

## 5

### **Berücksichtigung ausgewählter Montageverfahren**

Der Montageumfang wird weitgehend von der Art/Masse und Geometrie der einzelnen Ausrüstungen/Montageeinheiten bestimmt sowie der speziellen Einbausituation, die für die Montagetechnik mehr oder weniger Platz erfordert bzw. besondere Anforderungen an die termingerechte Anlieferung der Montageeinheiten stellt oder die Beachtung besonderer Sicherheitsvorschriften verlangt. Besondere Bedingungen aus der Montagedurchführung erfordern ihre frühzeitige Berücksichtigung in der Gestaltungsphase, da sie zu gestaltseinschränkenden Bedingungen führen können. Für die Ableitung von Empfehlungen für die Anlagenplanung werden wesentliche Anforderungen, die sich aus der Montagetechnologie der betrachteten speziellen Montageeinheiten oder der besonderen Montagesituation ergeben, behandelt.

Unter diesem Abschnitt werden Montageeinheiten vorgestellt, die aufgrund ihrer Aufstellungsart, Geometrie oder Abmessungen besonderen Gestaltungsanforderungen unterliegen, da sie im Prinzip nicht vergleichbare Technologien der Montage sowie unterschiedliche Probleme beim Transport und der Zwischenlagerung verlangen. Wie bereits erläutert, kann der Transportweg einer größeren Montageeinheit bis zu ihrem endgültigen Platz sehr vielgestaltig sein, abhängig von der jeweiligen spezifischen Anlagenstruktur und der zu bewegenden Montageeinheit. Die hieraus resultierenden Montageverfahren sind abhängig von

- dem Wirkprinzip des Verfahrens,
- der Art der zu montierenden Ausrüstung,
- den Fertigungs- und Liefermöglichkeiten der Herstellerbetriebe,
- den Transportmöglichkeiten vom Hersteller zum Montageort,
- den Platzverhältnissen am Montageort,
- der Art der eingesetzten Hebezeuge und
- dem Stand der Montagetechnik.

Aus dem vorgesehenen Montageverfahren resultieren die Anforderungen an die jeweiligen Montageeinheiten hinsichtlich Anordnung und Auslegung der Tragelemente (Anschlappunkte). Bei den Equipments, deren exponierte Stellung bereits bei der Ausrüstungsanordnung hervorgehoben wurde, wird die Montageeffektivität des Montageablaufes (z. B. Kolonnen) im wesentlichen durch die Auslastung und Einsatzzeit der Hebezeuge bestimmt. Dadurch ergeben sich besondere Bedingungen

für den Anlieferungszustand und die der Ausladung des Hebezeuges angepaßte Gestaltung von Vormontageeinheiten und den notwendigen Vormontageplatz (Größe, Lage, Ausrüstung mit Hebezeugen). Bei anderen speziellen Ausrüstungen bestimmt die Montagetechnologie, besonders die Anwendung hochproduktiver Schweißverfahren, die Gestaltung der Bauelemente der Montageeinheit (z. B. Tankbauwerke oder Kugelbehälter), so daß eine getrennte Betrachtung der speziellen Ausrüstungen zweckmäßig erscheint in:

- spezielle Ausrüstungen in vertikaler Aufstellung ( $l > d$ ),
- spezielle Ausrüstungen in vertikaler Aufstellung ( $l < d$ ),
- spezielle Ausrüstungen in horizontaler Aufstellung,
- Sonderbauformen (Kugelbehälter),
- Sonderanforderungen.

### 5.1

#### Spezielle Ausrüstungen in vertikaler Aufstellung ( $l > d$ )

Nachfolgende Ausführungen beziehen sich vorwiegend auf die Montage von Kolonnen, für ähnlich aufgebaute chemische Apparate lassen sich die Gestaltungsregeln zuordnen. Diese sind soweit wie möglich verallgemeinert, die speziellen Montagetechnologien erfordern jedoch in ihrer Abhängigkeit von der Anlagengestaltung (und umgekehrt) weitere Einzelaussagen zu Gestaltungsproblemen, die wiederum durch das notwendige Ausrichten bedingt und bestimmt sind. Grundsätzlich gilt die Forderung, daß in Abhängigkeit vom Transportmittel und -weg Kolonnen als Ganzes oder möglichst in großen Schüssen anzuliefern und zu montieren sind. Aussagen zum Stand der Transporttechnik wurden bereits in Abschnitt 4.8.1 gemacht. Dabei ist eine weitestgehende Komplettierung mit Stahlbauteilen, Dämmung, Rohrleitungsanschlüssen und Korrosionsschutz vor dem Aufrichten die wirtschaftlichste Variante.

Montagemethoden (Aufstellung), die unterschiedliche Gestaltungsanforderungen hervorrufen, sind:

- *Montage von Einzelteilen oder Schüssen*
  - Die örtliche Herstellung von Schüssen auf der Baustelle und deren Montage ist das aufwendigste Verfahren hinsichtlich Montagekapazität, Platzbedarf, Baustellenausrüstung und Montagekosten. Es ist daher nur anzuwenden bei größeren Kolonnendurchmessern. Es erfordert gesonderte Montagevorrichtungen zum Zusammenstellen und Verschweißen der Mantelsegmente sowie zusätzliche Spannvorrichtungen (Spannsterne und Knaggen), die die Schüsse von außen bzw. innen zusammenziehen, versteifen und ein Justieren (Kreisform) ermöglichen.
  - Die Schußmontage wird angewendet bei beengten Verhältnissen auf der Baustelle (Rekonstruktion), in Abhängigkeit der Tragfähigkeit der Transportmittel und Beschaffenheit der Transportwege. Sie besitzt ebenfalls einen geringen Vorfertigungsgrad und erfordert wegen der erforderlichen Rollenhöhe meist mittlere bis größere Hebezeuge.



**Abb. 5.1** Einschwenken einer komplettierten Kolonne  
(Werksfoto IMO Industriemontagen Merseburg GmbH)



**Abb. 5.2** Baustellenkomplettierung einer Kolonne  
(Werksfoto IMO Industriemontagen Merseburg GmbH)

Die Vertikalmontage von Schüssen am Aufstellungsort kann durch Aufstocken oder Unterziehen erfolgen. Beim Aufstocken wird mit der Montage des Fußteiles begonnen, auf das die folgenden Bauteile/Einheiten aufgesetzt werden (Abb. 5.3 und 5.4). Als Vorteile dieser Montagevariante ergeben sich, daß die Tragfähigkeit des Hebezeuges der Masse der einzeln zu hebenden Bauteile entspricht und das Hebezeug unter Last verfahrbar ist, während als Nachteile die erforderliche hohe Paßgenauigkeit der vorgefertigten Elemente, ein hoher Aufwand an Gerüsten zur Herstellung der Arbeitsbühnen und das Arbeiten in großen Höhen zu beachten sind. Beim Unterziehen beginnt die Montage allgemein mit dem Kopfteil der Montageeinheit, unter das die nachfolgenden Bauteile angesetzt werden. Für die Serienfertigung von Silos auf der Baustelle (Komplettierung aus angelieferten Einzelteilen) erfolgt die Montage durch Unterziehen in speziellen, witterungsgeschützten temporären Montageturmen. Abb. 5.5 zeigt einen derartigen Montageturm und die Bauelemente, Abb. 5.6 einen Blick in den Montageturm und Abb. 5.7 das Ausfahren des kompletten Silos zur Endmontage in die Stahlbaukonstruktion.

– *Montage in einem Stück*

- Mit Spezialgeräten, Flaschenzügen und Winden (z.B. Baumast, Hubportal, Zugseile, hydraulisch angetriebene Hubtraversen, Druckstützen usw.). Da der Einsatz oft nur für spezielle Baustellen (Sonderanfertigung) gilt, später nicht



Abb. 5.3 Schußmontage einer Kolonne (Werksfoto MAMMOET DEUTSCHLAND GmbH HNL Leuna)

mehr oder nur unter erhöhtem Aufwand nutzbar gemacht werden kann, wird auf den Einsatz mobiler Hebezeuge orientiert.

– *Einkranmontage*

- Mittels Traverse an standardisierten Hebepratzen oder Tragösen mit dem Nachteil des notwendigen Nachführens des Kolonnenfußes, das ein weiteres Hebezeug erfordert (ein Nachgleiten auf Gleitblechen führt zu keiner schonenden Behandlung empfindlicher Teile der Kolonne und ist zu vermeiden).
- Mittels Kippgelenk (Scharnier), das fest mit dem Fundament verbunden ist, Prinzip der Drehung um eine Achse. Für die Ausbildung mit Kippgelenk bestehen spezielle Gestaltungsanforderungen für die Kolonne und deren Fuß-



Abb. 5.4 Schußmontage eines Kamins  
(Werksfoto Borsig GmbH Berlin)

konstruktion einschließlich Fundamentausbildung. Über die Ausbildung des Kippgelenkes und der damit verbundenen weiteren Anforderungen liegen Untersuchungen von Charas [231] vor, zur Ermittlung der Ausladung und Hakenhöhe in [232]. Insbesondere in der Literatur der ehemaligen Sowjetunion über die Montage schwerer Ausrüstungen sind weitere Verfahren, z. B. mittels Klappstützen, hydraulische Hebeverfahren oder Hochdrücken mittels Druckstützen und ihre Einsatzgrenzen dargestellt. Abb. 5.9 enthält einige Montagelagen dieser Variante im Modell.

- *Mehrkranmontage*: Diese besondere Art des Kraneinsatzes bedarf aufgrund der Möglichkeit des Auftretens von Schrägzügen und Lastverlagerungen einer exakten und sorgfältigen Vorbereitung. Voraussetzungen und Bedingungen sind allgemein:



**Abb. 5.5** Temporärer Montageturm für die Vormontage von Silos (Werksfoto Zeppelin Silo- und Apparatechnik GmbH Friedrichshafen)



**Abb. 5.6** Montagebereich, Vorteil: Konstanz der Arbeitsbühne (Werksfoto Zeppelin Silo- und Apparatechnik GmbH Friedrichshafen)



**Abb. 5.7** Ausfahren des kompletten Silos aus dem Montage-  
turm (Werksfoto Zeppelin Silo- und Apparatechnik GmbH  
Friedrichshafen)



**Abb. 5.8** Einkranmontage einer Kolonne  
(Werksfoto IMO Industriemontagen Merseburg GmbH)

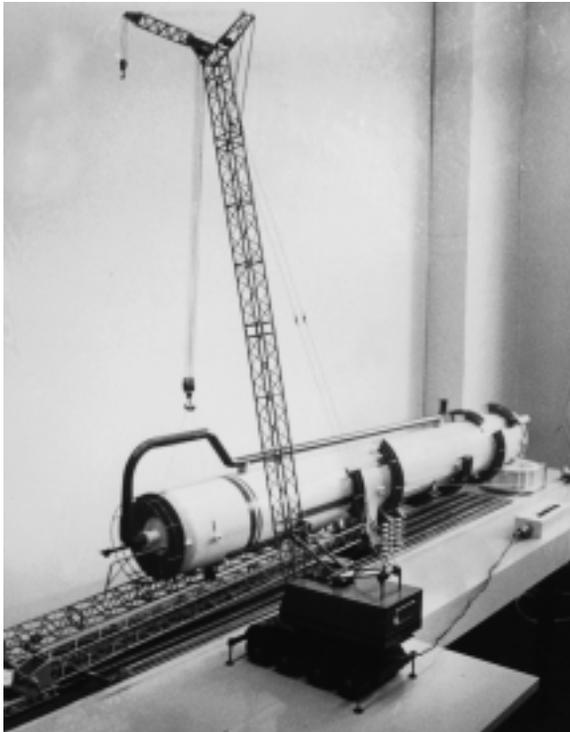
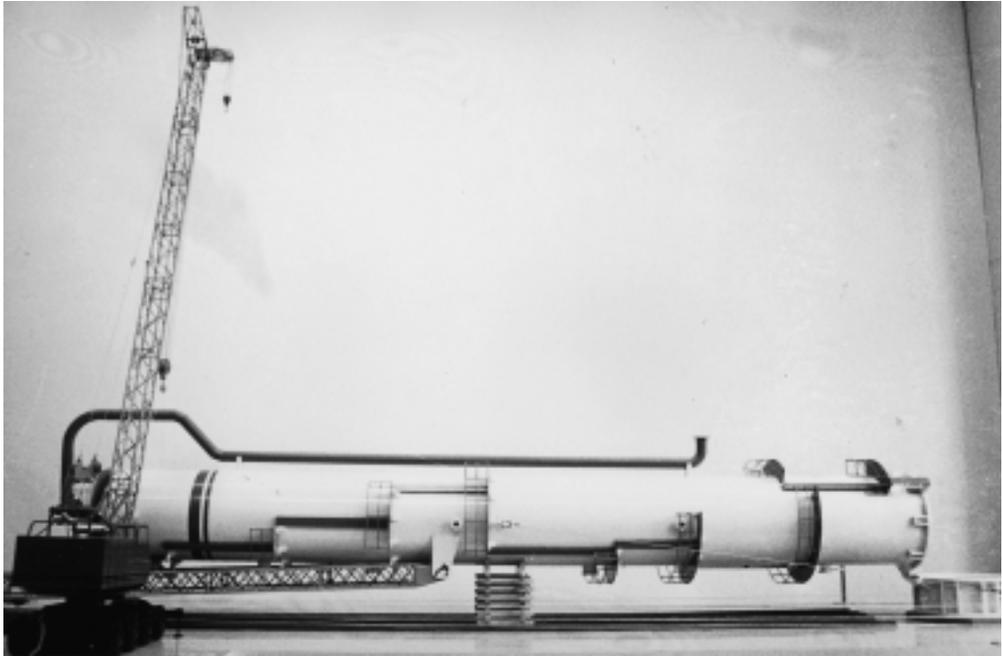


Abb. 5.9 Montagenlagen der Kolonnen beim Hochdrücken

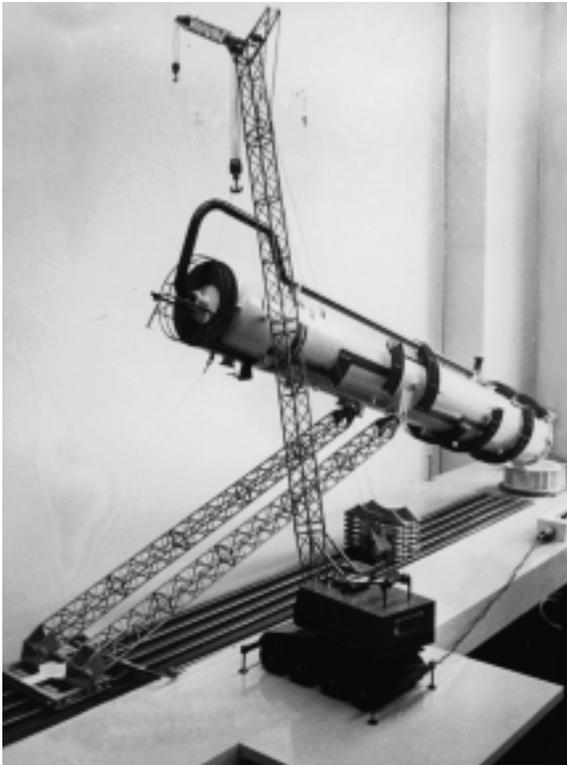
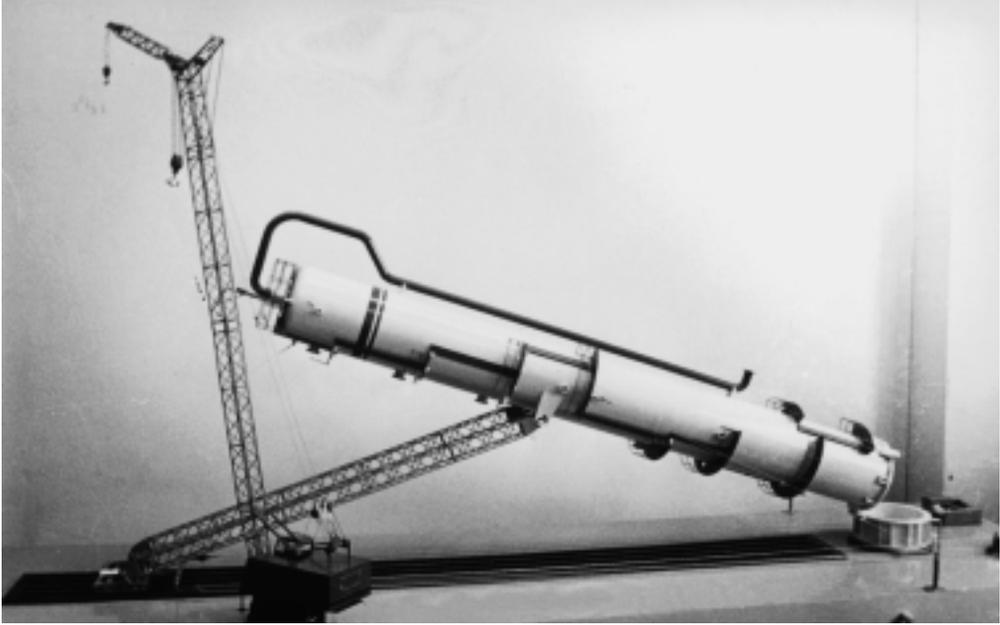


Abb. 5.9 Fortsetzung

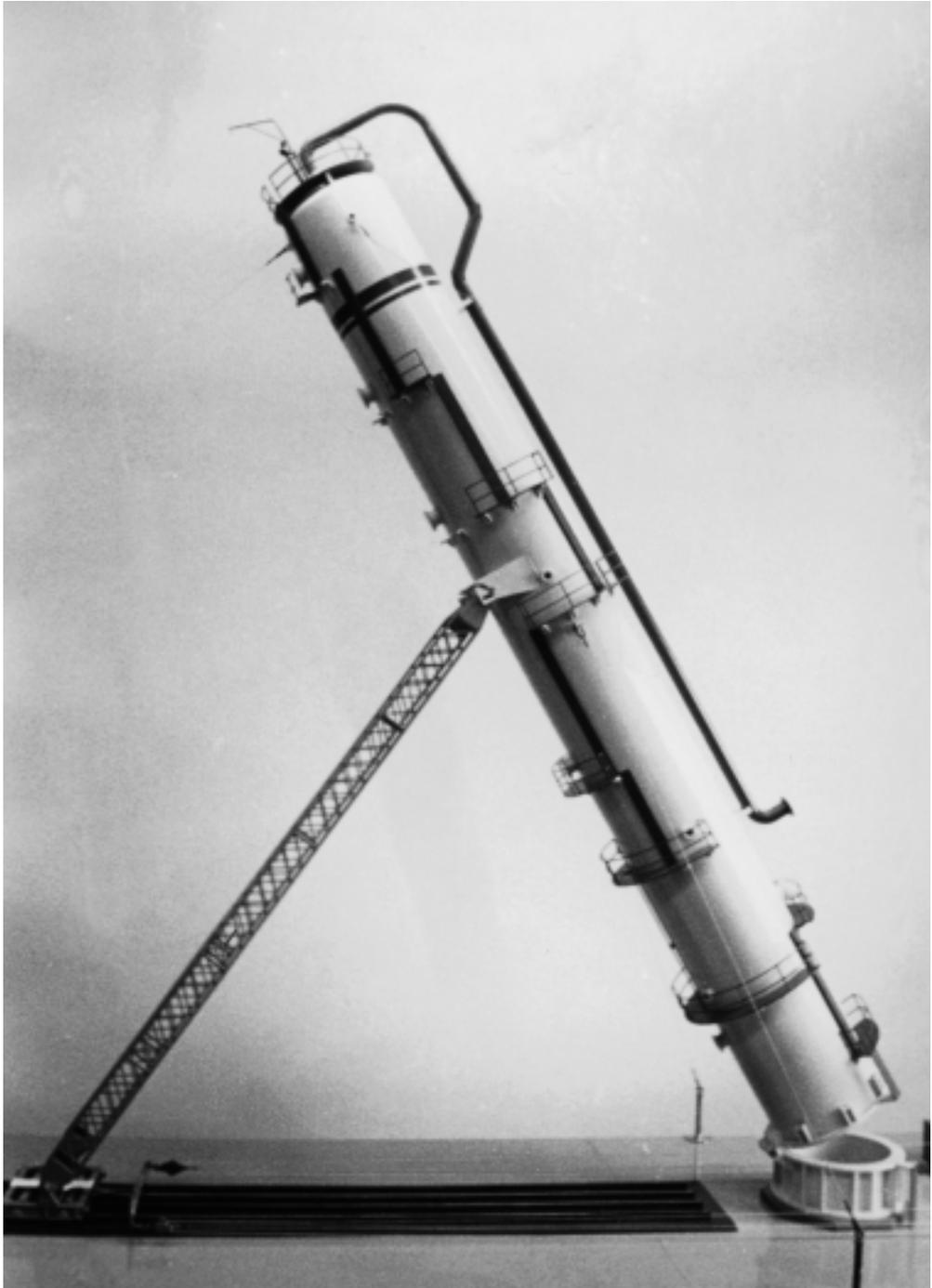


Abb. 5.9 Fortsetzung



Abb. 5.9 Fortsetzung



Abb. 5.10 Mehrkranmontage (Werksfoto Hans Esser Gesellschaft für Industrie- und Rohrleitungsbau Gelsenkirchen)

- Einsatz gleicher Krantypen mit gleichen Auslegerlängen und gleicher Ausladung,
- Gewährleistung einer hohen Sicherheit gegen Gefahren infolge Überlastung und unbeabsichtigtem Schrägzug,
- Vermeidung von Lastverlagerungen durch abgestimmte Arbeitsbewegungen und Einhalten gleicher Niveaulinien,
- Darstellung des Lastweges und der Lastverteilung,
- Gewährleistung synchroner Arbeitsabläufe,
- Festlegung der Arbeitsabläufe und Anschlagprinzipien.

Gestaltungsanforderungen ergeben sich aus den einzelnen notwendigen Handlungen:

– *Sicherung der Transportfähigkeit*

- Die Gestaltung von Anbauten (Bühnen, Podeste) sollte nach Möglichkeit so erfolgen, daß sie die Funktion des Auflagers während des Transportes und der evtl. notwendigen Zwischenlagerung übernehmen können. Ist dies nicht möglich, sind Sonderkonstruktionen erforderlich.

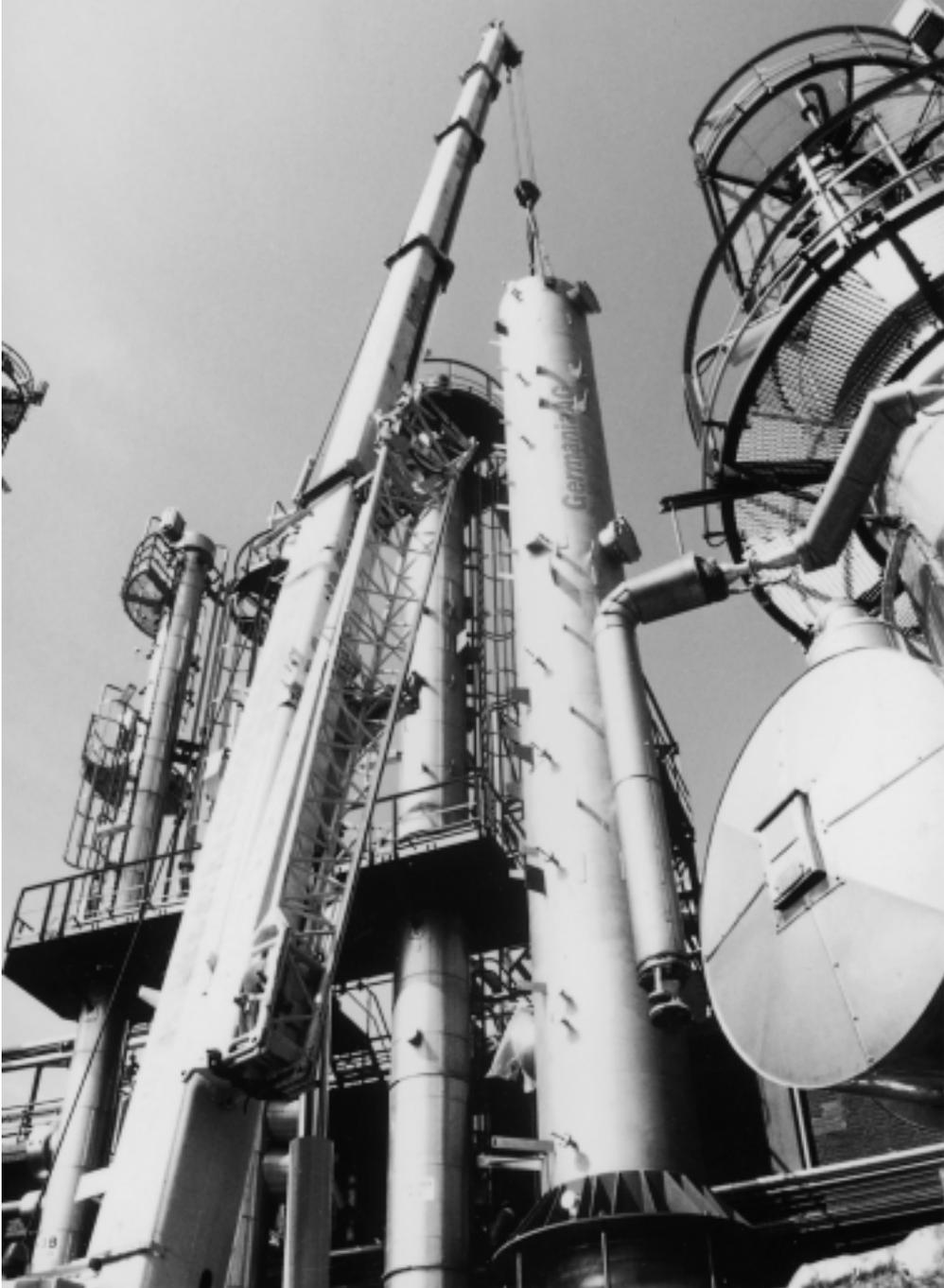


Abb. 5.11 Mehrkranmontage (Werksfoto BASF AG Ludwigshafen)

- Die Transportlage ist so festzulegen, daß sie der erforderlichen Lage für die Aufnahme durch das Baustellenhebezeug entspricht, um aufwendige Lageveränderungen zum Anschlagen zu vermeiden. Abweichungen sind nur vorzusehen, wenn Anbauten durch die so geforderte Transportlage das Regellichtraumprofil überschreiten und damit zu Mehrkosten führen.
  - Bei der Festlegung des optimalen Komplettierungsgrades sind die Möglichkeiten der Transporttechnik zugrunde zu legen.
- *Sicherung der Vorbereitung*
- Bei Teilanlieferungen (Schußmontage) sind die Schweißnahtvorbereitungsflächen 50 mm breit überschweißbar zu konservieren, alle Einbauten sind kon-

serviert anzuliefern. Kolonnen erhalten einen Transportschutzanstrich, wenn keine anderen Forderungen gestellt werden.

- Alle Teile, die einzeln angeliefert werden, sind eindeutig und dauerhaft zu signieren.
  - An den Kolonnen, die aus Schüssen montiert werden und die wärmegeämmt sind, sind Markierungen anzubringen, die aus der Dämmung herausragen, um ein ordnungsgemäßes Nivellieren zu ermöglichen.
  - Auf den Ausrüstungen sind die Achsen zu kennzeichnen, insbesondere die 0°-Achse (bei Schußmontagen auch an den Teilschüssen).
- *Sicherung der Lagerfähigkeit*
- Ist eine Zwischenlagerung erforderlich, sollte sie nach Möglichkeit im Hakenbereich des Hebezeuges liegen.
  - Bei Anlieferung schwerer Ausrüstungen ist die zulässige Bodenbelastbarkeit auf der Baustelle zu berücksichtigen. Aufwendige Erdstabilisierungsmaßnahmen durch zu hohen Bodendruck (z. B. durch Betonelemente u. dgl.) sind allgemein nur bei kompletter Anlieferung gerechtfertigt. Bei der Festlegung möglicher Vormontagemassen ist eine Aufwandsrechnung durchzuführen, falls Erdstabilisierungsmaßnahmen notwendig werden.
- *Sicherung der Zuführbarkeit*
- Unter Berücksichtigung der Aufstellungsplanung ist durch Standortwahl des Hebezeuges und Gestaltung der zu montierenden Ausrüstung (oder Teilausrüstung) eine optimale Nutzung der Hebezeuge und ihrer Tragfähigkeit zu gewährleisten. Die Abstimmung der Hebezeuge mit den Montagemassen muß so erfolgen, daß Umsetz- und Rüstarbeiten von Hebezeugen möglichst vermieden werden
  - Die für den Transport und die Montage erforderliche Masse der Montageeinheiten muß stimmen, um nicht Probleme bei der Hebezeugnutzung durch Überschreitung der zugrunde gelegten Lasten zu verursachen.
  - Mehrteilige Ausrüstungen sind so zu gestalten, daß eine optimale Montage (wenig Hübe, Massen mit zunehmender Höhe abnehmend) gewährleistet wird.
  - Nach der Komplettierung auf dem Vormontageplatz ist durch Anbringen zusätzlicher Bauteile ein exentrischer Lastangriff (außermittige Lasten) zu vermeiden.
  - Der zugehörige technologische Stahlbau ist so zu gestalten (Segmentunterteilung oder schraubbar), daß nach Komplettierung auf dem Vormontageplatz beim Aufrichten ausreichende Seilfreiheit besteht. Gleichmaßen sind Stützen so anzuordnen, daß eine Behinderung oder Beschädigung während des Montageprozesses ausgeschlossen ist.
  - Bei Einsatz von zwei oder mehreren Hebezeugen zum Bewegen einer Last ist zu beachten, daß eine Lastverlagerung (größenmäßige Veränderung der anteilmäßig auf die zusammenwirkenden Hebezeuge und weiterhin ein Schrägzug (Veränderung der senkrechten Lage des Kranhubseiles) in beliebiger Richtung durch Höhenunterschiede der Anschlagpunkte (ungleicher Zug), ungleichmäßige Geschwindigkeiten der Krane bzw. ungleichmäßiges Ausschalten der Kranantriebe auftreten können.



**Abb. 5.12** Zuführen einer Kolonne zum Fundament  
(Werksfoto Germania AG Apparate- und Stahlbau Chemnitz)

- Entsprechend der jeweiligen Montagetechnologie sind die erforderlichen Anschlagpunkte und -elemente vorzusehen. Bei Schußmontagen ist jede vormontierte Einheit ebenfalls entsprechend auszurüsten.
- *Sicherung der Positionierbarkeit*
- Entsprechend den Forderungen zur baulichen Gestaltung sind die 0°-Achsen der Ausrüstungen auf den Fundamenten zu markieren, um die Positionierung zu erleichtern.
  - Komplizierte Paßarbeiten sind grundsätzlich in den Fertigungsbetrieb zu verlegen. Dabei ist zu beachten, daß der Einsatz von Schablonen und Vorrichtungen zur Erleichterung und Rationalisierung des Positionierens eine hohe Fertigungsgenauigkeit der Auflageflächen und Befestigungs-/Verankerungsmöglichkeit erfordert.
- *Sicherung der Montagefähigkeit*
- Der Anlieferungszustand ist so zu wählen, daß den auf der Baustelle tätigen Komplettierungsgewerken ausreichende Zugänglichkeit zu allen Komplettierungsstellen auf dem Vormontageplatz bzw. nach dem Aufrichten gewährt wird.
  - Bei Schußmontagen sind Stützen, Arbeitsöffnungen, Einbauten (sofern nicht ausdrücklich ausgeschlossen) im Fertigungsbetrieb einzubauen.
  - Der „Lastfall Montage“ ist exakt zu erfassen. Hierbei ist durch konstruktive Maßnahmen zu sichern, daß die Belastungszustände bei Prüfung, Transport, Mon-



**Abb. 5.13** Vorbereitung des Kolonnenfundaments  
(Werkfoto Germania AG Apparate- und Stahlbau Chemnitz)

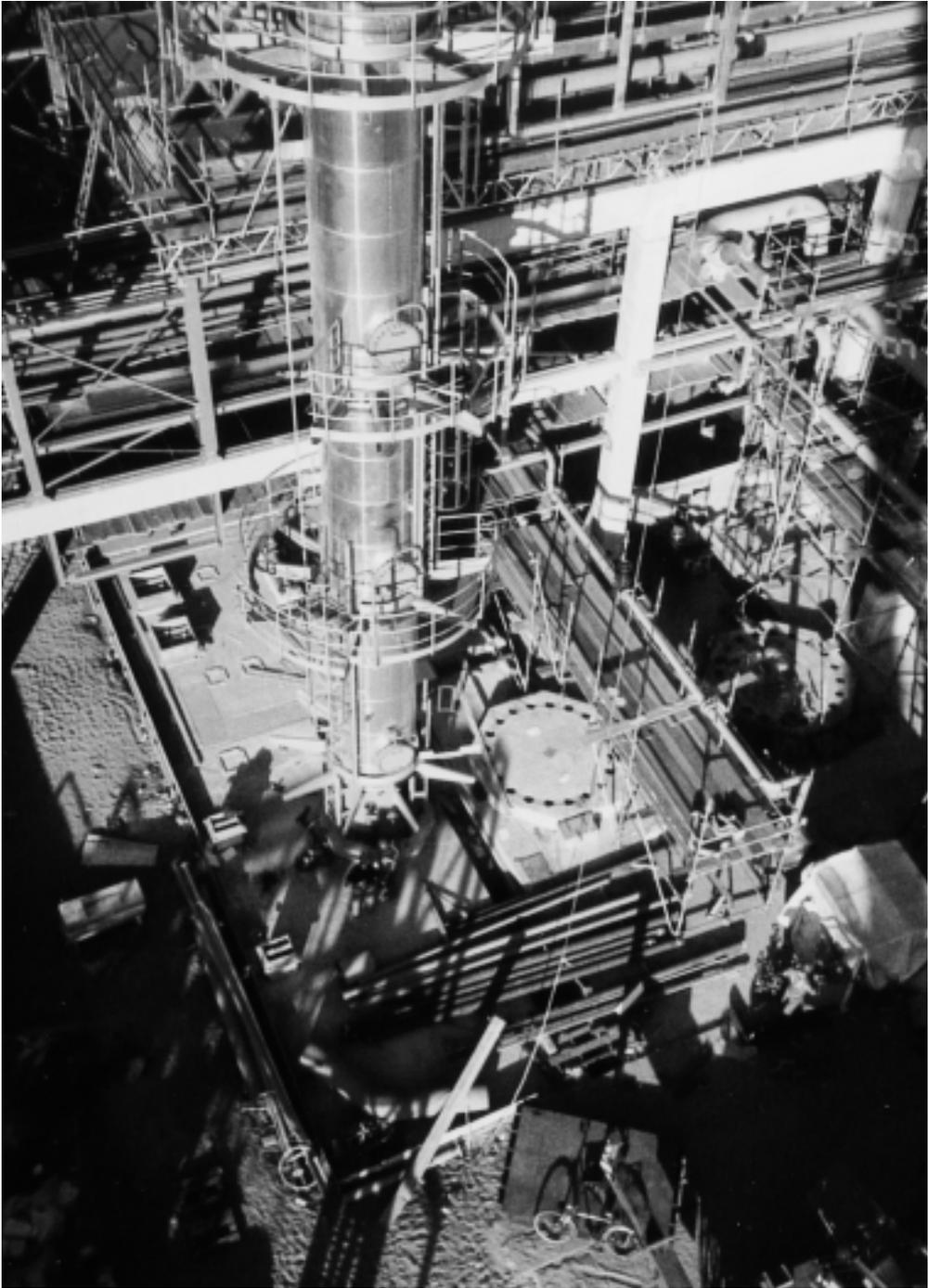


Abb. 5.14 Setzen einer Kolonne (Werkfoto IMO Industriemontagen Merseburg GmbH)



**Abb. 5.15** Kolonnenfundamentausbildung  
(Werksfoto IMO Industriemontagen Merseburg GmbH)

tage und Reparatur nicht ausschlaggebend für die Dimensionierung werden. Notwendige Nachweise können z. B. nach [233] und [234] geführt werden.

- Werden Kolonnen mit Kippgelenk versehen, sind folgende Bedingungen zu berücksichtigen:
  - Anlieferung komplett, biegesteif, mit angebautem Kippgelenk, Tragelementen und zusätzlichen Montageösen am Kolonnenkopf, senkrecht zur Kippgelenkachse,
  - Einbauten (Böden) lose (Segmente) liefern und nach Aufrichten montieren durch Arbeitsöffnungen,
  - um nochmaliges Drehen im Hakenbereich zu vermeiden, soll der Kolonnenfuß am Ende des Transportfahrzeuges gelagert werden (rückwärtiges Heranfahren an das Fundament),
  - das unmittelbare Ablegen vom Transportfahrzeug soll so erfolgen, daß die Bodenplatte des Tragstuhles auf dem Fundament befestigt und nach Anheben des Kolonnenkopfes das Transportfahrzeug aus dem Kolonnenbereich gezogen werden kann (Ablegen auf Schwellenstapeln),
  - Komplettierung durch Rohrleitungen, MSR und Stahlbau bis auf die Flächen, die auf dem Schwellenstapel liegen.
- *Sicherung des fügegerechten Gestaltens*
  - Bei der Schußmontage sind Forderungen aus der Lagesicherung zu beachten. Zu fügende Teile müssen erst in ihrer Lage gesichert werden, ehe das Lastauf-

nahmemittel des Hebezeuges vom Bauteil gelöst werden darf. Gegenüber der Lagesicherung durch Verkeilen, Abstützen oder Abspannen ist das Schweißen am Kran als Lagesicherung (Heftschweißung) wirtschaftlicher, erfordert jedoch isolierende Lastaufnahmemittel.

- Bei Anwendung von Auflageringen sind deren Lage im Herstellerwerk anzuzeichnen und eindeutig haltbar zu kennzeichnen.
  - Bei vorkomplettierten Schüssen sollten 1,5 m unterhalb und 1 m oberhalb von Montagenähten keine Einbauten vorhanden sein (nur deren Auflagemöglichkeiten), um ein ungehindertes Schweißen zu ermöglichen und Demontagen zu vermeiden.
  - Für notwendige Schweißarbeiten in Höhenlage ist auf die Verwendung von Hängerüstungen zu orientieren, wenn es der Komplettierungsgrad der Ausrüstungen zuläßt (notwendiges Anschweißen von Seilsicherungsknaggen).
- *Sicherung des prüf- und kontrollgerechten Gestaltens*
- Für Ein- und Anbauten, die auf der Baustelle komplettiert werden, ist eine Probemontage im Herstellerwerk vorzunehmen (Signierung beachten).
  - Abnahmepflichtige An- und Einbauten sind beim Hersteller zu prüfen und soweit wie möglich dort einzubauen.
  - Vor dem Aufrichten der Apparate muß die Achslage auf dem Fundament gekennzeichnet sein.
  - Bei Kolonnen mit Austauschböden ist im allgemeinen je Austauschbodentyp eine Probemontage im Kolonnenkörper durchzuführen.
  - In Verbindung mit der zulässigen Mittenabweichung beim Ausrichten der Kolonnen ist zu beachten, daß die zulässige Abweichung des Kolonnenkörpers von der Geradlinigkeit, bezogen auf seine Gesamtlänge, nicht größer als 0,15 % der Länge des Kolonnenmantels, max. jedoch 50 mm betragen darf.
- *Zusätzliche allgemeine Forderungen*
- Für den Boderein- und -ausbau sind Anschlagmöglichkeiten für Hebezeuge vorzusehen.
  - Apparatebühnen sind für das zusätzliche Aufstellen von Rüstungen für Anstricharbeiten und Wärmedämmung auszulegen. Die Bühnenkonstruktion ist allgemein nach DIN 28 017 Teil 1 [235] bei einer Bühnenbreite von 1200 mm mit einer Flächenlast von 2,0 kN/m<sup>2</sup> oder einer Einzellast von 3,0 kN (DIN 1055 Teil 1 [236]) ausgelegt.
  - An schlecht zugänglichen Apparate- und Rohrleitungsteilen sind Anhängeösen für das Aufstellen einer Behelfsrüstung vorzusehen.

Für die Montage von Silos gelten im Prinzip die gleichen Gestaltungsregeln, ihr Antransport kann entweder komplett auf die Baustelle erfolgen, mit anschließender Zwischenlagerung und Reihenmontage, oder in vormontierten Teilen, mit Komplettierung auf dem Vormontageplatz und anschließender Montage. Vorteilhaft bei diesen Ausrüstungen ist die Möglichkeit des Transportes als sog. Einstecksilos, die die Transportkosten reduzieren und eine einfache und schnelle Montage vor Ort ermöglichen. Voraussetzung für diese Bauweise sind erstklassige Fertigungsqualität und maximale Präzision.

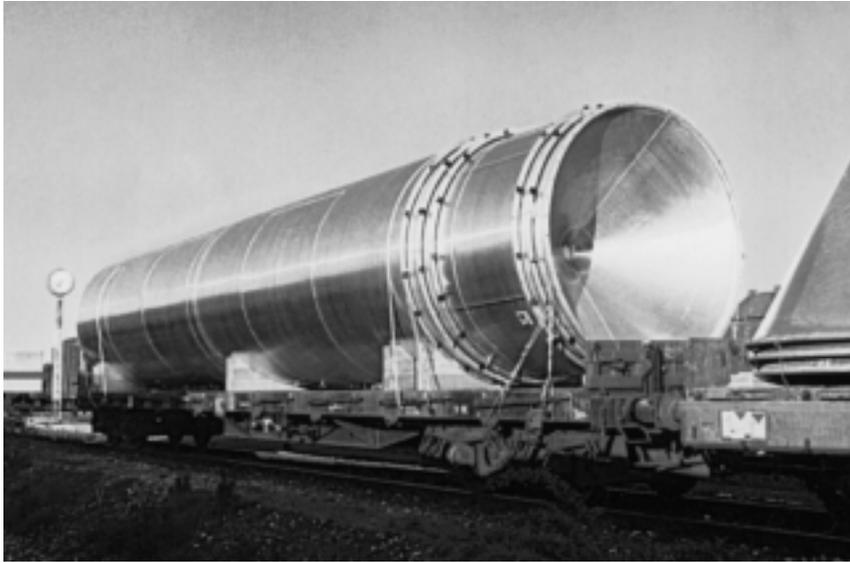


Abb. 5.16 Transport von „Einsteck“-Silos (Werksfoto Zeppelin Silo- und Apparatechnik GmbH Friedrichshafen)

## 5.2

### Spezielle Ausrüstungen in vertikaler Aufstellung ( $l < d$ )

Nachfolgende Ausführungen beziehen sich auf die Montage stehender, zylindrischer Behälter mit glattem Boden und unterschiedlicher Dachform für die Lagerung von Flüssigkeiten (Tankbauwerke). Durch ihre Abmessungen sind sie durch eine Montage aus überwiegend Einzelelementen am Endmontageort und geringem Vorfertigungsgrad gekennzeichnet. Nur in Ausnahmen können der Transport und das Aufstellen in einem Stück erfolgen.

Als Montagetechnologien kommen zur Anwendung:

- *Konventionelle Plattenbauweise:* Gekennzeichnet durch eine Montage von unten nach oben, d. h. nach der Montage des doppelwandigen Bodens erfolgt die Montage des zylindrischen Mantels schußweise in horizontalen, parallelen Ringen einschließlich ihrer Anbauten und Anschlüsse, nachfolgend das Dach (bei Festdachtanks). Nachteilig ist, daß zum Schweißen der Zwangslagennähte mit steigender Mantelhöhe Rüstungen notwendig sind (komplettes Einrüsten) und über die gesamte Montagezeit Hebezeuge mit entsprechender Ausladung zur Verfügung stehen müssen und der nächste Schuß erst montiert werden kann, wenn der vorausgehende verschweißt ist.

Der Einsatz von rationellen Schweißverfahren ist möglich, kann aber nicht unter stationären bzw. halbstationären Bedingungen erfolgen. Witterungsschutz ist kaum gegeben. Dem „Lastfall Montage“ (Windstaudruck und Sog) ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen (oben offener Zylinder größeren Durchmessers,