

Maschinell unterstützte Fertigung und Vorfertigung

Andrea Uhrig, Dirk Bayer



Maulbronner Stiftertafel (um 1450) Foto: Stefan M. Hoizer

C 2.1

Im Bauwesen spielt Mauerwerk aufgrund globaler Verfügbarkeit der Rohmaterialien für die Herstellung von Ziegelsteinen eine zentrale Rolle. Die Herstellung von Mauerwerk und das traditionelle manuelle Fügen wird dabei fortlaufend von der Bauindustrie weiterentwickelt, um die Effizienz zu steigern, d. h. die Bauzeit zu verkürzen und damit die Kosten zu reduzieren. Beide Ansätze, die maschinell unterstützte Fertigung sowie die Vorfertigung von Mauerwerk, helfen dabei, die Herstellung von Bauprojekten mit Mauerwerk zu optimieren. Die Systeme unterscheiden sich jedoch in der Herangehensweise sowie in den Einsatzmöglichkeiten und bieten entsprechend Vor- und Nachteile, die individuell abzuwägen sind.

Ausführung

Der deutsche Architekt Otto Patzelt fasst in seinem Vorwort zu Konrad Wachsmanns „Wendepunkt im Bauen“ dessen Fragen an Technik und Gesellschaft zusammen. Fragen, unabhängig von der Konstruktionsart, die damals, 1959, ebenso wie heute nichts an Aktualität verloren haben [1].

- Was vermag eine Maschine zu leisten?
- Wie beeinflusst sie den Produktionsprozess und das Wirtschaftsleben?
- Welche Ansprüche stellen die Produkte an den Menschen?
- Welche Ansprüche kann der Mensch an die Produkte der Maschine und an die Maschine selbst stellen?
- Warum und inwieweit beeinflussen die inneren Gesetze der Wirtschaft das Verhältnis von Mensch und Maschine?

Eine Gegenüberstellung beider Ansätze unter Betrachtung der nachfolgenden Aspekte macht deshalb durchaus Sinn, um Unterschiede, mögliche Gemeinsamkeiten und Abhängigkeiten aufzuzeigen sowie Vor- und Nachteile zu erörtern.

Ort der Fertigung

Eine maschinell unterstützte Fertigung findet direkt auf der Baustelle statt und bedient sich dabei spezieller Geräte. Der Umfang der maschinellen Unterstützung ist hier in einem breiten Spektrum möglich. Von der Verwendung einfacher Hebewerkzeuge (z. B. für großformatige Steine oder Blöcke) bis hin zu speziellen Mauerrobotern wird das Mauerwerk nach einer in der Werk- und Montageplanung festgelegten Reihenfolge bzw. mithilfe automatisierter Programmierung geschichtet. Diese und weitere Maschinen wie Mörtelschlitzen setzen die Steine präzise und ressourcenoptimiert unter Einsatz der erforderlichen Fugenfüllstoffe aufeinander (Abb. C 2.1, C 2.2).

Bei der Vorfertigung hingegen wird das Mauerwerk in einem entsprechenden Produktionswerk unter kontrollierten Bedingungen hergestellt. Die Mauerwerkswände werden als Elemente oder in komplett modularen Abschnitten gefertigt, zur Baustelle transportiert und dort vor Ort montiert (Abb. C 2.3, C 2.4). Auch Decken oder Dachdecken lassen sich auf diese Weise produzieren.

Flexibilität

Die maschinell unterstützte Fertigung von Mauerwerk ermöglicht eine vergleichsweise hohe Flexibilität hinsichtlich spezifischer Anpassungen auf der Baustelle. Anordnung, Verbände und weitere Besonderheiten können nach den Bedürfnissen des Projekts

verändert und optimiert werden. Individuelle Änderungen lassen sich auch noch während des Bauprozesses relativ einfach umsetzen.

Da die Elemente bei der Vorfertigung nach vorgegebenen Planunterlagen im Werk hergestellt werden, ist hier die Flexibilität eher gering, um auf Änderungen im Bauprozess zu reagieren. Deshalb erfordert die Vorfertigung eine präzise Planung im Vorfeld. Spätere Anpassungen auf der Baustelle können schwierig und teuer sein.

Baufortschritt und Baugeschwindigkeit

Beide Ansätze, die maschinelle Fertigung und die Vorfertigung von Mauerwerk, steigern die Geschwindigkeit des Bauprozesses, insbesondere im Vergleich zur handwerklichen Fügung, erheblich.

Bei der Fertigung auf der Baustelle gewährleistet die maschinelle Unterstützung einen kontinuierlichen Baufortschritt, wodurch sich die Bauzeit deutlich reduzieren lässt. Maschinen arbeiten schneller und meist präziser als Menschen, allerdings hängt die Geschwindigkeit davon ab, wie gut die Arbeitsprozesse organisiert und vorbereitet sind.

Im Vergleich zur handwerklichen Fügung und zur maschinell unterstützten Fertigung kann die Vorfertigung deutlicher zu einem schnellen Baufortschritt beitragen. Parallel zur Baustellenorganisation und zu vor Ort gefertigten Bauteilen kann im Werk produziert werden. Die Montage fertiger Wände, Decken und Dächer auf der Baustelle erfolgt in der Regel zügig, eine passgenaue Abstimmung im Vorfeld vorausgesetzt.

Qualitätssicherung

Unabhängig vom Produktionsort sind für die Qualitätssicherung Faktoren wie Bedienung und Wartung der eingesetzten Maschinen

- C 2.1** Gerüste und Hilfskonstruktionen im historischen Baubetrieb: Ausschnitt aus der sogenannten Stiftertafel (um 1450) im Kloster Maulbronn (DE)
- C 2.2** Hilfsmittel im aktuellen Baubetrieb: Hebewerkzeug für großformatige Plansteine
- C 2.3** Einzelne Voll- und Halbformate werden in die Fertigungsstraße gegeben – Bildung der Lagen.
- C 2.4** zum Abtransport auf die Baustelle verpackte Wandelemente



C 2.2

sowie witterungsabhängige Umweltbedingungen ausschlaggebend. Sie beeinflussen grundsätzlich die Herstellung und Qualität des Mauerwerks.

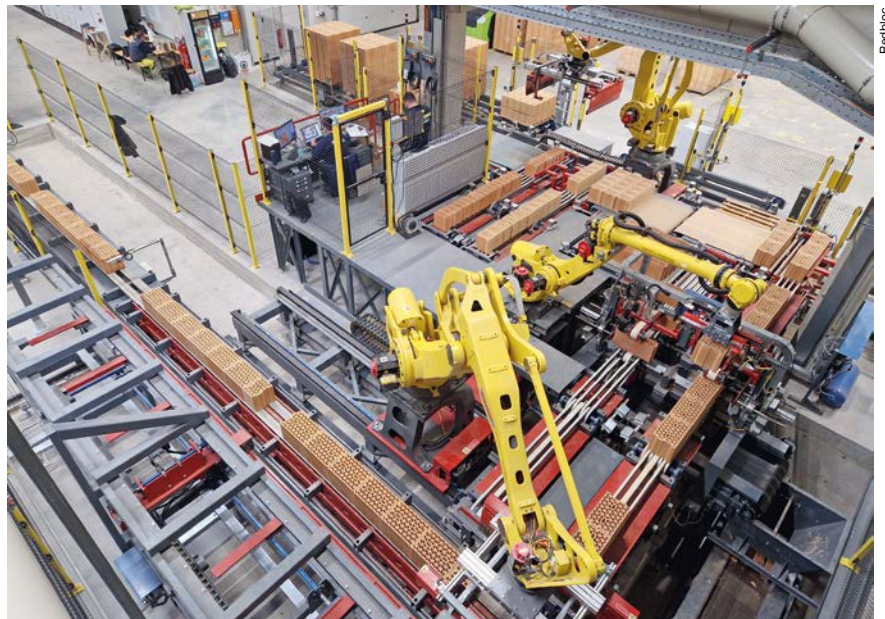
Im Werk herrschen kontrollierbare und gleichbleibende Bedingungen für die Vorfertigung, sodass Witterungseinflüsse und andere ungünstige, unvorhersehbare Faktoren wie die Umstände auf der Baustelle keine Rolle spielen und deshalb eine hohe Qualitätssicherung möglich ist (Abb. C 2.3). Auch wenn diese auf der Baustelle im Vergleich zur Vorfertigung von mehreren Faktoren abhängig ist, lässt sich Mauerwerk mit maschineller Unterstützung präziser und leichter mit gleichbleibend hoher Qualität herstellen als in rein manueller Arbeit.

Witterungsabhängigkeit

Bauzeit und Bauqualität können bei der maschinell unterstützten Herstellung von Mauerwerk durch Witterungseinflüsse auf der Baustelle erheblich beeinträchtigt werden. Bei der Vorfertigung in der Halle sind solche Einflüsse hingegen nahezu eliminiert. Durch die schnellere Montage auf der Baustelle werden die Bauteile weniger witterungsbedingten Einflüssen ausgesetzt und diese sind besser kontrollierbar.

Transport und Logistik

Bei der maschinell unterstützten Fertigung von Mauerwerk direkt auf der Baustelle entfallen eine aufwendige Transportlogistik und die Notwendigkeit großer Lagerflächen im Vergleich zu vorgefertigten Bauteilen. Handelsübliche Verpackungseinheiten für das Material wie Steine oder Mörtel werden im besten Fall just in time auf die Baustelle geliefert und sind im Handling erprobt (Abb. C 2.4, C 2.5, S. 52).



C 2.3



C 2.4



C 2.5

Im Werk vorgefertigte Elemente müssen zur Baustelle transportiert werden. Je nach Abmessung und Gewicht der Bauteile oder Entfernung zur Baustelle kann dies zur logistischen Herausforderung werden. Straßenbreiten, Brücken und vieles mehr können sich limitierend auf den Transport auswirken. Um der Baustellenlogistik und der Qualitätssicherung gerecht zu werden, müssen die Fertigteile sorgfältig gehandhabt und in der richtigen Reihenfolge und Position geliefert werden.

Kostenstruktur

Anschaffung und Betrieb von Maschinen können bei der maschinell gestützten Herstellung von Mauerwerk anfänglich immense Investitionskosten verursachen, die sich allerdings über die Abwicklung großer Projekte oder durch reduzierte Personalkosten wieder amortisieren lassen.

Dies gilt entsprechend auch für die Vorfertigung. Eine mögliche Steigerung der Kosteneffizienz lässt sich durch serielle Produktion oder den Einsatz standardisierter Module erreichen.

Einsatzbereich

Der Ansatz der maschinell unterstützten Fertigung eignet sich vor allem für komplexere Bauprojekte mit großem Bauvolumen, bei denen eine hohe Flexibilität vor Ort erforderlich ist oder eine spezifische Anforderung an das Mauerwerk gestellt wird.

Vorfertigung ist dort sinnvoll, wo wiederkehrende und standardisierte Bauelemente und Module verwendet werden und kurze Bauzeiten erforderlich sind (Abb. C 2.5).

Ein Beispiel für die Vorfertigung in einem linearen Herstellungsprozess zeigt die Firma Redbloc aus Wels in Österreich mit ihrer

Herangehensweise [2]. Die Vorfertigung der Module im Werk, mit einer maximalen Größe von 6,0 x 3,5 m, läuft weitestgehend autonom ohne großen personellen Einsatz mit Fertigungsstraße und Robotern als Hebe- und Kalibrierungswerkzeugen ab (Abb. C 2.6). Die Fertigung kann auch auf individuelle Wünsche eingehen (z. B. Einfügen/Fräsen von Öffnungen, Schrägschnitte bei Giebelwänden etc.). Die größte Effizienz in der Fertigung wird mit dem vorgegebenen Modul- bzw. Blockraster (d. h. Ziegelformat L/H = 248/249 mm in Wandbreiten von 120 bis 500 mm) erzielt. So lassen sich 30 bis 40 m² pro Stunde herstellen (Abb. C 2.7 a). Die großformatigen Ziegel-Fertigbauteile werden anschließend mit Zweikomponenten-Polyurethan-Klebstoff geklebt und müssen deshalb kalibriert sein, da die übliche Mörtel-lagerfuge zum Toleranzausgleich fehlt (Abb. C 2.7 b). Lediglich die unterste Lagerfuge zur

Decke oder Bodenplatte hin wird mit einer Mörtelschicht zum Ausrichten der Wandmodule ausgeführt. Zur Transportsicherung und Montage werden vertikal Ankerstäbe in die Wandmodule eingebracht, nach dem Versetzen entfernt und im Kreislaufverfahren wiederverwendet (Abb. C 2.7 c). Herstellung, Transport, Lagerung und Kennzeichnung als „Vorgefertigtes Mauerwerk im Klebverfahren“ sind in der „Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ)/Allgemeinen Bauartgenehmigung (aBG)“ des DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) festgelegt und zertifiziert. Die Zulassung setzt die gleichbleibenden Herstellungsbedingungen im Werk voraus. Hier lässt sich ein Vorteil im Vergleich zur Fertigung auf der Baustelle identifizieren, da der Einsatz von Robotern vor Ort aufgrund bekannter ungünstiger Einflüsse eine gleichbleibende Qualität – Stand heute – noch nicht gewährleisten kann. Wei-



C 2.6



a



b



c

tere Hersteller von Ziegelfertigteilen, auch elementierter Deckensysteme, sind auf der Website des Dachverband für Ziegelfertigteile aufgelistet [3].

Fazit

Die maschinell unterstützte Fertigung auf der Baustelle ist flexibler hinsichtlich Anpassungen oder Änderungen. Im Gegensatz dazu bietet die Vorfertigung höhere gleichbleibende Qualitätsstandards und ermöglicht kürzere Bauzeiten. Nach der Fertigung der Bauelemente ist eine nachträgliche Änderung auf der Baustelle nur unter erheblichem Aufwand möglich und somit weniger flexibel, um auf örtliche Gegebenheiten zu reagieren.

Die Fortschritte in der maschinellen Fertigung und Vorfertigung schaffen die Grundlage für den Einsatz von Robotik im Mauerwerksbau (siehe „Robotik“, S. 54ff.). Der Übergang zur Robotik ist dabei fließend und eng mit den zuvor beschriebenen Gegebenheiten der Mauerwerksherstellung verbunden.

- C 2.5 Versetzen und Montage der Fertigteillemente auf der Baustelle
- C 2.6 Kalibrierung der Steinlagen in einer Fertigungsstraße durch Roboterarme
- C 2.7 Vorfertigung in einem linearen Prozess, Firma Redbloc, Wels (AT)
 - a fertiges Wandelement mit Öffnungen und komplett eingebautem Fensterelement
 - b Auftrag von 2-K-Polyurethan-Klebstoff
 - c vertikale Ankerstäbe und weitere Maßnahmen zur Transportsicherung und Montage