ZENTRUM FERTIGUNGSTECHNIK STUTTGART

STIFTUNG DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

Baustellengerechte Bedienung und wirtschaftlicher Einsatz von mobilen Robotern zur automatisierten Erstellung von Mauerwerk auf der Baustelle

Inhalt

Der Einsatz von robotergestützten Fertigungssystemen auf der Baustelle bietet den Vorteil gleichbleibender Qualität bei hoher Produktionsleistung und gleichzeitiger Entlastung der Beschäftigten von langfristig schädigenden Arbeiten. Insbesondere die hohen Handhabungsgewichte von >50 kg gegenüber <=18 kg bei manueller Arbeitsweise machen einen Einsatz in der Mauerwerksfertigung auf der Baustelle interessant. Im folgenden werden die durchgeführten Maßnahmen beschrieben, die Hindernisse bei der industriellen Einführung eines mobilen Mauerroboters beseitigen.

Einleitung

Ziel war es, den praxisnahen Einsatz des Mauerroboters auf der Baustelle demonstrieren zu können und noch offene Fragen wie z.B. zur Wirtschaftlichkeit zu klären, sowie bestehende Risiken und Unwägbarkeiten, die einer industriellen Umsetzung im Wege stehen, zu reduzieren. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag dabei auf folgenden Themengebieten:

- Wirtschaftlichkeit der Mauerwerksfertigung mit dem mobilen Mauerroboter.
- Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit mittels Sensorintegration.
- Klärung der notwendigen Maßnahmen für die Arbeitssicherheit.
- Konzipierung und exemplarische Entwicklung einer baustellengerechten Bedienung.
- Durchgängigkeit des Datenflusses vom CAD-Plan des Architekten über die Wandsegmentierung bis zum Roboterprogramm.

Die im folgenden vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen eines vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg geförderten Verbundprojektes vom Zentrum Fertigungstechnik Stuttgart (ZFS) und dem Institut für Steuerungstechnik der Universität Stuttgart (ISW) mit Unterstützung von 16 Partnern aus Industrie, Verbänden und Organisationen durchgeführt.

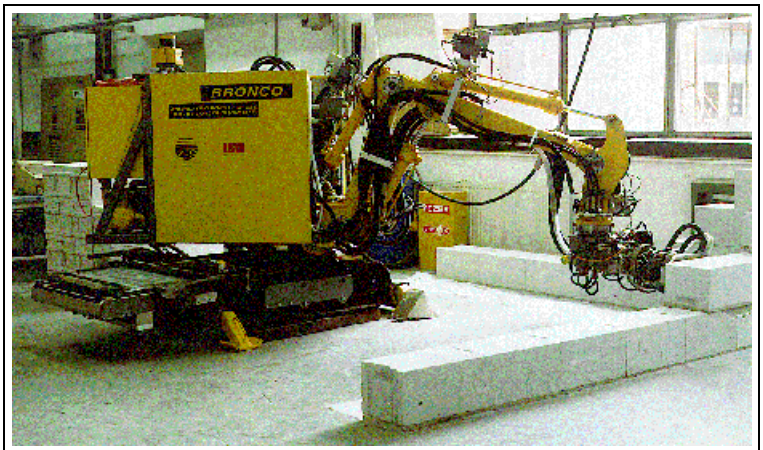

Abb. 1 *Mobiler, hydraulisch angetriebener Roboter zur Erstellung von Mauerwerk*

Die Arbeiten setzen auf dem in den Jahren 1993-1995 durchgeführten Verbundforschungsprojekt „Automatisierung des Mauervorgangs durch den Einsatz von Industrierobotern“ auf, in dessen Rahmen der in Abb. 1 dargestellte, hydraulisch angetriebene Roboter mit Knickarmkinematik und Raupenfahrwerk als Demonstrationssystem aufgebaut wurde.

Fertigungsgenauigkeit durch aufgabenangepassten Sensoreinsatz

Meßstrategien und Algorithmen für die Positionsbestimmung des Roboters bezüglich des Geschoßkoordinatensystems und das positionsgenaue Versetzen der Steine wurden realisiert. Hierzu kommt das planare Laserscanner-Reflektor-System CAPSY zur ebenen Positionserfassung, berührungslose Abstandsensoren am Greifer zur Bestimmung der Relativposition des Greifers zur Wand, Neigungswinkelsensoren an Basis und Greifer zur Neigungskorrektur sowie eine Meßwaage zur Mörtelfüllstandsmessung zum Einsatz.

Gefährdungsanalyse und Arbeitssicherheit

Der Einsatz mobiler Fertigungseinrichtungen mit leistungsstarken Antrieben wirft neue Fragen zur Realisierung der notwendigen Arbeitssicherheit im Einsatzbereich der Maschine auf. Es wurde untersucht welche Vorschriften und Sicherheitsmaßnahmen für einen teilautonomen Roboter auf der Baustelle zutreffen bzw. anzuwenden sind. Anschließend wurde aufbauend auf dem technischen Ablauf der Mauerwerksfertigung jeder Arbeitsschritt analysiert. Dies geschah hinsichtlich der beteiligten Teilsysteme des Mauerroboters, der davon ausgehenden potentiellen Gefahren, den möglichen Schäden die daraus entstehen können, sowie den Ursachen, auf die eine Gefährdung zurückzuführen ist.

Mit Hilfe dieser Gefährdungsanalyse und den für Roboter und Baumaschinen geltenden Vorschriften erfolgte dann zusammen mit der Bauberufsgenossenschaft eine erste Risikoabschätzung und sicherheitstechnische Einstufung eines Mauerroboters, die je nach Häufigkeit der Interaktionen zwischen Mensch und Maschine im Grenzbereich liegt, der redundante Strukturen erforderlich macht.

Seitens der sicherheitstechnischen Maßnahmen wurde ein vielversprechendes Laserscannersystem vorgestellt, welches den Sicherheitsstandard solcher Robotersysteme entscheidend steigern kann.

Baustellengerechte Bedienung

Um den Beschäftigten bei der Handhabung des Robotersystems nicht zu überfordern und gleichzeitig den notwendigen Handlungsspielraum einzuräumen, war eine an dessen Bedürfnisse angepaßtes Bediensystem zu entwerfen. Dieses Bediensystem muß es ermöglichen, einerseits den Roboter von Hand zu bewegen, z.B. zum Arbeitsplatzwechsel, und andererseits den automatischen Fertigungsablauf vorzubereiten, zu starten, zu beeinflussen, abzubrechen, Störfälle zu beheben und nach Störfällen die Mauerwerksfertigung wieder aufzunehmen.

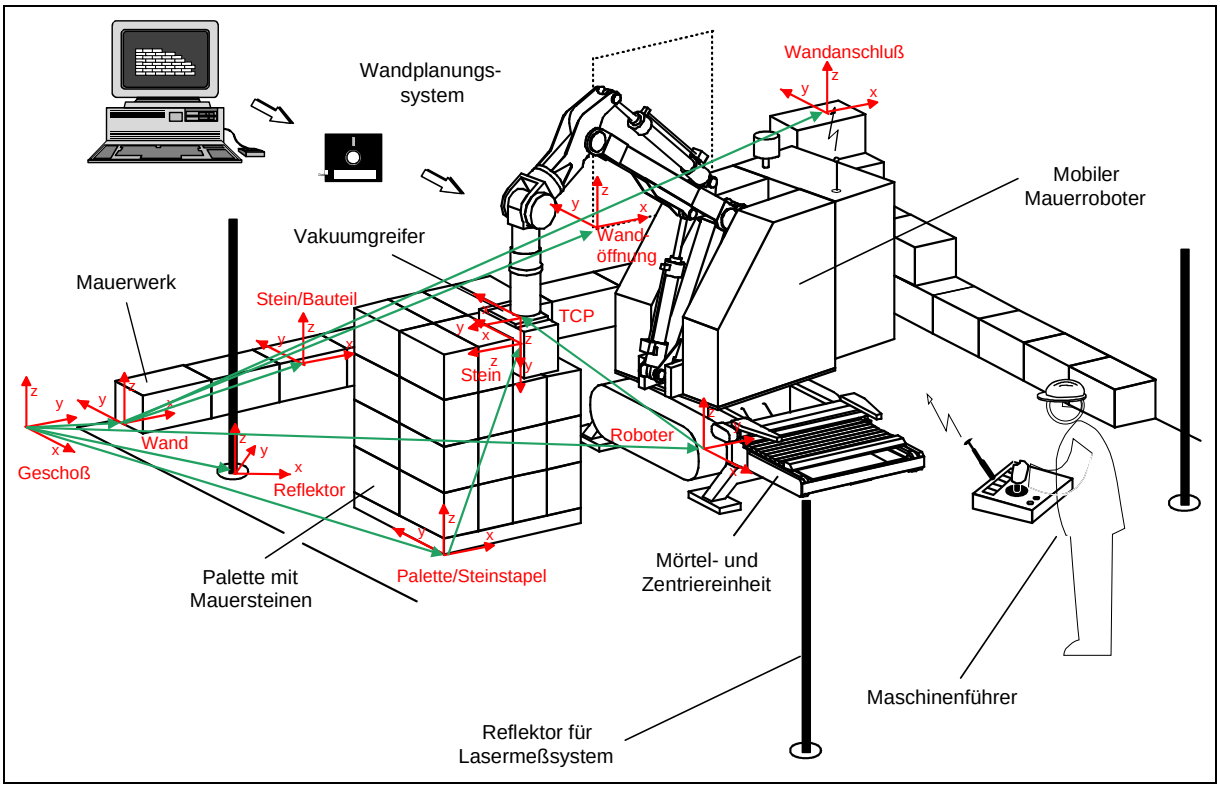

Abb. 2 *Erforderliche Daten zur Beschreibung der Fertigungsumgebung und des zu erstellenden Mauerwerks, dargestellt am Baustellenszenarium*

Das Konzept eines graphisch-interaktiven Bediensystems, in dem zum einen die notwendigen Funktionalitäten und Bedienelemente sowie die Menüstruktur und zum anderen die Hard- und Software-Anforderungen an das Bediensystem enthalten ist, wurde auf Basis des Betriebssystems Windows95® und einer nachrichtenbasierten DDE-TCP/IP-Verbindung zur Robotersteuerung umgesetzt. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei die Darstellung von Plan- und Istdaten, die den Maschinenführer stets über den Fertigungsfortschritt und Abweichungen von den Plandaten informieren. Damit ist eine frühzeitige Erkennung von Fehlern und ein Eingreifen möglich. Durch die graphische Realisierung mit einer kontextbezogenen Anzeige von Statusinformationen erhält der

Bediener einerseits eine anschauliche Richtschnur für das Vorgehen bei der Handhabung des Robotersystems und andererseits den notwendigen Handlungsspielraum.

CAD/RC-Kopplung, Programmiersystem und anwendungsspezifische Erweiterung der Robotersteuerung

Das Konzept für Programmierung und Betrieb eines mobilen Fertigungssystems für die Baustelle muß folgende Aspekte berücksichtigen:

- Große Toleranzen am Bauwerk, bei der Materialbereitstellung, bei den Bauelementen und beim Standort des Fertigungssystems „mobiler Mauerroboter“ müssen zugelassen werden.
- Die Standortwechsel der Fertigungseinrichtung erfolgen in kurzem, zeitlichem Abstand. Es sind die Voraussetzungen für eine zügige Wiederaufnahme der automatischen Fertigung zu schaffen.
- Die Fertigungsaufgabe verändert sich laufend. Es ist eine große Flexibilität in Bezug auf das herzustellende Mauerwerk erforderlich. Die räumlichen Verhältnisse, die den gesamten Arbeitsraum betreffen, sind einer ständigen Veränderung durch das entstehende Mauerwerk und die Materialbereitstellung unterworfen.

Zur Realisierung der Kopplung zwischen dem Wandplanungssystem auf Basis eines kommerziellen CAD-Systems für den Baubereich und der Robotersteuerung (RC) wurde eine Datenschnittstelle zwischen dem Wandplanungssystem und der Steuerung des mobilen Mauerroboters definiert. Die Bereitstellung der erforderlichen Daten, die die vorzubereitende Fertigungsumgebung für den Betrieb des mobilen Mauerroboters auf der Baustelle, das Fertigungsziels (Mauerwerk) und den Fertigungsablauf beschreiben, wurde durch einen Projektpartner, den Hersteller des Wandplanungssystems, implementiert. Ein Teil der für die Fertigung erforderlichen Daten sind in Abb. 2 im Zusammenhang mit dem Baustellenszenarium dargestellt.

Aufgrund der Komplexität, der Besonderheiten und Anforderungen der Anwendung wurden die für die verschiedenen Arbeitsvorgänge erforderlichen Anwendungsprogramme direkt in die Robotersteuerung integriert. Dies bietet den Vorteil, von der Applikation unmittelbar auf steuerungsinterne Maschinendaten (Bsp. Achsbegrenzungen) bzw. Funktionen zugreifen und die Eigenschaften des zugrundeliegenden Echtzeitbetriebssystems (Kommunikation, Dateizugriff, etc.) im gesamten Umfang nutzen zu können. Insbesondere ist dadurch die Möglichkeit der Anbindung der zuvor genannten baustellenspezifischen und baustellengerechten Bedienoberfläche sowie der Verwaltung der Plan- und Istdaten zu Fertigungsumgebung und Fertigungsfortschritt gegeben.

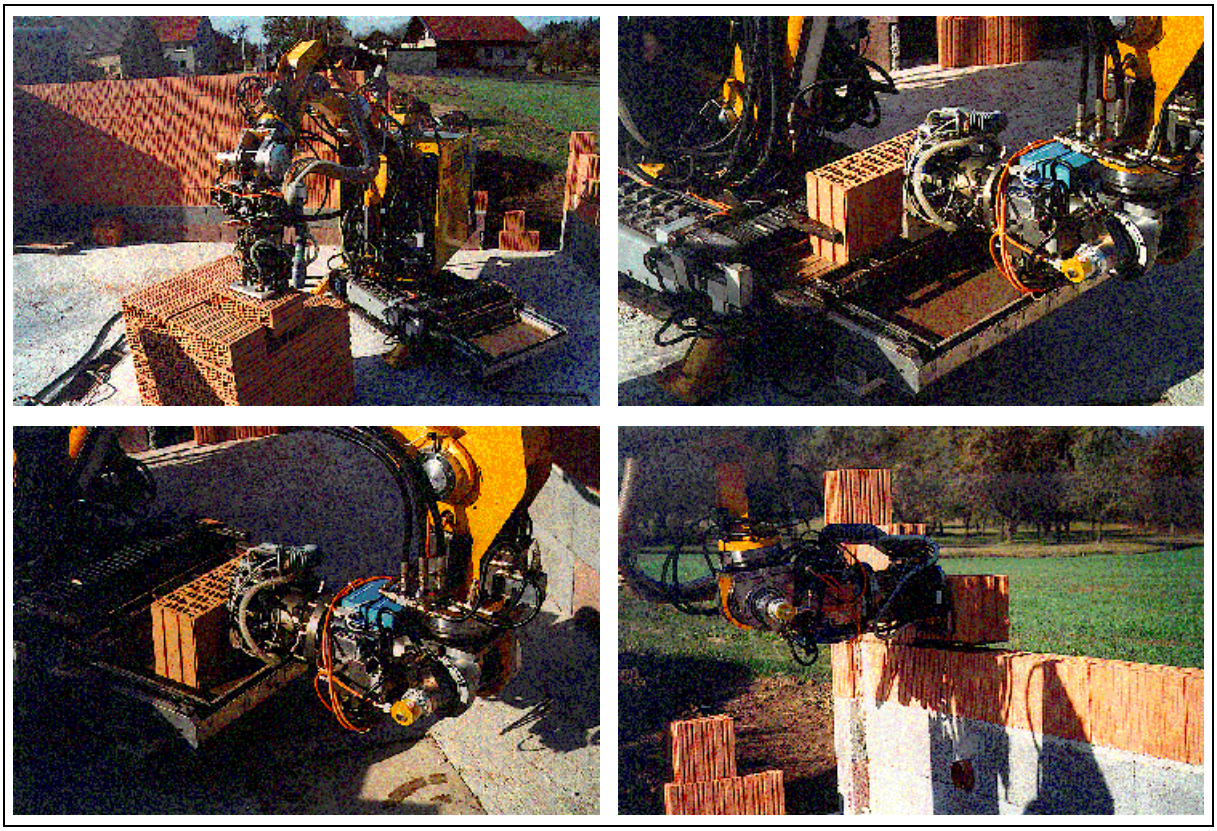

Abb. 3 Teilschritte der automatischen Mauerwerkserstellung während der Baustellenerprobung Entpalettierung - Zentrierung - Mörtelauftrag - Mauervorgang

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Arbeiten konnte ein Demonstrationssystem aufgebaut werden, das die Beherrschung des Fertigungsvorgangs zeigt. Damit ist der Weg für einen industriellen Einsatz mobiler Fertigungssysteme für die Baustelle bereitet. Die Einführung derartiger Fertigungssysteme bietet die Möglichkeit, gleichbleibende Fertigungsqualität bei gleichzeitig starker Entlastung der Beschäftigten von langfristig schädigenden Tätigkeiten zu erzielen. Die Attraktivität der Arbeitsplätze im Baugewerbe wird entscheidend gesteigert.

Die Untersuchungen, die u.a. auf einer realen Baustelle (s. Abb. 3) durchgeführt wurden, machen deutlich, daß die technischen Voraussetzungen hinsichtlich Taktzeit und Fertigungsgenauigkeit für einen industriellen Einsatz gegeben sind. Insbesondere ist die Nutzlast des Robotersystems mit dem aus arbeitsmedizinischen Gründen limitierten Handhabungsgewicht eines Beschäftigten eine entscheidende Größe für seine Produktionsleistung.

Weitere Verbesserungspotentiale hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems durch Reduktion der Investitionskosten und Steigerung der Nettoproduktionsleistung ergeben sich aus folgenden Ansatzpunkten:

- Einsatz von standardisierten Bauteilen und Zusammenfassung von Funktionen.
- Konsequenter Leichtbau bei gleichbleibenden Antriebsdaten.
- Aufteilung der Teilfunktionen Entpalettierung, Vereinzelung, Mörtelauftrag und Mauervorgang auf mehrere, parallel arbeitende Teilsysteme.

Veröffentlichungen

Pritschow, G.; Dalacker, M.; Kurz, J.; Gänßle, M.: **Technological Aspects in the Development of a Mobile Bricklaying Robot.** In: Automation in Construction 5, Elsevier Science Publishers B. V., 1996, pp. 3-13.

Pritschow, G.; Kurz, J.; McCormac S.E.; Dalacker, M.: **Practical Sensor Strategies for On-Site Positioning of a Mobile Bricklaying Robot.** In: Proc. 13th Int. Symp. on Automation and Robotics in Construction (ISARC), Tokyo, Japan, 11 - 13 June, 1996, pp. 895 - 904.

Dalacker, M.; Kurz, J.: **Concepts and Experimental Results of a Mobile Bricklaying Robot for On-Site Construction of Masonry.** In: Proc. 27th Int. Symposium on Industrial Robots (ISIR), Milan, Italy, 6 - 8 Okt., 1996, pp. 147 - 152.

Pritschow, G.; Dalacker, M.; Kurz, J.; McCormac S.E.; Zeiher, J.: **Praxisgerechte Sensorstrategien für die Lokalisierung eines mobilen Mauerroboters auf der Baustelle.** In: Tagungsband zum 12. Fachgespräch über Autonome Mobile Systeme, München, 14./15. Oktober 1996, S. 302 - 311.

Pritschow, G.; McCormac S.E.; Hiller, B.; Zeiher, J.: **Improving the Dynamic Behaviour of a Servodriven Electro-hydraulic Robotic Manipulator.** In: Proc. 14th Int. Symp. on Automation and Robotics in Construction (ISARC), Pittsburgh, USA, 8 - 11 June, 1997, pp. 466 - 472.

Projektdaten:

Laufzeit: 01.03.1996 - 31.07.1997
Projektart: Verbundforschung Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

Projektpartner:
Institut für Steuerungstechnik (ISW), Stuttgart
Zentrum Fertigungstechnik Stuttgart
16 Firmen, Verbände und Organisationen

Ansprechpartner

Zentrum Fertigungstechnik Stuttgart
Nobelstraße 15
70569 Stuttgart
Tel. 0 7 11 / 1 31 62 – 0
Fax. 0 7 11 / 1 31 62 – 11

Dr.-Ing. Thomas Rudlaff (ZFS)
Dipl.-Ing. Jürgen Kurz (ISW)
Dipl.-Ing. Friedrich Scheurer (ZFS)
e-mail rudlaff@zfs.rus.uni-stuttgart.de

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.