

Konzeption und Entwicklung eines Systems zur automatischen Erfassung und Auswertung des Gebäudebaufortschritts ohne aktive Begehung der Baustelle

Lisa Schneeweiß¹, Maria Schweigel¹, Christian Hofmann², Jörg Franke²

¹ Hochschule Schmalkalden

² Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Abstract

Bei jedem Bauvorhaben ist eine genaue Planung des Bauwerks ebenso essenziell, wie eine lückenlose Dokumentation über den Baufortschritt und die frühzeitige Erkennung von Baufehlern. Bisher müssen dafür aufwendige und personalintensive Begehungen geplant und durchgeführt werden. Im Zuge dieser müssen der Bauherr und die Bauausführenden den geplanten Bau mit dem tatsächlich vorliegenden Bau händisch vergleichen. Auch die, durch die Digitalisierung der Gebäudedaten zur Verfügung stehenden, Software-Tools ermöglichen bisher noch keinen vollautomatischen Abgleich. In dem Forschungsprojekt BauKIRo – „Automatische Überwachung des Baufortschritts durch Anwendung von Künstlicher Intelligenz und Robotik“ soll ein autonomer Flugroboter entwickelt werden, dessen Aufnahmen des Gebäudeinnenbereichs zur automatischen und objektiven Überprüfung des Baufortschritts genutzt werden können und die diesen mittels Künstlicher Intelligenz vollautomatisch auswertet und dokumentiert.

1. Nutzen und Einsatz

Die Probleme im Gebäudebau sind vielfältig. Baufehler können leicht entstehen, verursachen aber hohe Kosten, da ihre Behebung oft viel Zeit und viele Ressourcen benötigt. Laut einer Umfrage des BauInfoConsult aus dem Jahre 2015 schätzen Architekten und Bauunternehmen den Fehlerkostenanteil durchschnittlich auf 14%. Dazu zählen unter anderem auch Ausführungs- und Montagefehler. Dies würde bei einem baugewerblichen Gesamtumsatz von 106,7 Milliarden im Jahr 2015 einer Schadenssumme von fast 14,1 Milliarden Euro entsprechen (IFB Bauforschung, 2018) (statista, 2023). Tendenziell steigen die absoluten Schadenskosten durch den Anstieg der Zahl der Bauvorhaben, da unter anderem dem aktuell herrschenden Wohnungsmangel begegnet werden muss (Bocksch, 2023). Erschwerend kommt hinzu, dass eine Vielzahl an Gewerken und Unternehmen an dem Bau eines Objekts beteiligt sind. Zudem fehlen Fachkräfte und die Bauvorhaben werden immer komplexer. Eine kontinuierliche und engmaschige Dokumentation des Baufortschritts und die frühzeitige Erkennung von Baufehlern, Mängeln oder Abweichungen von den Planungsdaten ermöglicht es, Kosten und Zeit einzusparen sowie Ressourcen zu schonen. Dies ist jedoch aktuell sehr personal- und zeitintensiv. Die so einsparbaren Ressourcen liefern jedoch einen weiteren guten Grund für die Verbesserung der Überwachung und Dokumentation, haben doch Lieferengpässe und fehlendes Baumaterial in den letzten Jahren viele Bauvorhaben zusätzlich belastet.

Durch einen automatisierten Abgleich der Ist-Daten (as-build-data) mit den Soll-Daten (as-planned-data) lassen sich Baufehler, wie vergessene Stromanschlüsse oder fehlende, aber benötigte Löcher für Belüftungen in Wänden frühzeitig entdecken. Anschließend können diese Mängel zeitnah und kostengünstiger behoben werden. Wird der Fehler erst bemerkt, nachdem die Wand bereits fertig aufgebaut, verbaut und verputzt ist, sind die entstehenden Kosten und der Aufwand der Fehlerbehebung viel höher. Zusätzlich steigt durch die nötige Fehlerbehebung auch die Bauzeit.

Zudem ist der automatische Vergleich der Ist-Daten mit den Soll-Daten durch eine KI deutlich objektiver und ermöglicht damit eine bessere Dokumentation des tatsächlichen Baufortschritts. So kann im Anschluss an die Erkennung des Baufortschritts die weitere Vorgehensweise schnell und datenbasiert beschlossen werden. Zudem gewährt dieser Vergleich eine erhöhte Kosten- und Terminalsicherheit. Durch die objektive Auswertung wird die Kommunikation aller Beteiligten vereinfacht, Unstimmigkeiten zwischen den verschiedenen Wahrnehmungen der unterschiedlichen Bauteilnehmer können einfacher geschlichtet werden und deren Ansichten vereint. So entstehen weniger Diskrepanzen zwischen den beteiligten Bauherren, den Bauausführenden, den Auftraggebern und Sponsoren.

2. Konzept und Zielstellung

Im Laufe des kooperativen Forschungsvorhaben BauKIRO der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Hochschule Schmalkalden soll ein autonomer Flugroboter entwickelt werden, der selbstständig durch verschiedene Baustellen manövrieren kann und dabei die Umgebung mit mehreren Sensoren aufnimmt. Anschließend sollen mit Hilfe dieser Sensordaten ein automatischer Abgleich der Ist-Soll-Daten durchgeführt werden und mögliche Abweichungen vom Bauplan diagnostiziert werden. Zudem sollen diese Daten den nächsten Flug des Roboters verbessern und den Baufortschritt dokumentieren.

Das entstehende Gesamtkonzept soll zukünftig Bauunternehmer bei einer digitalen Dokumentation ihrer Bauvorhaben unterstützen und Ihnen zudem die Überprüfung der termingerechten Baufortschritte erleichtern. So kann zukünftig besser geplant werden, die Termine im Bau besser und objektiver überprüft werden und zudem insgesamt günstiger und ressourcenschonender gebaut werden.

2.1 Der autonome Flugroboter

Im Rahmen des Vorhabens soll ein autonom fliegender Multikopter zum Einsatz kommen, der die ihm gegebene Aufgabe der Erfassung des Bauzustandes selbstständig bewältigen kann. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die kollisionsfreie Wegfindung und die Lokalisierung innerhalb des Gebäudes dar. In Innenräumen von Baustellen kann sich in der Regel nicht auf externe Lokalisierungsverfahren mittels Funk oder GPS verlassen werden, sodass hier eine andere Lösung gefunden werden muss. Ein vielversprechender Lösungsansatz ist die visuell-inertiale Odometrie (VIO) in Verbindung mit Algorithmen zur gleichzeitigen Positionsbestimmung und Kartenerstellung (engl. simultaneous localization and mapping (SLAM)). Dieser Ansatz soll mit Hilfe semantischer Informationen aus Planungsdaten des Bauvorhabens (BIM) verbessert werden.

Eine zusätzliche Herausforderung stellt die Unvorhersehbarkeit jeder Baustelle dar. Neben beweglichen Hindernissen (Leitern, Werkzeug, Baumaterial), stellen auch statische, für den sicheren Bau unverzichtbare Objekte, wie Gerüste und Sicherungen ein potenzielles Problem dar. Sie verdecken große Bereiche der Wände und erschweren dem Roboter so die Orientierung. Zusätzlich können auch Staubwolken und ähnliches auftreten, welche den Multikopter stören können. Daher muss der Flugroboter auch verschiedene potenzielle Gefahren erkennen können und Lösungs- und Vermeidungsstrategien automatisch ausführen, ohne dabei seine Aufgabe zu vernachlässigen. Dies wird ihm durch seine Flugfähigkeit erleichtert, allerdings birgt diese auch zusätzliche Gefahren. So muss der Flugroboter ständig seine gesamte unmittelbare Umgebung überwachen, um Zusammenstöße, Unfälle und Abstürze zu verhindern. Dafür soll der Flugroboter mit verschiedenen Kameras und Sensoren ausgestattet werden, die gleichzeitig auch den Bauzustand aufnehmen. Neben der Lösung des Problems der unvorhersagbaren Bodenbedingungen ermöglicht das Fliegen aber auch einen mühelosen Wechsel zwischen den verschiedenen Ebenen der Baustelle.

Gleichzeitig muss aber auch darauf geachtet werden, dass der Flugroboter nicht zu schwer, nicht zu teuer und nicht zu groß wird. Bei zu hohen finanziellen Kosten für Anschaffung und Betrieb des Multikopters würde die Lösung für einen Großteil der Endanwender nur eingeschränkten bzw. keinen Mehrwert bieten.

2.2 Der automatische Abgleich und die Dokumentation

Die von dem autonomen Flugroboter aufgenommenen Daten sollen im weiteren Verlauf zeitnah mit den Erwartungen des Baustellenzustandes verglichen werden. Dazu soll das BIM (Building Information Modell), ein digitales Modell des Bauwerks, welches alle für seinen Lebenslauf relevanten Informationen und Daten enthält, verwendet werden. In einem BIM können alle Daten, die für das Bauvorhaben wichtig sind und wichtig werden, gemeinsam abgespeichert und visualisiert werden. So enthält es neben den Plänen der Architekten unter anderem auch die des Elektrikers und des Haustechnikers. Ebenso kann die Baureihenfolge geplant und eingespeichert werden. Es stellt eine sogenannte „Single Source of Truth“ dar. Darüber hinaus erleichtert es die Abstimmung der einzelnen am Bau beteiligten Unternehmen, sowie die spätere Instandhaltung, eine mögliche Renovierung und Reparaturarbeiten für die Zukunft des Bauwerks. Auch bei dem potenziell nötig werdenden Rückbau kann ein solches BIM helfen. Bereits 2015 wurde im Stufenplan Digitales Planen und Bauen das Ziel formuliert, dass ab Ende 2020 für jedes neu zu planende Bauvorhaben im Verkehrsinfrastrukturbau ein BIM Modell verwendet werden soll (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015). 2022 wurde angekündigt, dass ab 2025 BIM neben dem Schienenbereich auch im Bundesfernstraßenbau standardmäßig eingesetzt werden (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022).

Aus dem BIM entstehen die Soll-Daten (as-planned), die mit den, aus den Sensordaten des Flugroboters gewonnenen, Ist-Daten (as-build) verglichen werden. Dazu soll einerseits eine Objekterkennung mittels eines Deep-Neural-Networks aus dem aufgezeichneten Videomaterial erfolgen. Diese soll sowohl die zu bauenden Objekte wie Fenster, Türen, Stützpfiler, Lüftungskanäle, Rohre und Stromanschlüsse erkennen und lokalisieren können, als auch die zu erwartenden Störobjekte einer Baustelle wie an der Wand lehrende Leitern, Werkzeuge und Maschinen, aber auch herumliegendes Material und Gerüste erkennen. Die Erkennung der erbauten Objekte soll der Dokumentation des

Baufortschritts dienen, während die Erkennung der Störobjekte die Genauigkeit erhöhen soll. So können erkannte Störobjekte aus dem im nächsten Schritt entstehenden 3D-Modell herausgerechnet werden und damit den Abgleich der Soll- und Ist-Daten erleichtern. In den Ist-Daten erkannte Objekte sind vorhanden und nicht gefundene Objekte aus den Soll-Daten können als fehlend markiert werden, sodass eine manuelle Überprüfung des potenziellen Fehlers angestoßen werden kann. Um den Baufortschritt dokumentieren zu können, werden aus den Soll- und den Ist-Daten sogenannte „Punktwolken“ erstellt, welche ebenfalls die dreidimensionale Umgebung abbilden und diese anschließend mit Methoden des maschinellen Lernens verglichen. So können auch nicht abgeschlossene Objekte erkannt und genau dokumentiert werden. Je mehr übereinstimmende Punkte gefunden werden, desto weiter ist der Baufortschritt, sodass auch eine noch nicht vollständige Wand erfasst werden kann. Zusätzlich ermöglicht dieser Vergleich eine genaue Angabe, wie weit der Bau des Objekts fortgeschritten ist. Dennoch birgt die hochdynamische Arbeitsumgebung einer Baustelle mit den vielen potenziellen Störobjekten unterschiedlichster Größen und Beschaffenheiten große Herausforderungen, da sie die zu erkennenden Oberflächen teilweise oder gänzlich verdecken. Zusätzliche Herausforderungen werden die hohe Individualität der verschiedenen Bauwerke, eine genaue Erkennung bzw. Errechnung der Tiefeninformationen, sowie die hohe Abhängigkeit der Ist-Daten von der genauen Position des Flugroboters in der Baustelle darstellen.

3. Fazit

Bei Gelingen des Forschungsprojektes stehen Bauunternehmen in Zukunft kraftvolle neue Werkzeuge zur Verfügung, mit denen Fehler frühzeitig erkannt werden können. Gleichzeitig kann die Dokumentation des Baufortschrittes leichter und qualitativ aufgewertet durchgeführt werden. Dies ermöglicht es im Idealfall sowohl Materialkosten als auch Zeit und Personalaufwand zu reduzieren. Zudem erleichtert die objektive Feststellung des Baufortschrittes die Kommunikation aller am Bau beteiligten Parteien.

Quellen

Bocksch, R. (12. Jan 2023). *Wohnungsbau: So geht es in den Ländern voran*. (statista, Herausgeber) Abgerufen am 26. Jan 2023 von statista:
<https://de.statista.com/infografik/29096/fertiggestellte-wohnungen-je-10000-einwohner-und-bundesland-in-deutschland/>

Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (06. Jul 2022). *Bundeskabinett beschließt Digitalisierungsmaßnahmen zur Planungs- und Genehmigungsbeschleunigung*. Abgerufen am 19. Jan 2023 von
<https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2022/046-bundeskabinett-beschliesst-digitalisierungsmassnahmen.html>

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (Dez 2015). *Stufenplan Digitales Planen*. Abgerufen am 19. Jan 2023 von
https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile

IFB Bauforschung. (30. Sep 2018). *Analyse der Entwicklung der Bauschäden und der Bauschadenskosten – Update 2018*. Abgerufen am 19. Jan 2023 von
https://www.aia.de/fileadmin/AIA/Service_Kunden/Dokumente/pdf/Analyse_de

r_Entwicklung_der_Bauschaeden_und_der_Bauschadenkosten_-
_Update_2018.pdf

statista. (2023). *Umsatz im gewerblichen Hochbau in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2021*. Abgerufen am 19. Jan 2023 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252817/umfrage/umsatz-im-gewerblichen-tiefbau-in-deutschland/>

Dieses Forschungsvorhaben wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (IGF-Vorhaben Nr.: 22223 BG).