

Eberhard Wegener

# Montagegerechte Anlagenplanung





*E. Wegener*

**Montagegerechte Anlagenplanung**

**Weitere empfehlenswerte  
Bücher:**

Sattler, K., Kasper, W.

**Verfahrenstechnische Anlagen**

Planung, Bau und Betrieb

2 Bände

2000

ISBN 3-527-28459-1

Vogel, H.

**Verfahrensentwicklung**

Von der Ideenfindung  
zur chemischen Produktionsanlage

2002

ISBN 3-527-28721-3

Helmus, F. P.

**Anlagenplanung**

Von der Anfrage bis zur Abnahme

2003

ISBN 3-527-30439-8

Koolen, J. L. A.

**Design of Simple and  
Robust Process Plants**

2001

ISBN 3-527-29784-7

Ebert, B.

**Technische Projekte**

Abläufe und Vorgehensweisen

2002

ISBN 3-527-30208-5

Wegener, E.

**Festigkeitsberechnung  
Verfahrenstechnischer Apparate**

2002

ISBN 3-527-30454-1

*Eberhard Wegener*

## **Montagegerechte Anlagenplanung**



**WILEY-  
VCH**

WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA

**Prof. Dr.-Ing. Eberhard Wegener**  
Technische Fachhochschule Wildau  
Fachbereich Ingenieurwesen/  
Wirtschaftsingenieurwesen  
Apparate- und Anlagentechnik  
Bahnhofstraße  
15745 Wildau

Umschlagfoto:  
Mit freundlicher Genehmigung  
der BASF AG, Ludwigshafen.

■ Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

#### **Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© 2003 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

**Satz:** Typomedia GmbH, Ostfildern

**Druck:** Strauss Offsetdruck GmbH, Mörlenbach

**Bindung:** Litges & Dopf, Heppenheim

Printed in the Federal Republic of Germany.

ISBN 3-527-30626-9

## Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	<i>IX</i>
	Glossar	<i>XIII</i>
<b>1</b>	<b>Einführende Bemerkungen</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Die Anlagenmontage und ihre Besonderheiten</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Dokumentationen aus dem Prozeß der Anlagenplanung</b>	<b>19</b>
3.1	Process Design	21
3.2	Basic Engineering	22
3.3	Detail Engineering	27
3.4	Unterlagen aus der Anlagenstrukturierung	28
3.4.1	Lageplangestaltung	28
3.4.2	Aufstellungsplanung	40
3.4.3	Rohrleitungsplanung	43
3.4.4	Fundament- und Durchbruchplan	53
3.5	Modelle im Anlagenbau	58
3.6	CAE im Anlagenbau	63
3.7	Technische Erläuterungen	66
<b>4</b>	<b>Ansatzpunkte für die Optimierung der Montagezeiten und -kosten</b>	<b>69</b>
4.1	Veränderung des Arbeitsgegenstandes	70
4.1.1	Möglichkeiten zur Verringerung der Bauelementezahl insgesamt	71
4.1.2	Verringerung der auf der Baustelle zu montierenden Anzahl von Bauelementen	71
4.1.3	Verringerung der Ausrüstungsvielfalt	75
4.1.4	Anpassungsmöglichkeiten des Arbeitsgegenstandes	75
4.2	Veränderung der Arbeitsmittel	76
4.3	Veränderungen der konkreten Arbeitsumwelt	78
4.4	Veränderung der Montageverfahren	80
4.5	Verbesserung der Montageorganisation	81
4.6	Berücksichtigung des „Lastfalles Montage“ als Sonderlastfall	85

- 4.7 Zuordnung der Rationalisierungsmöglichkeiten im Planungs- und Realisierungsprozeß 89
- 4.8 Korrespondierende Einflußgrößen 99
  - 4.8.1 Transport zur und auf der Baustelle 99
  - 4.8.2 Baustelleneinrichtung, Montagefreiheit und Winterbau 121
  - 4.8.3 Gerüstbauarbeiten 133
  - 4.8.4 Korrosionsschutzarbeiten 144
  - 4.8.5 Dämmungsarbeiten 154
  - 4.8.6 Vermeidung „montagefremder“ Leistungen 171
  - 4.8.7 Montageleistungen aus der Anlagenkennzeichnung 188
  - 4.8.8 Montageleistungen zur Inbetriebnahme 191
  - 4.8.9 Berücksichtigung der Instandhaltung 198
- 5 Berücksichtigung ausgewählter Montageverfahren 207**
  - 5.1 Spezielle Ausrüstungen in vertikaler Aufstellung ( $l > d$ ) 208
  - 5.2 Spezielle Ausrüstungen in vertikaler Aufstellung ( $l < d$ ) 227
  - 5.3 Spezielle Ausrüstungen in horizontaler Aufstellung 234
  - 5.4 Sonderbauformen 238
  - 5.5 Hubschraubermontage (Kranflug) 253
  - 5.6 Blockmontage (Package Units) 258
  - 5.7 Kombinierte Bau-Ausrüstungsmontage (KBAM) 268
  - 5.8 Vorgefertigte Rohrleitungen 276
  - 5.9 Stahlbau 288
  - 5.10 Rekonstruktion/Erweiterung 292
- 6 Arbeitsmittel für die Anlagenmontage 301**
  - 6.1 Hebezeuge 301
  - 6.2 Arbeitsmittel für die Rohrleitungsmontage 316
- 7 Gestaltungsregeln zur Gewährleistung einer montagegerechten Anlagengestaltung 331**
  - 7.1 Arbeitshilfen zur Gewährleistung der montagegerechten Darstellung in den Dokumentationsteilen 332
  - 7.2 Arbeitshilfen im Rahmen der Realisierung 334
  - 7.3 Gestaltungsregeln 335
    - 7.3.1 Regeln zur Gestaltung im Basic Design 335
    - 7.3.2 Regeln zur Ausrüstungsauswahl 337
    - 7.3.3 Regeln zur Ausrüstungsanordnung 338
    - 7.3.4 Regeln für die bauliche Gestaltung 344
    - 7.3.5 Regeln zur Gestaltung von Rohrleitungen 349
    - 7.3.6 Regeln für die Gestaltung von Montageeinheiten 374
    - 7.3.7 Spezielle Hinweise für die Wärmebehandlung von geschweißten Großbauteilen 396



<b>8</b>	<b>Bewertungsproblematik und -ablauf für die montagegerechte Anlagengestaltung</b>	<b>399</b>
8.1.	Ausführungen zur Bewertungsproblematik	399
8.2.	Beurteilung des Gestaltungsentwurfes	403
8.3.	Beurteilung der Gestaltungslösung	405
8.4.	Beurteilung der Vor- und Nachbereitungsmöglichkeiten	406
8.5.	Check-Listen	407
8.5.1.	Check-Liste zur Beurteilung der Anlagengestaltung in einer ersten Stufe (Entwurfslösung)	408
8.5.2.	Check-Liste zur Beurteilung der Anlagengestaltung in der zweiten Stufe (Gestaltungslösung)	412
8.5.3.	Check-Liste zur Beurteilung der Anlagengestaltung in der dritten Stufe (Gestaltungslösung)	414
<b>9</b>	<b>Bemerkungen zum Planungs- und Realisierungsablauf</b>	<b>417</b>
9.1	Aufgabenabgrenzung im Planungsprozeß	417
9.2	Montageplanung	417
9.3	Montagetechnologische Dokumentation	436
<b>10</b>	<b>Schlußbemerkungen</b>	<b>439</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>441</b>
	<b>Anlagen</b>	<b>455</b>
	<b>Register</b>	<b>507</b>



## Vorwort

Die Planung verfahrenstechnischer Anlagen stellt eine komplexe Tätigkeit dar, bei der die Spezialisten verschiedener Fachgewerke zusammenwirken, um eine optimale Gestaltung der Anlage zu sichern. Der Anlagenbau selbst bildet dabei ein wichtiges Bindeglied zwischen den an der Vorbereitung, der Realisierung und dem Betrieb dieser Anlagen beteiligten Fachdisziplinen. Die mit der Planung im Zusammenhang stehenden Entscheidungen, die später oft nur unter schwierigsten Bedingungen und in jedem Fall mit Verlusten korrigiert werden können, beeinflussen somit auch direkt den Kosten- und Zeitrahmen für die Realisierung sowie die späteren Gebrauchseigenschaften der Anlage. Aus diesem Grund muß der Planer (Projektant) die realisierbaren Lösungen bis ins Detail erarbeiten, diverse Unterlagen sichten und auswählen und dabei im Stadium der Planung bereits Einflüsse des Transportes, der Montage, der Inbetriebnahme, des Betriebes und auch der Instandhaltung mit einbeziehen, denn in dieser Phase werden u. a. die wesentlichen Bedingungen für die Montagedurchführung fixiert, wie z. B. die möglichen bzw. erforderlichen Arbeitsmittel für die Montage, der Montageaufwand und das Anwenden rationeller Montagemethoden durch die geometrische Struktur der Anlage sowie Lage, Form, Abmessungen und Masse der zu montierenden Ausrüstungen und der sie verbindenden Rohrleitungen.

Mit dem vorliegenden Buch werden dafür verallgemeinerungsfähige Aussagen getroffen, soweit möglich mit entsprechendem Bildmaterial belegt und vor allem die an die Planung gestellten Anforderungen mit entsprechenden Lösungsmöglichkeiten berücksichtigt. Dabei wird vorausgesetzt, daß der Planungsingenieur die Begründung für diese Anforderungen anerkennt, um auch die Konsequenzen seiner Tätigkeit in dieser Hinsicht überblicken zu können. In dieser Form ergänzt das Buch die vorliegende Fachliteratur auf dem Gebiet der Planung und dem Bau verfahrenstechnischer Anlagen mit dem Aspekt einer montagegerechten Anlagenplanung, die zugleich Gemeinsamkeiten mit den Planungserfordernissen aus der Inbetriebnahme und der Instandhaltung berücksichtigt.

Das vorliegende Buch wendet sich an Ingenieure, die sich mit der Planung und Realisierung verfahrenstechnischer Anlagen befassen und einen mehr oder weniger großen Erfahrungsschatz auf diesem umfangreichen Gebiet besitzen. Für sie wird daher nicht immer das Detailproblem und seine Lösung neu sein, eher die methodische Lösungsfindung. Da in der verfahrenstechnischen Ausbildung an den Hoch-

schulen aus der Sicht des Stoff-Zeit-Problems auch kaum Zeit für die genannte Problembehandlung zur Verfügung steht, wendet sich das Buch daher auch an Studierende der Studienrichtungen Verfahrenstechnik, Maschinenbau und relevanter Fachrichtungen mit dem Ziel zu erkennen, daß eine gute Montagevorbereitung und -organisation zwar Voraussetzung für eine effektive Montagedurchführung sind, Entscheidungen über den Umfang an Montageleistungen jedoch in den der Montage vorgelagerten Planungsabschnitten getroffen werden. Es wird erwartet, daß der Studierende oder junge Absolvent in der praktischen Anwendung der Gestaltungshinweise, mit der notwendigen Denk- und Vorgehensweise, die montagetechnologischen Aspekte für eine montagegünstige Gestaltungslösung in seiner Entwurfsarbeit künftig eher berücksichtigen wird, auch wenn er das Problem nicht immer von Beginn an umfassend löst bzw. lösen kann.

Gleichzeitig soll mit der Behandlung und bildlichen Darstellung ausgewählter Problemkreise den Fachkollegen aus der Transport- und Montageplanung als auch denen, die die Montagearbeiten vor Ort, oft unter den schwierigsten Bedingungen und unter Zeitdruck, durchführen, die notwendige Achtung und Anerkennung zuteil werden. Wie bedeutungsvoll deren Arbeit ist, kann daran ermessend werden, dass in [1] über eine komplizierte Kolonnenmontage mit dem Titel *Ein „Oscar“ für gutes Montieren* berichtet wurde.

Die Komplexität des Anlagenbaues bringt es mit sich, daß auch das Teilproblem der montagegerechten Anlagenplanung nicht vollständig und in allen Detailfragen behandelt werden konnte. Aus diesem Grund ist der Autor für Hinweise und Kritik zur Weiterentwicklung des vorliegenden Titels dankbar.

An dieser Stelle sei allen Unternehmen gedankt, die das Vorhaben mit entsprechenden Hinweisen und Bildmaterial wohlwollend unterstützt haben. Besonderer Dank gilt stellvertretend:

BASF AG Ludwigshafen  
Herrn Michael Grabicki

BSF Berliner Spezialflug Hubschrauberdienste GmbH  
Herrn Dipl.-Ing. Dieter Schmidt

Buna Sow Leuna Olefinverbund GmbH Schkopau  
Frau Astrid Molder

DEGUSSA Infracor GmbH Marl  
Herrn Dipl.-Ing. Lütgert Dey

DSD Dillinger Stahlbau GmbH Saarlouis  
Herrn Dipl.-Ing. Ewald Spielmann

EASTERNAirCargo GmbH Leipzig  
Herrn Dipl.-Ing. Stephan Blank

EDELEANU — EDL GmbH Leipzig  
Herrn Dipl.-Ing. Rüdiger Bauer

IAG Industrie-Anlagen-Bau Georgsmarienhütte  
Herrn Dipl.-Ing. Norbert Fuest

IMO Industriemontagen Merseburg GmbH  
Herrn Dipl.-Ing. Ralf Portée

KAEFER Isoliertechnik GmbH & Co. KG Bremen  
Herrn Volker Pannemann

Lurgi Oel · Gas · Chemie GmbH Frankfurt am Main  
Frau Marketing-Manager Sabine Biewer

TOTAL FINA ELF Mitteldeutsche Erdoel-Raffinerie Spergau  
Herrn Dipl.-Ing.Ök. Olaf Wagner

MAMMOET DEUTSCHLAMD GmbH Leuna  
Herrn Dipl.-Ing. Uwe Wenzel

F. A. NEUMANN Anlagentechnik GmbH & Co. KG Eschweiler  
Herrn Dipl.-Ing. U. Jousen

SCHWENK Zement KG Bernburg  
Herrn Dr.-Ing. Volkmar Werner

Zeppelin Silo- und Apparatechnik GmbH Friedrichshafen  
Herrn Dipl.-Ing. Herbert Mayer

Dem Wiley-VCH Verlag sei an dieser Stelle wieder für die erfreuliche, problemlose Zusammenarbeit und für die Sorgfalt bei der Herstellung und Ausstattung des Buches gedankt.

Fürstenwalde, im Januar 2003  
Eberhard Wegener



## Glossar

*Abfahren* Überführung der Anlage aus dem Dauerbetriebszustand/Nennzustand in einen zeitweiligen, nichtproduzierenden Zustand (Stillstand).

*Anfahren* Überführung der Anlage aus dem Ruhezustand nach Montageende in einen stationären Betriebszustand, bei dem alle Anlagenteile/Verfahrensstufen funktionsgerecht arbeiten.

*Anlage* Menge von Ausrüstungen und Kopplungen zur Durchführung eines Prozesses (Verfahrens).

*Anlagendokumentation* Gesamtheit aller Dokumente, die zur technologischen, baulichen, technischen und genehmigungsrechtlichen Beschreibung einer Anlage dienen.

*Anlaufbetrieb* Tätigkeit des Auftraggebers in seiner Regie und Verantwortung (also außerhalb des Projektes), die nach dem Probetrieb übernommene Anlage unter Betriebsbedingungen weiter zu optimieren.

*Anschlagen* Festmachen, Erfassen der Elemente vor dem Anheben, Anbinden, Befestigen mit Hilfe von Anschlagmitteln.

*Anschlagpunkt* Entsprechend dem Lastfall konstruktiv ausgebildetes Element (Hebeöse, Hebepratze, Traglasche).

*Aufstellungsplan* Zeichnerische Darstellung für die Anordnung der verfahrenstechnischen Ausrüstungen einer Anlage auf dem Baufeld und in den Gebäuden auf der Grundlage der optimalen Ausrüstungsanordnung.

Zur eindeutigen Festlegung der Lage der Ausrüstungen werden Längs- und Querschnitte der Anlage sowie Bühnen und Geschoßgrundrisse dargestellt. In den Aufstellungsplan werden folgende Angaben aufgenommen:

- Apparate und Maschinen (verfahrenstechnische Hauptausrüstungen) mit ihren äußeren Abmessungen, den Angaben zu ihrer räumlichen Lage (Abstände zu Bezugslinien wie Rasterlinien, Bühnenebenen),
- sonstige Ausrüstungen (Schaltschränke, Klimaaggregate), sofern diese nicht in gesonderten Räumen angeordnet werden,
- Rohrleitungen und Luftkanäle mit großem Durchmesser,
- Apparatepedeste, Bedienungsbühnen, Montageeinrichtungen, Hilfs- und Nebenräume, Türen, Treppen usw.,
- grundsätzliche Abmaße für den bautechnischen Teil der Anlage (Gebäudeabmessungen, Bühnenhöhen, Rastermaße) sowie die für die Ausführung des bau-

lichen Teiles notwendigen Belastungsangaben (zul. Verkehrslasten, Lasten an Hebezeugen und Montageträgern, Massen der Ausrüstungen).

*Ausladung* (Reichweite), Maß von der Drehachse bis Mitte Kranhaken.

*Ausleger* Vom Montagegerät ausgehendes, über die Standfläche hinausragendes Konstruktionsglied mit Vorrichtungen (Lasthaken) zur Lastaufnahme.

*Ausrichten* Korrektur der Lage eines Elementes und Festlegung auf die endgültige Position.

*Ausrüstungsanordnung* Räumliche Anordnung der Ausrüstung einer Anlage auf dem Baufeld bzw. in dem vorgesehenen Gebäude.

Für die Ausrüstungsanordnung sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- Zugänglichkeit und Bedienbarkeit von Ausrüstungen,
- vorgegebene Montagebedingungen (Einsatz von Hebezeugen),
- Gewährleistung des Platzbedarfes für Instandhaltungsmaßnahmen (Auswechseln von Rohrbündeln und Einbauten),
- Gewährleistung von Sicherheitsabständen,
- Gegebenheiten des Baufeldes (Versorgungsanschlüsse und Entsorgungssysteme, Zufahrtswege, Bodentragfähigkeit, Grundwasserspiegel, Hauptwindrichtung),
- spezielle technologische Forderungen, z. B. hinsichtlich der Einhaltung vorgegebener Maximal- oder Minimalabstände zwischen ausgewählten Ausrüstungen, Einhaltung vorgegebener Höhenlagen und -differenzen.

*Basic Design* Erarbeitung projektspezifischer, insbesondere kapazitäts- und standortbezogener Verfahrensunterlagen.

*Basic Engineering* Gesamtentwurf der Anlage, basiert auf dem Basic Design und liefert die Aufgabenstellungen/Vorgaben für die Fachplanungen (auch Vorplanung).

*Baustelleneinrichtung* Gesamtheit aller zeitweiligen Produktionseinrichtungen zur Realisierung von Bau- und Ausrüstungsleistungen am Standort der Anlage.

*Baustellenvorfertigung* Herstellen von Fertigteilen unmittelbar neben oder nahe dem zu errichtenden Objekt.

*Bauweise* Bestimmtes Verfahren, Anlagen auszuführen.

Für verfahrenstechnische Anlagen werden die Freibauweise (und Teilfreibauweise) sowie die geschlossene Bauweise angewendet.

*Bestimmungsgemäßer Betrieb* Betrieb, für den eine Anlage nach ihrem technischen Zweck bestimmt, ausgelegt und geeignet ist, umfasst

- den Normalbetrieb,
- den Anfahr- und Abfahrbetrieb,
- den Probebetrieb sowie
- Inspektions-, Wartungs- und Instandhaltungsvorgänge.

*Betriebsdokumentation* Gesamtheit aller Dokumente, die für

- den bestimmungsgemäßen Betrieb,
- den gestörten, nichtbestimmungsgemäßen Betrieb und
- die Instandhaltung der Anlage

nötig ist.

*Bewertung* Zuordnung von Werten (quantitativer oder qualitativer Art) zu unterschiedlichen Varianten (Ausführungen) einer verfahrenstechnischen Ausrüstung,



eines Anlagenteiles oder einer Anlage mit dem Ziel, diese bezüglich ausgewählter Eigenschaften (Bewertungsgrößen) zu kennzeichnen.

*Bewertungsgröße* Eigenschaft der zu bewertenden Ausrüstung, Anlage, die für die Funktion und Güte dieser von Bedeutung ist und in der Regel bestimmte Bedingungen erfüllen muß.

*Blockmontage* Montage einer durch alle zugehörigen Gewerke im Herstellerbetrieb oder auf der Baustelle komplettierten Montageeinheit.

*Blockprojektierung* Zweckmäßige Zusammenschaltung von Ausrüstungen, Baugruppen und Rohrleitungen einschließlich der zugehörigen materiellen Leistungen unter technologischen, betriebstechnischen und montagetechnischen Gesichtspunkten zu transport- und montagefähigen Einheiten.

*Detail Engineering* Erledigung aller ingenieurtechnischen Fachplanungsfunktionen mit Ausnahme der verfahrenstechnischen Planung (auch Ausführungsplanung, liefert die Grundlage für die Anlagenrealisierung).

*Dichtheitsprüfung* Nachweis, daß die Anlage bzw. die Anlagenkomponente innerhalb der zulässigen Grenzen (Leckage) dicht ist .

*Dokument* Schriftliche/zeichnerische Unterlage/Beleg mit Aufzeichnungen über ein Projekt.

*Dokumentation* Gesamtheit aller Dokumente für ein Projekt (s. Projektdokumentation).

*Errichtung* Gesamtheit aller Tätigkeiten für Bau, Lieferung, Montage und Inbetriebnahme der Anlage.

*Fertigstellung* Zeitpunkt, zu dem die letzten Mängel aus dem Übergabeprotokoll beseitigt sind.

*Funktionsprüfung* Erprobung und Prüfung der Anlagenkomponente nach der Montage hinsichtlich ihrer einwandfreien technischen Funktion.

*Grundausrüstungen* Gesamtheit der Apparate und Maschinen einer Anlage, deren Funktion für die Durchführung des jeweiligen Verfahrens bestimmend ist.

*Hubhöhe* Reicht vom Kranhaken bis  $\pm 0,0$  bzw. Schienenoberkante.

*Inbetriebnahme* Überführung einer Anlage mit dem mit Abschluß der Montage erreichten Zustand in den von der Planung her vorgesehenen Zustand. Mit der Inbetriebnahme ist nachzuweisen, daß die Anlage die der Planungsgrundlage entsprechenden Anforderungen erfüllt und dass alle in der Projektdokumentation ausgewiesenen Parameter und Kennwerte auch im praktischen Dauerbetrieb erreicht werden (Überführung der Anlage aus dem Ruhezustand in den Dauerbetriebszustand).

*Inspektion* Überprüfung und Überwachung von Leistungen zur Fertigung, Lieferung und Montage von Ausrüstungen.

*Instandhaltung* Gesamtheit der Maßnahmen zum Erhalten (Pflege und Wartung) und Wiederherstellen (Instandsetzen durch Reparatur, Ersatz und Erweiterung) der Gebrauchswerteigenschaften von Anlagen, Apparaten, Maschinen, Geräten, Baugruppen und Bauelementen. Die Instandsetzung umfaßt definitionsgemäß die Pflege und Wartung, die Überprüfung, die vorbeugende Instandsetzung und die wiederherstellende Instandsetzung.

*Krane* Arbeitsmaschinen zum Heben, Senken und Versetzen von Lasten bzw.

Transportgerät, bei dem die Last an einem Tragmittel, meist an einem Seil, hängt, gehoben und in einer oder auch in mehreren Richtungen bewegt werden kann.

*Lademaß* Begrenzungsmaße für die Beladung mit Bauelementen für ein bestimmtes Transportmittel.

*Lageplan* Grundrißdarstellung der vorhandenen und geplanten Bebauung eines Geländes und seiner unmittelbaren Umgebung. Angaben im Lageplan sind Produktionsanlagen, Hilfs- und Nebenanlagen, Verwaltungs- und Sozialgebäude, Rohrbrücken, ober- und unterirdische Versorgungsleitungen, Verkehrswege (Straßen, Gleisanlagen, Wasserwege), Grünanlagen, Umzäunungen angrenzende Bebauung.

*Lastaufnahmemittel (LAM)* Bindeglied zwischen der Last und dem Tragmittel des Hebezeuges, das sich unter dem Kranhaken befindet; gehört nicht zum Hebezeug.

*Lasthaken* Gehört unmittelbar zum Hubseil des Montagegerätes.

*Lastmoment* Produkt aus Tragkraft und Ausladung.

*Lebenszyklus* Zeitraum von der Auftragserteilung zur Planung und Errichtung einer Anlage bis zum Ende ihrer Demontage und Entsorgung (Rückbau).

*Lichttraumumgrenzung* Vorgeschriebene Umgrenzung eines frei zu haltenden Raumes, in dem die Fahrzeugbegrenzungslinie der Bundesbahn plus bestimmte Sicherheitsabstände eingeschlossen sind.

*Modellprojektierung* Zusammenfassende Bezeichnung für 2-D- und 3-D-Modellprojektierung. Die 2-D-Modellprojektierung wird verwendet für Verfahrensschemata, Rohrleitungs- und Instrumentierungsschemata sowie Aufstellungs-, Fundament- und Durchbruchpläne. 3-D-Modelle bieten wesentliche Erleichterungen und übersichtlichere Alternativen zu den Aufstellungs- und Rohrleitungsplänen, Fehler werden weitestgehend erkannt und vermieden, der zeichnerische Aufwand wird verringert.

*Montage* Gesamtheit aller Arbeiten, die zur physischen Errichtung einer Anlage auf der Baustelle zu erledigen sind (mechanische Fertigstellung und Herstellung der Betriebsbereitschaft).

*Montageeinheit* Bauelemente, Baugruppen und Ausrüstungen. Sie werden mit Hilfe von Montageoperationen und Montageverrichtungen aus einem Anfangs- in den in der Projektdokumentation definierten Endzustand gebracht.

*Montagehalterung* Geräte und Hilfsmittel zur kurzzeitigen Halterung der Elemente bis zur endgültigen Befestigung.

*Montageendprotokoll* Rechtsverbindliches Protokoll über die erfolgte Abnahme der Montage (i. a. mit Festlegungen zum Beginn der Inbetriebnahme).

*Montagehilfsmittel* Geräte, die nur vorübergehend während der Montagedurchführung benötigt werden, z. B. Montagehalterungen und Hilfsgerüste.

*Montagekontrolle* Überprüfung und Überwachung der Montage bezüglich deren vorgebe- und qualitätsgerechter Ausführung.

*Montageoperation* Zielgerichtete Wirkung durch Montagekräfte und Montagemitel zur Realisierung einer Änderung von Montageeinheiten.

*Montagefreiheit* Qualitative und quantitative Bestimmung der Schnittstelle von Gewerken bei Berücksichtigung der zugehörigen Baustelleneinrichtung. Die Montagefreiheit ist gegeben, wenn die örtlich bedingten Vorbereitungen für den Beginn

und die zügige Fortsetzung der Montage geschaffen sind und aufrechterhalten werden. Insbesondere sind das feste und beräumte Anfahrtswege zu den Montagestellen entsprechend Baustelleneinrichtungsplan, Fertigstellung der bauseitigen Leistungen, soweit diese zur Montageaufnahme benötigt werden, und das Vorhandensein von Licht- und Energieanschlüssen.

*Montageöffnung* Bauseitig vorgesehene Öffnung zur räumlichen Lageveränderung von Ausrüstungen während der Montage und zur Instandhaltung.

*Montageverrichtungen*

*Vorbereiten* Bearbeitung von Bauelementen und Montageeinheiten, um sie in einen fügegerechten Zustand zu versetzen.

*Justieren* Kompensieren unzulässiger Summentoleranzen, z. B. durch Maß- und Formänderung der Bauelemente (Passen) oder Lageänderung der Bauelemente (Einstellen).

*Fügen* Bauelemente in die erforderliche Lage bringen und diese Lage sichern, damit ihr örtlicher Zusammenhalt entsprechend der Funktion garantiert ist.

*Nachbereiten* Bauelemente und Montageeinheiten in den geforderten Endzustand überführen.

*Kontrollieren* Genauigkeit von Form, Lage, Maßen und Funktion überprüfen, um die reibungslose Fortführung des Montageprozesses bzw. die Bereitstellung qualitätsgerechter Erzeugnisse zu sichern (eingeschlossen Druck- und Dichtigkeitsprüfungen).

*Demontieren* Lösen geschaffener Verbindungen zwischen Bauelementen, um den Montagefortschritt, die weitere Bearbeitung oder den Transport zu sichern.

*Planung* Ausarbeitung und allseitige Abstimmung der zweckmäßigsten (*Projektierung*) technisch-technologischen, gestalterischen und organisatorisch-administrativen Unterlagen, die für die Errichtung und den bestimmungsgemäßen Betrieb von Anlagen benötigt werden. Ergebnis der Planung ist die Projektdokumentation.

*Problembearbeitungsprozeß* Prozeß, der von einem Bearbeiter oder einem Team von Bearbeitern zur Lösung einer Aufgabe zu vollziehen ist. Für die Verfahrenstechnik sind typische Problembearbeitungsprozesse:

- die Entwicklung und Auslegung von Verfahren,
- die Planung von Anlagen einschl. der verfahrenstechnischen Auslegung und Auswahl der Ausrüstungen,
- die Montage von Anlagen,
- die Inbetriebnahme und das Betreiben von Anlagen,
- die Instandhaltung von Anlagen.

*Probetrieb* Erstmaliges Betrieben der Anlage mit Medium unter Betriebsbedingungen mit dem Ziel, die Fahrweise der Anlage so zu stabilisieren und zu optimieren, daß die vertraglich vereinbarten Leistungsparameter erreicht werden und die Nutzungsfähigkeit der Anlage im Dauerbetrieb gewährleistet wird.

*Process Design* Erarbeitung projektunabhängiger Verfahrensunterlagen.

*Projekt* Temporäres Vorhaben, das im wesentlichen durch

- die Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit,
- eine Zielvorgabe,
- die Abgrenzung gegenüber anderen Vorhaben,

- eine projektspezifische Organosation und eine
- Begrenzung zeitlicher, finanzieller, personeller oder anderer Art gekennzeichnet ist.

*Projektdokumentation* Gesamtheit aller Dokumente, die für die organisatorisch-administrative Abwicklung/Management eines Projektes notwendig sind. Sie beinhaltet die endgültige und eindeutige technologische (eingeschlossen energetische und ökologische), bautechnische, architektonische, wirtschaftliche und organisatorische Lösung eines Projektes in Form von zeichnerischen Darstellungen, rechnerischen Nachweisen und textlichen Ausführungen sowie die Bau- und Montage-technologie.

*Rohrleitungsprojekt* Bestandteil des Projektes einer Anlage, Dokumentation über alle Rohrleitungen in der zu errichtenden Anlage. Das Rohrleitungsprojekt umfaßt:

- Trassenübersichtspläne, Trassenschema und Gesamttrassenplan,
- Rohrleitungspläne für Innenrohrleitungen,
- Isometrische Rohrleitungspläne,
- Rohrleitungsbezeichnungen und
- 3-D-Modell der Anlage.

Der *Gesamttrassenplan* ist eine Erweiterung des Aufstellungsplanes hinsichtlich aller im Objekt auftretenden Rohrleitungen. Der *Trassenübersichtsplän* stellt eine Übersicht über alle im Vorhaben zu errichtenden Rohrleitungsstrassen für Produkte, Betriebsmittel und Energieträger dar, es ist ein erweiterter Lageplan mit spezieller Bemaßung. Ein *Trassenschema* stellt die schematische Darstellung der Rohrleitungen für ausgewählte Produkte, Betriebsmittel oder Energieträger dar. Der *Rohrleitungsplan für Innenrohrleitungen* ist eine Darstellung aller zu verlegender Rohrleitungen für Produkte, Betriebsmittel, Energieträger mit Armaturen, BMSR-Ausrüstungen, Entlüftungen, Entleerungen, Auflagern, Festpunkten, zeichnerische Darstellung von Einzelheiten wie Verteilern, usw. die Bemaßung muß die Fertigung und Verlegung eindeutig ermöglichen. Der *Rohrleitungsplan für Außenrohrleitungen* ist eine maßstäbliche Darstellung der Außenrohrleitungen hinsichtlich ihrer Längsführung und Querschnittsanordnung auf Rohrbrücken, Rohrbrückenkreuzungen, Stützen, Sockeln und in Kanälen mit Angabe von Rohrleitungsunterstützungen, Dehnungsausgleichern, Entwässerungen, Begleitheizungen, Armaturen. Eine *Rohrleitungsismetrie* ist die unmaßstäbliche, aber bemaßte Darstellung des räumlichen Verlaufes einer Rohrleitung mit allen zu einer Rohrleitung gehörenden Angaben, wie Gefälle, Unterstützungen, Armaturen, Flanschverbindungen, Beheizung, Dämmung usw.

*Rückbau* Gesamtheit der Tätigkeiten für Außerbetriebnahme (Stilllegung), Abriß (Abbruch), Demontage und Entsorgung der Anlage.

*Schaden* Veränderungen an einem Bauteil, durch die seine vorgesehene Funktion beeinträchtigt oder unmöglich gemacht wird oder eine Beeinträchtigung erwarten läßt.

*Traversen* Lastaufnahmemittel (Gehänge), das als Verbindungsstück in waagerechter Richtung zwischen Lasthaken und Element benutzt wird, zur Aufnahme langer, oder sperriger Lasten oder mehrerer Einzellasten.

*Verfahren* Gesamtheit der physikalisch-technischen, chemischen und biologischen Wirkungsabläufe (Prozeß).

*Verfahrenstechnische Anlage* Anlage zur Durchführung von Stoffänderungen und Stoffwandlungen mit Hilfe zweckgerichteter physikalischer, chemischer und biologischer Wirkungsabläufe.

*Vorfertigung* Herstellen von Bauteilen (insbesondere Rohrleitungen) aus Elementen, im Herstellerwerk oder auch auf der Baustelle.

*Vormontage* Zusammensetzung einzelner Elemente zu größeren, transport- und hebegerechten Einheiten im Herstellerwerk, auf gesonderten Vormontageplätzen oder auf dem Niveau des Geländes, bevor dann die Montage erfolgt. Die Vormontage im Herstellerwerk zu größeren Montageeinheiten ist oft auch verbunden mit einer anschließenden Demontage zum Zwecke des Transportes.



## 1

## Einführende Bemerkungen

Die Gesamtplanung einer verfahrenstechnischen Anlage, die primär nach den Erfordernissen der Funktionserfüllung und der Genehmigungsfähigkeit nach gesetzlichen Vorschriften/Verordnungen aus der Sicht der Sicherheitstechnik und des Umweltschutzes ausgelegt wird und die zudem die Anforderungen auf Wirtschaftlichkeit erfüllen soll, erfordert eine Vielzahl von Einzelschritten und Abstimmungen zwischen den an der Planung/Genehmigung Beteiligten. Die Kompliziertheit der Anlagen, ihr komplexer Charakter und die obigen Anforderungen setzen bei der Planung eine ganzheitliche Betrachtung voraus, die alle Stufen im Planungsprozeß mit zunehmender Tiefe und fortschreitendem Erkenntnisstand betrifft und den gesamten Lebenszyklus einer Anlage berücksichtigen muß. Der Lebenszyklus einer Anlage läßt sich nach Weber [2] mit Abb. 1.1 darstellen.

Die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung ergibt sich aus den besonderen Merkmalen verfahrenstechnischer Anlagen:

- eine hohe Komplexität und Kompliziertheit aufgrund der Verfahrensabläufe und hohen Durchsätze bei der Durchführung von Stoffänderungen und -wandlungen, dies betrifft sowohl die stoffliche und energetische Verflechtung und Kopplung wie auch die konstruktive Gestaltung der einzelnen Komponenten,
- ein zumeist unikativer Charakter,
- die Notwendigkeit der besonders umfangreichen Anwendung von verschiedenartigem Fachwissen während des Lebenszyklus der Anlagen,
- das Vorhandensein eines umfangreichen Rohrleitungssystems zum Transport der Stoffe und z. T. von Energieträgern innerhalb der Anlage sowie über die Anlagengrenzen hinaus,
- ein großer Umfang und die Ganzheitlichkeit der Prozeßinformationsverarbeitung während des Anlagenbetriebes,
- die Anwendung einer hierarchisch aufgebauten Leittechnik zur Gewährleistung eines effizienten Produktionsprozesses aus der Sicht des Unternehmens,
- die Größenordnung derartiger Anlagen und ihrer Komponenten, u. a. die territoriale Ausdehnung der Anlage sowie die Größe/Masse der Ausrüstungen,
- teilweise beträchtliche Auswirkungen der komplexen Anlagen auf die Menschen, die Wirtschaft und die Umwelt, auch über die Anlagengrenzen hinweg.

## 2 | 1 Einführende Bemerkungen

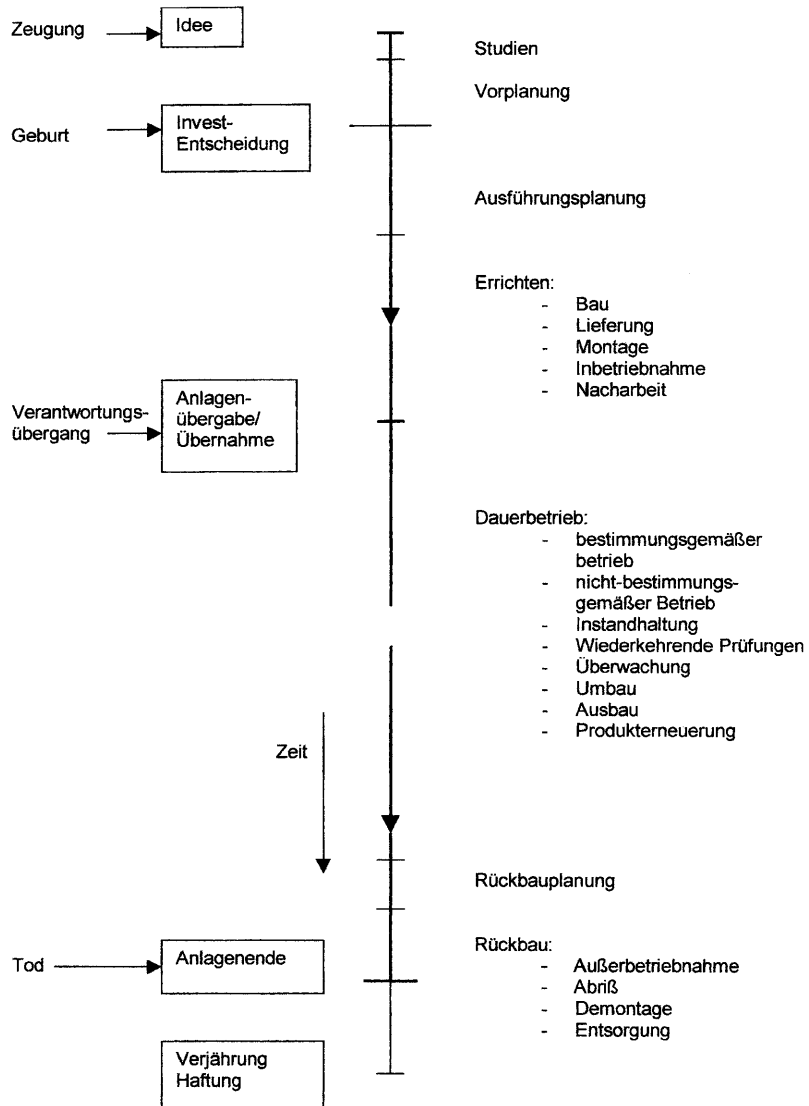


Abb. 1.1 Lebenszyklus einer verfahrenstechnischen Anlage [2]

Die Anlagenplanung ist die *gedankliche Vorwegnahme* derjenigen Maßnahmen, die zum Zwecke der Schaffung, des Betriebes, der Ergänzung und des Rückbaues der Anlagen zu ergreifen sind. Dabei wird neben dem Begriff der Planung häufig auch der Begriff der Projektierung benutzt, abgeleitet aus den Tätigkeiten, die für die Ausführung eines Projektes erforderlich sind. Als Projekt wird ein temporäres Vorhaben, das im wesentlichen durch





**Abb. 1.2** Teilansicht einer Prozessanlage  
(Werksfoto Lurgi Oel · Gas · Chemie GmbH  
Frankfurt am Main)

- die Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit,
- eine Zielvorgabe,
- die Abgrenzung gegenüber anderen Vorhaben,
- eine projektspezifische Organisation und
- eine Begrenzung zeitlicher, finanzieller, personeller oder anderer Art

gekennzeichnet ist, bezeichnet. Das wirtschaftliche Ziel ist die Senkung der Investitions- und Betriebskosten und der Bauzeit zur Anhebung der Wirtschaftlichkeit der Anlage. Projektieren heißt demnach, die Lieferungen und Leistungen, die für das Projekt erforderlich sind, vorausschauend nach Art und Umfang zu bestimmen und in ihrem zeitlichen Ablauf zu ordnen. Die Entwicklung des Großanlagenbaues infolge des internationalen Wettbewerbes zwingt zu einer Erhöhung seiner ohnehin schon vorhandenen Gesamtkompetenz, insbesondere aber zu einer Verkürzung der Projektlaufzeiten. Zum einen sinken die Kosten, zum anderen aber entscheidet über die Vergabe nach deren langwieriger Verhandlung auch die möglichst kurze Realisierungszeit des Vorhabens [3]. Das Ergebnis der Planung (Projektierung) ist die Projektdokumentation. Sie beinhaltet

die endgültige und eindeutige technologische (eingeschlossen energetische und ökologische), bautechnische, architektonische, ökonomische und organisatorische Lösung eines Investitionsvorhabens in Form von zeichnerischen Darstellungen, mit rechnerischen Nachweisen und textlichen Ausführungen, sowie die Bau- und Montagetechnologie.

Projektieren umfaßt demzufolge einen Gestaltungs-komplex von

- sachlichen Beziehungen (Maschinen und Apparaten, Anlagen, Gebäuden ...),
- menschlichen Beziehungen (Gestaltung der Arbeitsplatzbedingungen) und
- zeitlichen Beziehungen (Ablauf der Vorbereitung der Realisierung).

Die sich aus der notwendigen ganzheitlichen Betrachtung ergebenden Schwierigkeiten liegen in der erforderlichen Voraussicht der zu berücksichtigenden Einflußfaktoren aus dem Lebenszyklus der zu planenden Anlage. Schon Bock [4] hat den konstruktiven Entwicklungsprozeß – als analoges Problem – mit

„... schöpferischem und *lückenlosem Vorausdenken* eines technischen Gebildes, das den Forderungen des historisch bedingten Standes der Technik entspricht, und Schaffen aller zweckmäßigen Unterlagen für seine stoffliche Verwirklichung ...“

gekennzeichnet, Schuart [5] hat in Erweiterung auf die Anlagenplanung den Prozeß als

„... gedankliche Vorwegnahme und Beschreibung eines technischen Systems zur optimalen Funktionserfüllung, unter Einhaltung der geforderten Nebenbedingungen und unter weitgehender Verwendung bekannter Elemente, der zur Herstellung notwendigen technologischen Prozesse und der zu seiner Bewertung erforderlichen betriebstechnischen und wirtschaftlichen Parameter ...“

definiert. In beiden Fällen liegt die Aufgabe im Erkennen und Berücksichtigen *aller* Einflußgrößen auf die wirtschaftliche Lösung, d. h. auch die einer rationalen Montage, da deren Kostenanteil etwa 25 % der Gesamtinvestitionssumme beträgt.

Für die Planung und Errichtung verfahrenstechnischer Anlagen als komplexe technische Gebilde sowie mit allen damit zusammenhängenden technischen, kaufmännischen, organisatorischen und sonstigen Fragen ist umfangreiches Fachschrifttum vorhanden, insbesondere in den Veröffentlichungen von Herbert [6], Bernecker [7], Sattler/Kasper [8], Aggteleky [9], Ullrich [10] und Wagner [11] werden das weitverzweigte Gebiet des Anlagenbaues und das notwendige Zusammenwirken der Fachleute unterschiedlicher technischer und nichttechnischer Fachdisziplinen im *team work* beschrieben. Dem Problem der Anlagenmontage selbst und der damit in Verbindung stehenden Kosten- und Terminbeeinflussung wird hierbei jedoch nur in sehr geringem Maße Rechnung getragen. Auch Vogel [12] widmet der eigentlichen Anlagenrealisierung kaum Aufmerksamkeit. Einigkeit besteht in der Erkenntnis, daß alle Versäumnisse, Fehler und Mängel, die in den zeitlich vorgelagerten Planungsstufen und Prozessen entstanden, in der Montage offen zutage treten, hemmend und kostenverursachend wirken und im Montageprozeß selbst kompensiert werden müssen. Über häufige Projektierungs- und Abwicklungsfehler hat z. B. Ree-

ves [13] berichtet. Für die nachfolgenden Ausführungen liegt es daher nahe, Regeln zur Vermeidung derartiger Fehler aufzustellen bzw. Empfehlungen für Vorgehensweisen zu geben.

Auf der anderen Seite steht z. B. für die Schulung des Montageleitpersonals im Stahlbau Fachliteratur von Petzschmann/Skufca [14] zur Verfügung, von Zachau [15] für die Außenmontage im Maschinen- und Anlagenbau. Die vorhandene Lücke in der speziellen Literatur wird auch nicht durch die Veröffentlichungen von Schulze [16], [17] und Franke [18], [19] geschlossen. Mit dem vorliegenden Titel wird deshalb versucht, diesen Mangel zu lindern. Durch eine methodische Behandlung der Beeinflussungsmöglichkeiten im Planungsprozeß wird die Wirtschaftlichkeit der Montage verbessert, indem die notwendigen Montageverrichtungen/-operationen auf ein Minimum beschränkt werden und so einfach wie möglich ausgeführt werden können. Damit soll der erforderliche Informationsbedarf des Planenden, der sich aus den spezifischen Inhalten und Aufgaben im Planungsablauf, aus dem unterschiedlichen Wissensstand zu verschiedenen Fachgebieten und der begrenzten Voraussicht erforderlicher Informationen ergibt, weitgehend gedeckt oder zumindest durch Hinweise auf weiterführende oder spezielle Literatur erweitert werden. Wenngleich es nicht Anliegen ist, alle Detailprobleme umfassend darzustellen, erfolgt doch eine Erweiterung des üblichen Montagebegriffes auf *alle* auf der Baustelle anfallenden Arbeiten bei der Projektrealisierung. Dabei sind Wiederholungen durch unterschiedliche bildliche Darstellungen nicht gänzlich vermeidbar, da jeweils Problembehandlungen aus unterschiedlicher Sicht erfolgen, und ein Zurückblättern den gedankliche Prozeß stört, andererseits sind durch dieses Zurückblättern auch nachträglich weitere Erkenntnisse entnehmbar.

Die z. T. vorhandene unzureichende Berücksichtigung montagetechnologischer Anforderungen im Planungsablauf entsteht ja allgemein durch eine nicht ausreichende Erfahrung und demzufolge einem unterschiedlichen Informationsbedarf auf diesem Gebiet für den Planenden und gleichzeitig dem Vorhandensein von „*Informationsbarrieren*“. Engelbert [20] unterscheidet diese hierbei in eine

- eine *Bewußtheitsbarriere* (die Beeinflussung des Informationsbedarfes durch Motivation, Arbeitsgewohnheiten, Arbeitsumgebung),
- eine *Resonanzbarriere* (die Nichtnutzung vorhandener Informationen z. B. infolge mangelnder Berufserfahrung oder Voreingenommenheit) und
- eine *Kommunikationsbarriere* (die unvollständige Widerspiegelung vorliegender Sachverhalte).

Auch Börnecke [21] stellt fest, daß im Planungsprozeß spezielles montagetechnisches Wissen erforderlich ist, welches nur durch entsprechende Experten in das Planungsstadium eingebracht werden kann. Dies wiederum verlangt ein möglichst frühzeitiges Einbeziehen dieser Experten in den gesamten Planungsprozeß. Das gleiche gilt natürlich auch für adäquate Aufgabenbereiche, wie die Inbetriebnahme [22] und die Instandhaltung [23], zu denen im Zusammenhang mit der montagegerechten Anlagenplanung noch gesonderte Ausführungen folgen.

Da in einem Projektteam jedes Mitglied eine fortwährende Informationsbringenschuld und -holschuld hat, um einen bestimmten Arbeitsfortschritt nicht durch feh-

lende wichtige Informationen zu blockieren, bietet es sich daher an, über Regeln und Checklisten, die an *der* Stelle des Planungsprozesses angeschlossen werden, wo die funktionelle Lösung vorhanden ist und die wichtigsten Gestaltungsmerkmale festgelegt werden, bewußt eine montagegerechte Anlagengestaltung zu erzeugen. Die erforderliche Anwendbarkeit, die Übertragbarkeit, Überprüfbarkeit und die Erweiterungsfähigkeit derartiger Hilfsmittel werden beispielhaft nachgewiesen, denn es wäre ein Irrtum zu glauben, daß sich allein durch diese Regeln oder Checklisten eine effektive Montagedurchführung ergibt. Sie sind, wie Beispielsammlungen, Kataloge u. dgl., notwendig, aber nicht hinreichend und können die Zusammenarbeit zwischen den Planenden und der Montage nicht ersetzen, aber sehr wohl erleichtern. Aus der Notwendigkeit, die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens auf dem sich verschärfenden Weltmarkt [24], [25] zu erhalten, ergibt sich die persönliche Motivation des Projektingenieurs zur Berücksichtigung montagetechnologischer Anforderungen als eigener Beitrag zum Projekterfolg, denn in einem Team von Planern wird sich derjenige als der bessere erweisen, der durch seine Einsicht, daß Planung und Montage, die Inbetriebnahme und auch die Instandhaltung eingeschlossen, nicht losgelöst voneinander betrachtet werden können, seinem Unternehmen hohe Kosten durch Nacharbeiten oder Korrekturen während der Montage und der Inbetriebnahme und dem späteren Betreiber im Rahmen der Instandhaltung erspart.

Zum besseren Verständnis der Ansätze zur Effektivierung des Montageprozesses im verfahrenstechnischen Anlagenbau werden als Ausgangspunkt einige Aussagen über die Besonderheiten der Anlagenmontage vorangestellt, anschließend werden überblicksweise die Planungsschritte mit ihrem Ergebnis dargestellt. Damit wird es möglich, Diskussionen zur Vermeidung bzw. Verringerung von Montageverrichtungen/-operationen, oder zumindest deren Erleichterung, zu führen und Kriterien für eine montagegerechte Gestaltung der Anlage und ihrer Elemente abzuleiten. Die vorgenannten Regeln versetzen den Planer in die Lage, sowohl den notwendigen Zeitpunkt einer montagetechnologischen Konsultation realer einzuschätzen als auch den notwendigen Umfang an Informationen in höherer Qualität zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen.

Eine Erweiterung der Thematik durch das Einbeziehen von Transport- und Montagetechnik, ausgewählter Montagetechnologien und auch von Montageschäden wurde aufgrund der Hinweise aus der betrieblichen Praxis vorgenommen, um dem Planenden auch hier, unter Hinweis auf weiterführende Literatur, ein Überblickswissen zu vermitteln und das Thema abzurunden.

Es sei deshalb nicht vermessen, einen Ausspruch von Schiller [26] zu zitieren:

„Zwei Dinge gehören zur Bildung des Verstandes, ohne welche kein Fortschritt möglich ist: ein ernstes Einsammeln von Kenntnissen und eine stete Übung der Kräfte.“

## 2

### Die Anlagenmontage und ihre Besonderheiten

Der Montageprozeß dient dem Herstellen von Anlagen als komplexen technischen Gebilden oder deren Ausrüstungen sowie der sie verbindenden Rohrleitungen durch eine planungsgemäße Montage von Bauelementen oder Baugruppen. Dies erfolgt durch den Einbau der Ausrüstungen am Standort der Anlage, durch das Verbinden der Ausrüstungen zu technologisch bedingten, funktionsfähigen Einheiten und durch den Anschluß der Ausrüstungen an Informations-, Energie-, Versorgungs- und Entsorgungssysteme [27]. Gegenüber der stationären Montage im Maschinenbau sind bei der Anlagenmontage folgende spezifische technologische Anforderungen zu berücksichtigen:

- Das Finalprodukt der Anlagenmontage, die Anlage, ist standortgebunden.
- Der Standort des Finalproduktes ist durch die physische Unbeweglichkeit bedingt.
- Die Standortfaktoren (örtliche Bedingungen, Klima, Ver- und Entsorgungssysteme, Baustelleneinrichtung) bestimmen weitgehend die Montage.
- Die Anlagenmontage ist räumlich und zeitlich von der Fertigung der Montageeinheiten getrennt.

Die zu montierenden Bauelemente bzw. Baugruppen werden allgemein als *Montageeinheit* bezeichnet. Sie werden mit Hilfe von Montageoperationen und -verrichtungen nach Tab. 2.1 und Hilfsoperationen, wie Transportieren und Lagern, aus einem Anfangs- in den in der Projektdokumentation definierten Endzustand gebracht.

Werden erst einmal die notwendigen Arbeiten für die Energie- und Informationstechnik außer Betracht gelassen, so sind insbesondere die unter Nachbereiten zu verstehenden Leistungen für Korrosionsschutz, Wärme- und Kälte­dämmung und Kennzeichnung von Einfluß auf die Montagezeit. Die umfangreiche und arbeitsteilig stark gegliederte Anlagenmontage erfordert damit das Zusammenwirken vieler unterschiedlicher Gewerke, woraus sich ablaufmäßig zwingende Forderungen ergeben, die sich in einer bestimmten Vor-, Gleich- und Nachzeitigkeit der einzelnen Montageoperationen ergeben. Dies wird besonders deutlich, wenn die im einzelnen durchzuführenden Leistungen auf der Baustelle wie

- Erschließungsmaßnahmen,
- Bau- und Stahlbauarbeiten,

- Vorfertigung/Vormontage,
- Transportleistungen,
- Apparate- und Rohrleitungsmontage,
- Montage der Elektrotechnik,
- Montage der MSR-Technik,
- Anstrich-, Isolier- und Schallschutzmaßnahmen und
- Vorbereitung der Inbetriebnahme

koordiniert werden müssen, da eine strenge Aufeinanderfolge der einzelnen Gewerke wirtschaftlich nicht sinnvoll und im Interesse einer Verkürzung der Montagezeit weitgehend Parallelarbeit zu planen ist.

Die Effektivität des Montageprozesses wird – werden Einflüsse durch Störungen ausgeklammert – direkt über die in der Planung zu schaffende Montageeignung der Anlage geschaffen und über die technologische Vorbereitung des Montageprozesses selbst beeinflusst. Relevante Einflüsse auf die Montageeignung zu den Arbeitsaufgaben der Anlagenplanung sind in Tab. 2.2 dargestellt.

Die Montageeignung stellt dabei die Gesamtheit aller der Eigenschaften der Anlage dar, die bei der technischen und organisatorischen Gestaltung des Montageprozesses zu berücksichtigen sind. Da sie jedoch nur *ein Aspekt neben anderen* der Anlagengestaltung ist, bedürfen ihre Ergebnisse der Anpassung im Gesamtsystem der Anlagenplanung.

Tab. 2.1 Montageverrichtungen und -operationen [19]

<b>Zuordnung</b>	<b>Definition/Inhalt</b>
<b>Verrichtungen</b>	
Vorbereiten	Herstellen des montagegerechten Zustandes von Bau-Elementen, Basis, Anschlüssen
Führen	Bewegen eines Bauelementes vom Ablageplatz bzw. Transportmittel vor dem Montageort bis zur vorgegebenen Einbaustelle und Positionieren in die Soll-Lage
Wegführen	umgekehrte Richtung gegenüber Führen, Bewegen des Bauelementes von Position in der Anlage zum Platz, von dem aus Abtransport bzw. an dem Anlage oder Passen erfolgt
Justieren	Kompensieren unzulässiger Summentoleranzen durch Einstellen (Lageveränderung von Bauteilen zueinander) oder Passen (Maß- und Formänderung von Bauelementen)
Lage sichern	Sichern der erreichten Position des Bauelementes bis zum Fügen
Fügen	Herstellen des vorgesehenen Zusammenhaltes von Fügeflächenpaarungen unter Anwendung von Fügeverfahren
Verbindung lösen	umgekehrte Richtung gegenüber Fügen. Lösen eines bestehenden Zusammenhaltes von Fügeflächenpaarungen
Nachbereiten	Herstellen des geforderten Endzustandes von Fügeflächenpaarungen und der gesamten Montageeinheit.