
Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen
Professur Baubetrieb und Bauverfahren

Diplomarbeit

Reg.-Nr. B/2005/113

Name: cand.-Ing. Stefan Oschatz

Seminargruppe B/99/A
Matrikelnummer 990005

Thema: Studie zu Verbindungstechniken für automatisierte
Montagen mehrgeschossiger Stahlbeton-Skelettbauwerke

Wissenschaftsgebiet: Baubetriebswesen

Betreuung der Arbeit

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bargstädt M.Sc.
Zweitprüfer: apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Steinmetzger

Ausgabedatum: 16. Januar 2006
Abgabedatum: 18. April 2006

Prof. Dr.-Ing. habil. Könke
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

Aufgabenstellung zur Diplomarbeit

Reg.-Nr. B/2005/113

Name: cand.-Ing. Stefan Oschatz

Matrikelnummer 990005

Thema: **Studie zu Verbindungstechniken für automatisierte
Montagen mehrgeschossiger Stahlbeton-Skelett-
bauwerke**

Wissenschaftsgebiet: Baubetriebswesen

Betreuung der Arbeit

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bargstädt M.Sc.

Zweitprüfer: apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Steinmetzger

Ausgabedatum: 16. Januar 2006

Abgabedatum: 18. April 2006



Prof. Dr.-Ing. habil. Könke
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

Studie zu Verbindungstechniken für automatisierte Montagen mehrgeschossiger Stahlbeton-Skelettbauwerke

Erläuterung

Mit dieser Diplomarbeit sollen, aufbauend auf den grundsätzlichen Untersuchungen von A. Lauterbach, die bautechnischen Voraussetzungen vertieft werden, die es gestatten, Baustellenmontagen vollständig zu mechanisieren und weitgehend zu automatisieren. Am Beispiel mehrgeschossiger Stahlbeton-Skelettbauwerke ist der Stand der Verbindungstechnik im Stahlbeton-Fertigteilbau darzustellen und sind neue Möglichkeiten und Entwicklungstrends aufzuzeigen und durch eingehende statisch-konstruktive sowie technologische Betrachtungen zu untermauern.

Die Aufgabenstellung ist im Kontext mit aktuellen maschinentechnischen Entwicklungen und Forschungen zur Lagebestimmung und Objektverfolgung zu bearbeiten.

Im einzelnen sind die folgenden Problemstellungen relevant.

Aufgabenstellung

- Beschreibung der konstruktiven Details und technologischen Grundlagen der Montage von Stahlbeton-Skelettbauten
 - Zusammenhang zwischen Baukonstruktion und Montagetechnologie, Montagezustände
 - Genauigkeit, Toleranzen und Passungen
 - Schnittstellen zur Vermessungstechnik
 - Handhabung der Fertigteile ab Lieferung frei Baustelle
 - aktueller Stand der Verbindungstechnik
- Untersuchung der Verbindungstechnik unter dem Aspekt automatisierter Montagen am Beispiel eines fiktiven Stahlbeton-Skeletts
 - Erarbeitung eines repräsentativen Anwendungsobjektes (Fragment)
 - Forderungen an die Verbindungstechnik
 - konstruktiv-technologische Varianten
 - Realisierbarkeit im statischen System
- Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Variantenvergleich
 - Aufwands- und Leistungswerte
 - vergleichende Kostenschätzung
- Schlussfolgerungen
 - Anforderungen an die automatisierungsgerechte Gestaltung der Fertigteile
 - automatisierungsgerechte Gebäudekonstruktion
 - Chancen der Automatisierung von Baumontagen

Die Darstellung allgemeiner Grundlagen ist auf das unbedingt Notwendige zu beschränken. Im Verlauf der Bearbeitung werden ggf. Präzisierungen und Eingrenzungen der Aufgabenstellung vorgenommen.

Zusammenstellung der Arbeit

- Aufgabenstellung
- Titelblatt
- Inhaltsverzeichnis
 - ggf. Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen, Symbole u. ä.
- Textteil
- Verzeichnisse (Quellen, Abbildungen, Tafeln, Tabellen, Zeichnungen)
- Anlagen
- Selbstständigkeitserklärung
- Thesen

Für das Diplomverfahren gilt die aktuell zutreffende Diplomprüfungsordnung der Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen.

Zum Abgabetermin sind

- 2 Exemplare der Arbeit (einschl. Anlagen) in gedruckter Fassung
- 1 Exemplar der Arbeit auf elektronischem Datenträger (vorzugsweise auf CD), einschl. Vorlagen für die Gestaltung einer Schautafel und Einstellung in das Internet
- 2 Exemplare der Thesen (eins davon als Bestandteil der Arbeit)

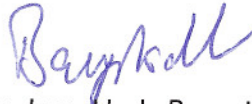
zu übergeben und die Arbeit in der Publikationsportal der Universitätsbibliothek (OPuS) einzustellen.

Organisatorische Hinweise:

Eine zwischenzeitliche Beratung an der Professur für Baubetrieb und Bauverfahren über den Weg und den Fortgang der Arbeit ist ausdrücklich erwünscht. Es sind mindestens zwei Konsultationen wahrzunehmen (Pflichtkonsultationen).

Internet-Fundstellen können, sofern sie einer glaubwürdigen Quelle entstammen, verwendet werden. Hierbei ist die jeweilige Internet-Seite mit kompletter Angabe des Pfades und mit Datum des letzten Aufrufs als Link (<http://www...>) im Quellenverzeichnis anzuführen.

Weimar, den 19.12.05


Prof. Dr.-Ing. H.-J. Bargstädt M.Sc.

Verteiler: Diplomand
Zweitprüfer
Ablage Professur (632)

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Hintergrund und Zielstellung der Arbeit.....	8
1.2 Inhaltliche Abgrenzung	8
1.3 Vorgehensweise	9
2 Grundlagen zu Stahlbeton-Skelettbauwerken.....	10
2.1 Statische Systeme	10
2.2 Fertigteile	13
2.2.1 Fundamente	13
2.2.2 Stützen	13
2.2.3 Unterzüge und Riegel.....	15
2.2.4 Decken	15
2.3 Toleranzen und Passungen	16
3 Traditionelle Verbindungstechniken	21
3.1 Anforderungen an Fertigteilverbindungen.....	21
3.2 Beispiele für aktuelle Verbindungstechniken	24
3.2.1 Verbindungen von Stütze und Fundament	24
3.2.2 Verbindungen von Stütze und Stütze	26
3.2.3 Verbindungen von Stütze und Riegel/Unterzug.....	28
3.2.4 Verbindungen von Balken untereinander	31
3.2.5 Deckenverbindungen.....	31
4 Vorschläge zu neuen Verbindungstechniken	33
4.1 Verbindungsarten für automatisierte Montagen	33
5 Auswertung der Varianten	41
5.1 Vor- und Nachteile der Varianten.....	41

6	Ablauf einer automatisierten Montage.....	48
6.1	Statisches System	48
6.2	Voraussetzungen auf der Baustelle	49
6.3	Verbindung Stütze-Fundament	49
6.4	Verbindung Stütze-Riegel	50
6.5	Verbindung Stütze-Stütze	50
6.6	Deckenverbindungen	51
7	Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	52
7.1	Allgemeine Betrachtungen	52
7.2	Berechnungsansätze	52
7.3	Auswertung	54
8	Schlussfolgerungen und Fazit.....	55
9	Verzeichnisse	56
9.1	Quellenverzeichnis.....	56
9.1.1	Literatur	56
9.1.2	Internet	57
9.1.3	Firmenmaterial.....	58
9.2	Abbildungsverzeichnis	59
9.3	Tabellenverzeichnis	60
	Selbstständigkeitserklärung.....	61
	Thesen	62

Abkürzungsverzeichnis

DIN	- Deutsches Institut für Normung e.V.
FT	- Fertigteil
GPS	- Global Positioning System (globales Positionierungssystem)
LKW	- Lastkraftwagen
RFID	- Radio-Frequenz-Identifikation
Smart-System	- Shimizu Manufacturing System by Advanced Robotics Technologie

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Zielstellung der Arbeit

In vielen Branchen werden bzw. sind die verschiedensten Arbeitsgänge automatisiert. Speziell im Bauwesen ist auch dieser Trend in den letzten Jahren zu erkennen. Viele Arbeitsprozesse wie Vorfertigung und Montage laufen schon mechanisch ab. Durch die Weiterentwicklung der Mikroelektronik und der Robotertechnik können bald sämtliche Prozesse vollautomatisch ablaufen. Bereits in Japan wurde durch das so genannte Smart-System ein Stahlskelettbau automatisch hergestellt.

In dieser Arbeit soll eine Zusammenfassung aktueller Verbindungstechniken sowie Grundkenntnisse zu Fertigteilen und statischen Systemen im Stahlbeton-Skelettbau vermittelt werden. Aufbauend auf den grundsätzlichen Untersuchungen von Frau Anne Lauterbach, sollen die bautechnischen Voraussetzungen vertieft werden, die es gestatten, Baustellenmontagen vollständig zu mechanisieren und weitgehend zu automatisieren.

Hauptziel ist, am Beispiel mehrgeschossiger Stahlbeton-Skelettbauwerke den aktuellen Stand der Verbindungstechnik im Stahlbeton-Fertigteilbau darzustellen und neue Möglichkeiten und Entwicklungstrends aufzuzeigen und durch statisch-konstruktive sowie technologische Betrachtungen zu untermauern.

Weiterhin sind die Entwürfe zu den neuen Verbindungstechniken auf die Realisierbarkeit im statischen System zu untersuchen und auf Tauglichkeit für automatisierte Montagen zu bewerten.

1.2 Inhaltliche Abgrenzung

Die folgenden Ausführungen zu Verbindungstechniken automatisierter Fertigteilmontagen beziehen sich auf den Neubau mehrgeschossiger Skelettbauwerke. Der für die Montagen eingesetzte Baustoff besteht aus Stahlbeton. Für die Verbindungsmittel an sich, wird der Baustoff Stahl eingesetzt.

Die Darstellung allgemeiner Grundlagen beschränkt sich auf das absolut Notwendigste. Auf Positionierung und Objektverfolgung wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen, da Frau A. Lauterbach diese Punkte in ihrer Studie schon sehr ausführlich beschrieben hat. Nach intensiver Internet- und Literaturrecherche haben sich auch keine weiteren Entwicklungstrends zu diesem Thema ergeben.

1.3 Vorgehensweise

Aus einer umfassenden Literatur- und Internetrecherche heraus, werden allgemeine Grundlagen zu statischen Systemen, verwendeten Fertigteilen und zu Toleranzen und Passungen des mehrgeschossigen Stahlbeton-Skelettbaus im Kapitel 2 zusammenfassend dargestellt.

Im Kapitel 3 werden Anforderungen an Fertigteilverbindungen und anschließend ausgewählte Beispiele für aktuelle Verbindungstechniken vorgestellt. Einige Beispiele sind so ausgewählt, dass sie sich durch kleinere Veränderungen für mechanisierte und auch teils für automatisierte Montagen eignen könnten.

Folgend werden im Kapitel 4 Vorschläge zu neuen Verbindungsmitteln gemacht und diese kurz erläutert. Im anschließenden Kapitel 5 sind die neuen Varianten auf Vor- und Nachteile für automatisierte Montagen untersucht wurden.

In dem abschließenden Kapitel 6 soll die praktische Anwendbarkeit neuer Verbindungstechniken eines fiktiven Stahlbetonskelettes geprüft werden. Anhand eines ausgewählten statischen Systems, wird ein grober Montageablauf zu den erforderlichen Knotenpunkten dargestellt.

2 Grundlagen zu Stahlbeton-Skelettbauwerken

In der modernen Skelettbauweise trat das Stahlbetonskelett erst allmählich neben das aus Walzprofilen montierte Stahlskelett. Wegen seiner beliebigen Verformbarkeit, hohen Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit bei relativ geringem Erhaltungsaufwand, seiner großen Widerstandsfähigkeit gegen Feuer, mechanische Angriffe und Witterungseinflüsse sowie aus wirtschaftlichen Gründen gewann dieser Baustoff schnell an großer Beliebtheit [8, S. 422].

Bei vielen Gebäuden ist eine möglichst freie Raumgestaltung erwünscht. Außerdem sollen Umbauten infolge geänderter Nutzungsanforderungen leicht und mit geringem Aufwand möglich sein. Diesen Forderungen kommt die Skelettbauweise entgegen, bei der die tragende Funktion von den übrigen Gebäudefunktionen weitgehend getrennt ist [8, S. 400].

Wegen ihrer Flexibilität bei der Nutzung ist die Skelettbauweise bei Bürohäusern, im Industriebau, bei Lagergebäuden und Werkstätten sowie im Krankenhaus- und Schulbau weit verbreitet, wobei größtenteils Betonfertigteile, häufig sogar typisierte Systeme verwendet werden [8, S. 400].

2.1 Statische Systeme

Das Stahlbetonskelett besteht grundsätzlich aus Stützen und Hauptträgern, welche die Funktion der deckentragenden Wände übernehmen und das so genannte Tragwerk bilden. Die Verbindungen zwischen Stützen und Trägern werden als Knoten bezeichnet. Diese können gelenkig oder auch steif als Gelenk- bzw. Rahmenknoten ausgebildet sein. Entstehende Deckennutzlasten und die Eigengewichte von Decken und Trägern werden von den Hauptträgern aufgenommen und setzen sich geschossweise an den Stützenknoten ab und werden über Stützen und Stützenfüße in die Fundamente und von dort in den Baugrund abgeleitet. Verlaufen größere Gewichte, wie z.B. Wände, quer bzw. parallel zur Trägerspannrichtung, müssen diese über die Deckenkonstruktionen oder über Nebenträger auf die Hauptträger geleitet werden [8, S. 400].

Grundsätzlich muss man bei Stahlbetonskeletten zwei Ausführungsarten unterscheiden. Man kann sie einmal in Ortbeton oder auch mit Fertigteilen herstellen. Aufgrund ihrer monolithischen Bauweise erzeugen Ortbetonskelette im Allgemeinen biegestei-

fe Konstruktionen in beiden Tragrichtungen. Somit entfallen bei geringen Geschosszahlen zusätzliche Aussteifungselemente für waagerechte Kräfte [8, S. 400].

Diese Arbeit bezieht sich jedoch nur auf Stahlbeton-Skelettbauwerke, die aus Fertigteilen bestehen. Ein Skelett welches aus Stahlbetonfertigteilen gefertigt ist, ergibt an seinen Anschlusspunkten grundsätzlich gelenkige Konstruktionen. Sofern keine biegesteifen Knoten nachträglich erstellt werden, sind zusätzliche Aussteifungselemente unbedingt erforderlich. Der Verzicht auf momentenfähige Verbindungen führt einerseits zu erheblich vergrößerten Querschnitten, was für das Bauvolumen nicht ohne Bedeutung ist. Andererseits vermeiden Gelenke Zwängungsspannungen aus Schwinden und Kriechen oder behinderten Temperaturdehnungen im Brandfall und die Querschnittsausbildung lässt eine Feuerwiderstandsdauer F_{90} problemlos zu [8, S. 400].

Konstruktionen aus Stahlbetonfertigteilen werden nach Art und Form der Aussteifung in folgende drei Grundsysteme unterschieden [4, S. 48]:

1. Bei wenigen Geschossen werden die Tragwerke mit ungestoßenen Stützen bis 12 m Höhe als fußeingespannte Gelenkketten ausgeführt (Abb. 1a). Es handelt sich somit um einzelstabilisierte Stützen, welche die Horizontalkräfte in beiden Tragrichtungen aufnehmen können. Die Deckenträger sind gelenkig aufgelagert und eine Scheibenwirkung der Decke wird nicht erforderlich. Vorteile liegen in den einfachen Gelenkverbindungen der Fertigteile und darin, dass keine zusätzlichen Wände zur Aussteifung benötigt werden. Jedoch ist diese Anwendung nur auf zwei bis vier Geschosse begrenzt und daher ungeeignet für sehr hohe Belastungen [4, S. 48].

Tragwerke mit ungestoßenen Stützen können eine Höhe von bis zu 30 Metern erreichen. Sie werden für den Montagezeitraum wie zuvor als Gelenkketten mit eingespannten Stützenfüßen erstellt. Jedoch müssen die gelenkig angeschlossenen Riegel nachträglich zu biegesteifen Knoten verbunden werden, was konstruktiv sehr aufwändig und kostenintensiv wäre [4, S. 48].

2. Mehrgeschossige Gebäude erhalten ihre Steifigkeit durch Rahmen in Gebäudequerrichtung und in Längsrichtung durch Wandscheiben oder Portale im Zusammenwirken mit Deckenscheiben (Abb. 1b). Die gestoßenen Stützen sind während des Montagezeitraumes instabil und müssen zwischengestützt werden. Ihre Knoten sind wie zuvor biegesteif auszuführen [4, S. 48].

3. Die Tragwerke vielgeschossiger Bauten und Hochhäuser bestehen aus Gelenkketten mit schubsteifen Deckenfeldern, die sich an Wandscheiben oder massiven Kernen kraftschlüssig anlehnen (Abb. 1c). Im Allgemeinen sind dies die konstruktiv und wirtschaftlich günstigsten Lösungen. Die erforderlichen Fertigteilwandscheiben werden zusammen mit der Skelettmontage eingebaut. Das Kernbauwerk weicht von der Bauweise des Skelettes ab. Es wird zuvor in der Ortbetonbauweise erstellt. Wird ein Gebäude durch Dehnfugen geteilt, ist in jedem Gebäudeteil zumindest ein Kernbauwerk erforderlich [4, S. 48].

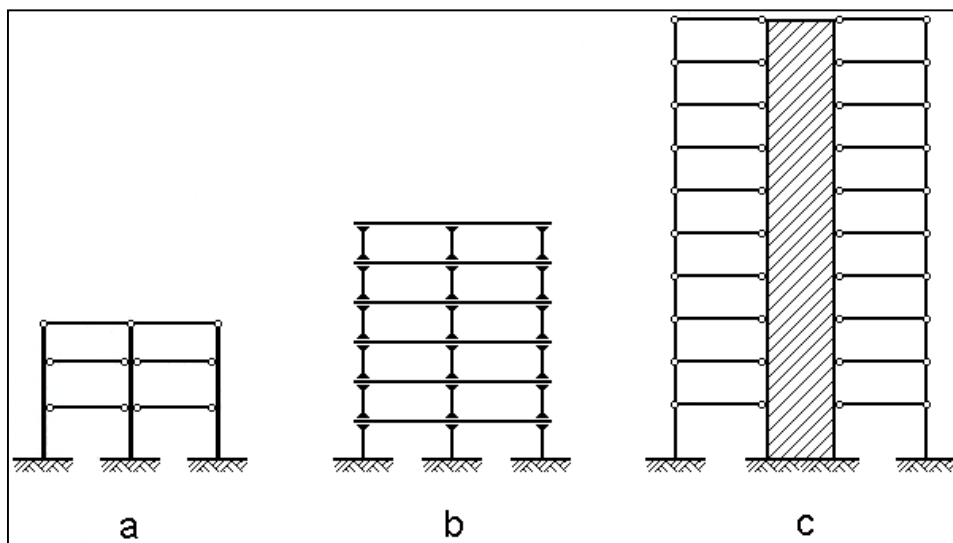


Abb. 1 Grundsysteme zur Aussteifung von Stahlbeton-Skelettbauwerken [4]

Zu den drei genannten Grundsystemen existiert weiterhin eine große Anzahl von Tragwerken, die aus den jeweiligen Grundsystemen abgeleitet bzw. kombiniert wurden. Eine Auswahl dieser ist in Abb. 2 dargestellt. Eine Variante wäre der ganze Rahmen als einziges Fertigteil (Abb. 1a). Jedoch ist die Anwendung des Rahmens durch die maximale Transportgröße und das hohe Eigengewicht begrenzt. Das zweite Skelett (Abb. 2b) besteht aus H-Elementen, welche in der Nähe der Momentennullpunkte verbunden werden.

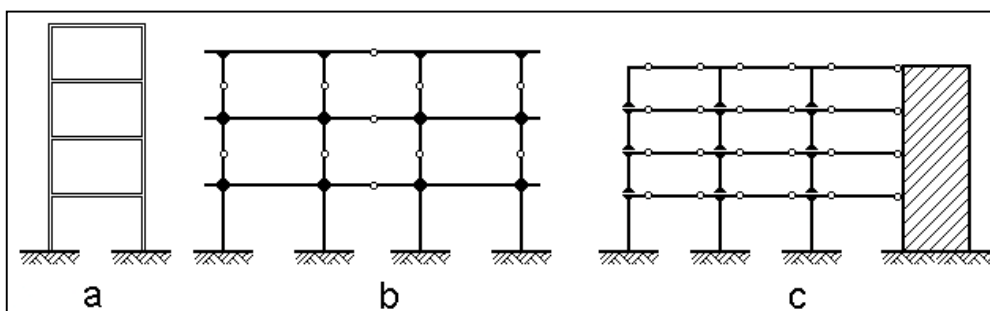


Abb. 2 Auswahl an Varianten zu den Grundsystemen [4]

Als vorteilhaft hat sich das so genannte „Lambda“ – System (Abb. 2c) erwiesen, bei dem die Stützenkonsolen zu Kragträgern verlängert und damit die Riegelgelenke in das Feld verlegt werden können. Die Trärgelenke können unkomplizierter momentenfähig geschlossen werden. Durch dieses System werden die Abmessungen der Fertigteile gegenüber den beiden anderen wesentlich verringert [4, S. 49].

2.2 Fertigteile

2.2.1 Fundamente

Einzelfundamente lassen sich in Ort-beton oder als Fertigteil ausbilden. Aus dem längere Zeit üblichen Köcherfundament (Abb. 3), bestehend aus dem Fundament, mit innen verzahnt geschalttem Becher, hat sich das Blockfundament (Abb. 3) mit eingelassenem Köcher entwickelt, das wirtschaftlicher herzustellen ist. Damit

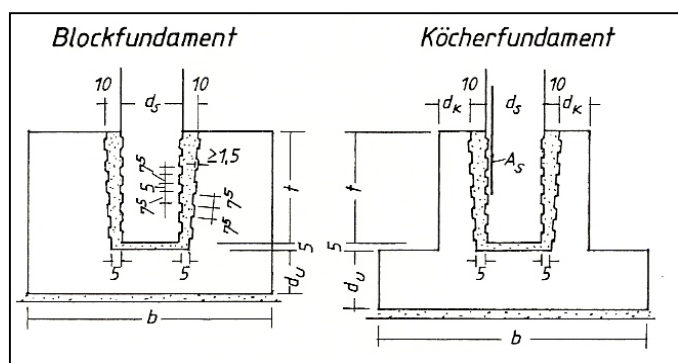


Abb. 3 Stützenfundament als Fertigteil [7]

ist es möglich, flacher zu gründen und auf den schalungs- und bewehrungstechnisch aufwändigen, stets in einem zweiten Arbeitsgang aufzusetzenden Köcher zu verzichten. Das Einlassen der Stütze in den Fundamentquader bedingt aber eine ausreichende Verzahnung des Stützenfußes und der Köcherwandung, um die Normalkräfte über Mantelreibung in das Fundament einleiten zu können [7, S. 99].

2.2.2 Stützen

Stützen sind vertikale Tragglieder, z.B. Säulen und Rahmenstiele. Sie leiten die von den Hauptträgern aufgenommenen Deckennutzlasten und die Eigengewichte der Decken und Hauptträger in den Baugrund ab. Der Standardquerschnitt von Fertigteilstützen ist der Rechteckquerschnitt. Bei Geschossbauten wird ein konstanter Querschnitt über alle Geschosse angestrebt, um einheitliche Auflagerungs- und Anschlusspunkte, insbesondere auch im Hinblick auf den Ausbau, zu erhalten. Lange Stützen, z.B. bei bis zu fünf Stockwerken, sollten nicht zu schlank ausgebildet werden, da ihre Biegsamkeit sonst erhebliche Schwierigkeiten beim Transport und bei

der Montage verursachen kann. Bei der Montage treten durch das einseitige, teils wechselseitige Verlegen von Trägern und Deckenplatten Verformungen der Stütze auf, die laufend ausgeglichen werden müssen. Bei Stützen, die an ihren Enden unverschieblich, aber im gewissen Maße drehbar und elastisch verbunden sind, spricht man von Pendelstützen bzw. Gelenkknoten [8, S. 400ff, 422ff].

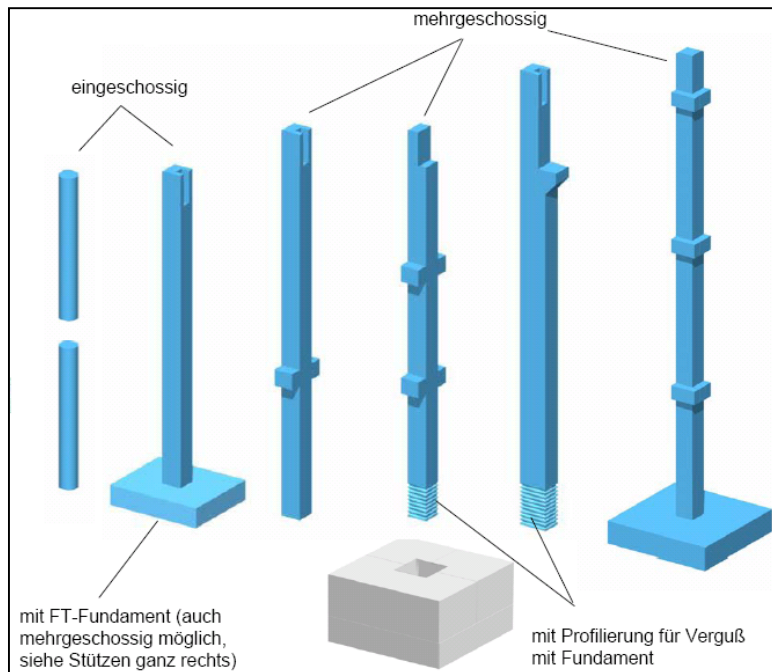


Abb. 4: Ausführungsformen von Stützen [I 4]

2.2.3 Unterzüge und Riegel

Unterzüge und Riegel weisen in der Regel einen Rechteckquerschnitt (Abb. 5-1) oder einen geschlossenen „Hut“-Querschnitt (Abb. 5-3) auf. Dies sind Rechteckquerschnitte mit beidseitigen Bandkonsolen. Häufig werden auch Unterzüge in Form eines umgekehrten U, den so genannten Trogquerschnitten (Abb. 5-5) verwendet. Sie bieten u. a. den Vorteil dass die Installationsführung verdeckt erfolgen kann. [2, S.19]

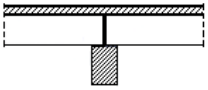
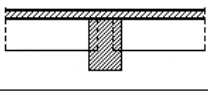
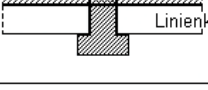
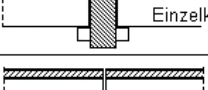
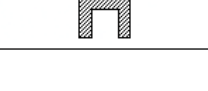
	Querschnitt-Typ	Querschnitt	Vorteile	zu beachten
1	Rechteck		• einfache Schal- und Bewehrungsform • direkte Lasteintragung • günstige Installationsführung	• Bauhöhe
2	Rechteck		• günstige Schal- und Bewehrungsform • direkte Lasteintragung • geringe Gesamtbauhöhe	• aufwendige Verbindung von Deckenplatte und Randunterzug
3	Rechteck		• einfache Schalung • unproblematische Auflagerung der Deckenplatten • geringe Gesamtbauhöhe	• aufwendige Verbindung von Deckenplatte und Randunterzug
4	Rechteck		• Materialersparnis gegenüber Linienkonsole • geringe Gesamtbauhöhe	• aufwendige Verbindung von Deckenplatte und Randunterzug
5	Plattenbalken		• statisch günstiger Querschnitt • gute Auflagerungsmöglichkeit auch für Montage • günstige Installationsführung	• große Gesamtbauhöhe

Abb. 5 Querschnittsformen von Unterzügen [2]

2.2.4 Decken

Bei Fertigteildecken kann grundsätzlich zwischen Vollmontageelementen und Fertigteildecken mit mitwirkender Ortbetonschicht unterschieden werden. Eine der wirtschaftlichsten Deckensysteme ist die Hohlplatte (Abb. 6a). Durch die runden Öffnungen kann eine Material- bzw. Gewichtsreduzierung von bis zu 40% gegenüber Massivplatten erreicht werden. Hohlplatten können schlaff bewehrt, aber auch vorgespannt hergestellt werden [9, S. 51ff].

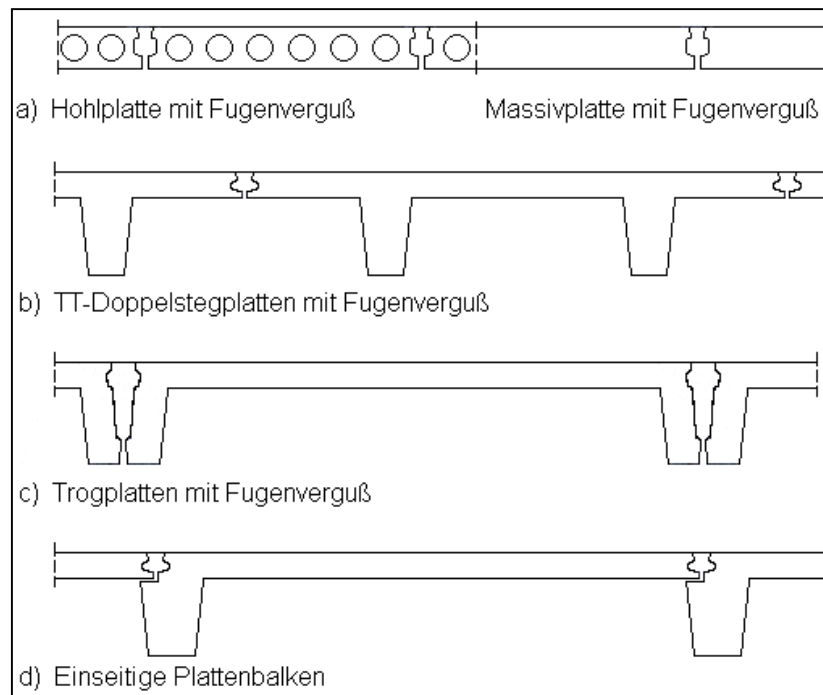


Abb. 6 Häufig verwendete Fertigteil-Deckenplatten [9]

Die TT-Platte (Abb. 6b) ist eine Kombination aus Platte und Unterzug die Spannweiten von bis zu 18m überbrücken und größere Lasten als ebene Platten abtragen kann. Bei größeren Einzellasten oder bei Systemen, bei denen die Plattenbreite dem Stützenraster entspricht, kommt die so genannte Trogplatte (Abb. 6c) zum Einsatz. Jedoch werden durch eine größere Spannweite in Querrichtung mehr Bewehrung und ein dickerer Plattenspiegel als bei der TT-Platte notwendig. Der einseitige Plattenbalken (Abb. 6d) wird bei befahrbaren Decken verwendet. Bei Lagerung und Transport müssen die einseitigen Elemente jedoch über die ganze Plattenlänge unterstützt werden. [9, S. 51ff]

2.3 Toleranzen und Passungen

Fertigteile weichen in ihren Maßen immer von den angegebenen ab. Bei der Herstellung von Fertigteilen entstehen durch den Herstellungsprozess bedingte Maßabweichungen vom vorgeschriebenen Maß (Sollmaß) und der tatsächlichen Abmessung (Istmaß). Dieser Unterschied wird als Istabmaß bzw. als Maßabweichung bezeichnet (Abb. 7). Sind diese Abweichungen größer als zulässig, kann es zu Montageschwierigkeiten, zusätzlichen Anpassungsarbeiten usw. kommen [6].

Auf die genauen Erläuterungen bzw. Definitionen der genannten Begriffe wird an dieser Stelle verzichtet. In DIN 18201 oder auch in [6] bzw. [5] werden diese genau und ausführlich dargestellt.

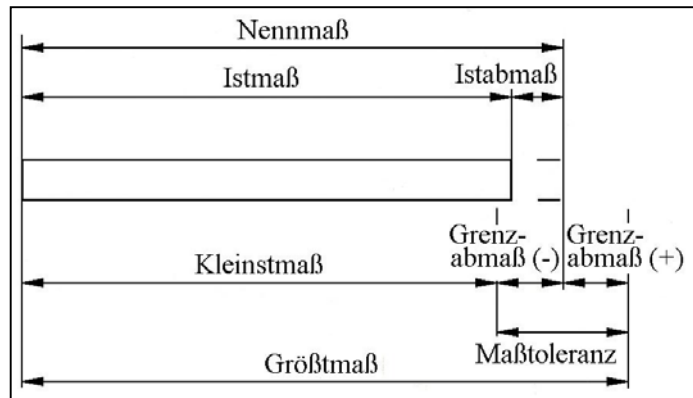


Abb. 7 Definition der Begriffe [6]

Die Toleranz ist eine zulässige Maßabweichung. Wie groß man diese Toleranz wählt, hängt von sehr vielen Aspekten ab, von der Brauchbarkeit bis hin zur wirtschaftlichen Herstellung und Ästhetik. Werden die Toleranzen zu groß gewählt, sind die daraus entstehenden Nacharbeiten kostspieliger. Werden sie aber zu klein gewählt, wird die Produktion und Montage erschwert [5].

Für die Maßgenauigkeit sind folgende Einflussbereiche entscheidend [6]:

Produktion der Bauteile und deren Montage zum Gebäude

- Verfahren
- Maschinen, Geräte
- Werkzeuge, Fertigungseinrichtung
- Justiermittel, Justiereinrichtungen

Werkstoffe

- Maßverhalten
- Formverhalten
- Oberflächenstruktur
- Bearbeitbarkeit

Messtechnik

- Maßbestimmung und – kontrolle
- Lagebestimmung und – kontrolle

Baukonstruktion

- Form der Teile
- Anschlussformen
- Größe der Teile
- Masse der Teile
- Gefüge der Teile
- Gefüge der Baukonstruktion

Verbindungstechnik

- Verbindungsmittel
- Anschlussformen

Maßabweichungen entstehen durch die ungenaue Übertragung der Entwurfsmaße in die Schalungsmaße, eventuelle Verformungen der Schalung beim Betoniervorgang oder durch den Verschleiß des Schalkörpers.

Zur Herstellung eines Skelettbauwerkes gehört nicht nur die Produktion der Fertigteile, sondern auch die Montage. Somit kommen noch zusätzlich die Versetztoleranzen hinzu. Sie hängen jedoch stark vom verwendeten Messsystem ab. Ein weiterer Punkt sind die Abweichungen, die sich aus Verformungen (z.B. infolge Kriechen und Schwinden) der einzelnen Bauteile oder der gesamten Gebäudestruktur ergeben [5].

Infolge zahlreicher Messungen wurde festgestellt, dass Maßabweichungen von Fertigteilen durch die Gauß'sche Häufigkeitskurve dargestellt werden können (Abb. 8). Diese Übereinstimmung mit der Normalverteilung ermöglicht die Verwendung von mathematischer Statistik und Wahrscheinlichkeitsberechnung für die Bestimmung der Toleranzen, da die o. g. Faktoren voneinander unabhängige Veränderliche sind. Dadurch können die Quellen der Abweichungen unabhängig voneinander untersucht werden [8, 5].

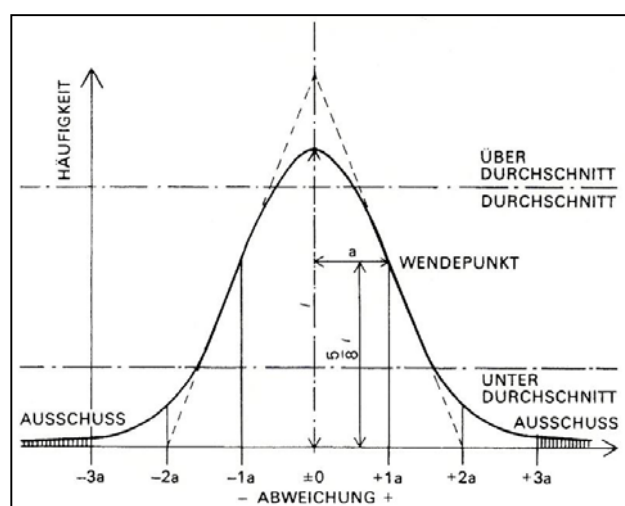


Abb. 8 Normalverteilung der Maßabweichung [8]

Die DIN 18203-1 behandelt die zulässigen Abmaße für vorgefertigte Bauteile aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Die in den Normen angegebenen Grenzabmaße und Winkeltoleranzen (siehe Tab. 1-3) sind nur als Herstelltoleranzen aus Fertigung und Montage zu verstehen. Last- und zeitabhängige Verformungen müssen in anderen Vorschriften begrenzt oder eventuell in der statischen Berechnung erfasst werden [5].

Tab. 1: Grenzabmaße der Längen- und Breitenmaße [aus DIN 18203-1]

Zeile	Bauteile	Grenzabmaße in mm bei Nennmaßen in m							
		bis 1,5	über 1,5 bis 3	über 3 bis 6	über 6 bis 10	über 10 bis 15	über 15 bis 22	über 22 bis 30	über 30
1	Längen stabförmiger Bauteile (z.B. Stützen, Binder, Unterzüge)	± 6	± 8	± 10	± 12	± 14	± 16	± 18	± 20
2	Längen und Breiten von Deckenplatten und Wandtafeln	± 8	± 8	± 10	± 12	± 16	± 20	± 20	± 20
3	Längen vorgespannter Bauteile	-	-	-	± 16	± 16	± 20	± 25	± 30
4	Längen und Breiten von Fassadentafeln	± 5	± 6	± 8	± 10	-			

Tab. 2: Grenzabmaße der Querschnittsmaße [aus DIN 18203-1]

Zeile	Bauteile	Grenzabmaße in mm bei Nennmaßen in m					
		bis 0,15	über 0,15 bis 0,3	über 0,3 bis 0,6	über 0,6 bis 1,0	über 1,0 bis 1,5	über 1,5
1	Dicken von Deckenplatten	± 6	± 8	± 10	-	-	-
2	Dicken von Wand- und Fassadentafeln	± 5	± 6	± 8	-	-	-
3	Querschnittsmaße stabförmiger Bauteile (z.B. Stützen, Unterzüge, Binder, Rippen)	± 6	± 6	± 8	± 12	± 16	± 20

Tab. 3: Winkeltoleranzen [aus DIN 18203-1]

Zeile	Bauteile	Grenzabmaße in mm bei Nennmaßen in m					
		bis 0,15	über 0,15 bis 0,3	über 0,3 bis 0,6	über 0,6 bis 1,0	über 1,0 bis 1,5	über 1,5
1	Nicht oberflächenfertige Wandtafeln und Deckenplatten	± 6	± 8	± 10	-	-	-
2	Oberflächenfertige Wandtafeln und Fassadentafeln	± 5	± 6	± 8	-	-	-
3	Querschnitte stabförmiger Bauteile (z.B. Stützen, Unterzüge, Binder, Rippen)	± 6	± 6	± 8	± 12	± 16	± 20

Die Festlegung von Mindestanforderungen für Toleranzen nach der Norm ist in vielen Fällen der Praxis hinreichend. Jedoch ist eine ausreichende Wahrscheinlichkeit für das Passen bei der automatisierten Montage nicht gegeben. Für eine Automatisierung sind maßkontrollierte Fertigung und geplantes Passen der Bauteile bei der Montage zwingende Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit der Baukonstruktion. Dies ergibt sich erst durch eine entsprechende Passungsberechnung, die allerdings die Kenntnis der erreichbaren Herstellungsgenauigkeiten voraussetzt. Die angegebenen Toleranzen bilden hier die Grundlage [6].

Für den Fertigteilbau wurden über die DIN 18201 hinaus weitergehende Bezeichnungen für Toleranzen mit differenzierten Bezügen eingeführt. Diese sind u. a. in [6] aufgeführt und definiert.

Passungsberechnungen sollte der Architekt nach der additiven Methode durchführen, um Fehlpassungen zu verhindern. Unternehmer, die wirtschaftlichere Ergebnisse erzielen wollen und den ganzen Fertigungsprozess (Herstellung und Montage der Fertigteile, Vermessung) toleranzmäßig beherrschen, sollten Passungsberechnungen unter Berücksichtigung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes durchführen [5]. Beispiele für derartige Berechnungen finden sich in [6] und [5].

Maßabweichungen die Zwangsläufig bei der Herstellung, Montage der Fertigteile und Vermessung entstehen, können bzw. müssen durch die Verbindungsmittel aufgenommen und auch ausgeglichen werden können. Bei der Planung und der Wahl des richtigen Verbindungsmittels, muss dies auf jeden Fall mit berücksichtigt werden.

3 Traditionelle Verbindungstechniken

Die Verbindung der einzelnen Teile miteinander ist einer der wichtigsten Punkte beim Bauen mit Stahlbetonfertigteilen. Im folgenden Abschnitt werden grundlegende Anforderungen an die Verbindungstechniken und einige ausgewählte Verbindungen der Stahlbeton-Skelettbauweise vorgestellt.

3.1 Anforderungen an Fertigteilverbindungen

Sollen Fertigteilverbindungen bestimmten Anforderungen, wie z. B. in technischer, wirtschaftlicher oder auch ästhetischer Hinsicht entsprechen, müssen folgende Punkte in der Planung Beachtung finden [10, S.13]:

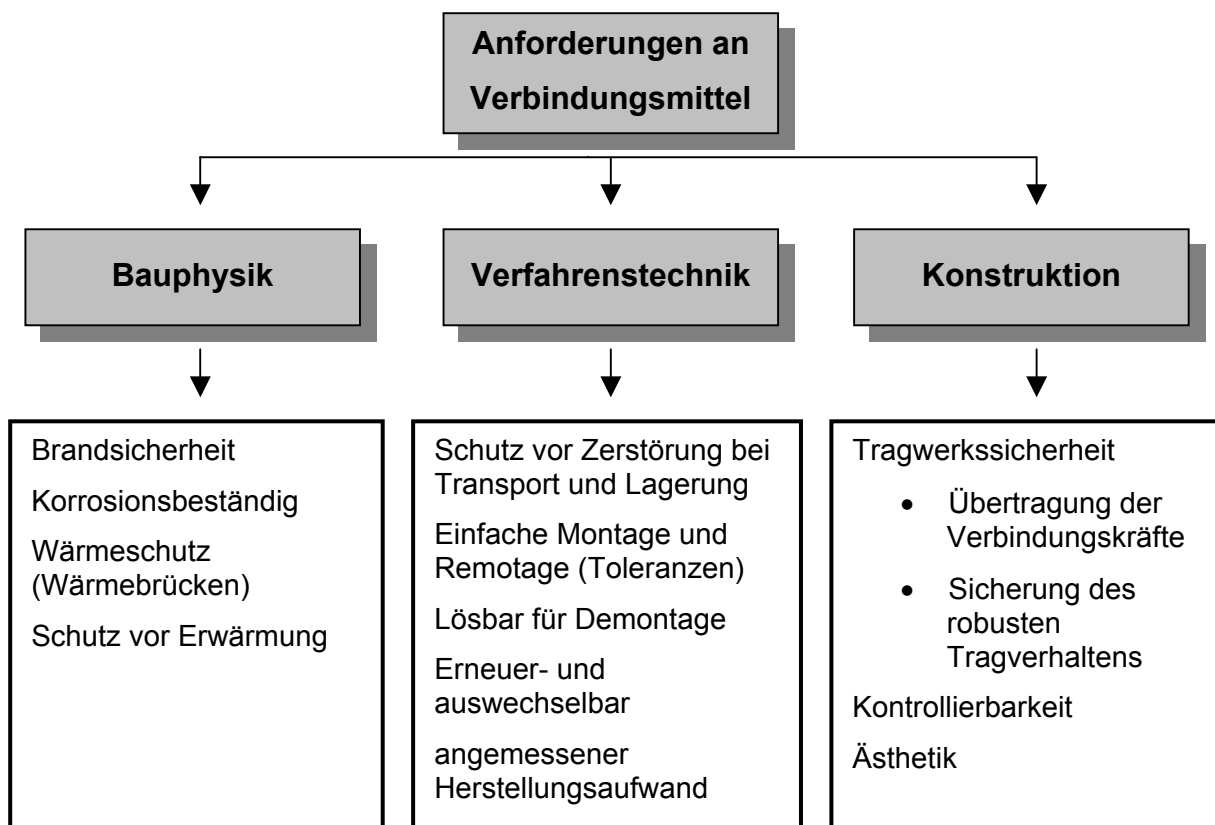


Abb. 9: Anforderungen Verbindungsmittel [1]

- *Konstruktive Anforderungen:* Die Verbindung muss die ankommenden Kräfte übertragen, ebenso wie eventuelle Verformungen und mögliche Bewegungen aufnehmen können.

-
- *Maßtoleranzen:* Es ist darauf zu achten, welche Maßabweichungen die Verbindung aufnehmen kann. Diese Maßtoleranzen müssen dann bei der Planung der Konstruktion berücksichtigt werden.
 - *Ästhetische Anforderungen:* Sollte die Verbindung sichtbar bleiben, müssen ästhetische Anforderungen beachtet werden.
 - *Montageart:* Die Montage sollte rasch verlaufen und bei Möglichkeit sollten eventuelle montagebedingte Abstützungen vermieden oder vereinfacht werden. Die Risiken einer Beschädigung der Verbindungsstellen sollten ebenfalls minimal gehalten bzw. ausgeschlossen werden.
 - *Kontrolle und Korrigierbarkeit:* Es ist zu prüfen, ob während der Montage die Lage der zu verbindenden Fertigteile kontrolliert werden muss, um sie bei Bedarf zu korrigieren.
 - *Nacharbeiten:* Bei Fertigteilverbindungen kann eine nachträgliche Bearbeitung notwendig oder auch erwünscht sein. Dabei sind Anforderungen an den Korrosionsschutz, den Brandschutz, die Instandhaltung und an das Ansehen zu beachten.
 - *Herstellung:* Die richtige Wahl einer Verbindung ist ausschlaggebend für die Herstellung der Fertigteile und ob sie technischen und wirtschaftlichen Ansprüchen genügen.
 - *Transport und Lagerung:* Die Form der gewählten Verbindung sollte beim Transport und bei der Lagerung im Fertigteilwerk, beim Weg zur Baustelle und auf der Baustelle selber keine Schwierigkeiten bereiten.
 - *Kosten:* Von der Größe der zu übertragenden Kräften und der Anzahl der benötigten Verbindungen sind hauptsächlich die Kosten der Verbindung selbst abhängig.

Unter anderem muss auch die Verbindung die Stabilität der Konstruktion in jeder Phase der Montage gewährleisten. Während des Baus können unterschiedliche Belastungszustände auftreten, die größere Spannungen in den Fertigteilverbindungen hervorrufen als im Endzustand. Bei Zwischenstützen müssen z. B. ausmittige Belastungen während der Montage berücksichtigt werden. Dadurch können größere Momente auftreten, die durch eine bestimmte Montagereihenfolge oder eventuelle kurzfristige Abstützungen verringert werden [10, S.14].

Seismische Belastungen spielen in erdbebengefährdeten Gebieten eine wichtige Rolle, wo die Verbindungen größere Kräfte aufnehmen müssen, als es im normalen Gebrauchszustand notwendig ist. Außerdem sind des weiteren noch Kriech-, Schwind- und Temperatureinflüsse von Bedeutung. Betonfertigteile haben zwar im Gegensatz zu Ortbeton schon einen Teil ihrer Schwind- und Kriechverformungen erfahren, aber diese setzen sich in den nächsten Jahren auch im geringen Maße weiter fort. Dadurch und durch ungleichmäßige Setzungen entstehen zusätzliche Kräfte und Momente, die bei biegesteifen Verbindungen berücksichtigt werden müssen. Infolge von Kriechen, Schwinden und Temperaturdifferenzen kann es auch zu Verschiebungen der gesamten Konstruktion kommen, was bei der Wahl der Verbindung zu beachten ist [10, S. 14ff].

3.2 Beispiele für aktuelle Verbindungstechniken

3.2.1 Verbindungen von Stütze und Fundament

Eine häufige im Fertigteilbau angewendete Verbindung zwischen Stütze und Fundament ist das Einsetzen der Stützen in das Köcher- oder Blockfundament (siehe Abb. 3). Der Arbeitsaufwand an Abstützungen, Stabilisierungen im Fundament durch Keile und die notwendige Erhärtung des Mörtels schließen jedoch eine vollständige mechanisierte bzw. automatisierte Montage aus.

Die Schraubverbindung zwischen Stütze und Fundament ermöglicht hingegen einen wesentlich schnelleren und einfacheren Montageablauf. Diese Verbindung besteht aus zwei standardisierten Bauteilen, wie sie von verschiedenen Herstellern, z. B. der Firma Peikko und Pfeifer, angeboten werden. Zum einen werden die so genannten Ankerbolzen (Abb. 10) in das Fundament gesetzt und zum anderen werden Stützenschuhe (Abb. 11) in die Schalung der Fertigteilshalung eingelegt und mit der Längsbewehrung der Stütze gestoßen. Aussparungsboxen ermöglichen ein Verschrauben der Stützenschuhe mit den Ankerbolzen. Bei dieser Verbindungsart können sowohl voll eingespannte als auch gelenkige Systeme im Endzustand ausgebildet werden. Die Anzahl der Stützenschuhe / Ankerbolzen je Stützenanschluss richtet sich nach den statischen und konstruktiven Anforderungen [1 2].

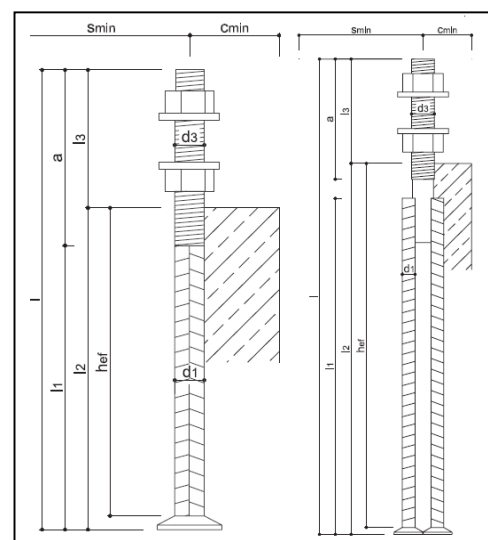


Abb. 10: Ankerbolzen [F 1]

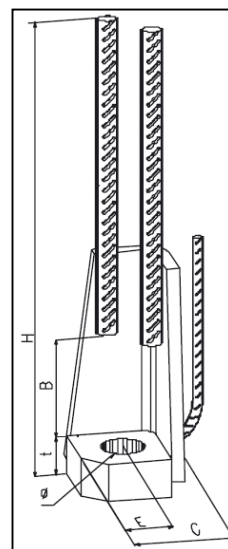


Abb. 11: Stützenschuh [F 2]

Einbau und Montage

Auf der Baustelle werden Fundamente vorwiegend aus Ortbeton hergestellt. Fundamente als Fertigteile müssen erst transportiert und dann auf der Sauberkeitsschicht montiert werden [1 2].

Die Ankerbolzen werden mit einer Schablone in das Fundament gesetzt und dann ausgerichtet. Die Achsabstände in der Schablone stimmen mit denen der in der Stützenschalung eingelegten Stützenschuhe überein. Somit wird eine problemlose Verschraubung der beiden Teile gewährleistet [1 2].

Bevor die Fertigteilstütze montiert wird, werden Futterbleche zur Festlegung der Höhe und als Zentrierplatte auf dem Fundamentkörper ausgerichtet. Dadurch entsteht eine Fugenhöhe zwischen den beiden Bauteilen von 50 – 75 mm. Die oberen Muttern werden entfernt und die Kontermuttern nach unten geschraubt, so dass die Stütze auf den Platten aufliegt [1 2].

Die Stütze wird nun über den Ankerplatten eingefädelt (Abb. 12) und auf die Bleche abgesetzt. Es erfolgt als nächstes die Achsausrichtung und die Höhenlage wird kontrolliert. Durch das Anziehen der oberen Muttern wird die Stütze ausgerichtet [1 2].

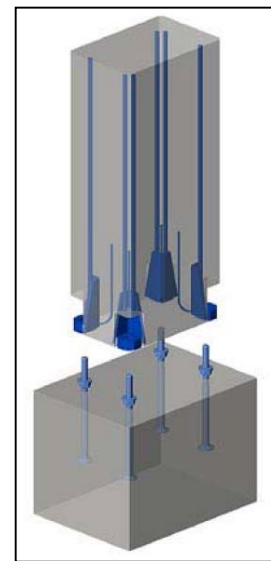


Abb. 12: Einfädeln der Stütze auf die Ankerbolzen [1 1]

Das Hebezeug gibt die Fertigteilstütze frei, die unteren Muttern werden gegen Stützenschuhe fest verschraubt. Eine biegesteife Verbindung für den Montagezustand wurde hergestellt. Der letzte Arbeitsgang beinhaltet noch das Vergießen der Fuge mit einem hochfesten und schwindarmen Mörtel (Abb. 13). Ist dieser erhärtet, ist der Endzustand erreicht [1 2].

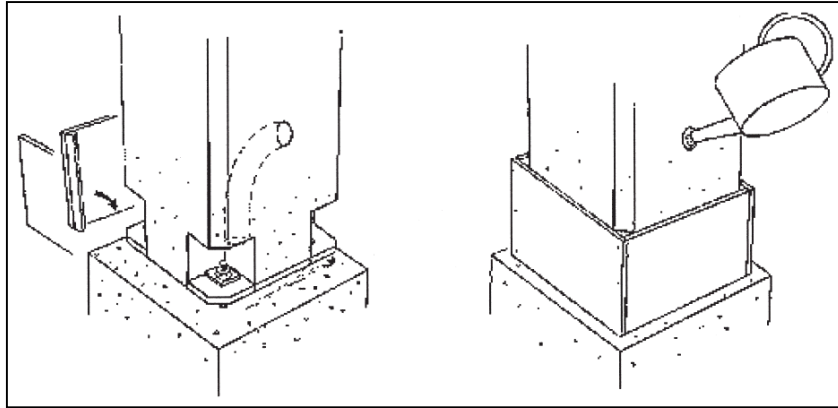


Abb. 13: Vergießen der Mutterausparungen und der Fuge [F 3]

Durch diese Art eine Fertigteilstütze mit einem Fundament zu verbinden, sind zusätzliche Abstützungen überflüssig, eine schnelle und witterungsabhängige Montage wird ermöglicht und die Einspannung der Stütze ist bereits im Montagezustand wirksam.

3.2.2 Verbindungen von Stütze und Stütze

Besonders wirtschaftlich sind im Skelettbau über mehrere Geschosse durchlaufende Stützen. Als vorteilhaft ist das statische System zu sehen, was bei Überbeanspruchung Tragreserven besitzt und eine geringe Anzahl an Hub- und Justiervorgängen. Nachteilig sind jedoch die große Länge, das hohe Transportgewicht und der zusätzliche Stahlverbrauch für den Nachweis der Transport- und Montagezustände [9, S.65].

Bei Gebäuden mit mehr als drei Geschossen müssen die Stützen gestoßen werden. Zur besseren Montageaussteifung sollten sich die Stützen versetzt stoßen. Bei durchlaufenden Unterzügen müssen die Stützen jedoch geschossweise verbunden werden. Im Gegensatz zu durchlaufenden Stützen besitzen die Geschosshohen eine geringere Länge und ein wesentlich niedrigeres Transportgewicht. Durch den hohen Wiederholungsfaktor entstehen eine Vielzahl an zu montierenden und justierenden Einzelteilen [9, S.65].

Die Verbindung der Stützen untereinander kann wie bei Stütze und Fundament durch Verschraubung erfolgen (Abb. 14). Dabei werden in den Fuß der Stütze die Stützenschuhe, in den Stützenkopf Ankerbolzen oder Ankerbolzen mit Muffen eingebracht und die Muffen mit einer Kappe verschlossen. Bei der Montage werden Gewindestangen in die Muffen eingedreht und analog das Stütze-Fundament (Abb. 14) mon-

tiert, wobei zur besseren Druckverteilung ein bewehrtes Neoprenauflager zwischen den Stützen eingelegt werden kann. Durch die Verschraubung der FT-Stützen sind keine montagebedingten Abstützungen notwendig. Die Ankerbolzen können dabei als Druckbewehrung verwendet werden [I 2].

Durch diese Schraubverbindung können auch problemlos und maßgenau Stützen mit unterschiedlichem Querschnitt verbunden werden (Abb. 15) [I 2].



Abb. 14: Verbindung Stütze-Stütze [I 1]

Bei Bestandserweiterungen kann man somit Stützen problemlos verlängern. Dabei werden mit bauaufsichtlich zugelassenem Verbundmörtel Ankerbolzen in die Stütze eingeklebt und die Montage kann wie bisher erfolgen.

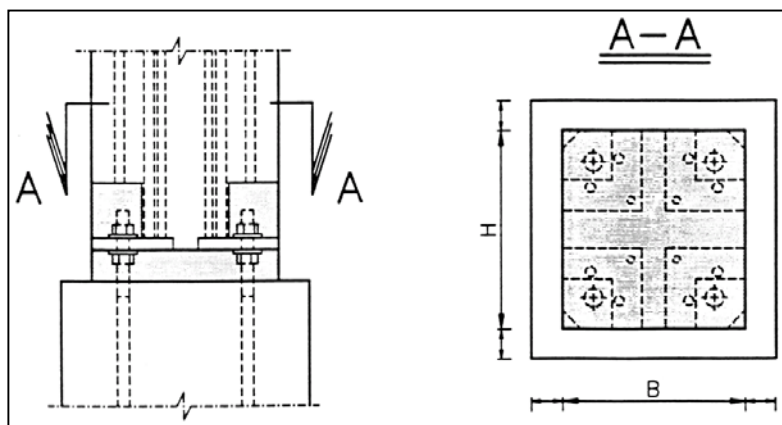


Abb. 15: Stützenstoß mit variablen Querschnitt [F 3]

3.2.3 Verbindungen von Stütze und Riegel/Unterzug

Für die Verbindung Stütze-Riegel/Unterzug bieten sich verschiedene Ausführungsarten an. Während Riegel und Unterzüge größtenteils gelenkig gelagert werden, können sie auch durch Verschraubung wie bei der Verbindung Fundament-Stütze und Stütze-Stütze biegesteif an die Stütze angeschlossen werden. Die Herstellung der Fertigteile mit den erforderlichen Stützenschuhen und Ankerbolzen und die Montage der Teile erfolgt analog der o. g. Systeme. Für die Montage sollte jedoch eine Konsole verwendet werden, um keine Biegebeanspruchungen in den Ankerbolzen hervorzurufen [1 2].

Werden im statischen System keine biegesteifen Verbindungen notwendig, können die Riegel/Unterzüge durch Konsolen schnell und einfach an die Stütze gelenkig angeschlossen werden (Abb. 16).

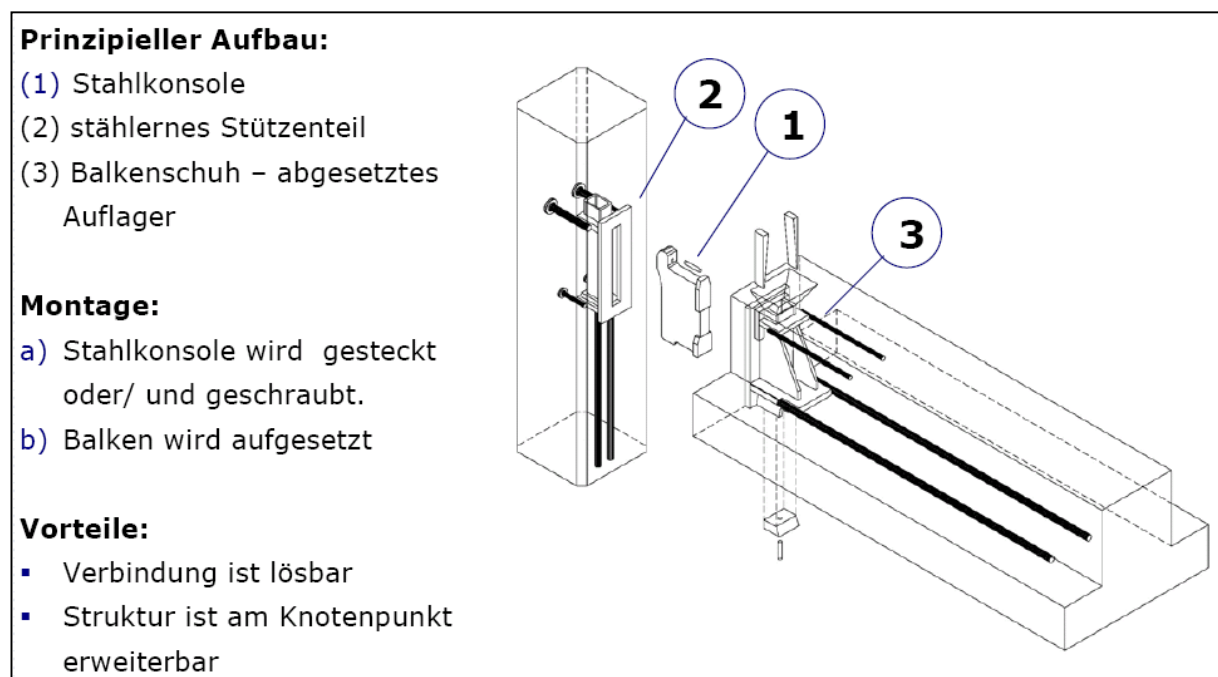


Abb. 16 Stählerne Verbindung Stütze-Riegel [1 1]

Zur gelenkigen Verbindung bietet die Firma Peikko das PC-Konsolensystem (Abb. 17) an. Diese Konsole verbindet einen einfachen Einbau in die herkömmliche Stützenschalung mit dem Wegfall von aufwändigen Schalungen für Betonkonsolen. Die Schalung der Stütze wird dabei nicht durchdrungen, sodass die Stahlkonsolen an beliebiger Stelle angeordnet werden können. Das System kann auch etwas größere Toleranzen aufnehmen. Nach der Montage ist die Konsole nicht mehr zu sehen und genügt damit hohen architektonischen Ansprüchen.

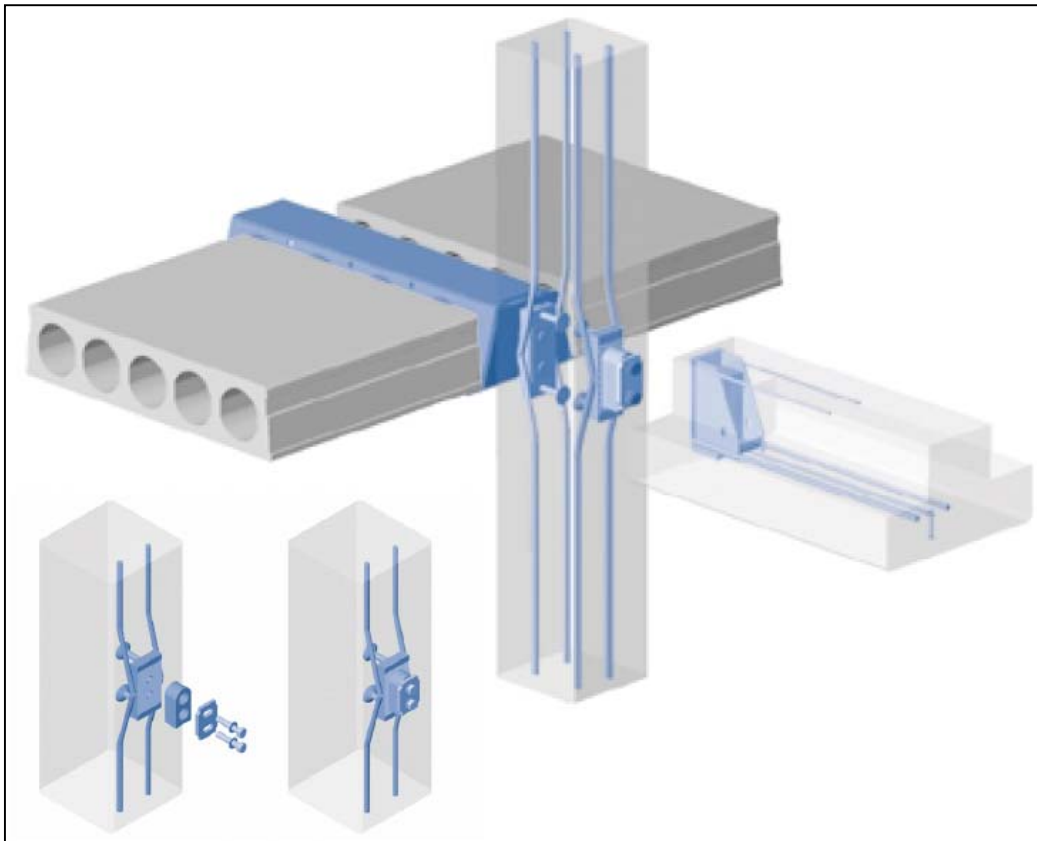


Abb. 17: Konsolensystem zur gelenkigen Auflagerung von Stahlbeton- und Stahlunterzügen [F 4]

Eine ähnliche und einfache Variante zeigt die Abbildung 18. Bei diesem System wird das Auflagerteil, bestehend aus einer Frontplatte mit Aussparungen für zwei Konsolenstege, mit in die Stütze betoniert und das Konsolenstück bei der Montage eingesteckt und verschraubt.

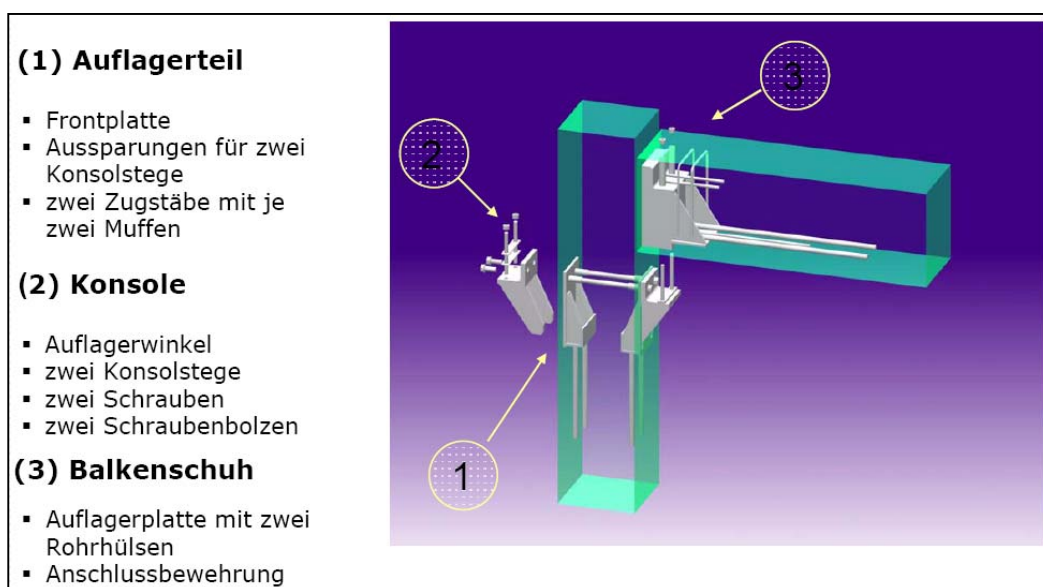


Abb. 18: Konsolensystem für mehrseitige Verbindungen Stütze-Riegel [I 1]

Werden z.B. aus architektonischen Gründen keine versteckten Konsolen notwendig, können die Riegel traditionell auf aus den Stützen herausragende Konsolen gelagert werden (Abb. 19). In die Stützenkonsole wird ein Scherbolzen einbetoniert, der zur Sicherung gegen Abkippen und Verschieben während der Montage dient. Wird nach der Montage das Dollenloch mit nahezu schwindfreiem Mörtel vergossen, werden auch Horizontallasten vom einen zum anderen Bauteil übertragen [7, S.95].

Bei der Festlegung der Dollenlochgröße (Hüllrohrgröße) müssen auch die Fertigungs- und Montagetoleranzen beachtet werden. Bei langen Bauteilen werden deshalb ovale bzw. längliche Hüllrohre notwendig [7, S.95].

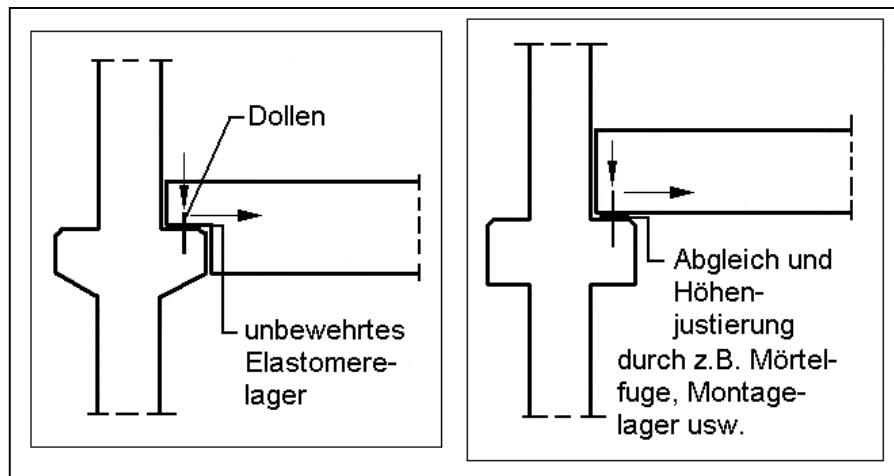


Abb. 19: Riegelauflagerung auf Stützenkonsole [2]

3.2.4 Verbindungen von Balken untereinander

Müssen Balken (Riegel bzw. Unterzüge) miteinander gestoßen bzw. verbunden werden, sollte dies im Bereich der geringsten Vertikallast erfolgen. Trägerstöße kommen jedoch nur zum Einsatz, wenn die Bauteile aufgrund ihrer Größe nicht mehr transportierbar bzw. aufgrund zu geringer Krankapazität auf der Baustelle nicht mehr verarbeitbar sind [1 2].

Die Verbindung von Balken untereinander kann analog der o. g. Schraubverbindung erfolgen (Abb. 20).

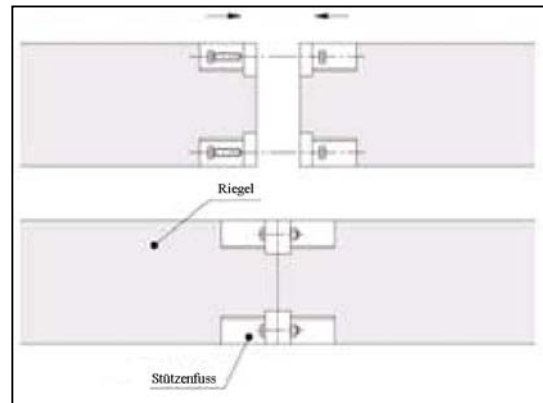


Abb. 20: Verbindung Riegel-Riegel [1 3]

3.2.5 Deckenverbindungen

Horizontale Lasten aus Wind müssen in der Regel über Deckenscheiben aufgenommen und über Treppenhaukerne oder vertikale Wandscheiben abgeleitet werden. Um eine Scheibenwirkung der Deckenfertigteile zu erreichen, sind besondere Maßnahmen notwendig [1, S.117ff].

Nach [9, S. 314]:

„Eine Decke aus Fertigteilen gilt nach DIN 1045, 19.7.4 erst als tragfähige Scheiben, wenn sie im endgültigen Zustand eine zusammenhängende Fläche bildet und wenn die in der Scheibenebene wirkenden Lasten durch Bogen- oder Fachwerkwirkung zusammen mit den dafür bewehrten Randgliedern und Zugpfosten aufgenommen werden können.

Druckkräfte werden direkt über die Fugen geleitet, die deshalb vollständig mit Mörtel ausgefüllt sein müssen.“

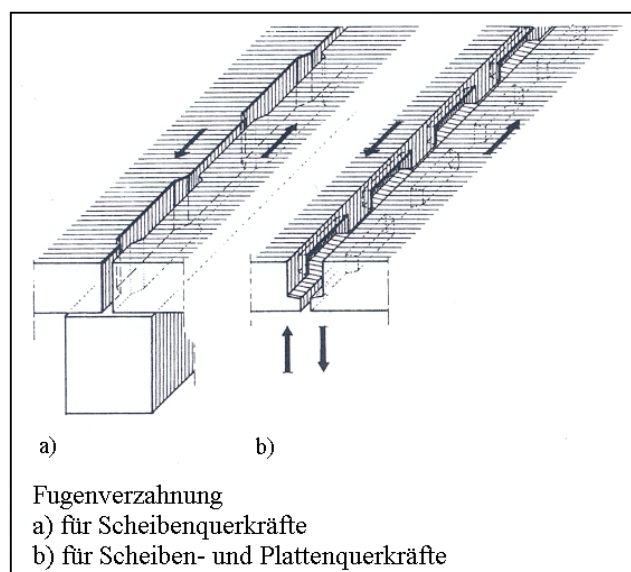


Abb. 21: Fugenverzahnung [9]

Darüber hinaus müssen die Fugen so ausgebildet sein, dass auftretende Schubspannungen übertragen werden können [9, S.314].

Die Ausbildung der Fuge hängt von der Größe der zu übertragenden Schubspannungen ab, ob die Längsränder der Deckenelemente mit einer Profilierung, einer Verzahnung (Abb. 21) oder mit einer Anschlussbewehrung versehen werden müssen [1, S.119].

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Schubspannungen durch geschweißte bzw. geschraubte Stahlverbindungen (Abb. 22) aufzunehmen. Dadurch kann im Montagezustand eine ausreichende Scheibenwirkung und damit räumliche Steifigkeit erreicht werden. Zusätzliche Fugenlängsbewehrung und Fugenverguss sind aber größtenteils weiterhin erforderlich [1, S.123].

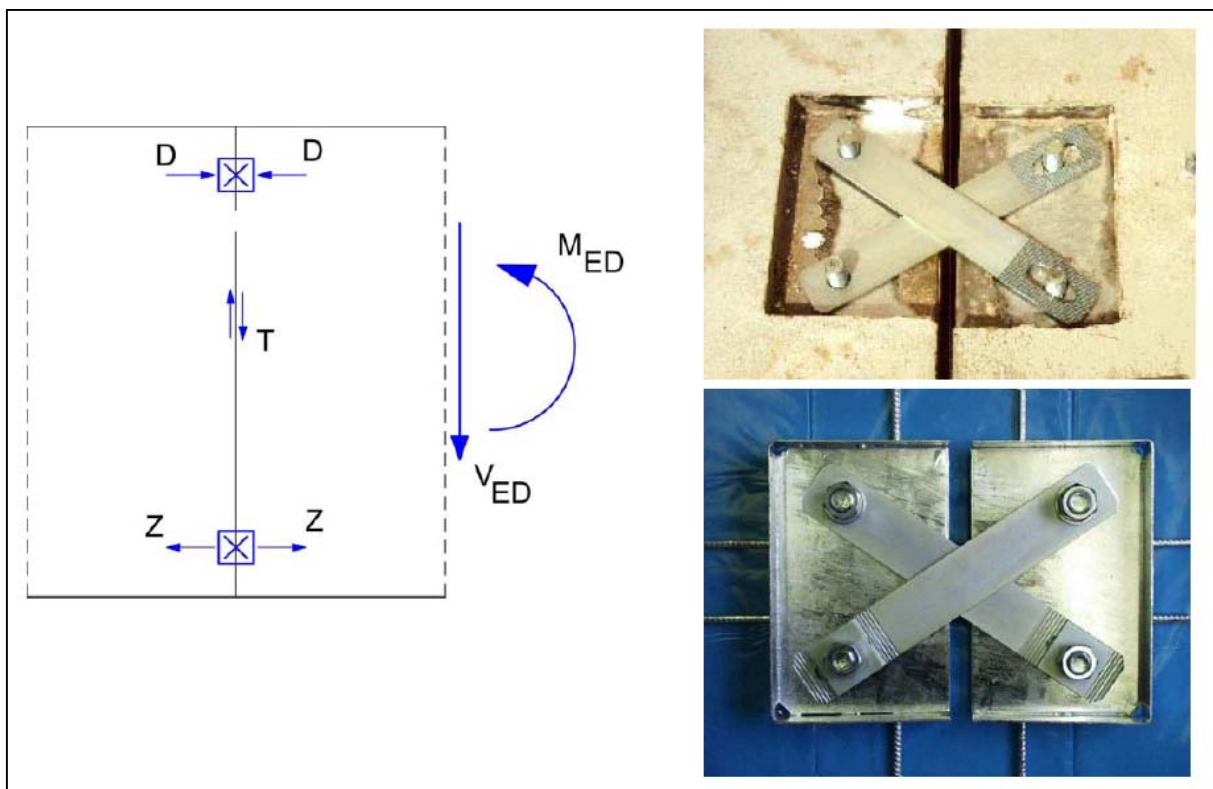


Abb. 22: Verbindung für Normal- und Schubkräfte in der Scheibenfuge [I 1]

4 Vorschläge zu neuen Verbindungstechniken

Im folgenden Abschnitt werden Verbindungstechniken die sich nach Ansicht des Verfassers für eine vollständige Mechanisierung bzw. Automatisierung eignen, vorgestellt. Diese Verbindungsmittel sind lediglich Vorschläge für weitere Überlegungen und werden im Kapitel 5 auf Tauglichkeit einer automatisierten Montage untersucht.

4.1 Verbindungsarten für automatisierte Montagen

Variante 1: „Stützen mit angeformten Stützenfuß“

Diese Art der Stützenmontage wird häufig in der Praxis angewandt. Dadurch ist es möglich, den Anschluss zwischen Fuß und Stütze eingespannt auszubilden. Üblicherweise wird der Stützenfuß auf einer Sauberkeitsschicht aus Magerbeton mit Blechen und Keilen justiert und der dadurch entstehende Hohlraum unter dem Fundament mit Vergussmörtel gefüllt [6, S.166]. Bei der Variante nach Abbildung 23 wird die Stütze mit Fuß einfach auf ein schon vorhandenes Fundament abgesetzt. Das vorhandene Fundament ist so hergestellt, das ein nachträglicher Verguss und Justierung der Stütze nicht mehr notwendig sind. Die Stahlbolzen im Fundament werden lediglich nur für die Positionierung des Fertigteils benötigt.

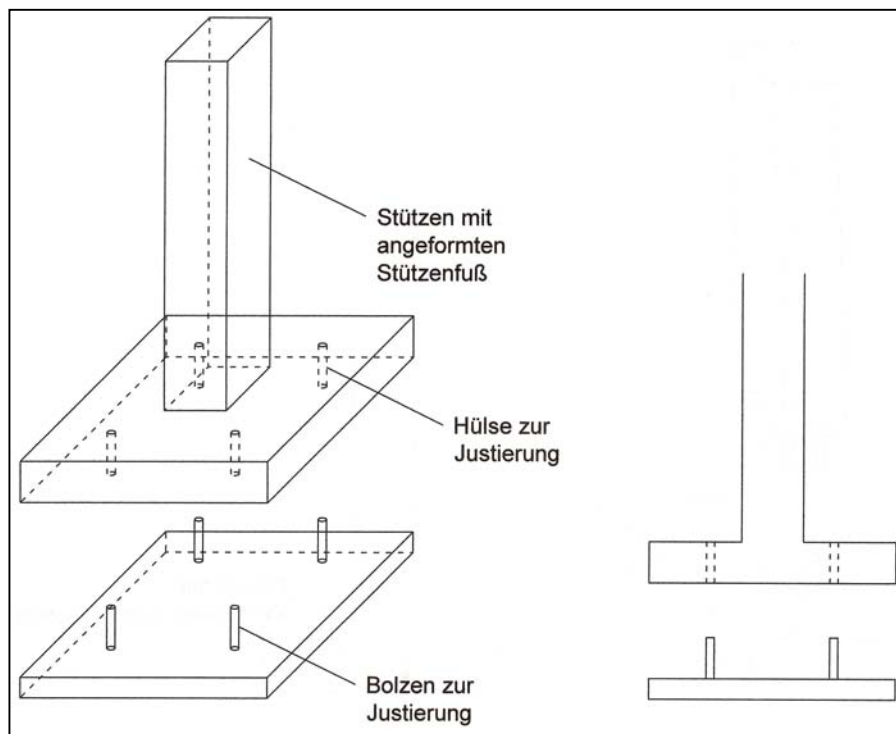


Abb. 23: Stütze mit angeformten Stützenfuß

Variante 2: „Verbindung von Deckenplatten“

Wie im Kapitel 3.2.5 beschrieben, wird für die Scheibenwirkung einer Decke neben ausreichender Fugenverzahnung (Abb. 21b), eine Fugenbewehrung zur Aufnahme von Zugkräften benötigt. Durch geschweißte bzw. geschraubte Stahlverbindungen (Abb. 22) können diese Kräfte aufgenommen und übertragen werden. Neben einer Fugenverzahnung können aber auch durch Stahlwinkel (Abb. 24) entstehende Zugkräfte aufgenommen werden. Durch diese einfache Steckverbindung kann eine Verschweißung bzw. Verschraubung entfallen. Ein nachträglicher Fugenverguss zur Übertragung von Druckkräften ist aber weiterhin erforderlich.

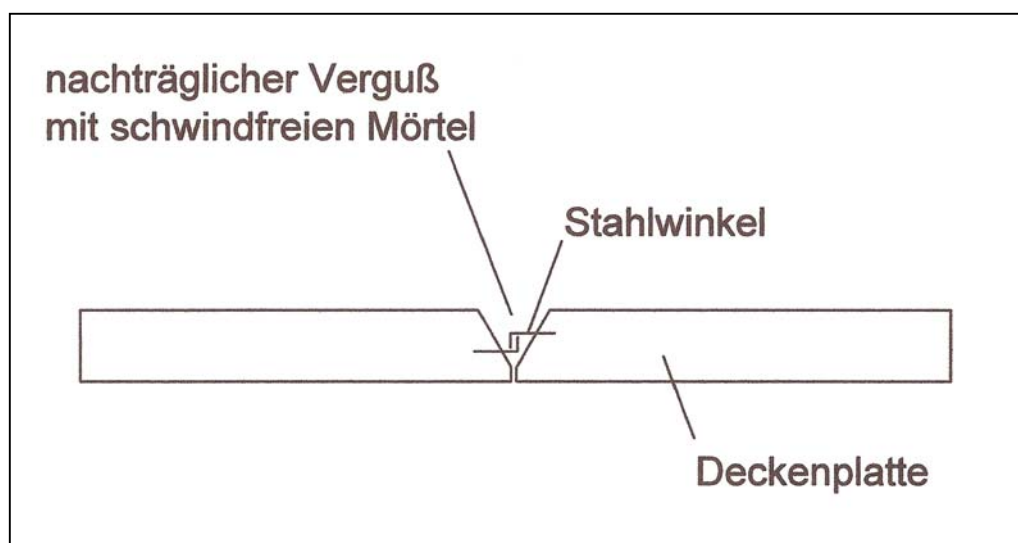


Abb. 24: Verbindung von Deckenplatten durch Stahlwinkel

Variante 3: „geklebter Montagestoß“

Durch den geklebten Montagestoß könnte eine unkomplizierte Montage möglich sein. Diese Verbindung wäre bei den Verbindungen Fundament-Stütze (Abb.25), Stütze-Stütze, Stütze-Riegel und Riegel-Riegel denkbar. An der Verbindungsstelle des einen Fertigteils sind Hülsen eingelassen. Diese müssen bei der Herstellung mit Hilfe einer Schablone genau im Bauteil justiert werden, damit sich das Gegenstück bei der Montage genau einfügen kann. In diesen Hülsen befindet sich jeweils eine Kunststoffkapsel mit einem Zweikomponentenkleber. Im zweiten Fertigteil sind an der Kontaktfläche Ankerbolzen angebracht. Führt man nun die beiden Fertigteile ineinander wird die Kapsel zerstört, die Komponenten vermischt und der Kleber füllt die Hohlräume vollständig aus. Ein nachträglicher Verguss durch Mörtel würde somit entfallen.

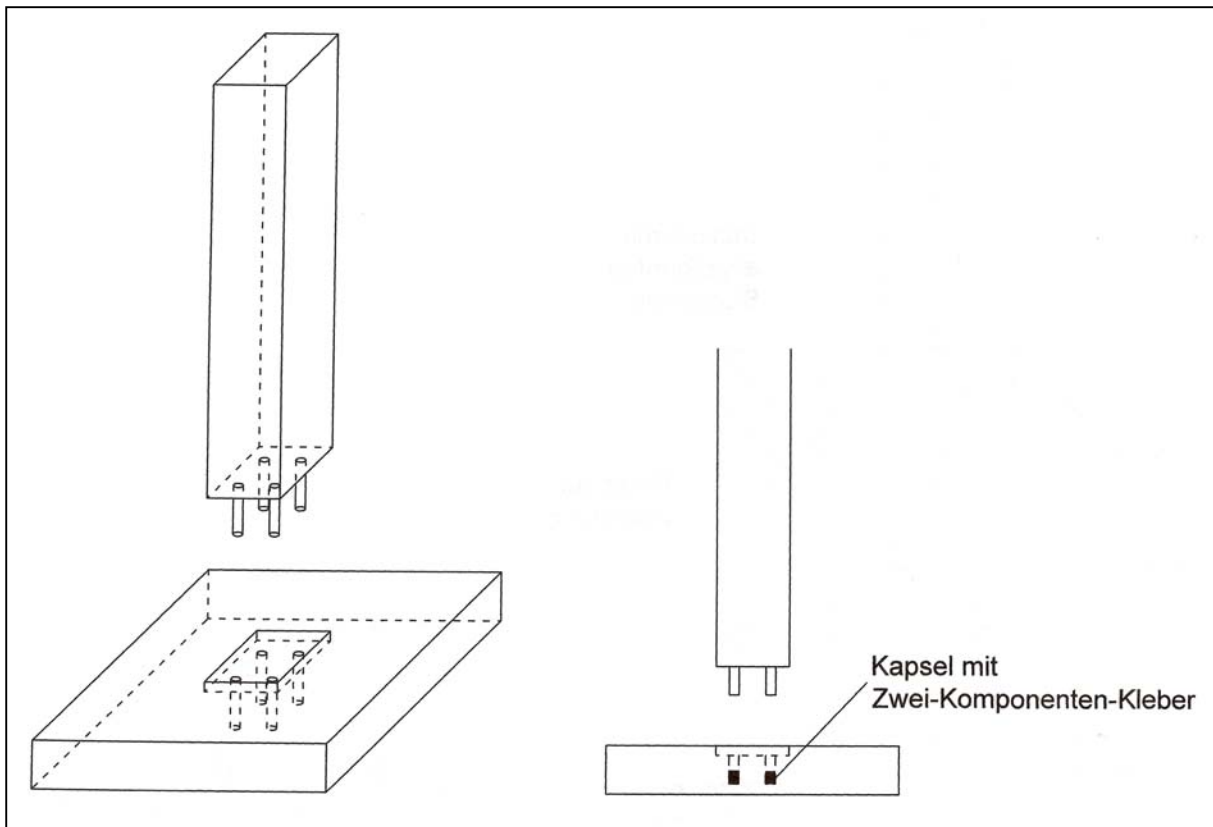


Abb. 25: Klebeverbindung durch Zweikomponentenkleber

Variante 4: „Klickverbindung 1“

Für die automatisierte Montage würde sich diese Variante anbieten. Da Beton eine zu geringe Elastizität aufweist, muss als Verbindungsstück ein Einbauteil aus Stahl verwendet werden. Die Einbauteile werden analog dem Stützenschuh bei der Herstellung mit höchster Genauigkeit in bzw. an der Schalung justiert und mit der Bewehrung der Bauteile verbunden. Somit kann eine hohe Passungsgenauigkeit bei der Verbindung der beiden Fertigteile gewährleistet werden. Sollte das Eigengewicht nicht zur Verbindung der beiden Bauteile ausreichen, muss auf das montierende Bauteil Druck bis zum Einrasten ausgeübt werden. Um Korrosion im Einbauteil zu verhindern und eine höhere Biegesteifigkeit

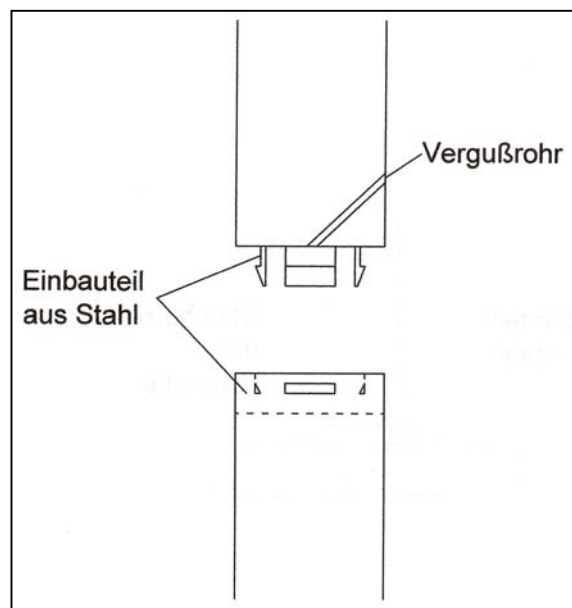


Abb. 26: Klickverbindung 1

zu gewährleisten, sollte man nach der Montage den Hohlraum mit schwindfreiem Mörtel vergießen bzw. verpressen. Zusätzlich kann das Verbindungselement, wie bei der Variante 5, mit einer Anschlussbewehrung für eine biegesteifere Verbindung versehen werden.

Variante 5: „Klickverbindung 2“

Eine andere Art der Klickverbindung ist in Abbildung 27 zu sehen. Wie bei der v. g. Variante werden die Fertigteile einfach zusammen gesteckt. Während bei der Klickverbindung 1 die Gefahr besteht, dass die Elemente bei der Montage nicht richtig durch eventuelle Verschmutzungen oder Passungenauigkeiten einrasten, wurden hier dagegen Vorkehrungen getroffen. Das Einbauteil, welches zur Aufnahme dient, wurde zur Sicherung mit einer zusätzlichen Reihe von „Nasen“ versehen. Sollte das Fertigteil nicht richtig in der zweiten Reihe einrasten, sichern es die Nasen der ersten Reihe vor eventuellem lösen bzw. umkippen. Der nachträgliche Verguss sichert eine kraftschlüssige Verbindung beider Bauteile.

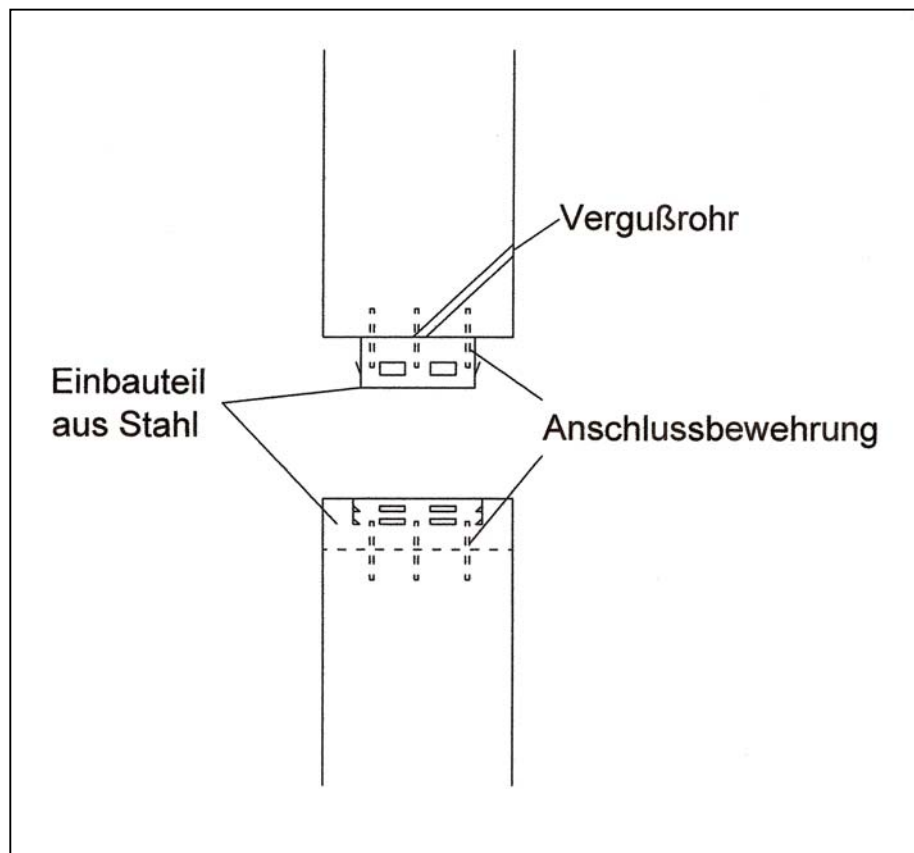


Abb. 27 Klickverbindung 2

Variante 6: „Schraubverbindung“

Wie bei der Variante 5 wird auch bei der geschraubten Verbindung ein Einbauteil aus Stahl notwendig. Durch die Verschraubung der zu montierenden Bauteile werden die beiden biegesteif miteinander verbunden. Zur Sicherung gegen ungewolltes lösen, kann nach der Montage die Schraubverbindung durch einen keilförmigen Bolzen gesichert werden. Diese Variante bietet sich besonders zur ästhetischen Verbindung von Rundstützen an, da keine Nacharbeiten im Stoßbereich notwendig sind.

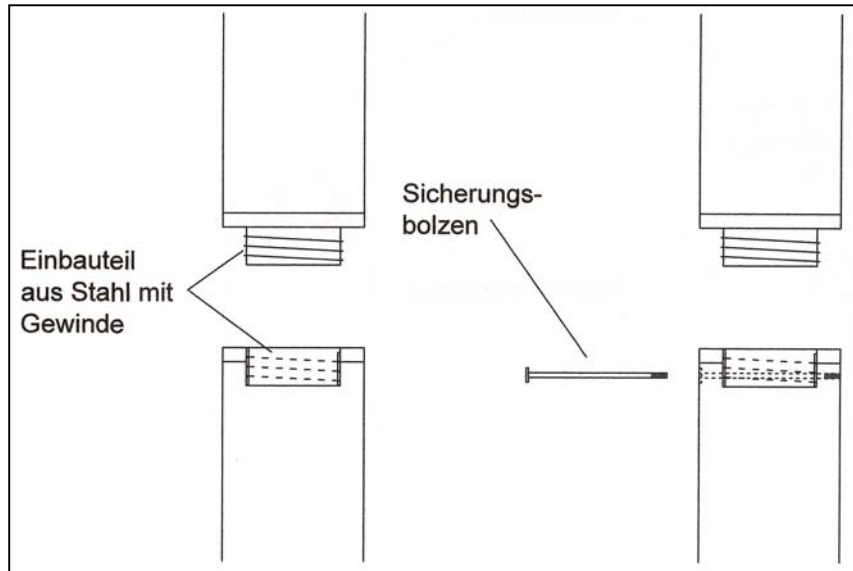


Abb. 28: Schraubverbindung

Variante 7: „Steckverbindung 1“

Ähnlich der Variante 4 können auch hier die beiden Fertigteile, jedoch ohne zusätzlichen Druck, einfach ineinander gesteckt werden. Beim Zusammenführen der FT spreizen sich Stahlriegel durch eine Zwangsführung im Gegenstück auf. Durch das Einrasten des Aussteifungsriegel im gespreizten Zustand wird die Verbindung fixiert. Durch nachträglichen Verguss wird die Verbindung gefestigt und das Einbauteil vor Korrosion geschützt.

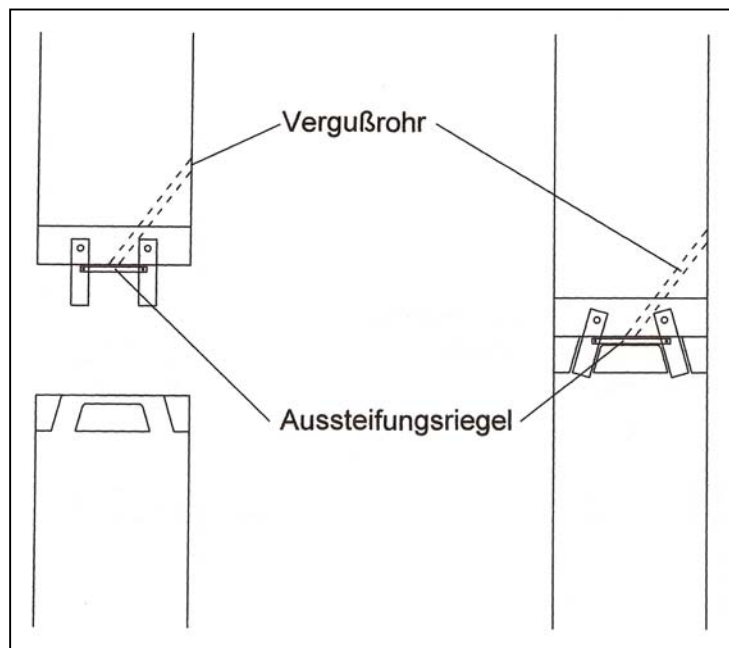


Abb. 29: Steckverbindung 1

Variante 8: „Steckverbindung 2 und 3“

Eine nicht so konstruktiv aufwendige Art des Einbauteils der Steckverbindung ist in den Abbildungen 30 und 31 zu sehen.

Diese beiden Varianten ermöglichen ein einfaches Montieren der beiden Fertigteile. Durch die konische Ausbildung der beiden Einbauteile, können diese exakt ineinander geführt werden. Die Anschlussbewehrung und der nachträgliche Verguss mit schwindfreiem Mörtel ermöglicht eine biegesteife Verbindung beider Teile.

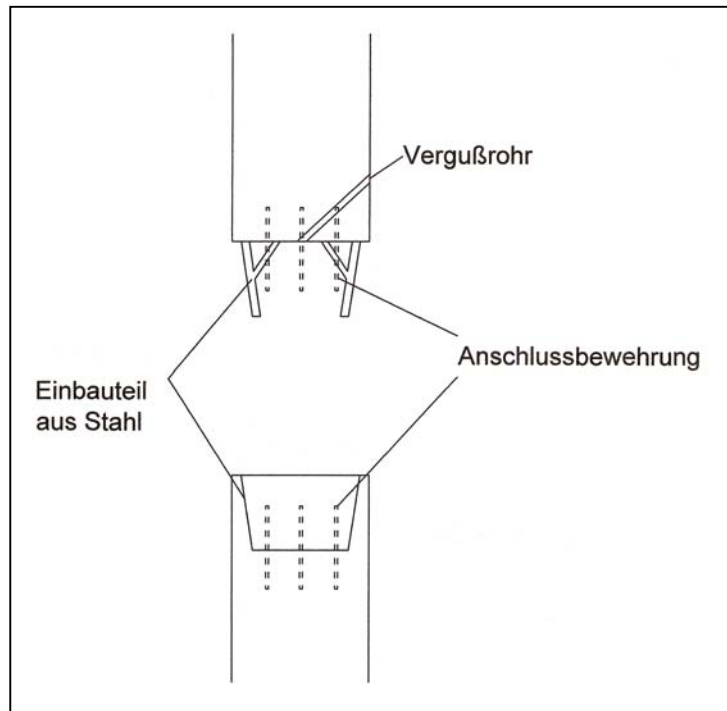


Abb. 30 Steckverbindung 2

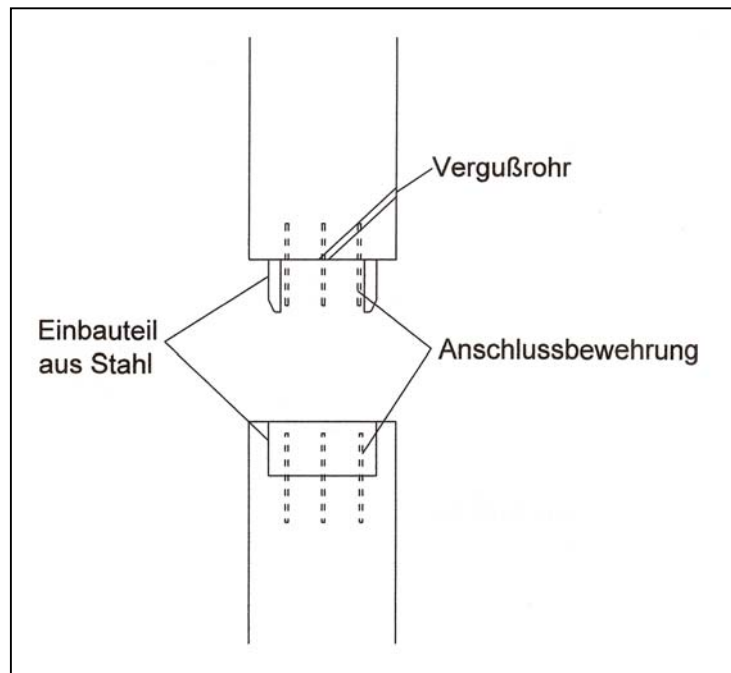


Abb. 31 Steckverbindung 3

Variante 9: „Klemmverbindung 1“

Die Klemmverbindung stellt eine weitere einfache Art dar, zwei Stahlbetonfertigteile zusammenzufügen. Die Ankerbolzen der Stütze und die Hülzen im Fundament sind mit einer Art Lamellen versehen. Führt man den Bolzen in die Hülzen, so verhaken sich die Lamellen und es entsteht eine zugfeste Verbindung.

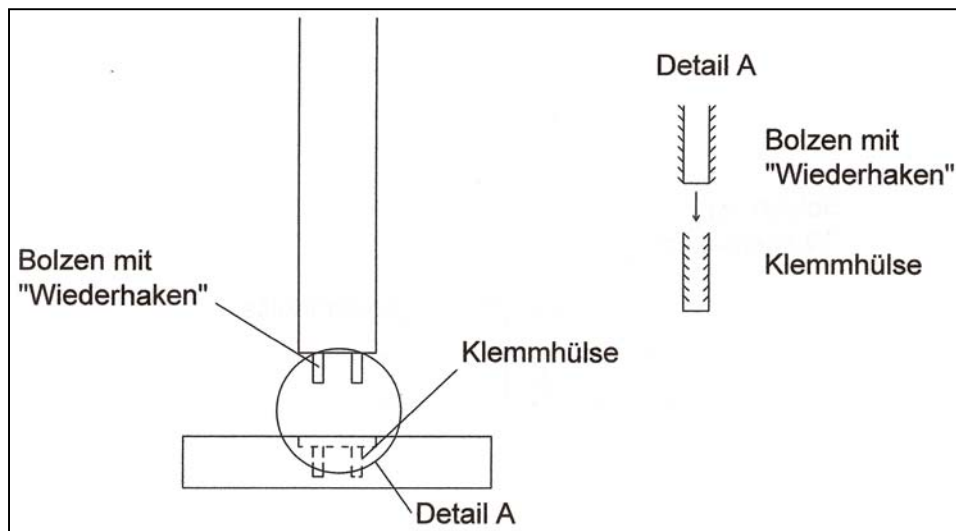


Abb. 32 Klemmverbindung 1

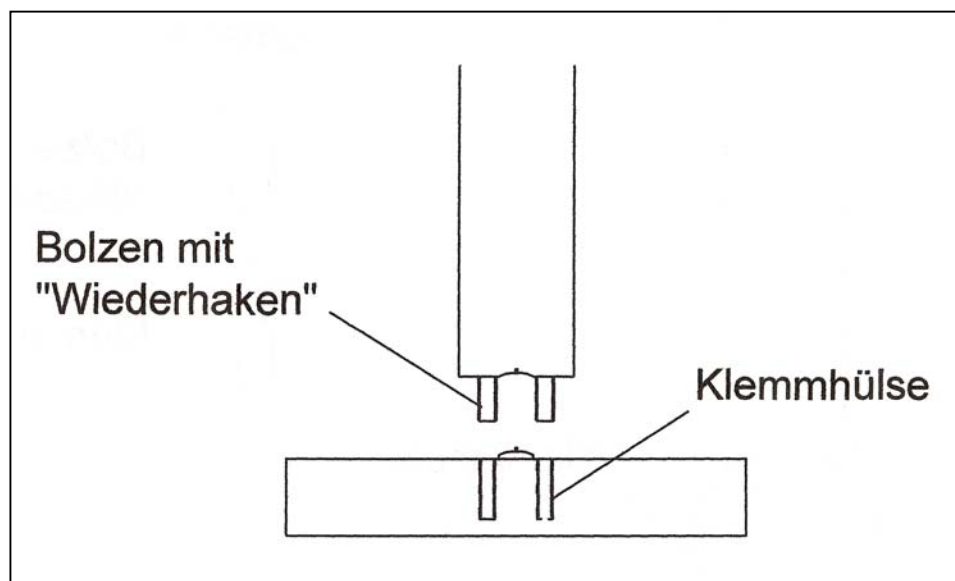


Abb. 33 Klemmverbindung zur Montagesicherung einer Pendelstütze

Um die Verbindung zusätzlich zu sichern, kann wie in der Variante 3 eine Kunststoffkapsel mit Zweikomponentenkleber in die Hülse eingebracht werden, welche beim zusammenführen der beiden Fertigteile zerdrückt wird und sich somit der Kleber in den Hohlräumen verteilen kann. Dadurch wird auch der Korrosion der Bolzen und Hülzen entgegengewirkt.

Variante 10: „Klemmverbindung 2“

Durch die Klemmverbindung 2 (Abb. 34) kann ohne Probleme eine biegesteife Verbindung hergestellt werden. Die Klemmwirkung reicht aus, um auf Montagebedingte Abstützungen zu verzichten können. Nach der Montage wird der Hohlraum zwischen den beiden Elementen vergossen und durch die Anschlussbewehrung und den Mörtel eine kraftschlüssige Verbindung erreicht.

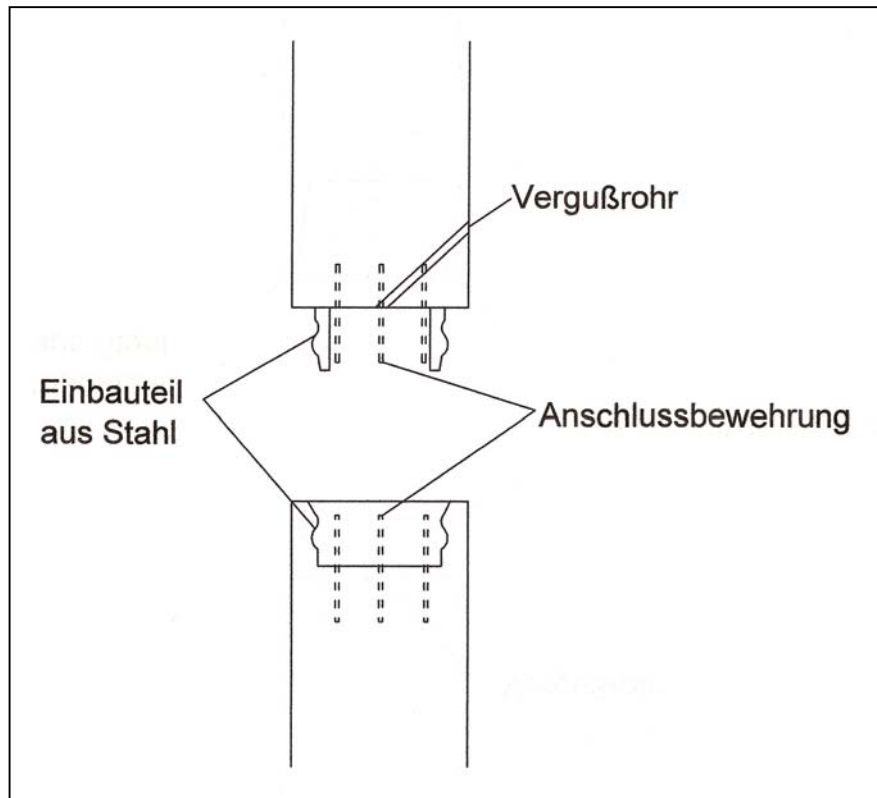


Abb. 34 Klemmverbindung 2

5 Auswertung der Varianten

5.1 Vor- und Nachteile der Varianten

Variante 1: „Stützen mit angeformten Stützenfuß“

Vorteile:

- biegesteife Verbindung von Stütze und Fundament
- schnelle und einfache Positionierung
- kurze Abschlagszeiten des Kran

Nachteile:

- Erhöhung der Montagestöße
- hohe Anfälligkeit gegen Maßabweichungen durch vorhandenes Fundament

Diese Variante bietet sich für eine automatisierte Montage an. Durch die Stütze mit angeformten Stützenfuß kann eine biegesteife Verbindung von Stütze und Fundament ohne großen Aufwand realisiert werden. Voraussetzung für eine einfache Montage ist jedoch eine hohe Genauigkeit, in Höhe und Ausrichtung, des schon vorhandenen Fundamentkörpers mit den eingelassenen Justierbolzen. Ob diese erreicht werden kann um die Stütze absolut lotrecht zu positionieren, bleibt an dieser Stelle ungeklärt.

Die Höhe der Stütze sollte sich jedoch auf ein Geschoß beschränken, um etwaige Lotabweichungen zu begrenzen. Die Bolzen im vorhandenen Fundament besitzen keinen statischen nutzen. Sie dienen lediglich zur Positionierung der Stütze. Um das Einfädeln auf das vorhandene Fundament zu vereinfachen, werden die Hülsen im Stützenfuß konisch ausgebildet.

Variante 2: „Verbindung von Deckenplatten“

Vorteile:

- schnelle und einfache Verbindung
- eventuelle Einsparung der Fugenlängsbewehrung

Nachteile:

- erhöhte Herstellungskosten durch Fugenverzahnung
- Beschädigungsrisiko der Winkel beim Transport

Die Verbindung von Deckenplatten mit Stahlwinkeln bietet eine Alternative zur Verschraubung bzw. Verschweißung. Doch bei dieser Verbindungsart wird wieder die Verzahnung (Abb. 21) an den Plattenrändern notwendig, was wiederum die Herstellungskosten erhöhen würde. Lediglich die Fugenlängsbewehrung könnte eventuell gespart werden. Dies müsste jedoch erst geprüft werden. Diese Variante somit nicht zwangsläufig für eine automatisierte Montage in Frage.

Variante 3: „geklebter Montagestoß“

Vorteile:

- Herstellung von gelenkigen Verbindungen vertikale Bauteile
- keine Montagebedingten Abstützungen notwendig
- Tragreserven im statischen System durch Klebekraft
- nachträglicher Verguss nicht notwendig

Nachteile:

- Klebeflächen müssen fett- und staubfrei sein
- keine biegesteifen Verbindungen möglich

Der geklebte Montagestoß wäre die ideale Lösung für automatisierten Montagen zur Herstellung von gelenkigen Verbindungen. Die Verbindung müsste nur die im Montagezustand entstehenden Kräfte bestehend aus Wind, Anpralllasten etc. aufnehmen, so dass zwischenzeitliche Abstützungen der Fertigteile entfallen könnten. Es sollte jedoch ein Kleber zum Einsatz kommen der eine sehr schnelle Festigkeitsentwicklung besitzt.

Bei der Montage muss der Kran bzw. Lastmanipulators das Fertigteil für die Zeit des Abbindens genau in der erforderlichen Lage halten und jeden äußeren störenden Einfluss entgegenwirken. Dies erhöht natürlich die technischen Anforderungen an das Gerät.

Hohe Anforderungen werden auch an die Sauberkeit der Klebefläche gestellt. Sie müssen absolut frei von Staub, Fett, Lösungsmitteln etc. sein. Ob das auf der Baustelle gewährleistet werden kann, bleibt an dieser Stelle ungeklärt.

Variante 4 und 5: „Klickverbindung 1+2“

Vorteile:

- schnelle und einfache Montage
- sofortige kraftschlüssige Verbindung
- einfache Herstellung einer biegesteifen Verbindung

Nachteile:

- höhere Kosten durch Einbauteile
- hohe Maßgenauigkeit erforderlich
- keine nachträgliche Justierung möglich

Die Klickverbindung ermöglicht eine schnelle und sofort kraftschlüssige Verbindung der Fertigteile. Für die Verbindungsstelle ist jedoch ein Einbauteil aus Stahl notwendig. Bei der Herstellung der Fertigteile ist unbedingt auf eine hohe Maßgenauigkeit der Einbauteile und exakte Lage dieser im Bauteil zu achten. Eine nachträgliche Justierung ist nicht möglich.

Das Einbauteil bringt auch einige Nachteile mit sich. Es muss u. a. vor Korrosion geschützt werden. Durch den nachträglichen Verguss mit schwindfreiem Mörtel wird dem doch entgegengewirkt.

Variante 6: „Schraubverbindung“

Vorteile:

- ästhetische bzw. kaum sichtbare Verbindungsstelle
- Verbindung kann lösbar gestaltet werden
- Biegesteife Verbindung möglich

Nachteile:

- sehr aufwendige Montage
- das Bauteil kann beim Montagevorgang beschädigt werden
- höhere Kosten durch Einbauteile
- hohe Maßgenauigkeit erforderlich
- keine nachträgliche Justierung möglich

Wie bei der Klickverbindung kann auch durch die Schraubverbindung eine sofortige biegesteife Verbindung der beiden Bauteile hergestellt werden. Auch hier ist eine hohe Maßgenauigkeit erforderlich. Eine nachträgliche Justierung ist nicht möglich.

Das Schraubgewinde kann in zwei Formen ausgeführt werden. Zum einen als Feingewinde, welches jedoch bei der Montage viele Umdrehungen des Bauteils bis zur endgültigen Lage mit sich bringt oder es kommt ein „grobes Viertelgewinde“ zur Anwendung.

Da eine viertel bis halbe Umdrehung des Bauteils bis zum Einrasten in den Endzustand nötig ist, wird für die Montage ein spezieller Lastkraftmanipulator notwendig. Der hohe Kraftaufwand der nötig ist um das Bauteil zu fixieren, kann aber außerdem zu Beschädigungen am selbigen führen.

Der Montageaufwand ist wesentlich größer als bei den anderen Varianten und weiterhin ist bei dieser Verbindungsmethode durch die Drehbewegung die Größe und Masse des Fertigteils begrenzt. Daher ist diese Variante nur bedingt für eine automatisierte Montage geeignet.

Variante 7: „Steckverbindung 1“

Vorteile:

- einfache und schnelle Montage
- Herstellung gelenkiger Verbindungen vertikaler Bauteilen
- keine Montagebedingten Abstützungen notwendig
- geringe Tragreserven im statischen System

Nachteile:

- keine biegesteife Verbindungen möglich
- aufwendiges, kostenintensives Einbauteil
- Beschädigungsrisiko des Einbauteils beim Transport

Durch die Steckverbindung 1 kann eine einfache und schnelle gelenkige Verbindung hergestellt werden. Die aussteifende Wirkung des Riegels sollte den Belastungen die im Montagezustand bzw. –verlauf auf das Bauteil einwirken stand halten. Durch den nachträglichen Verguss des Hohlraumes wird eine zusätzliche Sicherung vor ungewolltem Lösen des Verbindungselementes erreicht.

Für man noch Anschlussbewehrung in das Einbauteil wird durch den Verguss eine biegesteife Verbindung hergestellt.

Die Variante der Steckverbindung ist nach Ansicht des Verfassers auf vertikale Bauteile bzw. Verbindungsstellen begrenzt, jedoch für eine automatisierte Montage geeignet.

Variante 8: „Steckverbindungen 2 und 3“

Vorteile:

- einfache und schnelle Montage
- Herstellung biegesteifer Verbindungen
- keine Montagebedingten Abstützungen notwendig

Nachteile:

- exakte Lage der Einbauteile im Fertigteil erforderlich
- keine nachträgliche Justierung möglich

Die Steckverbindungen 2 und 3 ermöglichen eine einfache Herstellung einer biege-
steifen Verbindung. Die konische Ausbildung der Einbauteile garantiert die einfache
und genaue Verbindung der beiden Fertigteile. Bei der Herstellung muss jedoch auf
die exakte Lage der Verbindungsmittel im Bauteil geachtet werden. Jegliche Unge-
nauigkeit kann zu einer Schiefstellung führen.

Variante 9: „Klemmverbindung 1“

Vorteile:

- einfache und schnelle Montage
- Herstellung gelenkiger Verbindungen vertikaler Bauteilen
- keine Montagebedingten Abstützungen notwendig
- geringe Tragreserven im statischen System durch Klemmwirkung

Nachteile:

- keine biegesteife Verbindungen möglich
- aufwendiges, kostenintensives Einbauteil
- Beschädigungsrisiko der Lamellen beim Transport

Die Klemmverbindung ermöglicht z.B. eine abstützungsfreie Montage einer Pendel-
stütze (Abb. 30). Durch das Verhaken der Lamellen und das zusätzliche Verkleben
können äußere Einflüsse wie Wind, kleinere Anpralllasten etc. aufgenommen wer-
den.

Wie bei der Variante 3 muss die Stütze bis zur nötigen Festigkeitsentwicklung des
Kleber exakt in der erforderlichen Position gehalten werden, um einer Schiefstellung
entgegenzuwirken.

Variante 10: „Klemmverbindung 2“

Vorteile:

- einfache und schnelle Montage
- Herstellung biegesteifer Verbindungen
- keine Montagebedingten Abstützungen notwendig

Nachteile:

- aufwendiges, kostenintensives Einbauteil
- keine nachträgliche Justierung möglich

Wie bei der Variante 9 ermöglicht diese Klemmverbindung eine einfache und schnelle Montage. Hier wird aber keine gelenkige, sondern eine biegesteife Verbindung hergestellt. Durch die Klemmwirkung können äußere Einflüsse, die bis zur endgültigen Herstellung einer biegesteifen Verbindung durch den Mörtelverguss auf das Bauteil einwirken, aufgenommen werden.

Wie schon bei den anderen Varianten ist eine exakte Lage der Einbauteile im Fertigteil dringende Voraussetzung für eine unkomplizierte und störungsfreie Montage.

6 Ablauf einer automatisierten Montage

Dieses Szenario stellt nur einen sehr groben und idealisierten Überblick über den Ablauf einer automatisierten Montage dar. Im wesentlichen werden Angaben zur Realisierung von bestimmten Verbindungstechniken im statischen System und zu Vorzugsvarianten gemacht. Verfahren zur Lagebestimmung und Objektverfolgung werden zwar benannt, aber nicht näher erläutert. Diese sind in [10] ausreichend aufgeführt und zusammengefasst.

6.1 Statisches System

Wie im Kapitel 2 dargestellt, erfolgt die Abtragung der vertikalen Lasten in den Baugrund bei Skelettbauwerken über Stützen-Riegel-Systeme. Da die Verbindungen zwischen den stabförmigen Bauteilen in der Regel gelenkig ausgebildet werden, benötigt man zur Übertragung horizontaler Lasten besondere Aussteifungselemente. Diese können eingespannte Stütze, vertikale Wandscheiben oder Aussteifungskerne aus Ortbeton sein.

Nach Ansicht des Verfassers können grundsätzlich Bauwerke die den drei statischen Systemen nach Abbildung 1 entsprechen, durch vollständige mechanisierte bzw. automatisierte Montagen hergestellt werden.

Unterschiede liegen jedoch im konstruktiven Aufwand der für die verschiedenen statischen Systeme erbracht werden muss.

Als Vorzugsvariante zur weiteren Betrachtung wurde ein Gebäude mit dem statischen System nach Abbildung 35 gewählt.

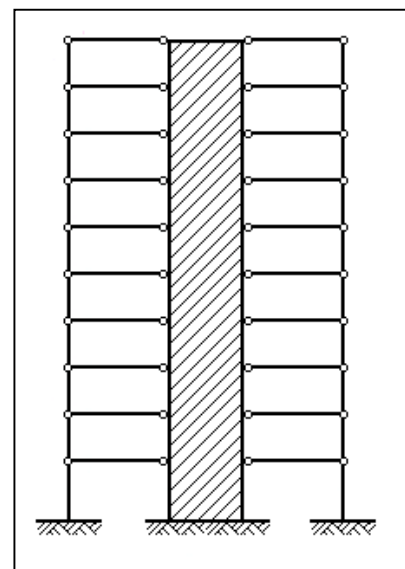


Abb. 35 Gelenktragwerk mit aussteifendem Kern [2]

Dieses Tragwerk besteht aus Gelenkketten mit schubsteifen Deckenfeldern. Zur Aussteifung dient ein Kern der zuvor in Ortbetonweise erstellt wird. Dieser kann jedoch zum heutigen Zeitpunkt noch nicht automatisiert hergestellt werden.

6.2 Voraussetzungen auf der Baustelle

Um eine automatisierte Montage durchführen zu können sind bestimmte Voraussetzungen auf der Baustelle notwendig.

Folgende Schritte werden vorab durchlaufen:

- Grobabsteckung der Baugrube
- Baugrubenaushub
- Feinabsteckung des Ortbetonkerns und der Gebäudeachsen
- Kranplatzierung
- Anlieferung der Schalung
- Herstellung des Ortbetonkerns in Gleitbauweise
- Einmessen der Fundamente nach Variante 1
- Anlegen der Fundamente (Sauberkeitsschicht, Schalung und Bewehrung)
- Befestigung der Ankerbolzen auf einer Schablone und nach dem Einmessen Fixierung am Bewehrungskorb
- Betonieren der Fundamente
- Überprüfung der Fundamenthöhe und –lage
- Eventuelle Korrektur der Höhenlage durch selbst nivellierenden Mörtel
- Aufstellen und Einrichtung der Totalstationen (für GPS) und Bilderfassungssysteme

6.3 Verbindung Stütze-Fundament

Nach dem alle Voraussetzungen für eine automatisierte Montage geschaffen wurden, kann diese nun mit der Anlieferung der ersten Fertigteile beginnen. Um eine aufwendige Verbindung zwischen Fundament und Stütze zu vermeiden, werden Stützen mit angeformten Stützenfuß nach Variante 1 (Abb. 23) verwendet.

Montage:

- Anlieferung der Fertigteile
- Qualitätskontrolle der gelieferten Elemente
- Einlesen der erforderlichen Daten von einem Smart Chip der auf dem Fertigteil platziert ist durch die RFID - Transponder Technologie
- Abladen der Elemente vom LKW => direkte Montage oder Zwischenlagerung
- Anschlagen der Elemente durch den Kran
- Anheben des Fertigteils durch den Kran

-
- Schwenken, Positionieren (durch GPS) und Einfädeln der Stütze über den Ankerbolzen
 - Element absetzen
 - Kontrolle der Höhenlage und der Ausrichtung
 - Abschlagen vom Kran

6.4 Verbindung Stütze-Riegel

Nach dem statischen System wird die Verbindung zwischen der Fertigteilstütze und dem Riegel gelenkig ausgebildet. Die beiden Elemente können daher mit einer traditionellen aber leicht modifizierten Art verbunden werden. Hier kommt das Konsolensystem nach Abbildung 18 zum Einsatz.

Lediglich den Balkenschuh muss man weiterentwickeln. Die in der Ankerplatte eingebrachten Röhrhülsen werden leicht vergrößert, konisch und länglich oval ausgebildet, um Toleranzen ausgleichen zu können und das Einfädeln zu vereinfachen.

Zusätzlich befestigt man in den Hülsen eine Kapsel mit einem Zwei-Komponenten-Kleber. Durch die Montage der beiden Elemente werden die Kapseln im Balkenschuh durch die Bolzen der an der Stütze befestigten Konsole zerdrückt und der Kleber kann sich in den Hülsen verteilen. Somit entfällt der nachträgliche Verguss der Röhrhülsen.

Die Konsole kann schon im Fertigteilwerk an der Stütze montiert, muss aber während des Transportes vor Beschädigungen geschützt werden. Der Montageablauf ist analog dem der Stütze.

6.5 Verbindung Stütze-Stütze

Die Verbindung Stütze-Stütze wird nach dem statischen System gelenkig ausgebildet, d.h. es kommen Pendelstützen zum Einsatz. Diese müssen aber nach traditioneller Bauweise während der Montage abgestützt werden.

Um Montagebedingte Abstützungen zu verhindern, bietet sich als Alternative die Klemmverbindung nach Abbildung 33 an. Die Klemmwirkung und der Kleber garantieren die Standsicherheit während der Montage, bevor die Riegel und Decken montiert werden.

Bei der Montage ist ständig auf die maßgenaue Ausrichtung der Stützen zu achten!

6.6 Deckenverbindungen

Für das statische System sind Deckenscheiben notwendig. Um diese Scheibenwirkung mit den Deckenfertigteilen zu erreichen, sind bestimmte Maßnahmen notwendig (siehe Kapitel 3.2.5). Diese Maßnahmen gestalten sich sehr aufwändig.

Die einfachste Variante Deckenplatten als Scheiben auszubilden, ist in Abbildung 22 dargestellt. Eine Verschraubung der Platten nach der Montage und der Fugenverguss ist unerlässlich.

Um die Fertigteilplatten auf den Riegeln bzw. Unterzügen zu positionieren, können Dollen in den Riegeln und konische Hülsen passend dazu, in den Deckenplattenunterseiten eingebracht werden. Dadurch können die Platten bei der Montage genau platziert werden.

7 Wirtschaftlichkeitsanalyse

7.1 Allgemeine Betrachtungen

Das Hauptziel einer Automatisierung im Fertigteilmontagebau ist die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Dies kann im Allgemeinen nur durch eine Reduzierung der Arbeitskräfte und der Bauzeit erreicht werden. Somit würden enorme Kosten eingespart.

Ob diese hohen Kosteneinsparungen durch die recht großen Entwicklungs- und Betriebskosten der Automatisierung und der Robotertechnik aufgewogen werden, bleibt an dieser Stelle unbeantwortet. Ein gutes Beispiel für die Einsparung von Lohnkosten ist die automatisierte Hochbaustelle „Smart“ in Japan. Bei diesem Bauvorhaben wurde ca. 30 % an Arbeitskräften eingespart. Die Herstellungskosten lagen jedoch noch über den der traditionellen Bauweise. Logisch betrachtet, sollten sich die Erstellungskosten jedoch nach mehreren Baustellen wesentlich verringern.

Durch automatisierungsgerechte Verbindungsmittel werden neben der Kosteneinsparung durch weniger Arbeitskräfte eine Reduzierung der Bauzeit erreicht. Diese hat zur Folge, dass das Gebäude wesentlich früher in Betrieb genommen werden kann und sich dadurch z.B. die Zeit für die Zwischenfinanzierung verringern würde.

7.2 Berechnungsansätze

Anhand einer vergleichenden Kostenschätzung soll am Beispiel einer Stützenmontage eine Kosteneinsparung verdeutlicht werden. Bei dem Fertigteil handelt es sich um eine eingeschossige Stütze mit angeformten Stützenfuß. Die Stütze soll die Abmaße 40 x 40 x 350 cm haben und der Stützenfuß 200 x 200 x 80 cm. Bevor die Montage erfolgen kann, müssen gewissen Voraussetzungen geschaffen werden. Für das herkömmliche Verfahren wird auf einem Schotter-Kies-Polster eine Sauberkeitsschicht aufgebracht. Auf dieser Schicht wird dann die Stütze abgestellt, mit Keilen und Blechen ausgerichtet und justiert. Anschließend wird der Hohlraum unter der Stütze mit einem schwindfreien Mörtel ausgegossen. Nach dem Aushärten des Mörtels kann

die Stütze belastet werden. Für die Arbeitsgänge der reinen Montage werden grundsätzlich nach Ansicht des Verfassers drei Arbeitskräfte benötigt.

Für die automatisierte Montage der Stütze nach Variante 1 sind auch ähnliche Voraussetzungen nötig. Die Stütze wird nicht auf einer Sauberkeitsschicht abgestellt, sondern auf einem fertigen Fundament. Das Fundament ist exakt auf Flucht und Höhenlage hergestellt und mit Bolzen versehen (siehe Kapitel 4, Variante 1). Es müssen während der Montage keine Justierungen mehr vorgenommen werden. Diese Herstellung ist natürlich aufwendiger als die Herkömmliche. Für die reine Montage kann aber mit einer Zeitersparnis von gut 50% gerechnet werden. Durch den höheren Aufwand das Grundfundament zu errichten, wird die Zeitersparnis für die folgende Rechnung auf 40% abgemindert. Die höheren Materialkosten für das Fundament, können aber gegen reduzierte Kosten für die Minimierung der Dicke des Stützenfundaments relativiert werden.

Tab. 4 Berechnungsansatz zur Kostengegenüberstellung

	Automatisierte Montage	Herkömmliche Montage
Masse (m) der Stütze:		
Dichte Schwerbeton 2,5 t/m³	0,4 m x 0,4 m x 3,5 m = <u>0,56 m³</u> 2 m x 2 m x 0,8 m = <u>3,20 m³</u> m = (0,56 m³ + 3,20 m³) x 2,5 t <u>m = 9,4 t</u>	0,4 m x 0,4 m x 3,5 m = <u>0,56 m³</u> 2 m x 2 m x 0,8 m = <u>3,20 m³</u> m = (0,56 m³ + 3,20 m³) x 2,5 t <u>m = 9,4 t</u>
Zeitaufwand (t):	Zeiteinsparung 40 %	
Nach Zahlentafel Baubetrieb		
6. Aufl. Skelettbau:	gewählt: 0,40 h/t	gewählt: 0,40 h/t
- mittels Gewicht	t = 9,4 t x 0,35 h/t x 0,60	t = 9,4 t x 0,35 h/t
- Arbeitsmittel: Turmdrehkran	<u>t = 1,97 h</u>	<u>t = 3,29 h</u>
- 0,35 - 0,50 h/t		
Lohnkosten pro Std. Facharbeiter:	Kranführer eigene Erfahrung - 36,00 €/h	Kranführer + 2 für Montagearbeiten á = 3 Personen
Lohnkosten K:	K = 1 x 36,00 €/h * 1,97 h <u>K = 70,92 €</u>	K = 3 x 36,00 €/h * 3,29 h <u>K = 355,32 €</u>
Kostenersparnis:	Ersparnis von ca. 80 %	
Zeitersparnis:	Ersparnis von ca. 40 %	

7.3 Auswertung

Wie man an den Ergebnissen dieser doch recht groben Berechnung sehen kann, werden durch eine automatisierte Montage erhebliche Kosten und Montagezeiten eingespart.

Diese Einsparungen werden sicherlich durch den wesentlich teureren Geräteaufwand, höhere Herstellkosten und größere Planungsleistungen etc. relativiert. Diese werden aber im Laufe der Zeit durch den Wiederholungsfaktor und der Verbreitung der Montagetechnik sinken. Voraussetzung ist natürlich auch, dass die erforderlichen Geräte flexibel auf den verschiedenen Baustellen einsetzbar sind.

Wie hoch die Entwicklungskosten tatsächlich sind, kann man zu diesem Zeitpunkt nicht abschätzen. Dafür müsste eine umfangreiche Marktanalyse in allen betreffenden Bereichen durchgeführt werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass durch eine Einführung einer automatisierten Montage und nach einer gewissen Amortisierungszeit erhebliche Kosteneinsparungen im Montagebau möglich sind.

8 Schlussfolgerungen und Fazit

Wie in dieser Arbeit aufgezeigt wurde, sind neue Verbindungsmittel für eine Automatisierung von Fertigteilmontage im Stahlbeton-Skelettbau unbedingt notwendig. Wie bei den Vorschlägen neuer Verbindungstechniken zusehen ist, sind diese sehr idealisiert dargestellt worden. Diese können jedoch eine Grundlage für weitere Untersuchungen genutzt werden.

Ein ganz schwerwiegender Punkt ist in den hohen Genauigkeitsanforderungen zu sehen. Ob diese im Rahmen gewisser Toleranzen auszuführen sind, kann man an dieser Stelle nicht abschätzen. Durchaus ist auch eine Kombination der verschiedenen vorgeschlagenen Varianten denkbar, um eine praktische Tauglichkeit zu erreichen. Dies muss man durch Prototypen und Versuche testen.

Das wesentliche Ziel dieser Arbeit bestand darin, eine Übersicht der aktuellen Fertigteilverbindungen zu erstellen und Vorschläge automatisierungsgerechter Verbindungsmitteln zu erarbeiten. Mit Sicherheit ist dies nur ein kleiner Schritt in dem Vorhaben, Fertigteilmontagen zu automatisieren. Es müssen noch viele weitere Punkte weiterentwickelt bzw. ausgebaut werden.

Gewiss kann doch gesagt werden, das in den Verbindungen der Stahlbetonfertigteile ein großes Potential steckt, was auszuschöpfen gilt.

9 Verzeichnisse

9.1 Quellenverzeichnis

9.1.1 Literatur

- [1] Bindseil, P.: Stahlbetonfertigteile unter Berücksichtigung von Eurocode 2, 2. Auflage. – Düsseldorf: Werner Verlag, 1998
- [2] Brandt, J.: Betonfertigteile im Skelett- und Hallenbau. – Bonn: Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V., 1993
- [3] Lauterbach, Anne: Studie zu bautechnischen Voraussetzungen für automatisierte Fertigteilmontagen. Diplomarbeit an der Bauhaus Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen: Weimar; 2005
- [4] Mork, L.; Löke, E.: Montagebau in Stahlbeton, Band 1. – Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, 1973
- [5] Paschen, H.; Sack, W.-M.: Maßtoleranzen und Passungsberechnung im Stahlbetonskelett-Fertigteilbau. – Wiesbaden und Berlin: Bauverlag, 1980
- [6] Schlapka, F.-J.; Tiltmann, K.; Helm, M.: Maßtoleranzen im Bild für Architekten und Ingenieure. – Augsburg: WEKA Bauverlage GmbH, 2000
- [7] Schmalhofer, O.: Hallen aus Beton-Fertigteilen. – Berlin: Ernst & Sohn, 1995
- [8] Schmitt, H.; Heene, A.: Hochbaukonstruktionen, 15. Auflage. – Wiesbaden: Vieweg, 2001
- [9] Steinle, A., Hahn, V.: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau. – Berlin: Ernst, 1998
- [10] Strupé Studienverein für das Bauen mit Betonfertigteilen, Niederlande: Kraftschlüssige Verbindungen im Fertigteilbau, Konstruktions-Atlas. – 2., überarbeitete Auflage. – Düsseldorf: Beton-Verlag, 1987

9.1.2 Internet

[I 1] www.sg-fertigbau.de/lib/vorlesungsreihe/31.05.2005%20-%20Umbau.pdf

Abrufdatum: 20.03.2006

[I 2] www.ad-media.net/betonarchiv/archiv/datenbank.php?art=1199

Abrufdatum: 20.03.2006

[I 3] www.sg-fertigbau.de/lib/verankerungen/imagemap/im_20.htm

Abrufdatum: 20.03.2006

[I 4] www.uni-stuttgart.de/ilek/Lehre/fertigteil/3FTElemente.pdf

Abrufdatum: 20.03.2006

9.1.3 Firmenmaterial

- [F 1] PEIKKO GmbH, PPM - Ankerbolzen und HPM – Ankerbolzen. – Waldeck, 2005
- [F 2] PEIKKO GmbH, PEC Stützenschuh. – Waldeck, 2003
- [F 3] PEIKKO GmbH, PKM Stützenschuh. – Waldeck, 2003
- [F 4] PEIKKO GmbH, PC Konsolensystem. – Waldeck, 2003

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Grundsysteme zur Aussteifung von Stahlbeton-Skelettbauwerken [4]	12
Abb. 2 Auswahl an Varianten zu den Grundsystemen [4]	12
Abb. 3 Stützenfundament als Fertigteil [7]	13
Abb. 4: Ausführungsformen von Stützen [I 4]	14
Abb. 5 Querschnittsformen von Unterzügen [2]	15
Abb. 6 Häufig verwendete Fertigteil-Deckenplatten [9]	16
Abb. 7 Definition der Begriffe [6]	17
Abb. 8 Normalverteilung der Maßabweichung [8]	18
Abb. 9: Anforderungen Verbindungsmittel [I 1]	21
Abb. 10: Ankerbolzen [F 1]	24
Abb. 11: Stützenschuh [F 2]	24
Abb. 12: Einfädeln der Stütze auf die Ankerbolzen [I 1]	25
Abb. 13: Vergießen der Mutteraussparungen und der Fuge [F 3]	26
Abb. 14: Verbindung Stütze-Stütze [I 1]	27
Abb. 15: Stützenstoß mit variablen Querschnitt [F 3]	27
Abb. 16 Stählerne Verbindung Stütze-Riegel [I 1]	28
Abb. 17: Konsolensystem zur gelenkigen Auflagerung von	29
Abb. 18: Konsolensystem für mehrseitige Verbindungen Stütze-Riegel [I 1]	29
Abb. 19: Riegelauflagerung auf Stützenkonsole [2]	30
Abb. 20: Verbindung Riegel-Riegel [I 3]	31
Abb. 21: Fugenverzahnung [9]	31
Abb. 22: Verbindung für Normal- und Schubkräfte in der Scheibenfuge [I 1]	32
Abb. 23: Stütze mit angeformten Stützenfuß	33
Abb. 24: Verbindung von Deckenplatten durch Stahlwinkel	34
Abb. 25: Klebeverbindung durch Zweikomponentenkleber	35
Abb. 26: Klickverbindung 1	35
Abb. 27 Klickverbindung 2	36
Abb. 28: Schraubverbindung	37
Abb. 29: Steckverbindung 1	37
Abb. 30 Steckverbindung 2	38
Abb. 31 Steckverbindung 3	38
Abb. 32 Klemmverbindung 1	39
Abb. 33 Klemmverbindung zur Montagesicherung einer Pendelstütze	39

Abb. 34 Klemmverbindung 2	40
Abb. 35 Gelenktragwerk mit aussteifendem Kern [2].....	48

9.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Grenzabmaße der Längen- und Breitenmaße [aus DIN 18203-1].....	19
Tab. 2: Grenzabmaße der Querschnittsmaße [aus DIN 18203-1]	19
Tab. 3: Winkeltoleranzen [aus DIN 18203-1].....	19
Tab. 4 Berechnungsansatz zur Kostengegenüberstellung	53

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Datum

Unterschrift

Thesen

1. Einer der wichtigsten Punkte beim Bauen mit Stahlbetonfertigteilen ist die Verbindung der einzelnen Teile miteinander.
2. Um Montagen vollständig automatisieren zu können, sind neue Verbindungstechniken notwendig.
3. Durch automatisierungsgerechte Verbindungstechniken können alle statischen Grundsysteme der Stahlbeton-Skelettbauweise realisiert werden.
4. Die Montagezeit wird durch automatisierungsgerechte Verbindungsmittel reduziert.
5. Die Herstellung automatisierungsgerechter Fertigteile mit entsprechenden Verbindungsmitteln erfordert höchste Präzision und Genauigkeit.
6. Einige Herkömmliche Verbindungsmittel sind durch geringe Modifizierungen für automatisierte Montagen geeignet.