1122
BA. Nr. F 2345

Rationalisierungsmöglichkeiten und Logistikkonzepte im Mauerwerksbau durch Einsatz von mechanisierten oder automatisierten Mauerwerksmaschinen

96,9 %

Der Mauerwerksbau als Fertigungstechnologie hat im deutschen Baugewerbe eine lange Tradition und ist nach wie vor von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Bestätigt wird dies vor allem durch den Wohnungsbau, bei dem 1996 etwa 213.230 neue Wohngebäude und 40.037 Nichtwohngebäude zum Bau genehmigt wurden. Hiervon werden 84 % aus Mauerwerk erstellt, aber auch bei den Nichtwohngebäuden liegt der Anteil des Mauerwerks immerhin noch bei 48 % /2/. Insgesamt ist damit die Mauerwerkserstellung 1996 mit etwa 15,2 % am gesamten Umsatz im Wohnungsbau beteiligt /1/.

1 Ziel der Forschungsaufgabe

Seit Anfang der achtziger Jahre sind Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Mechanisierung und Automatisierung im Mauerwerksbau bekannt. Der Schwerpunkt der Aktivitäten lag zunächst bei der industriellen Vorfertigung von Wandelementen /3-7/ und bei Mauerwerkskränen für den Einsatz auf der Baustelle /8/. Mauermaschinen kamen Mitte der achtziger Jahre hinzu /9, 10/. Inzwischen sind bereits erste Lösungsansätze für den Baustelleneinsatz intelligenter Maschinen und Roboter bekannt /11-13/, diese befinden sich jedoch noch im Forschungsstadium. In /11/ wurde hierzu erstmals ein vollständiges Szenario für die automatische Baustellenfertigung von Mauerwerk mit einem mobilen Roboter entworfen.

Bereits verfügbare Hilfsmittel zur Entlastung des Maurers auf der Baustelle wie z.B. Mauerwerkskräne oder Mauermaschinen setzen sich in der Bauindustrie jedoch nur zögerlich durch, da sowohl Bauplaner wie Bauleiter und Poliere oftmals nicht wissen, wie derartige Hilfsmittel wirtschaftlich in den Bauprozeß zu integrieren sind und welche Rahmenbedingungen bei der Bauplanung, der Baustellenlogistik und dem Bauablauf es zu beachten gilt. Leider fehlen bislang detaillierte Untersuchungen, welche die Auswirkungen der verschiedenen technischen Hilfsmittel auf den Ablauf der Mauerwerkserstellung analysieren, bewerten und miteinander vergleichen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es deshalb, die Randbedingungen zu ermitteln, unter denen ein wirtschaftlich erfolgreicher Einsatz moderner technischer Hilfsmittel für den Mauerwerksbau möglich ist, und welches Fertigungsverfahren für welche Baumaßnahme am geeignetsten ist. Darüber hinaus sollten die Auswirkungen auf den Bauablauf und insbesondere die Logistik erfaßt und die notwendigen Maßnahmen bei der Bauplanung und im Bauablauf aufgezeigt werden.

2 Durchführung der Forschungsaufgabe

Ausgangspunkt der Forschungsarbeit war eine Aufstellung der einzelnen Anforderungen an das Mauerwerk im Wohnungsbau, auf deren Basis die gebräuchlichsten Mauerwerksmaterialien, deren Eigenschaften und die angebotenen Steinformate analysiert wurden. Die Untersuchung zeigte, daß durch eine Fortentwicklung der Steinsysteme eine weitere Rationalisierung des Mauerwerksbaus möglich ist. Anschließend wurden im Rahmen einer Marktstudie die derzeit verfügbaren Geräte und Hilfsmittel für den Mauerwerksbau erfaßt und mit den wichtigsten gerätespezifischen Kenngrößen und den Einsatzbedingungen für die Mauerwerkserstellung umfassend dargestellt.

Aufbauend auf diesen Grundlagen erfolgte eine detaillierte Untersuchung der Mauerwerkserstellung auf verschiedensten Baustellen. Untersucht wurden insbesondere Mauermaschinen und Mauerkränen sowie die Problempunkte, die sich beim Einsatz dieser Geräte auf den Baustellen ergaben. Auch die Auswirkung einer vorab durchgeführten Bauplanung auf den Bauablauf konnte hierdurch erfaßt werden, ebenso wie der Einfluß den der Ausbildungsgrad, die Erfahrung und die Motivation des Baustellenpersonals auf die Mauerwerkserstellung hat. Durchgeführt wurden die Untersuchungen für kleinformatige Mauersteine bis hin zu geschoßhohen Wandelementen.

Diese Untersuchungsergebnisse wurden anschließend analysiert, und daraus die entscheidenden Einflußfaktoren auf die Mauerwerkserstellung abgeleitet sowie Schwachstellen bei der Gerätetechnik, der Bauplanung und dem Bauablauf aufgezeigt. Darüber hinaus wurden weitere Optimierungspotentiale für die Bauplanung und die Baustellenlogistik ermittelt sowie Kennwerte für den wirtschaftlichen Einsatz der Geräte für den Mauerwerksbau aufgestellt.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen zusammenfassend dargestellt.

3.1 Materialien und Geräte für den Mauerwerksbau

Im Mauerwerksbau kommen sehr unterschiedliche Materialien und Fügetechnologien zum Einsatz. Die am häufigsten eingesetzten Mauersteine sind Ziegelsteine, Kalksandsteine und Porenbetonsteine mit einem gemeinsamen Anteil von fast 90% /14/. Prinzipiell unterscheidet man beim Mauerwerk zwischen Außen- und Innenwänden sowie tragenden und nichttragenden Wänden. Von den gemauerten Wänden wird in erster Linie Standsicherheit gefordert, um die wirkenden Wandkräfte aufnehmen und übertragen zu können. Darüber hinaus muß das Mauerwerk den bauphysikalischen Anforderungen zum Schutz gegen Wärme bzw. Kälte, Feuchtigkeit und Lärm genügen. Je nach Gebäudetyp sind weitere Anforderungen hinsichtlich Feuerschutz im Brandfall zu erfüllen. Die verwendeten Steinformate reichen von

kleinformatigen Steinen zur Handvermauerung bis hin zu geschoßhohen Wandelementen. Abhängig von der Herstellungsgenauigkeit werden die Mauersteine in folgende 2 Klassen unterteilt:

- ungenaue Steine mit Toleranzen bis zu 6 mm in der Höhe und 12 mm in der Länge sowie
- Plansteine mit einer Höhentoleranz von ±1 mm.

Prinzipiell gilt je größer die Abmessungen eines Mauersteins sind, desto rationeller ist die Mauerwerksfertigung, da insgesamt weniger Setz- und Ausrichtvorgänge notwendig sind, um die Wände zu erstellen. Daneben setzen sich Plansteine immer stärker durch, weil diese den Ausrichtaufwand verkürzen und stirnseitig die Bemörtelung entfällt. Auch können nachfolgende Arbeitsgänge wie der Putzauftrag an Innenwänden wesentlich rationeller erfolgen, da bei ebenen, glatten Wandflächen mit hoher Maßgenauigkeit häufig ein 3 mm Spachtelputz oder ein 5 mm Haftputz ausreicht.

Zur weiteren Vereinfachung des Ausrichtvorgangs werden die meisten Steine inzwischen auf der Stirnseite mit einem Feder-Nut-System ausgeführt, wodurch die Zeit zur Ausrichtung und Fixierung des Nachbarsteins deutlich reduziert wird. Zur besseren Handhabung weisen Mauersteine unter 25 kg Grifftaschen an der Stirnseite bzw. Daumenlöchern auf der Steinoberseite für das händische Mauern auf. Den gleichen Zweck erfüllen Grifflöcher an der Steinoberseite oder Griffrillen an der Stirnseite für das maschinenunterstützte Mauern.

Neben den Steinmaterialien ergeben sich weitere Rationalisierungsansätze im Bereich der Mauerwerksgeräte. Die für den Mauerwerksbau auf der Baustelle eingesetzten Geräte lassen sich in die Kategorien Mauerbühne, Mauermaschine, Mauerkran und Mauerroboter klassifizieren. Während die Mauerbühne nur eine ergonomisch günstige Stellung des Maurers und der Mauermaterialien zur Wand ermöglicht, tragen Mauerkran und Mauermaschine zur aktiven Entlastung des Maurers von schwerer körperlicher Arbeit bei mit Hilfe einer Kranvorrichtung. Die Mauermaschine ist dabei eher für kleine bis mittelgroße Steine geeignet und der Mauerkran aufgrund seiner höheren Tragkraft für große und schwere Steine. Das Rationalisierungspotential eines Mauerroboters geht dagegen weiter und ermöglicht einen teilweise autonomen Betrieb, bei dem der Maschinenführer weitere Aufgaben neben der Überwachung des Roboters wahrnehmen kann. Jedoch steckt der Einsatz von Robotern auf der Baustelle heute noch in den Kinderschuhen, obwohl es bereits erste Prototypen gibt.

Weitere Geräte wie Mörtelsilos oder Rührmaschinen erleichtern die Bereitstellung des notwendigen Mörtels für den Mauerwerksbau. Mörtelschlitten oder Zahnkellen sind übliche Hilfsmittel, um den definierten Mörtelauftrag zu erleichtern. Um die 1. Mörtelschicht zum Ausgleich der Geschoßunebenheiten aufzutragen, können der Justierboy oder die Mörtelauftragsmaschine als Hilfsmittel eingesetzt werden. Während der Justierboy das manuelle Arbeiten erleichert, trägt die Mörtelauftragsmaschine die erste Mörtelschicht sogar teilweise selbständig auf.

3.2 Analyse der untersuchten Baustellen

Untersucht wurden verschiedenste Baustellen auf denen Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie Reihenhäuser errichtet wurden von Baupersonal mit unterschiedlicher Erfahrung und Motivation. Auf den Baustellen zum Einsatz kamen teil- oder vollmotorisierte Mauerkräne und Mauermaschinen für unterschiedlichste Steinformate. Die dabei beobachteten Mauerleistungen bezogen auf einen Arbeiter schwankten zwischen 0,8 und 6,44 m^2/h. Die Gründe für die enorme Schwankungsbreite sind vielfältig und hängen von verschiedensten Faktoren ab, die die Mauerwerkserstellung beeinflussen. Eine systematische Darstellung der wichtigsten Einflußgrößen auf die Mauerwerkserstellung zeigt Abbildung 1.

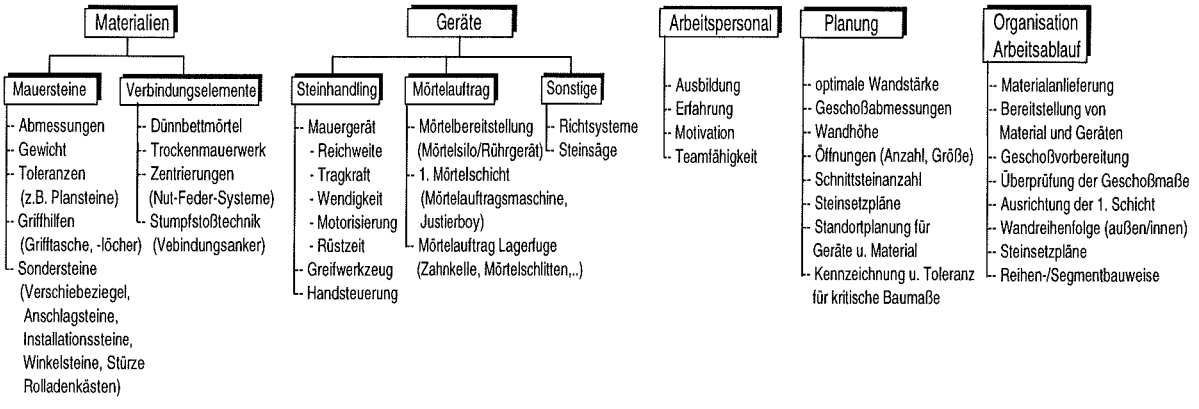

Abbildung 1: Wichtigste Einflußgrößen auf die Rationalisierung im Mauerwerksbau

Neben diesen Einflußfaktoren konnten anhand der Baustellenuntersuchungen die folgenden prinzipiellen Schwachstellen in der Bauplanung, der Gerätetechnik, der Logistik und im Bauablauf ermittelt werden.

1. Bauplanung

Vor allem bei der Planung der Geschoß- und Wandabmessungen durch den Architekten wird das später verwendete Steinformat noch zu wenig berücksichtigt. Dasselbe gilt für die Gestaltung der Wandöffnungen, deshalb gibt es ganz erhebliche Schwankungen bei der Anzahl der Schnittsteine für ein Geschoß. Bei den untersuchten Baustellen schwankte der Schnittsteinanteil bezogen auf die gesamte Wandfläche eines Geschosses zwischen 18% und 75%. Die Folge sind höhere Materialkosten und ein deutlich größerer logistischer Aufwand für eine ablaufgerechte Bereitstellung der Schnittsteine.

Häufig ist auch eine detaillierte Wandplanung zu vermissen, die bis zu den Einzelsteinen reicht. Stein-Setzpläne für den Maurer vor Ort werden bislang nur für große Steinformate generiert, bei denen die Schnittsteine vorgefertigt angeliefert werden. Dabei muß ein Großteil der dafür benötigten Informationen bereits für die Bestimmung der Anzahl von Steinzwischenformaten oder Sondersteine ermittelt werden und es gibt auch erste EDV-Programme, die eine optimierte Wandplanung unterstützen. Bislang noch überhaupt nicht berücksichtigt wird die Vorplanung der Material- und Gerätestandorte sowie der Zwischenlagerplätze. Alle

diese Maßnahmen würden jedoch helfen, die Bauausführung reproduzierbarer und optimaler zu gestalten.

2. Organisation und Logistik

Die logistischen und organisatorischen Schwierigkeiten beginnen bereits bei der Materialanlieferung und erstrecken sich dann bis zur Fertigstellung des Mauerwerks. Strukturieren lassen sich die auftretenden Problempunkte in die Bereiche Materialanlieferung und Materialbereitstellung.

Ein Hauptproblem ist die Zulieferung der Steine vom Steinhersteller, die meist weder bedarfsgerecht in der Menge noch entsprechend dem geplanten Arbeitsablauf erfolgt. Daraus resultieren Umplanungen und Verzögerungen beim Arbeitsfortschritt, um mit dem vorhandenen Material weiterarbeiten zu können. Probleme gibt es auch bei der Palettierung der Sonder- oder Ausgleichssteine, die oftmals nicht in der Reihenfolge palettiert sind, in der die Steine benötigt werden. Auch bei der Zwischenlagerung der Steine entstehen viele Probleme dadurch, daß Lagerflächen für die Steine nicht eingeplant sind und bei der Einlagerung die Reihenfolge, in der die Steine später benötigt werden nicht beachtet wird.

Bei der Materialbereitstellung führt die fehlende Planung der Material- und Gerätestandorte häufig zu einer gegenseitigen Behinderung der Geräte und zu Platzmangel bei der Materialbereitstellung auf dem Geschoß. Durch ungünstigere Palettenstandorte müssen dann längere Wege zwischen dem Greifen und Setzen der Steine in der Wand in Kauf genommen werden.

3. Bauablauf

Im Bauablauf treten die verschiedensten Problempunkte auf. Dies beginnt mit der Kontrolle der Geschoßabmessungen, die meist nur teilweise oder gar nicht erfolgt. Bei Maßabweichungen aber zu einem erhöhten Fertigungsaufwand am Wandende führen kann oder Probleme beim Einbau von Fertigteilen hervorruft. Auch das vollständige Anlegen der 1. Steinreihe für Außen- und Innenwände führt häufig zu Ablaufschwierigkeiten, da dies den Fahrbereich der Mauergeräte erheblich einschränkt, so daß diese mit dem Baustellenkran versetzt werden müssen. Zudem besteht die Gefahr, daß die 1. Steinreihe durch Kollision mit dem Mauergerät verschoben wird.

Ein weiterer Problempunkt ist die teilweise mangelhafte Ausrichtung der 1. Steinreihe. Bei Plansteinen führt dies zu einem erheblichen Mehraufwand beim Ausrichten der nachfolgenden Steine, da eine Lagerfuge von 1 mm keine Ausgleichsmöglichkeit mehr zuläßt. Bei vorgefertigten Schnittsteinen paßt häufig die Nut-Feder-Zentrierung nicht zum Nachbarstein. Dies resultiert aus einem Beginn der Wand mit falscher Nut-Feder-Orientierung. Bislang wird die notwendige Nut-Feder-Orientierung jedoch selbst in den Steinsetzplänen nicht angegeben oder gekennzeichnet. Dasselbe gilt für das Anbringen der Anker zur Stumpfstoßverbindung

von Wänden. Eine Markierung der Wandstellen, an denen die Anker einzulegen sind, findet aber weder in den Bauplänen noch an den betreffenden Steinen statt.

4. Gerätetechnik

In der Gerätetechnik gibt es viele gerätespezifische Detailprobleme, die es zu verbessern gilt. Die wesentlichen Schwachpunkte und Vorteile sind im folgenden getrennt für Mauermaschine und Mauerkran aufgelistet.

Beim Mauerkran ist vor allem der Kraftaufwand für das Schwenken und Abbremsen der Steine in der teilmotorisierten Ausführung noch zu hoch. Ein weiterer Problempunkt der Mauerkräne ist die Größe und Anordnung der Kransteuerung sowie deren Funktionalität, von der die Arbeitsweise mit dem Mauerkran in hohem Maße abhängt.

Als vorteilhaft haben sich Greifersteuerungen und Einhand-Steuergeräte erwiesen, da mit diesen neben der Kranbewegung gleichzeitig die Steine geführt werden können, was eine Grundvoraussetzung für das Arbeiten mit einem Mann pro Mauerkran ist. Weitere Vorteile eines Mauerkrans sind die große Reichweite und die hohen Tragkraft dieser Geräte. Dies erlaubt es von einem Standort aus einen großen Wandbereich abzudecken ohne den Kran verfahren zu müssen. Zudem ist der Mauerkran weitgehend unabhängig vom Baustellenkran, da ein großer Teil des Baumaterials vorab auf die Geschoßdecke gestellt werden kann. Ein kontinuierlicher Materialnachschub wie bei der Mauermaschine ist somit nicht notwendig.

Zu verbessern gilt es bei den Mauermaschinen vor allem einzelne Maschinenkomponenten. Als Stichworte seien hier ein beweglicheres Fahrwerk für Eckenfahrten, die Vergrößerung der Arbeitsplattform für mindestens 2 Steinpaletten, die Integration einer Sägestation und die Vergrößerung der Reichweite des Auslegers genannt.

Der Vorteil einer Mauermaschine besteht darin, daß die notwendigen Materialien für den Mauerwerksbau auf engem Raum unter ergonomisch günstiger Position bereitgestellt werden und sich so kurze Arbeitswege beim Mauern ergeben. Prinzipiell hat sich auch gezeigt, daß bei Mauermaschinen die segmentweise Fertigung gegenüber der reihenweisen Fertigung bessere Leistungswerte erbringt und jeder Standort nur einmal angefahren werden muß.

3.3 Rationalisierungspotentiale bei der Mauerwerkserstellung

Die Grundlagen für eine rationelle Mauerwerksfertigung werden vor allem in der Bauplanung gelegt. Anzustreben ist eine Mauerwerkserstellung mit möglichst großen Steinformaten bis hin zu geschoßhohen Steinen, da diese höhere Leistungswerte erwarten lassen. Hierzu ist es erforderlich die Geschoß- bzw. Wandmaße und das Steinformat frühzeitig aufeinander abzustimmen auch unter Berücksichtigung anderer Steinformate, damit Schnittsteine zur Ausnahme und nicht zum Regelfall werden. Insbesondere die Planung der Wandhöhe im Rastermaß der Steine trägt zur Kostensenkung bei, da sich hierdurch eine komplette

Steinreihe einsparen läßt. Untersuchungen an einer Beispielbaustelle ergaben ein Einsparungspotential von bis zu 9% der Materialkosten bei einer optimierten Wandplanung. Ebenfalls von großer Bedeutung ist die Minimierung der Wandstärken und damit die Vergrößerung der vorhanden Wohnfläche bei gleicher Fläche des Gebäudes. Eine Abschätzung hierfür ergab ein Einsparungspotential bis zu 17,5% der Materialkosten bei typischen Geschossen im Wohnungsbau.

Zur Optimierung des Arbeitsablaufs kann die Planung ebenfalls beitragen, indem eine Wandelementierung durchgeführt wird, bei der die Wände in Einzelsteine gegliedert und Setzpläne für den Mauerer generiert werden. Hierdurch entfällt die intuitive Wandplanung vor Ort und wird ersetzt durch eine reproduzierbare Arbeitsabfolge. Weitere Rationalisierungspotentiale ergeben sich bei größeren Bauwerken durch eine gezielte Standortplanung für die Mauergeräte unter Berücksichtigung der Maschinenarbeitsräume.

Einer der wesentlichsten Einflußfaktoren auf die Mauerwerkserstellung ist der Maurer selbst. Wie die untersuchten Baustellen gezeigt haben, ist abhängig vom Ausbildungsgrad und dem Erfahrungsschatz der Maurer ein Einsparpotential von 70% der Arbeitskosten möglich. Mindestens ebenso wichtig ist die Motivation der Arbeitskräfte, bei der Unterschiede bis zu 40% der Arbeitsleistung beobachtet wurden.

Je weniger erfahren die Maurer sind, desto einfacher muß die eingesetzte Maschinentechnik sein, um den Einarbeitungsaufwand gering zu halten und die Maurer nicht zu demotivieren. Bezüglich der Arbeitsaufteilung ist es bei Mauermaschinen vorteilhaft, wenn nur ein Maurer auf der Mauermaschine arbeitet, und ein weiterer die 1. Steinreihe (Höhenausgleichsschicht) vormauert, sowie bei Bedarf neue Steinpaletten und Mörtel bereitstellt. Auch bei Mauerkränen ist das Arbeiten mit einem Maurer möglich und verringert auftretende Abstimmungsprobleme. Beim Einsatz einer Leiter oder eines Gerüsts empfiehlt sich jedoch eine Aufteilung der Arbeit zwischen einem Mauerer, der die Steine setzt und dem Mauerkranführer, der die Steine zuführt.

Im Rahmen der Baustellenorganisation und des Bauablaufs ist vor allem auf die genaue Abstimmung der Materialanlieferung und deren Bereitstellung auf dem Geschoß zu achten. Das Ziel sollte eine „just-in-time" Anlieferung für jede Wand sein, um so eine Zwischenlagerung zu vermeiden. Im Idealfall kann dann bei Mauerkränen sogar auf einen Baustellenkran verzichtet werden. Für kurze Bewegungswege beim Bauablauf ist die Anordnung der Materialien und Geräte zueinander und bezüglich der zu erstellenden Wand entscheidend. Abbildung 2 zeigt eine optimale Anordnung für einen Mauerkran und eine Mauermaschine. Mindestens ebenso wichtig ist die Kontrolle der Geschoßabmessungen, um Maßabweichungen frühzeitig zu erkennen und ausgleichen zu können. Insbesondere die sorgfältige Ausrichtung der 1. Steinreihe ist wesentlich für den späteren Aufwand beim Setzen und Ausrichten der nachfolgenden Steine.

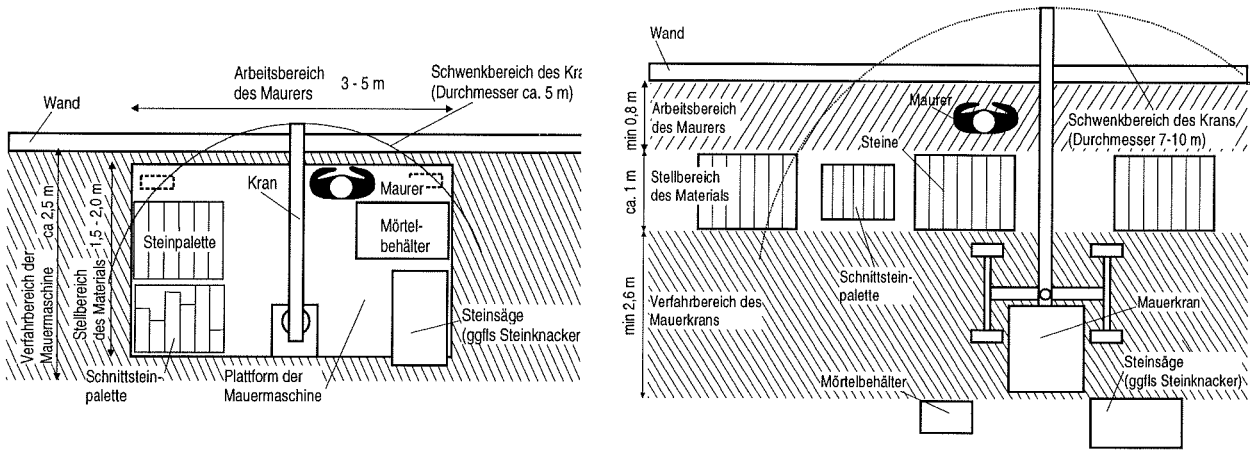

Abbildung 2: Optimierte Material- u. Geräteanordnung beim Einsatz einer Mauermaschine oder eines Mauerkrans

3.4 Fazit

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß der konventionelle Mauerwerksbau noch erhebliches Rationalisierungspotential beinhaltet. Vor allem bei der Bauplanung und Baustellen-Logistik gibt es Verbesserungsmöglichkeiten. Aber auch die Gerätetechnik und der Bauablauf sind noch nicht vollständig optimiert. Für die Zukunft läßt vor allem der Einsatz modernerer Hilfsmittel wie Roboter sie darstellen eine weitere Rationalisierung erwarten, jedoch erfordert der Einsatz solcher Geräte weitere Fortschritte in der Bauplanung und Baustellenorganisation.

Literaturverzeichnis

[1] N.N. *Gebäudekosten Teil 2*, Baukosteninformationsdienst Deutscher Architektenkammern, Stuttgart 1997.

[2] N.N. *Statistische Zahlen für das deutsche Baugewerbe 1996.* Statistisches Bundesamt, Berlin.

[3] F. Anliker, M. Anliker and K. Rothenbacher: *Automation of Design and Construction of Single-Family Houses Made of Brickwork.* Proceedings 8th Intenational Symposium on Automation and Robotics in Construction, Stuttgart, 1991.

[4] N.N. *Rimatem Fertig-Mauerwerk*, Produktinformation der Firma Rimatem, Dischingen.

[5] G. Morgenweck: *Das „Hohe C" der Vorfertigung.* Baugewerbe 20 (1993), S.24-30.

[6] U.Klein, W.Köhler: *Mauerwerksscheiben.* Betonwerk+Fertigteil-Technik BFT 2(1991).

[7] F. Winklmann: *Ziegelmontagebau.* Ehningen, expert-Verlag, 1994.

[8] V. Kuhne. *Steinverlegegeräte, Beurteilung der Effektivität im Mauerwerksbau.* Schriftreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb 528, Dortmund, 1987.

[9] R. Kaiser, G. Linke-Kaiser. *Verbesserung der Arbeitsbedingungen im Mauerwerksbau.* Mitteilungen der Württ.berg. Bau-Berufsgenossenschaft, Heft 1 (März 1992), S. 4 - 13.

[10] D.Böhm: *The Mason's Elevator Handling Machine*, Proc. 8th Int. Symp. on Aut. and Rob. in Constr., Stuttgart, 1991.

[11] J. Laukemper. *Automation im Mauerwerksbau*, expert Verlag, Ehningen, 1992

[12] T. Bock, F. Gebhart, W. Steck. *Mauerwerksroboter auf der Baustelle (Teil 1 und 2).* BMT 4, August 1993, S. 223 - 226 bzw. BMT 5, Oktober 1993, S. 279 - 282.

[13] G. Pritschow, M. Dalacker, J. Kurz, M. Gänßle, J. Haller. *Application Specific Realisation of a Mobile Robot for On-Site Construction of Masonry.* Proc. of the 11th Int. Symp. on Aut. on and Rob. in Constr. (ISARC), Brighton, U.K., 1994, pp. 95 - 102. Elsevier Publishers B.V.

[14] N.N. *Fachserie 4-Produzierendes Gewerbe Reihe 3.1-Produktion im Produzierenden Gewerbe des In- und Auslandes.* Statistisches Bundesamt, Berlin.