubilden. Die

Nutzung von Drohnen ist für den Aussenbereich beschränkt. Es ist nicht empfehlenswert Drohnen im Inneren der Baustelle zu verwenden. Das Fliegen von Drohnen ist, je nach Gewicht und Flugfähigkeit, mit Bewilligungen verbunden. Drohnen fliegen nicht von selbst und müssen durch Personen überwacht und geflogen werden. Drohnen weisen jedoch ein hohes Potenzial für Entwicklungen auf. Forscher bestätigen, dass eines Tages diese Roboter autonomer fliegen werden. Es wurden bereits Methoden entwickelt, die das Inventarisieren mittels Drohnen, in Kombination mit RFID-Technologien, ermöglichen.

Ähnliche Tendenzen zeigen sich bei Humanoiden und Servicerobotern auf. Forscher haben Methoden entwickelt, die den Robotern die Erkennung von RFIDs ermöglichen. Zwar können sich die Roboter dadurch nicht besser in einer unmodellierten Umgebung orientieren, jedoch ist die korrekte Identifikation der Bauteile bzw. der RFID-Kennungen gewährleistet. Dadurch könnten inskünftig Fehler ausgeschlossen werden.

Das Experiment des dritten Kapitels wurde mit der Unterstützung von wissenschaftlichen Mitarbeitern der FHNW ausgeführt. Zuletzt wurde Herr Thomas Wehrle der Firma ERNE zum Thema Vorfertigung mittels Roboter befragt.

Beim Experiment wurde Folgendes gemacht: Eine Bahnplanung in einer Simulationsumgebung erstellt, die einem Industrieroboter ermöglicht, mit einer Trennscheibe einen oberflächlichen Schnitt auf einem Holzbrett, auszuführen. Der Roboter darf auf keinen Fall mit der eigenen Umgebung oder mit einem Menschen ungewollt in Berührung kommen. Die Trennscheibe darf nicht beschädigt werden. Dafür wurden Werkzeuge, wie Rhino, Grasshopper und ein Plugin namens KUKA Prc verwendet.



Bildquelle: (eigene Bilder)

Werkzeuge, wie in diesem Fall die Trennscheibe, müssen im Vorfeld von softwaregestützten Simulationsversuchen exakt kalibriert werden.

Von hoher Bedeutung sind die Genauigkeit der verwendeten Modelle für die Simulation. Insbesondere das Modell der Umgebung des Roboters, nämlich die Roboterzelle.

Volumenkörper und Flächen können für die Darstellung des Werkstückes in der Simulation gut verwendet werden. Die Bahnplanung kann darauf erzeugt werden. Des Weiteren müssen die verwendeten 3D-Geometrien masslich exakt sein. Geometrien aus aufgelösten CAD-Objekten sind zu vermeiden und nicht für solche Zwecke geeignet.

Die Arbeit mit Robotern erfordert Materialkenntnisse des Werkstücks, Kenntnisse des eingesetzten Werkzeugs und gute Kenntnisse der Eigenschaften und Möglichkeiten des verwendeten Roboters.

Die Befragung zum Thema Vorfertigung mittels Roboter ergab u.a. folgende Ergebnisse:

Zum Thema Planung:

- Vorfertigung mittels Roboter muss möglichst früh in die Planung integriert werden.
- Klare Zielsetzungen sind notwendig. Die wichtigsten Ziele sind: Planer müssen gewillt sein, neue Wege der Produktion gehen zu wollen und müssen «vorfabrizierbare» Bauteile planen und modellieren wollen. Die Kernaufgabe einer Person, wie der Befragte Herr Thomas Wehrle, ist diesen Prozess mitzugestalten und zu garantieren, dass die Produktion automatisch gelingt.

Zum Thema Koordination:

- Bei der Koordination ist von Bedeutung der Wille und die Kompetenz zu haben, Entscheidungen treffen zu können.

Zum Thema Produktion:

- Roboter verwenden hauptsächlich 3D-Daten für die Produktion.
- 3D-Geometrien müssen möglichst exakt sein. Wie bereits im Experiment erwähnt, können aufgelöste Geometrien nicht gut für Produktionszwecke mittels Roboter verwendet werden.
- Will man die 3D-Modelle der Planer für Produktionszwecke verwenden, so müssen der Datenaustausch und die Qualität der Geometrien getestet und allenfalls optimiert werden.
- Masstoleranzen spielen für die Vorfertigung mittels Roboter eine wichtige Rolle. Die Toleranzen der verschiedenen Beteiligten am Bau müssen abgestimmt werden.

3. Fazit und Ausblick

Die Robotik weist im Bereich der kognitiven Robotik hohes Potenzial für neue Entwicklungen auf. Das Zusammenführen von verschiedenen Disziplinen und Wissensgebieten wird bei der kognitiven Robotik besonders gefordert. In diesem Sinne wird es entscheidend sein, wie gut die Zusammenführung der verschiedenen Wissensgebiete gelingt. Es ist nicht möglich exakte Voraussagen zu machen ab wann Roboter oder Programme eine hohe Intelligenz aufweisen werden. Zurzeit sind verschiedene Bereiche, wie die künstliche Intelligenz, geprägt von grossen offenen Fragen, die schwierig zu beantworten sind. Entwicklungen in diesem Bereich werden sich sicher auf die verwendeten Roboter und Software der Baubranche auch widerspiegeln. Das zeigt sich vor allem bei der grossen Anzahl von experimentellen Projekten der Robotik und der künstlichen Intelligenz auf. Diese wurden in der Arbeit jedoch nicht dargestellt. Es ist tatsächlich so, dass solche Projekte mit hohen Erwartungen und Intensität geführt werden. Automatisierung und Digitalisierung sind geprägt von zusammenführenden Ansätzen, die verschiedenen Technologien und Betrachtungen miteinschliessen. Es macht durchaus Sinn, sich für andere Technologien zu interessieren, zu versuchen diese zu verstehen und dadurch nicht in der eigenen Rolle fest verankert zu bleiben. Diese Arbeit zeigt auch auf, dass in Bezug auf die Robotik in der Baubranche, aus der Sicht des Planers, noch Know-How und Erfahrungen fehlen. Obschon bei der Planung mittlerweile moderne 3D-Technologien verwendet werden, so fehlt im Allgemeinen der Bezug zur Vorfertigung mittels Roboter. Das ist bedingt durch noch vorhandenen traditionellen Denkweisen des Produzierens. Die Vorfertigung mittels Roboter stellt eine Verbindung zwischen Virtualität und Realität dar. Das ist neu für unsere Denkweise.

