



Thomas Günther

# Baustellen- management im Anlagenbau

Von der Planung bis zur Fertigstellung



Springer Vieweg

---

# Baustellenmanagement im Anlagenbau

---

Thomas Günther

# Baustellenmanagement im Anlagenbau

Von der Planung bis zur Fertigstellung

Thomas Günther  
Lünen  
Deutschland

ISBN 978-3-662-45860-0  
DOI 10.1007/978-3-662-45861-7

ISBN 978-3-662-45861-7 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Berlin Heidelberg ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media  
([www.springer.com](http://www.springer.com))



---

## Vorwort

Alleine die Kosten für die Errichtung einer verfahrenstechnischen Anlage können zwischen 35 % und 50 % der gesamten Investitionssumme des Betreibers betragen. Bau- und Montagezeiträume von 2 Jahren und länger sind dabei nicht die Seltenheit.

Durch die hohen Kosten und der langen Abwicklungsdauer entstehen Risiken für alle Projektbeteiligten die beherrscht und gemanagt werden müssen.

Neben weiteren Aufgaben, stellt sich das Baustellenmanagement, als Teilbereich des Projektmanagement, dieser Herausforderung.

Baustellenmanagement, wie es in diesem Buch verstanden wird, beschränkt sich nicht nur auf die Steuerung der Baustelle. Vielmehr wird der Ansatz einer effektiven Planung als Grundlage für eine erfolgreiche Abwicklung der Baustelle verstanden. Dabei wird der Schwerpunkt auf das Grundlagenwissen der einzelnen Disziplinen, und deren Auswirkungen untereinander, gelegt.

Die Struktur des Buches bildet die spezifischen Grundlagen der einzelnen Gewerke aus Sicht der Bau und Montage ab. Im weiteren Verlauf wird die effektive Planung der Baustelle, als Grundlage für eine zielgerichtete Steuerung, behandelt. Dabei wird der Schwerpunkt auf das Verständnis des Zusammenspiels der einzelnen Gewerke untereinander, als auch der Einfluss aus dem Engineering, der Beschaffung und der Inbetriebnahme, gelegt. Die Steuerung der Baustelle wird zum Teil als Abweichungsmanagement betrachtet. Die frühzeitige Feststellung und die zeitnahe Interpretation der Abweichung werden als die Schlüsselemente für eine optimierte Steuerung verstanden. Zielgerichtetes Einleiten von korrigierenden Maßnahmen wird als ein wesentlicher Faktor im ewigen Kampf gegen Kosten und Termindruck gesehen.

Regionale, klimatische, kulturelle und marktspezifischen Anforderungen runden das Bild ab.

Das Buch richtet sich an Führungskräfte, Fachkräfte, Berufseinsteiger, sowie an Fachkollegen die im Anlagenbau tätig sind.

Das Manuskript dieses Buches ist aus den Inhalten meiner Vorlesung „Baustellenmanagement“ an der Fachhochschule Dortmund im Rahmen des Studienganges „Master Internationales Projektingenieurwesen“, entstanden.

Unterstützend durch praxisnahe Beispiele, typischen Ablaufschemata, zahlreichen Bilder und Tabellen werden die Inhalte strukturiert und übersichtlich dargestellt und vermittelt.

---

# Inhaltsverzeichnis

- 1 Einführung** ..... 1
  - 1.1 Vertragsarten ..... 3
    - 1.1.1 Einheitspreisvertrag ..... 4
    - 1.1.2 Kostenerstattung ..... 4
    - 1.1.3 Pauschalfestpreis ..... 5
  - 1.2 Projekte ..... 5
  - 1.3 Marktanforderung ..... 7
  - 1.4 Zusammenfassung ..... 9
- 2 Betätigungsfelder** ..... 11
  - 2.1 Offshore ..... 11
  - 2.2 Onshore ..... 13
    - 2.2.1 Öl & Gas ..... 13
    - 2.2.2 Energietechnik ..... 17
    - 2.2.3 Produktionstechnik ..... 18
  - 2.3 Zusammenfassung ..... 18
- 3 Baugrundlagen** ..... 19
  - 3.1 Baugrundvorbereitung ..... 20
  - 3.2 Wasserhaltung ..... 23
    - 3.2.1 Offene Wasserhaltung ..... 24
    - 3.2.2 Grundwasserabsenkung ..... 25
    - 3.2.3 Geschlossene Wasserhaltung ..... 25
  - 3.3 Tiefengründung ..... 26
  - 3.4 Betonbau ..... 32
    - 3.4.1 Betonieren bei kaltem Wetter ..... 36
    - 3.4.2 Betonieren bei heißem Wetter ..... 38
    - 3.4.3 Kontrollen und Prüfungen ..... 43
  - 3.5 Gebäude ..... 44
  - 3.6 Stahlbau ..... 45
    - 3.6.1 Planung ..... 47
    - 3.6.2 Stahlbaumontage ..... 50
    - 3.6.3 Bühnen und Leitern ..... 53

---

|          |                                    |           |
|----------|------------------------------------|-----------|
| 3.6.4    | Kontrollen und Prüfungen           | 53        |
| 3.7      | Zusammenfassung                    | 54        |
| <b>4</b> | <b>Grundlagen der Montage</b>      | <b>55</b> |
| 4.1      | Ausrüstungsmontage                 | 55        |
| 4.1.1    | Kontrollen und Prüfungen           | 57        |
| 4.2      | Kranarbeiten                       | 58        |
| 4.2.1    | Hebestudie                         | 70        |
| 4.3      | Rohrleitungsmontage                | 74        |
| 4.3.1    | Verlegen von Rohrleitungen         | 74        |
| 4.3.2    | Flanschverbindungen                | 77        |
| 4.3.3    | Unterstützungen                    | 78        |
| 4.3.4    | Schweißen                          | 78        |
| 4.3.5    | Aufwandsermittlung                 | 85        |
| 4.3.6    | Kontrolle und Prüfungen            | 92        |
| 4.4      | Zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP)   | 93        |
| 4.4.1    | Durchstrahlungsprüfung             | 94        |
| 4.4.2    | Ultraschallprüfung                 | 95        |
| 4.4.3    | Farbeindringprüfung                | 95        |
| 4.4.4    | Magnetpulverprüfung                | 95        |
| 4.4.5    | Sichtprüfung                       | 96        |
| 4.4.6    | Wirbelstromprüfung                 | 96        |
| 4.4.7    | Dichtheitsprüfung                  | 96        |
| 4.4.8    | Härteprüfung                       | 96        |
| 4.4.9    | Druckprüfung                       | 97        |
| 4.4.10   | Verwechslungsprüfung               | 97        |
| 4.5      | Druckproben                        | 97        |
| 4.5.1    | Vorbereitung der Druckprobe        | 98        |
| 4.5.2    | Kontrollen vor der Druckprobe      | 99        |
| 4.5.3    | Prüfen mit Flüssigkeit             | 100       |
| 4.5.4    | Stressdruckprobe Fernrohrleitungen | 103       |
| 4.5.5    | Pneumatische-Druckprobe            | 104       |
| 4.5.6    | Maßnahmen nach der Druckprüfung    | 106       |
| 4.5.7    | Dichtheitsprüfung                  | 107       |
| 4.5.8    | Spülen und Reinigen                | 108       |
| 4.5.9    | Trocknung                          | 111       |
| 4.5.10   | Kontrolle und Prüfungen            | 111       |
| 4.6      | Korrosionsschutz                   | 112       |
| 4.6.1    | Oberflächenvorbereitung            | 112       |
| 4.6.2    | Filmdicke                          | 114       |
| 4.6.3    | Behandlung von Schweißnähten       | 114       |
| 4.6.4    | Kontrollen und Prüfungen           | 114       |

|          |                                             |            |
|----------|---------------------------------------------|------------|
| 4.7      | Dämmung                                     | 115        |
| 4.7.1    | Wärmedämmung                                | 116        |
| 4.7.2    | Kältedämmung                                | 119        |
| 4.7.3    | Wetterschutz                                | 120        |
| 4.7.4    | Schallschutz                                | 123        |
| 4.7.5    | Brandschutz                                 | 124        |
| 4.7.6    | Kontrolle und Prüfungen                     | 125        |
| 4.8      | Elektrotechnik                              | 126        |
| 4.8.1    | Verlegen von Kabeln                         | 126        |
| 4.8.2    | Verlegen von Kabel durch Gewässer           | 131        |
| 4.8.3    | Kabelträgersysteme                          | 131        |
| 4.8.4    | Schalthäuser, Schaltanlagen                 | 131        |
| 4.8.5    | Kontrollen und Prüfungen                    | 132        |
| 4.9      | Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)       | 134        |
| 4.9.1    | Kontrollen und Prüfungen                    | 135        |
| 4.9.2    | Funktionsprüfung                            | 136        |
| 4.10     | Zusammenfassung                             | 138        |
| <b>5</b> | <b>Grundlagen der Planung und Steuerung</b> | <b>141</b> |
| 5.1      | Leistungsprozesse                           | 143        |
| 5.2      | Planungsvoraussetzungen                     | 145        |
| 5.3      | Planungsarten                               | 148        |
| 5.3.1    | Primärbedarfsplanung                        | 150        |
| 5.3.2    | Sekundärbedarfsplanung                      | 150        |
| 5.3.3    | Termin- und Kapazitätsplanung               | 152        |
| 5.3.4    | Ablaufplanung                               | 153        |
| 5.3.5    | Auftragsüberwachung                         | 154        |
| 5.4      | Zusammenfassung                             | 154        |
| <b>6</b> | <b>Terminplanung</b>                        | <b>157</b> |
| 6.1      | Vorgänge und Ereignisse                     | 158        |
| 6.2      | Einführung                                  | 161        |
| 6.3      | Numerische Ebenen                           | 162        |
| 6.3.1    | Level 1                                     | 163        |
| 6.3.2    | Level 2                                     | 163        |
| 6.3.3    | Level 3                                     | 163        |
| 6.3.4    | Level 4                                     | 164        |
| 6.3.5    | Level 5                                     | 164        |
| 6.4      | EPC Levels                                  | 164        |
| 6.4.1    | EPC Level 1                                 | 164        |
| 6.4.2    | EPC Level 2                                 | 165        |
| 6.4.3    | EPC Level 3                                 | 165        |
| 6.5      | Beschreibenden Ebenen                       | 165        |
| 6.5.1    | Master Schedule                             | 165        |

|          |                                                           |            |
|----------|-----------------------------------------------------------|------------|
| 6.5.2    | Program/Project Summary Schedule .....                    | 165        |
| 6.5.3    | Milestone Schedule .....                                  | 166        |
| 6.5.4    | Project Level Schedule .....                              | 166        |
| 6.5.5    | Project Control Schedule .....                            | 166        |
| 6.5.6    | Look ahead Schedule .....                                 | 167        |
| 6.5.7    | Task Lists .....                                          | 167        |
| 6.5.8    | Supporting Data .....                                     | 168        |
| 6.6      | Übersicht .....                                           | 168        |
| 6.7      | Zusammenfassung .....                                     | 174        |
| <b>7</b> | <b>Ablaufplan</b> .....                                   | <b>175</b> |
| 7.1      | Rahmenbedingungen als Einflussfaktoren .....              | 175        |
| 7.1.1    | Greenfield/Grassroot .....                                | 176        |
| 7.1.2    | Brownfield .....                                          | 176        |
| 7.1.3    | Klimatische Bedingungen .....                             | 180        |
| 7.1.4    | Kulturelle Bedingungen .....                              | 181        |
| 7.2      | Bau- und Montageplanung .....                             | 183        |
| 7.3      | Constructability .....                                    | 190        |
| 7.4      | Zusammenfassung .....                                     | 196        |
| <b>8</b> | <b>Bedarfsermittlungen</b> .....                          | <b>199</b> |
| 8.1      | Ressourcen .....                                          | 200        |
| 8.1.1    | Ressourcenermittlung .....                                | 202        |
| 8.1.2    | Einfluss des Arbeitsraums auf den Ressourceneinsatz ..... | 207        |
| 8.2      | Personal .....                                            | 208        |
| 8.3      | Geräte, Werkzeuge .....                                   | 211        |
| 8.4      | Verbrauchsstoffe .....                                    | 211        |
| 8.5      | Flächen .....                                             | 212        |
| 8.5.1    | Zufahrtsstraßen und Verkehrswege .....                    | 212        |
| 8.5.2    | Parkplätze .....                                          | 213        |
| 8.5.3    | Zuschläge für Beton/Mischanlage .....                     | 213        |
| 8.5.4    | Lagerflächen Bewehrungsstahl .....                        | 213        |
| 8.5.5    | Lagerflächen Stahlbau .....                               | 213        |
| 8.5.6    | Lagerflächen Ausrüstungen .....                           | 213        |
| 8.5.7    | Lagerflächen Rohrleitungsmaterial .....                   | 214        |
| 8.5.8    | Lagerflächen Gerüstbau .....                              | 214        |
| 8.5.9    | Büroanlage .....                                          | 214        |
| 8.6      | Zusammenfassung .....                                     | 214        |
| <b>9</b> | <b>Baustelleneinrichtung</b> .....                        | <b>217</b> |
| 9.1      | Planung der Baustelleneinrichtung .....                   | 218        |
| 9.2      | Baustellenbesichtigung .....                              | 219        |
| 9.3      | Baustelleneinrichtungsplan .....                          | 221        |
| 9.4      | Gefährdungsanalyse .....                                  | 221        |
| 9.4.1    | Büro .....                                                | 222        |

---

|           |                               |            |
|-----------|-------------------------------|------------|
| 9.4.2     | Lagerflächen                  | 222        |
| 9.4.3     | Infrastruktur                 | 223        |
| 9.4.4     | Besondere Bedingungen         | 224        |
| 9.5       | Arbeitsstättenverordnung      | 225        |
| 9.6       | Baustellenordnung             | 225        |
| 9.6.1     | Allgemeines                   | 225        |
| 9.6.2     | Arbeitsstätten                | 226        |
| 9.6.3     | Arbeitssicherheit             | 226        |
| 9.6.4     | Brand- und Explosionsschutz   | 227        |
| 9.6.5     | Umweltschutz                  | 227        |
| 9.6.6     | Sicherung der Baustelle       | 227        |
| 9.7       | Arbeitssicherheit             | 228        |
| 9.7.1     | Risiko Analyse                | 229        |
| 9.7.2     | Persönliche Schutzausrüstung  | 229        |
| 9.7.3     | Werkzeuge und Geräte          | 229        |
| 9.7.4     | Absperrungen                  | 229        |
| 9.7.5     | Leitern                       | 230        |
| 9.7.6     | Ordnung und Sauberkeit        | 230        |
| 9.8       | Baustellensicherheit          | 231        |
| 9.9       | Zusammenfassung               | 231        |
| <b>10</b> | <b>Baustellenorganisation</b> | <b>233</b> |
| 10.1      | Baustellenteam                | 235        |
| 10.2      | Funktionsbeschreibungen       | 236        |
| 10.2.1    | Baustellenleiter              | 236        |
| 10.2.2    | SGU Fachkraft                 | 238        |
| 10.2.3    | Qualitätssicherungen          | 239        |
| 10.2.4    | Planungsingenieur             | 240        |
| 10.2.5    | Kostenkontrolller             | 241        |
| 10.2.6    | Nachunternehmer Verwalter     | 241        |
| 10.2.7    | Baustellenverwalter           | 241        |
| 10.2.8    | Materialverwalter             | 242        |
| 10.2.9    | Technisches Baustellenbüro    | 243        |
| 10.2.10   | Fachbauleitung                | 243        |
| 10.3      | Berichtswesen                 | 244        |
| 10.4      | Materialverwaltung            | 244        |
| 10.4.1    | Materiallager                 | 244        |
| 10.4.2    | Lagerbedingungen              | 245        |
| 10.4.3    | Wareneingang                  | 246        |
| 10.4.4    | Warenausgang                  | 247        |
| 10.4.5    | Materialverfügbarkeit         | 248        |
| 10.4.6    | Zertifikate                   | 248        |
| 10.5      | Zusammenfassung               | 248        |

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| <b>11 Überwachung und Steuerung</b>                          | 251 |
| 11.1 Kennzahlen als Steuerungsinstrument                     | 253 |
| 11.2 Termine                                                 | 256 |
| 11.3 Kritischer Pfad                                         | 261 |
| 11.4 Kosten                                                  | 264 |
| 11.5 Qualität                                                | 265 |
| 11.6 Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz        | 267 |
| 11.7 Zusammenfassung                                         | 270 |
| <b>12 Abweichungen</b>                                       | 273 |
| 12.1 Abweichungsmanagement                                   | 273 |
| 12.2 Ermittlung der Abweichungen                             | 275 |
| 12.2.1 Messen                                                | 275 |
| 12.2.2 Vergleichen                                           | 276 |
| 12.2.3 Analysieren                                           | 276 |
| 12.2.4 Nachverfolgen                                         | 277 |
| 12.2.5 Berichten                                             | 277 |
| 12.3 Einleiten korrigierender Maßnahmen                      | 278 |
| 12.4 Abweichungskategorien                                   | 279 |
| 12.4.1 Kategorie 1 – Selbstheilung                           | 280 |
| 12.4.2 Kategorie 2 – Non-Invasiv                             | 280 |
| 12.4.3 Kategorie 3 – Invasiv                                 | 281 |
| 12.5 Arten von Abweichungen                                  | 281 |
| 12.5.1 Behinderung                                           | 281 |
| 12.5.2 Fehler                                                | 282 |
| 12.5.3 Schaden                                               | 283 |
| 12.5.4 Mängel                                                | 283 |
| 12.6 Kosten der Abweichung                                   | 284 |
| 12.6.1 Zusatzleistungen                                      | 284 |
| 12.6.2 Änderungsarbeiten                                     | 285 |
| 12.6.3 Stundenlohnarbeiten                                   | 285 |
| 12.7 Kosten                                                  | 285 |
| 12.7.1 Variation Order                                       | 285 |
| 12.7.2 Extra Work Order                                      | 286 |
| 12.7.3 Backcharges                                           | 286 |
| 12.8 Zusammenfassung                                         | 286 |
| <b>13 Fertigstellung</b>                                     | 287 |
| 13.1 Mechanische Fertigstellung                              | 289 |
| 13.2 Vorbereitungen zur Inbetriebnahme                       | 290 |
| 13.2.1 Dampfblasen                                           | 291 |
| 13.2.2 Chemische Reinigung                                   | 292 |
| 13.2.3 Spülen und Trocken von Ausrüstungen und Rohrleitungen | 294 |

---

|                            |                                                           |     |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 13.3                       | Inbetriebnahme .....                                      | 295 |
| 13.4                       | Anfahrbereitschaft .....                                  | 296 |
| 13.5                       | Feed In .....                                             | 296 |
| 13.6                       | Produktspezifikation .....                                | 296 |
| 13.7                       | Performance Test .....                                    | 297 |
| 13.8                       | Übergabe an den Kunden (Hand Over) .....                  | 297 |
| 13.9                       | Provisional Acceptance .....                              | 297 |
| 13.10                      | Wesentliche Fertigstellung (Substantial Completion) ..... | 298 |
| 13.11                      | Zusammenfassung .....                                     | 298 |
| <b>Glossar</b>             | .....                                                     | 299 |
| <b>Literatur</b>           | .....                                                     | 305 |
| <b>Sachwortverzeichnis</b> | .....                                                     | 307 |



---

# Abkürzungsverzeichnis

---

## A

|      |                                          |
|------|------------------------------------------|
| ABS  | American Bureau of Shipping              |
| AfC  | Approved for Construction                |
| Ages | Gesamtaufwand                            |
| API  | American Petroleum Institute             |
| ASME | American Society of Mechanical Engineers |
| AT   | All Terrain Crane                        |
| AWS  | American Welding Society                 |

---

## B

|     |                           |
|-----|---------------------------|
| BE  | Basic Engineering         |
| BEP | Basic Engineering Package |
| BoQ | Bill of Quantity          |
| BS  | British Standard          |
| BV  | Bureau Veritas            |

---

## C

|       |                                           |
|-------|-------------------------------------------|
| CAPEX | Capital expenditure, (Investitionskosten) |
| CE    | Conformité Européenne                     |
| CP    | Critical Path                             |
| CPM   | Critical Path Method                      |
| GZK   | Gleichzeitigkeitsfaktor                   |

**D**

|     |                                 |
|-----|---------------------------------|
| DCS | Digital Control System          |
| DIN | Deutsche Industrienorm          |
| DN  | Diameter Nominal                |
| DNV | Det Norske Veritas              |
| CS  | Carbon Steel (Kohlenstoffstahl) |

---

**E**

|      |                                 |
|------|---------------------------------|
| ED   | Einschaltdauer (beim Schweißen) |
| EDoC | Effective Date of Contract      |
| EN   | Europäische Norm                |
| EWO  | Extra Work Order                |

---

**F**

|       |                                                   |
|-------|---------------------------------------------------|
| FAR   | Fatal Accident Rate                               |
| FAT   | Factory Acceptance Test                           |
| FIDIC | Fédération Internationale des Ingénieurs Conseils |
| FQCP  | Field Quality Control Plan                        |

---

**G**

|     |                                      |
|-----|--------------------------------------|
| GfK | Glasfaser verstärkte Kunststoffrohre |
| GL  | Germanischer Lloyd                   |

---

**I**

|     |                        |
|-----|------------------------|
| IfC | Issue for Construction |
| ITB | Invitation to Bid      |
| ITP | Inspection Test Plan   |
| ITT | Invitation to Tender   |

---

**K**

|     |                           |
|-----|---------------------------|
| KPI | Key Performance Indicator |
|-----|---------------------------|

---

**L**

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| L   | Abschmelzleistung                  |
| LA  | Low Alloy Steel (warmfester Stahl) |
| LNG | Liquid Natural Gas                 |
| Lk  | Leistungskennzahl                  |
| LV  | Leistungsverzeichnis               |

---

**M**

|     |                       |
|-----|-----------------------|
| MC  | Mechanical Complition |
| MTO | Material Take Off     |

---

**N**

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| NFPA | National Fire Protection Association |
|------|--------------------------------------|

---

**O**

|       |                                                   |
|-------|---------------------------------------------------|
| OPEX  | Operational expenditure, Betriebskosten           |
| OSHAS | Occupational Health- and Safety Assessment Series |

---

**P**

|      |                                                    |
|------|----------------------------------------------------|
| Pf   | Peak-Faktor                                        |
| PMI  | Positive Material Identification (Spektralanalyse) |
| ppm  | parts per million [mg/kg]                          |
| P&ID | Piping & Instrument Diagram                        |

---

**Q**

|    |                   |
|----|-------------------|
| QA | Quality Assurance |
| QC | Quality Control   |

**R**

|      |                         |
|------|-------------------------|
| RFC  | Ready for Commissioning |
| RfSU | Ready for Start Up      |
| ROI  | Return on Investment    |

---

**S**

|     |                                         |
|-----|-----------------------------------------|
| SCC | Safety Certificate Contractor           |
| SGU | Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz |
| SS  | Stainless Steel (Edelstahl)             |

---

**T**

|     |                                |
|-----|--------------------------------|
| TÜV | Technischer Überwachungsverein |
| Tw  | Dauer [in Wochen]              |
| Td  | Dauer [in Tagen]               |

---

**W**

|     |                                 |
|-----|---------------------------------|
| WBS | Work Breakdown Structure        |
| WEZ | Wärmeeindringzone               |
| WPS | Welding Procedure Specification |

---

## Abbildungsverzeichnis

|                  |                                                                                                                                              |    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Abb. 1.1</b>  | Phasen im Anlagenbau .....                                                                                                                   | 2  |
| <b>Abb. 1.2</b>  | Merkmale von Projekten .....                                                                                                                 | 6  |
| <b>Abb. 2.1</b>  | Hauptgebiete des Anlagenbaus .....                                                                                                           | 12 |
| <b>Abb. 2.2</b>  | Offshore Windenergieanlage in Dänemark .....                                                                                                 | 12 |
| <b>Abb. 2.3</b>  | Bohrinsel Öl Plattform .....                                                                                                                 | 13 |
| <b>Abb. 2.4</b>  | Unterschiedliche Bohrinseltypen .....                                                                                                        | 14 |
| <b>Abb. 2.5</b>  | Athabasca Oil Sands .....                                                                                                                    | 15 |
| <b>Abb. 2.6</b>  | Schematische Darstellung zur Schiefergasgewinnung .....                                                                                      | 16 |
| <b>Abb. 2.7</b>  | Verlegung einer Erdgas-Pipeline .....                                                                                                        | 16 |
| <b>Abb. 2.8</b>  | Chemiepark Bayer Dormagen .....                                                                                                              | 17 |
| <b>Abb. 3.1</b>  | FDP Verdrängerpfahl-System .....                                                                                                             | 27 |
| <b>Abb. 3.2</b>  | Statischer Pfahltest .....                                                                                                                   | 29 |
| <b>Abb. 3.3</b>  | Abwicklungsbedingte Pfahlsequenzen .....                                                                                                     | 30 |
| <b>Abb. 3.4</b>  | Produktivität Verdrängungspfahl .....                                                                                                        | 31 |
| <b>Abb. 3.5</b>  | Betonmischanlage Mobilmix 0,5 Kapazität 30 m <sup>3</sup> /h .....                                                                           | 33 |
| <b>Abb. 3.6</b>  | Betonmischanlage Mobilmix 2,25 .....                                                                                                         | 33 |
| <b>Abb. 3.7</b>  | Nachbehandlungsmaßnahmen für Beton .....                                                                                                     | 38 |
| <b>Abb. 3.8</b>  | Abkühlungsverlauf Frischbeton .....                                                                                                          | 38 |
| <b>Abb. 3.9</b>  | Bestimmung der Frischbetontemperatur .....                                                                                                   | 40 |
| <b>Abb. 3.10</b> | Austrocknungsverhalten von Beton in Abhängigkeit von der<br>relativen Luftfeuchte, der Luft- und Betontemperatur und der<br>Windstärke ..... | 42 |
| <b>Abb. 3.11</b> | Einteilung der Anlage in Baugruppen .....                                                                                                    | 45 |
| <b>Abb. 3.12</b> | Workflow Stahlbaulieferungen .....                                                                                                           | 46 |
| <b>Abb. 3.13</b> | Einfluss des Stückgewichtes auf Montagestunden .....                                                                                         | 48 |
| <b>Abb. 3.14</b> | Rohrbrücke im Chemiekomplex Bayer Uerdingen .....                                                                                            | 48 |
| <b>Abb. 3.15</b> | Grobterminplan Stahlbau .....                                                                                                                | 50 |
| <b>Abb. 3.16</b> | Stahlbau – Unterlegscheiben .....                                                                                                            | 52 |
| <b>Abb. 4.1</b>  | Hubhöhen Liebherr LTM 1220 .....                                                                                                             | 60 |
| <b>Abb. 4.2</b>  | Liebherr MK 100 .....                                                                                                                        | 62 |
| <b>Abb. 4.3</b>  | Liebherr MK 88 im Einsatz .....                                                                                                              | 63 |

|                  |                                                                                                                     |     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Abb. 4.4</b>  | Minikran .....                                                                                                      | 63  |
| <b>Abb. 4.5</b>  | LKW Aufbaukrane .....                                                                                               | 64  |
| <b>Abb. 4.6</b>  | Mobilkran LTM .....                                                                                                 | 64  |
| <b>Abb. 4.7</b>  | Raupenkran Liebherr LR 11350 .....                                                                                  | 65  |
| <b>Abb. 4.8</b>  | Turmdrehkran .....                                                                                                  | 66  |
| <b>Abb. 4.9</b>  | Hubsystem .....                                                                                                     | 68  |
| <b>Abb. 4.10</b> | Verschubsystem .....                                                                                                | 69  |
| <b>Abb. 4.11</b> | Schwimmkran bei der Montage eines Umspannwerkes<br>in der Nordsee .....                                             | 70  |
| <b>Abb. 4.12</b> | Beispiel Hebestudie .....                                                                                           | 72  |
| <b>Abb. 4.13</b> | 3D Planung von Hebevorgängen .....                                                                                  | 73  |
| <b>Abb. 4.14</b> | Stoßarten beim Schweißen .....                                                                                      | 79  |
| <b>Abb. 4.15</b> | Nahtvorbereitungen .....                                                                                            | 80  |
| <b>Abb. 4.16</b> | Lichtbogenhandschweißen .....                                                                                       | 82  |
| <b>Abb. 4.17</b> | Wolfram-Inertgas-Schweißen .....                                                                                    | 83  |
| <b>Abb. 4.18</b> | Glühdiagramm .....                                                                                                  | 84  |
| <b>Abb. 4.19</b> | Einschaltdauer unter Baustellenbedingungen .....                                                                    | 90  |
| <b>Abb. 4.20</b> | Geometrie einer Schweißnaht .....                                                                                   | 92  |
| <b>Abb. 4.21</b> | Schweisssnahtfehler .....                                                                                           | 94  |
| <b>Abb. 4.22</b> | Flanschverbindung mit Steckscheibe .....                                                                            | 99  |
| <b>Abb. 4.23</b> | Aufbau eine Rohrleitungsisolierung .....                                                                            | 117 |
| <b>Abb. 4.24</b> | Isolierung mit Begleitheizung .....                                                                                 | 118 |
| <b>Abb. 4.25</b> | Schallschutzhaube .....                                                                                             | 123 |
| <b>Abb. 4.26</b> | Leistungsarten .....                                                                                                | 127 |
| <b>Abb. 4.27</b> | Kabelarten .....                                                                                                    | 128 |
| <b>Abb. 4.28</b> | Loop Check 1 .....                                                                                                  | 138 |
| <b>Abb. 4.29</b> | Loop Check 2 .....                                                                                                  | 139 |
| <b>Abb. 5.1</b>  | Terminplan Empire State Building .....                                                                              | 142 |
| <b>Abb. 5.2</b>  | Leistungsprozesse eines EPC Auftrages .....                                                                         | 143 |
| <b>Abb. 5.3</b>  | Vereinfachte Darstellung der Prozessen und Phasen .....                                                             | 145 |
| <b>Abb. 5.4</b>  | Prozesskette von Vorgängen zur Herstellung einer Rohrleitung<br>verteilt über unterschiedlichen Projektphasen ..... | 146 |
| <b>Abb. 5.5</b>  | Planung, Überwachung und Steuerung .....                                                                            | 147 |
| <b>Abb. 5.6</b>  | hierarchischen Planung (und -steuerung) .....                                                                       | 149 |
| <b>Abb. 5.7</b>  | Verfahren der Losbildung .....                                                                                      | 152 |
| <b>Abb. 5.8</b>  | Planungsphasen im Anlagenbau .....                                                                                  | 155 |
| <b>Abb. 6.1</b>  | Vorgangsverknüpfungen .....                                                                                         | 160 |
| <b>Abb. 6.2</b>  | Zeitlich versetzte Vorgangsverknüpfung .....                                                                        | 160 |
| <b>Abb. 6.3</b>  | Erreichen des Prozessziels Rohrleitungsmontage .....                                                                | 161 |
| <b>Abb. 6.4</b>  | Executive Schedule Level 1 .....                                                                                    | 171 |
| <b>Abb. 6.5</b>  | Management Schedule Level 2 .....                                                                                   | 172 |
| <b>Abb. 6.6</b>  | Progress Schedule Level 3 .....                                                                                     | 173 |
| <b>Abb. 7.1</b>  | Projektarten .....                                                                                                  | 176 |

|                  |                                                               |     |
|------------------|---------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Abb. 7.2</b>  | Double block and bleed Anordnung .....                        | 179 |
| <b>Abb. 7.3</b>  | Baustelle unter winterlichen Bedingungen – LNG Plant .....    | 182 |
| <b>Abb. 7.4</b>  | WBS Bau- und Montage .....                                    | 183 |
| <b>Abb. 7.5</b>  | Rohrbrücken innerhalb der TDI Anlage von Bayer Dormagen ..... | 184 |
| <b>Abb. 7.6</b>  | Terminplan Bau- und Montage .....                             | 186 |
| <b>Abb. 7.7</b>  | Zeitliche Abhängigkeit der Gewerke .....                      | 188 |
| <b>Abb. 7.8</b>  | Ausrüstungsgerüst einer Bayer Anlage .....                    | 189 |
| <b>Abb. 7.9</b>  | Kosten-Beeinflussungsdiagramm .....                           | 191 |
| <b>Abb. 7.10</b> | Anlagen-Modul: LNG plant for Melkoya on a barge .....         | 193 |
| <b>Abb. 7.11</b> | Constructability Ablauf .....                                 | 195 |
| <b>Abb. 8.1</b>  | Ablauf Ressourcenermittlung .....                             | 201 |
| <b>Abb. 9.1</b>  | Baustelleneinrichtungsplan .....                              | 221 |
| <b>Abb. 9.2</b>  | Typische Anordnung Lager- und Vorfertigungsstätte .....       | 224 |
| <b>Abb. 10.1</b> | Typisches Baustellenorganisationsorganigramm .....            | 235 |
| <b>Abb. 11.1</b> | Iterativer Überwachungsprozess .....                          | 252 |
| <b>Abb. 11.2</b> | Vorgang .....                                                 | 261 |
| <b>Abb. 11.3</b> | Kritischer Pfad .....                                         | 262 |
| <b>Abb. 11.4</b> | Kritische Pfad Darstellung Beispiel .....                     | 263 |
| <b>Abb. 11.5</b> | Kritischer Pfad Darstellung Balkendiagramm .....              | 264 |
| <b>Abb. 12.1</b> | 1 Abweichungsmanagement auf der Baustelle .....               | 274 |
| <b>Abb. 12.2</b> | Ablaufschema Korrigierende Maßnahmen .....                    | 279 |
| <b>Abb. 13.1</b> | Anfahrzeitachse einer Produktionsanlage .....                 | 288 |

---

## Tabellenverzeichnis

|                  |                                                                |     |
|------------------|----------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tab. 3.1</b>  | Auflockerungsfaktor der Bodenklasse nach DIN 18300 .....       | 21  |
| <b>Tab. 3.2</b>  | Auflockerungsfaktoren für ausgewählte Böden .....              | 22  |
| <b>Tab. 3.3</b>  | Herstellzeiten Bewehrung .....                                 | 35  |
| <b>Tab. 3.4</b>  | Beispiel für resultierende Frischbetontemperatur .....         | 40  |
| <b>Tab. 3.5</b>  | Windstärkenskala nach Beaufort .....                           | 43  |
| <b>Tab. 4.1</b>  | Traglastentabelle Liebherr LTM 1220 .....                      | 59  |
| <b>Tab. 4.2</b>  | Beispiel Rohrbrückenrohrleitungen .....                        | 87  |
| <b>Tab. 4.3</b>  | Beispiel Rohrbrückenleitungen Übersicht .....                  | 88  |
| <b>Tab. 4.4</b>  | Verhältnis Elektrodendurchmesser zu Stromstärke .....          | 89  |
| <b>Tab. 4.5</b>  | Richtwertetabelle für Schweißnahtgewichte .....                | 91  |
| <b>Tab. 4.6</b>  | Vor- und Hauptprüfung von Kunststoff-Rohrleitungen .....       | 102 |
| <b>Tab. 4.7</b>  | Zulässiger Druckabfall bei Kunststoff-Rohrleitungen .....      | 103 |
| <b>Tab. 4.8</b>  | Druckstufen Gasdruckprüfung .....                              | 105 |
| <b>Tab. 4.9</b>  | Anzeigebereiche und Ablesegenauigkeit von Prüfmanometern ..... | 106 |
| <b>Tab. 4.10</b> | Reinheitsgrade .....                                           | 110 |
| <b>Tab. 4.11</b> | Oberflächen Reinheitsgrade .....                               | 113 |
| <b>Tab. 4.12</b> | Brandklassen .....                                             | 125 |
| <b>Tab. 6.1</b>  | Terminplanebenen entsprechend Verwendung und Formate .....     | 169 |
| <b>Tab. 6.2</b>  | Terminplanebenen Zielgruppen .....                             | 170 |
| <b>Tab. 6.3</b>  | Terminplanebenen: inhaltliche Gegenüberstellung .....          | 170 |
| <b>Tab. 9.1</b>  | Technische Checkliste Baustellenbesichtigung .....             | 219 |
| <b>Tab. 10.1</b> | Inhalt Baustellensteckbrief .....                              | 234 |
| <b>Tab. 11.1</b> | Beispiel Inspection Test Plan Anstricharbeiten .....           | 267 |
| <b>Tab. 11.2</b> | Anteilige SGU Überwachung zur Beschäftigungszahl .....         | 270 |



---

## Formelverzeichnis (LOH)

|                    |                                                                                            |     |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Formel 3.1</b>  | Effizienz .....                                                                            | 20  |
| <b>Formel 3.2</b>  | Produktivität .....                                                                        | 20  |
| <b>Formel 3.3</b>  | maximal Produktivität .....                                                                | 21  |
| <b>Formel 4.1</b>  | Aufwandermittlung Rohrleitungen .....                                                      | 85  |
| <b>Formel 4.2</b>  | Ermittlung Rohrleitungsmasse unterschiedlicher Materialgruppen ...                         | 86  |
| <b>Formel 4.3</b>  | Aufwandsermittlung Rohrleitungsmontage unter<br>Berücksichtigung der Materialgruppen ..... | 86  |
| <b>Formel 4.4</b>  | Bestimmung durchschnittlicher Rohrleitungsdurchmesser .....                                | 86  |
| <b>Formel 4.5</b>  | Bestimmung durchschnittliche Wandstärke .....                                              | 86  |
| <b>Formel 4.6</b>  | Abschmelzgeschwindigkeit .....                                                             | 88  |
| <b>Formel 4.7</b>  | theoretische Schweißzeit .....                                                             | 89  |
| <b>Formel 4.8</b>  | Schweißzeit mit variabler Stromstärke .....                                                | 89  |
| <b>Formel 4.9</b>  | Schweißzeit unter Berücksichtigung der Einschaltdauer .....                                | 90  |
| <b>Formel 4.10</b> | Berechnung von Schweißnaht dauern .....                                                    | 90  |
| <b>Formel 4.11</b> | Prüfdruck nach EN 13480-5 .....                                                            | 101 |
| <b>Formel 4.12</b> | Prüfdruck nach ASME B31.3/345.4.2 .....                                                    | 101 |
| <b>Formel 4.13</b> | Faustformel Höhenunterschied .....                                                         | 104 |
| <b>Formel 8.1</b>  | Vorgangsdauer .....                                                                        | 204 |
| <b>Formel 8.2</b>  | Teilvorgänge (Mengen) .....                                                                | 205 |
| <b>Formel 8.3</b>  | Dauer Teilvorgänge .....                                                                   | 205 |
| <b>Formel 8.4</b>  | Ressourcenabhängige Dauer von Teilvorgängen .....                                          | 205 |
| <b>Formel 11.1</b> | Effizienz .....                                                                            | 255 |
| <b>Formel 11.2</b> | Produktivität .....                                                                        | 256 |
| <b>Formel 11.3</b> | Effektivität .....                                                                         | 256 |
| <b>Formel 11.4</b> | Fortschritt .....                                                                          | 259 |

Der Anlagenbau ist ein Industriebereich der sich mit der Herstellung von verfahrenstechnischen Anlagen beschäftigt.

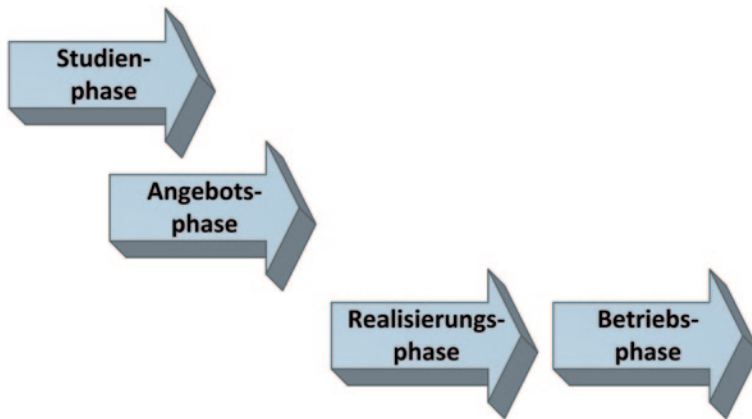
Verfahrenstechnische Anlagen sind Produktionsstätten, die mit der Absicht gebaut werden, über die erzeugten Produkten Gewinne zu erwirtschaften.

Einer Investitionsentscheidung über einen dreistelligen oder heutzutage auch des Öfteren über einem vierstelligen Millionenbetrag gehen umfangreiche Untersuchungen voraus. Bis es zu der Entscheidung zur Errichtung einer Anlage kommt, können Monate oder Jahre vergehen. Abbildung 1.1 stellt die typischen Hauptphasen von der ersten Idee bis zum Produkt dar.

Der Anlagenbauer begleitet in allen Phasen, mit mehr oder weniger Einbindung, den Investor. In den jeweiligen unterschiedlichen Phasen fallen somit unterschiedliche Aufgabenstellungen für den Anlagenbauer an.

In der **Studienphase** werden Konzepte über das Betreiben einer verfahrenstechnischen Anlage entwickelt. Die Verfügbarkeit von Vorprodukten (z. B. Erdgas, Äthylen usw.), wird durch den Investor untersucht und bewertet. Des Weiteren sind Überlegungen des späteren Standortes der Anlage zu tätigen und einzugrenzen. Hierbei sollten die späteren Betreiber (Investoren) der zukünftigen Anlage bereits bei der Ideenentwicklung durch den Anlagenbauer unterstützt werden.

Die Aufgabe des Anlagenbauers besteht während der Studienphase, die generelle Machbarkeit der Anlage nachzuweisen, sowie Zahlen und Kennwerte zu liefern. Darauf ausgerichtet, werden Wirtschaftlichkeitsanalysen, basierend auf CAPEX und OPEX Betrachtungen durchgeführt und Entscheidungen über den weiteren Verlauf der Investition getätigt. Die Studienphase muss in der Regel nicht abgeschlossen sein, um mit der Angebotsphase zu beginnen. Die Übergänge können fließend sein.



**Abb. 1.1** Phasen im Anlagenbau

Die Angebotsphase erstreckt sich über die weitere Projektentwicklung, detaillierten Machbarkeitsstudien, exaktere Wirtschaftlichkeitsanalysen bis hin zu einem Angebot über ein konkretes Bauvorhaben.

In der **Angebotsphase** entwickelt der Anlagenbauer seine Abwicklungsstrategie. Entscheidende Eckpfeiler wie,

- Subunternehmerkonzept
- Modularisierung
- Projektlaufzeit

werden aus Sicht der Bau und Montage definiert und festgelegt.

Nach dem das Angebot vom zukünftigen Anlagenbetreiber angenommen wurde erfolgt die **Realisierungsphase**, die sich inhaltlich mit

- der Lizenzvergabe oder Lizenzbeschaffung
- dem Basic Engineering
- dem Detail Engineering
- der Beschaffung
- der Bau- und Montage
- der Inbetriebnahme

beschäftigt.

In der **Betriebsphase** steht das Training des Betriebspersonals, die Instandhaltung und der Betrieb der Anlage im Vordergrund.

Dieses Buch beschäftigt sich im Wesentlichen mit der Realisierungsphase aus Sicht der Bau und Montage.

Erzielen der Anlagenbauer (Auftragnehmer) und der zukünftigen Betreiber der Anlage (Auftraggeber) eine Einigung über den Liefer- und Leistungsumfang einer Anlage, kommt es zu einem Vertrag zwischen den Parteien, und ein Projekt ist entstanden.

Doch wie sieht so ein Vertrag aus und was sind die Eigenschaften von Projekten?

---

## 1.1 Vertragsarten

Ein Vertrag ist ein zweiseitiges Rechtsgeschäft und entsteht durch die Annahme eines Angebotes. In dem Vertrag sind die zwischen Auftraggeber (Betreiber) und Auftragnehmer (Anlagenbauer) zu erbringenden Leistungen definiert.

Im Anlagenbau verpflichtet sich der Auftragnehmer eine Anlage für die Produktion von Gütern zu liefern (und zu bauen). Die führenden Größen sind die Qualität des Produktes, die Kapazität der Anlage und die erforderliche Energie zur Herstellung dieser Produkte, sowie der Bedarf an erforderlichen Vorprodukten.

Eine klare Abgrenzung der zu erbringenden Leistungen ist heutzutage genauso wichtig wie eine detaillierte Aufstellung der Basisdaten. Die technischen Hauptvertragsbestandteile sind somit die „Basis of Design“ und die „Scope of Work“ (Leistungsumfang) Beschreibungen. Als weiteres wesentliches Vertragselement ist ein ausreichend genauer Terminplan, der die Erbringung unterschiedlicher Leistungen zu einem festen Termin spezifiziert.

Für die kommerziellen Bedingungen gibt es unter anderem Musterwerke wie z. B. FIDIC. Die FIDIC Bedingungen spiegeln ein Vertragswerk der *Fédération Internationale des Ingénieurs Conseils*, Schweiz wieder. FIDIC ist die internationale Vereinigung der Beratenden Ingenieure, zu deren Mitgliedern auch der Verband beratender Ingenieure (VBI) gehört. Die FIDIC- Vertragsmuster sind weltweit bei der Realisierung von Bauvorhaben anerkannt und haben sich in den vergangenen Jahrzehnten im internationalen Geschäft bewährt. Der Anspruch dieser Werke ist es, ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu generieren.

FIDIC stellt unterschiedliche Standardvertragsmuster für unterschiedliche Vertragskonstellationen dar.

- Conditions of Contract for Construction (Red Book)
- Conditions of Contract for Plant & Design-Build (Yellow Book)
- Conditions of Contract for EPC Turnkey Projects (Silver Book)
- Short Form of Contract (Green Book)
- Client/Consultant Model Services Agreement (White Book)
- Design, Build and Operate Projects (Golden Book)

Die Kurznamen ergeben sich jeweils aus der Farbe des Einbandes.

Das Red Book dient der vertraglichen Regelung zwischen Auftraggeber und Bau- bzw. Montagefirma über die Erbringung von reinen Bau- und Montageleistungen, während das

Yellow Book die Zusammenarbeit zwischen einem reinen Planungsunternehmer und dem Auftraggeber regelt.

Bei der Errichtung schlüsselfertiger Anlagen, also EPC, soll das Silver Book die Bedingungen zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber regeln.

Das Green Book wurde geschaffen, um kleinere und weniger komplexe Vorhaben vertraglich zu regeln. Mitunter wird es auch bei der Vergabe von Subunternehmerleistungen genutzt.

Das White Book regelt die Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber und einem beratenden Unternehmen.

Im Falle dass der Anlagenbauer die Anlage auf seine Kosten, ohne Vergütung, plant und baut (BOO=Build Own Operate), diese eine bestimmte Zeit betreibt, und der Auftraggeber „nur“ das Produkt zu einem festen Preis abnimmt, werden die Bedingungen im Golden Book geregelt.

Unabhängig welches Vertragswerk gewählt wurde, ist die vom Auftraggeber zu erbringende Leistung, in der Regel die monetäre Vergütung der vertraglichen Lieferungen und Leistungen. Dazu sind unterschiedlichen Modellen anwendbar.

Die beiden gängigsten Modelle sind die Beauftragung und Abrechnung nach Kosten, bzw. die schlüsselfertige Vergabe zum Festpreis.

International spricht man bei Abrechnungen nach Kosten von „Reimbursable“ oder „Cost at Fixed Fee“, bei schlüsselfertigen Anlagen zum Festpreis von „Lumpsum (LS)“.

### **1.1.1 Einheitspreisvertrag**

Bei Einheitspreis Verträgen werden die Aufwendungen des Auftragnehmers nach vereinbarten Verrechnungssätzen und/oder Einheitspreisen durch den Auftraggeber beglichen. Hierzu ist es erforderlich, sämtliche vertragliche Leistungen oder Teilleistungen in einer Form aufzulisten, die den Auftragnehmer sowie den Auftraggeber in die Lage versetzen, diese Leistungen zu messen, und diese Leistungen den Verrechnungssätzen zu zuordnen. Diese Leistungen sind in einem Leistungsverzeichnis (LV) aufzuführen. Es sind für sämtliche (Teil)Leistungen Mengengerüste mit entsprechend detaillierten Angaben zu erstellen, die zum einen die zu erbringende Leistung beschreibt, die zu messenden Einheiten wie Std., Tonne, m<sup>2</sup> usw. und den dazugehörigen Einheitspreis beinhaltet.

Diskussionen sind auf beiden Seiten vorprogrammiert, wenn nicht alle erforderlichen Leistungen erfasst und beschrieben sind. Dies gilt insbesondere für komplexe Aufgabenstellungen.

### **1.1.2 Kostenerstattung**

Kostenerstattungs-Verträge, sogenannte „Cost at Fixed Fee“ Verträge, regeln die Vergütung der tatsächlichen angefallenen Kosten des Auftragnehmers zuzüglich einer verein-

barten Gebühr. Bei den Kosten kann es sich um Selbstkosten als auch um Fremd- oder Herstellkosten handeln. Die Gebühr wird vertraglich als absolute Zahl definiert.

Solche Verträge werden vornehmlich gewählt, wenn der tatsächliche Leistungsumfang nur schwer zu beschreiben ist, oder die Umstände eine sehr hohe Risikoberücksichtigung durch den Auftragnehmer zu erwarten lassen.

Die Schwierigkeit besteht allerdings darin, zu definieren, was alles unter die Position Kosten fällt, und was mit der Gebühr abgeglichen wird. Ein weiterer Punkt ist die Festlegung der Preiskategorie. Während Auftragnehmer und Auftraggeber sich relativ schnell einig werden, was die Qualität einer Pumpe betrifft, so entstehen zum Beispiel rege Diskussionen über den Typ des Baustellenfahrzeuges. Von daher sollte eine detaillierte Auflistung von Kosten und Preiskategorien frühzeitig von beiden Seiten abgestimmt werden.

Seitens des Auftraggebers besteht das Risiko, dass die tatsächliche Höhe der Investitionskosten, im Gegensatz zum Pauschalpreis, erst zum Ende des Projektes feststeht, wenn alle Kosten angefallen sind.

Üblicherweise wird ergänzend zu den Kosten und Gebühren eine Bonus-Malus-Regelung angestrebt, die die Motivation nach Kosteneinsparungen, durch den Auftragnehmer, steigert. Eine solche zusätzliche Zielvereinbarung zielt auf eine Unterschreitung eines vorab definierten Zielpreises (Target Pricing) ab.

### 1.1.3 Pauschalpreis

Im Pauschalpreis (Lump Sum) verpflichtet sich der Auftragnehmer gegenüber dem Auftraggeber die angebotenen Leistungen in einem bestimmten Zeitraum zu einem festen Preis anzubieten. Durch eine Schwarz-Weiß-Brille gesehen, sind alle Leistungen, die für die Errichtung einer Anlage erforderlich sind, im Preis inbegriffen, sofern sie vertraglich nicht ausgeschlossen sind. Es gibt keine Regelungen für etwaige Minder- und Mehrmengen, die während der Planung auftreten, vorausgesetzt sie werden nicht explizit vom Auftraggeber gefordert.

Die Risiken, aber auch die Chancen liegen somit beim Auftragnehmer.

---

## 1.2 Projekte

Entsteht ein Einverständnis zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer über einen bestimmten Leistungsumfang und kommt es zu einem Vertrag, so liegt ein Projekt vor. Dieses Projekt ist in einem mittels Vertrag definierten Zeitraum abzuwickeln. Eine Recherche im Gabler Wirtschaftslexikon unter dem Stichwort Projekt führte zu folgendem Ergebnis:

► Ein Projekt ist eine zeitlich befristete, relativ innovative und risikobehaftete Aufgabe von erheblicher Komplexität, die aufgrund ihrer Schwierigkeit und Bedeutung meist ein gesondertes Projektmanagement erfordert. [1]



**Abb. 1.2** Merkmale von Projekten

In Anlehnung an die DIN 69901-5 sind Projekte im internationalen Anlagenbau, wie auch durch Abb. 1.2 dargestellt, einzigartige, einmalige, und neuartige Vorhaben, die zeitlich begrenzt sind, besondere Komplexitäten aufweisen und interdisziplinär durchgeführt werden.

Sie sind häufig durch hochgesteckte Ziele, knappen Ressourcen und eine dynamische Umwelt gekennzeichnet. [2]

Unterschiedliche Kulturen stellen immer wieder neue Anforderungen an die Projektorganisation. Sie sind also ein Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist. Neben den Risiken bieten sich aber auch Chancen.

Einige dieser Anforderungen können, wenn sie vereinzelt auftreten, schon das Projektteam ausreichend beschäftigen. Im internationalen Anlagenbau ist davon auszugehen, dass sämtliche dieser Einflüsse auf die Projektorganisation, meistens gleichzeitig, einwirken. Die Aufgabe des Projektteams ist es, diesen Einwirkungen gezielt entgegenzuwirken, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

Im nachfolgenden wird bei einem Projekt immer von den Leistungsumfängen des Engineerings, der Beschaffung und der Bau und Montage ausgegangen, wobei sich dieses Buch hauptsächlich mit den Abläufen der Bau und Montage beschäftigt.

Während wir in der deutschen Sprache von Bau und Montage sprechen, dieses auch häufig mit „Civil and Erection“ ins Englische übersetzen, wird international der übergeordnete Begriff „Construction“ verwendet. Nach dem allgemeinen Verständnis lauten die Definitionen:

- **Der Bau ist die Herstellung bzw. Errichtung von Bauwerken.**
- **Die Montage ist der Zusammenbau von Einzelteilen zu einer funktionierenden Einheit.** In der Regel verfügen Anlagenbauer des Großanlagenbaus über eigene Enginee-

ring-Kapazitäten, einen Einkauf um Beschaffungsprozesse durchzuführen und über ein Baustellenmanagement für die Überwachung der Bau- und Montageleistungen. In den seltensten Fällen verfügen sie jedoch über das entsprechende und ausreichende Personal wie Bauarbeiter, Schlosser, Schweißer, Elektriker usw. um eine Anlage mit eigenen Ressourcen schlüsselfertig zu bauen. Das Vorhalten eigener Ressourcen ist darüber hinaus, insbesondere bei international ausgerichteten Unternehmen, aufgrund der vielfältigen Visabestimmung und einer gleichbleibenden Ausrichtung nur schwer zu realisieren.

Schließt der Anlagenbauer also einen Vertrag über die schlüsselfertige Errichtung einer Anlage ab, müssen die Leistungen für die Bau und Montage mittels Nachunternehmervertrag auf dem Markt einkauft werden.

Da die eingekauften Bau- und Montageleistungen keine Selbstläufer sind, vielmehr koordiniert und überwacht werden müssen, ist somit eine der Hauptaufgabenstellung des Baustellenmanagement des Anlagenbauers definiert.

► **Nachunternehmer sind entsprechend der Qualität und Termineinhaltung zu überwachen.** Das Baustellenmanagement beginnt nicht, wie eigentlich der Name sagt, auf der Baustelle, sondern bereits im Stammhaus des Anlagenbauers. Analog zum Projektmanagement beschäftigt sich das Baustellenmanagement mit der Planung, Ausführung und Steuerung von Baustellenabläufen.

In dem gesamten zeitlichen Projektablauf befindet sich die Bau- und Montagephase am hinteren Ende. Zeitpuffer des Gesamtterminplans sind in diesem Stadium meistens aufgebraucht. Erschwerend kommt nun hinzu, dass die theoretische Planung der Anlage in die Praxis umgesetzt wird. Änderungen und Zusatzarbeiten erweitern den Leistungsumfang der Bau und Montage und somit den der Nachunternehmer. Als Konsequenz hieraus entstehen Forderungen seitens der Nachunternehmer für eine Kompensation von höheren Kosten und längere Termine. Hier ist das Baustellenmanagement gefordert frühzeitig entgegen zu wirken.

Es ist von daher wichtiger denn je, die Baustellenabläufe detailliert vorzuplanen um Abweichungen frühzeitig erkennen zu können, und um unmittelbar korrigierende Maßnahmen einzuleiten.

---

## 1.3 Marktanforderung

Der Markt des Anlagenbaus ist groß und vielseitig. Er erstreckt sich von Komponenten über Baugruppen bis hin zu Fertigungsanlagen.

Um im Markt bestehen zu können, müssen Anlagenbauer flexibel reagieren können, und zwar:



- auf veränderte Marktanforderungen
- neue Technologien
- immer komplexere Produkte
- höhere Ansprüche von Kunden und Aufsichtsbehörden
- ständigen Kostendruck.

Die Lebenszyklen von Anlagen bemessen sich in Jahren oder Jahrzehnten. Sie müssen fortlaufend gewartet werden und können im Laufe der Zeit erheblichen Änderungen oder Neuerungen unterliegen. Anlagenbauer, die die Anforderungen eines dynamischen weltweiten Marktes erfolgreich bewältigen wollen, benötigen Technologien und Abwicklungskonzepte, die sie in die Lage versetzen, innovative, individuelle Projekte schneller, mit höherer Genauigkeit und profitabler herzustellen.

Die Marktglobalisierung erfordert zwar eine solide Strategie und entsprechende Technologien auf Seite der Anlagenbauer, allerdings müssen auch die immer höher werdenden Anforderungen der Kundenseite berücksichtigt werden.

Die Kunden von Anlagenbauern beurteilen die Anlagen nicht nur nach ihrer Qualität und Funktionen, sondern auch nach dem „Return on Investment“ (ROI), also der Investitionsrendite. Diese setzt sich wiederum aus dem Kapitaleinsatz (CAPEX) zur Anschaffung neuer Anlagen und den laufenden Betriebskosten (OPEX), sowie des Marktpreises des Produktes zusammen.

Darüber hinaus stellen Kunden aus unterschiedlichen Regionen unterschiedliche Anforderungen. Anlagen müssen also auch an die lokalen Märkte angepasst werden.

In einigen Märkten ist es mitunter sinnvoll lokale Kapazitäten zur Errichtung der Anlage zu nutzen. In anderen Märkten ist es mitunter vertraglich fixiert, teilweise sogar gesetzlich festgelegt. Auf jedem Fall hat der Anlagenbauer den Markt bezüglich seiner besonderen Anforderungen frühzeitig zu untersuchen, um auf diese Marktanforderungen eingehen zu können bzw. diese zu erfüllen. Die Marktanalyse ist ein wesentlicher Bestandteil der Angebotsphase und sollte von daher auch zwingend in ihr durchgeführt werden. Die hier investierten Kosten des Anlagenbauers sind grundsätzlich gut investiert und dienen zur Reduzierung von abwicklungstechnischen Risiken.

Die unterschiedlichen Kulturen und Ausbildungsstände des Marktes stellen weitere Anforderungen an die Baustellenleitung des Anlagenbauers. Die Abwicklungsprozesse sind unter Berücksichtigung solcher lokalen Gegebenheiten bei jedem Projekt neu zu definieren und zu optimieren. In Ländern mit niedrigerem Kostenniveau sollte der Einsatz von kostenintensiven Materialien optimiert werden, während in Ländern mit hohen Lohnkosten der Bau- und Montageaufwand zu minimieren ist.

Ein weiterer Trend ist der Hang zu Großprojekten. Da diese Großprojekte in der Regel bankenfinanziert werden, erwartet der Geldgeber, also die Bank, eine Risikominimierung bei der Abwicklung solcher Großprojekte. Risikominimierung beim Investor bedeutet für den Anlagenbauer meistens, dass die Anlage schlüsselfertig zum Festpreis anzubieten ist, idealerweise aus einer Hand. Um diese Kundenanforderungen zu erfüllen, müssen An-

lagenbauer in der Lage sein, die wachsende Komplexität von Anlagen und Service zu bewältigen.

Eine zunehmende Anforderung von Märkten ist der Wunsch nach modularen Bauweise. Zum einen können extreme Klimabedingungen den Einsatz von Arbeiter vor Ort sehr stark einschränken, zum anderen spielt die geographische Lage eine entscheidende Rolle bei der Verfügbarkeit von Arbeitskräften. Im Anlagenbau gilt es daher, flexible Produktlinien zu strukturieren und Produkte mit modularen Ansätzen so zu konstruieren, dass Produktlinien nach Anforderungserfordernissen segmentiert werden können.

---

## **1.4 Zusammenfassung**

Die Herausforderung im internationalen Anlagenbau ist die Komplexität und Vielseitigkeit der Projekte. Verschiedene Vertragsarten in unterschiedliche Märkte müssen gemeistert werden. Interkulturellen Herausforderungen erwarten darüber hinaus die Baustellenmannschaft unter Einflüssen verschiedener klimatischer Bedingungen.

Dem allen nur annähernd gerecht zu werden, sollte die Abwicklung der Projekte maßgeschneidert auf die jeweiligen Bedingungen zugeschnitten werden. Neben der hohen Ingenieurkunst sind vor allem die Abwicklungskompetenzen von größter Bedeutung. Diese Abläufe sind detailliert zu planen und an die Marktbedingungen anzupassen. Dadurch gewinnt das Baustellenmanagement eine immer größere Bedeutung in der Abwicklung von Projekten des nationalen als auch des internationalen Anlagenbaus.

Der Anlagenbau ist in sich ein vielfältiges Betätigungsfeld. Anlagen werden nicht nur auf festem Boden, sondern auch im Meer gebaut. Man unterscheidet daher entsprechend dem englischen zwischen „Offshore“ und „Onshore“ Anlagen.

Im Anlagenbau, hauptsächlich im verfahrenstechnischen Anlagenbau, dreht sich fast alles ums Öl und Gas. Das Öl und Gas muss gefördert werden, für die weitere Verwendung gereinigt oder aufbereitet werden und anschließend zu den Verbrauchern, als Vorprodukt oder Endprodukt, transportiert werden.

Weitere Schwerpunkte finden in der Energietechnik statt, mit dem Schwerpunkt Kraftwerksbau. Produktionsstätten wie Fabriken ist ein weiterer wichtiger Sektor, wird aber im Folgenden nicht weiter behandelt.

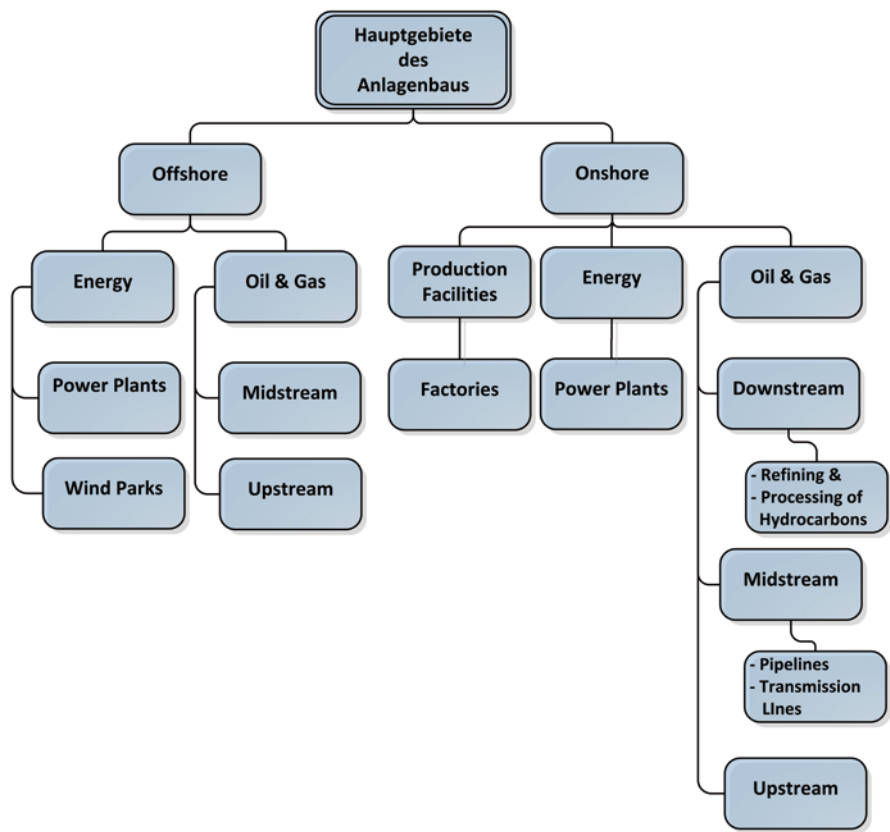
Abbildung 2.1 zeigt die schematisch dargestellten Hauptgebiete des Anlagenbaus. Die erste Ebene der Einteilung unterscheidet sich darin ob die Anlage zu Land oder auf dem Wasser errichtet wird. Die nächstfolgende Ebene unterscheidet zwischen dem Energie Sektor, dem Oil & Gas Sektor und den Produktionsstätten.

---

### 2.1 Offshore

Im Anlagenbau bedeutet Offshore die Installation und Montage von Strukturen und Einrichtungen im Meer. Schwerpunktmäßig handelt es sich um Einrichtungen zur Gewinnung und Übertragung von Energien, Öle oder Gase, also sogenannter Upstream und Midstream Anlagen.

Die gängigsten Anlagentypen sind heutzutage neben den Bohrinseln, Anlagen die regenerativen Energien wie Wind und Gezeiten nutzen. Abb. 2.2 zeigt den Offshore Windenergiepark in Rødsand, Dänemark der E.ON Svergie.



**Abb. 2.1** Hauptgebiete des Anlagenbaus



**Abb. 2.2** Offshore Windenergieanlage in Dänemark. (Bild: E.ON SE)



**Abb. 2.3** Bohrinsel Öl Plattform. (Bild: E.ON SE)

Abbildung 2.3 stellt eine Bohrinsel von E.ON in der Nordsee dar, wie sie zur Gewinnung von Öl und/oder Gas aus den Meerestiefen erforderlich sind. Eine wesentliche Besonderheit von Bohrinseln ist, dass sie in modularer Bauweise hergestellt werden. Die Anlagen werden auf dem Festland in sogenannten „Modul Yards“ errichtet und mittels Schlepper in die entsprechende Position auf See transportiert.

---

## 2.2 Onshore

Bei Onshore Projekten handelt es sich um den Bau und die Montage von Einrichtungen auf dem Festland.

### 2.2.1 Öl & Gas

Die Öl & Gas Industrie unterteilt sich in drei weitere Sektoren wie auch Abb. 2.1 zeigt. Namentlich sind das die Sektoren:

- Upstream
- Midstream
- Downstream

Diese drei Sektoren werden auch als Teile des gesamten Produktionsprozess zur Gewinnung von Rohstoffen verstanden.

### 2.2.1.1 Upstream

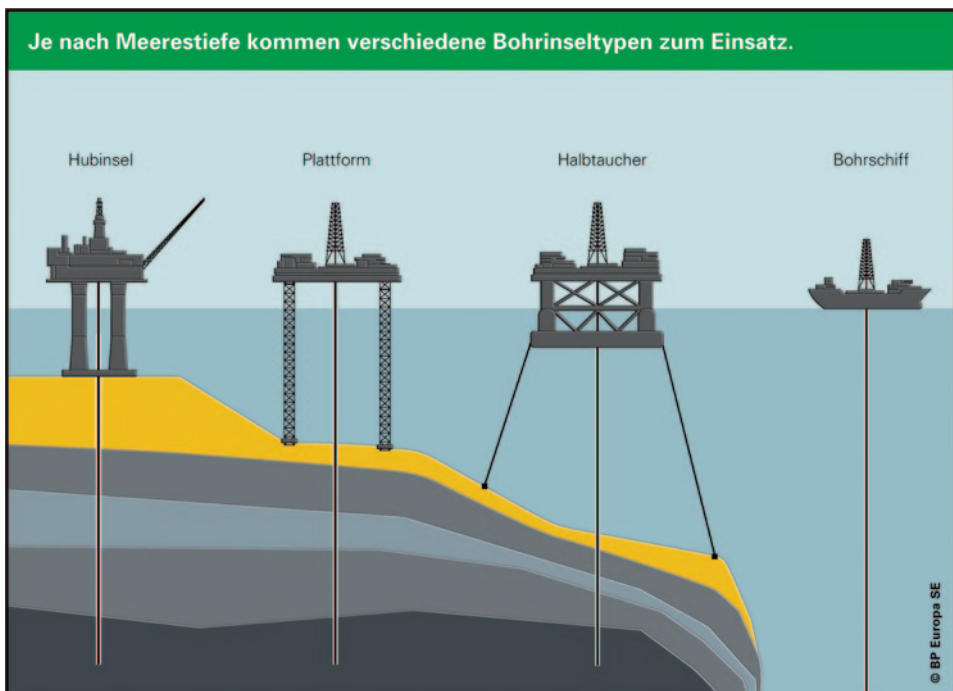
Upstream umfasst neben den Einrichtungen und Anlagen, die zur Gewinnung und Förderung von Rohstoffen (z. B. Rohöl, Natural Gas, Kohle, Erze usw.) benötigt werden, auch die Aktivitäten, die dem Auffinden solcher Vorkommnisse dienen.

In der heutigen Zeit, bei immer knapper werdenden Ressourcen, rückt die Gewinnung neuer Rohstoffe deutlich in den Focus. Verbesserte Techniken und neue Technologie versetzen den Anlagenbauer in die Lage, an bisher unzugänglichen Stellen, wichtige Rohstoffe aufzuspüren und abzubauen. Die gängigsten Methoden zum Auffinden von unterirdischen Rohstoffen sind reflektionsseismischen Messungen und das Richtbohrverfahren, mit dem schwerzugängliche Lagerstätten erschlossen werden.

Neben den klassischen Förderungsmethoden, wie z. B. dem sogenannten Pferdekopf (engl. Horse Head, oder auch Pump Jack genannt), der das Rohöl aus der Tiefe fördert, rückt die Offshore-Förderung von Rohstoffen immer weiter in den Mittelpunkt. Unterschiedliche Meerestiefen und Strömungen, neben extremen Witterungsbedingungen fordern von dem Anlagenbauer zielorientierte Lösungen zur Gewinnung der Rohstoffe.

Abbildung 2.4 zeigt die, je nach Meerestiefe, einzusetzenden Bohrsinselformen.

Weitere Kerngebiete der Rohstoffgewinnung, die insbesondere in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen haben, ist die Gewinnung von Erdöl aus sandigen Boden, den sog. Oil Sands wie Abb. 2.5 zeigt.



**Abb. 2.4** Unterschiedliche Bohrsinselformen. (Bild: BP Europe SE)



**Abb. 2.5** Athabasca Oil Sands. (Bild: NASA)

Eine weitere neuzeitliche Möglichkeit zur Gewinnung von Rohstoffen ist die Gewinnung von Gas aus schieferhaltigen Gestein. Hierbei wird unter Verwendung von Chemikalien, die mit hohem Druck in das Gestein gepresst werden, das Gestein aufgebrochen (Fracking, siehe Abb. 2.6). Dabei entstehen Risse, durch die das Gas fließen kann. Das entwichene Gas wird über das Bohrloch gezielt abgeführt.

### 2.2.1.2 Midstream

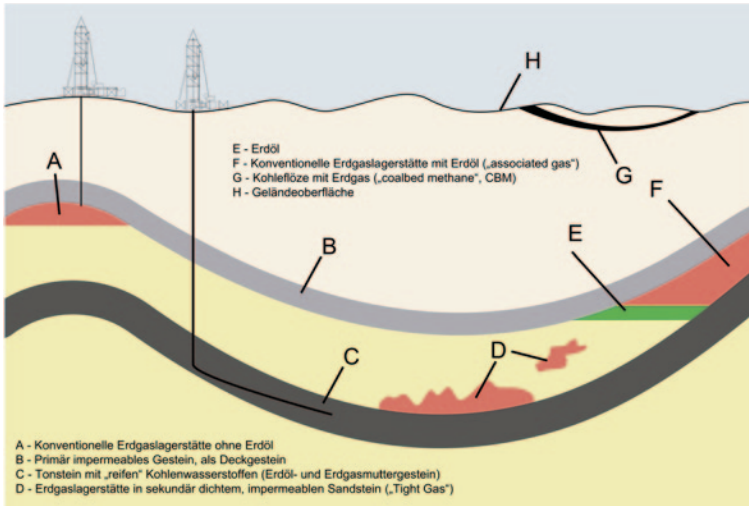
Midstream umfasst Einrichtungen und Anlagen zur Lagerung und zum Transport von Rohstoffen zur weiterverarbeitenden Industrie. Typische Anlagen sind z. B. Tanklager, Kavernen oder Pipelines zum Transport von Öl oder Gas bzw. Hochspannungsleitungen zur Übertragung von elektrischer Energie.

Abbildung 2.7 zeigt den Bau einer Gaspipeline des Südloops der MIDAL (Mitte-Deutschland-Anbindungsleitung).

### 2.2.1.3 Downstream

In dem Sektor Downstream werden die gewonnenen Rohstoffe aufbereitet, gereinigt und/oder weiterverarbeitet. Hierbei handelt es sich z. B. um Raffinerien und Anlagen der petrochemischen Industrie. Neben den üblichen Anlagenkomplexen, die durch **einen** Betreiber unterschiedlicher Prozessanlagen betrieben wird, entstehen weltweit immer mehr unterschiedliche Chemieparks. In den Chemieparks greifen unterschiedliche Betreiber auf eine einheitliche Infrastruktur zurück. Weitere Vorteile bieten Synergien bei der Organi-





**Abb. 2.6** Schematische Darstellung zur Schiefergasgewinnung. (Bild: US Government)



**Abb. 2.7** Verlegung einer Erdgas-Pipeline. (Bild: GASCADE)

sation und der Sicherheit bzw. Bewachung. Laut Chempark stellen sich Chemieparks wie folgt dar:

Von außen betrachtet mag ein Chemiepark ein schwer zu durchschauendes Nebeneinander von Produktionsbetrieben, Verwaltungsgebäuden, Werkstätten, Rohrleitungen, Straßen, Eisenbahnschienen, Lagerplätzen, Tanks und Silos sein. Oft kommen auch noch Kai- und Hafenanlagen dazu, denn die meisten Chemieparks liegen am Wasser.

Was man auf den ersten Blick nicht sieht, ist der Verbundgedanke, der dahintersteckt. So arbeiten eine Vielzahl von chemischen Betrieben und chemienahen Unternehmen im Verbund,





**Abb. 2.8** Chemiepark Bayer Dormagen. (Bild: BayerAG)

um chemische Grundstoffe zu entwickeln, zu produzieren, zu veredeln, weiter zu verarbeiten und zu vermarkten. In vielen Fällen wird dadurch das Neben- oder Abfallprodukt einer produzierenden Firma zum wertvollen Rohstoff für ein anderes Unternehmen am Standort. [3]

Abbildung 2.8 zeigt den Anlagenkomplex von Bayer in Dormagen.

### 2.2.2 Energietechnik

Der Energiesektor wird durch die Kraftwerke dominiert. Kraftwerke sind technische Anlage zur Erzeugung von Strom. Bei den regenerativen Energien gibt es:

- Gezeitenkraftwerke
- Wasserspeicherkraftwerke
- Geothermie Kraftwerke (Erdwärme)
- Solarkraftwerke

Des Weiteren wird Strom durch die Verbrennung von:

- Erdgas
- Erdöl
- Braun- oder Steinkohle
- Müll
- Biomasse

hergestellt.

### **2.2.3 Produktionstechnik**

In Fabriken sind Produktionsabläufe auf industrielle Bedürfnisse abgestimmt. Hierbei kann es sich um Fertigungsanlagen von Fahrzeugen, Maschinen, oder Anlagen zwecks Herstellung von Nahrungsmittel wie Brot oder Bier handeln.

---

## **2.3 Zusammenfassung**

Anlagen entstehen überall in der Welt. Im Wasser und auf dem Lande. In unserem Zeitalter ist die Gewinnung von Energie der Motor unserer Zivilisation. Dabei kann es sich um die Gewinnung vorhandenen Rohstoffen handeln oder auch um die Gewinnung regenerativer Energie. Die Rohstoffe und Energien sind nicht immer in den Märkten verfügbar, in denen sie benötigt werden. Also müssen sie dorthin geschafft werden. Das kann auf unterschiedlicher Art und Weise erfolgen. Die Rohstoffe werden direkt in die Märkte transportiert, oder es erfolgen die Veredelungen der Rohstoffe vor Ort und das veredelte Produkt wird zum Markt transportiert.

Wo immer auch die Anlage benötigt wird, das Baustellenmanagement muss sich dieser Aufgabe stellen.

Mit den Bauarbeiten beginnt die physische Errichtung der Anlage. Damit ist der Baubeginn ein wichtiger Meilenstein des Projektterminplans. Jeder der schon mal ein Haus gebaut hat, oder umfangreiche Renovierungsarbeiten durchgeführt hat, kennt das Gefühl:

► **Jetzt geht es los.** Allerdings sollte der Baubeginn kritisch betrachtet werden. Eine sinnvolle Bauausführung kann erst dann begonnen werden, wenn die planungstechnischen Voraussetzungen erfolgt sind bzw. ausreichende Informationen vorliegen. Wobei ausreichend ein dehnbarer Begriff ist. Auf jedem Fall sollte überprüft werden, ob eine zufriedenstellende Auslastung zu Baubeginn für die Baufirma gegeben ist, um dieser einen reibungslosen Start in das Projekt zu verschaffen. Erfahrungen haben gezeigt, dass bei nicht ausreichender Arbeitsauslastung der Baufirma ein erster Interessenkonflikt zwischen frühzeitiger Mobilisierung (Anlagenbauer) und ungehinderten Arbeiten (Nachunternehmer) entsteht. Unglücklicherweise können solche Konflikte das Verhältnis Anlagenbauer und Nachunternehmer während der gesamten Projektlaufzeit belasten.

Im Wesentlichen sind die planungstechnischen Voraussetzungen für Bauarbeiten die

- Aufstellungsplanung,
- Fundamentzeichnungen einschl. Bewehrung und Schalung,
- Untergrundkoordinationspläne,
- Stahlbauübersichten.

Die Hauptaktivitäten der Baumaßnahme sind

- Baugrundvorbereitung,
- Gründung,

- Betonarbeiten,
- Gebäude,
- Infrastruktur,
- Stahlbau.

---

### 3.1 Baugrundvorbereitung

Zwecks Baugrundvorbereitung ist das Gelände durch einen anerkannten Vermesser zu vermessen und abzustecken. Nach Räumung des Baufeldes erfolgt die Baugrundvorbereitung in Form von Abtragen bzw. Auftragen des Bodens. Bereits diese Aktivitäten sind planerisch zu erfassen. Die Auswahl und Anzahl der erforderlichen Baumaschinen ist zu ermitteln und im Detail mit dem auszuführenden Bauunternehmen abzustimmen. Abhängig vom Umfang der Arbeiten und Lage der Baustelle sind die Transportwege zu möglichen Deponien hinsichtlich des Verkehrsaufkommens zu überprüfen.

Für die Planung der Baugrundvorbereitung ist eine Leistungskennzahl zu ermitteln, mit der der erforderliche Ausführungszeitraum für die Erdbewegungen ermittelt werden kann.

*Formel 3.1 Effizienz*

$$\text{Effizienz} = E = \frac{\text{Input}}{\text{Output}} = \frac{\text{Arbeitsaufwand}}{\text{prod.Stückzahl}}$$

Bei einer angenommenen Effizienz und der bekannten Masse lässt sich der durchschnittliche Arbeitsaufwand in z. B. Wochen bestimmen.

In der Ausführung wiederum kann anhand der geplanten Dauer und der zu bewegendenden Erdmassen eine Leistungskennzahl zu Steuerungszwecken ermittelt werden. Diese ergibt sich aus der tatsächlich zu bewegendenden Erdmasse bezogen auf dem zur Verfügung stehenden Arbeitszeitraum. Dieser Durchschnittswert ist erfahrungsgemäß mit einem Peak-Faktor (Pf) von 1,5 zu bewerten.

(Peak=Spitze, Gipfel ist der Spitzenwert bezogen auf den Durchschnittswert).

Unter Berücksichtigung der Produktivität:

*Formel 3.2 Produktivität*

$$\text{Produktivität} = P = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{\text{prod.Stückzahl}}{\text{Arbeitsaufwand}}$$

ergibt sich folgende Formel für die maximale Produktivität.

*Formel 3.3 maximal Produktivität*

$$P(Peak) = \frac{Output}{Input} * Pf$$

**Tab. 3.1** Auflockerungsfaktor der Bodenklasse nach DIN 18300

| Bodenklassen nach DIN 18300 | Auflockerungsfaktor |
|-----------------------------|---------------------|
| 1                           | 1,10–1,35           |
| 2                           | n.a                 |
| 3                           | 1,05–1,30           |
| 4                           | 1,05–1,45           |
| 5                           | 1,20–1,60           |
| 6                           | 1,25–1,75           |
| 7                           | 1,30–2,00           |

Entsprechend der DIN 18300 werden die zu bewegendenden Erdmassen in sieben Bodenklassen eingeteilt. Es ist empfehlenswert diese Einteilung auch als Basis für die Planung, Kalkulation und Abrechnung von Baugrundvorbereitungen zu verwenden.

- Bodenklasse 1: Oberboden
- Bodenklasse 2: Fließende Bodenarten
- Bodenklasse 3: Leicht lösbare Bodenarten
- Bodenklasse 4: Mittelschwer lösbare Bodenarten
- Bodenklasse 5: Schwer lösbare Bodenarten
- Bodenklasse 6: Leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten
- Bodenklasse 7: Schwer lösbarer Fels [4]

Die zu bewegendenden Erdmassen werden dem vorhandenen Boden entnommen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich das Volumen für den Abtransport bzw. für die Wiederverwendung verändert. Der Auflockerungsfaktor ist ein Faktor der das Verhältnis des Volumens des aufgenommenen Bodens zu dem gewachsenen Boden angibt.

Der Auflockerungsfaktor entsprechend der Bodenklassen nach DIN 18300 ist in Tab. 3.1 dargestellt.

Tabelle 3.2 beinhaltet den Auflockerungszuschlag für unterschiedliche Böden im gelösten Zustand sowie den Faktor bei der Berücksichtigung von einer bleibenden Auflockerung nach einer erneuten Verdichtung bei der Wiederverwendung des Bodens.

**Tab. 3.2** Auflockerungsfaktoren für ausgewählte Böden

| Boden                           | Auflockerungsfaktor | Bleibende Auflockerung |
|---------------------------------|---------------------|------------------------|
| Schlammiger Boden               | 1,00                | 1,00                   |
| Mutterboden                     | 1,10–1,22           | 1,02–1,05              |
| Ton                             | 1,11–1,19           | 1,03–1,09              |
| Sand                            | 1,12–1,20           | 1,05–1,10              |
| Lehm                            | 1,15–1,25           | 1,05                   |
| Fester Ton                      | 1,20–1,25           | 1,05–1,08              |
| Schwerer Lehm                   | 1,25–1,33           | 1,10–1,15              |
| Leicht lösbarer Fels, gehackt   | 1,25–1,50           | n.a                    |
| Schwer lösbarer Fels, gesprengt | 1,30–1,60           | n.a                    |
| Kalkstein, gebrochen            | 1,60–1,90           | n.a                    |
| Sandstein, gebrochen            | 1,60–2,00           | n.a                    |

Beispiel

Ermittlung der erforderlichen Fahrzeuge zum Abtransport des abzutragenden Bodens. Das Bodenmaterial besteht aus schwerem Lehm und soll im gelösten Zustand innerhalb von 10 Wochen abtransportiert werden.

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| Input [in Wochen]                 | 10 Wochen  |
| Abzutragender Boden (Output)      | 100.000 m³ |
| Peak-Faktor (Pf)                  | 1,5        |
| Auflockerungsfaktor gem. Tab. 3.2 | 1,3        |

$$P(\text{Peak}) = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} * Pf = \frac{100.000\text{m}^3}{10} \text{Wochen} * 1,5 = \frac{15.000\text{m}^3}{\text{Woche}}$$

Bei 5 Arbeitstagen ergibt sich ein Bodenabtrag von 3000 m³ pro Tag. Der Boden hat im transportfähigen Zustand ein wesentlich größeres Volumen als im gewachsenen Zustand vor der Abtragung. Entsprechend Tab. 3.1 und der Annahme, dass der aufgelockerte Boden in Verhältnis 1:1,3 bezogen auf den festen Boden steht, sind 3900 m³ pro Tag zu entsorgen.

Unter der Berücksichtigung, dass ein 4-achsiger Kipper mit einem Ladevolumen von 13 m³ zum Einsatz kommt, sind 300 Fahrten pro Tag erforderlich. Bei einer Arbeitszeit von 10 h pro Tag müssen 30 Fahrten pro h realisiert werden. Also alle 2 min eine Fahrt.

Entscheidend sind hier nun die Entfernung und die daraus resultierende Fahrzeit von der Baustelle zur Deponie. Das Beladen und Abkippen spielt meistens nur eine untergeordnete Rolle.

Sollte die Deponie 5 km entfernt liegen, bräuchte das Fahrzeug ungefähr 20 min (hin und zurück einschl. Be- und Entladen). Demzufolge müssten 10 Fahrzeuge permanent im Einsatz sein.

Verfügt der Bauunternehmer nur über 5 Fahrzeuge, würde das zu Beginn der Bau- und Montage bereits einen Verzug im Gesamtterminplan von 10 Wochen bedeuten.

► **Dieses Beispiel soll in seiner Trivialität verdeutlichen, dass selbst vermeintlich einfache Arbeiten gründlich auf ihre Machbarkeit hin untersucht werden müssen und während der Bauausführung zu kontrollieren sind.**

Parallel dazu sind ähnliche Untersuchungen bezüglich der Geräte für den Bodenabtrag zu tätigen.

---

## 3.2 Wasserhaltung

Wasser, sofern nicht gezielt eingesetzt und kontrolliert, ist auf Baustellen grundsätzlich unerwünscht.

Also muss das Wasser von der Baustelle fern gehalten werden. Dies erfolgt durch die Wasserhaltung. Die Wasserhaltung beinhaltet sämtliche erforderlichen Maßnahmen und Aufwendungen um Wasser von der Baustelle gezielt fern zu halten.

Während der Baustellenplanung spielt also die Berücksichtigung der Wasserhaltung eine wichtige Rolle. Entweder kommt das Wasser von oben, als Niederschlag, oder von unten, als Grundwasser. In den ungünstigsten Fällen aus beiden Richtungen.

Nicht abfließendes Oberflächenwasser behindert die Zugänglichkeit zur Baustelle, sowie die Beweglichkeit von Mensch und Gerät. Ausgehobene Gräben und Gruben werden geflutet, was wiederum zu Schäden führen kann.

In Ländern mit extremen klimatischen Bedingungen wie z. B. dem Monsun, sollten Entwässerungskanäle im gesamten Baustellenbereich geplant und errichtet werden um das Oberflächenwasser gezielt abzuleiten.

Bei der Planung (Baustellenvorbereitung) ist zu überprüfen, welche Bauwerke und/oder Gewerke im Untergrund errichtet werden. In der Regel handelt es sich um unterirdische Rohrleitungen, um Gruben und Schächte. Hierzu sind die maximal freizulegenden Tiefen zu ermitteln. Die freizulegenden Tiefen orientieren sich an der Bauplanung und an bautechnischen Belangen.

Beim Verlegen einer Untergrundrohrleitung wird entweder die maximale Überdeckung der Rohrleitung oder die Tiefe der Sohle angegeben.

---

### Beispiel

In dem Fall, dass die Grabensohle mit -2,5 m angegeben wird, ist je nach Bodenbeschaffenheit (steinige Böden und/oder Felsvorkommen), eine Sandsohle (0,2 m) erforderlich. Demzufolge ist die auszuhebende Grabentiefe -2,7 m. Die Werte sind mit dem Bodengutachten (Hydrogeologischer Teil) zu vergleichen.

Des Weiteren ist zu überprüfen, ob mögliche Kopflöcher für die Montage der Untergrundleitungen erforderlich sind. Kopflöcher werden für die Herstellung von Rohrleitungsver-

bindungen, durch Schweißen und/oder Laminieren, im Graben benötigt. Sie dienen der Zugänglichkeit zu der Untergrundrohrleitung von unten, und vergrößern die maßgebende Grabentiefe in diesem Bereich.

Die ermittelten maximalen Tiefen werden gegen die in einem hydrostatischen Gutachten angegebenen Grundwasserstände verglichen. Sollte der Grundwasserstand höher sein als die maximale baubedingte Tiefe sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Im Wesentlichen unterscheidet man primär drei Arten der Wasserhaltung:

- Offene Wasserhaltung
- Grundwasserabsenkung
- Geschlossene Wasserhaltung

### 3.2.1 Offene Wasserhaltung

Die technisch einfachste und kostengünstige Methode Wasser aus Gruben und Gräben zu entfernen, ist die offene Wasserhaltung.

Bei der offenen Wasserhaltung wird das Wasser (Grundwasser und Oberflächenwasser in Gruben) mittels Pumpen und Sickerleitung aus den Gruben und Gräben entfernt. Die Pumpen sind entsprechend der erwarteten und zu fördernden, Wassermenge auszulegen. Das abzuführende Wasser ist gezielt abzuleiten.

Dabei sollte sorgfältig überprüft werden, wohin das Wasser versickert. Verschmutztes Wasser ist nicht ohne weitere Behandlung abzuleiten, wenn es in offene Gewässer gelangen könnte. Verschmutztes Oberflächenwasser, sei es nur durch Erde und Lehm verunreinigt, könnte z. B. zu Komplikationen mit Besitzern von Forellenteichen führen, wenn dieses Wasser in einen solchen gelangt.

Handelt es sich hauptsächlich um starken Niederschlag z. B. während des Monsuns, sollte das Oberflächenwasser mittels Netzwerk von offenen Gräben abgeführt werden.

Falls keine ausreichende Möglichkeit zum Ableiten besteht, sind Sickergruben anzulegen, wobei der Grund der Sickergrube deutlich tiefer als die Sohle der Gruben und Gräben sein sollte.

Die offene Wasserhaltung ist nur begrenzt anzuwenden. Je tiefer die Gruben und Gräben sind, umso größer sind die erforderlichen Flächen, bei Einhaltung der notwendigen Böschungswinkel. Beim Anlegen von tiefen Gräben ist die Zugänglichkeit innerhalb der Baustelle zu den Arbeitsplätzen zu überprüfen. Falls die erforderlichen Flächen die Zugänglichkeit beeinträchtigen, oder die erforderliche Stabilität der Gräben durch Böschungswinkel nicht erreicht werden kann, wird ein kostenintensiverer Verbau erforderlich.

Bei ungünstigem bzw. hohem Grundwasserspiegel sind die Baugrube und Gräben während der Arbeiten, bis zur Rückverfüllung, trocken zu halten. Da eine Grundwasserabsenkung in der Regel zu kostenintensiv ist, wird das Wasser ebenfalls abgepumpt und gezielt abgeleitet um zu versickern.

Die Wasserhaltung ist während der gesamten Baumaßnahme vorzuhalten.

Unglücklicherweise sind die Kosten für Wasserhaltung nur vage zu greifen. Die Kosten der Wasserhaltung werden annäherungsweise über die Dauer der Baumaßnahmen bis zur



Fertigstellung der Arbeiten und der Rückverfüllung gerechnet. Des Weiteren kommen die Kosten für den Einsatz von Pumpen hinzu.

Ist eine zusätzliche Wasserbehandlung aufgrund möglicher Kontaminierungen notwendig, hängen die Kosten schwerpunktmäßig davon ab, inwieweit kostengünstigen Filtern die Vorgaben erreichen, oder ob aufwendiger Abscheider (Stripper) zum Einsatz kommen.

Der Anlagenbauer ist hierbei gut beraten, insbesondere in bestehenden Anlagenkomplexen, eine mögliche Kontaminierung des Wassers vertraglich ausschließen. Mitunter können Kosten entstehen, die in dieser Größenordnung kalkulatorisch nicht gegriffen werden können.

### 3.2.2 Grundwasserabsenkung

Die Grundwasserabsenkung mittels Brunnen hat den Vorteil, dass größere Absenkungen im Vergleich zur offenen Wasserhaltung erreicht werden.

Schwerpunktmäßig wird die Grundwasserabsenkung durch

- Schwerkraftentwässerung:
- Vakuumentwässerung:
- Flachbrunnen
- Tiefbrunnenanlagen

erreicht.

Bei der Grundwasserabsenkung ist allerdings zu berücksichtigen, dass sogenannte Absenkungstrichter entstehen. Von daher sollte bei der Planung und der Berechnung der Brunnen berücksichtigt werden, dass die Absenkung des Grundwassers auch ein Eingriff in die Natur bedeutet. So können grundwasserabhängige Pflanzen und Bäume vom Absterben bedroht werden.

### 3.2.3 Geschlossene Wasserhaltung

Eine geschlossene Wasserhaltung erfolgt durch Verwendung von Zusatzmaterialien, die in den Untergrund eingebracht werden, wodurch eine Grundwasserabsperzung erreicht wird. Durch die Grundwasserabsperzung wird das Nachfließen von Grundwasser vermieden. Das unterirdisch fließende Wasser wird somit um die Baugrube bzw. Gräben geleitet. Es muss lediglich das durch die Sohle aufsteigende Wasser und/oder das einfließende Oberflächenwasser abgeführt werden. Bei großen Baugruben, die über einen längeren Zeitraum offen sind, kann diese Art der Wasserhaltung kostengünstiger als die offene Wasserhaltung sein. Eine Betrachtung von Fall zu Fall sollte im Vorfeld durchgeführt werden.

Die gängigsten Methoden zur Absperzung von Baugruben sind die Verwendung von Spundwänden bzw. Bohrpfehlwänden.

### 3.3 Tiefengründung

Frühzeitig, nachdem dem das Gründungskonzept erstellt wurde, ist der Pfahltype zu bestimmen.

Für die Herstellung der Tiefengründung gibt es Rammpfähle und Bohrpfähle. Die verwendeten Materialien sind entweder:

- Holz,
- Stahl oder
- Stahlbeton.

Eine weitere Unterteilung erfolgt nach der Herstellung der Pfähle. Handelt es sich um Fertigteilpfähle werden sie vorgefertigt zur Baustelle geliefert. Ortpfähle werden wie der Namen schon sagt vor Ort hergestellt. Bohrpfähle sind grundsätzlich Pfähle die vor Ort hergestellt werden.

Holzpfähle sind leicht zu handhaben, einfach auf Maß einzukürzen und somit relative kostengünstig. Der Nachteil liegt darin, dass die Holzpfähle eigentlich nur unter Ausschluss von Sauerstoff länger haltbar sind. Die Länge und Tragfähigkeit ist natürlich begrenzt.

Stahlpfähle neigen beim Rammen aus der Achse zu laufen. Dafür sind sie aber in allen Größen verfügbar. Ein wesentlicher Vorteil liegt bei direkten Anschlüssen an Stahlkonstruktionen vor.

Fertigteilrammpfähle sind unter fast allen Umgebungsbedingungen nutzbar. Es ist allerdings empfehlenswert bei der Verwendung von Fertigteilrammpfählen die Transportwege bezüglich der Abmessungen zu überprüfen. Im Gegensatz zu Stahlpfählen ist das Einkürzen schwieriger und aufwendiger, eine Verlängerung des Pfahls ist deutlich schwieriger.

Rammpfähle aus Ortbeton haben im Gegensatz zu den Fertigteilen keine Transportrestriktionen. Der Einsatz von Rammpfählen wird aufgrund der Lärmbelästigung beim Rammen eingeschränkt. Bei der Verwendung von Rammpfählen innerhalb bestehender Anlagenkomplexen ist zu prüfen, inwieweit die durch das Rammen entstehenden Erschütterungen einen Einfluss auf angrenzende Bauteile ausüben.

Einfacher ist es bei Bohrpfählen. Eine Lärmbelästigung liegt faktisch nicht vor. Mögliche Auflockerung des Bodes beim Bohren wirken sich dagegen negativ auf die Mantelreibung auf. Um den Bohrkanaal bei lockerem oder feuchtem Boden zu stabilisieren kann ein Rohr in den Kanal eingesetzt werden.

Beim Verdrängerpfahl wird der Pfahl im Standardverfahren in einem Arbeitsgang hergestellt wie in Abb. 3.1 dargestellt.

Wesentliche Kriterien bei der Pfahltypbestimmung sind die Tragfähigkeit, wirtschaftliche Aspekte und die Produktivität bei der Pfahlherstellung. Des Weiteren sind Einflüsse wie Erschütterung, klimatische und lokale Bedingungen zu berücksichtigen.

Nachdem Pfahltypen unter Berücksichtigung der Tragfähigkeit ausgewählt wurden, erfolgt im zweiten Schritt die Überprüfung der Machbarkeit. Pfähle die in existierenden

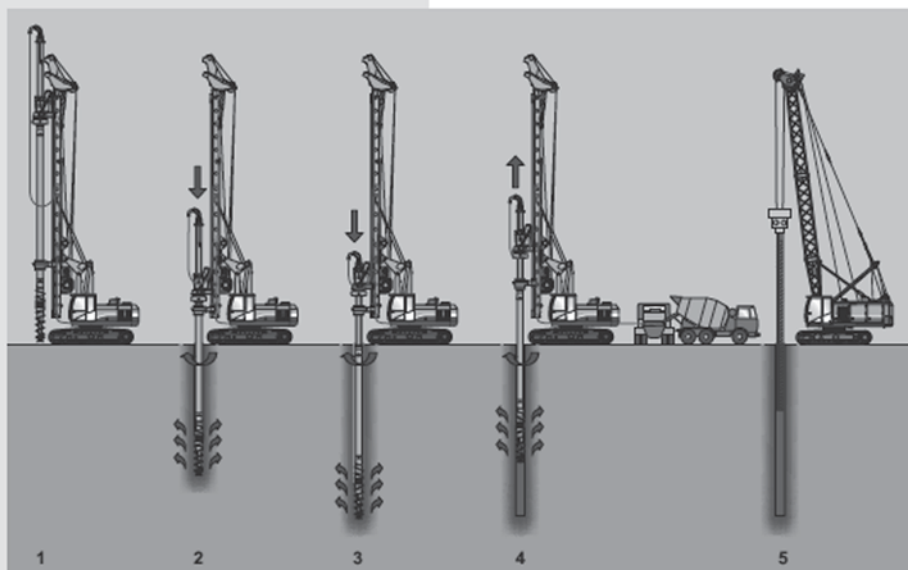
## FDP – Standardverfahren Arbeitsablauf

### Schritt 1:

Einrichten des Gerätes am Bohrpunkt

### Schritt 2:

Einbohren des Verdrängerkopfes in den Boden durch Drehen und Eindringen des Werkzeuges. Der Boden wird mit dem Schneckenanfänger gelöst und durch den konischen Verdrängerkörper in das umgebende Erdreich gedrückt.



### Schritt 3:

Abbohren bis zur Endtiefe. Die Bohrtiefe ist durch die Masthöhe begrenzt, kann jedoch durch die Verwendung einer Kellyverlängerung je nach Gerätetyp um 6 – 10 m verlängert werden.

### Schritt 4:

Nach dem Erreichen der Endtiefe wird das Werkzeug gezogen. Gleichzeitig wird mit einer Betonpumpe der Beton durch die Hohlseele des Werkzeuges in den entstandenen Hohlraum gepumpt. Während des Ziehens wird das Werkzeug in gleicher Richtung gedreht und verdichtet mit der oberhalb des Verdrängerkörpers liegenden gegenläufigen Wendel eventuell nachgefallenes Erdreich oder entspannte Bohrlochwandbereiche.

### Schritt 5:

Der Bewehrungskorb wird, unterstützt durch Vibration, in den frischen Beton gedrückt.

Anlagen hergestellt werden unterliegen anderen Restriktionen als Pfähle die in Greenfield-Anlagen eingebracht werden. In bestehenden Anlagen besteht die Gefahr, dass bei der Verwendung von z. B. Rammpfählen Erschütterungen auftreten könnten, die Nachbargebäude beschädigen. Befinden sich Tanks im Bereich der neu zu pfählenden Flächen sind grundsätzlich nur Pfähle zu verwenden, die keine Erschütterung des Bodens nach sich ziehen. Mögliche Erschütterungen können des Weiteren bei Flüssigkeits-Tanks eine Resonanz hervorrufen, die ein Überschwappen des Medium herbeiführen kann. Eine weitere Kostenbetrachtung sollte auch unter Einbeziehung der Herstellzeiten erfolgen.

Vor Arbeitsbeginn ist eine definierte Anzahl von Testpfählen herzustellen. Da die Tragfähigkeit der Pfähle durch den Spitzendruck bzw. der Mantelreibung als auch aus einer Kombination beider erfolgt, ist es zwingend empfehlenswert zur Absicherung der Pfahltragfähigkeiten entsprechende Tests durchzuführen. Mögliche Tests sind die:

- Dynamische Pfahlprobelastungen
- Statische Pfahlprobelastungen
- Pfahlintegritätsprüfung

Für die dynamische Pfahlprobelastung muss der Beton die erforderliche Festigkeit erreicht haben. Zur eigentlichen Probelastung wird ein Gewicht aus einer Höhe auf den Pfahlkopf fallengelassen. Das Fallgewicht wird mehrmals mit zunehmender Höhe auf den Pfahl eingebracht bis die erforderliche Tragkraft oder die Grenztragkraft des Pfahls erreicht wird.

Abbildung 3.2 zeigt die statische Pfahlprobelastung bei der ein Pfahl bis zu seiner maximalen Tragfähigkeit belastet wird.

Bei Rammpfählen bietet sich die dynamische Pfahlprobelastung an, da sich die Geräte für den Fallversuch bereits auf der Baustelle befinden. Bei Bohrpfählen wird hauptsächlich das statische Verfahren angewendet.

Von Fall zu Fall sollte überprüft werden, ob die Belastung bis zur maximalen Tragfähigkeit ausreichend ist, oder ob der Pfahl bis zum Bersten zu belasten ist. Bei dieser Überlegung sollten aber auch wirtschaftliche Aspekte mit berücksichtigt werden. Je nach Länge und Durchmesser kann der Pfahl mehrere tausend Euro kosten.

Pfähle die auf der Baustelle hergestellt werden, sollten mittels Integritätsprüfung auf ihre Geometrie hin geprüft werden. Laut Wikipedia funktioniert die Pfahlintegritätsprüfung wie folgt:

Die Pfahlintegritätsprüfung (engl. PIT Pile Integrity Test) ist ein Pfahl-Testverfahren, bei dem mit Hilfe der Schallwellengeschwindigkeit die Laufzeit von Pfahlkopf bis Pfahlfuss gemessen wird. Der Pfahlprüfer schlägt mit einem Hammer auf den zuvor vorbereiteten Bohrpfahlkopf und löst einen Schallimpuls aus. Die Schallwelle breitet sich über die Bohrpfahllänge aus und wird am Fußpunkt reflektiert. Ein Messfühler misst die Impulse am Pfahlkopf und leitet die Signale an einen Rechner weiter. Folglich ermittelt sich aus dieser Messung die Pfahllänge. Bei einem entsprechend „gestörten“ Pfahl mit Einschnürungen wird der Schallwellenimpuls früher reflektiert [5].



**Abb. 3.2** Statischer Pfahltest. (Bild: Fa. Bauer)

Nach erfolgreicher Prüfung der Testpfähle wird das Pfahlkonzept frei gegeben.

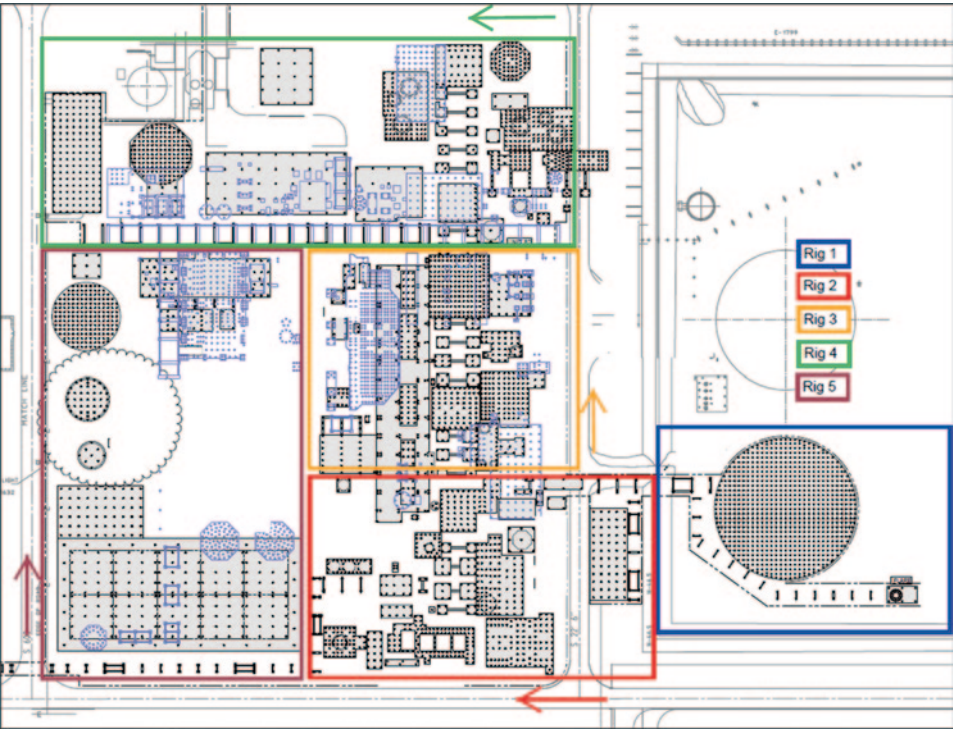
Die Herstellung der Pfähle erfolgt entsprechend vordefinierter Sequenzen. Als Beispiel ist Abb. 3.3 aufgeführt, in der die Pfahlsequenzen während der Planungsphase grob festgelegt wurden. Maßgebend für die Sequenzen ist zum einen die erforderliche Verfügbarkeit des Bauwerkes unter Berücksichtigung des gesamten Bau- und Montageaufwandes. So wird z. B. im Bereich der Tanklager die Gründung frühzeitig hergestellt, da die nachfolgenden Arbeiten zur Herstellung der Tanke arbeits- und zeitintensiv sind.

Bereits im Stammhaus sollte während der Planungsphase ein Terminplan für die Pfahlgründung erarbeitet werden, und als vertraglicher Bestandteil mit dem Nachunternehmer für die Pfählung vereinbart werden. Inhaltlich ist die zugrunde gelegte Produktivität (Anzahl Pfähle pro Tag und Gerät), die Herstellungssequenz und somit die erforderliche Anzahl von Geräten zu definieren.

Unter Zugrundelegung von

$$P(\text{Peak}) = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} * Pf \quad (3.3)$$

wird die Anzahl der maximal zu fordernden Produktivität (Anzahl der Pfähle pro Zeiteinheit) bestimmt.



**Abb. 3.3** Abwicklungsbedingte Pfahlsequenzen

**Beispiel**

Als Beispielpfahl wurde der Verdrängungspfahl FDP von der Fa. Bauer GmbH, Schorbenhausen gewählt, da im Vergleich zu anderen Pfahltypen von einer höheren Produktivität bei der Herstellung ausgegangen wird.

(Anmerkung: Die Art des Pfahltyps wird jeweils von dem Bauplaner unter Berücksichtigung des Bodengutachtens, in dem üblicherweise eine Gründungsempfehlung ausgesprochen wird, festgelegt.)

Ermittlung der erforderlichen Geräte zur Herstellung der Pfähle.

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| Input [in Wochen]       | 10 Wochen  |
| Input [in Tagen]        | 60 Tage    |
| Anzahl Pfähle           | 4000 Stück |
| Peak-Faktor (Pf)        | 1,5        |
| Länge der Pfähle        | 14 m       |
| Durchmesser der Pfähle  | 0,4 m      |
| Output (Anzahl × Länge) | 56.000 m   |

$$P(\text{Peak}) = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} * Pf = \frac{56.000 \text{ m}}{60} \text{ Tage} * 1,5 = \frac{1.400 \text{ m}}{\text{Tag}}$$

Bei einer Sollleistung von 1400 m/Tag und einer theoretischen täglichen Leistung von 430 m pro Gerät gemäß Abb. 3.4 sollten bei der Planung von dem Einsatz von 4 Geräten ausgegangen werden.

Die Anzahl der Tagesleistung ist projektspezifisch zu ermitteln. Die Produktivität der Geräte ist abhängig von:

- Art der Pfähle
- Durchmesser der Pfähle
- Länge der Pfähle
- Beschaffenheit des Untergrundes
- Drehmoment und Anpresskraft des Gerätes

Im Besonderen gilt, dass die Verzüge während der Herstellung der Pfahlgründung nur schwer zu kompensieren sind, und wenn dann auch nur unter erhöhtem wirtschaftlichen Aufwand. Die Erfahrung zeigt, dass die Verzüge nicht selten auf den Endtermin durchschlagen.

Nachdem die Pfähle in den Untergrund eingebracht wurden, wird der Oberboden soweit abgetragen, dass Pfahlköpfe freiliegen. Die Pfahlköpfe werden nun auf die Sollhöhe

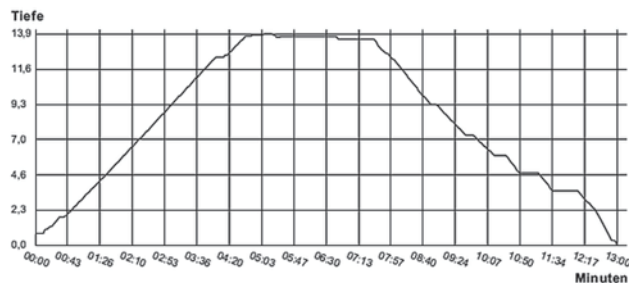
### Hohe Produktivität

Die Produktivität der Pfahlherstellung ist abhängig von

- Pfahldurchmesser
- Drehmoment und Anpresskraft des Bohrgerätes
- Lagerungsdichte des Bodens
- Verdrängbarkeit des Bodens
- Leistung der Betonpumpe

#### Beispiel

|                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| FDP-Pfahl            | 13,9 m               |
| Abbohren             | 5,5 min              |
| Betonieren           | 7,5 min              |
| Umsetzen, Einrichten | 3 min                |
| Gesamtzeit           | 16 min               |
| max. Tagesleistung   | 36 Pfähle<br>(430 m) |



**Abb. 3.4** Produktivität Verdrängungspfahl. (Bild: Fa. Bauer)



eingekürzt, was durch manuelles bzw. maschinelles Abbrechen, Abstemmen oder Abscheeren bzw. durch den Einsatz von Pfahlkopffräsen erfolgt.

Bei bewehrten Pfählen wird der Beton abgestemmt, sodass das anschließende Fundament mit der Bewehrung des Pfahls verbunden werden kann.

---

### 3.4 Betonbau

Inhaltlich beschäftigt sich dieser Artikel nicht mit den detaillierten Grundlagen des Betonbaus auf der Baustelle, sondern versucht die Sensibilität für Betonarbeiten unter klimatischen Bedingungen zu erfassen. Schwierigkeiten beim Hochbau wie z. B. maximaler Förderhöhe von Betonpumpen bleibt hier unberührt.

Dem Betonbau sicher nicht gerecht werdend, könnte man die Arbeitsgänge auf Herstellung der Schalung, Einbringen der Bewehrung und Vergießen des Betons reduzieren.

Der Betonbau soll des Weiteren hier als Massengewerk verstanden werden. Nicht selten beinhaltet der Betonbau den größten Teil (Kosten & Termine) eines Industrieprojektes und stellt die Grundlage für nachfolgende Gewerke dar.

Einflüssen, durch extreme klimatische Bedingungen hervorgerufen, ist ein gewisser Tribut zu zollen. Unterbrechungen der Bauzeit sollten dabei immer eine untergeordnete Rolle spielen. Eine angepasste geringere Produktivität während der Winter- bzw. Sommerzeit sollte im Gesamtterminplan berücksichtigt werden.

Die Temperatur des Frischbetons und der Umgebung, sowie starker Wind haben einen weiteren entscheidenden Einfluss auf die Verarbeitungseigenschaften, die Festigkeitsentwicklung und die Gefügebildung im oberflächennahen Bereich. Demzufolge sind Gegenmaßnahmen zu implementieren, die das Voranschreiten der Bauaktivitäten sicherstellen.

Notwendige Maßnahmen sind zu ermitteln und rechtzeitig vor Baubeginn in die Planung zu integrieren. Die Planung der auszuführenden Arbeiten erfolgt zu dem auf Basis der nötigen Ressourcen, und unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen.

Im Großanlagenbau sind nicht selten Betonmengen in der Größenordnung von 20.000 m<sup>3</sup> oder mehr zu verarbeiten. Die Verfügbarkeit des Betons im dem entsprechenden Land ist frühzeitig zu überprüfen. Landesspezifisch sind Festlegungen zu treffen, ob ausreichend Transportbeton bereitgestellt werden kann, oder ob eine Mischanlage auf der Baustelle zu installieren ist. Bei der Wahl einer Mischanlage sollte die maximale Tagesleistung mit berücksichtigt werden, da diese die Produktivität des Betonbaus maßgeblich (neben Personaleinsatz) mitbestimmt. Die maximale Tagesleistung bezieht sich auf das Bauwerk mit dem größten Betonvolumen, welches in einem Guss hergestellt werden muss (z. B. Bodenplatten oder Betontische).

Handelsübliche mobile Mischanlagen beginnen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten bei einer Kapazität von 25 m<sup>3</sup>/h. Eine typische Betonmischanlage in dieser Größe ist in Abb. 3.5 abgebildet.





**Abb. 3.5** Betonmischanlage Mobilmix 0,5 Kapazität 30 m³/h. (Bild: Liebherr)



**Abb. 3.6** Betonmischanlage Mobilmix 2,25. (Bild: Liebherr)

Entsprechend den Erfordernissen können die Kapazitäten der nicht stationären Mischanlagen, dem erforderlichen Spitzenbedarf angepasst werden. Hierzu werden Anlagen bis zu einer Kapazität von 150 m³/h angeboten, wie z. B. durch Abb. 3.6 dargestellt.

Laut Fa. Liebherr ist der Vorteil der Mobilmix:

Mobilmix 2.25 bietet eine neue Konzeption für mobile Mischanlagen und ist mit den Standards stationärer Mischanlagen vergleichbar.

Die gesamte Anlage wird in wenigen Transporteinheiten bewegt. Das Grundgerät mit Steuercontainer ist auf einem Stahlrahmen montiert, der gleichzeitig das Fundament bildet. Die theoretische Ausstoßleistung dieser Mischanlage beträgt in Festbeton 100 m³/h [6].

Wie beschrieben ist die maximale Produktion von Beton durch die Kapazität der Mischanlage vorbestimmt. Neben der erforderlichen Betonmenge sind weitere Punkte bei der Herstellung von Betonbauwerken zu berücksichtigen.

Allgemein gültige Erfahrungswerte für die Herstellung von einem m³ Beton pro Zeiteinheit sind aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen von verfahrenstechnischen Anlagen nicht immer zielführend. Der Bauplaner sollte daher, unter Berücksichtigung von projektspezifischen Rahmenbedingungen, eine Detailuntersuchung durchführen.

|                                                                                                                                                                                                                          |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Beispiel</b>                                                                                                                                                                                                          |          |
| Herstellung eines überirdischen rechteckigen Fundaments ohne Anker 1,0 m × 1,0 m × 2,0 m (b × h × t) als rein theoretischer Ansatz, der lediglich dazu dienen soll eine systematische Herangehensweise zu demonstrieren. |          |
| Volumen (b × h × t)                                                                                                                                                                                                      | 2,0 m³   |
| Bewehrung (150 kg/m³), Ø10 mm                                                                                                                                                                                            | 300 kg   |
| Schalung (Holz, manuell)                                                                                                                                                                                                 | 6,00 m²  |
| Vergießen eines Fundamentblocks                                                                                                                                                                                          | 1,0 h/m³ |
| Herstellung der Schalung                                                                                                                                                                                                 | 1,0 h/m² |
| Einbringen der Bewehrung                                                                                                                                                                                                 | 22 h/t   |
| Vergießen eines Fundamentblocks                                                                                                                                                                                          | 2,0 h    |
| Herstellung der Schalung                                                                                                                                                                                                 | 6,0 h    |
| Einbringen der Bewehrung                                                                                                                                                                                                 | 7,2 h    |
| <i>Gesamt</i>                                                                                                                                                                                                            | 15,2 h   |

Das Fundament kann somit in 15,2 h hergestellt werden. Geht man aufgrund der Größe des Fundamentes davon aus, das zwei Personen in dem Bereich arbeiten können, so benötigt man 7,6 h also einen Tag für die Herstellung eines Fundamentes mit 2 m³ Volumen.

Im Umkehrschluss bedeutet das, dass für die Herstellung von 1 m³ Beton 7,6 h erforderlich sind.

Dieses Beispiel dient hauptsächlich der Darstellung der systematischen Herangehensweise.

Tabelle 3.3 zeigt die Erfahrungswerte für den Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Stabstahldurchmesser bezogen auf die Aufbaubauzeit, f(s) und der Fertigungszeit in der Biegerei b(s).

Entsprechend der ISB Mitteilung 01/2012 hat der Stabstahldurchmesser einen direkten Einfluss auf die Zeit und die Kosten bei der Herstellung von bewehrten Beton.

**Tab. 3.3** Herstellzeiten Bewehrung

| Durchschnittliche Stabstahldurchmesser $D_s$ (mm) | Aufbauzeit $f(S)$ (h/t) | Fertigungszeit Biegerei $b(s)$ (h/t) |
|---------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 6                                                 | 40                      | 3,0                                  |
| 8                                                 | 30                      | 2,0                                  |
| 10                                                | 22                      | 1,7                                  |
| 12                                                | 16                      | 1,4                                  |
| 14                                                | 13                      | 1,2t                                 |
| 16                                                | 10                      | 1,02                                 |
| 20                                                | 8                       | 0,9                                  |

Wenn der vorliegende durchschnittliche Stabstahldurchmesser  $D_s$  als Repräsentant des Geflechts gilt, dann gilt auch die Aufbauzeit des Geflechts als abhängig vom Durchschnittlichen Stabstahldurchmesser und es kann eine einfache Bestimmung der Aufbauzeit  $f(s)$  aus einer Zuordnung  $D_s \rightarrow f(s)$  erfolgen. Erfahrungswerte für eine solche Zuordnung enthält Tab. 3.3 [7, S. 7].

Die vorgenannte Aussage mittels einer solch „einfachen Zuordnung“ ist in der Praxis bereits ausreichend. Damit ist gezeigt, dass für die Aufbauzeitbestimmung die Tabelle eine notwendige (keine hinreichende!) Voraussetzung ist. Also führt auch jede in der Praxis inhaltlich analog aufgestellte Tabelle zu der allgemeinen Aussage: Geflechte bzw. Bauvorhaben mit kleinen Stabstahldurchmessern erfordern eine größere Aufbauzeit je Tonne, während mit größeren Stabstahldurchmessern eine kleinere Aufbauzeit je Tonne erzielt wird. Es gilt die These: Ein Geflecht ist schwierig, wenn die Positionsanzahl hoch und die Positionsstückzahl gering ist bzw. umgekehrt. Logischerweise hat ein schwieriges Geflecht immer auch eine hohe Aufbauzeit oder umgekehrt [7, S. 9].

In der Praxis sind weitere Bedingungen zu berücksichtigen, die einen entscheidenden Einfluss auf die Produktivität haben. Produktivität beeinflussende Parameter sind z. B.:

- Klimatische Bedingungen (zusätzliche Maßnahmen beim Betonieren und Belastung für das Personal)
- Komplexität der Fundamente (große/kleine Volumen)
- Einzubauende Teile (Anker, Platten)
- Schalung (Systemschalung oder Handarbeit)
- Vorfertigung oder Ortbeton
- Landesspezifische Gegebenheiten
- Ausbildung des Fachpersonals

In Kap 3.4.1 und 3.4.2 wird der Schwerpunkt auf die äußeren klimatischen Bedingungen, Betonieren bei kaltem Wetter und Betonieren bei heißem Wetter, sowie der technischen Möglichkeiten gelegt, um einen Bauablauf ganzjährig zu gewährleisten.

### 3.4.1 Betonieren bei kaltem Wetter

Mit den technischen Möglichkeiten von heute können auch bei niedrigen Lufttemperaturen und den entsprechenden ungünstigen Witterungsbedingungen qualitätsgerechte Betonkonstruktionen hergestellt werden. Voraussetzung dafür ist, dass schon in der Planung die niedrigeren Temperaturen berücksichtigt werden. Laut CEMEX ist folgendes zu berücksichtigen.

Winterliche Bedingungen umfassen eine Vielzahl von Faktoren, die die Bauteilqualität beeinflussen, ein wesentlicher Faktor ist die Temperatur. Niedrige Umgebungstemperaturen, geringe Luftfeuchtigkeit oder Taupunktunterschreitungen mit Tau- oder Reifbildung sind nur einige Seiten der winterlichen Bedingungen.

Unter winterlichen Temperaturen soll der Bereich  $< 5^{\circ}\text{C}$  verstanden werden. Es ist z. B. zu berücksichtigen, dass den Tagestemperaturen von  $10^{\circ}\text{C}$  bereits Nachttemperaturen  $< 5^{\circ}\text{C}$  und Bodenfröste folgen können, bevor der Beton eine Festigkeit von  $5\text{ N/mm}^2$  (Gefrierbeständigkeit) erreicht hat [8].

Bei kühler Witterung tritt eine Verzögerung des Erstarrens und der Festigkeitsentwicklung des Betons ein. Der Hydratationsprozess geht sehr langsam und kommt bei Temperaturen unter  $+5^{\circ}\text{C}$  praktisch zum Stillstand.

Gefriert junger Beton, kann das Betongefüge gestört und dauerhaft geschädigt werden. Nach Erreichen einer bestimmten Reife (Druckfestigkeit  $> 5\text{ N/mm}^2$ ) ist junger Beton in der Lage, ein einmaliges Durchfrieren ohne dauerhafte Gefügeschäden zu überstehen.

Ein schadloses einmaliges Durchfrieren von jungem Beton ist aus Sicht von ZERTplus möglich wenn:

- *Der Beton beim Einbau und für mindestens drei weitere Tage eine Temperatur von  $+10^{\circ}\text{C}$  nicht unterschreitet oder*
- *In einer Erhärtungsprüfung eine Druckfestigkeit von mindestens  $5\text{ N/mm}^2$  nachgewiesen wurde [9].*

Wirksame Maßnahmen für das Betonieren im Winter sind:

- Betonuntergrund und Bewehrung frostfrei halten
- Verlängerung der Ausschulfristen und der Nachbehandlungsdauer
- Schalungen mit höheren thermischen Eigenschaften verwenden (Holz anstelle von Metall)
- Einsatz von Dämmmatten und Heizaggregaten
- Ggf. Einhausungen verwenden
- Verwendung von Zusatzmitteln
- Der Zementgehalt sollte höher als  $270\text{ kg/m}^3$  liegen.
- Absenkung des Wasserzementwert (w/z-Wert) auf  $< 0,6$
- Verwendung von Zement mit höherer Frühfestigkeit
- Schalung, Betonuntergrund und Bewehrung frost- und eisfrei halten, abdecken und gegebenenfalls vorwärmen

- Holzschalung statt Metallschalung verwenden, bei dünnen Bauteilen dämmen
- Kurze Fahrzeiten vom Transportbetonwerk zur Baustelle vermeiden Auskühlung
- Verwendung von Warmbeton
- Beton mit Folie und Dämmmatten bei starkem Frost und schlanken Bauteilen mit beheizten Zelten schützen
- Beton darf keinesfalls Zugluft oder der direkten Bestrahlung von Heizaggregaten ausgesetzt werden

Vor der Betonherstellung sollte darauf geachtet werden, dass die Gesteinskörnungen und Zusatzmittel geeigneten Lagerungs- und Beheizmöglichkeiten ausgesetzt werden können. Der Warmwasserspeicher ist entsprechend der zu verarbeitenden Betonmenge zu dimensionieren. Während der Herstellung ist die Zugabe der Zusatzmittel möglichst spät zu wählen.

Bei der Bestellung von Warmbeton müssen durch genaue Absprache mit dem Betonhersteller, dem Betontechnologen und der Baustellenleitung die Randbedingungen über Herstell-, Liefer- und Einbaubedingungen getroffen werden.

Muss der Frischbeton in der kalten Jahreszeit beheizt ausgeliefert werden, wird er in der Regel mit warmen Wasser und/oder vorgewärmter Gesteinskörnung hergestellt. Hier ist darauf zu achten, dass die Frischbetontemperatur  $+30^{\circ}\text{C}$  nicht überschreitet.

Werden Zusatzmittel zur Herstellung des Frischbetons benötigt müssen diese frostfrei gelagert werden. Da sich die Wirksamkeit abhängig von der Temperatur ändern kann, sollte dies in Vorversuchen überprüft werden.

Schalung und Bewehrung müssen frei von Schnee und Eis sein. Auf gefrorenen Baugrund oder Betonbauteile darf nicht betoniert werden. Nach dem Einbau ist ein guter Wärmeschutz des jungen Betons notwendig. Gerüste, Schalungen und andere stützende Bauhilfsmaßnahmen dürfen erst entfernt werden, wenn der Beton eine ausreichende Festigkeit hat. Im Zweifel sind Erhärtungs- und/oder Reifegradprüfungen durchzuführen.

Zur Nachbehandlung sollte kein Wasser verwendet werden, eine Folie in Verbindung mit Wärmedämmmatten hat sich bei kurzen Frostperioden bewährt. Die Abdeckung ist mit Brettschalung oder anderem geeignetem Material vor Wind und Sturmeinflüssen zu schützen. Weitere wärmedämmende Abdeckungen sind trockene Stroh- und Schilfmatten, Leichtbau- und Kunststoffmatten, Styropordämmung, siehe hierzu auch Abb. 3.7

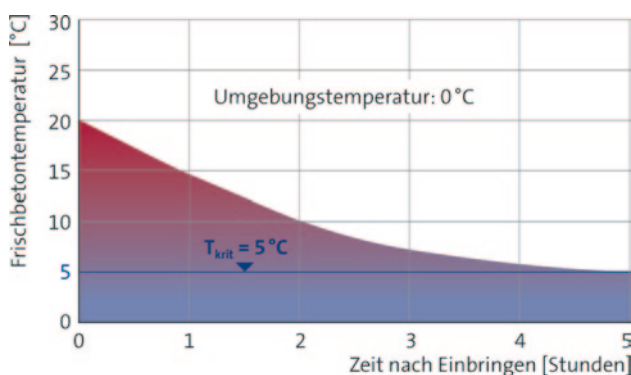
Bei strengem Frost oder längeren Frostperioden kann der Schutz von Frischbeton nur durch Einhausung des Arbeitsbereiches und zusätzlicher Wärmezufuhr erreicht werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Betonoberfläche nicht austrocknen kann.

Entsprechend Abb. 3.8 ist der Abkühlungsverlauf des Frischbetons zu berücksichtigen. Laut Holcim GmbH ist nachfolgendes zu berücksichtigen.

Ungeschützter Frischbeton kühlt nach dem Einbau rasch aus. Der Temperaturverlust beträgt rund  $3^{\circ}\text{C}$  pro h [10].

| Nachbehandlungsmaßnahmen für Beton bei Temperaturen $< 5\text{ °C}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lufttemp. in $^{\circ}\text{C}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Maßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $-3\text{ °C}$ bis $+5\text{ °C}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Frischbetontemperatur beim Einbringen <math>\geq 5\text{ °C}</math> allgemein<br/> <math>\geq 10\text{ °C}</math> bei <math>z &lt; 240\text{ kg/m}^3</math><br/> oder Verwendung von LH-Zement</li> <li>– Abdecken mit Folien bzw. Nachbehandlungsfilm aufsprühen und Wärmedämmung</li> <li>– Verwend. wärmedämmender Schalung, z. B. Holz</li> </ul>                                    |
| $< -3\text{ °C}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Frischbetontemperatur beim Einbringen <math>\geq 10\text{ °C}</math></li> <li>– Abdecken mit Folien und Wärmedämmung</li> <li>– Umschließen des Arbeitsplatzes (Zelt) oder Beheizen (z. B. Heizstrahler)</li> <li>– Zusätzlich Betontemperaturen wenigstens 3 Tage lang auf <math>+10\text{ °C}</math> halten oder so lange schützen, bis ausreichend Festigkeit erreicht ist</li> </ul> |
| Weitere Nachbehandlungsmaßnahmen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Nachbehandlungs- und Ausschulfristen um Anzahl der Frosttage verlängern; Beton darf während der ersten Tage der Hydratation erst dann gefrieren, wenn:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– seine Temperatur wenigstens 3 Tage <math>\geq 10\text{ °C}</math> betrug oder</li> <li>– seine Druckfestigkeit <math>f_{cm} \geq 5\text{ N/mm}^2</math> beträgt (Gefrierbeständigkeit)</li> </ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

**Abb. 3.7** Nachbehandlungsmaßnahmen für Beton. (Bild: CEMEX)



**Abb. 3.8** Abkühlungsverlauf Frischbeton. (Bild: Holcim (Süddeutschland) GmbH)

### 3.4.2 Betonieren bei heißem Wetter

In Anlehnung an die Verarbeitungshinweise „Betonieren im Sommer“ von CEMEX, [11] sind folgende Empfehlungen zu berücksichtigen:

Die Temperatur des Frischbetons und der Umgebung sowie starker Wind haben einen entscheidenden Einfluss auf die Verarbeitungseigenschaften, die Festigkeitsentwicklung und die Gefügebildung im oberflächennahen Bereich.

Daher sind im Sommer bei höheren Temperaturen ab  $25\text{ °C}$  aber auch bei starker Luftbewegung zusätzliche Maßnahmen notwendig, um die erforderlichen Betonqualitäten sicher

zu erreichen. Die Frischbetontemperatur soll im Allgemeinen bei der Entladung 30 °C nicht überschreiten.

Gleichzeitig ist bei der Herstellung und Lagerung von Probekörpern auf die Einhaltung der Normenanforderungen zu achten (z. B. Lagerungstemperatur auf der Baustelle). Zu hohe Beton- oder Lagerungstemperaturen können z. B. die Endfestigkeit negativ beeinflussen [11].

Bei der Betonzusammensetzung ist folgendes zu berücksichtigen.

- *Einsatz von Zementen mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung in der Anfangsphase*
- *Einsatz von Zusatzmitteln mit verzögernder sowie verflüssigender Wirkung – für Transportbeton Verarbeitbarkeitszeit mit Temperatur und zu erwartendem Temperaturanstieg abstimmen*
- *Temperaturabhängige Wirkung der Betonzusatzmittel beachten*
- *Unkontrollierte Wasserzugabe auf der Baustelle grundsätzlich unterlassen (Qualitätsverlust des Betons!) [11]*

Bei der Betonherstellung ist das Aufheizen der Betonausgangsstoffe z. B. durch:

- geeignete Anordnung der Gesteinskörnungslager
- Abdecken der Gesteinskörnungen mit Isoliermatten
- Berieselung der Gesteinskörnungen mit Wasser (Verdunstungskälte; erhöhte Feuchte der Gesteinskörnungen bei Wasserdosierung berücksichtigen!)
- zu verhindern.

Des Weiteren kann durch den Einsatz von kühlem Brunnenwasser oder hinzufügen von Scherbeneis der Beton gekühlt werden.

Das Aufheizen der Schalung und Bewehrung ist mittels Beschattung vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen. Ein Besprühen mit Wasser erzielt ebenfalls eine kühlende Wirkung. Dies kann vor dem Betonieren auf den Untergrund erfolgen als auch nach dem Betonieren auf die betonierte Oberfläche. Wasserlachen sind allerdings zu vermeiden.

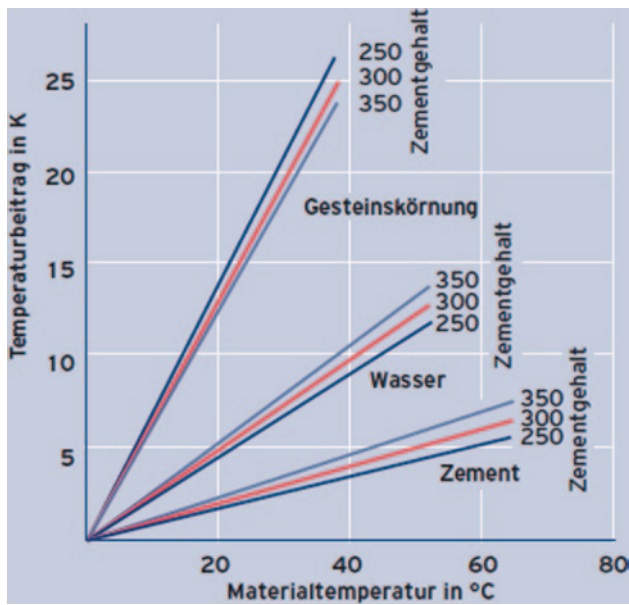
Die einfachste und kostengünstigste Lösung ist allerdings die Betonarbeiten in kühlere Tageszeiten (früh am Morgen, abends, nachts) zu verschieben. Durch ausreichendes Personal und Gerät ist eine zügige Betonverarbeitung sicherzustellen.

Die Temperatur der Gesteinskörnungen beeinflusst die Frischbetontemperatur wesentlich stärker als die Zementtemperatur, wie in Abb. 3.9 dargestellt ist.

Bestimmung der Frischbetontemperatur aus den Temperaturen der Ausgangsstoffe Zement, Gesteinskörnung und Wasser in Abhängigkeit vom Zementgehalt (250, 300, 350 kg/m<sup>3</sup>). Die Summe der an der Ordinate abgelesenen Temperaturbeiträge der Einzelkomponenten ergibt einen Orientierungswert für die Frischbetontemperatur.

Tabelle 3.4 zeigt die resultierende Frischbetontemperatur bei unterschiedlichen Temperaturen der Ausgangsstoffe nach Abb. 3.9.





**Abb. 3.9** Bestimmung der Frischbetontemperatur. (Bild: CEMEX)

**Tab. 3.4** Beispiel für resultierende Frischbetontemperatur. (Tabelle: CEMEX)

| Zementgehalt<br>300 kg/m <sup>3</sup>       | Vor Aufheizen geschützte<br>Ausgangsstoffe |        |        | Gesteinskörnung und Wasser<br>aufgeheizt |        |        |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|--------|--------|------------------------------------------|--------|--------|
|                                             | Gesteins-<br>körnung                       | Zement | Wasser | Gesteins-<br>körnung                     | Zement | Wasser |
| Materialtemperatur<br>in °C                 | 20                                         | 75     | 12     | 30                                       | 75     | 20     |
| Beitrag zur Frischbe-<br>tontemperatur in K | 13                                         | 7,5    | 3      | 19,5                                     | 7,5    | 5      |
| Frischbetontempera-<br>tur in °C            | 23,5                                       |        |        | 32                                       |        |        |

Unmittelbar nach dem Betonieren sollten Nachbehandlungsmaßnahmen eingeleitet werden. Die ersten Stunden sind entscheidend für die Festigkeitsentwicklung des Betons. Mögliche Maßnahmen sind:

- Zu frühes Ausschalen vermeiden
- Sofortiges Aufsprühen von Nachbehandlungsmitteln auf mattfeuchte Oberfläche (möglichst mit hohem Hellbezugswert)
- Abdecken des Frischbetons mit Isoliermatten als Hitze-/Abkühlungsschutz
- Auflegen von wasserspeichernder Materialien unter ständigem Feuchthalten (evtl. zusätzliches Abdecken mit Folie als Verdunstungsschutz)



- Aufsprühen/Vernebeln von Wasser (Kein strömendes Wasser! Nicht auf erhitzte Oberflächen! Ständig feucht halten!)

Weisen im Sommer bereits die Betonausgangsstoffe hohe Temperaturen auf, so führt dies zu einer erhöhten Frischbetontemperatur, die das Ansteifen und die Festigkeitsentwicklung des Betons beschleunigt. Daraus ergibt sich eine verkürzte Verarbeitbarkeitszeit. Dieser Prozess wird durch hohe Wasserverdunstungsraten bei hohen Umgebungstemperaturen und starkem Wind noch beschleunigt. Die Folgen können Entmischungserscheinungen, sichtbare Schüttlagen, unzureichende Verdichtung und mangelhafte Einbettung der Bewehrung sein.

Erhöhte Temperaturen im Beton beschleunigen die Hydratphasenentwicklung und führen, wie bei der Wärmebehandlung, zu einer veränderten Gefügebildung. Die höheren Frühfestigkeiten können zu Einbußen bei der Endfestigkeit führen. Zu starke Wasserverdunstung an der Oberfläche des Betons verhindert die vollständige Hydratation, so dass dort ein weniger dichtes Gefüge mit geringerer Festigkeit entsteht.

Die Folge ist neben der Neigung zum Absanden eine verminderte Dauerhaftigkeit, d. h. geringer Widerstand gegen äußere Einflüsse, wie das Eindringen von Wasser und Schadstoffen (z. B. CO<sub>2</sub>, Chloride). Der Versuch, durch erhöhte Wasserzugabe einen Konsistenzausgleich zu erreichen, führt aber auch zu verringerter Festigkeit sowie zu einer Minderung der Dauerhaftigkeit.

Vor allem durch das beschleunigte Austrocknen der Oberflächen nach dem Einbringen wird die Schwindrissgefahr erhöht, weil noch keine ausreichenden Zugfestigkeiten erreicht sind. Ab einer Austrocknungsrate von 1 kg/m<sup>3</sup>h ist mit Frühschwindrissen zu rechnen. Aus Abb. 3.10 können in Abhängigkeit von den wichtigsten Einflussgrößen (relative Luftfeuchte, Luft- und Betontemperatur, Windgeschwindigkeit) Richtwerte für die verdunstete Wassermenge abgelesen werden.

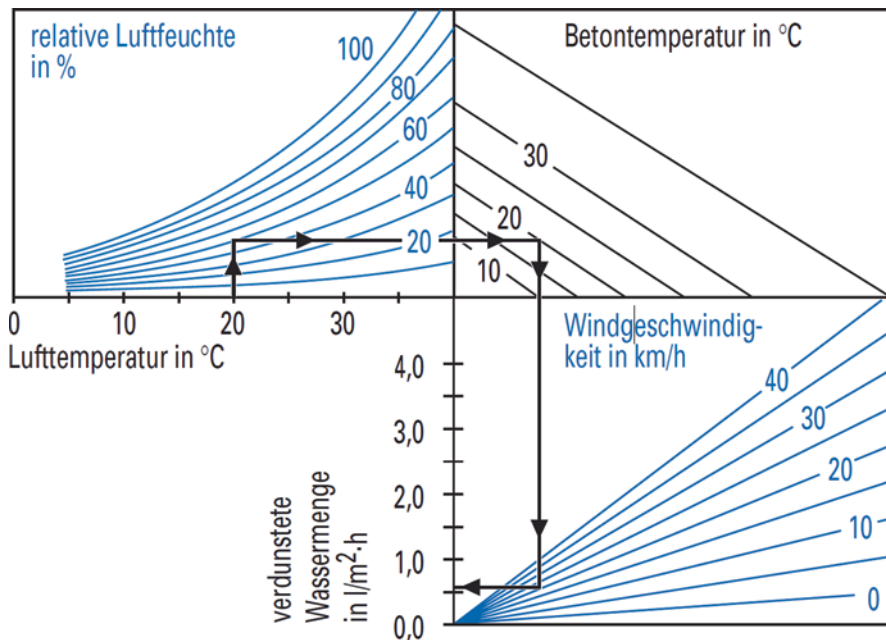
So wird bei einer Umgebungstemperatur vom 20 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 %, einer Betontemperatur von ebenfalls 20 °C und einer Windgeschwindigkeit von ca. 15 km/h eine Wassermenge von 0,5 l in einer Stunde pro Quadratmeter Oberfläche verdunstet.

Die Abschätzung der Windgeschwindigkeit kann nach Tab. 3.5 Windstärkenskala nach Beaufort erfolgen.

Eine erhöhte Wasserzugabe für den Konsistenzausgleich würde die Schwindneigung noch verstärken.

Die Verdunstungsgeschwindigkeit des Wassers aus dem frischen Beton wird vor allem durch die Temperatur (Beton und Umgebung), die relative Luftfeuchtigkeit der umgebenden Luft und durch die Windgeschwindigkeit beeinflusst. Den ungefähren Zusammenhang zwischen diesen Größen zeigt Abb. 3.10. Wie aus dieser Darstellung hervorgeht, beträgt die verdunstete Wassermenge aus 1 m Betonoberfläche 0,6 l Wasser je Stunde bei Luft und Betontemperaturen von 20 °C, einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 20 km/h.

Laut Zementtaschenbuch beeinflussen die drei Parameter, Lufttemperatur, Betontemperatur und Windgeschwindigkeit das Austrocknungsverhalten des Betons.



**Abb. 3.10** Austrocknungsverhalten von Beton in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte, der Luft- und Betontemperatur und der Windstärke. (Bild: Verein Deutscher Zementwerke e. V., Zement-Taschenbuch 2008)

Bei sommerlichen Temperaturen sowie bei höheren Betontemperaturen als die der Luft und größer werdenden Temperaturdifferenzen zwischen Beton und Luft erhöht sich die Wasserverdunstung. Das Bild zeigt sehr deutlich, dass die Verdunstung nicht nur durch die Temperatur, sondern noch stärker durch den Wind beeinflusst wird. Darauf ist insbesondere bei flächenhaften und exponierten Bauteilen zu achten, wie beispielsweise bei Decken und Estrichen.

### Beispiel

Ein Beispiel verdeutlicht die Bedeutung dieser Zahlen für die Praxis: Ein Frischbeton mit  $180 \text{ l Wasser je m}^3$  enthält je  $\text{m}^2$  in einer  $1 \text{ cm}$  dicken Schicht  $1,8 \text{ l Wasser}$ . Die Verdunstungsrate von  $0,6 \text{ l/m}^2$  und Stunde bedeutet rechnerisch, dass dem Beton innerhalb von  $3 \text{ h}$  bereits eine Wassermenge entzogen wird, die dem Gesamtwassergehalt einer  $1 \text{ cm}$  dicken Betonschicht entspricht. Das damit verbundene Kapillarschwinden, die Neigung zur Rissbildung und die negativen Auswirkungen auf Festigkeit, Verschleißwiderstand und Dichtigkeit der oberflächennahen Bereiche sind erheblich.

Die Dauer der Nachbehandlung muss deshalb so bemessen sein, dass auch die oberflächennahen Zonen eine ausreichende Festigkeit und Dichtheit des Betongefüges erreichen, die für die Dauerhaftigkeit des Betons und den Korrosionsschutz der Bewehrung erforderlich sind [12].

**Tab. 3.5** Windstärkenskala nach Beaufort

| Windstärke | Geschw.<br>[m/s] | Geschw.<br>[Knoten] | Geschw.<br>[km/h] | Bezeichnung        | Sichtbare Auswirkung                                                  |
|------------|------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 0          | 0–0,2            | 0–< 1               | 0                 | Stille             | Rauch steigt senkrecht auf                                            |
| 1          | 0,3–1,5          | 1–< 4               | 1–5               | Leiser Zug         | Rauch zeigt die Windrichtung an                                       |
| 2          | 1,6–3,3          | 4–< 7               | 6–11              | Leichte Brise      | Blätter säuseln, im Gesicht leicht fühlbar                            |
| 3          | 3,4–5,4          | 7–< 11              | 12–19             | Schwache Brise     | Blätter und dünne Zweige bewegen sich                                 |
| 4          | 5,5–7,9          | 11–< 16             | 20–28             | Mäßige Brise       | Wind hebt loses Papier an                                             |
| 5          | 8,0–10,7         | 16–< 22             | 29–38             | Frische Brise      | Kleine Bäume bewegen sich                                             |
| 6          | 10,8–13,8        | 22–< 28             | 39–49             | Starker Wind       | Starke Äste sind in Bewegung, Regenschirme sind schwierig zu benutzen |
| 7          | 13,9–17,1        | 28–< 34             | 50–61             | Steifer Wind       | Ganze Bäume sind in Bewegung, fühlbarer Widerstand beim Gehen         |
| 8          | 17,2–20,7        | 34–< 41             | 62–74             | Stürmischer Wind   | Wind bricht Zweige von Bäumen, erschwerten Aufwand beim Gehen         |
| 9          | 20,8–24,4        | 41–< 48             | 75–88             | Sturm              | Dachziegel werden abgehoben                                           |
| 10         | 24,5–28,4        | 48–< 56             | 89–102            | Schwerer Sturm     | Bäume werden entwurzelt                                               |
| 11         | 28,5–32,6        | 56–< 64             | 103–117           | Orkanartiger Sturm | Verbreitete Sturmschäden                                              |
| 12         | > 36             | > 64                | > 117             | Orkan              | Schwere Verwüstungen                                                  |

### 3.4.3 Kontrollen und Prüfungen

Kontrollen und Prüfungen der ausgeführten Arbeiten hinsichtlich der Qualität sind beim Betonbau, wie auch bei allen anderen Arbeiten unerlässlich. Fundamente werden eingemessen und mit den Koordinaten in den Zeichnungen verglichen. Neben der weiteren allgemeinen Sichtkontrolle sind folgende Punkte während und nach der Ausführung zu überprüfen:

- Materialzertifikate für Bewehrung und Betonzuschläge
- Sauberkeitsschicht
- Bewehrung auf Abstand, Durchmesser und Verlegung

- Oberflächenbeschaffenheit der Schalung
- Übereinstimmung mit den Achsmaßen
- Fundamentabmessungen
- Schalungsoberfläche/Sichtbeton
- Etwaige Aussparungen
- Eingebaute Teile wie Anker, Schienen usw.
- Dehnungsfugen, Arbeitsfugen

Des Weiteren ist die Konsistenz des Frischbetons mittels Setzversuch zu bestimmen. Der Setzversuch wird entsprechend der DIN EN 12350-2 durchgeführt. Hierbei wird eine kegliche Metallform in drei Schritten mit Beton gefüllt und verdichtet. Nachdem die Form entfernt wurde, wird die Höhe des zusammengesunkenen Betons gemessen, und mit der Höhe der Metallform verglichen. Die Differenz zwischen den beiden Maßen ist das sogenannte Setzmaß. Das zulässige Setzmaß wird in der Regel in der Betonspezifikation definiert.

Nach Fertigstellung der Betonarbeiten erfolgt die vollständige Überprüfung der ausgeführten Arbeiten.

---

### 3.5 Gebäude

Im industriellen Anlagenbau unterscheidet man zwischen „Process Buildings“ und „Non Process Buildings“.

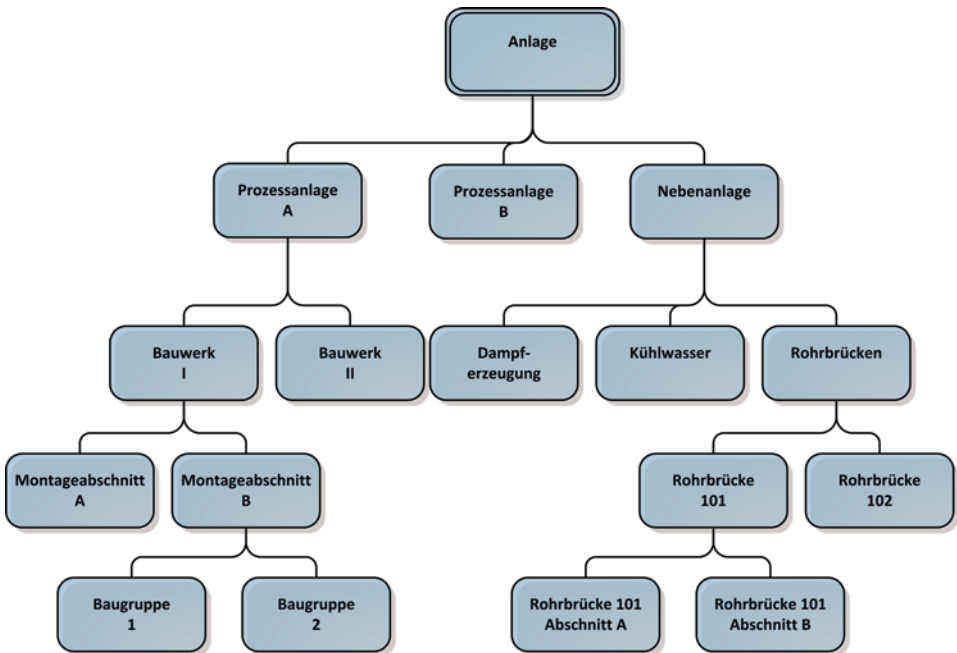
Process Buildings sind geschlossene Gebäude in denen die Prozesstechnik enthalten ist. Darunter fallen z. B.

- Maschinenhäuser
- Pumpenhäuser

Non Process Buildings beinhalten demnach die Gebäude, in denen keine Prozesstechnologie enthalten ist. Darunter fallen z. B.

- Verwaltungsgebäude
- Labore
- Lagerhalle
- Werkstätten
- Verladestationen
- Medizinische Einrichtungen
- Substation (Schalthaus)
- Control Buildings (Leitwarte, Messwarte)

Mitunter werden Schalthäuser und Leitwarten auch den Prozeßgebäuden zugeordnet, da die Ansprüche an die Haustechnik höher einzuschätzen ist als bei Lagerhallen oder Werkstätten.



**Abb. 3.11** Einteilung der Anlage in Baugruppen

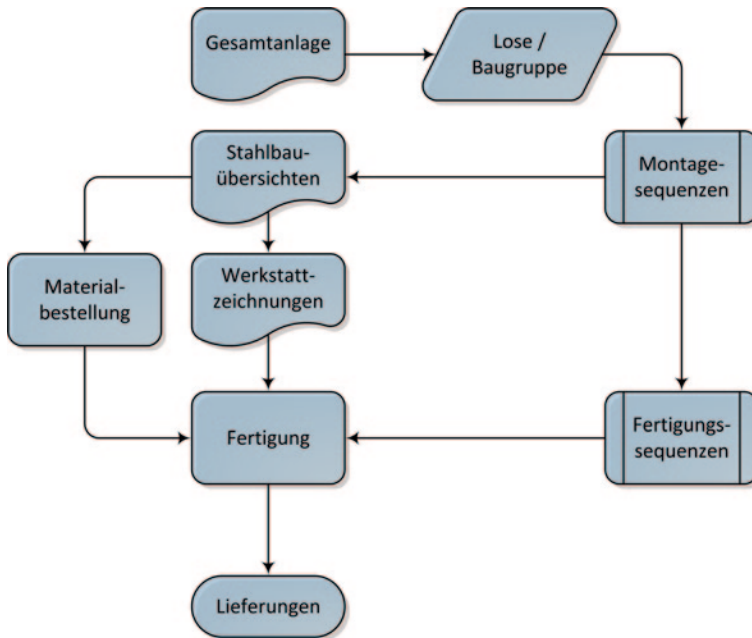
### 3.6 Stahlbau

Neben dem Beton dient auch der Stahl zur Herstellung von Bauwerken wie Rohrbrücken und Behältergerüste.

Nicht selten werden in Anlagen des Großanlagenbaus 20.000 t oder mehr an Stahlbau verarbeitet. Die Installation dieser Mengen an Stahlbau sind unter kapazitiven und logistischen Gesichtspunkten nur über einen längeren Zeitraum zu realisieren. Die Anlage ist in überschaubare Größen zu unterteilen (Lose), damit die Liefer- und Montagesequenzen übersichtlich bleiben und nachverfolgt werden können. Wie Abb. 3.11 darstellt, erfolgt die Einteilung der Anlage in unterschiedliche Bereiche. Bei einem Anlagenkomplex ist die erste Einteilung, die Einteilung nach den unterschiedlichen verfahrenstechnischen Anlagenteilen bzw. nach den Nebenanlagen. Zu den Nebenanlagen gehört mitunter die Dampferzeugung, das Kühlwassersystem usw.

Die Prozessanlagen und Nebenanlagen werden mittels Rohrbrücken verbunden. Die Rohrbrücken können, bei entsprechender Länge, auch in mehrere Abschnitte eingeteilt werden. Die Prozessanlagen werden ebenfalls in Bauwerke unterteilt, und diese in Montageabschnitte. Innerhalb der Montageabschnitte erfolgt die Bildung von Baugruppen.

Durch die Losbildung entsteht ein Vorteil bei der Beauftragung der Stahlbaufertigung. Mögliche kapazitive Engpässe am Beschaffungsmarkt können umgangen werden, indem mehrere Lieferanten in Anspruch genommen werden können. Eine zusätzliche höhere terminliche Flexibilität entsteht.



**Abb. 3.12** Workflow Stahlbaulieferungen

Entscheidend ist nun, eine Vorgehensweise und Systematik zu erarbeiten, in der die sequenzielle Herstellung von Baugruppen, entsprechend der erforderlichen Verfügbarkeit widerspiegelt wird. Der Materialbedarf zur Herstellung der einzelnen Baugruppen ist in Fertigungs- und Liefersequenzen zu transferieren. Die Überwachung der Stahlbaufertiger erfolgt anhand der vereinbarten Sequenzen, um exakt die geplante Reihenfolge der Montage zu sicherzustellen.

Dazu wird, wie in Abb. 3.12 aufgeführt, die Gesamtanlage in die Lose bzw. Baugruppen geteilt. Für die Lose bzw. Baugruppen werden die Montagesequenzen definiert. Dabei spielt zum einen die logische Abfolge eine Rolle, die Anforderungen durch die Montage von Ausrüstungen in den Stahlbau und die erforderliche Fertigstellung aus Sicht der Inbetriebnahme. Analog zu den festgelegten Montagesequenzen sind die gleichen Sequenzen für die Fertigung zu wählen. Stahlbauübersichten und Werkstattzeichnungen passen sich selbstverständlich auch diesen Sequenzen an. Nach dem das Vormaterial bestellt und beschafft wurde, erfolgt die Fertigung. Während der Fertigung sollte der Stahlbaulieferant auf Einhaltung der vorgegebenen Sequenzen hin überwacht werden.

Standardmäßig werden im Anlagenbau zuerst die Rohrbrücken und anschließend die Behältergerüste errichtet. Zu weiteren Absicherung dieser Regel fließen Überlegungen, wie

- die Verfügbarkeit des Bauwerkes für weitere Arbeiten
- der Aufwand

- die Montagerichtung
- die Kranstandflächen
- die Zugänglichkeit

in die Festlegung der Montagesequenzen ein.

### 3.6.1 Planung

Während der Planungsphase sind die Montagesequenzen des Stahlbaus frühzeitig zu definieren. Die Fertigungssequenzen des Stahlbaulieferanten müssen die Montagesequenzen widerspiegeln. Es ist zu vermeiden, dass der Stahlbaufertiger seine Fertigung ohne Berücksichtigung der Belange des Anlagenbauers optimiert. Die Fertigung ist demnach so zu überwachen, dass die Sequenzen passen und die Baustelle funktionierende bzw. vollständige Einheiten erhalten. Es bietet sich an, die Fertigungssequenzen und die Vorgaben für Qualität vertraglich festzulegen und die Einhaltung dieser Sequenzen durch eigenes Personal zu überwachen.

Die Verfügbarkeit des Bauwerkes für weitere Arbeiten (z. B. Rohrleitungsmontage) ergibt sich aus dem Gesamtterminplan, unter Berücksichtigung des Aufwandes, rückwärtsgerechnet von der Inbetriebnahme-Sequenz. Eine klare Montagerichtung vermeidet Schnittpunkte und Behinderungen durch andere Baustellentätigkeiten. Ein wesentlicher Punkt ist die Festlegung der Kranstandflächen, um die Überschneidung der Aktionsradien des einen Krans mit einem anderen Kran zu vermeiden.

Je nach Beschaffenheit des Bodens sind die Kranstandflächen zu präparieren um die vorschriftsmäßige Standsicherheit sicherzustellen. Die permanente Zugänglichkeit hinsichtlich Materiallieferung sollte gewährleistet sein.

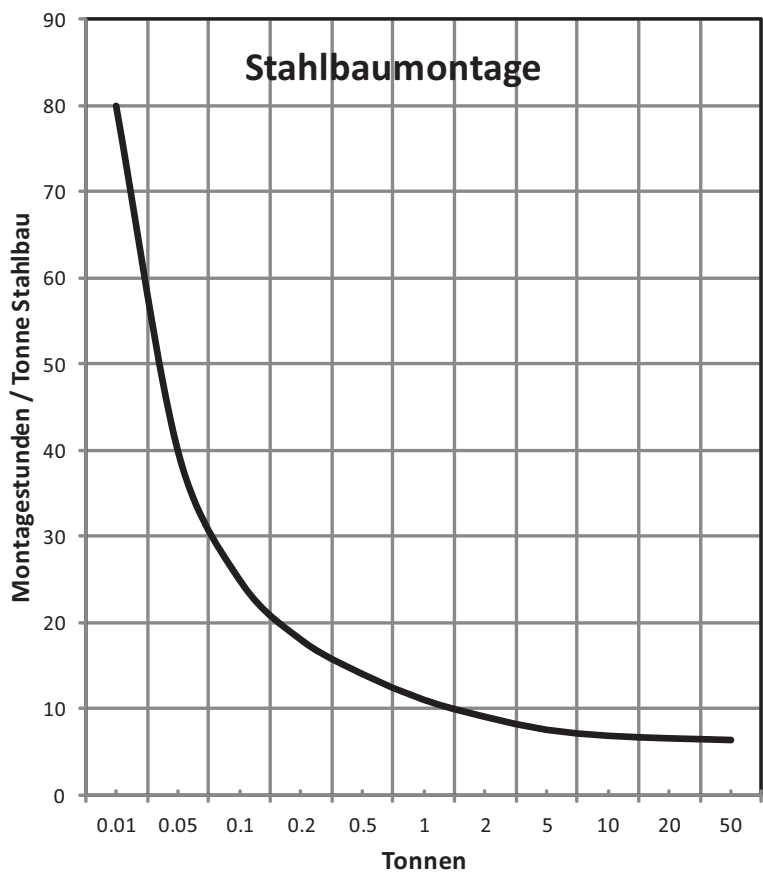
Unter Berücksichtigung von Formel 11.1 Effizienz

$$\text{Effizienz} = \frac{\text{Input}}{\text{Output}} = \frac{\text{Arbeitsaufwand}}{\text{prod. Stückzahl}}$$

wird der geplante Arbeitsaufwand ermittelt.

Da der Stahlbau die Basis für die nachfolgenden Gewerke darstellt, ist ein planmäßiges Errichten des Stahlbaus sicherzustellen, um die nachfolgenden Gewerke nicht in ihrem Ablauf zu stören.

Abbildung 3.13 stellt den Einfluss des Stückgewichtes auf Montagestunden und Montagekosten dar. Der Aufwand der Montagestunden bezogen auf das Stückgewicht sinkt bei steigendem Gewicht. Wird eine Baugruppe aus Einzelteilen zusammengebaut die durchschnittlich 150 kg pro Stahlbauteil wiegen, wäre die angenommene Effizienz 20 h/t. Die daraus resultierenden Montagekosten ergeben sich, indem der Aufwand mit einem repräsentativen Stundenlohn multipliziert wird.



**Abb. 3.13** Einfluss des Stückgewichtes auf Montagestunden



**Abb. 3.14** Rohrbrücke im Chemiekomplex Bayer Uerdingen. (Bild: Bayer AG)



**Beispiel**

Annahme: Eine Rohrbrücke mit einer Länge von 100 m, 6 m breit und 8 m hoch hat eine Tonnage von ca. 120 t.

Unter Zugrundelegung von Formel 11.1 Effizienz wird der Input (=Arbeitsaufwand) bestimmt, wobei die durchschnittliche Effizienz aufgrund von Erfahrungswerten angenommen wird.

Output = 120 t

Effizienz = 20 h/t

$$\text{Arbeitsaufwand} = \text{Effizienz} * \text{Output}$$

$$\text{Arbeitsaufwand} = 20 \frac{\text{h}}{\text{t}} * 120 \text{ t} = 2.400 \text{ h}$$

Bei einer angenommenen Effizienz von 20 h/t benötigt man 2.400 h für die Errichtung der Rohrbrücke. Umgerechnet sind das ca. 10 Mann Monate.

Eine Stahlbaukolonne setzt sich in der Regel aus 5 Personen zusammen. Demzufolge wäre der Montagezeitraum 2 Monate.

Sind diese 2 Monate terminlich zu lange, müssen 2 oder mehr Kolonnen eingesetzt werden.

Abbildung 3.14 zeigt die Komplexität von Rohrbrücken anhand einer Polycarbonat Anlage in Uerdingen.

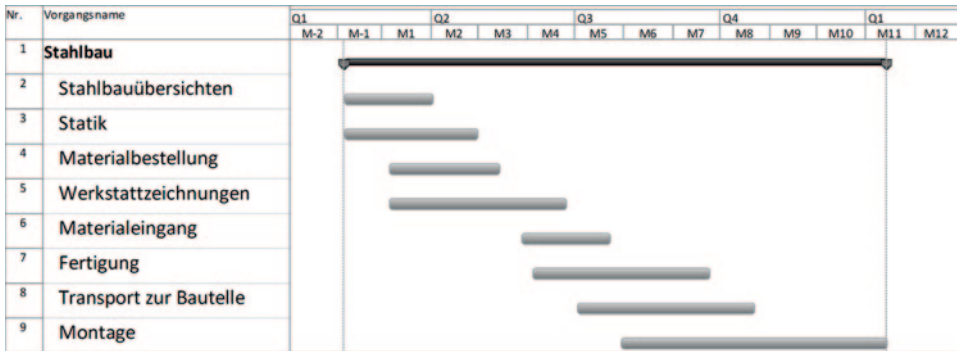
Ergänzend zu dem oben genannten Beispiel sollte nicht vergessen werden, dass bei der Stahlbaumontage Hebezeuge erforderlich sind. Mitentscheidend für die Festlegung mit wie vielen Kolonnen, in welchem Zeitraum die Stahlbaumontage erfolgen soll, ist die Planung der Hebezeuge. Hier spielt der Platz für die Kranstandflächen und die Verfügbarkeiten von Kranen eine entscheidende Rolle.

Des Weiteren sind zu überprüfen, ob auf der Baustelle Behinderungen wie z. B. durch

- vorhandene Gebäude
- Befahrbarkeit und Belastbarkeit der Baustellenzuwege
- Vormontageplatz

vorliegen, die einen negativen Einfluss auf die Abläufe haben könnten.

Die Montage des Stahlbaus erfolgt mittels einzelner Teile, oder als Baugruppe. Diese Baugruppen können bereits in der Fertigung vormontiert werden, oder auf der Baustelle. Eine Kombination aus beiden ist ebenfalls üblich. Bei der Stahlbauplanung ist abzuwägen, inwieweit ein höherer Grad an vormontierten Bauteilen Kosten reduzierend wirkt. Dabei sind eingesparte Kosten für Montagearbeiten vor Ort mit möglichen höheren Krankosten aufgrund größerer Hebeleistung zu vergleichen.



**Abb. 3.15** Grobterminplan Stahlbau

Die Größe der Baugruppen wird durch die maximalen Transportabmessungen begrenzt. In Einzelfällen ist zu prüfen, inwieweit diese Baugruppe auf der Baustelle ebenerdig zu noch größeren Montageeinheiten vor Ort zusammengebaut werden können. Die wirtschaftlichste Gesamtlösung ist jeweils durch Variantenvergleiche zu ermitteln.

Seitens der Terminplanung sind die chronologischen Abhängigkeiten und die entsprechenden Dauern im Detail zu planen.

Abbildung 3.15 zeigt die vereinfachte chronologische Abhängigkeit des Stahlbauwerdegangs. Nachdem die Stahlbauübersichten und die Statik fertiggestellt wurden erfolgt die Materialbestellung. Parallel zur Materialbestellung erfolgt die Erstellung der Werkstattzeichnungen für die spätere Fertigung. Nachdem das Rohmaterial geliefert wurde beginnt der eigentliche Fertigungsprozess des Stahlbaus. Entscheidend ist hier, dass die Werkstattzeichnungen vorliegen, der Prüfstatiker oder die zuständige „Third Party“ (länderabhängig) die Statik verifiziert hat.

### 3.6.2 Stahlbaumontage

Das vorgefertigte Material wird idealerweise direkt zum Verwendungsort geliefert und von dort aus direkt montiert, also „just in time“. Leider sind hierfür nicht immer die Voraussetzungen gegeben. Fundamente sind noch nicht fertig oder belastbar, oder die Lagerflächen vor Ort sind begrenzt.

Bei Beschaffungen aus entfernten Ländern (größere Distanz zwischen Fertiger und Baustelle) oder Gegenden, und den daraus resultierenden lange Transportzeiten, sollten Lagerflächen für einen ausreichenden Auslastungspuffer berücksichtigt werden. Das Zwischenlagern von bestimmten Mengen stellt eine kontinuierliche Auslastung des montierenden Nachunternehmers sicher und ermöglicht den Stahlbauer eine gewisse Flexibilität. Als Richtwert sollte die Arbeitsleistung einer Arbeitswoche verfügbar sein.

Das zwischengelagerte Material ist auf der Baustelle in der Reihenfolge zu lagern, die die Einbaureihenfolge widerspiegelt. In der Regel erfolgt die Lagerung auf Freiflächen in dem die Stahlbauteile auf Hölzer gelegt werden. Die dazu gehörigen Kleinteile wie Schrauben, Mutter und Unterlegscheiben werden in verschließbaren Container gelagert.

Vor der Stahlbaumontage ist sicherzustellen, dass die zu benutzenden Fundamente ihrer erforderliche Festigkeit erreicht haben. Die Fundamente und Ankerbolzen sind auf Beschädigung und Zeichnungskonformität hin zu überprüfen. Insbesondere wenn diese Leistungen durch Dritte erbracht wurden.

Unebenheiten der Fundamente innerhalb der vorgeschriebenen Toleranzen können durch Unterlegbleche korrigiert werden. Dazu werden die Stahlstützen mit Hilfe von Blechen ausgerichtet, wobei maximal drei Unterlegbleche aufeinanderliegend verwenden werden dürfen. Unterlegbleche sollten in unterschiedlichen Dicken und in ausreichender Menge vorhanden sein. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Bleche weder geschert noch gestanzt wurden. Die Schnittkanten müssen zur Vermeidung von Verletzungsgefahren gebrochen werden. Unter Berücksichtigung der jeweils anzuwendenden Normen ist der Abstand zwischen Fundament und Stahlstütze mit wenigsten 30 mm und bis höchstens 50 mm durch Unterlegbleche auszugleichen.

Die Stahlbauteile sind ausschließlich nach denen in den Zeichnungen angegeben Maßen zu montieren. Das Einhalten der dort angegebenen Toleranzen ist zwingend erforderlich. Bei Maßketten sollte das Gesamtmaß dahingehend kontrolliert werden, dass die Addition von Toleranzen nicht die Toleranz des Gesamtmaß über- bzw. unterschreitet.

Während der Stahlbaumontage sollte die Windgeschwindigkeit mit berücksichtigt werden (Weitere Details zu Kranarbeiten siehe 4.2 Kranarbeiten).

Nachdem der Stahlbau auf den Fundamenten verankert ist, werden die Verankerungen, vorzugsweise mittels Drehmomentschlüssel angezogen und im Anschluss vergossen. Bevor das Vergießen freigegeben wird, erfolgt in der Regel eine protokollierte Überprüfung der Anzugsmomente.

Der Stahlbau kann mittels geschweißter Verbindungen, als auch mit geschraubten Verbindungen, ausgeführt werden. Die Herstellung der endgültigen Verbindung erfolgt erst nach dem Feinausrichten der Stahlbaustruktur. Mögliche Hilfskonstruktionen oder zeitweilige Abstützungen und Abspannungen sind erst dann zu entfernen, wenn die Stahlbaustruktur die erforderliche Standsicherheit erreicht hat.

Bei den Schraubenverbindungen ist darauf zu achten, dass die Schraubenköpfe und Unterlegscheiben einen festen Sitz an den Berührungsflächen vorweisen. Des Weiteren sollten die Schraubenköpfe auch nur auf einer Seite angeordnet werden.

Bei geneigten Auflageflächen sind Schraubenköpfe und Muttern mit keilförmigen Unterlegscheiben zu versehen. Bei geraden Auflageflächen sind nur die Muttern mit (runden) Unterlegscheiben zu versehen.

Zum Anziehen der Muttern sind geeignete Werkzeuge (z. B. Drehmomentschlüssel, Schlagschrauber) zu verwenden. Bei hochfesten Schrauben sind das Gewinde und die Reibfläche der Unterlegscheibe zu schmieren (z. B. mit kolloidem Molybdänsulfid). Verzinkte Schrauben und Muttern dürfen nicht mit Schmiermitteln behandelt werden. Für

die Vorspannkraft von hochfesten Schrauben gelten die vorgeschriebenen Normen (z. B. DIN EN 1090 Teil 1-3, BS 4604-1 und -2, ASTM A325, ASTM A490) und die Empfehlungen des Schraubenherstellers.

Für 100 % Vorspannung gelten die Anziehmomente nach DIN 18800-7, bei Verwendung eines Drehmomentschlüssels. Auf der Baustelle hergestellte Schraubverbindungen sind stichprobenartig auf festen Sitz zu kontrollieren. Bei Verbindungen mit hochfesten Schrauben und vorgeschriebener Vorspannkraft ist bei allen Schrauben das Anziehmoment mit einem Drehmomentschlüssel zu kontrollieren.

Normale Schraubverbindungen der Güte 4.6, 5.6 können mit einem Schlagschrauber angezogen werden.

Schraubverbindungen sind auf folgende Punkte hin visuell zu kontrollieren:

- Die Schrauben ragen um wenigsten zwei Gewindegänge aus der Mutter heraus.
- Die Schrauben sind mit dem Drehmomentschlüssel angezogen. (Die Spuren der Krafteinwirkung sind mitunter an den Ecken der Mutter erkennbar).
- Die Muttern sind unter Verwendung von Unterlegscheiben und auf der richtigen Seite angebracht.

Abbildung 3.16 zeigt eindrucksvoll, dass die Verwendung von Unterlegscheiben auf der richtigen Seite auf dieser Baustelle ernst genommen wurde. Allerdings herrscht nicht immer und überall ein einheitliches Verständnis über den allgemeinen Stand der Technik. Der freien Kreativität auf einer Baustelle sind keine Grenzen gesetzt. Umso mehr rückt die Bau- und Montageüberwachung vor Ort in den Mittelpunkt.



**Abb. 3.16** Stahlbau – Unterlegscheiben. (Bild: Stefan Boos)

Für die Schweißverbindungen gelten die vorgeschriebenen Normen wie z. B. EN 287-1, EN 719, EN ISO 3834-1, EN ISO 5817 und EN ISO 9692-2, AWS D1.1

Baustellen-Schweißnähte sind visuell zu kontrollieren. In Zweifelsfällen sind zusätzlich zerstörungsfreie Prüfungen der Schweißnähte durchzuführen.

### **3.6.3 Bühnen und Leitern**

Bühnen und Leitern dienen der Sicherheit und der Zugänglichkeit innerhalb der Anlage. Es sollte bereits in der Planungsphase angestrebt werden, die Leitern und Bühnen zeitgleich mit der Stahlkonstruktion zu errichten. Dazu zählt auch das Auslegen von Gitterrosten.

Die Schwierigkeit bei der frühzeitigen Bestellung von Gitterrosten liegt in der Regel darin, dass der Umfang der Durchbrüche zu dem Bestelltermin nicht gänzlich vorliegt. Mitunter ist es sinnvoll, von Fall zu Fall zu untersuchen, ob es nicht wirtschaftlich vorteilhafter ist, Gitterroste ohne Durchbrüche vorab zu verlegen. Dadurch kann deutlich der Aufwand an Gerüstbauarbeiten, um somit für Gerüstbaukosten, reduziert werden.

Nach Festlegung der Durchbrüche in den Gitterrosten, aufgrund von Rohrleitungsverläufen usw., können diese dann ausgetauscht werden.

### **3.6.4 Kontrollen und Prüfungen**

Nach Fertigstellung der Stahlbauarbeiten erfolgt die Überprüfung der ausgeführten Arbeiten. Stahlgerüste werden eingemessen und mit den Koordinaten in den Zeichnungen verglichen. Neben der allgemeinen Sichtkontrolle sind folgende Punkte während und nach der Ausführung zu überprüfen bzw. durchzuführen:

- Ankerschrauben vergossen und angezogen
- Sichtkontrolle der Baustellen-Schweißnähte
- Hauptabmessungen (Bühnenhöhe, Durchbrüche, Trägergrößen) kontrolliert
- Schraubenverbindungen kontrolliert
- Vorgeschriebenes Drehmoment von HV-Verbindungen kontrolliert
- Provisorische Aussteifungen entfernt
- Riffelbleche/Tränenbleche montiert und verschraubt/verschweißt
- Erforderliche Löcher für Bühnenentwässerung in Bühnenabdeckungen ausgeschnitten
- Fußbleche an den Durchbrüchen montiert
- Laufstege/Treppen/Leitern/Geländer montiert
- Dach- und Wandverkleidungen montiert
- Kranbahnschienen ausgerichtet
- Anschlüsse für Erdung kontrolliert
- Gitterroste montiert und befestigt

- Verzinkung repariert
- Korrosionsschutz kontrolliert

---

### **3.7 Zusammenfassung**

Der Bau beinhaltet neben der Herstellung der sichtbaren und verwendeten Strukturen eine Vielzahl von Arbeiten, die bei einer fertiggestellten Anlage nicht mehr ersichtlich sind. Die gesamten Arbeiten sind sehr personalaufwendig und bedürfen einer weitergehenden logistischen Planung.

Wenn die Bauarbeiten beginnen, sind die Bauarbeiter Witterung und Klima ausgesetzt. Die Gebäude und Strukturen müssen durch sie geschaffen werden. Die Erdbewegung von tausenden Kubikmeter, die Tiefengründung, mögliche Grundwasserabsenkungen stellen immer wieder neue Herausforderungen an die Baustellenmannschaft

Mitentscheiden für eine erfolgreiche Bewältigung der Bauabläufe ist die Kenntnis über die einzelnen Gewerke und ihr Zusammenspiel untereinander. Der Schlüssel zum Erfolg liegt in der detaillierten Planung der Abläufe, sowie das frühzeitige Erkennen von Störungen um nur geringe Abweichungen vom Plan zu zulassen.

---

## 4.1 Ausrüstungsmontage

Die Ausrüstungsmontage ist das Kernstück der Montage. Da die anderen Gewerke in der Regel als Massengewerke verstanden werden, werden bei der Ausrüstungsmontage im Allgemeinen auf die individuellen Besonderheiten einer Ausrüstung eingegangen. Alleine die Beschaffungskosten stehen in einem deutlich anderen Verhältnis als die Kosten für Massenmaterial. So liegen die Stückkosten für Kompressoren, Turbinen oder Reaktoren nicht selten im zweistelligen Millionenbereich.

Die Hauptunterteilung der Ausrüstungsmontage aus Sicht des Anlagenbauers unterscheidet sich in:

- Statische Ausrüstung
- Rotierende Ausrüstungen
- Baustellenfertigung

Ausrüstungen, die aufgrund ihrer Dimensionen und der damit verbundenen Transportproblematik, nicht transportierbar sind, werden auf der Baustelle zusammengebaut bzw. gefertigt. Alle anderen Ausrüstungen werden auf der Baustelle angeliefert und montiert.

Der Einsatz von geeigneten Hebezeugen ist bei der Ausrüstungsmontage das entscheidende Kriterium. Zum einen steht die Machbarkeit im Vordergrund, zum anderen ist sicherzustellen, dass Hebezeuge mit der erforderlichen Kapazität **und** innerhalb des geplanten Zeitraumes verfügbar sind.

Ausrüstungen werden auf Fundamente gesetzt oder in einem Stahlgerüst verankert. Ausrüstungen, wie z. B. Turbinen oder Kompressoren sind sensible Bauteile. Vor und nach der reinen Montage der Ausrüstungen sind diverse Überprüfungen (ausrüstungsabhängig) erforderlich.

Grundsätzlich sollte vor der Montage die Lage der Betonfundamente überprüft werden. Mögliche Aussparungen für Ankerbolzen müssen sorgfältig gereinigt und ausgeblasen werden, um alle Fremdkörper oder Schmutz, der sich angesammelt hat, zu entfernen. Die eingesetzten Ankerbolzen müssen in Bezug auf senkrechten Sitz, Ausrichtung und Projektion(d. h. korrekte Lage zu- und untereinander) untersucht werden. Bei einer Montage im Apparategerüst sind die Positionen der Ankerbolzenlöcher auf ihre Zeichnungskonformität hin zu überprüfen.

Zum Ausrichten der Ausrüstung sind Unterlegbleche mit unterschiedlichen Dicken zu verwenden. Die maximal auszugleichende Höhe sollte dabei 50 mm nicht überschreiten.

Die Ausrüstung ist nach der Montage mittels Präzisionsmessgeräte (Winkelmessgeräte, Theodoliten, Nivelliergeräte usw.) auf ihre Koordinaten hin zu überprüfen und zu dokumentieren.

Senkrecht stehende Geräte, wie Kolonnen, Reaktoren, Behälter, Filter, Wärmeaustauscher, Tanke sollten ausschließlich mit Hilfe eines Theodolits nach Höhe und Seite ausgerichtet werden.

Rotierenden Ausrüstungen wie Pumpen, Kompressoren, Gebläsen etc. sind auf Betonfundamenten nach Herstellerangaben zu montieren und einzumessen. Wenn nichts anderes vom Lieferanten oder Hersteller gefordert wird, wird zuerst die Antriebseinheit montiert und ausgerichtet.

Die Koordinaten von Flanschen, die an Pumpen oder Turbinen angebracht sind, sind in senkrechter und horizontaler Richtung entsprechend den Herstellerangaben feinauszurichten.

Danach kann die vorläufige Ausrichtung vom angetriebenen Bauteil und der Antriebseinheit erfolgen.

Die Toleranzen zwischen Antriebseinheit (Dieselmotor, Elektromotor, Gasturbine oder Getriebe, usw.) und angetriebenen Bauteil (Pumpen, Kompressoren) werden vom Hersteller angegeben. Sind solche Werte nicht verfügbar, werden Winkelabweichungen und Abweichungen bei der Parallelität in Schritten von 0,05 mm gemessen. Zwischenlegscheiben werden eingesetzt, um die Antriebswellen der beiden Maschinen genau auszurichten und Verspannungen zu vermeiden. Die Wellen müssen bis auf 0,05 mm genau in Flucht liegen und die Enden sich bis auf 0,05 mm annähern.

Eine typische Montagesequenz von statischen Ausrüstungen ist:

- Überprüfung und Abnahme des Fundaments
- Visuelle Inspektion der Ausrüstung
- Kran positionieren und aufrüsten
- Anschlagen der Ausrüstung
- Überprüfungen vor Hebevorgang
- Hebevorgang
- Positionierung der Ausrüstung auf dem Fundament oder Rahmen
- Grobausrichtung der Ausrüstung
- Feinausrichtung der Ausrüstung
- Einmessen der Ausrüstung



- Vergießen der Ankerbolzen

### 4.1.1 Kontrollen und Prüfungen

Während und nach den durchgeführten Arbeiten sind diverse Kontrollen und Prüfungen durchzuführen. In der Regel werden solche Prüfungen in den Qualitätsplänen aufgeführt. Dabei ist zu beachten, dass die Vorgaben der Hersteller mit berücksichtigt werden.

Folgende Punkte sind beispielhaft bei statischen Ausrüstungen zu berücksichtigen:

- Ausrüstung ausgerichtet
- Setzung des Fundamentes gemessen
- Ankerschrauben vergossen und angezogen
- Vorgeschriebenes Drehmoment von Schraubenverbindungen kontrolliert
- Ausrüstung gereinigt (innen)
- Transportsicherungen/Aussteifungen entfernt
- Einbauten montiert
- Treppen/Bühnen/Leitern montiert
- Auskleidung/Innenbeschichtung kontrolliert
- Dichtheitsprüfung durchgeführt
- Sichtkontrolle auf Beschädigungen durchgeführt
- Festpunkt/Lospunkt kontrolliert
- Blindflansche montiert

Folgende Punkte sind beispielhaft bei rotierenden Ausrüstungen zu berücksichtigen:

- Ankerschrauben vergossen und angezogen
- Typenschild kontrolliert
- Interne Rohrleitungen montiert
- Ausrüstung gereinigt (innen)
- Kupplung montiert
- Öler/Thermometer/Manometer montiert
- Kupplung mit Öl/Fett gefüllt
- Öl-/Fettsorte
- Lagergehäuse/Getriebe gespült und mit Öl gefüllt
- Ölsorte überprüft
- Stopfbuchse gereinigt
- Handdrehkontrolle durchgeführt
- Keilriemen montiert
- Keilriemenspannung kontrolliert
- Sichtkontrolle auf Beschädigungen durchgeführt
- Grundplattenaufbau montiert
- Kühlwasserrohre montiert

- Heizrohre montiert
- Durchflussrichtung der Armaturen kontrolliert
- Anschlusslasche für Erdung kontrolliert
- Kupplungsschutz montiert
- Rostschutzmittel entfernt
- Packung/Gleitringdichtung eingebaut
- Drehrichtungskontrolle durchgeführt
- Parallelität von Motor und Maschine kontrolliert
- Keilriemenschutzkasten montiert
- Transportsicherungen montiert

---

## 4.2 Kranarbeiten

Krane im Sinne der Unfallverhütungsvorschrift (BGV D6) sind Hebezeuge, die Lasten mit einem Tragmittel heben und zusätzlich in eine oder mehrere Richtungen bewegen können. Der Ursprung des Wortes Kran geht auf die langen Ausleger des Krans zurück. Die Ausleger erinnern stark an das Aussehen von Kranichen, von daher ist der Plural Krane und nicht Kräne. Da dies kein Zufall ist belegt auch die englische Sprache, da der Begriff „crane“ Kran als auch Kranich bedeutet.

Krankosten verursachen wesentliche Teile der Montagekosten auf einer Großbaustelle. Um diese Kosten auf ihre Notwendigkeit hin zu minimieren, sollte die Festlegung der erforderlichen Krankapazitäten sowie die ermittelte Anzahl an Kranen im Detail bestimmt und geplant werden. Ziel ist es hier ein Optimum zwischen Hebekapazität, Anzahl der Geräte und deren Einsatzdauer zu ermitteln.

Bereits während des Beschaffungsvorganges der Ausrüstungen sind die erwarteten Lieferzeiten der unterschiedlichen Ausrüstungen mit dem Kraneinsatzplan abzugleichen.

Je nach Anforderung des Hebevorganges gibt es unterschiedliche Hebegeräte wie z. B.:

- Faltkrane
- LKW-Aufbaukrane
- Minikrane
- Mobilkrane
- Raupenkrane
- Ringkrane
- Turmdrehkrane
- Laufkrane
- Hub- und Vershubsysteme
- Stapler und Telestapler
- Schwimmkrane

Die Auswahl des erforderlichen Krans erfolgt unter Berücksichtigung nachfolgender Gesichtspunkte und/oder aus einer Kombination mehrerer Punkte.

- 1. Zu hebendes Gewicht (Traglast)
- 2. Erforderliche Hubhöhe (Hakenhöhe Hauptausleger)
- 3. Erforderlich Reichweite (Arbeitsbereich, -radius)
- 4. Einsatzdauer
- 5. Mobilität auf der Baustelle
- 6. Wirtschaftlichkeit

Unter Berücksichtigung der Punkte 1 bis 3 erfolgt die Auswahl des Krans anhand von Traglastentabellen des entsprechenden Krantyps, wie beispielsweise Tab. 4.1 zeigt.

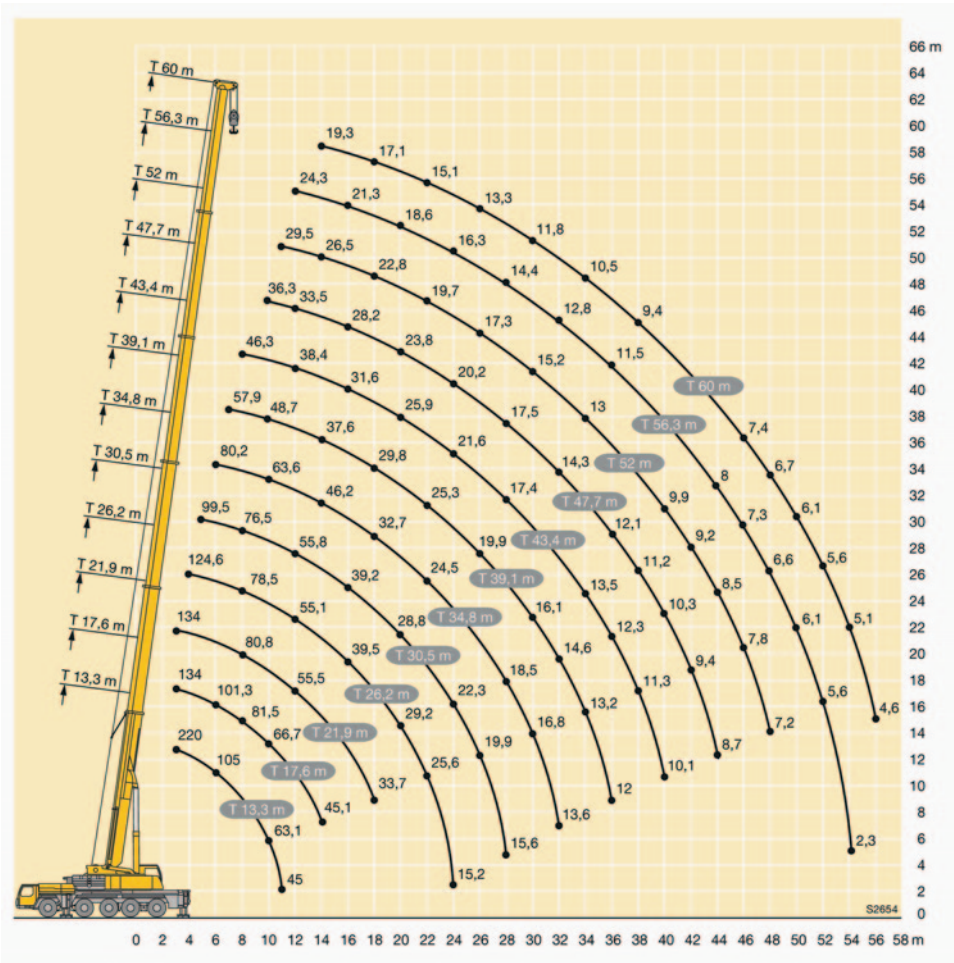
Die Zeilenbezeichnung in Tab. 4.1 gibt den Abstand vom Kranmittelpunkt an (Arbeitsradius), während die Spaltenbezeichnung die Länge des Auslegers angibt. Entsprechend Abb. 4.1 wird die Länge des Auslegers bezüglich der erforderliche Reichweite und

**Tab. 4.1** Traglastentabelle Liebherr LTM 1220. (Tabelle Fa. Liebherr)

| <div>Traglasten</div> <div>Lifting capacities</div> <div>Forces de levage • Portate</div> <div>Tablas de carga • Грузоподъемность</div> <div>T</div>                                          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |        |      |      |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|------|------|----|
| <div><div><div>13,3 – 60 m</div><div>T</div><div>360°</div><div>74 t</div><div>EN</div></div><div><div><div><div></div><div>m</div></div><div><div></div><div>m</div></div></div></div></div> |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |        |      |      |    |
|                                                                                                                                                                                               | 13,3 m | 17,6 m | 21,9 m | 26,2 m | 30,5 m | 34,8 m | 39,1 m | 43,4 m | 47,7 m | 52 m | 56,3 m | 60 m |      |    |
| 3                                                                                                                                                                                             | 220    | 134    | 134    | 134    |        |        |        |        |        |      |        |      | 3    |    |
| 3,5                                                                                                                                                                                           | 150,3  | 134    | 134    | 134    |        |        |        |        |        |      |        |      | 3,5  |    |
| 4                                                                                                                                                                                             | 142,4  | 130,8  | 130,4  | 129,9  | 124,6  |        |        |        |        |      |        |      | 4    |    |
| 4,5                                                                                                                                                                                           | 130,6  | 122    | 122,1  | 121,4  | 120,1  |        |        |        |        |      |        |      | 4,5  |    |
| 5                                                                                                                                                                                             | 119,4  | 114,2  | 114,3  | 111,6  | 110,2  | 99,5   |        |        |        |      |        |      | 5    |    |
| 6                                                                                                                                                                                             | 105    | 100,7  | 101,3  | 99,5   | 97,1   | 94,9   | 80,2   |        |        |      |        |      | 6    |    |
| 7                                                                                                                                                                                             | 93,4   | 89,8   | 90,4   | 89,2   | 86,8   | 84,7   | 79,1   | 57,9   |        |      |        |      | 7    |    |
| 8                                                                                                                                                                                             | 83,4   | 80,9   | 81,5   | 80,8   | 78,5   | 76,5   | 75,7   | 55,1   | 46,3   |      |        |      | 8    |    |
| 9                                                                                                                                                                                             | 73,7   | 73     | 73,6   | 73,7   | 71,7   | 70,9   | 69,3   | 51,8   | 44,5   |      |        |      | 9    |    |
| 10                                                                                                                                                                                            | 63,1   | 63,1   | 66,7   | 67     | 65,9   | 65,4   | 63,6   | 48,7   | 42,4   | 36,3 |        |      | 10   |    |
| 11                                                                                                                                                                                            | 45     | 45     | 60,8   | 61     | 60,7   | 60,4   | 58,8   | 45,6   | 40,2   | 35   | 29,5   |      | 11   |    |
| 12                                                                                                                                                                                            |        |        | 55,2   | 55,5   | 55,1   | 55,8   | 54,5   | 42,6   | 38,4   | 33,5 | 28,6   | 24,3 | 12   |    |
| 14                                                                                                                                                                                            |        |        | 45,1   | 46,3   | 46,6   | 46,8   | 46,2   | 37,6   | 35     | 30,7 | 26,5   | 22,8 | 19,3 | 14 |
| 16                                                                                                                                                                                            |        |        |        | 39,3   | 39,5   | 39,2   | 38,5   | 33,3   | 31,6   | 28,2 | 24,5   | 21,3 | 18,2 | 16 |
| 18                                                                                                                                                                                            |        |        |        | 33,7   | 33,7   | 33,3   | 32,7   | 29,8   | 28,6   | 25,9 | 22,8   | 20   | 17,1 | 18 |
| 20                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        | 29,2   | 28,8   | 28,1   | 27,4   | 25,9   | 23,8 | 21,2   | 18,6 | 16,1 | 20 |
| 22                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        | 25,6   | 25,2   | 24,5   | 25,3   | 23,6   | 21,9 | 19,7   | 17,4 | 15,1 | 22 |
| 24                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        | 15,2   | 22,3   | 22,3   | 22,3   | 21,6   | 20,2 | 18,5   | 16,3 | 14,2 | 24 |
| 26                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        | 19,9   | 20,6   | 19,9   | 19,3   | 18,7 | 17,3   | 15,3 | 13,3 | 26 |
| 28                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        | 15,6   | 18,5   | 17,9   | 17,4   | 17,5 | 16,2   | 14,4 | 12,5 | 28 |
| 30                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        | 16,8   | 16,1   | 15,9   | 15,8 | 15,2   | 13,6 | 11,8 | 30 |
| 32                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        | 13,6   | 14,6   | 14,9   | 14,3 | 14,1   | 12,8 | 11,2 | 32 |
| 34                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        | 13,2   | 13,5   | 13   | 13     | 12,1 | 10,5 | 34 |
| 36                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        | 12     | 12,3   | 12,1 | 11,8   | 11,5 | 10   | 36 |
| 38                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        |        | 11,3   | 11,2 | 10,7   | 10,6 | 9,4  | 38 |
| 40                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        |        | 10,1   | 10,3 | 9,9    | 9,6  | 9    | 40 |
| 42                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 9,4  | 9,2    | 8,7  | 8,5  | 42 |
| 44                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 8,7  | 8,5    | 8    | 8    | 44 |
| 46                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      | 7,8    | 7,3  | 7,4  | 46 |
| 48                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      | 7,2    | 6,6  | 6,7  | 48 |
| 50                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |        | 6,1  | 6,1  | 50 |
| 52                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |        | 5,6  | 5,6  | 52 |
| 54                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |        | 2,3  | 5,1  | 54 |
| 56                                                                                                                                                                                            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |        |      | 4,6  | 56 |

\* nach hinten • over rear • en arrière • sul posteriore • hacia atrás • cpena noseпpиязaзaд

1.211.00050.00\_000 / 00101.00\_000



**Abb. 4.1** Hubhöhen Liebherr LTM 1220. (Bild: Fa. Liebherr)

Hubhöhe bestimmt. Der vertikale/horizontale Schnittpunkt zeigt die unter diesen Bedingungen maximaler theoretischer Lastaufnahme an.

**Beispiel**

Ein Bauteil mit einem Gewicht von 33 t ist auf eine Höhe von 20 m zu heben. Der Kranstandplatz ist 16 m vom Einbauort entfernt. Es ist ein Kran mit einer Mastlänge von 26,2 m zu wählen. Entsprechend Abb. 4.1 ist die maximale Lastaufnahme 39,5 t.

Entsprechend den Sicherheitsbestimmungen und lokaler Regularien darf die maximale Auslastung des Kranes mitunter nur bei 75 % (des Hubgewichtes) liegen. Einige Heraus-

geber von Krantabellen haben die Sicherheitsbeiwerte bereits in ihren Tabellen berücksichtigt.

Es sollte selbsterklärend sein, bei der Auswahl des Kranes montage-technische Sicherheiten bei der Hebekapazität zu berücksichtigen. Zum einen kann das Gewicht der Ausrüstung höher sein, zum anderen könnte der Abstand Kran-Einbauort variieren.

Die Einsatzdauer und die Mobilitätskriterien entscheiden darüber ob z. B. Mobilkrane oder feststehende Krane, wie Turmdrehkrane oder Hubsysteme verwendet werden.

Nachfolgend sind die gängigsten Hebezeuge die im Großanlagenbau verwendet werden aufgeführt.

### Faltkrane

Der Aufbau eines Faltkrans kann unter einer halben Stunde erfolgen. Bei bis zu 60 m Höhe und einer Reichweite von 45 m können Lasten bis 2 t gehoben werden, die maximale Traglast beträgt mitunter sogar 8 t. Hierbei werden Arbeiten überaus präzise ausgeführt. Dazu dient nicht zuletzt eine Kamera unmittelbar über der anhängenden Last und eine höhenverstellbare Kabine, welche permanenten Sichtkontakt zum Arbeitsort erlauben. Weiterhin trägt die optionale Bedienung mittels Funkfernsteuerung zur Genauigkeit bei.

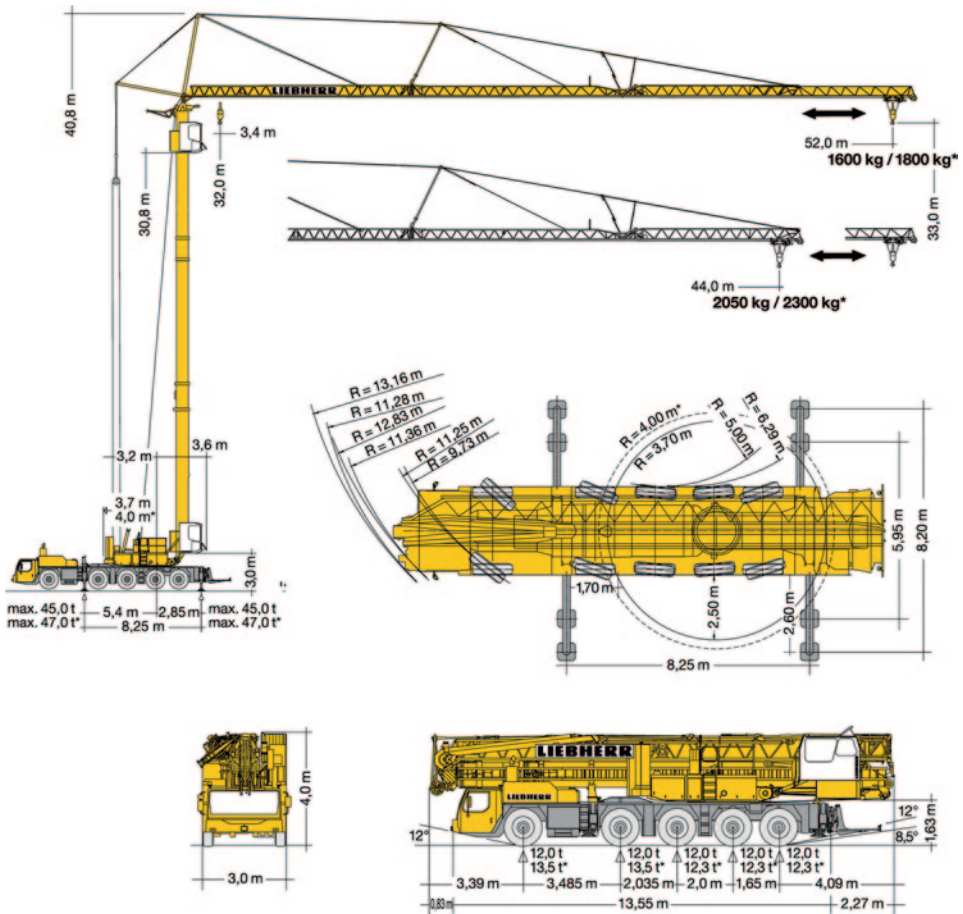
Laut Fa. Liebherr haben Faltkrane folgende Stärken.

Zusätzliche technische Besonderheiten vereinfachen die Abläufe am Einsatzort entscheidend. Ausgehend von verschiedenen Auslegerschragstellungen bis zu 45° und der Schnelligkeit der Laufkatze ist besonders der elektrische Antrieb zu erwähnen. Bei Nacht wird so nahezu geräuschlos gearbeitet. Aufgrund der Konstruktion werden Straßensperrungen minimiert, da der Kran unmittelbar am Einsatzort aufgebaut und betrieben werden kann.

Zum Beispiel sind die Leistungsmerkmale eines Liebherr MK 100: (Abb. 4.2) [13]:

- Verstellbare Auslegerneigung: 0°/15°/30°/45°
- Hakenhöhe von 33,0 m (0° Neigung) bis 68,0 m (45° Neigung)
- Ausladung bis zu 52 m (0° Neigung)
- Traglasten zwischen 1600 und 8000 kg
- Auf- und Abbau innerhalb von 15 min
- Vollautomatischer Auf- und Abbau, schnelle Laufkatze, Neigungsänderung aus Kabine
- Geringer Platzbedarf
- Geringer Wendekreis mit 11,28 m
- Geräuschemissionsarm durch elektrischen Betrieb
- Verstellbare Liftkabine, Laufkatzkamera, Funkfernsteuerung
- Sehr wendiges Fahrgestell mit 5 verschiedenen Lenkprogrammen

Ein weiterer Vorteil, siehe (Abb. 4.2), besteht in seinem senkrechten Mast. Dadurch kann bei Dacharbeiten der Kran nahe an einem Gebäude platziert werden kann.



**Abb. 4.2** Liebherr MK 100. (Bild: Fa. Liebherr)

### Beispiel

Besonders deutlich wird es durch Abb. 4.3. Der Kran unterstützt dabei Montagearbeiten auf einem Tankdach, in einem bestehenden Tanklager. Arbeiten in einem Tanklager sind im generellen dadurch gekennzeichnet, dass die Zugänglichkeit mit Montagegeräten grundsätzlich eingeschränkt ist. Durch den senkrechten Mast kann der Kranstandplatz nahe dem Tank gewählt werden. Ein Teleskopkran müsste aufgrund seines Anstellwinkels weiter von dem Tank entfernt platziert werden. Da dieser Platz aber aufgrund der beengten Platzverhältnisse nicht vorhanden ist, ist der Einsatz eines Faltkranses die effektivste Lösung.





**Abb. 4.3** Liebherr MK 88 im Einsatz. (Bild: Fa. Liebherr)

### Minikrane

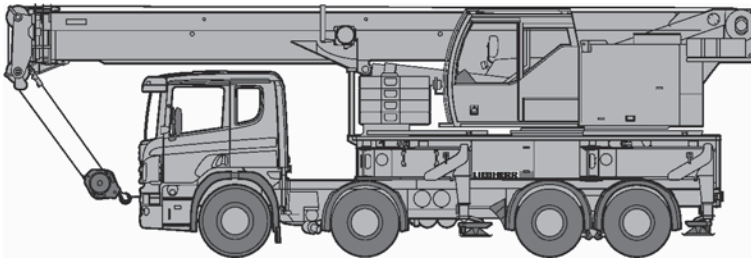
Der Vorteil von Minikrane ist, und dies ist auch gleichzeitig das wesentliche Einsatzgebiet, dass sie dort eingesetzt werden, wo der Zugang mit herkömmlichem Kran nicht gewährleistet ist. Minikrane werden hauptsächlich in beengten Arbeitsbereichen eingesetzt, sei es in oder zwischen den Gebäuden, unter ihnen oder auf ihren Dächern. Dabei sind sie in der Lage, aufgrund ihrer kompakten Bauweise, Bauteile mit einem Gewicht von bis zu 10 t zu heben. Die maximale Hakenhöhe liegt bei 30,7 m.

Die kleinsten Minikrane gibt es ab einer Breite von 595 mm mit einem Standardgewicht von 1000 kg und einer maximalen Traglast von 0,9 t. Mit dieser Abmessung passt der Minikran sogar durch normale Durchgangstüren.

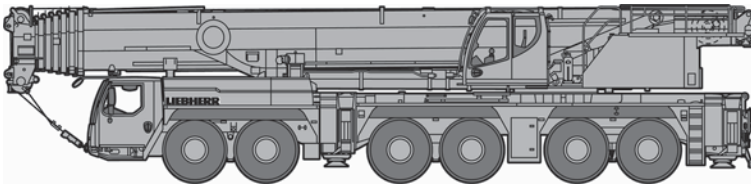
Abbildung 4.4 zeigt den Einsatz eines Minikrans an einer schwer zugänglichen Stelle.

**Abb. 4.4** Minikran.  
(Bild: Minikran)





**Abb. 4.5** LKW Aufbaukrane. (Bild: Fa. Liebherr)



**Abb. 4.6** Mobilkran LTM. (Bild: Fa. Liebherr)

### LKW-Aufbaukrane

LKW-Aufbaukrane (engl. truck crane), wie in Abb. 4.5 dargestellt, besitzen ihren Vorteil in der Mobilität, wie auch die eigentlichen Mobilkrane. Der Unterschied zu Mobilkranen ist, dass der Kranaufbau auf einem straßenzugelassenen LKW erfolgt, der nicht geländegängig ist.

### Mobilkrane

Mobilkrane (Abb. 4.6) gibt es in der Ausführung mit Gittermast und als Teleskopkran.

Der Vorteil der Mobilkrane ist, wie der Name schon sagt, die Mobilität. Aufgrund ihrer Straßenzulassung sind sie schnell am Einsatzort und im Vergleich zu Raupenkranen in relativ kurzer Zeit einsatzbereit.

Das Einsatzgebiet erstreckt sich fast über sämtliche Hebevorgänge die zu Errichtung einer Anlage erforderlich sind.

Mobilkräne, auch aufgrund ihrer Geländegängigkeit, sind die am meisten eingesetzten Krane auf der Baustelle. Dabei decken Sie Hebelasten bis zu 1200 t ab.

Der Vorteil gegenüber einem Raupenkran besteht in wechselnden Einsatzorten unter Zurücklegung größerer Strecken.

### Raupenkrane

Raupenkrane gibt es in der Ausführung mit Gittermast und als Teleskopkran.

Der Vorteil der Raupenkrane ist die Flexibilität auf der Baustelle. Das Einsatzgebiet erstreckt sich über die Montage von Betonfertigteilen, Stahlbaustrukturen bis hin



**Abb. 4.7** Raupenkran Liebherr LR 11350. (Bild: Fa. Liebherr)



zu Ausrüstungen. Die kompakte Bauweise, die uneingeschränkte Geländegängigkeit, mit bis zu 70%iger Steigfähigkeit, sowie die freie Verfahrbarkeit aller Traglasten ohne Abstützung sorgen für die Mobilität, die oftmals größere und teurere Geräte überflüssig machen. Auf vielen Baustellen erschweren beengte Platzverhältnisse die Arbeit mit schwerem Gerät. Hier spielt der Raupenkran eine weitere Stärke aus. Dank hydraulisch verstellbarer Spurbreite sind Manöver unter schwierigen räumlichen Bedingungen möglich – eine Eigenschaft, die sich auch in dem minimalen Platzbedarf für das Auf- und Abrüsten ausdrückt.

In der Grundausstattung S (Hauptausleger schwer) hat z. B. der Liebherr LR 11350 (Abb. 4.7) eine Traglast, bei der minimalen Ausladung von 10 m, bis zu 1250 t.

### **Turmdrehkrane**

Turmdrehkrane werden auf vorbereitete Standflächen aufgebaut und verbleiben während der gesamten Nutzungsdauer an dieser Stelle. Obwohl sie stationär gebunden sind, können die Turmdrehkrane aufgrund ihres eingebauten Drehkranz dreidimensionale Bewegungen durchführen. Für das Tragwerk des Turms und seines Auslegers, wird häufig eine Fachwerkkonstruktion bzw. Gittermaste verwendet.

Ausnahmen bilden hierbei die Turmdrehkrane, die auf Schienen, wie Abb. 4.8 zeigt, platziert werden.

**Abb. 4.8** Turmdrehkran.  
(Bild: Fa. Liebherr)



Aufgrund der Bauarten unterscheidet man folgende Turmdrehkrane:

- untendrehenden Turmdrehkran
- obendrehenden Turmdrehkran
- Turmdrehkran mit Katzausleger
- Turmdrehkran mit Nadelausleger

#### *Untendrehende Turmkrane*

Vorteile von untendrehenden Turmdrehkranen:

- geringe Anschaffungs- und Vorhaltekosten
- leichter Auf- und Abbau
- für geringere Traglasten und Arbeitshöhen geeignet
- kommen vormontiert auf Baustelle
- in kurzer Zeit einsatzbereit

#### *Obendrehende Turmkrane*

Vorteile von obendrehenden Turmdrehkranen:

- sehr gute Sicht auf Baustelle aus Krankabine des Turmdrehkranes
- für große Traglasten und Arbeitshöhen geeignet

- geringer Platzbedarf
- Verlängerung des Turms durch Kettenvorrichtung möglich

### *Katzausleger Turmdrehkran*

Katzausleger werden auf Wikipedia wie folgt beschrieben:

Die meisten im mitteleuropäischen Raum eingesetzten Turmdrehkrane sind Krane mit Laufkatzausleger. Ein Laufkatzausleger ist waagrecht am Kranturm angebracht und kann in der Höhe nicht verändert werden (bis auf manche Untendreher-Turmdrehkrane, die auch mit steilerer Auslegerneigung aufgebaut werden können). Der Lasttransport erfolgt mit Hilfe einer Laufkatze, welche sich entlang des Auslegers bewegen kann und das Hubseil mit sich führt. Eine Sonderform des Laufkatzauslegers ist der sogenannte Biegebalkenausleger, der bei spitzenlosen Turmdrehkranen oder Topless-Kranen verbaut wird. Die Funktion entspricht der eines normalen Laufkatzauslegers, jedoch besitzt der Biegebalkenausleger keine Abspannung über eine Turmspitze, um die nicht nutzbare Höhe des Kranes gering zu halten. Bei diesem Krantyp ist die Lastgrenze allerdings eher erreicht als bei Kranen mit Turmspitze. Um die Lasten abzutragen, wird der Ausleger biegesteif ausgeführt. Eine andere Variante ist der Teleskopausleger, bei dem der Ausleger in zwei Teile unterteilt ist, die entweder untereinander oder ineinander geschoben werden können. Diese Variante des Turmdrehkranes ist vor allem beim Vorbeischwenken an Hindernissen von Vorteil. [14]

### *Nadelausleger Turmdrehkran*

Vorteile von Nadelauslegekränen:

- bei beengten Platzverhältnissen ideal, da Ausleger eingezogen werden kann
- für große Traglasten und Arbeitshöhen geeignet

### **Hub- und Vershubsysteme**

Hub und Vershubsystem gehören in die Kategorie Portalkrane. Auf Baustellen werden sie eingesetzt, wenn Ausrüstungen von mehreren hundert Tonnen zu heben sind, oder die Ausrüstungen Abmessungen erreichen, die durch herkömmliche Krane nicht mehr gehandhabt werden können.

Das Hubsystem wird durch zwei Gittermasten gehalten, die je nach Höhe und Belastung abgespannt werden müssen. Die Gittermasten bestehen aus Standardmodulen, die die entsprechende Flexibilität an die Hebeanforderungen erfüllen.

Das Vershubsystem besteht ebenfalls aus zwei oder sogar aus vier Gittermasten mit einem integrierten Vershubsystem. Im Vergleich zum reinen Hubsystem, kann hier die Last auch horizontal verfahren werden, bei einem vierständigen Hubsystem sogar dreidimensional.

Hub- bzw. Vershubsysteme haben deutlich niedrigere Transport- und Rüstkosten und sind im Vergleich zu Krane mit der gleichen Hebekapazität kostengünstiger, aber gänzlich immobil. Sind mehrere Schwerlasthübe an unterschiedlichen Orten erforderlich, kann der Einsatz von Raupenkrane kostengünstiger sein, als das jeweilige Umsetzen der Hubsysteme. Entscheidend ist hier jeweils die projektbezogene Detailuntersuchung.

**Abb. 4.9** Hubsystem. (Bild: Fa. Fagioli SPA)



Ein Kran mit einer hohen Hebekapazität erfordert eine hohe Investition und steht nicht an jeder Ecke rum und wartet auf seinen Abruf. Krane sind mitunter Monate im Voraus ausgebucht. Mögliche Abweichungen von der geplanten Einsatzzeit, wie z. B. Lieferverzögerungen der zu hebenden Ausrüstungen oder verspätete Fertigstellung von Fundamenten usw. sind in der Phase, in der der Kran bestellt werden muss, nur schwer zu greifen. Verlängerte Zeitfenster in denen der Kran vorzuhalten ist, sind teuer.

Hubsysteme, bestehen aus Systemteilen, sind zeitlich wesentlich flexibler und günstiger in der Miete. Wenn die montage-technischen Voraussetzungen gegeben sind, sind Hubsysteme eine grundsätzlich Alternative zu mobilen Krane.

Abbildung 4.9 zeigt ein Hubsystem bei der Aufnahme einer Ausrüstung. Hierbei ist ein weiterer Kran zum Nachführen erforderlich. Im Gegensatz zum Hubsystem kann ein Verschubsystem, wie Abb. 4.10 zeigt, auch seitliche Bewegungen ausführen.

#### Beispiel

In vielen Fällen müssen Mobilkrane mit einer Hebekapazität von über 1000 t Monate im Voraus geordert werden. Trotz detaillierter Planung kann es immer wieder Verspätungen bei der Fertigung oder dem Transport von Ausrüstungen geben. Demzufolge

**Abb. 4.10** Vershubsystem.  
(Bild: Fa. Fagioli SPA)



kann das geplante Zeitfenster für die Montage des Bauteils verpasst werden. Auch Kranunternehmen haben Verträge die sie einhalten müssen. Sollte der Mobilkran aufgrund anderer Verpflichtungen die Baustelle verlassen müssen, können die durch Ersatzmaßnahmen entstehenden Verzögerungen das gesamte Projekt gefährden. Bei einem Hubsystem würden alle Voraussichten nach „nur“ höhere Mietkosten anfallen.

### **Schwimmkran**

Ein Schwimmkran ist ein mobiler Kran der zum Heben und Umsetzen von schweren Bauteilen in Gewässern verwendet wird. Ursprünglich ging die Idee der Schwimmkrane auf das Bergen von gesunkenen Schiffen zurück. Mittlerweile ist der Schwimmkran nicht mehr aus dem Repertoire von Offshore-Anlagenbauer wegzudenken.

Schwimmkräne gibt es als folgende Ausführung:

- Offshore Krane
- Schiffskrane
- Bargekrane
- Pontonkrane



**Abb. 4.11** Schwimmkran bei der Montage eines Umspannwerkes in der Nordsee. (Bild: E.ON SE)

Abbildung 4.11 zeigt den Einsatz eines Schwimmkrans bei dem Hebevorgang eines Umspannwerkes auf das Grundgerüst.

#### 4.2.1 Hebestudie

Für kritische Hebevorgänge ist es empfehlenswert, eine sogenannte Kran- und Hebestudien zu erstellen, teilweise ist es auch durch Vorgaben gefordert.

Kritische Hebevorgänge liegen vor, wenn eines oder mehrere der nachfolgenden Kriterien erfüllt sind:

- Gesamtgewicht Bauteil  $> 50$  t
- Bauteile sind größer als  $12 \times 3 \times 3$  m
- Die Höhe des Hebevorganges ist höher als 40 m
- Die gesamte berechnete Last erreicht mehr als 85 % der zulässigen Hublast des Hebegerätes
- Der Hebevorgang erfordert mehr als ein Hebegerät
- Der Hebevorgang erfordert mehr als einen Hub
- Großflächige Bauteile, die dem Wind ausgesetzt sind

In einer Hebestudie sind der geplante Hubvorgang sowie das einzusetzende Gerät im Detail zu beschreiben. Des Weiteren ist eine Gefährdungsanalyse durchzuführen. Die örtlichen Gegebenheiten sind hinsichtlich potentieller Gefahren zu untersuchen. Z. B. können sich bei „Brownfield“ Projekten Leitungen oder Behälter mit toxischen bzw. explosiven



Medien im Arbeitsbereich oder Schwenkbereich des Krans befinden. Hier sind in diesen Fällen entsprechende Maßnahmen, wie z. B. ein Prallschutz, zu spezifizieren und zu implementieren.

Eine Hebestudie muss als Mindestinformation immer folgende Angaben enthalten:

- Krantyp
- Krangöße
- Drauf- und Seitenansicht
- Mastauslage und Mastlänge
- Stellung des Krans
- Lage von möglichen Kabel und Rohrleitungen im Arbeitsbereich des Krans
- Vorhandene Gebäude, Rohrbrücken, Stahlstrukturen
- Lasthebemittel wie Seile, Gurte, Schlups usw.
- Durch den Hebevorgang hervorgerufene Bodenpressung

Abbildung 4.12 stellt eine Hebestudie der Fa. Bracht für die Ausführung dar.

Des Weiteren sind die Witterungsbedingungen, sofern bekannt, hinsichtlich der herrschenden Winde zu untersuchen.

In der Unfallverhütungsvorschrift für Krane (BGV D6) steht zwar: „Der Kranführer hat dafür zu sorgen, dass ... dem Wind ausgesetzte Krane nicht über die vom Kranhersteller festgelegten Grenzen hinaus betrieben werden ...“, was auch sinnvoll ist, allerdings sollte auch der Anlagenbauer gerade hier, seine eigene Verantwortung sehen.

► **Es gibt keinen einzigen Grund, einen Hebevorgang bei widrigen Wetterbedingungen durchzuführen.**

Bei Winden ist die Skala entsprechend Tab. 3.5 Windstärkenskala nach Beaufort oder die optionale Anzeige der Windgeschwindigkeit des Krans zu verwenden. Bei Windgeschwindigkeiten über 12,5 m/s – entspricht 45 km/h – (siehe Tab. 3.5 Windstärkenskala nach Beaufort) ist der Auslegerbetrieb nicht mehr zulässig.

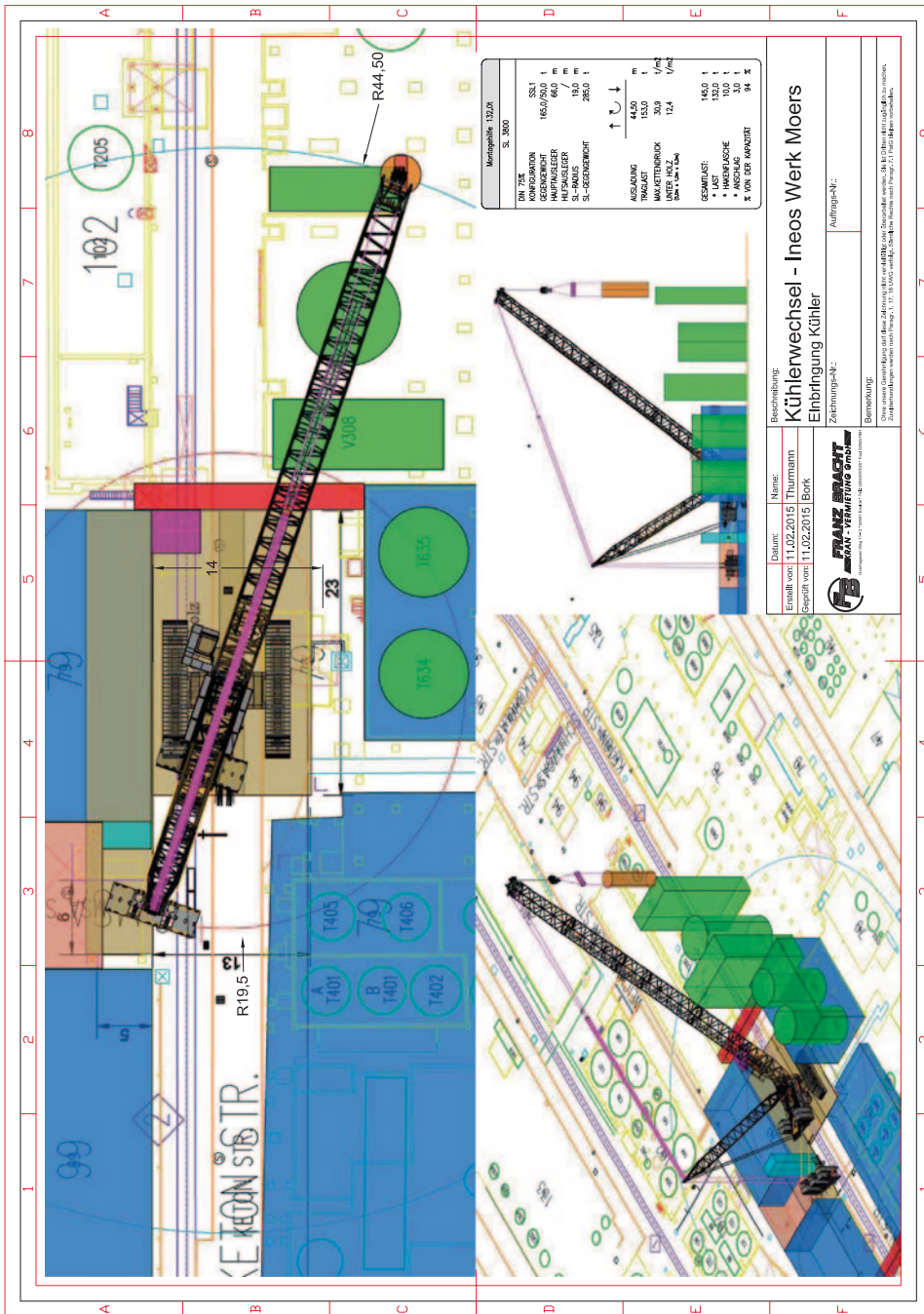
Beim Kraneinsatz im Freien sind weitere Faktoren zu beachten. So können zwischen Gebäuden Luftströme und Aufwinde entstehen, auf Flugplätzen durch Triebwerke Luftströmungen. Dabei muss der Windeinfluss auf Kran als auch auf die Lasten **und** Lastaufnahmemittel beachtet werden.

Mit Unterstützung modernster Software kann bereits während der CAD Planung die Machbarkeit der Montage mittels 3D Planung, wie Abb. 4.13 zeigt, gezeigt durchgeführt werden. Darüber hinaus lässt sich eine erste Gefährdungsbeurteilung tätigen.

Es ist empfehlenswerte, und in der Regel auch gängige Praxis, die Kranstudie durch das Kranunternehmen erstellen zu lassen. Das Kranunternehmen verfügt über das erforderliche Fachwissen und die entsprechende Erfahrung.







**Abb. 4.13** 3D Planung von Hebevorgängen. (Bild: Fa. Bracht)

Allerdings sollte die Erstellung von Hebestudien zum Handwerkszeug eines jeden Anlagenbauers gehören, sei es nur um die Machbarkeit, die Realisierungsplanung oder die Kosten bewerten zu können.

---

### 4.3 Rohrleitungsmontage

Von allen Gewerken einer verfahrenstechnische Anlage ist die Rohrleitungsmontage das Gewerk, welches die meiste Zeit in Anspruch nimmt, den höchsten Personalbedarf erfordert und dadurch führend in der Terminplanung ist.

Rohrleitungen dienen der Beförderung von Gasen, Dämpfen und Flüssigkeiten und verbinden Maschinen mit Apparaten.

Rohrleitungen werden auf Basis von

- P&ID's
- Rohrleitungslisten
- Isometrien
- Rohrpläne

und unter Berücksichtigung der anzuwendenden Standards und Regeln montiert. Die Rohrleitungsliste ist eine Auflistung sämtlicher zu montierender Rohrleitungen. In ihr sind die Start- und Endpunkte der Rohrleitung angegeben, die durchfließenden Medien und die Temperaturen und Betriebsdrücke, der Prüfumfang, Durchmesser, Wandstärken, Materialklasse usw.

Rohrleitungen bestehen aus

- Rohren
- Fittinge (Bögen, T-Stücke, Reduzierungen, Kappen)
- Armaturen, Klappen, Ventile
- Kompensatoren

Aufgrund der immer steigenden Personalkosten und engerer Termine werden Teile der Rohrleitungen zu sogenannten Spools vorgefertigt.

#### 4.3.1 Verlegen von Rohrleitungen

Die Rohrleitungsmontage setzt sich aus der Montage von vorgefertigten Rohrleitungsteilen (Spools) und den auf der Baustelle einzubauenden einzelnen Rohrleitungsteilen zusammen.

Die Rohrenden von Rohren und Spools sind bis zur Montage mit Rohrkappen verschlossen zu halten um Verunreinigungen vorzubeugen. Sicherlich eine sinnvolle Maß-

nahme, allerdings in vielen Ländern ähnlich wie der Kampf gegen Windmühlen. Jedoch sollte der Anlagenbauer hier ins Kalkül ziehen, dass stark verunreinigte Rohrleitungen eine zusätzliche Behandlung wie z. B. Spülen oder Ausblasen benötigen und somit einen negativen Einfluss auf Termine und Kosten ausüben.

Also ist während der Montage darauf zu achten, dass die Rohrleitungen sauber verlegt werden. Mögliche Rückstände von Sandstrahlkörnern/-resten sind vor der Rohrleitungsmontage durch geeignete Maßnahmen (Ausblasen, Sauber kehren, etc.) komplett zu entfernen.

Abhängig von der späteren Verwendung ist der Reinigungsgrad der Rohrleitung zu dokumentieren.

Die Rohrleitung ist spannungsarm zu verlegen, d. h. eine Anwendung von Zug oder Druck ist nicht zulässig. Die Ausnahme bilden Leitungssysteme die mit einer Vorspannung zu montieren sind. Derartige Vorspannungen werden in der Regel in Dehnungsbögen (U-Loops) eingebracht, bevor die angrenzenden Verbindungsschweißnähte hergestellt werden.

Die Festpunkte einer vorzuspannenden Leitung sind vor Durchführung der Vorspannung komplett zu installieren und zu verschweißen.

Generell sind parallel zur Rohrleitungsmontage die erforderlichen Halterungen zu montieren. Mitunter stellt man fest, dass Rohrleitungen provisorisch gehalten werden. Um auch hier Kosten und Terminverzögerungen zu minimieren, sollte neben der Rohrleitungsplanung und Beschaffung ein gleicher Aufwand für die Rohrleitungsunterstützungen betrieben werden. Die Isometrien enthalten die entsprechenden Koordinaten der Halterungspunkte sowie den entsprechenden Halterungstyp.

Anschlüsse an Apparate und Maschinen sind spannungsfrei auszuführen, und im Besonderen, auf die Parallelität der angrenzenden Flansche hin zu überprüfen, um so mögliche Spannungen zu vermeiden, die zur Beschädigung der Maschinen führen könnten. In der Regel werden die Rohrleitungen von den Maschinen zu den Apparaten gebaut, bzw. ausgehend von dem „spannungsärmsten Anschluss“. Da dies nicht immer möglich ist, z. B. aufgrund langer Lieferzeiten der Maschinen, werden die Rohrleitungen vorher verlegt. Der Anschluss erfolgt dann nach dem die Maschine installiert wurde. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass für einen spannungsarmen Anschluss mindestens zwei Richtungsänderungen der Rohrleitungsführung zur Anpassung an die Maschine benötigt werden. Bei größeren Rohrlängsdurchmessern, ab 10 Zoll aufwärts und großen Wandstärken (z. B. Schedule 160), reichen die beiden Richtungsänderungen für einen spannungsarmen Anschluss nicht aus.

Ventile sind so zu installieren, dass die Handräder keine Zugänge oder Bühnen versperren. Durchgangsventile sind so zu installieren dass der Ventilteller gegen Druck schließt. Rückschlagventile und andere in Fließrichtung orientierte Armaturen sind in Fließrichtung zu montieren.

Abhängig von der erwarteten Richtung und Größe der Leitungsbewegung, nach Erreichen der Betriebstemperatur, werden Kompensatoren vorgespannt (entweder verlängert oder verkürzt) und in Längsrichtung der Rohrleitung installiert, um die abweichende Außentemperatur zur Betriebstemperatur, während der Installation auszugleichen.

Rohre und Rohrleitungsteile werden entweder durch Flanschverbindungen oder Schweißnähten/Laminatverbindungen verbunden.

Die Schweißarbeiten sind in Übereinstimmung mit der projektspezifischen Schweißanweisung durchzuführen. Jeder Schweißer hat die von ihm durchgeführten Schweißnähte neben der jeweiligen Schweißnaht mit seiner Stempelnummer nach Fertigstellung zu kennzeichnen.

Jede Baustellennaht erhält zusätzlich eine eigene Schweißnahtnummer, die mit der jeweiligen Leitungs-/Spool-Nummerierung übereinstimmt und neben der jeweiligen Schweißnaht zusammen mit der Schweißer Nummer angebracht wird. Über alle Baustellen-Schweißnähte ist ein Schweißnahtprotokoll/buch (engl. welding history) zu führen, welches den aktuellen Status aller durchzuführenden und durchgeführten Baustellen Schweißnähte enthalten.

Während der Durchführung der Schweißarbeiten sind seitens der Baustellenverantwortlichen Stichproben mit folgenden Schwerpunkten durchzuführen:

- Schweißnahtvorbereitung und Sauberkeit
- Schweißkantenversatz
- Vorwärmung (falls gefordert)
- Schweißposition, Elektrodenart, oder andere schweißspezifische Anforderungen.
- Zustand der Wurzellage nach dem Säubern, innen und außen (wenn zugänglich), unter Zuhilfenahme von Farbeindringverfahren oder Magnetpulver Test, wenn in den Ausführungsspezifikationen gefordert.
- Entfernung der Schlacke und Zustand der Zwischenlagen.
- Überprüfen ob die Schweißvorschriften eingehalten werden.
- Überprüfen ob alle zum Einsatz kommende Schweißer und Schweißverfahren für die jeweilige Arbeiten qualifiziert sind.

### **Schweißzusatzwerkstoffe**

Besondere Aufmerksamkeit kommt während des Schweißens auch den Schweißelektroden zu. Verwechslungen bei der Verwendung der Elektroden können zu erheblichen Schäden (Kosten und Termine) führen und sind durch geeignete Maßnahmen auszuschließen. Die wirkungsvollste Maßnahme ist der Einsatz einer qualifizierten Schweißaufsicht.

Sämtliche Elektroden sind in verschlossenen Behältern anzuliefern und aufzubewahren. Nach dem Öffnen sind die Elektroden entsprechend der Vorschrift in Vorrats-Elektrodenöfen zu lagern.

Während der Schweißarbeiten sind nicht benutzte Elektroden in tragbaren Elektrodenöfen aufzubewahren, bei Arbeitsende sind die unbenutzten Elektroden in den Vorrats-Elektrodenöfen zurückzulegen.

Die Vorrats-Elektrodenöfen sind permanent an einer adäquaten Stromquelle angeschlossen zu halten, solange Schweißzusatzwerkstoffe nachgeführt werden müssen.

### **Wärmebehandlung nach dem Schweißen**

Aufgrund des Rohrleitungsmaterials, wie z. B. warmfeste Stähle, oder aufgrund der Eigenschaften der durchfließenden Medien, wie z. B. Sauer gas oder flüssiges Ammoniak, müssen Schweißnähte einer Wärmebehandlung unterzogen werden. Ziel dieser Wärmebehandlung ist das Spannungsarmglühen.

Vor der Wärmebehandlung ist sicherzustellen, dass alle erforderlichen Rohrleitungshalterungen montiert sind und ihre Funktion erfüllen. Ansonsten kann es durch die Wärmezufuhr zu Deformationen der Rohrleitung kommen. Reparatur- oder Schweißarbeiten an Rohrleitungen nach erfolgter Wärmebehandlung sollten nach Möglichkeit vermieden werden, da diese Vorgänge eine erneute Wärmebehandlung erfordern.

Die Wärmebehandlungs-Parameter sind abhängig von der Rohrwandstärke und dem Rohrleitungsmaterial. Siehe dazu auch Abschn. 4.3.4.4.

Aufheizzeiten, Haltezeiten und Abkühlzeiten werden in der entsprechenden Glühvorschrift spezifiziert. Während des Glühvorganges sind Temperatur-Messstellen zur Kontrolle und Protokollierung der

- Aufheizzeit
- Haltezeit
- Abkühlzeiten
- Temperaturdifferenzen in den Wandstärken

unmittelbar an den zu behandelnden Schweißnähten anzubringen.

Nach erfolgter Wärmebehandlung sind die Schweißnaht sowie die Wärmeeinflusszone (WEZ) mittels der Brinell Härteprüfung zu prüfen.

### **4.3.2 Flanschverbindungen**

Flanschverbindungen werden an den Bauteilen verwendet, die eine lösbare Verbindung erfordern. Dies kann aus Wartungs-, Reinigungs- und/oder technischen Gründen erfolgen. Anschlüsse an Apparaten werden vorwiegend mittels Flanschverbindung hergestellt.

Flanschverbindungen sind kosten- und arbeitsintensiver als Schweißnähte (2 Flanschnähte, 1 Flanschverbindung, 2 Flansche, Dichtung und Schrauben) und unterliegen permanent der Gefahr einer Leckage. Von daher sollte das Ziel bei der Rohrleitungsplanung sein, die Anzahl von Flanschverbindungen zu minimieren.

Die Anschlussflächen aller Flansche sind vor Beschädigung vor und während der Installation bis zur endgültigen Fertigstellung der Installation zu schützen.

Die Flansche sind eben und parallel anzubringen, sodass die Flanschdichtung gleichmäßig auf der gesamten Dichtfläche der Flansche anliegt. Die Flanschschrauben werden mit einheitlichen Anzugskräften unter Verwendung von Drehmomente-Schlüssel angezogen.

Abhängig von den unterschiedlichen Rohrleitungssystemen sind die Anzugsmomente zu protokollieren.

Besondere Sorgfalt ist bei der Installation von Stahl- zu Gussflanschen zu beachten, d. h. solche Flanschverbindungen sind eben und parallel vorzurichten (spannungsfrei) und mit eingebauter Dichtung gleichmäßig und vorsichtig anzuziehen um ein Brechen des gusseisernen Flanschsteiles zu vermeiden.

Schraubenenden an Flanschverbindungen müssen vollständig durch die Schraubenmutter reichen, maximal bis zu zwei Gewindegängen an jeder Seite.

### **4.3.3 Unterstützungen**

Der Begriff Unterstützung und Hänger schließt alle Baugruppen ein, die zur Halterung einer Rohrleitung erforderlich sind. Dazu zählen die rohrumschlie enden Teile wie Schellen, Feder- oder Konstant-Hänger bzw. –Stützen, starre Hänger, Schlitten, F hrungsbleche bis hin zum unterstützenden Stahlbau.

Es ist sicherzustellen, dass zum Zeitpunkt der Rohrleitungsmontage die Rohrhalterungen verfügbar sind. Zum einen ist es kostspielig die Rohrleitungen temporär zu unterstützen, zum anderen fehlt am Ende der Montage die Zeit für die Installation der permanenten Halterungen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Druckprobe nur bei einwandfreier Halterung der Rohrleitung durchgeführt werden kann.

Rohrhalterungen, die an Rohrleitungen aus warmfesten Material angeschweißt werden, müssen Wärme behandelt werden.

### **4.3.4 Schweißen**

Das Schweißen bezeichnet eine Tätigkeit, die verschiedene Werkstoffe, im Gegensatz zu Flanschverbindungen, unlösbar miteinander verbindet. Grundsätzlich unterscheidet man dabei Schmelzschwei en, bei dem Metall- oder Kunststoffteile, durch Anschmelzen und dem anschließenden Zusammenfließen der entstandenen Schmelzmassen miteinander verbunden werden, von dem Pressschwei en, bei dem die Verbindung durch Zusammenstauchen der erhitzten Oberflächen unter hohen Druck erfolgt.

Dabei kennt das Schweißen mittlerweile zahlreiche Verfahren, durch die unterschiedlichste Materialien für verschiedenste Anwendungen in höchster Qualität gefügt werden können.

Schweißarbeiten an Rohrleitungssystemen sind entsprechend der Schwei anweisung durchzuführen. Jeder zum Einsatz kommender Schweißer erhält eine eigene Schwei stempelnummer. Es ist internationaler Standard, dass jeder Schweißer vor seinem Einsatz eine Handfertigungsprobe zu erstellen hat.

#### **4.3.4.1 Schwei anweisung**

Das Erstellen einer Schwei anweisung (WPS) ist die Voraussetzung dafür, dass auf der Baustelle geschweißt werden darf.

|                         |                                                                                    |                                                                                                             |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Stumpfstoß:</b>      |   | Die Bleche stoßen in einer Ebene stumpf gegeneinander.                                                      |
| <b>Parallelstoß:</b>    |   | Die zu verbindenden Bleche liegen parallel und bündig aufeinander.                                          |
| <b>Überlappungsstoß</b> |   | Die zu verbindenden Bleche liegen parallel und überlappend aufeinander.                                     |
| <b>Mehrfachstoß</b>     |   | Mehrere Bleche stoßen stirnseiteig aufeinander.                                                             |
| <b>Eckstoß</b>          |   | Die Bleche stoßen an ihrem Ende im rechten Winkel aufeinander.                                              |
| <b>T-Stoß</b>           |   | Ein Blech stößt in einem Winkel ( $= 90^\circ$ ) auf ein anderes Blech.                                     |
| <b>Schrägstoß</b>       |   | Ein Blech stößt in einem Winkel ( $\neq 90^\circ$ ) auf ein anderes Blech.                                  |
| <b>Kreuzstoß</b>        |  | Zwei in einer Ebene liegende Bleche stoßen von beiden Seite in einem rechten Winkel auf ein weiteres Blech. |

**Abb. 4.14** Stoßarten beim Schweißen

Für den Anlagenbauer ist die WPS ein Dokument, das er als Nachweis für das Schweißverfahren nutzt, und das ihn dazu berechtigt, dieses Schweißverfahren innerhalb des definierten Geltungsbereiches anzuwenden, was bedeutet, dass die Schweißnähte entsprechend der WPS geschweißt werden.

Durch die Schweißnaht werden die zu verschweißenden Teile am Schweißstoß stoffschlüssig miteinander verbunden. Je nachdem, wie die zu verbindenden Teile anzuordnen sind, wird zwischen verschiedenen Stoßarten, wie Abb. 4.14 darstellt, unterschieden.

Ergänzend zu den verschiedenen Stoßarten kommen unterschiedliche Formen von Schweißkanten, in Abhängigkeit vom Werkstoff und der Blechdicke, zum Einsatz.

Abbildung 4.15 zeigt die notwendigen Nahtvorbereitungen für Schweißverbindungen mittels Stumpfstoß, in Abhängigkeit der Blechdicken bzw. Wandstärke bei Rohre.

Dabei handelt es sich um folgende Nahtvorbereitungen.

#### 1. I-Naht



**Abb. 4.15** Nahtvorbereitungen. (Bild: VDM Metals GmbH)

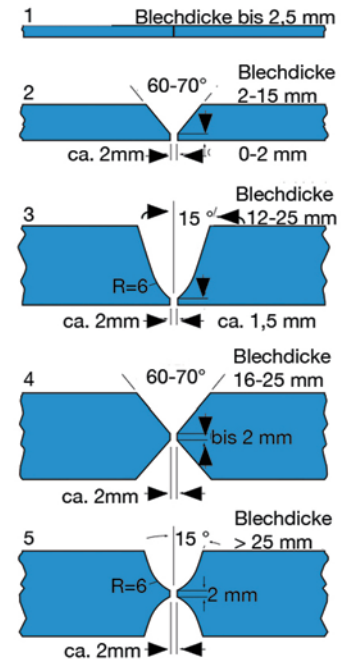


Abb. 1

- |           |            |
|-----------|------------|
| 1. I-Naht | 4. DV-Naht |
| 2. V-Naht | 5. DU-Naht |
| 3. U-Naht |            |

2. V-Naht
3. U-Naht
4. DV-Naht
5. DU-Naht

#### 4.3.4.2 Schweißverfahren

Es gibt eine Reihe unterschiedlicher Schweißverfahren, die in Abhängigkeit von dem Werkstoff, der Beanspruchung des Bauteils und den Gegebenheiten aus schweißtechnischer Sicht, etwa der Schweißumgebung, der Schweißposition oder der Schweißstromquellen, zum Einsatz kommen und die sich darin unterscheiden, ob sie von menschlicher Hand oder durch Maschinen ausgeführt werden.

Daneben unterscheidet man das Schweißen in Verbindungs- und Auftragsschweißen. Beim Verbindungsschweißen geht es darum, zwei Werkstücke miteinander zu verbinden, was mittels einer Schweißnaht, einem Schweißpunkt oder einer Schweißfläche erfolgt. Der Zweck von Auftragsschweißen ist, ein Werkstück durch das Schweißen zu beschichten, wobei man hier bei artfremden Werk- und Auftragsstoffen den Auftrag in Panzerungen, Plattierungen und Pufferschichten unterteilt.

Generell teilen sich die Schweißverfahren in:



- Feuerschweißen
- Autogenschweißen
- Lichtbogenhandschweißen
- Schutzgasschweißen
- Engspaltschweißen
- Widerstandsschweißen
- Kaltpressschweißen
- Reibschweißen
- Unterpulverschweißen
- Laserschweißen
- Elektronenstrahlschweißen

Auf der Webseite „Anleitung-zum-Schweißen.de“ werden unterschiedlichen Schweißverfahren beschrieben. Dazu sind weitere nützliche Information rund um das Schweißen aufgeführt. Die im Anlagenbau gängigsten Schweißverfahren sind nachfolgend zusammenfassend aufgeführt.

### **Autogenschweißen**

Beim Autogenschweißen, das auch als Gasschmelzschweißen bekannt ist, erzeugt eine Flamme aus Sauerstoff und Acetylen die Schweißenergie, durch die die Werkstücke erhitzt und anschließend ohne oder mit einem speziell legiertem Schweißdraht miteinander verbunden werden. Ein elektrischer Lichtbogen, der zwischen dem Werkstück und einer Elektrode brennt, liefert die Energie beim Lichtbogenhandschweißen. [15]

### **Lichtbogenhandschweißen**

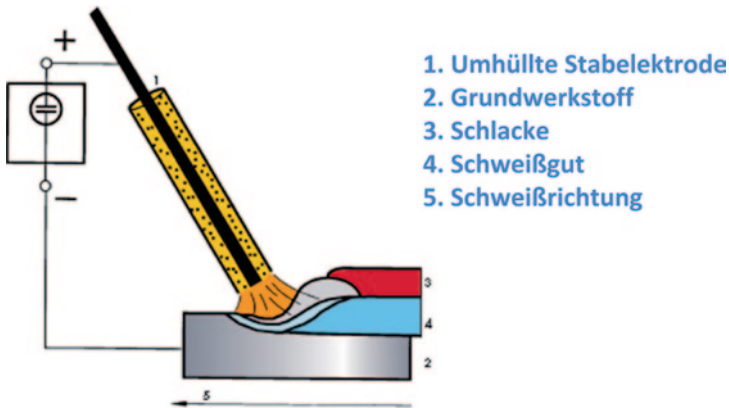
Das Lichtbogen-Handschiessen wird häufig auch als E-Handschiessen bezeichnet. Es ist der älteste und vielseitigste der Lichtbogen-Schweißprozesse.

Der elektrische Lichtbogen wird zwischen einer umhüllten Stabelektrode und dem Werkstück aufgebaut. Der metallische Kernstab schmilzt im Lichtbogen ab und geht tropfenförmig in das Schweißbad über. Ein Teil der mit gleicher Geschwindigkeit abschmelzenden Umhüllung verdampft, stabilisiert den Lichtbogen und sorgt für den nötigen Gasschutz. Der Rest der Umhüllung bildet eine Schlacke, die das Schweißbad und die abkühlende Naht vor der Atmosphäre schützt. Diese Schlacke muss nach jeder Lage entfernt werden.

Abbildung 4.16 zeigt schematisch die

### **Schutzgasschweißen**

Zu den Schweißverfahren mit Schutzgas gehören das MAG-, MIG- und WIG-Schweißen. Auch hierbei erzeugt ein Lichtbogen die benötigte Schweißwärme und brennt zwischen Werkstück und Elektrode. Beim MAG- und MIG-Schweißen ist die Elektrode zeitgleich auch Schweißzusatzstoff.



**Abb. 4.16** Lichtbogenhandschweißen. (Bild: VDM Metals GmbH)

Um den Lichtbogen zu stabilisieren und die Schweißstelle vor der Außenluft zu schützen, ist die Elektrode von einer Düse umgeben, aus der Schutzgas austritt. Dabei unterscheidet man zwischen inerten Gasen, wie Helium oder Argon und aktiven Gasen, wie Helium oder Argon gemischt mit Kohlendioxid oder Sauerstoff.

VDM Metals GmbH beschreibt das Verfahren wie folgt (Abb. 4.17):

Dieses Verfahren gewährleistet höchste Schweißgutqualität, es ermöglicht, mit geringem Wärmeeinbringen zu schweißen, insbesondere dann, wenn mit Schweißzusatz (Kaltdraht) gearbeitet wird.

Mit Hilfe des abschmelzenden Schweißstabes kann die Badtemperatur günstig beeinflusst werden.

Das Verfahren eignet sich besonders gut zum Schweißen dünner bis mittlerer Blechdicken und darüber hinaus zum Schweißen von Wurzellagen bei größeren Blechdicken. Als Schutzgase kommen inerte Gase in Frage.

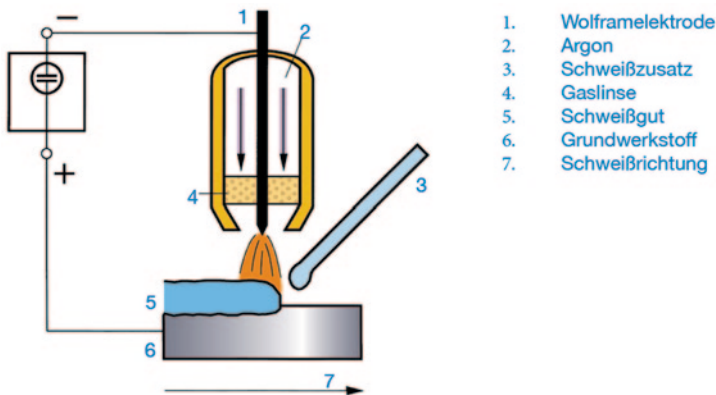
Ein Abbrand von Legierungsbestandteilen ist nicht zu erwarten. [16]

### Engspaltschweißen

Der Vorteil des Engspaltschweißens bei dickwandigen Rohren liegt im Zeit- und Kostenaufwand eine ressourcenschonende Herstellung von Schweißnähten mit hoher Qualität. Im Vergleich zu konventionellen Schweißverbindungen mit einem Öffnungswinkel von z. B.  $V=60^\circ$  hat die Engspaltschweißung aufgrund ihres Winkels von bis zu  $8^\circ$  ein deutlich geringeres Schweißnahtvolumen. Ein weiterer Vorteil liegt auch darin, dass den Werkstücken weniger Wärme zugeführt wird.

#### 4.3.4.3 Garantienähte

Garantienähte, oder auch umgangssprachlich als „Golden Weld“ bezeichnet, sind Schweißnähte, die nicht einer Druckprobe unterzogen werden.



**Abb. 4.17** Wolfram-Inertgas-Schweißen. (Bild: VDM Metals GmbH)

Ob eine Garantienaht verwendet werden darf, sollte um jeden Zweifel zu beseitigen, grundsätzlich mit den überwachenden Organen, wie z. B. TÜV abgestimmt werden.

Aufgrund folgender Gegebenheiten kann eine Garantienaht erforderlich sein:

- Eine Wasserdruckprüfung ist aus prozesstechnischen Gründen nicht machbar und eine pneumatische Druckprobe ist aus sicherheitstechnischen Gründen zu vermeiden.
- Änderungen an Rohrleitungssystemen die bereits geprüft wurden, und eine erneute Prüfungen nicht durchführbar sind.
- Einbindungsnähte in ein bestehendes System
- Schweißnähte die ein System schließen

Vor der Herstellung der Garantienaht sind die Benannten Stellen mit einzubeziehen. Mitunter ist es auch ratsam, den Schweißer auf der Baustelle, mit der niedrigsten Fehlerquote, für die Herstellung der Garantienaht einzusetzen.

Während der Herstellung der Schweißnaht sollten diverse Kontrollpunkte definiert werden. Bereits die Schweißnahtvorbereitung und der Kantenversatz sind vor der Aufnahme des Schweißens zu prüfen und zu dokumentieren. Die Wurzel sollte WIG geschweißt werden. Die fertiggestellte Schweißnaht wird mehreren zerstörungsfreien Prüfungen unterzogen, mindesten einer Durchstrahlungsprüfung und einer Oberflächenrissprüfung.

Die Garantienaht stellt eine Ausnahme dar, und die Anzahl der Garantienähte sollte möglichst gering gehalten werden.

#### 4.3.4.4 Wärmebehandlung

Durch das Schweißen werden kurzfristig extrem hohe Temperaturen (bis zu 2000 °C) erzielt. Dadurch entstehen sehr schnelle Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten.

Durch das Schrumpfen des Schweißgutes nach der Abkühlung entstehen Eigenspannungen in Bereich der Schweißnaht, der sogenannten Wärmeeinflusszone (WEZ). Des

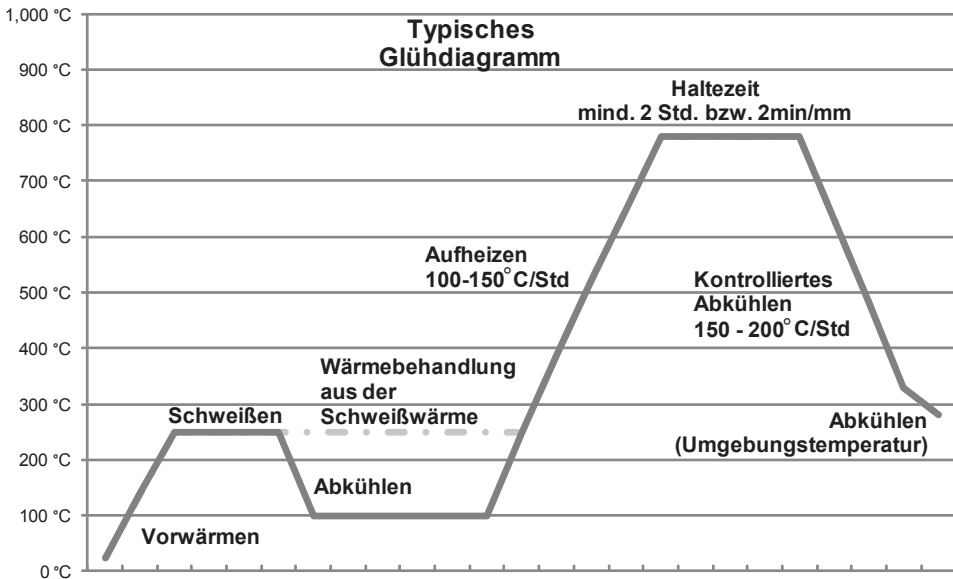
Weiteren können durch die schnelle Abkühlung Härtespitzen durch Martensitbildung hervorgerufen werden.

Die Notwendigkeit einer Wärmebehandlung von Schweißnähten ergibt sich aus den Wandstärken der zu verschweißenden Bauteile und des Materials. Die Wärmebehandlung beinhaltet das Vorwärmen und das eigentliche Glühen.

Durch das Glühen können ungleichmäßige Gefüge beseitigt werden und Spannung in der WEZ abgebaut werden. Durch den Temperaturanstieg auf bis deutlich über  $700^{\circ}\text{C}$  wird die Streckgrenze reduziert. Das Material beginnt im Bereich der Spannungen zu fließen, sodass Spannungen abgebaut werden können. Allerdings werden die Spannungen nicht vollständig abgebaut, sodass man von **Spannungsarmglühen** spricht.

Durch das Vorwärmen des Bauteils erfolgt bereits eine Ausdehnung des Materials und je nach Vorwärmtemperatur ( $300^{\circ}\text{C}$ ) auch eine Reduzierung der Streckgrenze.

Abbildung 4.18 zeigt ein typisches Glühdigramm mit den wesentlichen Arbeitsschritten. Glühdigramme unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Materialklassen. Einige Materialien müssen aus der Schweißwärme geglüht werden, andere wiederum nicht.



**Abb. 4.18** Glühdigramm

### 4.3.5 Aufwandsermittlung

Wie bereits erwähnt, bedarf die Rohrleitungsmontage eine detaillierte Planung. Planungen basieren auf Aufwandswerten. Die Aufwandswerte werden unter Berücksichtigung der erforderlichen Arbeitsgänge ermittelt.

Die Rohrleitungsmontage setzt sich aus folgenden Arbeitsgängen zusammen.

- Einrichten des Arbeitsplatzes
- Transport des Rohrleitungsmaterials vom Baustellenlager zum Einbauort
- Grobmontage einschließlich Sicherung
- Anbringen der Rohrhalterungen
- Rohrenden auf Maß schneiden
- Anbringen der Schweißkante(n)
- Feinausrichten der Rohrenden
- Heften
- Schweißen
- Schleifarbeiten an der Wurzel bzw. Zwischenlagen
- Bearbeitung der Decklage für evtl. Prüfungen
- Zerstörungsfreie Prüfungen (falls erforderlich)
- Wärmebehandlung (falls erforderlich)
- Durchführung der Druckprobe
- Wiederherstellung der Rohrleitung nach der Druckprobe

Die Aufwandsermittlung der Rohrleitungsmontage kann ausgehend von der Zielsetzung und den verfügbaren Informationen auf unterschiedlichen Wegen zum gewünschten Ziel führen.

#### **Benchmark – Analyse**

Bei der Benchmark-Analyse wird die angenommene Rohrleitungstonnage mit Erfahrungswerten ( $KPI_{\text{Rohr}}$ ) bewertet. Je mehr Information vorhanden sind, umso genauer kann der Aufwand abgeschätzt werden. Als Mindestvoraussetzung sollte die gesamte Rohrleitungsmasse bekannt sein.

#### *Formel 4.1 Aufwandermittlung Rohrleitungen*

$$\text{Aufwand Rohrleitung} = \text{Rohrleitungsmasse} * KPI \text{ Rohr}$$

Liegen Informationen über die mengenmäßige Einteilung unterschiedlicher Materialgruppen wie z. B. reine C-Stähle (CS = Carbon Steel), Edelmehle (SS = Stainless Steel) und warmfeste Stähle (LA = Low Alloy) vor, kann die Formel bezüglich der Materialzuschläge, bezogen auf einen neutralen KPI, wie folgt erweitert werden.

*Formel 4.2 Ermittlung Rohrleitungsmasse unterschiedlicher Materialgruppen*

$$\text{Rohrleitungsmasse} = m = m_{CS} + m_{SS} + m_{LA}$$

Entsprechend der allgemeinen Literatur werden die Bearbeitungszuschläge für Edelstähle mit 1,3 und warmfeste Stähle mit 1,5 auf den Basiswert C-stahl=1,0 bezogen. Somit ergibt sich Formel 4.3 für die Ermittlung des Montageaufwandes für Rohrleitungen.

*Formel 4.3 Aufwandsermittlung Rohrleitungsmontage unter Berücksichtigung der Materialgruppen*

$$\text{Aufwand Rltg.} = (m_{CS} + m_{SS} * 1,3 + m_{LA} * 1,5) * KPI_{\text{Rohr}}$$

Für eine genau Bestimmung des  $KPI_{\text{Rohr}}$  sollten die durchschnittliche Nennweite sowie die durchschnittliche Wandstärke bekannt sein.

Die durchschnittliche Nennweite  $NW\emptyset$  berechnet sich aus dem Quotienten des Summenproduktes der jeweiligen Länge pro Nennweite, dividiert durch die Gesamtlänge der Rohrleitung.

*Formel 4.4 Bestimmung durchschnittlicher Rohrleitungsdurchmesser*

$$NW\emptyset = \frac{l_1 * NW_1 + l_2 * NW_2 + l_3 * NW_3 \dots + l_n * NW_n}{\sum l}$$

*Formel 4.5 Bestimmung durchschnittliche Wandstärke*

$$Wd\emptyset = \frac{l_1 * Wd_1 + l_2 * Wd_2 + l_3 * Wd_3 \dots + l_n * Wd_n}{\sum l}$$

Einfacher halber werden bei der Bestimmung der durchschnittlichen Werte nur die laufenden Meter Rohr berücksichtigt.

**Beispiel**

Ausgangssituation: 1000 t Rohrleitungen sind auf einer Rohrbrücke zu installieren und teilen sich wie folgt auf:

Die Auswertung von Tab. 4.2 ist in Tab. 4.3 aufgeführt. Daraus ergibt sich eine Einteilung über das Gewicht in 790 t C-Stahl, 130 t Edelstahl sowie 80 t warmfester Stahl.

Die durchschnittliche Nennweite beträgt ungefähr 135 mm und die durchschnittliche Wandstärke liegt bei 5,18 mm.

Unterzugrundelegung von Erfahrungswerten, bezogen auf eine bestimmte verfahrenstechnische Anlage in einem bekannten Land, wird ein  $KPI_{\text{Rohr}}$  (Referenzwert für C-Stähle) mit 150 h/t angenommen. Mittels Formel 4.3 wird der Aufwand der Rohrleitungsmontage wie folgt ermittelt.

**Tab. 4.2** Beispiel Rohrbrückenrohrleitungen

| Material | Nennweite | Wandstärke (mm) | Gesamtgewicht (t) | Länge (m) |
|----------|-----------|-----------------|-------------------|-----------|
| CS       | DN 25     | 3,2             | 13,70             | 5.693     |
| CS       | DN 50     | 3,6             | 21,13             | 4.198     |
| CS       | DN 80     | 5,6             | 24,35             | 2.117     |
| CS       | DN 100    | 6,3             | 25,79             | 1.537     |
| CS       | DN 150    | 7,1             | 63,59             | 2.253     |
| CS       | DN 200    | 8,0             | 84,10             | 212       |
| CS       | DN 250    | 8,8             | 84,67             | 1.477     |
| CS       | DN 300    | 10,0            | 29,38             | 380       |
| CS       | DN 350    | 10,0            | 20,37             | 239       |
| CS       | DN 400    | 11,0            | 137,68            | 1.284     |
| CS       | DN 450    | 11,0            | 11,13             | 92        |
| CS       | DN 500    | 12,5            | 37,92             | 248       |
| CS       | DN 600    | 12,5            | 52,70             | 286       |
| CS       | DN 700    | 12,5            | 27,61             | 128       |
| CS       | DN 800    | 14,2            | 66,16             | 237       |
| CS       | DN 900    | 14,2            | 32,03             | 102       |
| CS       | DN 1000   | 14,2            | 57,69             | 164       |
| SS       | DN 25     | 2,3             | 5,83              | 3.274     |
| SS       | DN 50     | 2,3             | 5,85              | 1.779     |
| SS       | DN 80     | 2,6             | 6,38              | 1.153     |
| SS       | DN 100    | 2,9             | 12,53             | 1.573     |
| SS       | DN 150    | 3,2             | 5,49              | 421       |
| SS       | DN 200    | 3,6             | 13,60             | 711       |
| SS       | DN 250    | 4,0             | 12,96             | 488       |
| SS       | DN 300    | 4,5             | 6,39              | 180       |
| SS       | DN 400    | 5,0             | 15,64             | 316       |
| SS       | DN 450    | 5,6             | 1,08              | 17        |
| SS       | DN 500    | 6,3             | 9,08              | 117       |
| SS       | DN 600    | 6,3             | 3,44              | 37        |
| SS       | DN 700    | 7,1             | 3,97              | 32        |
| SS       | DN 900    | 7,1             | 15,52             | 98        |
| SS       | DN 1000   | 8,0             | 2,00              | 10        |
| SS       | DN 1100   | 8,0             | 10,24             | 47        |
| LA       | DN 25     | 4,5             | 1,84              | 568       |
| LA       | DN 50     | 6,3             | 1,56              | 186       |
| LA       | DN 100    | 8,0             | 3,84              | 183       |
| LA       | DN 150    | 11,0            | 13,43             | 315       |
| LA       | DN 200    | 12,5            | 14,73             | 231       |
| LA       | DN 250    | 16,0            | 12,22             | 121       |

**Tab. 4.2** (Fortsetzung)

| Material | Nennweite | Wandstärke (mm) | Gesamtgewicht (t) | Länge (m) |
|----------|-----------|-----------------|-------------------|-----------|
| LA       | DN 300    | 17,5            | 7,76              | 59        |
| LA       | DN 350    | 20,0            | 7,71              | 47        |
| LA       | DN 400    | 22,2            | 5,69              | 27        |
| LA       | DN 500    | 25,0            | 11,22             | 38        |

**Tab. 4.3** Beispiel Rohrbrückenleitungen Übersicht

| Materialklasse        | Gewicht (t) | Länge (m)     | Ø NW          | Ø Wd        |
|-----------------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
| C-Stahl (CS)          | 790         | 20.648        | 145,70        | 5,92        |
| Edelstahl (SS)        | 130         | 10.253        | 115,90        | 2,91        |
| Warmfester Stahl (LA) | 80          | 1774          | 129,11        | 9,57        |
| <i>Gesamt</i>         | <i>1000</i> | <i>32.675</i> | <i>135,45</i> | <i>5,18</i> |

$$\text{Aufwand Rltg.} = (790t * 1,0 + 130t * 1,3 + 80t * 1,5) \times 150h/t$$

Der Gesamtaufwand für die Rohrleitungsmontage beträgt demnach 161.850 h, und somit ca. 650 Mann Monate, bei 250h/Monat. Unter Zugrundelegung einer maximal einzusetzenden Personalstärke lässt sich somit auch die Dauer der Rohrleitungsmontage bestimmen.

Nicht immer führt der Ansatz über ein Benchmarking zum gewünschten Erfolg. Je nach projektspezifischen Anforderungen, Detailuntersuchungen wie z. B. kritische Pfade oder Stillstand-Arbeiten, ist eine genauere Aufwandsermittlung erforderlich um gezielt die Abläufe zu planen, zu überwachen und zu steuern.

In diesem Fall ist u. a. der Ansatz über das Schweißen als Treiber der Rohrleitungsmontage sinnvoll.

Der Ausgangswert für den Schweißaufwand wird über die Abschmelzleistung (L) der Elektrode bestimmt. Die Basis für den Schweißaufwand ist die sogenannte Einschaltdauer (ED), dessen Teil „reines Schweißen“ von der Abschmelzgeschwindigkeit mit bestimmt wird. Die Abschmelzleistung ist eine Funktion des Stabelektrodendurchmessers und des Schweißstrom.

#### Formel 4.6 Abschmelzgeschwindigkeit

$$\text{Abschmelzgeschwindigkeit} = \text{Abschmelzleistung} * \text{Stromstärke}$$

Die Stabelektrode wiederum ist entsprechend dem gewählten Schweißverfahren zu bestimmen. Die Abschmelzleistung [kg/(h\*A)] handelsüblicher Elektroden (Umhüllung rutil bzw. basisch) liegt bei 0,01 kg/(h\*A).



**Tab. 4.4** Verhältnis Elektrodendurchmesser zu Stromstärke

| Abmessung Elektrode [mm] | Stromstärke [Ampere] |
|--------------------------|----------------------|
| 2,0 × 250                | 30–75                |
| 2,5 × 250                | 40–90                |
| 2,5 × 350                | 40–90                |
| 3,2 × 350                | 90–130               |
| 4,0 × 350                | 140–190              |
| 4,0 × 450                | 140–190              |
| 5,0 × 450                | 190–250              |

Die beim Schweißen einzustellende Stromstärke ist von der verwendeten Elektrode abhängig und wird auf den jeweils spezifischen Datenblättern der Hersteller angegeben. Tabelle 4.4 zeigt beispielhaft wie die Stromstärke bei dem Einsatz unterschiedlicher Durchmesser der Stabelektrode variiert.

Als genereller Ansatz wird die Stromstärke (I) von 110 A bei einem durchschnittlichen Elektrodendurchmesser von 3,2 mm gewählt.

Die reine theoretische Schweißzeit ( $t_{\text{Schw. th}}$ ) lässt sich demnach wie folgt ermitteln:

*Formel 4.7 theoretische Schweißzeit*

$$\text{Schweißzeit} = \frac{\text{Schweißnahtgewicht}}{\text{Abschmelzgeschwindigkeit}}$$

Die Abschmelzgeschwindigkeit setzt sich aus der Abschmelzleistung und der Stromstärke zusammen. Da die Stromstärke variieren kann, ändert sich analog dazu die Abschmelzleistung und somit auch die Schweißzeit. Unter Berücksichtigung von Formel 4.6 ergibt sich die Schweißzeit somit wie folgt:

*Formel 4.8 Schweißzeit mit variabler Stromstärke*

$$\text{Schweißzeit} = \frac{\text{Schweißnahtgewicht}}{\text{Abschmelzleistung} * \text{Stromstärke}}$$

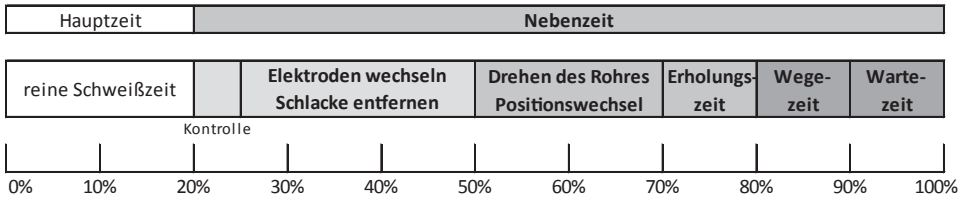
$$t_{\text{Schw. th}} = \frac{m_{\text{Schw.}}}{L * I}$$

Der Anteil der reinen Schweißzeit wird als Einschaltdauer (ED) bezeichnet. Dieser Prozentwert sagt als absolute Größe nichts über die Wirtschaftlichkeit einer Arbeitsweise aus, sondern berücksichtigt bei einem Schweißverfahren und Erfüllungsort, die zugehörigen Nebenzeiten. Die tatsächliche Schweißzeit wird von weiteren Faktoren beeinflusst.

Die Herstellung einer Schweißnaht wird demnach mittels Formel 4.9 wie folgt bestimmt (Abb. 4.19):

## E-Handscheidungen unter Baustellenbedingungen

ED = 20%

**Abb. 4.19** Einschaltzeit unter Baustellenbedingungen*Formel 4.9 Schweißzeit unter Berücksichtigung der Einschaltzeit*

$$t = \frac{m \text{ Schw.}}{L * I * ED}$$

Die Hauptzeiten und Nebenzeiten sind abhängig von den Rahmenbedingungen, während die Rüstzeit ( $t_{\text{Rüst}}$ ) einfacher halber mit einem festen Wert von ca. 0,5 h pro Naht bestimmt wird. Unter Berücksichtigung der Einschaltzeit und einer festen Rüstzeit ergibt sich folgende Schweißdauer entsprechend Formel 4.10:

*Formel 4.10 Berechnung von Schweißnahtdauern*

$$t = \frac{m \text{ Schw.}}{L * I * ED} + t_{\text{Rüst}}$$

$$\text{Schweißdauer} = \frac{\text{Schweißnahtgewicht}}{\text{Abschmelz.} * \text{Stromstärke} * \text{Einschaltzeit}} + \text{Rüstzeit}$$

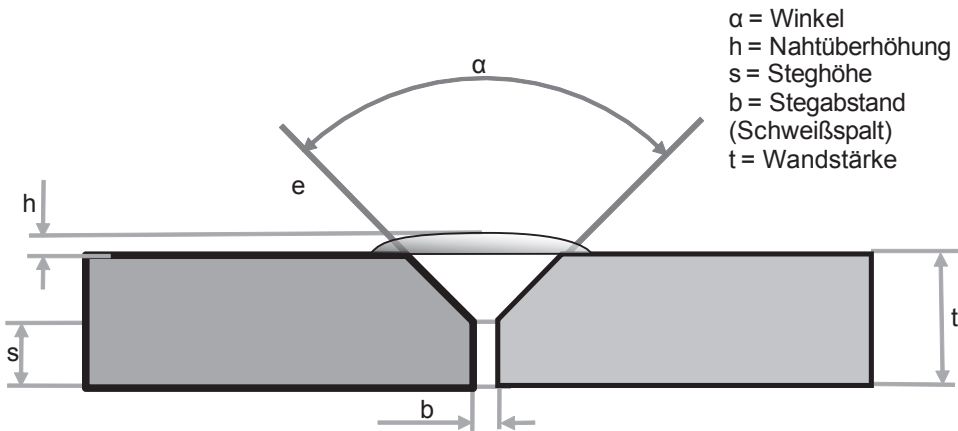
Des Weiteren ist das erforderliche Schweißnahtgewicht rechnerisch oder anhand von Tabellen, wie Tab. 4.5 zeigt, zu ermitteln. Für eine detaillierte Kalkulation von Schweißzusatzwerkstoffen sind entsprechende Online-Kalkulatoren wie z. B. auf [www.voestalpine.com/welding](http://www.voestalpine.com/welding) nützlich.

Abbildung 4.20 zeigt die Geometrie einer V-Naht. Zur Ermittlung des Schweißvolumens kann die Nahtüberhöhung ansatzweise vernachlässigt werden.

**Beispiel**

Zwei Rohrenden mit der Nennweite DN 150 (äußerer Durchmesser = 168,3 mm) sind mittels einer V-Naht 60° zu verschweißen. Die Wandstärke beträgt 6 mm, die Nahterhöhung beträgt  $h = 1,5$ . Die Länge der Schweißnaht ergibt sich aus dem Umfang des Rohres (neutrale Faser).





**Abb. 4.20** Geometrie einer Schweißnaht

$$U_{\text{Rohr}} = D \times \pi$$

$$U_{\text{Rohr}} = (168,3 - 6) \times \pi = 510 \text{ mm}$$

Laut Tab. 4.5 beträgt das Gewicht von einem Meter Schweißnaht 0,231 kg. Demzufolge hat die in diesem Beispiel betrachtete Schweißnaht ein Gewicht von  $m_{\text{schw.}} = 0,118 \text{ kg}$ .

Entsprechend Formel 4.10 wird die Stromstärke mit 110A bestimmt. Wie bereits erwähnt beträgt die Abschmelzleistung  $L = 0,01 \text{ kg/(h} \cdot \text{A)}$

Ausgehend von Formel 4.10 Berechnung von Schweißnahtdauern

$$t = \frac{m_{\text{Schw.}}}{L \cdot I \cdot ED} + t_{\text{Rüst}}$$

unter Berücksichtigung vorgenannter Werte

$$t = \frac{0,118 \text{ [kg]}}{0,01 \text{ [kg/h} \cdot \text{A}] \cdot 110 \text{ [A]} \cdot 0,20} + 0,5 \text{ h}$$

ergibt sich eine Dauer für die Herstellung einer Schweißnaht  $(168,3 \times 6)$  von  $t = 1,04 \text{ h}$ .

### 4.3.6 Kontrolle und Prüfungen

Neben den in Kap. 4.3.6 und 4.5 behandelten zerstörungsfreien Prüfungen und Druck- sowie Dichtheitsprüfungen, sind während der Montage der Rohrleitungen baubegleitend Sichtkontrollen und Überprüfungen durchzuführen, wie z. B. die Übereinstimmung mit

der Isometrie. Eine Rohrleitung gilt als fertig errichtet und geprüft, wenn nachfolgend aufgeführte Arbeiten entsprechend den Spezifikationen ausgeführt wurden.

- System gespült
- System entleert und getrocknet
- Steckscheiben entfernt
- Druckabsicherungseinrichtungen montiert
- Federhänger entschert
- Regelarmaturen montiert
- Mängelliste geschlossen
- Korrosionsschutz vollständig
- Dichtheitsprüfung durchgeführt
- Dämmung vollständig
- Begleitheizung vollständig
- Kennzeichnungen angebracht

---

#### 4.4 Zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP)

Laut DGZfP, der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfungen, wird der Stellungswert der ZfP's wie folgt gesehen, und deren Wichtigkeit, nur zugestimmt werden kann.

Die Zerstörungsfreie Prüfung ist ganz wesentlich mitverantwortlich für Unfälle und Katastrophen, die **nicht** passieren. Vermutlich ist das die Ursache dafür, dass sie trotz der enormen Bedeutung, die sie für das tägliche Leben jedes Einzelnen hat, so wenig im Bewusstsein der Menschen präsent ist.

Der Wunsch, Werkstoffe und Werkstücke zerstörungsfrei – das heißt in einer Weise, die die spätere Verwendung nicht beeinträchtigt – zu prüfen ist so alt wie das Vermögen der Menschen, diese zu bearbeiten.

Das kritische Beäugen eines von Hand oder mit einem Werkstück geformten Gegenstandes, das Abklopfen einer Keramik mit den Fingerknöcheln oder das Abtasten einer bearbeiteten Oberfläche mit der Fingerspitze sind zerstörungsfreie Prüfmethoden, die dem Menschen seit Urzeiten bekannt sind.

In fast allen Industriezweigen ist die ZfP zum unverzichtbaren Instrument für Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung geworden. [17]

Durch die ZfP's wird z. B. sichergestellt, dass die Schweißnähte an Bauteilen und Rohrleitungen der geforderten Qualität entsprechen. Undichte Schweißnähte können entsprechend der durch die Behälter und Rohrleitungen fließenden Medien einen enormen Schaden für Mensch und Umwelt hervorrufen. Die Anzahl oder auch Quote der durchzuführenden Prüfungen wird in den lokalen und internationalen Regelwerken definiert.

Deutsche Regelwerke wären z. B.:

- AD 2000
- Europäische Regelwerke
- Druckgeräte Richtlinie (PED)

Internationale Regelwerke wären:

- API
- ASME

Ergänzend zu den vorgenannten Regelwerken verfügen einige Betreiber von Anlagen über Werksnormen, die zum Teil höhere Ansprüche an die Qualitätsüberwachung stellen als die gesetzlichen Normen. Ein Grund hierfür ist z. B. die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Defekte Schweißnähte bedürfen einer Reparatur. Reparaturen wiederum bedeuten einen Stillstand der Anlage und somit Einbußen in der Produktion.

Die meisten Fehler in den Schweißnähten sind:

- Risse
- Poren
- Bindefehler

wobei die Fehlerlage sich im Außen- und/oder Innenbereich befinden kann.

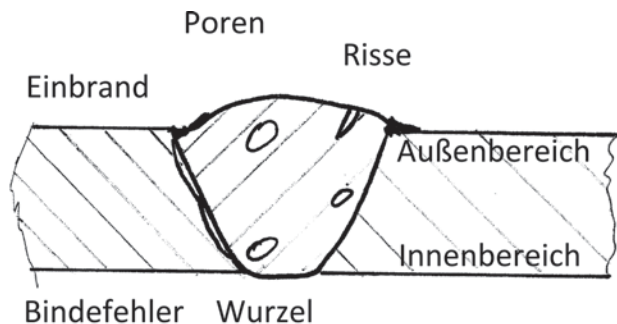
In der Außenlage spricht man von Fehlern im Schweißraupenbereich, im Innenbereich von eingeschlossenen Fehlern bzw. von Fehlern im Wurzelbereich (Abb. 4.21).

#### 4.4.1 Durchstrahlungsprüfung

Die Durchstrahlungsprüfung wird durch den TÜV Saarland wie folgt beschrieben:

Die Durchstrahlungsprüfung ist ein Verfahren für die Prüfung von Bauteilen auf innere Ungängen. Sie eignet sich primär um die Detektierung von volumenhaften Fehlern. Die Prüflinge werden mit einer energiereichen elektromagnetischen Strahlung wie Röntgen und Gammastrahlung durchstrahlt, welche die Materie durchdringen kann. Inhomogenitäten,

**Abb. 4.21** Schweißnahtfehler



Fehlstellen, Risse oder abweichende Materialstärken führen zu unterschiedlicher Schwächung der durchdringenden Strahlung, die mittels eines hinter dem Prüfling liegenden Film als Grauwert- unterschied eines zweidimensionalen Bildes erfasst wird. Die von uns eingesetzten Strahlungsquellen (Röntgenröhren bis 300 keV, Selen-75 und Iridium-192) sind in der Lage bis zu 80 mm Stahl zu durchdringen. Die Prüfung kann entweder mobil vor Ort oder in unseren Strahlenschutzräumen stattfinden. [18]

Die Durchführung der Durchstrahlungsprüfung, sowie deren Überwachung und Beurteilung, erfordert eine bestimmte Qualifikation des auszuführenden Personals. Diese Qualifikation wird z. B. in der DIN EN 473 geregelt. Die Durchstrahlungsprüfung erfolgt z. B. nach den Vorgaben der DIN EN 1435, die Beurteilung nach DIN EN 12517.

#### **4.4.2 Ultraschallprüfung**

Dieses Verfahren eignet sich besonders um schallleitfähige Bauteile auf Ungängen über den ganzen Querschnitt hin zu überprüfen. Schallreflexionen von Fehlern werden durch geeignete Geräte entsprechend sichtbar gemacht und dokumentiert. Eingesetzt wird diese akustische Prüfung häufig zur Wanddickenmessung, zur Prüfung an Gussteilen und Schweißnähten oder zur Qualitätssicherung bei der Rohrherstellung. [18]

Das Prinzip der Ultraschallprüfung beruht auf der Tatsache, dass insbesondere feste Stoffe Schallwellen gut weiterleiten. Die am häufigsten verwendete Messmethode ist das Impuls-Echo-Verfahren. Dabei strahlt ein Sender einen kurzen Schallimpuls in das Material und ein Empfänger registriert das reflektierte Echo dieses Impulses. Dabei wird die Schallwelle nicht nur an den Begrenzungsflächen eines Werkstückes reflektiert, sondern auch an inneren Fehlstellen. Die Entfernung zu dem Reflektor ergibt sich aus der Laufzeit des Impulses.

#### **4.4.3 Farbeindringprüfung**

Zur Oberfläche hin offene Fehler können mit Hilfe der Farbeindringprüfung bzw. fluoreszierende Eindringprüfung an metallischen und nicht metallischen Werkstücken nachweisen. Hierbei wird die nicht poröse gereinigte Oberfläche mit einem farbigen und ggbf. fluoreszierenden Eindringmittel benetzt, welches durch Kapillareffekt in feinste Risse und Fehlstellen eindringt und so sichtbar wird. [18]

#### **4.4.4 Magnetpulverprüfung**

Karl Deutsch wiederum sieht die Magnetpulverprüfung folgendermaßen:

Die Magnetpulver-Rissprüfung von magnetisierbaren Metallteilen, zumeist aus Stahl, seltener aus Nickel oder Kobalt, ist ein in Fachkreisen als sehr zuverlässiges Verfahren anerkannt. Für die Prüfung muss das Werkstück magnetisiert werden. Bei großen Werkstücken, bei

denen eine komplette Magnetisierung nicht möglich ist, wird nur der zu prüfende Teilbereich magnetisiert. (19)

#### 4.4.5 Sichtprüfung

Die Sichtprüfung oder auch die visuelle Prüfung ist eigentlich das erste zerstörungsfreie Prüfverfahren der Menschheit. Schon immer wurden Bauteile visuell auf Fehler hin untersucht. Für die Überwachung ganzer System ist die visuelle Kontrolle ein wichtiger Bestandteil der zerstörungsfreien Materialprüfung. Der Prüfende muss über ausreichende Kenntnis und Erfahrung verfügen. Dabei kann das geschulte und erfahrene Auge des zertifizierten Prüfers bereits anhand sichtbarer Auffälligkeiten an Bauteilen Herstellungs- und Verarbeitungsfehler erkennen. [18]

Die Sichtprüfung erfolgt vor, während und nach dem Schweißen und konzentriert sich in erster Linie auf die Wärmeeinflusszonen und das Schweißgut.

Durch die Anwendung zusätzlicher Hilfsmittel – wie Endoskope – können besonders kritische Bereiche nach der visuellen Inspektion untersucht und damit detaillierte, reproduzierbare Ergebnisse dokumentiert werden. [18]

#### 4.4.6 Wirbelstromprüfung

Bei elektrisch leitfähigem Material kann, insbesondere wenn es auf hohe Prüfgeschwindigkeit ankommt, das Wirbelstromprüfverfahren zur Auffindung von Inhomogenitäten angewendet werden. Gerade bei großen Bauteilserien macht dieses Verfahren Sinn, da schließlich immer ein Testfehler zu Grunde gelegt werden und damit ständig verglichen werden muss. [18]

#### 4.4.7 Dichtheitsprüfung

Die Dichtheitsprüfung stellt, wie der Name schon sagt, die Dichtigkeit des Systems fest. Dabei wird das System mittels gasförmigen Medien unter Druck gesetzt. Lösbare Verbindungen werden bei der Überprüfung „eingeseift“. Etwaige Leckagen verursachen eine Blasenbildung, sodass Undichtigkeiten erkannt werden können. Üblicherweise wird die Dichtheitsprüfung im Anschluss an eine Druckprobe, nach der Wiederherstellung (z. B. Einbau von Steuerungsventilen), durchgeführt.

#### 4.4.8 Härteprüfung

Die Härteprüfung ist ein wichtiger Bestandteil der Werkstoff- und Bauteilprüfung. Nur mit diesem Verfahren lassen sich an stationären oder großen Bauteilen die Härtekennwerte



ermitteln. Klassische Einsatzgebiete sind die Ermittlung von Härteprofilen an Schweißnähten sowie der angrenzenden Wärmeeinflusszone.

#### **4.4.9 Druckprüfung**

Auf die Druckprüfung wird im Kap. 4.5 detaillierter eingegangen.

#### **4.4.10 Verwechslungsprüfung**

Die Verwechslungsprüfung oder Spectralanalyse dient primär dazu, an Bauteilen die groben Bestandteile des Werkstoffes zu analysieren um eine Verwechslung von Bauteilen aus ähnlichen Materialien auszuschließen.

---

### **4.5 Druckproben**

Die Druckprobe gehört ebenfalls zu den zerstörungsfreien Prüfungen. Hierbei wird ein Betriebszustand (Druck) der Rohrleitung oder des Behältnis simuliert, wobei der Prüfdruck stets höher als der maximal zulässige Betriebsdruck gewählt werden soll.

Eine Ausnahme bildet die Stressdruckprüfung die hauptsächlich an unterirdisch verlegten Rohrleitungen angewendet wird und in Kap. 4.5.4 näher beschrieben wird.

Bei der Druckprobe oberirdischer Rohrleitungen bestehen aufgrund des Prüfdruckes gewisse Risiken, die bei der Ausführung zu berücksichtigen bzw. auszuschließen sind.

Wasserdruckproben werden im Anlagenbau primär an Behältern, Tanke und Rohrleitungen durchgeführt.

Die Art und der Umfang der Druckprüfungen, das entsprechende Prüfmedium, sowie der erforderliche Druck, wird durch einschlägige Normen und projektspezifischen Spezifikationen festgelegt.

An atmosphärischen Leitungen, wie Ausblase-, Entlüftungs- und Entwässerungsleitungen ist eine Druckprobe nicht erforderlich. Diese Leitungen werden nur visuell überprüft, um sicherzustellen, dass sie vollständig hergestellt und montiert sind.

Rohrleitungen mit gleichen Druckstufen und Prüfmedien können zu Presskreisen zusammen geführt werden. Dies sollte bei der Planung der Druckprobe berücksichtigt werden umgegeben falls Kosten und Zeit einzusparen.

Entsprechend der gültigen Vorschriften und Standards ist der Umfang aller Druckproben zu erfassen und zu planen. Dazu wird ein Prüf- und Spülprogramm erstellt. Inhalt des Programms sind die Anzahl der Prüfungen, der entsprechenden Prüfkreise und die geplante Dauer der Durchführung, sowie die erforderlichen Ressourcen. Des Weiteren ist aufzuführen inwieweit Dritte (z. B. TÜV bei abnahmepflichtigen Rohrleitungen, Kunde usw.) in den Prüfprozess mit einzubinden sind.

### 4.5.1 Vorbereitung der Druckprobe

Basis der Druckprobe ist ein vorläufig erstellter Prüfablaufplan, indem der Testkreis, die Druckstufe und das Medium spezifiziert sind. Bauteile die nicht der Druckprüfung zu unterziehen sind (z. B. Ventile und Instrumente mit regeltechnischem Charakter) werden durch temporäre Zwischenstücke (Dummies) ersetzt. Jede Rohrleitung die auf der Baustelle druckgeprüft wird, ist vor der Druckprobe zu begehen und auf Mängel bzw. Restarbeiten hin zu begutachten.

Die Rohrleitung sollte vollständig gehaltert sein, wobei eventuelle Federhänger oder Federstützen zu blockieren sind. Die zu prüfenden Rohrleitungen müssen frei von groben Verunreinigungen sein. Die entdeckten Mängel und Restarbeiten sind zu dokumentieren und zu kategorisieren (Kategorie A bzw. B). Kategorie A bedeutet, dass die Druckprobe erst nach Beseitigung des Mangels durchgeführt werden kann. Kategorie B kann zu einem späteren Zeitpunkt behoben werden. Nach Beseitigung der Mängel bzw. Durchführung der Restarbeiten ist eine weitere Begehung zur Überprüfung erforderlich.

Ergänzend hierzu ist die Dokumentation der Rohrleitung auf Vollständigkeit und Richtigkeit hin zu überprüfen. Im Einzelnen sind das:

- Prüffart und Prüfdrücke
- Örtlichkeit/Lage der Druckprobenverschlüsse an Pumpen, Kompressoren, Steuerventilen, und Sicherheitsventilen
- Größe und Dicke der Druckprobenverschlüsse, sowie die Art der Dichtungen und des erforderlichen Anzugsmomentes bezüglich des Druckprobendruckes
- Position der Entlüftungs- und Entwässerungsstutzen und Anschluss der Füllleitung
- Exakte Angaben von Schutzmaßnahmen für die im Testkreislauf befindlichen Regelventile und Instrumente
- Auflistung der ZfP's
- durchgeführte Wärmebehandlungen
- Zuordnung der Rohrleitungsmaterialien zu den gültigen Materialzertifikaten

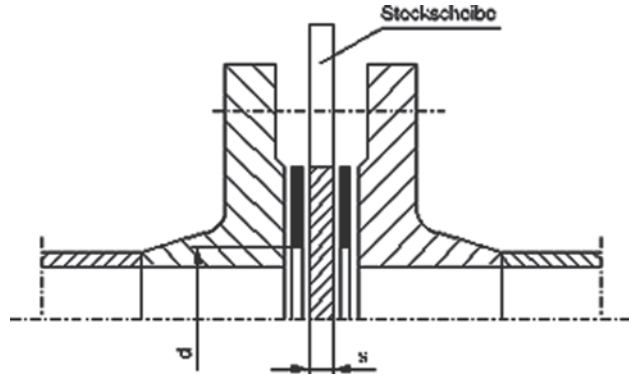
Das Spülen und Trocknen der Rohrleitung ist in das Prüfprogramm zu integrieren und wird unmittelbar nach der Druckprobe durchgeführt.

Kompensatoren sind auszubauen bzw. entsprechend Herstellerangaben zu sichern.

Prozessausrüstungen sind vom Druckprobensystem bzw. Presskreis mittels Steckscheiben zu isolieren. Abbildung 4.22 stellt eine Flanschverbindung mit Steckscheibe schematisch dar.

Die Steckscheiben müssen entsprechend der Belastung durch die Druckprobe ausgelegt und mit einer Kennzeichnung des zulässigen Drucks versehen sein. Die Anordnung der Steckscheiben ist auf dem Prüfplan zu markieren. Die Steckscheiben sind mit einer farbigen sichtbaren Fahne zu versehen.

**Abb. 4.22** Flanschverbindung mit Steckscheibe



Nach der Druckprüfung sind die Steckscheiben zu entfernen und die Flanschverbindung ordnungsgemäß wiederherzustellen. Die Rohrleitungen sind anschließend einer Dichtheitsprüfung zu unterziehen und die Flanschverbindungen abzuseifen.

Druckprüfungen bei weniger als 5 °C Lufttemperatur sind nur unter Beachtung einer ausreichenden Kerbschlagzähigkeit der Stähle zulässig.

Alle Verbindungen in einem System dürfen erst nach der Druckprüfung beschichtet oder gedämmt werden.

Bei unterirdischen Rohrleitungen mit Muffenverbindungen ist jedes Rohr vor dem Prüfen so mit Füllmaterial einzudecken, dass die Verbindungen frei bleiben und der Prüfdruck keine Lageveränderung der Rohre bewirken kann. Rohrenden, Bögen, Abzweigungen und Armaturen sind unter Berücksichtigung des Prüfdruckes zusätzlich zu sichern.

#### 4.5.2 Kontrollen vor der Druckprobe

Üblicherweise erfolgt die Freigabe der Rohrleitung zur Druckprobe als formeller Akt. Dabei werden die montierte Rohrleitung und die dazugehörige Dokumentation geprüft. Die Überprüfung der Rohrleitung erfolgt mittels Begehung. Dabei wird der Fertigstellungsgrad und die Konformität zur Isometrie überprüft. Im Einzelnen werden folgende Punkte in Detail kontrolliert:

- Entlüftungen an den Hochpunkten
- Entleerungen an den Tiefpunkten
- Alle Schrauben/Muttern montiert
- Sind Dichtungen montiert
- Halterungen montiert
- Schweißnähte abgenommen und geprüft

Abweichungen und Mängel werden protokolliert und kategorisiert.

### 4.5.3 Prüfen mit Flüssigkeit

Wasserdruckproben werden mit frischem, sauberem Wasser durchgeführt.

Rohrleitungen durch die Flüssigkeiten fließen, die korrodierend in Wasserlösungen wirken, wie zum Beispiel Säure oder Schwefeldioxid, sind einer pneumatischen Prüfung oder einer Druckprobe mit einem leichtem Öl zu unterziehen.

Grundsätzlich sollte jedoch eine Druckprobe mit Luft oder Öl, wenn möglich, vermieden werden.

Wenn eine brennbare Flüssigkeit verwendet werden soll, darf der Flammpunkt nicht unter 48 °C liegen.

#### 4.5.3.1 Wasserdruckprobe

Zur Vermeidung von Lochfräs, Spannungskorrosion sowie Mikrobenkorrosion ist nur Wasser zu verwenden, die frei von Schmutz, Eisenoxiden und organischen Substanzen sind. In der Regel sollte der pH-Wert zwischen 6–8 liegen. Je nach Verwendung liegt der Chlorid-Ionengehalt unter 1000 ppm. bzw. bis maximal 1,0 ppm. Falls erforderlich kann dem Wasser ein Korrosionsinhibitor (z. B. 2 Vol.-% Natriumkarbonat) hinzugegeben werden.

Die Qualität des Wassers muss vor der Verwendung durch eine Analyse nach dem Chloridgehalt nachgewiesen werden. Wird das gleiche Wasser mehrmals verwendet, so sind Zwischenanalysen durchzuführen.

Die Wasserqualität ist für jede Rohrleitung zu spezifizieren. Gummierte Rohrleitungen und Kunststoffrohrleitungen haben niedrigere Ansprüche an die Wasserqualität als z. B. die Rohre eines Wärmetauschers. Hier sollte auf jedem Fall ein Korrosionsinhibitor dem Wasser zugeführt werden.

Bei Temperaturen über 30 °C sind Entkeimungsmittel einzusetzen. Zusätzlich ist durch eine spezielle Analyse die Keimzahl im Wasser festzustellen.

Werden dem Wasser Mittel (z. B. Glykol) zugemischt, die den Gefrierpunkt herabsetzen, so ist vor dem Prüfen sicherzustellen, dass diese Zusätze **nicht** zu Korrosion führen können.

Bei niedrigen Rohrwandtemperaturen der Rohrleitungen ist die Möglichkeit eines möglichen Sprödbruches zu erwägen.

Der höchstzulässige Betriebsdruck und der Prüfdruck werden in der Rohrleistungsliste vorgegeben.

Berechnung des Prüfdrucks erfolgt nach EN 13480-5 (97/23/EG) und dem jeweiligen höheren der folgenden Werte:

- dem 1,25fachen Wert der Höchstbelastung des Druckgeräts im Betrieb unter Berücksichtigung des höchstzulässigen Betriebsdrucks und der höchstzulässigen Temperatur oder
- dem 1,43fachen Wert des höchstzulässigen Betriebsdrucks.

In Anlehnung an EN 13480-5 beträgt der Prüfdruck also mindestens dem höheren der Beiden wie folgt ermittelten Werte:

*Formel 4.11 Prüfdruck nach EN 13480-5*

$$p_{\text{test}} = \frac{1,25 \text{ PS } f_{\text{test}}}{f} \text{ oder } p_{\text{test}} = 1,43 \text{ PS}$$

Dabei ist

|                   |                                                                                          |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f_{\text{test}}$ | zul. Spannung für Auslegungsbedingungen bei Prüftemperaturen, in N/mm <sup>2</sup> ;     |
| $f$               | zul. Spannung für Auslegungsbedingungen bei Auslegungstemperatur, in N/mm <sup>2</sup> ; |
| PS                | Auslegungsdruck, in bar;                                                                 |
| $P_{\text{test}}$ | Prüfdruck in bar                                                                         |

### **Berechnung des Prüfdrucks nach ASME B31.3:**

Flüssigkeit als Prüfmittel:

Prüfdruck = 1,5facher höchstzulässiger Betriebsdruck unter Berücksichtigung der höchstzulässigen Temperatur

Nach ASME B31.3 para 345.4.2 wird der Prüfdruck wie folgt ermittelt:

*Formel 4.12 Prüfdruck nach ASME B31.3/345.4.2*

$$PT = \frac{1,5P \times ST}{S}$$

Dabei ist

|    |                                    |
|----|------------------------------------|
| P  | Design Druck                       |
| PT | Prüfdruck                          |
| S  | Stress Value bei Design-Temperatur |
| ST | Stress Value bei Prüf-Temperatur   |

Das System ist vom Leitungstiefpunkt aus mit Flüssigkeit zu füllen und auf den vorgeschriebenen Prüfdruck zu bringen. Während des Füllens ist das System vollständig zu entlüften. Bei Prüfdrücken größer als 50 bar ist der Enddruck in Druckstufen von ca. 10 bar/min aufzubringen.

Die Rohrleitungen müssen außen während der Druckhaltezeit trocken sein.

Zur Kontrolle des Leitungsprüfdruckes werden mindestens zwei Druckmessgeräte benutzt, vorzugsweise an den jeweils entgegengesetzten Enden des Rohrleitungssystems. Es sind nur kalibrierte Messgeräte zu verwenden, damit ein Anzeigen des tatsächlichen Dru-

ckes gewährleistet ist. Der Messbereich sollte den zweifachen Prüfdruck abdecken, jedoch nicht unter dem 1,5fachen oder über dem 4fachen Prüfdruck liegen. Alle Messgeräte sind vor der Druckprobe zu kalibrieren und nach der Druckprobe nach zu kalibrieren.

Bei Druckprüfungen mit sehr hohen Drücken werden zwei Druckmessgeräte an der Druckprobenpumpe installiert.

Falls der Prüfdruck über eine längere Zeit hinweg gehalten werden muss, und die Gefahr besteht, dass das Prüfmedium in den Rohrleitungen einer Aufwärmung (Thermalausbreitung) unterliegt, sind entsprechende Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um einen übermäßigen Druckaufbau zu vermeiden.

Nach Abtrennen der Prüfpumpe ist eine visuelle Prüfung auf Undichtigkeiten durchzuführen.

Wird bei Frostgefahr mit Wasser geprüft, so ist das System nach dem Prüfen umgehend zu entleeren.

Zum Auffinden von Undichtigkeiten darf vor dem Prüfen mit Flüssigkeit eine Prüfung mit Luft durchgeführt werden. Der Prüfdruck ist beträgt dabei max. 0,2 bar.

#### 4.5.3.2 Prüfen von Kunststoff-Rohrleitungen

Bei Kunststoff-Rohrleitungen sind eine Vor- und eine Hauptprüfung entsprechend Tab. 4.6 durchzuführen. Die Vorprüfung mit dem vorgeschriebenen Prüfdruck hat den Zweck, die Volumenänderung der Kunststoffrohre (durch Druck, Zeit und Temperatur) zum Stillstand zu bringen. Nach der Vorprüfung ist das System zu entspannen.

Das Prüfen ist gemäß 4.5.3 „Prüfen mit Flüssigkeit“ durchzuführen. Die Druckerhöhung beträgt max. 10 bar/min.

Bei ausgekleideten GFK Rohrleitungen muss die Auskleidung vor der Druckprüfung geprüft werden. Diese Prüfung ist entweder als Dichtheitsprüfung mit einem Druck von 0,5 bar oder als Funkeninduktionsprüfung auszuführen. Die Laminierung erfolgt erst nach der Prüfung.

Die Prüfdauer beträgt mindestens 10 Minuten. Es darf während dieser Zeit kein Druckabfall im System auftreten.

**Tab. 4.6** Vor- und Hauptprüfung von Kunststoff-Rohrleitungen

| Nennweite DN | Prüfdauer in [h]<br>Vorprüfung | Prüfdauer in [h]<br>Hauptprüfung | Werkstoff                  |
|--------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| ≤ 50         | –                              | 1                                | PVC (hart)                 |
| 65 bis 150   | 12                             | 3                                | PE (hart oder weich)       |
| 200 bis 300  | 12                             | 6                                |                            |
| ≤ 200        | 3                              | 3                                |                            |
| 250 bis 400  | 6                              | 3                                | GFK<br>GFK (aus-gekleidet) |
| 450 bis 700  | 12                             | 12                               |                            |
| ≥ 700        | 12                             | 21                               |                            |

**Tab. 4.7** Zulässiger Druckabfall bei Kunststoff-Rohrleitungen

| Werkstoff          | Zulässiger Druckabfall | Zulässiger Druckabfall |
|--------------------|------------------------|------------------------|
|                    | Rohre $\leq$ DN 50     | Rohre $>$ DN 50        |
| PVC (hart)         | 0,5 bar/h              | 0,2 bar/Prüfdauer      |
| PE (weich)         | 0,1 bar/5 min          | 0,2 bar/h              |
| PE (hart)          | 0,1 bar/5 min          | 0,1 bar/h              |
| GFK                | 0,2 bar/Prüfdauer      | 0,2 bar/Prüfdauer      |
| GFK (ausgekleidet) | 0,2 bar/Prüfdauer      | 0,2 bar/Prüfdauer      |

Bei Nennweiten kleiner oder gleich DN 50 darf die gesamte Länge des zu prüfenden Systems 30 m nicht überschreiten.

Während der Vorprüfung ist der Druckabfall alle 2 h durch entsprechende Druckerhöhung auszugleichen. Mit der Hauptprüfung ist frühestens 2 h nach der Vorprüfung zu beginnen. Der während der Hauptprüfung eintretende Druckabfall darf nicht ausgeglichen werden. Die Werte der Tabelle Tab. 4.7 Zulässiger Druckabfall bei Kunststoff-Rohrleitungen sind einzuhalten.

#### 4.5.4 Stressdruckprobe Fernrohrleitungen

Stressdruckproben sind Wasserdruckproben an Rohrleitungen, bei denen die Beanspruchung durch den Druck bis an die Streckgrenze der Rohre und Bogen geht.

Stressdruckproben werden an Fernleitungen mit besonderen Sicherheitsansprüchen durchgeführt. Die Sicherheitsansprüche leiten sich in der ersten Linie aus dem durchzuleitenden Medium ab.

Neben den generellen Prüfungen und Ergebnissen einer normalen Druckprobe, werden bei der Stressdruckprobe Spannungen in der Rohrleitungen, die durch das Verlegen und Schweißen entstanden sind, abgebaut.

Die Prüfung sollte nach Möglichkeit bei einer Umgebungstemperatur von mehr als 5 °C erfolgen. Nach dem Füllen mit Wasser ist eine Temperaturangleichung zwischen dem eingefüllten Wasser und der Umgebungstemperatur mit einer ausreichenden Beruhigungszeit zu berücksichtigen. Die Rohrleitung ist beim Füllen vollständig zu entlüften.

Vor und nach dem Stresstest ist die Rohrleitung mittels eines Kalibriermolches (Kalibriescheibe =  $0,98 \times$  Rohrinne Durchmesser abzüglich 10 mm) zu überprüfen.

Zu prüfenden Rohrleitungsabschnitte sollten ungeachtet des Höhenniveaus nicht länger als 15 km betragen und ein Gesamtvolumen von weniger als 6000 m<sup>3</sup> aufweisen. Die Höhendifferenz zwischen dem Hochpunkt und der niedrigsten Stelle ist entsprechend der anzuwendenden Prüfspezifikation zu bestimmen. Unabhängig vom vorgenannten Volumen und der Länge der Rohrleitung wird die Länge des Druckprobenabschnittes durch den Höhenunterschied maßgeblich mitbestimmt.

Als Faustformel für den maximalen Höhenunterschied zur Festlegung des Druckprobenabschnittes kann folgender Ansatz gewählt werden.

Der Ansatz basiert auf der Annahme, dass max. 5 % des Prüfdruckes bei einer 100 %igen Ausnutzung der Streckgrenze die Höhendifferenz bestimmen.

#### Beispiel

Der gewählte Höhenunterschied  $h$  [m] ergibt sich aus einer Rohrleitung  $Da = 604,6$  mm,  $Wd = 11,7$  mm aus S 235 ( $K = 235$  N/mm<sup>2</sup>) wie folgt:

*Formel 4.13 Faustformel Höhenunterschied*

$$h = 10 \times \frac{Wd \times K}{Da}$$

Demzufolge wäre der maximale Höhenunterschied des Druckprobenabschnittes ca. 45 m.

Im Anschluss an die Druckprüfung ist eine Dichtheitsprüfung mit reduziertem Druck durchzuführen.

#### 4.5.5 Pneumatische-Druckprobe

Wenn eine Druckprobe mit Flüssigkeit nicht durchgeführt werden kann, z. B. Rohrleitungen mit gasförmigen Medien, deren Unterstützungskonzept für die Lasten einer mit Wasser gefüllten Leitung nicht konzipiert sind, oder aus prozesstechnischen Gründen, ist die Druckprobe mit gasförmigen Medien durchzuführen.

Mögliche Gasqualitäten sind:

- komprimierte Luft (durch einen mobilen Kompressor) ohne definierten Taupunkt
- trockene Luft (z. B. Instrumentenluft) mit definiertem Taupunkt
- Stickstoff unter hohem Druck (150 bis 200 bar) mit einer Reinheit von 99,5 % N<sub>2</sub>
- trockener Stickstoff unter niedrigem Druck mit einer Reinheit von 99,5 % N<sub>2</sub>
- Luft- und Inertgase müssen frei von Staub und Öl sein.

Für die durchzuführende Gasdruckprüfung ist eine detaillierte Prozessbeschreibung zu erstellen und von einer unabhängigen Prüforganisation freizugeben.

Notentspannungsleitungen sind zu errichten und mit einem kalibrierten Sicherheitsventil zu versehen. Bauteile, die eine Gefährdung durch plötzliches Lösen darstellen können, sind zu sichern (z. B. Anketten von Handarmaturen).

Bei längst naht geschweißten Rohrleitungsteilen sind die Längsnähte unter Einschluss aller Stoßnähte 100 % Ultraschall zu prüfen. Die Art der Prüfung und der durchgeführte Prüfumfang ist in den Materialzertifikaten zu bescheinigen.



Die Erhöhung des Prüfdruckes ist erst dann durchzuführen, wenn das Prüfmittel und die Rohrleitung die gleiche Temperatur haben. Die Gasdruckprüfung ist unterhalb 49 °C durchzuführen. Rohrleitungen die einer starken Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, sind mit Vlies abzudecken.

Vor dem Prüfvorgang ist der Bereich, indem die Gasdruckprobe stattfindet, zu räumen und abzusperren. Die Absperrung beinhaltet nicht nur die offiziellen Wege, vielmehr sind auch Baulücken oder ähnliches, die ein Eindringen in den abgesperrten Bereich ermöglichen, zu sichern.

Die Absperrung erfolgt mit Warnschildern. Es ist darauf zu achten, dass die Warnschilder in der landesüblichen Sprache ausgeführt sind. Die Absperrung ist laufend zu kontrollieren. Während des Prüfvorganges sind speziell eingewiesene Sicherheitsposten, außerhalb des abgesperrten Bereiches zu positionieren.

Ergänzend zu der Absperrung ist ein Begehungsplan zu erstellen, aus dem hervorgeht, wie der abgesperrte Bereich sicher umgangen werden kann.

Die Absperrung ist solange aufrecht zu halten, bis der Druck vollständig abgesenkt ist.

Die Druckerhöhungen sind nach Tab. 4.8 vorzunehmen und mit dem zuständigen Sachkundigen bzw. Sachverständigen abzustimmen. Der Druckanstieg beträgt max. 6 bar/h.

Der maximale Prüfdruck beträgt das 1,1 fache des höchstzulässigen Betriebsdruckes.

Druckstufe 1 dient zum Auffinden größerer Undichtigkeiten. Bei Druckstufe 1 ist eine Prüfung mit schaubildender Flüssigkeit (Nektal Test) durchzuführen. Ab Druckstufe 2 beschränkt sich das Prüfen auf eine Sicht- und Geräuschkontrolle.

Solange der Druck größer als der zulässige Betriebsdruck ist (Druckstufe 5), darf der abgesperrte Bereich nicht betreten werden. Das gilt auch für den Sachkundigen bzw. Sachverständigen.

**Beispiel**

Zul. Betriebsdruck  $P_B = 10 \text{ bar}$ ; Prüfdruckfaktor  $f = 1,1$   
 $\Rightarrow$  Prüfdruck  $P = P_B \cdot f = 10 \text{ bar} \cdot 1,1 = 11 \text{ bar}$   
Aus der Tab. 4.8 ergeben sich danach folgende Druckstufen:

- 0,2 bar
- 4,0 bar

**Tab. 4.8** Druckstufen Gasdruckprüfung

| Druckstufe | Max. Prüfdruck           | Haltezeit | Druckabfall          | Nektal Test    |
|------------|--------------------------|-----------|----------------------|----------------|
|            |                          | Min.      | % vom Betriebsdrucks |                |
| 1          | 0,2 bar                  |           |                      | X              |
| 2          | 40 % des Betriebsdrucks  |           |                      | Druckmessgerät |
| 3          | 80 % des Betriebsdrucks  |           |                      |                |
| 4          | 100 % des Betriebsdrucks |           |                      |                |
| 5          | 110 % des Betriebsdrucks | 15–30     | < 2 %                |                |

**Tab. 4.9** Anzeigebereiche und Ablesegenauigkeit von Prüfmanometern

| Anzeigebereich  | Ablesegenauigkeit | Art des Messgerätes |
|-----------------|-------------------|---------------------|
| 1000 bis 0 mbar | 0,5 mbar          | Vakuum Messgerät    |
| 0 bis 25 bar    | 0,1 bar           | Druckmessgerät      |
| 0 bis 160 bar   | 0,5 bar           |                     |
| 0 bis 400 bar   | 1 bar             |                     |
| > 400 bar       | 1 bar             |                     |

3. 8,0 bar

4. 10,0 bar

5. 11,0 bar

Während der Haltezeit darf der Druckabfall nicht stärker als 2 % ausfallen.

Wird das Prüfen eines Systems mit schaumbildender Flüssigkeit verlangt, so sind alle Schweiß-, Flansch- und Schraubverbindungen, und alle Stopfbuchsen ringsum mit schaumbildender Flüssigkeit zu benetzen. Flanschverbindungen sind ringsum mit Klebeband (in das ein kleines Loch zu stoßen ist) abzudichten, um das Auffinden von Undichtigkeiten zu erleichtern.

Während der Prüfung darf das System nicht mechanisch belastet werden. Es ist darauf zu achten, dass während des Füllens und Prüfens keine plötzliche Temperaturerhöhung auftreten kann. Werden undichte Stellen festgestellt, so ist der Druck sofort zu reduzieren.

Zum Messen des Prüfdrucks sind zwei unabhängige Manometer zu verwenden. Ein Manometer ist am Hochpunkt anzubringen. Die Druckmessungen sind so zu positionieren, dass das Ablesen des Druckes aus einer sicheren Entfernung oder von einer geschützten Stelle aus möglich ist. Das Prüfmanometer muss geeicht sein und über einen gültigen Kalibrierungsbericht verfügen. Kalibrierungsnummer und Manometer Nummer sind im Prüfbericht anzugeben.

Für die Ablesegenauigkeit der Manometer gilt Tab. 4.9.

#### 4.5.6 Maßnahmen nach der Druckprüfung

Nach Beendigung einer Prüfung mit Gas ist sicherzustellen, dass durch Ablassen des Prüfmediums keine Gefährdung entsteht, z. B. durch das Verdrängen von Luftsauerstoff aus der Atmosphäre.

Nach dem Prüfen mit Flüssigkeit ist das System vollständig zu entleeren. Die Belüftungsarmaturen sind voll zu öffnen, um eine Vakuumbildung zu verhindern. Das vollständige Entleeren ist durch Ausblasen mit Pressluft zu unterstützen.

Leitungen, die keiner anschließenden Dichtheitsprüfung unterzogen werden, sind nach der vollständigen Entleerung mit Luft oder Inertgas zu trocknen.

Werden die Leitungen nach der Druckprüfung gereinigt, so sind die Anforderungen von Abschn. 4.5.8 Spülen und Reinigen zu beachten.

Dichtungen, die nach der Prüfung auszubauen sind, müssen durch fabrikneue ersetzt werden.

### **4.5.7 Dichtheitsprüfung**

Eine Dichtheitsprüfung ist durchzuführen, wenn nach der Druckprüfung an einem System Flanschverbindungen gelöst wurden.

Die Dichtheitsprüfung ist im Anschluss an die Druckprüfung und der Reinigung und Wiederherstellung durchzuführen. Die Dichtheitsprüfung kann aber auch zu einem späteren Zeitpunkt in Verbindung mit den Anfahrvorbereitungen durchgeführt werden. Wurde die Druckprüfung mit einem Prozessmedium durchgeführt, ist keine Dichtheitsprüfung erforderlich.

#### **4.5.7.1 Dichtheitsprüfung mit Überdruck**

Der zu prüfende Rohrleitungsabschnitt muss vollständig zurück gebaut worden sein (z. B. Sicherheitsventile, Regelventile, Messblenden, Siebe). Behälter, Wärmeaustauscher, Pumpen und Instrumenten-Prozessleitungen sind mit in die Dichtigkeitsprüfung einzu-beziehen. Tanke sind von den zu prüfenden Rohrleitungen zu trennen.

Als Prüfmittel kommen Luft oder Inertgase infrage. Der Prüfdruck beträgt 0,2 bis 0,5 bar bei einer Prüfdauer von mindestens 10 Minuten. Die zu prüfenden Verbindungen (u. a. Flanschverbindungen, Stoffbuchsen) sind mit schaubildender Flüssigkeit zu be-netzen.

Die Rohrleitungen müssen dicht sein. Undichtigkeiten, die sich durch Bildung von feinem Schaum bzw. Wasseraustritt zeigen, sind nicht zulässig. Werden Undichtigkeiten festgestellt, so ist die Prüfung nach Beseitigung der Undichtigkeiten zu wiederholen.

#### **4.5.7.2 Dichtheitsprüfung mit Unterdruck**

Eine Dichtheitsprüfung mit Unterdruck ist dann durchzuführen, wenn erhöhte Anfor-de-rungen an die Dichtheit von Rohrleitungen (z. B. bei Kälteanlagen) gestellt werden.

Der Dichtheitsprüfung muss eine Druckprüfung gemäß Abschn. 4.5 Druckproben vo-rausgegangen sein.

In dem zu prüfenden Rohrleitungsabschnitt müssen Sicherheitsventile, Ventile und Ins-trumente eingebaut sein. Wärmeaustauscher, Pumpen und Instrumenten-Prozessleitungen sind mit zu prüfen.

Der Prüfdruck beträgt bei Rohrleitungen  $-1$  bis  $-1,5$  mbar, in Kälteanlagen  $-2,5$  bis  $-5,5$  mbar. Vor dem Prüfen sind die Rohrleitungen zu trocknen. Die Druckminderung kann entsprechend der Leistung der Vakuumpumpe erfolgen. Zu Beginn und Ende der Prüfung sind Lufttemperatur und Prüfdruck schriftlich zu dokumentieren.

#### 4.5.7.3 Maßnahmen nach der Dichtheitsprüfung

Kaltwerdende Schraubverbindungen (z. B. in Kälteanlagen) sind nachzuziehen, wenn die Betriebstemperatur erreicht wurde und die Schraubverbindungen anschließend wieder auf Lufttemperatur erwärmt wurden. Danach darf die Dämmung aufgebracht werden.

In Rohrleitungen von Kälteanlagen ist nach der Dichtheitsprüfung das Kältemittel einzufüllen.

Die Druck- und Dichtheitsprüfungen sind mit Zeit-Druck-Diagrammen aufzuzeichnen.

#### 4.5.8 Spülen und Reinigen

Nachdem die Druckprobe erfolgreich abgeschlossen wurde, müssen die Rohrleitungssysteme ausgespült werden, um alle Fremdkörper wie Sand, Metallstücke, Schweißschlacke usw. zu entfernen, da sonst die Leitungen, Schieber usw. blockieren bzw. die beweglichen Teile von Pumpen und Kompressoren beschädigt werden könnten.

Folgende Maßnahmen sind durchzuführen bzw. zu berücksichtigen:

- Planung/Einteilung der Spülvorgänge durch Festlegung der Rohrsysteme die gleichzeitig gespült werden können und der Rohrsysteme die nacheinander zu spülen sind.
- Spülabschnitte sind in den P&ID's zu kennzeichnen.
- Zur Vorbereitung des Rohrsystems/Spülabschnittes sind alle Blindflansche, Steckscheiben und temporäre Füllanschlüsse, usw. so zu installieren, dass eine hohe Durchflussrate sichergestellt wird, um eine gute Reinigungsleistung zu erzielen.
- Messblenden und Durchflussmessgeräte dürfen erst installiert werden, nachdem das Rohr gespült und gereinigt wurde.
- Regelarmaturen und Sicherheitsventile sind auszubauen und durch Zwischenstücke während des Spülens zu ersetzen.
- Alle Verbindungen zu Pumpen, Kompressoren, Turbinen (Saug- und Druckseite) müssen gelöst werden damit keine Spülflüssigkeit eintreten kann. Die Ansaugleitungen von Pumpen und Kompressoren müssen, wie vom Hersteller empfohlen, gereinigt werden.
- Es ist zu beachten, dass einige Geräte wie z. B. Behälter/Apparate und Heizspiralen besondere Reinigungsverfahren benötigen. Hierzu sind die entsprechenden Betriebsanleitungen der Hersteller hinzu zuziehen.
- Es ist zu prüfen, ob und welche Armaturen (Klappen/Schieber, etc.) durch Ausbau der Inneneinbauten in den Spülkreislauf mit einbezogen werden können.
- Rohrleitungen, die an Behältern ohne Einbauteile angeschlossen sind, können zusammen mit diesen Behältern gespült werden, die Behälter müssen jedoch nach derartigen Spülen immer manuell von innen gereinigt werden. Diese Art der Reinigung gewährleistet jedoch keine komplette Säuberung des entsprechenden Behälters und sollte daher vermieden werden.
- Leitungen, die mit Temperatúraustauschern verbunden sind, müssen so gespült werden, dass keine Spülflüssigkeit in das Innere der Austauscher gelangt.

- Absperrventile und andere Ventile, die während des Spülvorgangs nicht ausgebaut werden müssen, sind vorher auf ihre Absperr-Dichtigkeit hin zu prüfen, unter Umständen auszubauen und in der Werkstatt separat zu reinigen. (z. B. Ventile von speziellen Trocknern und an Reaktoren).
- Während des Befüllens und Entleerens sind Entlüftungsleitungen offen zu halten, um einen Überdruck oder ein Vakuum zu vermeiden.
- Als generelle Regel wird das Reinigen von oben nach unten durchgeführt und folgt dem normalen Verlauf der Rohrleitung. Die Reinigungsflüssigkeit wird mit provisorischen Rohrleitungen und/oder Schlauchverbindungen eingefüllt.
- Die endgültige Reinigung von Kolonnen und Behältern wird während der Endabnahme manuell ausgeführt.
- Wenn mit Hochdruck-Wasserspritzen oder Heißdampf Reinigern gearbeitet wird, sind alle erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen zu berücksichtigen.
- Akkumulatoren werden extra gewaschen, indem man sie mit Wasser füllt und wieder entleert.
- Instrumentenluft-Leitungen und Gewinderohre werden zur Reinigung mit Luft ausgeblasen.

Jede Rohrleitung ist nach der Druckprüfung zu reinigen. Einzelne Rohrleitungen dürfen für das Reinigen (Reinheitsgrad 2 bis 6) zu einem „System“ zusammengeschlossen werden. Für die verschiedenen Durchflusstoffe und Rohrklassen sind die Reinheitsgrade in der Rohrleitungsspezifikation festgelegt. Die Reinheitsgrade sind in Tab. 4.10 definiert.

Rohrleitungen, die keiner Druck- oder Dichtheitsprüfung unterliegen und Rohrleitungen für die kein Reinheitsgrad angegeben ist, sind nach Grad 1 zu reinigen

Sicherheitsventile und Ausrüstungen (Behälter, Tanks, Pumpen, Maschinen) aus austenitischem CrNi-Stahl, Nickel und Nickellegierungen sind durch Steckscheiben von dem zu reinigenden System zu trennen. Schmutzempfindliche Armaturen sind auszubauen.

Die Auswahl der Reinigungsmittel ist unter Berücksichtigung der für die Druck- und Dichtheitsprüfungen vorgesehenen Prüfmittel und der Prozessmedien vorzunehmen. Nachfolgend sind die gängigsten Reinigungsmethoden aufgeführt:

- Mit Wasser spülen
- Ausblasen mit Druckluft oder Dampf
- Strahlen
- Beizen

Beim Spülen mit Wasser ist eine Durchflussgeschwindigkeit von mindestens 2–3 m/s, beim Ausblasen mit Druckluft oder Dampf 10 m/s zu berücksichtigen.

Durchflussgeschwindigkeiten der Reinigungsmittel sind auf jedem Fall den Rohrdurchmessern anzupassen. Offene Rohrenden, aus denen das Reinigungsmittel austritt, sind entsprechend zu sichern.

**Tab. 4.10** Reinheitsgrade

| Reinheitsgrad | Bezeichnung des Reinheitsgrads                  | Reinigungsverfahren                                                                                                                                            |
|---------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Frei von grobem Schmutz                         | Vor der Montage Abklopfen (in Schräglage), Ausblasen mit Luft oder Ausfegen                                                                                    |
| 2             | Frei von lose anhaftenden Schmutz (schmutzfrei) | Vor der Montage Reinigen gemäß Grad 1, nach der Montage Ausblasen mit gasförmigem Reinigungsmittel                                                             |
| 3             | Frei von lose anhaftendem Schmutz (schmutzfrei) | Vor der Montage Reinigen gemäß Grad 1, nach der Montage Spülen mit Wasser oder anderen, dem Prozessmedium verträglichen Flüssigkeiten (z. B. Kältemaschinenöl) |
| 4             | Schmutzfrei und frei vonlosem Zunder            | Vor der Montage Reinigen gemäß Grad 1, nach der Montage Ausblasen mit Dampf                                                                                    |
| 5             | Metallisch rein                                 | Strahlen oder Beizen                                                                                                                                           |
| 6             | Frei von Fett und organischen Stoffen           | Nach Vereinbarung                                                                                                                                              |
| 7             | Keimfrei                                        | Nach Vereinbarung                                                                                                                                              |

Rohrleitungssysteme in denen das Spülen nicht zum gewünschten Ergebnis führt, können auch unter Verwendung von Reinigungsmolchen gereinigt werden.

Für das Reinigen von Rohrleitungen aus Stahl mittels Strahlen (z. B. mit Quarzsand, Stahlschrot oder Stahlkorn) ist der Reinheitsgrad in Anlehnung an EN ISO 12944-4 festzulegen.

Die Funktionstüchtigkeit der Armaturen ist nach dem Reinigen zu prüfen.

Weitere alternative Verfahren zum Reinigen oder Spülen ist das sogenannte „Shock blowing“ wobei Druckluft gegen eine Berstscheibe geleitet wird. Die Berstscheibe ist für einen bestimmten Druck spezifiziert. Bei Überschreiten dieses Druckes berstet die Scheibe. Die plötzlich entstehende Entspannung zieht somit die Verunreinigungen aus dem Rohr.

Bei Frostgefahr sind Reinigungsarbeiten mit Wasser einzustellen und die Rohrleitungen sind zu entleeren.

Ein System gilt als gereinigt, wenn das Reinigungsmittel keine sichtbaren Schmutzteile mehr mit sich führt. Durch Strahlen gereinigte Systeme sind visuell zu kontrollieren.

Nach den Spül- und Reinigungsarbeiten sind die Rohrleitungssysteme fertigzustellen, durch die sogenannte Wiederherstellung. Dazu gehören folgende Tätigkeiten:

- Fertigstellung sämtlicher Arbeiten, die auf Grund von protokollierten Ausnahmeregelungen, wie z. B. Punchpunkte der Kategorie B, bei der Druckprobe und dem Ausspülen noch offen waren.
- Entfernen aller Test-Blindflansche und Einsetzen der endgültigen Dichtungen.
- Installation der Saugfilter an den Pumpen sowie Einbau aller Messblenden.
- Schließen sämtlicher Entlüftungs- und Entwässerungsleitungen
- Anschließen der endgültig im System verbleibender Instrumente.

Nach der Wiederherstellung der Rohrleitung ist eine erneute Begehung mit anschließender Abnahme durchzuführen und zu protokollieren.

### 4.5.9 Trocknung

Nach der Wasserdruckprobe sind die Rohrleitungen zu entleeren und zu trocknen. Falls die Entleerung nicht durch die reine Gravitation erfolgen kann, d. h. Entleerungsstutzen an den Tiefpunkten, ist die Entleerung mittels Molch zu gewährleisten. Dabei wird ein Molch in die Leitung gesetzt, und mittels Pneumatik durch die Rohre getrieben, sodass am anderen Ende das Wasser durch eine Öffnung austreten kann.

Die kostengünstigste Methode ist die Trocknung mit Öl freier Luft, unter Verwendung mobiler Kompressoren mit nachgeschalteter Trocknungseinheit, oder Vakuumtrocknungsanlagen. Dabei kann ein Taupunkt bis zu  $-20^{\circ}\text{C}$  erreicht werden. Sind niedrigere Taupunkte erforderlich, erfolgt die Trocknung mit Stickstoff. Hierbei können Taupunkte bis zu  $-70^{\circ}\text{C}$  erreicht werden.

Auf jedem Fall sollte sichergestellt werden, dass die Trocknung nur einmal pro System erfolgt. Das Ziel ist demnach, die Trocknung unmittelbar vor Verwendung des Systems durchzuführen. Um mögliche Korrosionen durch Restfeuchte zu vermeiden, ist das System bis zur Trocknung zu inertisieren.

### 4.5.10 Kontrolle und Prüfungen

Neben den zu Beginn Kap. 4.3.6 und 4.5 behandelten zerstörungsfreien Prüfungen und Druck- sowie Dichtheitsprüfungen, sind während der Montage der Rohrleitungen baubegleitend Sichtkontrollen und Überprüfungen durchzuführen, wie z. B. die Übereinstimmung mit der Isometrie. Eine Rohrleitung gilt als fertig errichtet und geprüft wenn nachfolgend aufgeführte Arbeiten entsprechend den Spezifikationen ausgeführt wurden.

- System gespült
- System entleert und getrocknet
- Steckscheiben entfernt
- Druckabsicherungseinrichtungen montiert
- Federhänger entschert
- Regelarmaturen montiert
- Mängelliste geschlossen
- Korrosionsschutz vollständig
- Dichtheitsprüfung durchgeführt
- Dämmung vollständig
- Begleitheizung vollständig
- Kennzeichnungen angebracht

## 4.6 Korrosionsschutz

Korrosionsanfällige Oberflächen von Bauteilen, die nicht isoliert und beschichtet werden, sind durch einen geeigneten Anstrich gegen Korrosion zu schützen. Hierunter fallen z. B.

- Stahlbau-Strukturen
- Behälter
- Rohrleitungen

Die Reihenfolge der Anstricharbeiten erfolgt unter Berücksichtigung der Freigabe der entsprechenden Bauteile. Dazu zählt nicht nur die Fertigstellung des Bauteils, sondern ganz wichtig, auch die Überprüfung, ob und in welchem Umfang Arbeiten in diesem Bereich noch durchzuführen sind, die zu eventuellen Beschädigungen des Anstriches führen können.

Zur Festlegung des Anstrichsystems sind die Umgebungsbedingungen zu analysieren. Befindet sich die Anlage im Bereiche eines Seewassergebietes, können die in der Luft befindlichen Chloride in Verbindung mit Regen oder Tau die Bauteile angreifen. Des Weiteren ist zu überprüfen, ob angrenzende, in Betrieb befindliche Anlagen Produkte produzieren (z. B. Säuren, Chlor usw.) die Korrosionen an den Bauteilen hervorrufen.

Der Anstrich wird nicht nur als Korrosionsschutz verwendet, sondern in einigen Fällen als UV-Schutz (GFK-Bauteile), Kennzeichnung von Medien in Rohrleitungen, als Signalfarbe oder sogar als architektonische Maßnahme.

Der Korrosionsschutz für kälte isolierte Rohrleitungen, Ausrüstungen erfolgt nach AGI Q 151 oder nach DIN EN ISO 12944-1 bis DIN EN ISO 12944-7.

Bei Kälte-dämmung muss das Dämmobjekt in jedem Fall korrosionsgeschützt sein.

### 4.6.1 Oberflächenvorbereitung

Entscheidend für die Haftung des Anstriches ist die Vorbereitung der anzustreichenden Oberfläche. Die zu beschichtenden Oberflächen müssen frei von Verunreinigungen (z. B. Schweißschlacke, Schweißspritzer, Staub, Öl, Fett, Salze, Zementschlämme, Rost, alte Beschichtungen) sein. Oberflächenfehler (z. B. Risse, Dopplungen, Grate, tiefe Rostnarben) sind mit geeigneten Verfahren zu beseitigen. Scharfe Kanten (z. B. Sägeschnitte, Brennschnitte) sind durch Schleifen ausreichend abzurunden.

Öl, Fett, Bohrmittel, Schneidmittel und Konservierungsmittel sind vor jeder weiteren Oberflächenvorbereitung vorzugsweise durch Hochdruckwaschen mit milden alkalischen Reinigungsmitteln sorgfältig zu entfernen. Die so gereinigten Oberflächen sind mit Wasser aus Trinkwasserqualität abzuspülen. Die Reibflächen von Verbindungen (z. B. bei Stahlkonstruktionen) mit hochfesten Schrauben sind nach der Oberflächenvorbereitung bis zum Verschrauben angemessen zu schützen.



Lose anhängende Walzhaut, Rost oder Überreste von alter Farbe können von der Oberfläche mittels Drahtbürsten, Schleifpapier oder durch Hämmern entfernt werden. Diese Methoden sind relativ grob, sodass fest haftende Rostpartikel an der Oberfläche verbleiben und mitunter eine weitere Behandlung (z. B. rotierende Drahtbürsten) benötigen.

Methoden für das Säubern der Oberfläche mit Handwerkszeugen sind in der amerikanischen Norm SSPC – SP2 und der Schwedischen Normen ST2 – B, C oder D beschrieben.

Maschinelle Werkzeuge sind wirksamer und weniger arbeitsaufwendig als Handwerkszeuge bei dem Entfernen der Walzhaut, des Rostes und der Farbreiten. Ein hundertprozentiges Entfernen wird aber auch hierbei nicht erreicht.

Die bei weitem häufigste und effektivste Methode ist das Sandstrahlen. Tabelle 4.11 unterscheidet unterschiedliche Reinheitsgrade der Oberflächen.

Vor dem Sandstrahlen sind die Oberflächen zu reinigen. Schweißperlen oder Schlacke-  
reste sind zu entfernen. Schweißkanten und scharfe Ecken sollten gebrochen werden.

Das Strahlen von Stahl verursacht eine bestimmte Rauheit auf der Oberfläche.

**Tab. 4.11** Oberflächen Reinheitsgrade

| Schwedische Norm SIS 55900 | Amerikanische Norm SSPC-SP        | Englische Norm BS 7079 | DIN 55928 |                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sa 1                       | Sp-7 brush-off blast cleaning     |                        | Sa 1      | Die Oberfläche ist frei von losem Zunder, Rost und Beschichtungen                                                                                                                                                       |
| Sa 2                       | Sp-6-63 commercial blast cleaning | 3. Qualität            | Sa 2      | Nahezu aller Zunder, Rost und Beschichtungen sind entfernt. Auf der Oberfläche dürfen nur so viele fest haftende Reste von Zunder, Rost und Beschichtungen verbleiben, dass keine zusammenhängende Schicht mehr besteht |
| Sa 2 ½                     | Sp-10 near white blast cleaning   | 2. Qualität            | Sa 2 ½    | Zunder, Rost und Beschichtungen sind so weit entfernt, dass Reste lediglich als leichte Schattierungen infolge Tönung von Poren sichtbar bleiben                                                                        |
| Sa 3                       | Sp-5 white metal blast cleaning   | 1. Qualität            | Sa 3      | Zunder, Rost und Beschichtungen sind vollständig entfernt                                                                                                                                                               |
| St 2                       | Sp-2 hand tool cleaning           |                        | St 2      | Zunder, Rost und Beschichtungen werden manuell entfernt                                                                                                                                                                 |
|                            |                                   |                        |           | Z. B. durch bürsten, schleifen oder hämmern                                                                                                                                                                             |
| St 3                       | Sp-3 power tool cleaning          |                        | St 3      | Zunder, Rost und Beschichtungen werden maschinell entfernt. Der Untergrund ist metallisch glänzend, jedoch nicht poliert                                                                                                |

► **Diese Rauheit ist ein entscheidendes Kriterium für die Haftung des Anstriches.**

Die Oberflächenrauigkeit wird in der ISO 8503-1 angegeben.

#### **4.6.2 Filmdicke**

Das Einhalten der Filmdicke bzw. Beschichtungsdicke ist entscheidend für die Wirkung des Korrosionsschutz.

Alte Weisheiten wie „viel hilft viel“ sind nicht zielführend, da es hierbei zu Einschlüssen von Lösungsmittel führen kann, und somit zu einem Verlust der Haftung.

Die erforderliche Schichtdicke, die für eine bestimmte Oberfläche empfohlen wird, hängt von der Art der Farbe und der Art der Oberflächenbeschaffenheit ab. Empfohlene Schichtdicken für bestimmte Produkte werden durch den Hersteller angegeben.

#### **4.6.3 Behandlung von Schweißnähten**

Schweißnähte sind ein kleiner, aber extrem wichtiger Teil einer Stahlkonstruktion oder des Rohrleitungsbau, Häufig sind sie der am meisten vernachlässigte Teil, wenn es um Korrosionsschutz geht. Mehrheitlich entsteht die Korrosion in der Umgebung der Schweißnähte. Während der Errichtung der Anlage werden Schweißnähte geprüft und gelten, nach erfolgreicher Prüfung, als fehlerfrei. Aus Sicht des Korrosionsschutzes ist dies nicht der Fall, denn der Zustand der Schweißnaht ist entweder eine unbehandelte Decklage, oder eine blechebene geschliffene Oberfläche für eine UT-Prüfung. In beiden Fällen ist eine Nacharbeit der Schweißnaht vor dem Anbringen des Korrosionsschutzes empfehlenswert.

Um gut streichbar zu sein, sollte ein Gegenstand gleichmäßige, frei von Einbränden, scharfen Kanten oder Unterhöhungen sein. Alle Schweißperlen sollten entfernt sein, da sie nicht nur die Farbschicht durchdringen, sondern sich auch im Laufe der Zeit lösen. Schlackereste sind ebenfalls zu entfernen, da sie alkalisch wirken. Wenn möglich, sollten Schweißnähte vorbehandelt werden, um alle Verunreinigungen und scharfen Kanten zu entfernen. Schweißnähte müssen ebenfalls die erforderliche Rauheit erreichen. Alle Einschlüsse müssen durch Überschiessen bzw. so beigeschliffen werden, dass eine gleichmäßige Oberfläche ohne scharfen Kanten erreicht wird. Ein Polieren der Fläche wiederum ist unerwünscht, da sich dadurch die Haftung des Anstriches reduzieren würde.

#### **4.6.4 Kontrollen und Prüfungen**

Während und nach den durchgeführten Arbeiten sind diverse Kontrollen und Prüfungen durchzuführen. In der Regel werden solche Prüfungen in den Qualitätsplänen aufgeführt. Dabei ist zu beachten, dass die Vorgaben der Hersteller mit berücksichtigt werden.

► **Beim Beschichtungsaufbau sind die Oberflächenvorbereitung und die Herstellung des Reinheitsgrades permanent zu überwachen.**

Je nach anzuwendender Norm sind Kontrollflächen anzulegen. Dabei sind die Lagen der Kontrollflächen zu dokumentieren bzw. in den Zeichnungen zu vermerken. Während des Anlegens der Kontrollflächen ist die Lufttemperatur in °C, die Luftfeuchtigkeit in % und die Oberflächentemperatur des Bauteils zu messen und zu protokollieren.

---

## 4.7 Dämmung

Rohrleitungen, Behälter und Tanke sind die entscheidenden Bestandteile industrieller Prozesse. Durch die Rohrleitungen strömen Flüssigkeiten bzw. Gase von bzw. zu den Behälter und Tanke. Eine effektive Dämmung ist für industrielle Prozesse aus folgenden Gründen zwingend erforderlich:

- Sicherung einer konstanten Prozesstemperatur
- Reduzierung von Wärme-, Kälteverlusten und damit auch Verbesserung der Energieeffizienz und Verringerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Berührungsschutz zum Schutz vor heißen Oberflächen
- Vermeidung von Kondensat im Falle der Wärmedämmung von Rauchgaskanälen an der Innenseite und dadurch ausgelöste Korrosion der Kanäle
- Vermeidung von Schwitzwasserbildung an der Ummantelung der Dämmung im Falle von Kälte oder s. g. Schwitzwasserisolierung
- Schutz vor Schallemissionen die z. B. durch schnell fließende Medien in den Leitungen entstehen
- vorbeugender Brandschutz
- Schutz vor Einfrieren von Wasserleitungen, u. U. in Verbindung mit Begleitheizungen

Die erforderlichen Dämmdicken werden in den meisten Fällen gemäß den Vorgaben des Kunden/Betreibers der Anlage und den prozesstechnischen Rahmenbedingungen auf Basis der VDI 2055 berechnet und in den Isometrien, Rohrleitungslisten und/oder Konstruktionszeichnungen aufgeführt.

Die Ausführung der Dämmung auf der Baustelle erfolgt in den meisten Fällen nach dem, vom Kunden bzw. vom Konstrukteur der Anlage vorgebenden Normen und Standards bzw. anlagenspezifisch erstellten Spezifikationen.

Die Dämmung ist erst nach erfolgreich abgeschlossener Druckprüfung der Ausrüstungen und Rohrleitungen zu montieren.

► **Die Dämmung ersetzt keinen Korrosionsschutz!**

D. h. die Dämmung ist – sofern spezifiziert – erst nach Auftragen des erforderlichen Korrosionsschutz zu montieren.

Alle Verbindungen (geschraubt, geflanscht, geschweißt, laminiert) dürfen erst nach der Druckprüfung gedämmt werden. Armaturen und Flanschverbindungen, an denen Steck-scheiben angeordnet waren, dürfen erst nach erfolgter Dichtheitsprüfung gedämmt werden.

Die zu dämmenden Flächen müssen sauber, trocken und frei von grobem Rost und Zunder sein.

Armaturen und Flanschenpaaren sind mit leicht demontierbaren Dämmkappen zu versehen, da eine einfache De- und Remontage zu Wartungszwecken erforderlich ist.

Die Montage der Dämmung hat so zu erfolgen, dass eine homogene Dämmung entsteht. Die Nähte müssen geschlossen, ohne Spalte ausgeführt werden.

Im Falle von Kälte-dämmung sind die Nähte (mit Ausnahme der 1. Naht bei mehrlagiger Dämmung) sorgfältig mit Fugenfüller auszufüllen.

Das Dämmmaterial ist durch Bindendraht, Bänder etc. vor dem Verrutschen und „Durchsacken“ zu sichern.

Es ist darauf zu achten, dass die Dämmstoffe gegen Feuchtigkeit und Regen geschützt werden. Bei Arbeitsunterbrechung – insbesondere über Nacht – sind nicht verkleidete Dämmungen temporär durch geeignete Maßnahmen, z. B. Folie oder Planen, zu schützen.

Bei den Dämmarbeiten ist darauf zu achten, dass das Personal nicht über bereits isolierte Rohrleitungen oder auch Kabeltrassen läuft. Nicht selten verbleiben diese Kosten für Beschädigungen beim Auftraggeber, da die Beweis-pflicht für die Ursache etwaige Schäden beim ihm liegt.

#### 4.7.1 Wärmedämmung

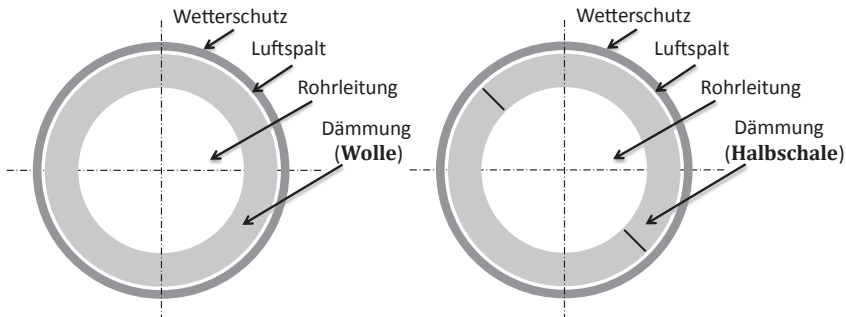
Als Wärmedämmung wird die Dämmung von Anlagenteilen bezeichnet, deren Temperatur über der Umgebungstemperatur liegt.

Die Auswahl eines Dämmsystems wird in der Betriebstechnik vor allem durch die vorherrschenden Prozessparameter, sowie durch das geforderte Wärmeschutz-niveau bestimmt. Erfolgt die Auslegung der Dämmung nur nach Kriterien des Berührungsschutzes, bleiben enorme Einsparpotentiale ungenutzt. Bei der Auslegung des Dämmsystems durch die Vorgabe maximaler Wärmeverluste sind prozesstechnische Parameter die ausschlaggebenden Größen. Oftmals werden hier allerdings traditionelle Pauschalwerte, wie die oft verwendeten  $150 \text{ W/m}^2$ , angesetzt.

Des Weiteren besteht gemäß VDI 215 die Möglichkeit die Dämmung nach wirtschaftlichen Parametern (Vergleich der Investitionskosten der Dämmung und deren Abschreibung mit den zu erwartenden Energieeinsparungen durch die Dämmung) auszulegen.

Auf Grund der steigenden Energiekosten wird diese Berechnungsweise zukünftig immer mehr an Bedeutung erlangen.

Die Auswahl des Dämmmaterials erfolgt unter folgenden Gesichtspunkten:



**Abb. 4.23** Aufbau einer Rohrleitungsisolierung

- thermische Eigenschaften (Wärmeleitzahl und deren Temperaturabhängigkeit)
- Anwendungsgrenztemperatur
- mechanische Eigenschaften
- chemische Verträglichkeit und Beständigkeit
- Beständigkeit gegen Feuchte
- Feuerbeständigkeit
- Kosten

Abbildung 4.23 zeigt den typischen Aufbau einer Rohrleitungsisolierung, einmal mit Mineralwolle, zum anderen mittels vorgefertigter Halbschale.

Bei der Auswahl des, um die Dämmung liegenden, Wetterschutzmantels sind folgende Überlegungen wichtig:

- Wirksame Feuchtigkeitsabweisung
- Korrosionsbeständigkeit gegenüber Chemikalien in der Umgebungsluft
- Beständigkeit gegenüber mechanischer Beanspruchung
- Mechanische Widerstandsfähigkeit
- Berücksichtigung des Brandverhaltens
- Kosten

#### 4.7.1.1 Begleitheizung

Mitunter ist es erforderlich, in die Wärmedämmung eine Begleitheizung zu integrieren.

Eine Begleitheizung hat die Aufgabe, Bauteile bzw. die darin befindlichen Medien, vor Auskühlung zu bewahren (Viskosität, Stabilität, Gefahr des Auskristallisierens usw.). Dabei geht es zum einen um Medien, die nicht alleine durch ihre Dämmung vor zu hohen Wärmeverlust geschützt werden, und zum anderen um Medien, die aufgrund der Umgebungsbedingungen Gefahr laufen einzufrieren.

Dazu gibt es folgende Arten von Begleitheizungen:

- Elektrische Begleitheizung

- Dampfbegleitheizung
- Begleitheizung mit Glykol
- Begleitheizung mit Warmwasser/-öle

Die Art der Begleitheizung, sowie die entsprechende Auswahl der Isolierung müssen in Kombination untereinander in der Lage sein, die prozesstechnischen Vorgaben (Temperatur) zu erfüllen.

Das Hauptziel der Begleitheizung ist es, die Wärmeverluste zwischen Innentemperatur der Rohrleitung bezogen auf die Umgebungstemperatur zu kompensieren.

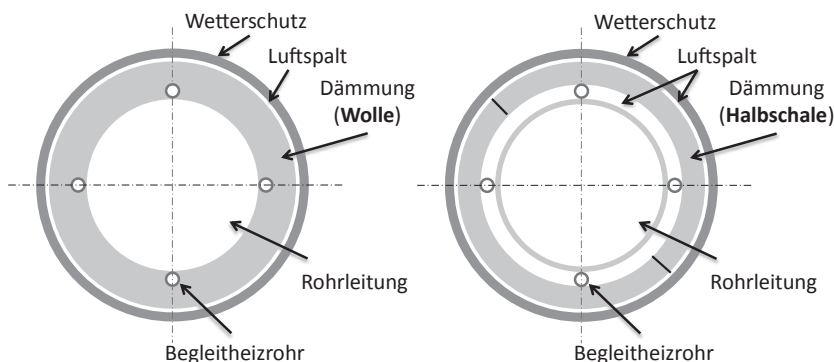
► **Einfach gesehen bildet die Begleitheizung eine Barriere gegen den von außen entstehenden Wärmeverlust.**

Die Art der Beheizung hängt demnach von der Beheizungsintensität und dem Energiebedarf ab.

Abbildung 4.24 zeigt den Aufbau der Isolierung bei der Verwendung einer Begleitheizung. Bei der Festlegung der Isolierung ist zu berücksichtigen, dass im Falle einer Isolierung und bei Verwendung von Halbschalen, der Innendurchmesser der Halbschale größer als der Außendurchmesser des zu isolierenden Rohres gewählt wird.

Ein weiteres Kriterium bei der Wahl der Begleitheizung erfolgt unter dem Gesichtspunkt, eines Anlagenstillstandes. Besteht die Gefahr, dass die Medien in der Rohrleitung aufgrund der Umgebungsbedingungen einfrieren können, empfiehlt sich in der Regel eine elektrische Begleitheizung, da Dampf und Warmwasser bei einem Anlagenstillstand üblicherweise nicht verfügbar sind. Wird Dampf oder Warmwasser als wärmendes Medium der Begleitheizung bestimmt, so richtet sich die Entscheidung zwischen beiden Medien nach Größe des Wärmeverlustes.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Wärmedämmung zu montieren:



**Abb. 4.24** Isolierung mit Begleitheizung

- Dämmung auf direkt aufgebrachtem Heizleiter (nicht zu empfehlen)
- Dämmung auf Heizleiter, der mit Aluminiumfolie oder Klebeband aufgebracht ist
- Dämmung mit auf der Rohrleitung aufgebracht Vordämmung
- Dämmung mit vorgefertigten Dämmschalen

Bei einer Dampfbegleitheizung ist sicherzustellen, dass die Einspeisung von Dampf immer am höchsten Punkt der Rohrleitung erfolgt, und dass das Kondensat am tiefsten Punkt abgeleitet werden kann.

Bei der Verwendung von Warmwasser als Heizmedium, erfolgt die Einspeisung am tiefsten Punkt und die Entnahme am höchsten Punkt. Hierdurch wird sichergestellt, dass das Begleitheizsystem auch entlüftet werden kann.

### 4.7.2 Kältedämmung

Als Kältedämmung wird die Dämmung von Anlagenteilen bezeichnet, deren Temperatur unterhalb der Umgebungstemperatur liegt.

Kältetechnische Anwendungen spielen in der Industrie eine bedeutende Rolle.

#### ► Kälteschutz ist ein umgekehrter Wärmeschutz.

Im Prinzip gelten die gleichen Aussagen für die Wärmedämmung auch für die Kältedämmung. Es ist nur zu beachten, dass der Energiefluss umgekehrt ist, d. h. es kommt zu einer Zuführung von Energie in die Anlagenteile.

Des Weiteren ist ein wichtiger Bestandteil der Kältedämmung die Vermeidung bzw. Verhinderung von Kondensat an der Außenseite der zu dämmenden Teile, oder an der Ummantelung der Dämmung.

Im Normalzustand nimmt Luft einen bestimmten Anteil von Feuchtigkeit an. Je wärmer die Luft, umso höher die Bereitschaft Feuchtigkeit aufzunehmen. Wird diese Luft abgekühlt, wird die Feuchtigkeit an die Umgebung abgegeben.

Überträgt man dieses physikalische Gesetz auf Dämmungen im Kältebereich, müssen die Dämmschichtdicken so dimensioniert werden, dass die Taupunkttemperatur auf der Dämmstoffoberfläche niemals unterschritten wird.

Um Tauwasser zu verhindern muss also in jedem Fall gewährleistet sein, dass die Oberflächentemperatur auf der Dämmung mindestens gleich oder höher ist als die Taupunkttemperatur bei definierten Umgebungsbedingungen. Des Weiteren ist die Vermeidung, beziehungsweise Verzögerung von Eindringen von Feuchtigkeit in die Dämmung, auf Grund des Dampfdruckgefälles, innerhalb der Dämmung zu Vermeiden oder Hinauszuzögern.

Eine durchfeuchtete Dämmung kann zu erheblichen Korrosionsschäden an den gedämmten Anlagenteilen und letztendlich zu einer kompletten Dysfunktion der Dämmung – mit Eisbildung an und in der Dämmung – führen.

Durch die Verwendung eines möglichst geschlossenzelligen (z. Schaumglas, Polyurethan oder Polystyren) Dämmmaterials mit einer hohen Dampfdiffusionsdichte (z. B. Schaumglas) und das Aufbringen einer Dampfbremse (metallische Folie oder Mastiks) auf der Außenseite der Dämmung kann dieses vermieden bzw. hinausgezögert werden,

Die Auswahl des Dämmmaterials erfolgt unter folgenden Gesichtspunkten:

- thermische Eigenschaften (Wärmeleitzahl und deren Temperaturabhängigkeit)
- Anwendungsgrenztemperatur
- Dampfdiffusionsfaktor
- Geschlossenzelligkeit
- Fähigkeit zur Aufnahme von Wasser
- mechanische Eigenschaften
- chemische Verträglichkeit und Beständigkeit
- Beständigkeit gegen Feuchte
- Feuerbeständigkeit
- Kosten

Wird die Dichtheitsprüfung kaltegedämmter Rohrleitungen mit Betriebsmedium unter Betriebsbedingungen (Arbeitstemperatur) durchgeführt, so sind Armaturen und Flanschen provisorisch (z. B. mit Mineralfaser-Matten) zu dämmen, um eine Vereisung zu vermeiden.

Bei der Verarbeitung ist darauf zu achten, dass die Verarbeitungsrichtlinien des Herstellers beachtet werden und die auf den Dämmstoff abgestimmten Hilfsmittel (Korrosionsschutz, Kleber, Beschichtungsstoffe usw.) eingesetzt werden.

Die Halterungen der Rohrleitungen sind mit Kälteschellen auszuführen. Wenn in den Kälteschellen ein anderer Dämmstoff als für die Rohrleitungsdämmung eingesetzt wird, ist die Verträglichkeit der eingesetzten Hilfsstoffe (Korrosionsschutz, Kleber, Beschichtungsstoffe usw.) für beide Dämmstoffe sicherzustellen.

#### *Weiterführende Literatur*

- DIN 4140: Dämmarbeiten an betriebs- und haustechnischen Anlagen. Ausführung von Wärme- und Kälteedämmung. Stand: März 2008 bzw. neueste Fassung
- VDI-Richtlinie 2055: Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen. Berechnungen. Gewährleistungen, Mess- und Prüfverfahren, Gütesicherung, Lieferbedingungen. Stand 2009 (Teil 1) bzw. 2010 (Teil 3)

### **4.7.3 Wetterschutz**

Bei der Auswahl des um die Dämmung liegenden Wetterschutzmantels sind folgende Überlegungen wichtig:



- Wirksame Feuchtigkeitsabweisung
- Korrosionsbeständigkeit gegenüber Chemikalien in der Umgebungsluft
- Beständigkeit gegenüber mechanische Beanspruchung
- Mechanische Widerstandsfähigkeit
- Berücksichtigung des Brandverhaltens
- Kosten

Für den Wetterschutz sind Bleche aus feuerverzinktem Stahlblech, Alu-Zink beschichtete Bleche, Edelstahlbleche oder Aluminiumbleche beschichtet oder unbeschichtet als Ummantelungen zu verwenden.

In Sonderfällen kann auch die Ummantelung mittels PVC-Folien oder aus Epoxid-Harzen sinnvoll sein.

Die Anlieferung der Bleche kann in Rollen oder Tafeln erfolgen. Für große Flächen (z. B. Tanks oder gerade Flächen) können auch profilierte Bleche verwendet werden.

Die vorgeschriebenen Blechdicken dürfen nicht unterschritten werden. Ummantelungen aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen dürfen in Anlagen, in denen Natronlauge hergestellt oder verarbeitet wird, nicht verwendet werden.

Die Ummantelung ist stabil und rutschfest anzubringen, so dass keine Schäden an den Ausrüstungen entstehen können.

Die Überlappung der Längsstöße sollte mind. 50 mm betragen. Die Überlappung und Anordnung der Nähte sollte so erfolgen, dass das Eindringen von Wasser (Regen/Reinigung) vermieden wird (Dachziegeleffekt). **Silikon oder Dichtband kann keine ordnungsgemäße Anordnung der Überlappungen/Nähte ersetzen!**

Bei Ummantelungen von Rohrleitungen und Bögen sind nur die Längsstöße zu verschrauben. Bei waagerecht verlaufenden Rohrleitungen sind die Längs-Stöße der Ummantelung, um ca. 100 mm versetzt, im Bereich von ca. „08.00Uhr“ bzw. „4:00Uhr“ anzuordnen.

Rohrbogen sind mit einzelnen, gleich breite Segmente zu ummanteln. Die Rundstöße dürfen „Sicke in Sicke“ ausgeführt werden. Die Längsstöße der Segmente sind ausreichend zu überlappen. Bei Rohrbögen mit Nennweiten  $\leq$  DN 15 kann auf die Ummantelung mit Segmenten verzichtet werden.

Die Abstände der Blechschrauben untereinander sollten ca. 100 mm (bei Ortschäumung) bis 150 mm (bei Wärmedämmung) betragen. Die Ummantelung von Kälteedämmungen sollte lediglich mit Bändern befestigt werden.

Bei Verwendung von Schrauben und Nieten ist eine Beschädigung der Dampfbremse durch Anordnung des Blechmantels mit einem Luftspalt zur Dämmung zu vermeiden. Der Abstand des Blechmantels zur Dämmung kann durch eine Zwischenlage von z. B. Noppenfolien- oder Zackenblechstreifen erreicht werden. Eine Zwischenlage aus Dämmmaterial, z. B. Dämmfilz ist nicht zu empfehlen, da dies zu Durchfeuchtung des Dämmfilzes und damit zur vermehrten Korrosion führen wird.

Bei rotierenden oder Vibrationen ausgesetzten Ausrüstungen sind Kunststoffscheiben oder Federringe zur Sicherung der Schrauben mit einzubauen und/oder eine zusätzliche Sicherung mittels Spannbändern vorzusehen.

Bei gedämmten Behälterköpfen ist die Ummantelung entsprechend der Bodenform, z. B. in Zeppeinform auszuführen. Kleinere Durchmesser können auch in halbrunder Form oder mit s. g. „Chinesenhüten“ verkleidet werden.

Für begehbare Flächen sind die Ummantelung und die Unterkonstruktion ausreichend zu versteifen. Evtl. ist auch eine Verwendung eines druckfesteren Dämmmaterials (z. B. Tankdachdämmplatten) sinnvoll. Begehbare Flächen sind durch farbige Markierungen zu kennzeichnen.

Kunststoffbeschichtete Bleche sind mit entsprechender Sorgfalt zu behandeln. Sichtbar bleibende Schnittkanten sind mit einem geeigneten Schutzlack zu überziehen. In Sonderfällen (z. B. bei korrosiver Atmosphäre) sind die Bleche vor dem Runden an den Längs- und Rundstößen ca. 10 mm breit nach innen abzukanten.

Für die Ummantelung großer Flächen sind versteifte oder profilierte Bleche zu verwenden.

Bei Ausrüstungen und Rohrleitungen im Freien, die mit Unterbrechungen betrieben werden, ist es empfehlenswert zur Ableitung von Kondenswasser den Blechmantel mit einem Abstand zum Dämmmaterial (Zwischenlage von Noppenfolien- oder Zackenblechstreifen unterhalb der Rundnähte) zu montieren. Desweiteren sind Bohrungen von min. 10 mm Durchmesser im Abstand von ca. 300 mm in die Tiefpunkte der Ummantelung vorzusehen.

An Flanschverbindungen ist die Ummantelung nur so weit heranzuführen, dass die Schrauben unbehindert ausgebaut werden können.

Die Enden der Ummantelung sind mit zwei- oder mehrteiligen Stirnscheiben abzuschließen. Die Stirnscheiben sind in Sicken einzulegen oder in die Ummantelung einzufallen. Stirnscheiben dürfen die zu dämmende Oberfläche nicht berühren. Bei Elektrokabelheizung sind die Stirnscheiben so auszuführen, dass das Begleitheizkabel nicht beschädigt werden kann.

Die Dämmkappen der Flansche und Armaturen sollten die anschließende Rohrleitungsdämmung um mindestens eine Dämmdicke überragen.

An Stützen, Rohrunterstützungen, Aufhängungen und anderen Durchdringungen ist die Ummantelung sauber auszuschneiden und abzudichten.

Bei einer Ortschäumung mittels Polyurethan sind alle Stöße der Ummantelung und die Durchdringungen so abzudichten, dass die Ummantelung die Funktion einer Dampfbremse erfüllt.

Bei der Dämmung von Anlagenteilen mit einer Begleitheizung, insbesondere bei elektrischen Begleitheizungen, sind die Begleitheizungen mittels Aluminiumfolie oder Blechstreifen abzudecken, damit keine Dämmmaterialien zwischen Heizträger und den Anlagenteilen geraten kann.

#### 4.7.4 Schallschutz

Umweltschutz wird auch durch den Schallschutz praktiziert. Als Grundlage für eine angenehme Arbeitsatmosphäre unterstützen Schallschutzmaßnahmen die Gesundheit und die Arbeitsatmosphäre von Personen. Lärm entsteht zum einen durch Betriebsgeräusche von Maschinen, Pumpen und anderen technischen Installationen und zum anderen auch durch Medien, die mit hohen Geschwindigkeiten durch Leitungen strömen.

Die Dämmung der zu dämmenden Anlagenteile erfolgt in den meisten Fällen mit einer kombinierten Wärme-/Kälte-Schalldämmung.

Dies ist in den meisten Fällen eine Kombination von Dämmmaterialien mit höherer Masse unter Verwendung von federnden, schwingungsdämpfenden Elementen (S-/Ome-gabügeln) bei den Stegen der Unterkonstruktion und der Verwendung von massehaltigen, schwingungsarmen Ummantelungen (z. B. Stahlblechen mit aufgebrachtener „Entdröhnung aus Schwerspaltfolie“). Es ist insbesondere auf eine spaltfreie Ausführung des Blechmantels zu achten, da schon kleine Spalte in der Dämmung und der Ummantelung zu einer erheblichen Reduzierung der schalldämmenden Wirkung führen können.

Für die Schalldämmung von Turbine, Apparaten, Maschinen und Pumpen werden häufig Einhausungen oder Hauben verwendet, wie z. B. durch Billfinger Gerber GmbH beschrieben (Abb. 4.25).

Schalldämmende Hauben mindern die von Maschinenoberflächen abgestrahlten Geräusche. Ein zusätzlicher Vorteil ist der Schutz von Maschinen oder die Abschottung elektrischer Einrichtungen vor schädlichen Umgebungseinflüssen. Maßgebend für die erzielbare Schalldämmung, insbesondere im tieffrequentierten Bereich, ist im Wesentlichen die Masse der Außenschale. Bei hochfrequenten Geräuschen, wie sie bei Turbinen und Turboverdichtern auftreten, ist eine Konstruktion ohne Fugen und Undichtigkeiten zur Erzielung hoher Pegelminderungen erforderlich.

Standardhauben erreichen Schallreduzierungen um bis zu 30 dB. Mit Spezialkonstruktionen lassen sich bis zu 55 dB Pegelreduzierungen realisieren. Die akustische Auslegung erfolgt grundsätzlich frequenzabhängig unter Berücksichtigung des Schallspektrums der Maschine, um die Auflagen für die zulässigen Geräusche am Arbeitsplatz oder in der Nachbarschaft zu erfüllen.

**Abb. 4.25** Schallschutzhaube.  
(Bild: Gerber-Bilfinger GmbH)



Schallhauben können in Gebäuden oder im Freien aufgestellt werden, sie können in begehbaren und nicht begehbaren Ausführungen geliefert werden. Falls erforderlich können auch elektrische Zusatzeinrichtungen, Zwangsbelüftung, Beleuchtung und anderes Zubehör integriert werden. [20]

#### 4.7.5 Brandschutz

Der Brandschutz ist eine vorbeugende Maßnahme zum Schutz von Menschen, Gebäuden und Anlagen.

Auf der Webseite „Baunetzwissen, Beton“ werden die Ziele des Brandschutzes wie nachfolgend aufgeführt beschrieben:

Die wesentlichen Ziele der Brandschutzplanung sind:  
die Vorbeugung der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch  
im Falle eines Brandes die Ermöglichung wirksamer Löscharbeiten  
der Schutz der Gesundheit und des Lebens der Nutzer und der Retter durch Ausbildung ausreichend geschützter Rettungswege  
der Schutz der Gebäudesubstanz, des Inventars und der Betriebsbefähigung  
der Schutz der Umwelt vor giftigen Brand- bzw. Reaktionsgasen.  
Um diese Ziele erreichen zu können, ist die Beachtung verschiedener Randbedingungen erforderlich. Dazu gehören neben dem Nutzungskonzept, den Arbeits- und Betriebsabläufen für das Gebäude (z. B. Anzahl der Nutzer, Häufigkeit und Intensität ortsunkundigen Besucherverkehrs, Materialflüsse bei Produktionen) auch die Gebäudegeometrie wie z. B. die Fläche, die interne Zugänglichkeit und die Höhe. Die Planung von Löscharbeiten erfordert zudem die Berücksichtigung der Grenzabstände zu benachbarten Gebäuden, die Anbindung an die öffentlichen Verkehrswege und die Aufstell- und Bewegungsfläche für die Feuerwehr. [21].

Aufgabe der vorbeugenden Branddämmung ist es, einen Puffer (Standicherheit der Konstruktion) für die Zeit nach Ausbruch eines Brandes zu schaffen um Evakuierungsmaßnahmen durchzuführen und zu vermeiden, dass der Bau bis zur Brandbekämpfung durch die Einsatzkräfte größeren Schaden erleidet.

Je nach Beanspruchung und Funktion des Bauteils (z. B. Traglast, Anforderung an die Begrenzung der Wärmeabstrahlung) müssen unterschiedliche Bauteile die Feuerwiderstandsdauer unter besonderen Anforderungen einhalten. Die Ermittlung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer kann in Anlehnung an DIN 18230, durch geeignete Simulationsberechnung oder durch Brandversuche durchgeführt werden. [21]

Des Weiteren werden durch Abschottungen die Ausbreitung eines Brandes – u. U. entlang einer Kabeltrasse oder Rohrleitung von einem Raum (Brandabschnitt) in den anderen verhindert bzw. verzögert.

Geeignete Dämmmaterialien sind nicht brennbare Dämmmaterialien, z. B. Mineralfaser, oder Schaumglas für Prozessanlagen bzw. Vermiculite haltige Betone, Promatverkleidungen oder feuerhemmende Anstriche für Stahlkonstruktionen.

**Tab. 4.12** Brandklassen

| Bauaufsichtliche Bezeichnung | Brandklassen nach DIN EN 13501 Teil 1 | Bemerkung                 |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| Nicht brennbar               | A1                                    |                           |
|                              | A2 – s1 d0                            | Kein Rauch/kein Abtropfen |
| Schwer entflammbar           | B, C – s1 d0                          | Kein Rauch/kein Abtropfen |
|                              | B, C – s3 d0                          | Kein Rauch                |
|                              | B, C – s1 d2                          | Kein Rauch                |
|                              | B, C – s3 d2                          |                           |
| Normal entflammbar           | D – s3 d0                             | Kein Abtropfen            |
|                              | D – s3 d2                             |                           |
|                              | E – d2                                |                           |
| Leicht entflammbar           | F                                     |                           |

Die Klassifizierung des Brandschutzes von Anlagenteilen erfolgt nach Brandklassen, z. B. F30, F90, F120 etc.

Die Zahlen in der Klassifizierung geben an, in welchem Zeitraum die Anlagenteile ihre Funktionsfähigkeit im Falle eines Brandes durch die Brandschutzmaßnahme behalten.

Es ist darauf zu achten, dass nur bauaufsichtlich zugelassene Brandschutzsysteme oder Brandabschottungen zur Anwendung kommen.

Diese Systeme sind wie spezifiziert zu verwenden. Evtl. notwendige Änderungen können zum Erlöschen der Zulassung führen und sind mit dem Hersteller, der Feuerwehr und den bauaufsichtlich zuständigen Behörden abstimmen und genehmigen zu lassen.

Tabelle 4.12 stellt die Brandklassen nach den bauaufsichtlichen Bezeichnungen und der DIN EN 13501 gegenüber.

#### 4.7.6 Kontrolle und Prüfungen

Zur Qualitätskontrolle der Dämmung sollte gemeinsam mit dem ausführenden Unternehmer ein Quality-Inspektion-Plan (QIP) erarbeitet werden. Inhaltlich sollten nachfolgende Punkte, als Mindestanforderung erfasst werden, und baubegleitend überwacht werden:

- Eingangskontrolle der Dämmmaterialien
- Zustand des Untergrundes vor Aufbringen der Isolierung
- Kontrolle der homogenen, ohne offene Fugen aufgetragenen Dämmung
- Kontrolle der Dämmdicke
- Kontrolle des Wetterschutzmantels
- Kontrolle der Dampfbremse (bei Kälte-dämmungen)

Die Kontrollen sollten in Übereinstimmung mit der VDI 2055 und den vereinbarten Standards und Spezifikationen erfolgen.

---

## 4.8 Elektrotechnik

Die Elektrotechnik stellt die elektrische Versorgung der Anlage sicher. Im Vergleich zu anderen Gewerken auf der Baustelle, wie z. B. die Rohrleitungsmontage, benötigt die E-Technik einen geringeren Personalaufwand, ist aber nicht minder unwichtig. Während Rohrleitungen der Beförderung von Gasen, Dämpfen und Flüssigkeiten zu Maschinen und Apparaten dienen, sind es bei der Elektrotechnik die Leitungen bzw. Kabeln durch die die elektrische Energie geleitet wird. Alle mechanisch bewegten Geräte wie Rührwerke oder Trockner und fast alle Maschinen (außer dampfgetriebene) werden durch Elektromotoren angetrieben.

Durch die Kabel werden die elektrischen Verbraucher und Einrichtungen mit Strom versorgt. Je nach Größe der Anlage werden mehrere hundert Kilometer Kabel ober- und unterirdisch verlegt.

Elektrische Einrichtungen bzw. Verbraucher sind u. a.:

- Schalthäuser/Schaltanlagen
- Transformatoren
- Elektromotoren
- Elektrische Heizsysteme
- Beleuchtungen

Durch die Kabel werden die elektrischen Verbraucher und elektrischen Einrichtungen mit Strom versorgt.

In der E-Technik wird zwischen Kabel und Leitung unterschieden. Die Unterscheidung ist wie folgt:

► **Eine Leitung besteht aus einem Leiter mit Isolierung.**

**Ein Kabel besteht aus mehreren Leitungen.**

Zum Vergleich können die Abb. 4.26 Leitungsarten und Abb. 4.27 Kabelarten hinzugezogen werden.

### 4.8.1 Verlegen von Kabeln

Das Verlegen und die Verlegearten von elektrischen Kabel werden in der DIN VDE 0 100-520 geregelt.

Während der Installation von Kabel sind fremde Einflüsse, resultierend aus einer thermischen und/oder mechanischen Beanspruchung, zu vermeiden. Im Allgemeinen sind Ka-

**Abb. 4.26** Leitungsarten.  
(Bild: Landesamt für Natur,  
Umwelt und Verbraucher-  
schutz Nordrhein-Westfalen)

| Leitungen                                                        |           |               |                            |          | DIN VDE 0281 T. 1/04.86<br>DIN VDE 0282 T. 1/04.85                                                                        |
|------------------------------------------------------------------|-----------|---------------|----------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Isolierte Leitungen für feste Verlegung                          |           |               |                            |          |                                                                                                                           |
| Bezeichnung                                                      | Abbildung | Kurzzeichen   |                            | Aderzahl | Verwendung                                                                                                                |
|                                                                  |           | alt           | neu                        |          |                                                                                                                           |
| Kunststoff-Fassungs-<br>adern                                    |           | NYFA<br>NYFAF | HO5V-U<br>HO5V-K           | 1        | Verdrahtung in Leuchten                                                                                                   |
| Gummi-<br>aderleitung<br>mit erhöhter<br>Wärme-<br>beständigkeit |           | N2GAFU        | HO5SJ-K                    | 1        | Verdrahtung in Leuchten,<br>in Schalt- und Verteiler-<br>anlagen. Verlegung in<br>Röhren in trockenen<br>Räumen bis 180°C |
| Kunststoff-<br>ader-<br>leitungen                                |           | NYA<br>NYAF   | HO7V-U<br>HO7V-R<br>HO7V-K | 1        | Verdrahtung in Schalt-<br>und Verteileranlagen.<br>Verlegung in Röhren in<br>trockenen Räumen                             |
| Steg-<br>leitungen                                               |           | NYIF          | —                          | 2 ... 5  | Verlegung in oder unter<br>Putz in trockenen<br>Räumen                                                                    |
| Mantel-<br>leitungen                                             |           | NYM           | —                          | 1 ... 5  | Verlegung auf, in und<br>unter Putz in trockenen<br>und feuchten Räumen<br>und im Freien                                  |
| Bleimantelleitungen                                              |           | NYBUY         | —                          | 1 ... 5  | Verlegung auf, in, unter<br>und über Putz in trok-<br>kenen und feuchten<br>Räumen und im Freien                          |

bel bei Temperaturen zwischen 5 und 70 °C zu verlegen. Hierbei bezieht sich die Tempe-  
ratur auf das Kabel und nicht für die Umgebungstemperatur. Sind die Kabeltemperaturen  
kleiner als 5 °C, so ist das Kabel anzuwärmen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Ka-  
beltemperatur während des gesamten Installationsvorgangs nicht unter den Vorgabewert  
sinkt. Grundsätzlich sind die Herstellerangaben zur Verlegung einzuhalten.

Mechanische Belastungen entstehen durch das Ziehen des Kabels beim Verlegen, durch  
das Biegen und durch die Befestigung mittels Schellen und Binder.

Die Zugbelastung beim Verlegen darf 50 N/mm<sup>2</sup> bei fester Installation und 15 N/mm<sup>2</sup>  
für ortsveränderliche Betriebsmittel, wie z. B. Hallenkrane nicht überschreiten.

Beispiel

Bei der Verlegung eines fünfadrigen Kabels mit 1,5 mm<sup>2</sup> Querschnitt zum An-  
schluss an eine stationäre Maschine beträgt die maximale Zugspannung 375 N.  
(5 × 1,5 mm<sup>2</sup> × 50 N/mm<sup>2</sup> = 375 N)

Bei zu hohen Zugkräften wird durch das Fließen des Materials der Querschnitt des Leiters  
reduziert. Ein verringerteter Leiterquerschnitt führt zu einer höheren Stromdichte und somit  
zur Erwärmung des Leiters.

Die zulässigen Biegeradien werden in der DIN VDE 0298-3 geregelt. Demzufolge sind  
die zulässigen Biegeradien z. B. für mehradrige kunststoffisolierter Kabel viermal dem  
Kabeldurchmesser. Der kleinste zulässige Biegeradius ist der Radius, mit der geringsten  
Krümmung, die ein Kabel bei der Verlegung erhalten darf, ohne Schaden zu nehmen.



| Kabelarten                                  |                                                                                                                                                   |                                                                                   |                                                                                                 | DIN VDE 0271/06.86<br>DIN VDE 0100 T.540/05.86                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                  |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Kabelbezeichnungen                          |                                                                                                                                                   |                                                                                   |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                  |
| Kurzz.                                      | Erklärung                                                                                                                                         |                                                                                   | Kurzz.                                                                                          | Erklärung                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                  |
| N                                           | genormte Ausführung, folgende Buchstaben in der Reihenfolge des Kabelaufbaus angefügt                                                             |                                                                                   | B<br>CW                                                                                         | Bewehrung aus Stahlband konzentrischer, wellenförmiger aufgebrachtter Leiter                                                                                                                                                                                        |                                                                                  |
| A<br>H<br>E                                 | Leiter aus Aluminium<br>Schirmung (Höchststädter-Kabel)<br>Mehrmantelkabel, einzeln mit Metall- und Korrosionsschutz umgebene und verseilte Adern |                                                                                   | F<br>FO<br>R<br>RO<br>Gb                                                                        | Bewehrung aus Stahlflachdraht<br>Bewehrung aus Stahlflachdraht - offen<br>Bewehrung aus Stahlrunddraht<br>Bewehrung aus Stahlrunddraht - offen<br>Gegen- oder Haltewendel aus Stahlband mit mindestens 50 % Bedeckung<br>Bewehrung aus Z-förmigem Stahlprofil-draht |                                                                                  |
| K<br>KL<br>E                                | Bleimantel<br>gepreßter, glatter Al-Mantel<br>Schutzhülle mit eingebetteter Schicht (Bewicklung aus Kunststoff)                                   |                                                                                   | Z                                                                                               | Bewehrung aus Z-förmigem Stahlprofil-draht                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                  |
| Y                                           | Schutzhülle in Form eines Mantels aus thermoplastischem Kunststoff                                                                                |                                                                                   | A<br>Y                                                                                          | Schutzhülle bzw. äußere Schutzhülle aus Faserstoffen<br>Mantel aus PVC                                                                                                                                                                                              |                                                                                  |
| Kabelarten (Auswahl)                        |                                                                                                                                                   |                                                                                   | Kabelangaben über Leiterform und Leiteraufbau                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                  |
| Niederspannungskabel bis $U_0/U = 0,6/1$ kV |                                                                                                                                                   |                                                                                   | Abbildung                                                                                       | Kurzz.                                                                                                                                                                                                                                                              | Erklärung                                                                        |
| Bezeichng.                                  | Abbildung                                                                                                                                         | Erklärg./Verwendg.                                                                |                | SM                                                                                                                                                                                                                                                                  | sektorförmiger Leiter, mehrdrähtig                                               |
| NKBA<br>0,6/1 kV                            |                                                                  | Massekabel mit äußerer Schutzhülle, Leitungsnetze                                 |                | SE                                                                                                                                                                                                                                                                  | sektorförmiger Leiter, eindrätig                                                 |
| NY Y<br>0,6/1 kV                            |                                                                  | Kunststoffkabel, im Freien und in der Erde, Ortsnetze                             |              | RM                                                                                                                                                                                                                                                                  | runder Leiter, mehrdrähtig                                                       |
| NAY Y<br>0,6/1 kV                           |                                                                | Al-Kabel, im Freien, in der Erde, im Wasser, Ortsnetze                            |              | RE                                                                                                                                                                                                                                                                  | runder Leiter, eindrätig                                                         |
| NYCWY<br>NAYCWY<br>0,6/1 kV                 |                                                                | Al-Kabel mit konzentrischem Cu-Leiter, Verwendung wie NAYV                        | <b>Zuordnung<sup>1)</sup> des Schutz- oder PEN-Leiters zum Außenleiter (Auszug)</b>             |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                  |
| NAKLEY<br>0,6/1 kV                          |                                                                | Massekabel mit PVC-Schutzhülle und Al-Mantel als PEN-Leiter, Verwendung wie NAY Y | Querschnitt in mm <sup>2</sup> von                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                  |
| Mittelspannungskabel $U_0/U = 17,3/30$ kV   |                                                                                                                                                   |                                                                                   | Außenleiter                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                     | Schutz- oder PEN-Leiter                                                          |
| NKBA<br>NAKBA<br>3,6/6 kV<br>6/10 kV        | Aufbau wie Niederspannungskabel mit dickerer Isolierung                                                                                           | Massekabel, Innenräume, Erdverlegung in Netzen                                    | 1,5<br>2,5<br>4<br>6<br>10<br>16<br>25                                                          | 35<br>50<br>70<br>95<br>120<br>150<br>185                                                                                                                                                                                                                           | 1,5<br>16<br>2,5<br>25<br>4<br>35<br>6<br>50<br>10<br>70<br>16<br>70<br>16<br>95 |
| NYFGb<br>3,6/6 kV                           |                                                                | Kunststoffkabel mit Stahldrahtbewehrung, Industriennetze                          | <sup>1)</sup> Zuordnung gilt für isolierte Starkstromleitungen und 0,6/1 kV-Kabel mit 4 Leitern |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                  |

**Abb. 4.27** Kabelarten. (Bild: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen)



Werden die minimalen Biegeradien nicht eingehalten, kann es zu Materialstreckungen bzw. Stauchungen kommen. Hierbei wird wiederum der Querschnitt der Leiter verändert, was gleichzeitig zu einer Änderung der elektrischen Eigenschaft führt.

Bei der Befestigung der Kabel durch Schellen und Binder ist sicherzustellen, dass keine Kabelquetschungen entstehen. Bei beweglichen Anschlüssen sind die Klemmleisten dahingehend zu überprüfen, dass die erforderliche Zugkraft aufgenommen werden kann, um ein Lösen der Leiter zu vermeiden, auf der anderen Seite aber keine Beschädigung des Kabels erreicht wird.

Da mehrere Kilometer Kabel in einer verfahrenstechnische Anlage verlegt werden, werden die Kabeln auf Kabeltrommeln angeliefert.

Die Kabeltrommel sollte möglichst nah an den Einsatzort transportiert werden. Ein Rollen der Trommel ist nach Möglichkeit zu vermeiden. Ist es nicht möglich, die Kabeltrommel nahe dem Einbauort zu platzieren, erfolgt das Abziehen der Kabel von der Trommel über Führungsrollen.

Grundsätzlich ist das Ziehen von Kabel über harte und scharfe Kanten unzulässig.

Das Kabel ist beim Verlegen von der aufgebockten Kabeltrommel grundsätzlich entgegen der markierten Pfeilrichtung abziehen.

Kommt es zu Unterbrechungen beim Abrollen der Kabel, sollte die Kabeltrommel ebenfalls zu Stillstand kommen. Die Kabelzugwinde muss mit einer Zugkraft-Messanzeige oder einer einstellbaren Zugkraft-Abschaltung ausgerüstet sein. Ein weiteres Abrollen, ohne die erforderliche Zugspannung, kann zum Abknicken des Kabels führen und ist somit zu vermeiden.

Vor und während der Kabelverlegung ist die Oberfläche hinsichtlich Beschädigungen zu kontrollieren.

Die Zugbeanspruchung der Kabel soll möglichst gering gehalten werden. Die nachstehenden Zugbeanspruchungen für Kabel sollten nicht überschritten werden. Es gelten jedoch grundsätzlich die Angaben der Hersteller.

Die Enden geschnittener Kabel sind sofort gegen Eintritt von Feuchtigkeit und Schmutz zu schützen.

#### **4.8.1.1 Verlegen von unterirdischen Kabeln**

Unterirdische Kabel können in Gräben, Kanälen, Formsteinen oder Schutzrohren verlegt werden.

Die Regelüberdeckung richtet sich im Allgemeinen nach der Abhängigkeit der jeweiligen Funktion des Kabels. So sind folgende Mindestüberdeckungen als Richtwerte für Kabelgräben einzuhalten.

- Kabel unter Fahrbahnen und Verkehrsflächen 1,30 m
- Kabel unter Gehwegen 0,60 m
- 110 kV Kabel 1,20 m

Die Kabelgrabensohle sollte eben und steinfrei hergestellt werden, und mit einer Sandschicht versehen werden.

Bei übereinander angeordneten Kabellagen im Kabelgraben sollte die Verlegetiefe für die oberste Kabellage 0,6 m betragen. Geringere Verlegetiefen sind unter Umständen an einzelnen Stellen (z. B. Kreuzungen von Kabeln) zulässig. Bei Kreuzungen von Kabeln sind die Kabellagen durch eine 10 cm dicke Sandschicht voneinander zu trennen. Die Sandschicht muss mindestens einer Länge von 0,5 m über die Kreuzung hinausragen.

Niederspannungskabel dürfen ohne Abstand voneinander verlegt werden. Gruppen von Hochspannungs-, Niederspannungs- und Schwachstromkabel sind durch Betonriegel oder Ziegelsteine voneinander zu trennen.

Alle Öffnungen von Formsteine und Schutzrohre, auch die nicht benutzten Öffnungen, sind gegen Eindringen von Sand und Feuchtigkeit abzudichten.

Die Kabel sind vor dem Einbetten mit Sand auf Durchgang und Isolationswiderstand zu prüfen. Jede eingebettete Kabellage ist mit Ziegelsteinen, Betonplatten oder Kunststoffplatten abzudecken. Die weitere Verfüllung oberhalb der letzten Abdeckung sollte in Lagen von ca. 300 mm Dicke erfolgen. Verdichtungsgeräte (z. B. Schnellschlagstamper oder Vibrationsplatten) dürfen erst ab 0,75 m oberhalb der letzten Abdeckung eingesetzt werden. Ein Einschlämmen der Kabel ist nicht erlaubt.

Zur Sicherung gegen zukünftige Erdarbeiten ist ein Trassenwarnband in den Graben oberhalb der Kabel bzw. Kabelrohre auszulegen. Bei Parallelverlegung mehrerer Kabel oder Rohre sollte der Minimalabstand zwischen zwei Trassenwarnbändern von 20 cm nicht überschritten werden.

#### **4.8.1.2 Verlegen von oberirdischen Kabeln**

Oberirdische Kabel können auf Kabelträgern (Pritschen oder Wannen), in Schutzrohren oder auf Schellen verlegt werden.

Es ist darauf zu achten, dass Kabel Prozessausrüstungen und andere Ausrüstungen in Bezug auf deren Bedienung und Wartung nicht beeinträchtigen.

Transportwege dürfen durch die Kabel nicht verbaut werden.

Kabel und Kabelbündel auf waagerechten Kabelträgern sind auszurichten und im Abstand von ca. 3 m an Abzweigungen, sowie vor und hinter jedem Bogen zu befestigen. Kabel und Kabelbündel auf senkrechten Kabelträgern sind im Abstand von ca. 600 mm zu befestigen. Kleine Kabel dürfen zu Bündeln zusammengefasst werden. Hochspannungskabel und Kabel mit mehr als 40 mm Außendurchmesser sind einzeln zu befestigen. Die Kabel dürfen maximal in drei Lagen verlegt werden.

Kabel, die von Haupttrassen zu Verteilern oder örtlichen Verbrauchern abgezweigt werden, können auf StICKKabelpritschen, in Kabelwannen oder Schutzrohren verlegt werden.

Bei der Verlegung von Kabeln in Schutzrohren sind die Schutzrohre als offenes System (ohne Bögen) anzuordnen.

Durch entsprechenden Schutz oder geeignete Werkstoffe ist Kontaktkorrosion (z. B. zwischen Zink und Aluminium) zwischen Schutzrohren, Verbindungselementen und Schellen zu vermeiden. Schutzrohre aus Metall sind rechtwinklig abzuschneiden und

sauber zu entgraten, um eine Beschädigung des Kabels zu verhindern. Bögen werden unter Verwendung von Biegematrizen, und unter Berücksichtigung des zulässigen Biegeradius des Kabels, kalt gebogen.

Die Schutzrohre sind mit Schellen zu befestigen.

In Ländern mit starker Sonneneinstrahlung sollte für Kabeltrassen außerhalb von Gebäuden ein UV-Schutz vorgesehen werden. Kabeltrassen-Abschnitte, die sich ständig im Schatten von Gebäuden oder Ausrüstungen befinden, erfordern keinen UV Schutz. Einzelheiten sind entsprechend den klimatischen Bedingungen festzulegen.

Der Sonnenschutz ist auf der Baustelle (z. B. aus Aluminiumblech) entsprechend der Breite des Kabelträgers anzufertigen und mit geeigneten Halterungen zu befestigen. Der Sonnenschutz muss demontierbar sein und einen ausreichenden Abstand zu den Kabeln haben.

### **4.8.2 Verlegen von Kabel durch Gewässer**

Müssen Kabel durch Gewässer verlegt werden sind die Auflagen der zuständigen Behörden zu beachten. Eine wesentliche Gefährdung besteht in Gewässern durch das Auswerfen der Anker von Booten. Um die Kabel vor Beschädigungen hierdurch zu schützen, wird das Kabel in Rinnen verlegt. Die Rinnen werden nach dem Bagger- oder Einspülverfahren hergestellt. Zur Kennzeichnung einer Kabelkreuzung sind bei schiffbaren Gewässern Ankerverbotstafeln erforderlich.

Kabelverlegungen durch Wassergräben werden meistens im Baggerverfahren hergestellt. Die Mindestüberdeckung beträgt dabei 1,50 m. Darüber hinaus ist Sicherzustellen, dass das Kabel bzw. Kabelrohr nicht aufgeschwemmt wird.

### **4.8.3 Kabelträgersysteme**

Die Lage der Kabeltrassen ist in Installationsplänen oder in einem Modell festgelegt. Trotzdem kommt es immer wieder vor, dass die geplante Trassenführung durch geplante und/oder vorhandene Rohrleitungen behindert wird. Hier ist jeweils eine Einzelfallentscheidung erforderlich. Es gilt den jeweiligen geringsten Aufwand für die Korrekturmaßnahme zu ermitteln.

Die Kabelträger sind auf der gesamten Trassenlänge so miteinander zu verschrauben, dass eine leitende Verbindung besteht. Das Kabelträgersystem ist an mehreren Stellen mit dem Erdungssystem zu verbinden.

### **4.8.4 Schalthäuser, Schaltanlagen**

Die Installation der elektrischen Ausrüstungen wie Schaltanlagen, Transformatoren und Akkumulatoren erfolgt erst dann, wenn die Umgebungsbedingungen geprüft und die Frei-

gabe zur Installation vorliegt. Sämtliche Bauarbeiten wie Fliesen verlegen, Putzarbeiten sind abgeschlossen, der Schaltraum ist staubfrei gereinigt und die Lüftungs- und Klimaanlage sind funktionsfähig. Bei Installation der Schaltschränke solle die Luftfeuchtigkeit deutlich unter 80 % liegen.

Das Aufstellen der Schaltschränke erfolgt entsprechend der Aufstellungsplanung.

Die Kabel sind übersichtlich in die Schaltschränke einzuführen und entsprechend der Norm zu befestigen. Ein Kreuzen von Kabeln und Kabeladern ist zu vermeiden. Die Einführungen an den Schränken sind gemäß der vorgeschriebenen Schutzart abzudichten. Des Weiteren sind die Aderenden mit aufsteckbaren Markierungsstülpen aus Kunststoff zu schützen.

Jede Schaltanlage ist zu erden. Dazu ist eine Verbindungen an den dafür vorgesehenen Stellen mit dem Erdungsnetz herzustellen. Schaltanlagen, die Länger als 10 m sind, erhalten eine Verbindung mit dem Erdungsnetz an mindestens zwei unterschiedlichen Stellen.

## **4.8.5 Kontrollen und Prüfungen**

Die auf der Baustelle zusammengebauten und verdrahteten Ausrüstungen sind vor der Inbetriebnahme zu prüfen und zu justieren. Der Umfang der Prüf- und Justierarbeiten wird unter Berücksichtigung von Herstellervorschriften und lokalen Vorschriften festgelegt. Die Prüfungen selber sind nach den Angaben der Hersteller durchzuführen. Werden Mängel festgestellt, so ist die Prüfung nach Behebung der Mängel zu wiederholen.

Zum Prüfen sind nur Messgeräte einzusetzen, deren Genauigkeit mindestens eine Klasse besser ist, als die der zu prüfenden Ausrüstung. Für Durchgangsprüfungen sind Geräte mit einem Prüfstrom von 10 mA zu verwenden.

### **4.8.5.1 Sichtkontrolle**

Die erste Prüfung nach der Installation von elektrotechnischen Ausrüstungen ist die Sichtkontrolle. Hierbei wird die Installation wie folgt geprüft:

- handwerklich einwandfreie Ausführung
- Vollständigkeit
- richtigen Einbau
- Zugänglichkeit
- Bedienbarkeit
- Ablesbarkeit
- Sauberkeit
- entfernte Transportsicherungen
- eventuelle Beschädigungen

Kabelanschlüsse sind auf Konformität mit dem Klemmenplan und auf festen Kontakt zu kontrollieren. Bei Gleichstrom-Ausrüstungen sind die Anschlüsse auf richtige Polarität zu überprüfen.

Kenndaten von Geräten und Sicherungen sowie Kabelmarkierungen sind auf Übereinstimmung mit der technischen Dokumentation zu überprüfen.

Weitere Punkte die baubegleitend zu überprüfen sind:

- Ordnungsmäßige Verlegung des Kabels
- Sind alle aktiven Teile durch Isolierung oder Abdeckung gegen direktes Berühren geschützt?
- Beschädigungen an der Isolierung
- Ordnungsgemäße Befestigung der Kabeltrassen oder -pitschen
- Eignung des Kabel/Leitung für ihre Verwendung
- Sind die elektrischen Einrichtungen gegen Staub und Feuchte geschützt?
- Einstellung Motorschutzeinrichtung
- thermischer Überbeanspruchung an ihrer Isolierung
- richtige Polarität bei Gleichstrom-Ausrüstungen
- Abdichtung von Kabeldurchführungen (Wand bzw. Decke)
- Einwandfreier Zustand der Schutzkontakte
- Abstände zu Wärme erzeugenden Ausrüstungen
- Kontrolle der mechanischen Funktion

Alle beweglichen Teile von Ausrüstungen (z. B. Hebel, Seilzüge) sind nach dem Einbau auf richtiges Funktionieren zu kontrollieren. Geräte mit Handbetätigung sind mehrmals zu betätigen, ihre Auslöseglieder sind auszurasen.

Bei Motoren sind eventuell vorhandene Transportsicherungen zu demontieren. Des Weiteren ist der Füllstand der Schmiermittel zu überprüfen. Nach der Handdrehkontrolle ist jeder Motor kurz einzuschalten und auf richtige Drehrichtung zu kontrollieren.

#### **4.8.5.2 Prüfen der elektrischen Schutzmaßnahmen**

Vor dem Einschalten der Betriebsspannung sind die elektrischen Schutzmaßnahmen (z. B. Schutz-Erdung, Nullung, Schutzleitungssystem, FI-Schutzschaltung, FU-Schutzschaltung, Standortisolierung) durch Messen des Schleifenwiderstands zu prüfen. Bei Hauptstromleitern, die über mehrere Kontakte (z. B. bei einer Steuerung) geführt werden, sind die Kontakte an den Ausgangsklemmen zu überbrücken.

Den Prüfungen muss eine eingehende Sichtkontrolle aller für die Schutzmaßnahmen wichtigen Ausrüstungsteile vorausgehen.

#### **4.8.5.3 Prüfen des Isolationswiderstandes**

Ausrüstungen, Stromschienen und Kabel sind auf ihren Isolationszustand durch Messen des Isolationswiderstands zu prüfen. Die Prüfung kann sich auf ein komplettes System (z. B. die gesamte Beleuchtungsanlage), Teile eines Systems (z. B. einzelne Stromkreise) oder einzelne Ausrüstungen (z. B. Hochspannungsmotoren) beziehen.

Vor der Isolationsprüfung von Elektronik-Ausrüstungen sind die Elektroneinheiten (Steckkarten) abzutrennen bzw. herauszuziehen.

Bei Schaltern mit Isolierflüssigkeit sind Proben der Flüssigkeit auf Durchschlagsspannung zu prüfen.

#### **4.8.5.4 Prüfen der elektrischen Funktion**

Schutzeinrichtungen (z. B. Bimetall-Relais, Überstrom- und Kurzschlusschutz-Relais, Zeitrelais) sind zu kontrollieren und einzustellen.

Verriegelungs- und Schalteinrichtungen sind auf richtiges Funktionieren zu kontrollieren. Zum Prüfen der Steuer-, Melde- und Messkreise auf Durchgang und richtiges Funktionieren sind die Hauptstromkreise vom Netz zu trennen.

Vor der Drehrichtungskontrolle sind die Motoren auf phasengerechten Anschluss zu kontrollieren.

Zum Prüfen der Beleuchtungsanlage sind alle Lampen einzuschalten. Sofern vorgeschrieben, ist die Beleuchtungsstärke zu messen.

Zum Prüfen von Elektronik-Ausrüstungen sind nur die vom Hersteller zugelassenen Messeräte zu verwenden.

Elektronik-Ausrüstungen sollten mindestens 24 h vor der Prüfung unter Spannung gesetzt werden, um eine angemessene Aufwärmung zu erreichen.

Über die durchgeführten Prüfungen sind Abnahmeprotokolle zu erstellen.

---

## **4.9 Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)**

Die Mess- und Regeltechnik, oder auch umgangssprachlich als Instrumentierung bezeichnet, beschäftigt sich mit Automatisierung der verfahrenstechnischen Anlage und wird inhaltlich bei Wikipedia wie folgt, kurz und bündig beschrieben.

Dabei befasst sich die Messtechnik mit Geräten und Methoden zur Messung physikalischer Größen wie beispielsweise Länge, Masse, Kraft, Druck, elektrischer Strom, Temperatur oder Zeit. Die fortlaufend gemessene Größe wird, je nach Anwendung, üblicherweise als ein elektrisches Signal zur weiteren Verarbeitung gebildet.

Die Steuerungstechnik baut auf der Messtechnik auf um mit Hilfe einer Informationsverarbeitung der gemessenen Messwerte Stellglieder, sogenannte Aktuatoren, zur Beeinflussung von physikalischen Größen anzusteuern. Für die Steuerungstechnik charakteristisch ist, dass die durch Aktuatoren beeinflussten physikalischen Größen nicht auf die gemessene Messgröße rückwirken. Es liegt somit in der Steuerungstechnik immer ein sogenannter offener Wirkungsweg vor. Der offene Wirkungsweg wird auch als offene Steuerkette bezeichnet.

Die Regelungstechnik erweitert die Verfahren der Steuerungstechnik um eine Rückkopplung der beeinflussten Größe, Führungsgröße oder Ist-Wert genannt, zu einem geschlossenen Regelkreis. Von der beeinflussten Größe wird mittels der Messtechnik ein Ist-Wert ermittelt, mit einem vorgegebenen Referenzwert oder Soll-Wert verglichen und die Führungsgröße durch den Regler so beeinflusst, dass die Abweichung zwischen Ist-Wert und Soll-Wert minimal wird. [22]

Demzufolge werden in der Anlage physikalische Größen mittels Messgeräte ermittelt. Messen ist der Vergleich einer unbekannten mit einer bekannten, definierten physikalischen Größe. Das Landesumweltamt NRW beschreibt das Messen hingegen wie folgt:

Eine Einrichtung zum Messen nicht elektrischer Größen besteht grundsätzlich aus drei Teilen (Messkette). Ein Aufnehmer, heute vielfach auch Sensor genannt, als das erste Glied, erfasst den Messwert und gibt ein entsprechendes Messsignal ab.

Das Messsignal wird zur Aufbereitung dem zweiten Glied, einem Messumformer, zugeführt. Bei der elektrischen Messung ist das Messsignal eine elektrische Größe, die für eine Weiterverarbeitung oder eine Anzeige bereitgestellt werden kann. Ist das Messsignal für die Weiterverarbeitung zu groß oder zu klein, so ist eine Anpassung oder eine Nachverstärkung erforderlich. Ist das Messsignal für den Anzeiger nicht geeignet, so muss das Signal umgewandelt werden. Man spricht dann von einer Messwertumwandlung. Wird der Messwert einer Steuerung oder zentralen Leitwarte zugeführt, so wird er oft entkoppelt, damit keine Störungen in die Steuerung oder Leitwarte eingebracht werden können; man spricht dann von einer galvanischen Trennung.

Heute werden oft Messwertaufnehmer und Messumformer in ein gemeinsames Gehäuse montiert, so dass man von einer Messeinrichtung sprechen kann. Als Ausgang stehen verschiedene Gleichspannungen/Gleichströme zur Verfügung. [23]

Die Messgeräte werden nach technischen Vorgaben im Feld installiert. Die Signale mehrerer Instrumente werden über Kabel an die Verteilerbox im Feld übermittelt. Von dieser Verteilerbox laufen die Signale über ein Stammkabel zu den Rangierverteilungen.

Zu dem Leistungsumfang MSR gehören u. a. folgende Arbeitsgänge:

- Installation der Instrumente
- Montage von Messfühlern und Analysemessgeräten
- Montage von Steuerungsventile
- Montage von Verteilerkästen
- Montage und Verdrahtung von Rangierverteilungen
- Ausstellen und Verdrahten von Schaltschränken
- Verlegen und Verbinden von Kabel (Stammkabel, Fiberoptic usw.)
- Verdrahten von Feldinstrumenten
- Verlegen von Analyseleitungen und Prozessleitungen
- Verlegen von pneumatischen Signalleitungen
- Durchführen von Kontrollen und Prüfungen

Die Montage bzw. Installation erfolgt entsprechend den vertraglichen Spezifikationen und dem Stand der Technik.

Auf der Baustelle sind besondere Augenmerke bei der MSR Technik auf die Kontrolle und Prüfung der Arbeiten zu legen.

#### **4.9.1 Kontrollen und Prüfungen**

Die erste Prüfung nach der Installation von steuerungstechnischen Ausrüstungen ist die Sichtkontrolle. Hierbei wird die Installation wie folgt geprüft:

- handwerklich einwandfreie Ausführung
- Vollständigkeit

- richtigen Einbau
- Zugänglichkeit
- Bedienbarkeit
- Ablesbarkeit
- Sauberkeit
- entfernte Transportsicherungen
- eventuelle Beschädigungen

Kabelanschlüsse sind auf Konformität mit dem Klemmenplan und auf festen Kontakt zu kontrollieren.

Kenndaten von Geräten und Instrumenten sowie die Kabelmarkierungen sind auf Übereinstimmung mit der technischen Dokumentation zu überprüfen.

#### **4.9.1.1 Dichtheitsprüfung**

Instrumenten-Prozessleitungen, Zuluftleitungen und pneumatische Signalleitungen sind auf Dichtheit zu prüfen.

Für das Prüfen von Zuluftleitungen mit Nennweiten von  $\geq$  DN 15 wird entsprechend Abschn. 4.5 verfahren.

Zum Prüfen von Zuluftleitungen und pneumatischen Signalleitungen ist trockene und Öl freie Luft oder Stickstoff zu verwenden. Zum Prüfen von Instrumenten-Prozessleitungen dürfen auch Flüssigkeiten verwendet werden. Bei Frostgefahr sollte nicht mit Wasser geprüft werden. Wird bei Frost oder Frostgefahr mit Wasser geprüft, so ist das System nach dem Prüfen umgehend zu entleeren und zu reinigen. Die Verwendung von Inhibitoren im Wasser, zur Senkung des Gefrierpunktes, ist im Vorfeld mit den Prozessverantwortlichen abzustimmen. Vor dem Prüfen muss das Prüfsystem gereinigt werden. Beim Prüfen mit Luft oder Stickstoff sind alle Verbraucher vom Prüfsystem zu trennen.

#### **4.9.2 Funktionsprüfung**

Für die Prüfung pneumatischer Ausrüstungen darf nur trockene und Öl freie Luft verwendet werden. Der Zuluftdruck ist auf den vom Hersteller vorgeschriebenen Wert einzustellen.

Mit einem simulierten Eingangssignal ist die Nullpunkt-Einstellung, das Ausgangssignal und das richtige Funktionieren der angeschlossenen Ausrüstungen (z. B. Transmitter, Anzeiger, Regler, Schreiber, Alarm) zu kontrollieren.

Das Ausgangssignal oder die Anzeige ist bei steigendem und fallendem Eingangssignal in den Stellungen 0, 25, 50, 75 und 100 % zu kontrollieren. Bei Abweichungen von den vorgeschriebenen Toleranzen sind die Ausrüstungen zu justieren. Justierte Ausrüstungen sind zu kennzeichnen (z. B. mit einem farbigen Aufkleber).

Untereinander verbundene Regelkreise sind gemeinsam zu prüfen, dabei wird die Verkabelung und die Funktion der Instrumente (Loop Check's) überprüft.



Im Allgemeinen ist der Loop Check eine Durchgangsprüfung von Signalen. Aufgrund unterschiedlicher Anforderungen und Komplexitäten lassen sich die Loop Check's in drei unterschiedliche Ebenen einteilen.

Dabei gehört der Loop Check 1 noch zu den Tätigkeiten, die bis zur Mechanischen Fertigstellung durchzuführen sind.

Der Loop Check 2 und 3 sind Tätigkeiten, die während der Inbetriebnahme erfolgen. Die Funktionsprüfungen finden dabei in 3 Stufen statt.

Über die durchgeführten Prüfungen sind Abnahmeprotokolle zu erstellen.

#### 4.9.2.1 Loop Check 1

Der Loop Check 1 wird auch umgangssprachlich als „Durchklingeln“ verstanden. Hierbei wird überprüft, ob das Signal von dem Instrument, also aus dem Feld, auch am Rangierschrank ankommt.

Ist die Prüfung vom Feld zum Rangierschrank nicht möglich, erfolgt die Prüfung zuerst bis zur Verteilerbox oder Schaltschrank, siehe Abb. 4.28.

Sollte aus welchen Gründen auch immer, der Loop Check 1 nicht durchgeführt werden können, ist die Nichtdurchführung als Punch Punkt (Restarbeit oder offener Punkt) aufzunehmen.

Ziel ist es, sicherzustellen, dass die Kabel bzw. Signalleitungen nicht beschädigt sind. Des Weiteren dient der positiv durchgeführte Loop Check 1 als Voraussetzung für die Durchführung des Loop Test 2.

Es bietet sich an, im Rahmen des Loop Check 1 gleichzeitig das Kalibrierungszertifikat des Instruments mit zu überprüfen.

#### 4.9.2.2 Loop Check 2

Bei Loop Check 2 handelt es sich um eine Überprüfung des gesamten Regelkreises, unter Einschluss aller Instrumente. Alle Steuerungs- und Überwachungsfunktionen werden geprüft. Wasser oder Prozessmedien und Betriebsbedingungen wie Druck und Temperatur simulieren den Betrieb. Dabei wird die einwandfreie Kalibrierung entsprechend der geforderten Prozesswerte sichergestellt.

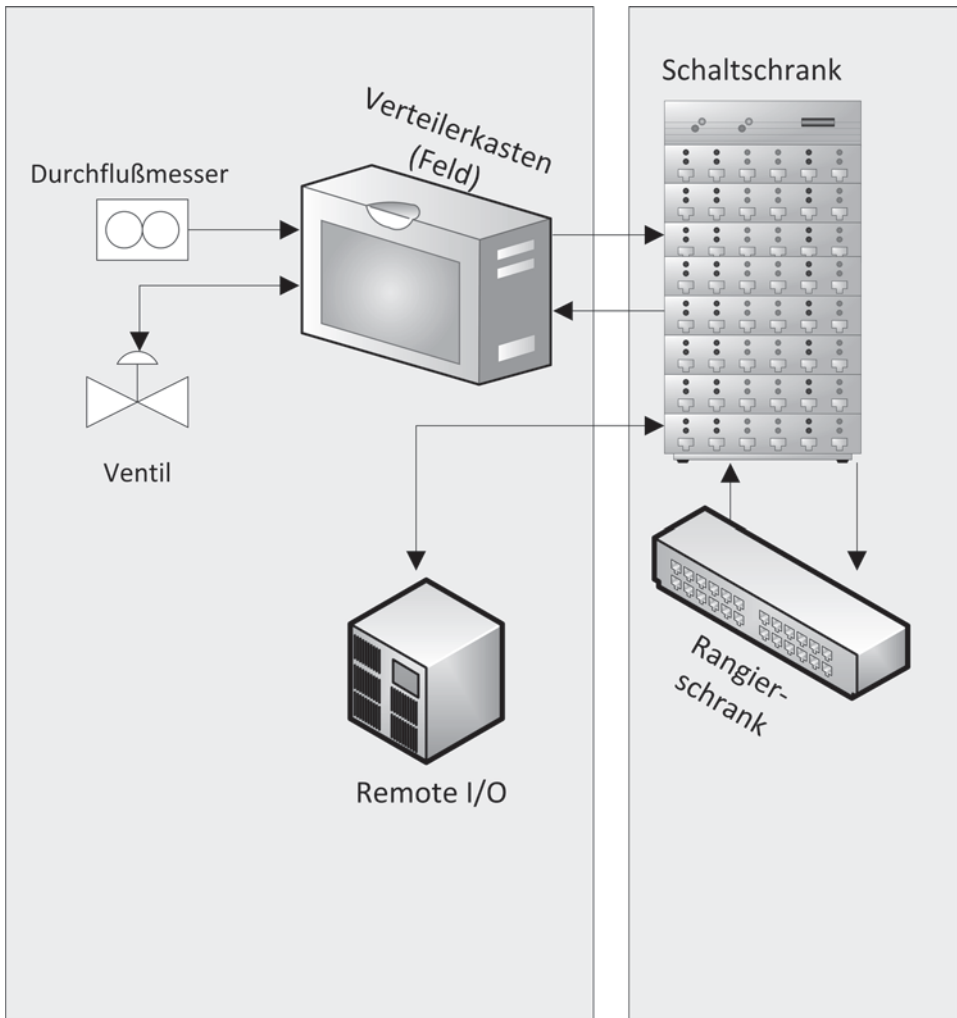
Abbildung 4.29 zeigt, dass der Loop Check 2 eine vollständige Funktionsprüfung der Instrumente, vom Feld bis in die Warte, ist.

#### 4.9.2.3 Loop Check 3

Der Loop Check 3 bildet einen vollständigen Regelkreis, einschließlich der dort integrierten logischen Funktionen, ab. Die logischen Funktionen können Verriegelungen, Sicherheitsfunktionen oder auch das Zusammenschalten von Signalen zwischen den Systemen sein.

Dabei werden insbesondere die Sicherheitsfunktionen getestet.

- ESD (Emergency Shut Down) – Hierbei werden durch Simulation Ursachen vorgegeben, die ein sofortiges Abschalten der Anlage nach sich ziehen.
- F&G (Feuer & Gas) – Die F&G Test werden entsprechende Ursache und Wirkung durchgeführt.

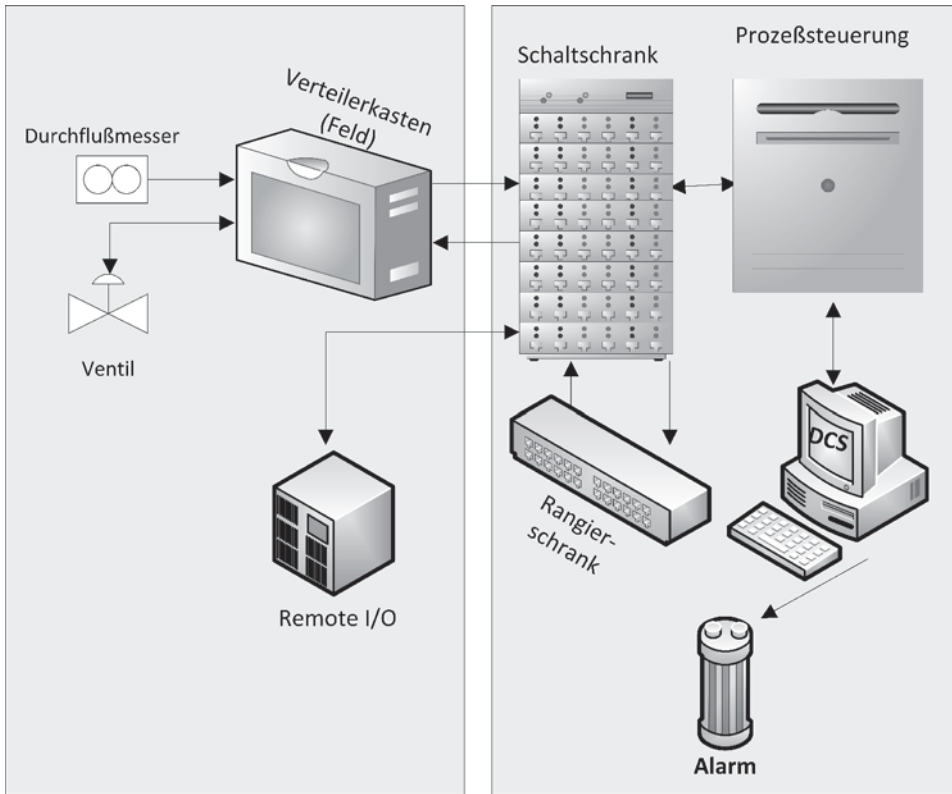


**Abb. 4.28** Loop Check 1

## 4.10 Zusammenfassung

Die Montage besteht durch die unterschiedlichen Anforderungen ihrer Gewerke. Wie auch beim Bau ist das Zusammenspiel der einzelnen Gewerke von entscheidender Bedeutung.

Ausrüstungen müssen installiert werden. Welche Hebegeräte eignen sich dazu am besten? Diese entscheidende Frage sollte frühzeitig mit einer hohen Treffsicherheit beantwortet werden, um sicherzustellen, dass diese Geräte am Markt zur gewünschten Zeit verfügbar sind.

**Abb. 4.29** Loop Check 2

Rohrleitungen bilden die Adern der Anlage und verbinden die Ausrüstungen. Unterschiedliche Verlegearten und Prüf-Varianten erfordern eine detaillierte Überwachung zur Sicherstellung der Funktion und Qualität.

Des Weiteren sind die Rohrleitungen gegen Umgebungseinflüsse und Prozess orientierten Einflüssen mittels Korrosionsschutz und/oder Isolierung zu schützen.

Eine Pumpe benötigt eine Stromversorgung um Medien durch Rohrleitungen von einem Behältnis in das nächste zu transportieren, und wird dabei mittels der MSR Technik überwacht und gesteuert.

Kenntnisse der einzelnen Gewerke, sowie ihre Bedeutung auf die sequenziell nachfolgenden Gewerke, versetzen den Planer als auch den Überwachenden in die Lage gezielte Vorhersagen zu tätigen. Machbarkeitsuntersuchungen beschränken sich nur selten auf eine Tätigkeit. Nicht immer sind erforderliche Montagegeräte verfügbar. Alternativen müssen aufgezeigt und umgesetzt werden.

Die Arbeiten sind auf engem Raum zu erbringen und bedürfen einer sequenziellen Planung. Immer kürzere Projektdauern schieben die Herstellung der Gewerke ineinander.

Mitunter ist die Auswahl des richtigen Schweißverfahrens wie z. B. bei baustellengefertigten Tanken entscheidend für die Terminkette.

Grundlegende Kenntnisse über Produktivitätskennzahlen der einzelnen Montageverfahren versetzen den Planer in die Lage den Montageablauf vorzuplanen. Diese Kenntnisse dienen des Weiteren dem Abwickler vor Ort, Störungen während der Abläufe frühzeitig zu erkennen und gezielt Korrekturmaßnahmen einzuleiten.

Für den Anlagenbau gibt es keine wiederkehrende Kochrezepte, sondern lediglich Ablaufbeschreibungen die aus bekannten Prozessen und Abläufen resultieren. Diese können als Basis verwendet werden, ersetzen aber die nicht die Macht der eigene Gedanken. Detaillierte Analysen sind entsprechend der jeweils kommenden Anforderungen zu tätigen.

Von daher sollte man stets darauf vorbereitet sein, dass zum einen alles wesentlich anders läuft als angenommen, zum anderen kalkulierte Erwartungen sich als unrealistische Hoffnungen erweisen. Denn wie bereits Murphy schon feststellte:

► „If there's more than one possible outcome of a job or task, and one of those outcomes will result in disaster or an undesirable consequence, then somebody will do it that way.“

Wenn also etwas schiefgehen kann, dann geht es schief. Man sollte sich jedoch davon nicht entmutigen lassen. Es gibt keine Erfolgsgarantien für die Abwicklung von Projekten. Jedoch können durch Sorgfalt bei Projektplanung und Steuerung die Erfolgchancen beträchtlich erhöht werden.

Aber es muss nicht so sein. Auch Werner Zimmer-Henrich hatte diesbezüglich seine Ideen:

► „Ein Denkfehler, schon bei der Planung entdeckt, kann mit wesentlich weniger Zeitaufwand und geringerem Terminverzug behoben werden, als wenn er erst in einer späteren Phase des Projektes erkannt wird.“(24 S. 28)

Gehen wir einen Schritt zurück in die Vergangenheit. 1930 wurde das Empire State Building mit 102 Stockwerken und einer Höhe von 381 m mit 60.000 t Stahl in nur 18 Monaten vollständig gebaut. Abbildung 5.1 zeigt den beeindruckenden Baufortschritt vom Juli 1930 bis November 1930. Emails, Mobiltelefone, 3D-Modelle und GPS Tracking Systeme usw.



**Abb. 5.1** Terminplan Empire State Building (Bild: Daniel Ahmad)

standen den Planern und Ausführenden nicht zur Verfügung. Der Stahl traf nach nur 8 h seiner Fertigung aus Pennsylvania auf der Baustelle ein und wurde unmittelbar eingebaut. Die Liefersequenz entsprach hierbei exakt der Sequenz der Montage.

► **Hier stellt sich nun die Frage, in welchem Zeitraum das gleiche Gebäude in unserem Jahrhundert erbaut werden könnte?**

Die Herausforderung der Planung besteht also darin, den gesamten Projektablauf, beginnend von der ersten Idee über die Ausführung bis zur Fertigstellung und zum Vertragsende, im Voraus zu denken.

Eine **realistische** Planung ist für den Anlagenbauer aus zweierlei Gründen von wesentlicher Bedeutung. Zum einen stellt die Planung sicher, dass das Projekt in der vorgegeben Zeit realisiert werden kann und bildet die Basis für die Terminkontrolle, zum anderen dient sie auch als eine der entscheidenden Vertragsgrundlagen für die Nachunternehmer.

Weitere Ansprüche an die Planung sind, dass sie logisch und nachvollziehbar ist, und das wesentliche, in ihrer Komplexität überschaubar. Hierüber hat sich bereits René Descartes im 17. Jahrhundert Gedanken gemacht. Einer seiner Grundsätze lautet:

Jedes Problem (jede Schwierigkeit) ist in so viele Einzelprobleme aufzuteilen, wie es (sachlich) möglich und nötig ist, um jedes Einzelproblem für sich (selbstständig) behandeln zu können.

Auf diese Art und Weise wird ein Projekt in eine Vielzahl von unterschiedlichen Prozessen und Phasen unterteilt, die in einer abwicklungstechnischen sinnvollen Reihenfolge ablaufen. Doch was genau bedeuten Prozesse und Phasen?

## 5.1 Leistungsprozesse

Prozesse sind Verkettungen von Vorgängen innerhalb eines geschlossenen Systems. Unter Leistungsprozesse sind alle Prozesse, die zur Erfüllung einer vertraglichen Leistung, wie z. B. der Bau und Montage einer schlüsselfertigen Anlage, benötigt werden, zu verstehen.

► **Leistungsprozessen sind auch die Prozesse, in denen die Vorbereitungen für die physische Errichtung der Anlage realisiert werden.**

Zu den Leistungsprozessen eines EPC Auftrages zählen, wie Abb. 5.2 zeigt, die

- Engineering-Prozesse
- Beschaffungsprozesse
- Ausführungsprozesse der unterschiedlichen Gewerke

Da die Prozesse aufgrund technischen Abhängigkeiten, oder der Gesamtprojektdauer nicht immer nacheinander stattfinden können, wird ein Projekt in unterschiedliche Phasen eingeteilt. Trivial dargestellt finden Engineering-Prozesse in der Engineering-Phase statt, Beschaffungsprozesse in der Beschaffungsphase usw. Die unterschiedlichen Phasen orientieren sich zwar an den Leistungsprozessen, inhaltlich erfolgt aber eine engmaschige Verknüpfung von Teilprozesse Phasen übergreifend.

Die Leistungsprozesse eines EPC Auftrages, wie in Abb. 5.2 dargestellt, werden je nach Komplexität in Gewerke unterteilt. Die Tätigkeiten innerhalb dieser Gewerke werden in Vorgängen dargestellt, deren zeitliche Abfolge durch technische und kapazitiv bedingte Sequenzen unter Berücksichtigung etwaigen Vorlaufzeiten bestimmt ist.

So wird der Beschaffungsvorgang bereits in der Engineering-Phase begonnen und reicht bis in die Ausführungsphase herein.

### Anmerkung

Mitunter wird in der Literatur das Engineering auch als Planung, wie z. B. Rohrleitungsplanung, bezeichnet. Um hier eine Verwechselung dieser Begriffe zu vermeiden wird die Planung nur als das Planen von Prozessen verwendet. Die Planung als Festlegung von technischen Sachverhalten wird als Engineering bezeichnet.

Jeder dieser Leistungsprozesse hat eine Vielzahl von Vorgängen (oder Teilprozesse), die entsprechend der Kapazitäten, nochmals in weitere Teilvorgänge unterteilt werden

**Abb. 5.2** Leistungsprozesse eines EPC Auftrages



können, die sich aber in ihren Tätigkeiten nicht weiter unterscheiden müssen, wie z. B. beim Beschaffungsvorgang die Unterteilung in Materialbeschaffung und Beschaffung von Leistungen.

Da jede Teilleistung durch einen Teilvorgang herzustellen ist, lässt sich für jede Teilleistung eine Leistungsprozesskette definieren. Prozessketten können auch als der Weg zum Ziel verstanden werden.

Abbildung 5.3 stellt die Phasen und Prozesse eines EPC Auftrages schematisch dar.

#### Beispiel

Die Leistungsprozesskette zur Herstellung von Rohrleitungen basierend auf P&ID's setzt sich aus den Planungsprozessen, dem Erstellen von

- P&ID
  - Isometrie
  - Materialauszug,
- dem Beschaffungsprozess des Rohrleitungsmaterials

- Anfrage
  - Bestellvorgang
  - Lieferung/Transport zur Baustelle,
- der Vergabe der Montageleistungen an einen Nachunternehmer sowie den eigentlichen Ausführungsprozessen zusammen wie

- Vorfertigung
- Grobmontage
- Schweißen
- Prüfen

Die Zwischenziele beinhalten die Dokumente, also die Isometrie und das erforderliche Material zur Herstellung der Rohrleitung. Als Ziel des Ausführungsprozess gilt die funktionierende Rohrleitung.

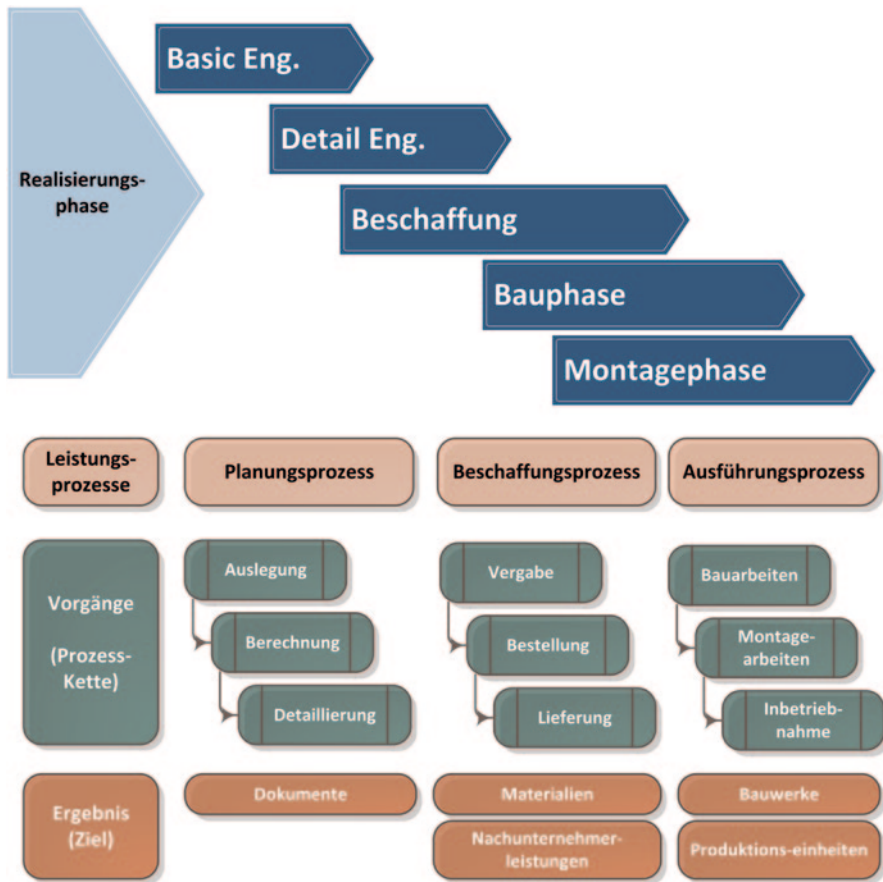
Abbildung 5.4 stellt die Prozesskette von Vorgängen zur Herstellung einer Rohrleitung verteilt über unterschiedlichen Projektphasen schematisch dar.

Die Bau- und Montage ist also Bestandteil der letzten Phase eines Projektes.

**Allerdings, und darauf wird an dieser Stelle entschieden hingewiesen, ist sie nicht isoliert von den anderen Phasen und Prozesse zu betrachten.**

► Nur wer die Bau und Montage als integraler Bestandteil eines EPC Projektes versteht und akzeptiert, wird dieses erfolgreich abwickeln können.





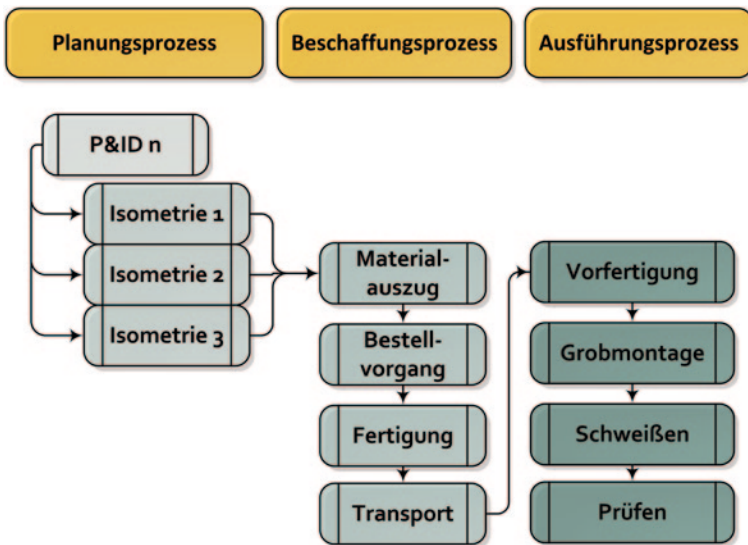
**Abb. 5.3** Vereinfachte Darstellung der Prozessen und Phasen

## 5.2 Planungsvoraussetzungen

Zu den Aufgaben des Bau- und Montagemanagement zählen nicht nur die Aktivitäten während der Ausführung auf der Baustelle, sondern bereits die anfallenden Planungsarbeiten während der Planungsphase im Stammhaus. Der gesamte Bau- und Montageablauf ist sorgfältig zu planen, um eine Grundlage für den späteren Steuerungsprozess auf der Baustelle zu erhalten.

*Womit beschäftigt sich die Planung im Anlagenbau aus der Sicht der Bau- und Montage?*

In erster Linie natürlich mit der Arbeitssicherheit, dem Gesundheitsschutz sowie dem Schutze der Umwelt. Da bereits zu diesem Thema eine umfangreiche Sammlung von Fachliteratur existiert, sei an dieser Stelle, ergänzend zu Kap. 9.7 Arbeitssicherheit, auf weiterführende Literatur hingewiesen.



**Abb. 5.4** Prozesskette von Vorgängen zur Herstellung einer Rohrleitung verteilt über unterschiedlichen Projektphasen

Im weiteren Verlauf beschränkt sich die Planung (und Steuerung) auf folgende Hauptgebiete, und zwar;

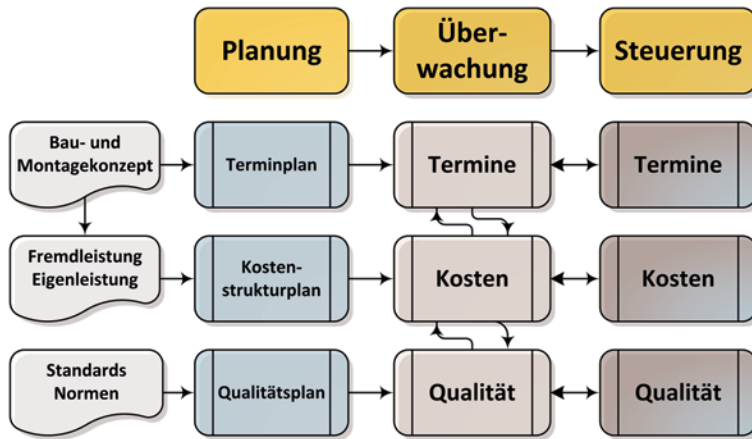
- Termine,
- Kosten,
- Qualität,

wobei die Reihenfolge keine Aussage über die Wertigkeit der einzelnen Aufgaben darstellen soll.

Wie Abb. 5.5 zeigt, sind die Planung und die Steuerung untereinander durch Überwachungsaktivitäten eng miteinander verbunden. Eine effektive Steuerung kann nur erfolgen, wenn die Planung die entsprechenden Plandaten ermittelt hat. Eine sinnvolle Planung kann von daher nur aufgestellt werden, wenn Erkenntnisse darüber vorliegen, was zu steuern ist.

Aus planungstechnischer Sicht ist das Bau- und Montagekonzept, oder wie auch international bezeichnet der Construction Plan, die Grundlage für eine erfolgreiche Planung.

Hierfür werden die grundlegenden Abwicklungsstrategien und das Vergabekonzept für die Bau- und Montageleistungen erarbeitet und detailliert beschrieben. Machbarkeiten werden untersucht, technisch bedingte Sequenzen, Abhängigkeiten und Wertigkeiten von Vorgängen untereinander werden spezifiziert. Die Verfügbarkeiten von Unterlagen und Materialien werden auf Plausibilität überprüft und gegeben falls angepasst. Der Einsatz erforderlicher Ressourcen wird in Relation zu einander gesetzt. Die Ziele der Prozessketten werden ermittelt und in unterschiedliche Teilprozesse aufgebrochen, die die Leis-



**Abb. 5.5** Planung, Überwachung und Steuerung

tungsprozesskette wiederum beeinflussen, schwerpunktmäßig den Beschaffungsprozess und den Engineering-Prozess. **Er erfolgt also eine montagegerechte Planung.**

Während der montagegerechten Planung werden Prozesse aus dem Engineering-Prozess und/oder dem Beschaffungsprozess zeitlich auf die montagebedingten Sequenzen in dem Maßen abgestimmt, um einen optimierten Montageablauf zu erreichen. Diese Abstimmung erfolgt innerhalb der Projektgruppe einvernehmlich zwischen den jeweils beteiligten Disziplinen, mit der Zielsetzung das terminliche als auch wirtschaftliche Optimum für das Projekt zu erreichen.

Weitere Baustellenprozesse, wie z. B. Transport des Rohrleitungsmaterials zum Einbauort, Vorhalten erforderlicher Gerüste, Einsätze von Hebegegeräten usw. unterliegen wiederum einer weiteren Kapazitätsplanung und sind daher gesondert zu untersuchen und darzustellen.

► **Die Summe der Ausführungsprozessketten aller einzelnen Teilleistungen ergibt zusammen den Bau- und Montageablauf.**

Neben den technischen Abläufen, die das Bau- und Montagekonzept beschreibt, sind auch die Kosten zu planen. Kosten entstehen durch Leistungen, die für das Projekt erbracht werden müssen. Dabei erfolgt eine Einteilung in Fremdleistungen und Eigenleistungen. Fremdleistungen (externe zugekaufte Leistungen) sowie der Umfang der eigenen Leistungen sind zu erfassen und zu bewerten und anschließend den entsprechenden Kostenarten zuzuordnen. In der Regel existiert ein Kostenstrukturplan bereits aus der Angebotskalkulation.

Die Angebotskalkulation ist hinsichtlich der nun vertraglichen Leistungen zu überprüfen und bei Bedarf anzupassen. Analog zu sämtlichen Planungstätigkeiten sind auch die Kosten detailliert zu ermitteln und aufzustellen. Der Kostenstrukturplan ist wie die WBS (Work Breakdown Structure) dazu da, übersichtliche Pakete zu schnüren. Kosten für ähn-

liche Leistungen sind entsprechend möglicher Vergabepakete zusammenzufassen und zu budgetieren. Hierbei ist es empfehlenswert, eine feine Struktur zu wählen. Je feiner die Struktur umso genauer können die Kosten zugeordnet werden. Die hierbei festgelegte Struktur wird während der gesamten Projektlaufzeit beibehalten. Im weiteren Verlauf dient die Kostenstruktur als Basis für Hochrechnungen wie z. B. „Cost to Complete“, eine Vorhersage, wie sich die Kosten bis zur Vertragserfüllung weiter entwickeln. Bei Festlegung der Kostenstruktur, insbesondere bei Fremdkosten, ist die erwartete Vergabestrategie zu berücksichtigen. Die Vergabestruktur der Teilleistungen wiederum wird von der Marktsituation und den verfügbaren Ressourcen wesentlich mit beeinflusst.

Die Gliederung der Teilleistungen berücksichtigt somit die Aufteilung des Projekts nach Arbeitspaketen, Gewerken und Losen.

Vertragliche Spezifikation, landesspezifische Normen sowie der Unternehmensstandard bilden die Basis für den Qualitätsplan.

Während der Abwicklung der Baustelle sind die Planungsdaten Grundlage für den Steuerungsprozess, indem sie kontinuierlich auf ihre Übereinstimmung mit dem aktuellen Stand zu vergleichen sind. Bei Abweichungen sind geeignete Maßnahmen zu definieren und umsetzen. Auch Zimmermann sieht in seinem Buch über Bauablaufstörungen ein komplexes System an Prozessen.

Innerhalb eines Leistungsprozesses, einer Leistungsprozesskette und den unterschiedlichen Prozessketten innerhalb des gesamten Bauablaufs, verbunden mit den Steuerungsprozessen, bestehen bestimmte Abhängigkeiten, wodurch sich ein komplexes System an Elementen und deren Beziehungen zueinander ergibt. (25 S. 26)

---

### 5.3 Planungsarten

Die Philosophie der Bau- und Montageplanung einer verfahrenstechnischen Anlage beinhaltet einige Parallelen zur Produktionsplanung.

Ein Teil davon sind die hierarchischen Planungsebenen wie sie Abb. 5.6 zeigt.

Gabler Wirtschaftslexikon beschreibt die einzelnen Punkte der Produktionsplanung wie folgt:

#### Primärbedarfsplanung

Gegenstand der Primärbedarfsplanung ist die Festlegung der in der Planungsperiode herzustellenden Mengen der absatzbestimmten Produkte (= Primärbedarf)....

#### Sekundärbedarfsplanung

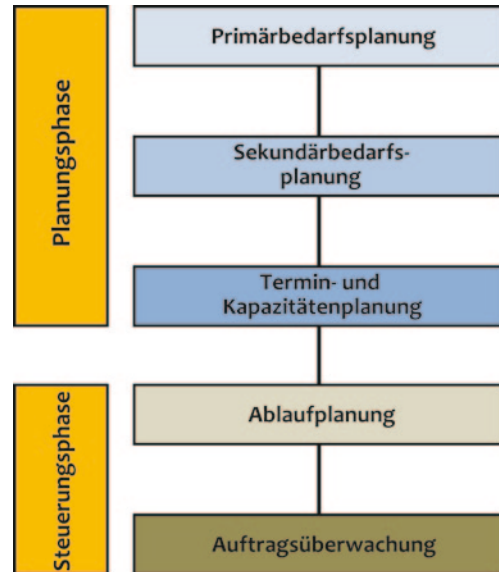
Im Rahmen der Sekundärbedarfsplanung (Mengenplanung, (Material-) Bedarfsplanung, ...) sind die für die Herstellung des Primärbedarfs benötigten Einsatzgütermengen (= Sekundärbedarf) zu bestimmen....

#### Termin- und Kapazitätsplanung

An die Sekundärbedarfsplanung schließt sich die Termin- und Kapazitätsplanung an. Sie zerfällt in die Schritte Durchlaufterminierung, Kapazitätsplanung und Kapazitätsabgleich.

Gegenstand der Durchlaufterminierung ist die grobe Festlegung vorläufiger Start- und Endtermine der einzelnen für die Herstellung von Zwischen- und Endprodukten notwendigen

**Abb. 5.6** hierarchischen Planung (und -steuerung)



Arbeitsgänge auf Basis geschätzter Plan-Durchlaufzeiten. Vorläufig sind die Termine zum einen deshalb, weil die Planung zunächst ohne Berücksichtigung der Kapazitätssituation erfolgt. Zum anderen ergeben sich die endgültigen Bearbeitungstermine erst aus der Ablaufplanung. Diese wird aber im Konzept der hierarchischen Produktionsplanung erst nach der Termin- und Kapazitätsplanung durchgeführt. Die Durchlaufterminierung kann nach den (auf der Netzplantechnik basierenden) Verfahren der Vorwärts-, Rückwärts- oder doppelten Terminierung erfolgen.

Im Rahmen der Kapazitätsplanung wird die aus der Durchlaufterminierung resultierende Kapazitätsnachfrage dem tatsächlichen Kapazitätsangebot der einzelnen Arbeitssysteme im Zeitablauf gegenübergestellt. Dazu werden die im Rahmen der Durchlaufterminierung erstellten auftragsbezogenen Terminpläne in anlagenbezogene Terminpläne, die die Belastung der einzelnen Arbeitssysteme im Zeitablauf zeigen, überführt. Dabei ist für jedes betrachtete Arbeitssystem und jede Teilperiode (i. d. R. jeden Tag oder jede Woche) die kumulierte zeitliche Belastung durch alle im Rahmen der Durchlaufterminierung für die jeweilige Teilperiode eingeplanten Arbeitsvorgänge ermittelt und grafisch dargestellt. Man spricht daher auch von (Ressourcen-) Belastungsdiagrammen, Kapazitätsbedarfsprofilen oder Kapazitätsgebirgen....

**Ablaufplanung**

Im Rahmen der Ablaufplanung (Reihenfolgeplanung, ...) sind für die einzelnen Arbeitsgänge der bislang nur mit groben Start- und Endterminen versehenen freigegebenen Fertigungsaufträge die genauen Bearbeitungstermine auf den einzelnen Bearbeitungsstationen des Produktionssystems festzulegen....

**Auftragsüberwachung**

Im Rahmen der Auftragsüberwachung ist der Fertigungsablauf im Hinblick auf die Planeinhaltung zu überwachen. Bei Störungen des planmäßigen Fertigungsablaufs (z. B. aufgrund von Personal-, Maschinen- oder Lieferausfällen) sind geeignete gegensteuernde Maßnahmen vorzusehen.[26]

Zusammenfassend ist für eine Baustelle folgendes aus Sicht der Planung zu erarbeiten:

- welche Leistungen im Planungszeitraum herzustellen sind (Primärbedarfsplanung),
- welche Ressourcen (Personal und Geräte) dafür wann benötigt werden (Sekundärbedarfsplanung),
- zu welchen Zeitpunkten die Herstellung von Teilleistungen erfüllt sein muss und unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen (Termin- und Kapazitätsplanung)
- welche technisch bedingten Sequenzen einzelnen Leistungen abgearbeitet werden sollen (Ablaufplanung)

### 5.3.1 Primärbedarfsplanung

Gegenstand der Primärbedarfsplanung sind die Auflistungen und Beschreibungen der zu erbringenden Leistungen, während eines Ausführungszeitraumes, zur Erreichung eines Ergebnis oder eines Zwischenergebnis.

Zum einen beinhaltet die Primärbedarfsplanung die Leistungen, die vertraglich beschrieben sind. In einem EPC LSTK Auftrag ist es die Errichtung der Anlage. Des Weiteren fallen Leistungen an, die vertraglich nicht explizit beschrieben sind, aber eine Voraussetzung für die Erbringung der vertraglichen Leistung sind.

#### Beispiel

Laut Vertrag ist die Anlage im Festpreis zu planen und zu errichten. Da der Auftragnehmer nicht über eigene Bau- und Montagekapazitäten verfügt, sind diese Leistungen an Dritte zu vergeben. Die Vergabe (als zu erbringende Leistung) der Bau- und Montageleistung basiert auf umfangreiche technischen und kommerzielle Anforderungen/ Dokumente die explizit erstellt werden.

Somit sind sämtliche erforderlichen Leistungen, die für die Errichtung der Anlage erforderlich sind (= Leistungsprozesse) und in einem definierten Ausführungszeitraum herzustellen sind, Bestandteile der Primärbedarfsplanung. Die Planung basiert vorerst auf vorläufigen oder durch Erfahrung ermittelten Werten.

### 5.3.2 Sekundärbedarfsplanung

Im Zuge der Sekundärbedarfsplanung sind die für die Herstellung des Primärbedarfs benötigten Ressourcen (Personal, Geräte, Verfügbarkeit von Material und Dokumenten) zu ermitteln. Hierbei wird zwischen Eigenleistung (als Vorprodukt, z. B. Erstellung techn. Vergabeunterlagen) und fremdbezogenen Leistungen (als Zwischenprodukt, z. B. der nach den techn. Unterlagen herzustellende Leistungsumfang) unterschieden.

Eigenleistungen sind die Leistungen, die der Anlagenbauer durch eigene Ressourcen erbringt.

Als Fremdleistungen sind Leistungen des Primärbedarfs zu verstehen, die während der Projektabwicklung von Dritten erbracht werden. Weitere Merkmale dieser Leistungen sind, dass auch sie geplant, gesteuert und überwacht werden müssen. Diese Leistungen werden bei Subunternehmer mittels Werks- oder Werkliefervertrages eingekauft. Leistungen von Drittanbieter wie Telefondienste, Bereitstellung von Räumen fallen nicht unter den Primärbedarf.

Die Eigenleistungen und Fremdleistungen werden im Rahmen der Sekundärplanung spezifiziert und größenmäßig erfasst. In diesem Rahmen wird nun der der Bedarf der erforderlichen Ressourcen ermittelt. Die erforderlichen Ressourcen wiederum werden mit den eigenen freien Ressourcen und/oder mit den verfügbaren Marktkapazitäten verglichen. Das hieraus resultierende Ergebnis gibt Aufschluss darüber, inwieweit der sekundäre Bedarf abgedeckt wird oder nicht. Im Falle von erwarteten Kapazitätsengpässen wird auf eine Losgrößenplanung zurückgegriffen.

Somit ist die Losgrößenplanung ein weiterer wesentlicher Bestandteil bei der Sekundärplanung.

---

**Beispiel**

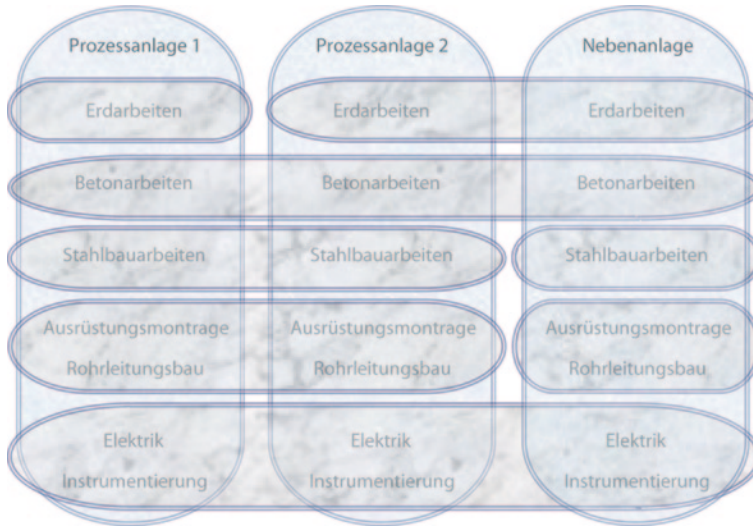
Für die Errichtung der Anlage sind 9000 t Stahlbau erforderlich. Der Leistungsprozess Stahlbaulieferung hat eine Ausführungsdauer von 12 Monaten. Demzufolge müssen im Durchschnitt 750 t Stahlbau und in der Spitze ca. 1125 t pro Monat oder mehr gefertigt und geliefert werden. Bei einem konservativen Ansatz würde ein Stahlbaufertiger mit einer Leistungskapazität von ca. 3000 t pro Monat in Betracht kommen. Verfügt der lokale Beschaffungsmarkt nur über kleine bis mittelständische Stahlbaufertiger, die vielleicht nur 1000 t pro Monat produzieren können, würde eine Vergabe an mehrere Stahlbaufertiger sinnvoll erscheinen. Dazu ist der Leistungsumfang in funktionelle Lose zu teilen. Hierbei sollte die örtliche Trennung der Stahlbaumontage, die erforderlichen Sequenzen und der Zeitraum mit in die Überlegung einfließen.

Unter einem Los (engl. Lot) versteht man dabei die Teilmenge oder Teilbedarf, der unabhängig und räumlich getrennt von anderen Teilen errichtet werden kann (z. B. die Unterteilung von Prozessanlagen zu Nebenanlagen). Der Anlagenbauer spricht hier von einem vertikalen Schnitt oder einem geographischen Schnitt.

Bei einem horizontalen Schnitt erfolgt die Unterteilung nach Gewerken, die fachspezifischen Leistungen werden Anlagenteile übergreifend zusammengefasst (Abb. 5.7).

Abbildung 5.7 zeigt die schematische Trennung eines Anlagenkomplexes als vertikale Trennung in die Prozessanlagen 1 und 2, sowie in die Nebenanlagen. Die horizontale Trennung erfolgt nach Gewerken. Die hierdurch entstehende Varianz wird im Abwicklungskonzept spezifiziert.





**Abb. 5.7** Verfahren der Losbildung

Bevor Leistungen horizontal getrennt werden, ist eine detaillierte Überprüfung und Risikoanalyse zu tätigen. Bei der horizontalen Trennung besteht das permanente Risiko darin, dass sich die Nachunternehmer gegenseitig behindern, da einige Abläufe parallel laufen. Baubehinderungsanzeigen, wegen Effizienzverluste und Wartezeiten, durch die Nachunternehmer sind nur noch eine Frage der Zeit. Des Weiteren ist eine besondere Aufmerksamkeit bei solch einer Trennung auf die Nutzung der vorhandenen Infrastruktur zu legen. Welcher Nachunternehmer kann wann, welche Transportwege oder Kranstandflächen benutzen? Diese Zuordnung von Nutzungsrechten sollte klar und deutlich definiert werden, die dort vereinbarten Zeiten sind selbstverständlich von allen Beteiligten einzuhalten. Wenn allerdings solch ein Konzept realisiert wird, sollte dies bei der Festlegung der Baustellenüberwachung zahlenmäßig reflektiert werden.

Zusammenfassend empfiehlt sich ein horizontaler Schnitt durch die Anlage nur dann, wenn die Kapazitäten einzelner potentieller Nachunternehmer nicht ausreichend sind.

### 5.3.3 Termin- und Kapazitätsplanung

Nachdem die Sekundärplanung erste Ergebnisse liefert, werden Termine von Vorgängen und Teilvorgängen spezifiziert. Dabei werden unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen, mittels iterativen Prozess, die Vorgangsdauern definiert und die Ressourcenkurven geglättet.

Unter der Voraussetzung, dass sämtliche Prozessketten bekannt sind, werden diese mit Start- und Endtermine versehen. Den einzelnen Vorgängen werden die erforderlichen Ressourcen zugeordnet. Die Aufsummierungen gleichartiger Ressourcen, verschiedener



Vorgänge, die aber parallel laufen, werden mit den tatsächlich verfügbaren Ressourcen verglichen. Aufgrund der nun verfügbaren Information können Bedarfskurven bzw. Histogramme erstellt werden, aus denen der erforderliche Bedarf bezüglich dem verfügbaren ersichtlich ist. Abweichungen oder auch Verbesserungspotential werden deutlich erkennbar.

Sollte die Nachfrage an Ressourcen größer als das Angebot sein, sind die Start- und Endtermine der betroffenen Vorgänge so zu verschieben, das die resultierenden Spitzen der Nachfragekurve unter den verfügbaren Ressourcen bleiben. Darüber hinaus ist es ebenfalls sinnvoll, selbst wenn die Nachfrage kleiner als das Angebot ist, mögliche Spitzen der Ressourcenkurve zu glätten. Spitzen bei den Ressourcen haben einen negativen Einfluss auf die Produktivität und somit auch auf die Kosten.

Die Bestimmung des Bedarfs an Personal und Geräte, sowie die erste Festlegung der Vorgangsdauern, erfolgt hier auf einer mittleren Terminplanebene, des sogenannten Level 2 (vgl. 6.3 Numerische Ebenen). Die Festlegung erfolgt auf Basis geschätzter Planwerte und Planzeiten nach den Verfahren der Vorwärts- (Bottom Up), Rückwärtsterminierung (Top Down) oder aus der Kombination von beiden.

Sollte im weiteren Verlauf die Verschiebung von Vorgängen, auch mittels Erkenntnisse aus der später erstellten detaillierten Ablaufplanung, nicht zum gewünschten Ziel, also einer bleibenden Unterdeckung von Ressourcen führen, sind weitere Untersuchungen mit dem Schwerpunkt die verfügbaren Ressourcen zu vergrößern, zu tätigen. Dies kann zum einen durch Vergabepakete nach Losen erfolgen, zum anderen durch die Erweiterung des Marktes. Zusätzlich zum lokalen Beschaffungsmarkt wird der globale Markt hinzugezogen.

Die Verlängerung von Vorgangsdauern als Reaktion auf einen Ressourcenengpass sollte grundsätzlich die letzte aller Möglichkeiten sein.

### 5.3.4 Ablaufplanung

Mitentscheidend für eine spätere zielorientierte Steuerung ist die Ablaufplanung. Im Rahmen der Ablaufplanung sind für die einzelnen Vorgänge die groben Start- und Endterminen detaillierter zu spezifizieren und Abhängigkeiten untereinander zu verknüpfen. Dabei ist zu unterscheiden, dass Teilvorgänge in denselben, immer wiederkehrenden Sequenzen ablaufen oder die Teilvorgänge in unterschiedlicher Reihenfolge, technisch oder terminlich (z. B. ein kritischer Liefertermin als Vorgänger) bedingt, ablaufen.

Für die Ermittlung der Ablaufplanung komplexer Prozesse, sind die Prozesse solange in Teilprozesse zu untergliedern, bis eine sinnvolle Verknüpfung der Sequenzen gegeben ist. Entscheidend bei der Ablaufplanung ist es, eine Struktur zu erstellen, die im späteren Ausführungszeitraum, das Überwachungspersonal in die Lage versetzt, anhand der Ablaufplanung, die Baustelle zu steuern.

Leider gibt es keine Formel mit der die Ablaufplanung prozessorientiert aufgestellt werden kann.

Für die Festlegung der Detailtiefe der Ablaufplanung müssen einige Fragen beantwortet werden, damit eine entsprechende Detaillierung erfolgen kann.

- Was will ich überwachen?
- Welchen Aufwand benötigt ein Soll/Ist-Vergleich?
- Wie viel Aktivitäten bzw. Vorgänge kann ich überwachen?
- Wie groß ist das zu überwachende Baufeld?
- Wie ist die Qualität und Termintreue möglicher Nachunternehmer?
- Sind die Ausführungstermine eng oder eher konservative?

Im Detail wird in Kapitel 7 auf die Ablaufplanung eingegangen.

### 5.3.5 Auftragsüberwachung

Im Rahmen der Auftragsüberwachung ist der gesamte Bau- und Montageablauf im Hinblick auf die Einhaltung der Vorgaben für Arbeitssicherheit, Umweltschutz, Gesundheit, Kosten, Qualität und Termine zu überwachen. Bei Abweichungen und Störungen sind geeignete gegensteuernde Maßnahmen vorzusehen.

---

## 5.4 Zusammenfassung

Eine zielorientierte Planung ist im Anlagenbau mindestens genauso wichtig wie in allen anderen industriellen Prozessen oder im privaten Sektor.

Zusammenfassen soll die Planungsphilosophie nach dem vorher beschriebenen Muster anhand einer Urlaubsreise noch mal verdeutlicht werden.

Zu Beginn einer Urlaubsplanung werden bestimmte Anforderungen an den Urlaub bezüglich

- Kosten
- Termine
- Qualität

gestellt.

Die Grobterminierung, die Vorauswahl der Hotelkategorien oder Buchungsklasse des Ferienfliegens, haben einen direkten Einfluss auf die Kosten.

Eigenanreise und/oder Selbstverpflegung bilden die Grundlage für Fremd- oder Eigenkosten.

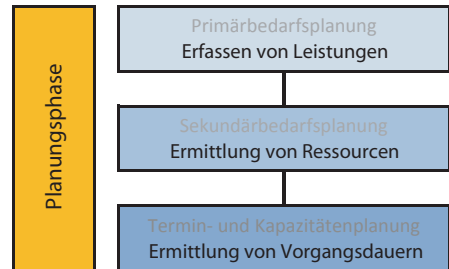
Während der Primärbedarfsplanung, dem Erfassen von Leistungen, wird bei einer Urlaubsreise der Umfang von Sehenswürdigkeiten oder die Anzahl von Golfrunden ge-

plant. Nach dem die Primärbedarfsplanung abgeschlossen ist, wird nun im Rahmen der Sekundärbedarfsplanung die Kosten für Eintrittsgelder und Greenfees ermittelt und mit dem verfügbaren Budget verglichen. Nach dem der iterative Prozess des vorhandenen Budget an die Anzahl der Sehenswürdigkeiten oder Golfrunden angepasst wurde, erfolgt nun die Zuordnung zu der Aufenthaltsdauer.

Sollte das Budget oder die Aufenthaltsdauer nicht ausreichend sein, kann entsprechend der Losbildung eine Verteilung auf zwei Urlaubsreise in Betracht gezogen.

Abbildung 5.8 zeigt nochmals die einzelnen (Teil-)Planungsphasen mit den dazugehörigen Ergebnissen.

**Abb. 5.8** Planungsphasen im Anlagenbau



Die Festlegung der Abläufe und die Planung der Termine ist ein wesentlicher Bestandteil des Baustellenmanagement. Eine sorgfältig durchgeführte Terminplanung ist die entscheidende Größe, gegen die bei der späteren Abwicklung gesteuert wird. In der Termin- und Ablaufplanung werden die wesentlichen Leistungsprozesse zeitlich fixiert. Vorgänge werden mit Ressourcen beladen. Die erforderlichen Ressourcen werden über die Zeitachse kumuliert dargestellt. Ressourcenspitzen werden beseitigt. Somit entsteht ein Terminplan der hinsichtlich der erforderlichen Kapazitäten und Dauer optimiert ist.

Der Bau- und Montageablauf kann in Termin- und Ablaufplänen grafisch oder tabellarisch dargestellt werden. Der Terminplan zielt dabei mehr auf die zeitliche Lage von Anfangs-, End- und Zwischenterminen ab, der Ablaufplan hingegen zeigt die zeitliche Abfolge der einzelnen Leistungsprozesse.

Die Darstellung des Terminplans erfolgt in Form von Balkenplänen dem sogenannten Gantt Diagramm. In einem Balkenplan sind die Ereignisse als Punkte, die Vorgänge als Balken abgebildet, woraus die zeitliche Lage im Projektverlauf, sowie die Dauer der jeweiligen Vorgänge ersichtlich sind. Zudem werden in einem vernetzten Balkenplan Vorgänge und Ereignisse über Anordnungsbeziehungen miteinander verknüpft, so dass die gegenseitigen Abhängigkeiten sichtbar dargestellt werden, um bei etwaigen Verschiebungen einzelner Vorgänge, die Auswirkungen auf weitere Vorgänge berücksichtigen zu können.

Der kritische Weg, auf dem alle Vorgänge liegen, die keinen Gesamtpuffer haben, lässt sich hier ebenfalls durch eine besondere Kennzeichnung der Anordnungsbeziehungen darstellen.

Mit Hilfe der Verknüpfungen können somit die Leistungsprozessketten abgebildet werden.

Entscheidend für jeden Termin- oder Ablaufplan ist, dass ein gemeinsames Verständnis aller Projektbeteiligten über deren Verwendung und Inhalt erreicht wird. Der Terminplan

sollte also leicht von den verantwortlichen Personen zu interpretieren sein, damit mögliche Ursache bzw. Störungen und deren Wirkungen frühzeitig erkannt werden können.

Wie wird jedoch ein Terminplan erstellt?

Diese Frage ist zuerst mit Gegenfragen zu beantworten.

- Wofür benötige ich einen Terminplan?
- Für wen benötige ich einen Terminplan?
- Was soll der Terminplan beinhalten?

In Anlehnung an die „AACE International Recommended Practice No. 37R-06“ die als Leitfaden für Anlagenbetreiber und Anlagenbauer dient, werden in den folgenden Kapiteln die unterschiedlichen Ebenen (Level) eines Terminplan oder eines Ablaufplans in ihrer unterschiedlichen Detailtiefe beschrieben. Des Weiteren richtet sich diese Aufteilung auch an die jeweiligen Adressaten.

Zuerst ist jedoch ein klares Verständnis für die wichtigsten Begrifflichkeiten in der Terminplanung anzustreben.

---

## 6.1 Vorgänge und Ereignisse

Ereignisse sind klar definiert, messbar und beschreiben einen bestimmten Zustand. Laut der Webseite, [projektmanagement-definition.de](http://projektmanagement-definition.de) ist ein Ereignis folgendes:

Ein Ereignis ist der Beginn oder das Ende eines Vorganges. Es hat keine zeitliche Ausdehnung, im Gegensatz zu dem Zustand, den es hervorruft. Für das Projekt und das Projektmanagement ist der Eintrittszeitpunkt des Ereignisses und somit das Erreichen eines Zustands wichtig. [27]

Ein Ereignis ist z. B. die Übergabe des Baufeldes an den Anlagenbauer.

Ein Vorgang ist ein Ablauf einer oder mehrerer klar definierter Handlungen und verfügt jeweils über einen Anfang und ein Ende, die zeitlich versetzt sind. Im Gegensatz zu einem Ereignis, verbraucht ein Vorgang Zeit, d. h. die Dauer des Vorganges ist immer größer Null, und bindet während dieser Zeit Ressourcen. Vorgänge sind messbar und kontrollierbar, und können aus mehreren Aufgaben oder Teilvorgängen bestehen. Ein Vorgang kann z. B. das Verlegen einer Rohrleitung sein, während dessen Teilvorgänge das Ausrichten, Schweißen usw. beinhalten.

Die zeitliche Verknüpfung der Ereignisse und Vorgänge erfolgt unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte:

- Technisch
- Vertraglich
- Organisatorisch

- Planerisch
- Rechtlich

Technische Schnittstellen existieren zwischen einzelnen Gewerken aufgrund technischer Abhängigkeiten. Z.B kann erst ein Kompressor-Fundament berechnet und dimensioniert werden, wenn die Angaben des Kompressor Herstellers, wie Maße und Lastangaben, vorliegen.

Vertragliche Schnittstellen beinhalten das Wirksamwerden von Leistungen, wenn z. B. die Erbringung einer Leistung mit einer Zahlung verknüpft ist, oder eine Zahlung die Voraussetzung einer Leistungserbringung ist. Oft ist die Erbringung der ersten Zahlung des Kunden, der Auslöser, dass der Vertrag effektiv wird.

Organisatorische Schnittstellen beinhalten das Steuern von Leistungsprozessen, so dass z. B. vorgesehene Leistungen an dem vereinbarten Termin ausgeführt werden können. Die Lieferung einer schweren Ausrüstung wird zeitgleich mit der Verfügbarkeit des erforderlichen Hebegerätes angestrebt.

Rechtliche Schnittstellen existieren im Regelfall aufgrund gesetzlicher Vorschriften, z. B. Baugenehmigung mit dazugehörigen Auflagen oder Planfeststellungsbeschlüsse.

Die Abhängigkeit zweier Vorgängen, innerhalb eines Projektterminplans, lassen sich durch vier mögliche Verknüpfungsformen der Anordnungsbeziehung, wie Abb. 6.1 zeigt, schematisch darstellen.

- Die Ende-Anfang-Verknüpfung ist eine Anordnungsbeziehung vom Ende eines Vorgangs zum Anfang seines Nachfolgers. *Die Arbeiten des Vorganges müssen abgeschlossen sein, bevor der Nachfolgevorgang beginnen kann.*
- Die Anfang-Anfang-Verknüpfung ist eine Anordnungsbeziehung vom Anfang eines Vorgangs zum Anfang seines Nachfolgers. *Die Arbeiten mindesten zweier Vorgänge beginnen gleichzeitig.*
- Die Ende-Ende-Verknüpfung ist eine Anordnungsbeziehung vom Ende eines Vorgangs zum Ende seines Nachfolgers. Die Arbeit der Folgeaktivität kann nicht abgeschlossen werden, bevor die Arbeit der Vorgängeraktivität beendet ist.
- Die Anfang-Ende -Verknüpfung ist eine Anordnungsbeziehung vom Anfang eines Vorgangs zum Ende seines Nachfolgers (*kommt meistens nur bei einem „top down“ Ansatz vor*).

Des Weiteren können zeitliche Verschiebungen innerhalb der Vorgangsverknüpfungen hinzugefügt werden. So kann zum Beispiel, wie in Abb. 6.2 dargestellt, bei der Herstellung eines Fundamentes auf die Aushärtungszeit als Vorgang im Terminplan verzichtet werden, indem die Nutzung des Fundaments als Ende-Anfang-Verknüpfung plus einer Woche (hier die Aushärtungszeit des Betons) definiert ist.

Diese Abhängigkeiten in der Ablaufplanung sind für die Steuerung der Baustelle von besonderer Bedeutung. Störende Faktoren oder Abweichungen zeigen unmittelbar den direkten Einfluss auf die Zwischentermine bzw. den Endtermin an. Zum einem dienen sie

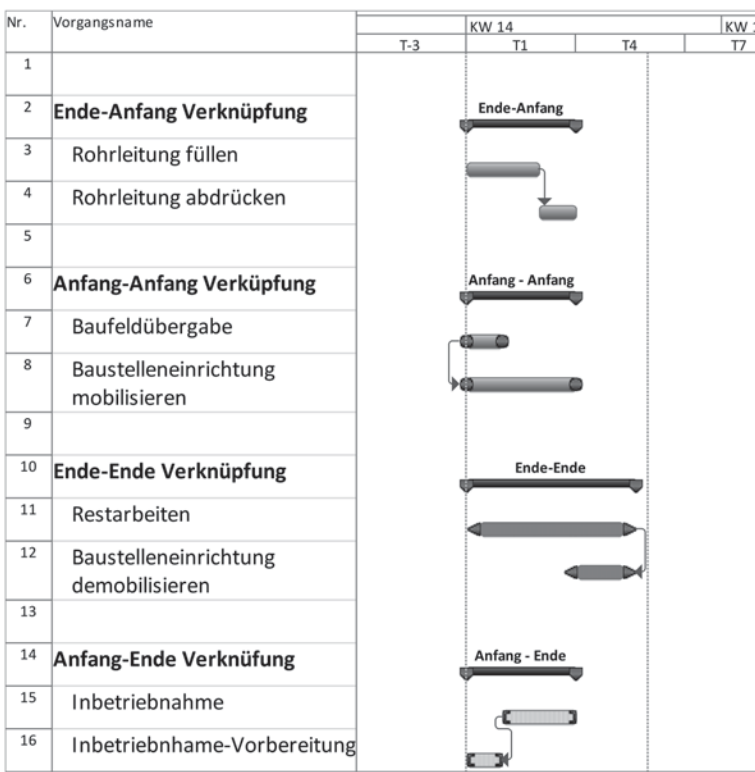


Abb. 6.1 Vorgangsverknüpfungen

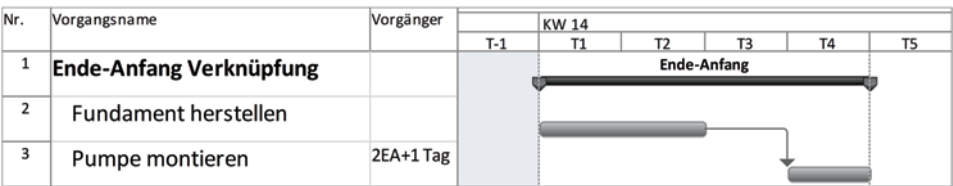
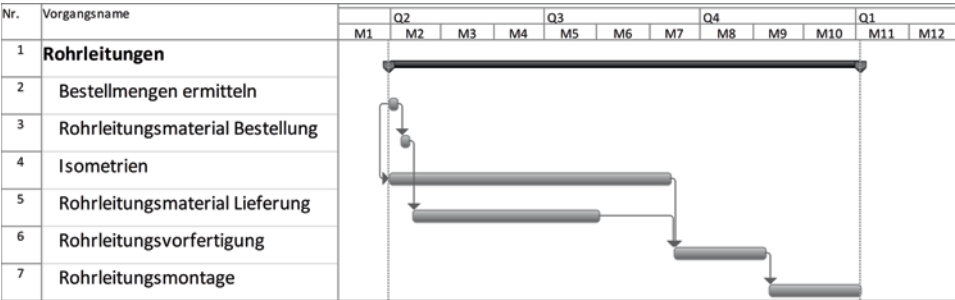


Abb. 6.2 Zeitlich versetzte Vorgangsverknüpfung

zur Ermittlung der kritischen Pfade, zum anderen zeigen sie die Auswirkungen auf den weiteren Ablauf auf. Für das Abweichungsmanagement bieten sie klare Argumente bei der Anmeldung von Ansprüchen, wenn durch Dritte Behinderungen bzw. Störungen hergeführt wurden.

Ordnet man den Vorgängen

- Zuständigkeiten,
- Dauern,
- definierte In- und Outputs, und
- Ressourcen



**Abb. 6.3** Erreichen des Prozessziels Rohrleitungsmontage

zu, spricht man von Prozessen. Prozesse sind Verknüpfungen von Aktivitäten zur Erstellung eines Arbeitsergebnisses (Prozessziel). Prozesse können aus mehreren Teilprozessen bestehen. Einem Teilprozess gehen mitunter mehrere andere Teilprozesse voraus, und erfordern bestimmte Inputs unterschiedlicher Beteiligter. In Abb. 6.3 wird die Rohrleitungsmontage als Prozessziel bestimmt. Dem Prozessziel sind andere Teilprozesse vorgelagert. So muss primär das zu verbauende Rohrleitungsmaterial ermittelt und bestellt werden. Die Zuständigkeit für die Bestellung liegt in der Regel innerhalb der Einkaufsorganisation. Die Dauer für die Herstellung und Lieferung und die Verfügbarkeit der Isometrien bestimmen den Beginn der Rohrleitungsvorfertigung. Verfügbare Ressourcen (Personal) haben einen direkten Einfluss auf die Montage und bestimmen somit den Fertigstellungstermin der Rohrleitung.

## 6.2 Einführung

Missverständnisse entstehen häufig bei der Definition der einzelnen Terminplanebenen, die die Detailtiefe und den Nutzen, der durch den Terminplan bereitzustellenden Informationen, begrenzen. Die unterschiedlichen Ebenen orientieren sich an den Informationsanspruch der beteiligten Parteien und Projektteilnehmer.

So ist zum Beispiel der Anspruch an die Detailtiefe der Informationen zur Steuerung eines Nachunternehmers wesentlich umfangreicher als zur Unterstützung des Berichtswesens für den Auftraggeber.

Der Auftraggeber ist hauptsächlich an den vertraglichen Meilensteine und Fertigstellungstermine interessiert. Nachunternehmen sind auf Arbeitsebene zu überwachen und zu kontrollieren. Diese wiederum kontrollieren und überwachen ihre Lieferanten mit einem weiteren Detailierungsgrad.

Im Großanlagenbau verfügen die meisten Unternehmen über eine eigene entwickelte Systematik für den planerischen Aufbau der Projekte, sowie dem dazugehörige Berichtswesen. Von daher gibt es eine Vielzahl von anerkannten Methoden und Definitionen der unterschiedlichen Ebenen der Terminpläne. Im Folgenden werden drei der allgemein anerkannten Methoden behandelt:



1. Numeric Schedule Levels,
2. Engineering, Procurement, Construction (EPC) Schedule Levels, und
3. Beschreibende Methodik

Die erste und zweite Methode richtet sich nach den unterschiedlichen Detailierungsgraden (=Ebenen bzw. Level). Die dritte Methode versucht den Anspruch an den Terminplan zu reflektieren, und wird demzufolge nach seiner Verwendung benannt.

In der Regel basiert das numerische Verfahren auf den Ebenen des Projektstrukturplans (Work Break Down Structure=WBS):

**Level 0** Dargestellt wird das Gesamtprojekt in Form eines einzigen Balkens über die gesamte Projektzeit von Anfang bis Ende. Funktionell gibt es kaum praktische Anwendungen für einen Zeitplan, der nur einen einzigen Balken beinhaltet.

**Level 1** Dieser stellt den Zeitablaufplan für das Projekt durch die Hauptkomponenten dar. Zum Beispiel kann ein Zeitplan für eine Prozessanlage in Prozessbereiche, Nebenanlagen, Dienstleistungen und Baustelleneinrichtung unterteilt werden. Ein Level 1 Terminplan wird normalerweise als Balkendiagramm angezeigt und beinhaltet die wichtigsten Meilensteine.

**Level 2** Jede Aktivität bzw. Komponente der ersten Ebene ist weiter nach Ebene 2 unterteilt. Zum Beispiel werden die Nebenanlagen in Hilfssysteme wie Wasser-, Gas-, Entwässerungs- und Sanitärssysteme usw. unterteilt. In den meisten Fällen werden Level 2 Terminpläne als Balkendiagramm dargestellt. Meilensteine sind in der Regel enthalten.

**Level 3** Level 3 ist die erste Ebene, die eine sinnvolle kritische Pfad-Analyse (CPM) und Betrachtung zulässt, da die Einzelheiten weder zu grob noch zu detailliert zusammengefasst werden.

**Stufen 4-X** Die weitere Unterteilung(en) des Zeitplans spiegelt die Anforderungen der Anwender wieder. Bei der Notwendigkeit weiterer Gliederungsebenen benutzt der Planer in der Regel Segmente des Gesamtplans, die weiter unterteilt werden. Des Öfteren beinhaltet ein Termin Plan Level 4 einen sogenannten vorausschauenden „Look-Ahead“ und/oder einen „Look-Back“ Teil, der zuletzt abgeschlossenen Arbeiten.

---

### 6.3 Numerische Ebenen

Die numerischen Ebenen eines Termin- bzw. Ablaufplans unterliegen keiner allgemein gültiger Norm. Die unterschiedlichen Levels dienen hauptsächlich dazu, unterschiedlichen Zielgruppen zu ermöglichen, die Kommunikation, die Überwachung und Steuerung, sowie das Berichtswesen auf die jeweiligen Anforderungen anzupassen.

Im Folgenden werden die Merkmale der einzelnen Ebenen und die entsprechende Verwendung des Terminplans beschrieben. Führungsebenen und Projektteilnehmer, die Informationen aus den verschiedenen Ebenen verwenden, werden identifiziert.

Level 1 beinhaltet den höchsten Grad an Zusammenfassung der Projektinformationen, während Level 5 die detailliertesten Angaben beinhaltet. Wie bereits erwähnt, wird diese Methode in fast allen Branchen an Projekte unterschiedlicher Größe und Komplexität angewendet.

### **6.3.1 Level 1**

Level 1 ist ein sogenannter High-Level-Terminplan, der die wichtigsten Meilensteine, Zusammenfassung von Tätigkeiten und die Hauptphasen des Projektes widerspiegelt. Dieser Terminplan repräsentiert zusammenfassende Aktivitäten einer Ausführungsphase, insbesondere Engineering, Beschaffung, Bau- und Montage sowie die Inbetriebnahme und Start-up-Aktivitäten.

Er unterstützt bei der Definition von Notwendigkeiten zur Durchführung von Kurskorrekturen. Der Level 1 Terminplan dient hauptsächlich der Information des „Top Managements“. Umgangssprachlich wird er auch als Project Master Schedule (PMS) bezeichnet und meistens auf nur einer Seite dargestellt.

Im Allgemeinen wird er bei Großprojekten verwendet.

### **6.3.2 Level 2**

Level 2 Terminpläne sind in der Regel erforderlich um das Zusammenspiel der unterschiedlichen Gewerke während der Projektlaufzeit darzustellen. Sie reflektieren die Schnittstellen zwischen den wichtigsten Leistungen der Projektbeteiligten, damit die ineinander greifenden Leistungen termingerecht abgeschlossen werden können. In der Regel erfolgt die Darstellung in Form eines Balkendiagramms, selten in Form eines Netzplans. Im Level 2 sind die vom Kunden zu erbringenden Leistungen mit aufzuführen und nachzuhalten.

### **6.3.3 Level 3**

Level 3 Terminpläne werden in der Regel erstellt, um die Ausführung der Leistungen für jede der Vertragsparteien darzustellen. Der Terminplan sollte die Schnittstellen zwischen den wichtigsten Arbeitsgruppen, Fachrichtungen, Gewerke oder der in der Ausführung Beteiligten reflektieren. Level 3 Pläne beinhalten ausreichend genügend Details, um kritische Aktivitäten zu identifizieren. Die Pläne unterstützen die Projektbeteiligten bei der Identifizierung von Vorgängen, die möglicherweise Einfluss auf das Ergebnis einer Phase

oder Arbeitsabschnitts haben könnten. Dieser Plan ist ein Steuerungsinstrument der Projektleiter und Disziplinverantwortlichen eines Projektes. Mittels Level 3 wird die Critical Path Methode (CPM) durchgeführt.

#### **6.3.4 Level 4**

Level 4 Terminpläne werden benötigt, um die Erstellung von Arbeitspaketen nachzuverfolgen. Dieser Detaillierungsgrad reflektiert die Fertigstellung von Schlüsselaktivitäten. Der Level 4 Plan wird für die tägliche Koordination der Arbeit verwendet.

#### **6.3.5 Level 5**

Level 5 Terminpläne definieren die Anforderungen von Aufgaben für den Abschluss von Einzeltätigkeiten in einem detaillierten Zeitplan.

Dieser Terminplan, in der Regel als Arbeitsstundenplan, reflektiert die tägliche oder wöchentliche Arbeitsanforderung. Abhängig von diesen Anforderungen werden die Level 5 Pläne in der Regel einen Tag bzw. eine Woche im Voraus vorbereitet. Sie dienen der Planung und Nutzung der Ressourcen (Arbeit, Geräte und Materialien) in Stunden-, Tages- oder Wocheneinheiten.

---

### **6.4 EPC Levels**

Die Terminplanebenen bezogen auf ein EPC Modell können, unabhängig wie groß oder komplex das spezifische Projekt geplant ist, aus nur drei formalen Ebenen bestehen. Der Detaillierungsgrad eines EPC Projektes ist unmittelbar mit der entsprechenden Phase des Projektes verbunden. Mit anderen Worten, die Genauigkeit des EPC-Terminplans hängt von der Genauigkeit des Leistungsumfanges ab.

Da sich das Projekt stetig in den folgenden Projektphasen weiterentwickelt, und somit genauere Informationen bezüglich des Leistungsumfanges zur Verfügung stehen, wird der Detaillierungsgrad des Terminplans diesen Phasen angepasst. Zum Beispiel könnte ein EPC-Terminplan in einer frühen Projektphase, das Detail-Engineering im Level 3 widerspiegeln, aber die Beschaffung und Bau- und Montagephase nur mittels Level 1 oder 2.

#### **6.4.1 EPC Level 1**

Auch der EPC Level 1 Plan fasst das Gesamtprojekt zusammen, und zeigt primär die Start- und Zieldaten der wichtigsten Projektphasen und wesentlichen Vertrag-Meilensteine.

### 6.4.2 EPC Level 2

EPC Level 2 Pläne beinhalten detaillierte Aktivitäten der zuvor in Ebene 1 dargestellten Zusammenfassungen. Dies zeigt meistens ein Herunterbrechen der unterschiedlichen Gewerke und Disziplinen in kritische Beschaffungsaktivitäten, der wichtigsten Elemente der Bau- und Montage sowie den Anforderungen für die Inbetriebnahme. Im EPC Level 2 Terminplänen werden erstmals logische Zusammenhänge und Verknüpfungen dargestellt.

### 6.4.3 EPC Level 3

Im EPC-Level 3 Terminplan kann erstmalig die kritische Pfad Analyse effektiv angewendet werden. Neben den Start- und Endterminen der Gruppierung der zu erbringenden Leistungen oder Aktivitäten werden auch Prüfungs- und Genehmigungsverfahren dargestellt.

Die meisten EPC Terminpläne werden nicht detaillierter als Level 3 dargestellt. Level 3 ist die gängigste Methode der Anlagenbauer, wobei eine weitere Detaillierungstiefe, insbesondere in der Bau- und Montageausführung Risiken minimieren würden, da Abweichungen frühzeitig erkannt werden können.

EPC Level 4 sind detaillierte Arbeitspläne und aufwendig in der Pflege. In der Regel werden die Terminpläne von Lieferanten und Nachunternehmer erstellt und gepflegt.

---

## 6.5 Beschreibenden Ebenen

Im Anlagenbau werden auch anstelle der numerischen Ebenen beschreibende Ebenen verwendet, um den gewünschte Detailierungsgrad des Terminplans zu definieren. Allerdings kann die beschreibenden Ebenen aufgrund der inkonsistenten Nummerierung, oder der Interpretation des beschreibenden Begriffs zu Missverständnissen führen.

### 6.5.1 Master Schedule

Ein Master Schedule ist ein zusammengeführter Plan der mehrere artgleiche Aktivitäten oder Teile eines Projektes beinhaltet, die als eine Einheit überwacht und gesteuert werden können. Diese Methode verwendet beschreibende Worte, um den gewünschte Detailierungsgrad zu definieren und um Ähnlichkeiten und markanten Merkmale des Terminplans zu beschreiben:

### 6.5.2 Program/Project Summary Schedule

Der Summary Schedule enthält nur wenige Details und dient hauptsächlich als Übersicht des Gesamtprojektes dem Topmanagement.

Üblicherweise beinhaltet die Zusammenfassung die Hauptphasen und die Meilensteine. Der Projektverantwortliche erstellt die Grundlage für die Erstellung des Terminplans. Der Summary Schedule zeigt artgleiche Aktivitäten oder Teile eines Projektes auf der Zeitachse an. Zweck dieser Darstellung ist es, einen allgemeinen Überblick über die Phasen und Bereiche des Projekts zu verschaffen.

### **6.5.3 Milestone Schedule**

Projekt-Meilensteine werden während der Entwicklung der konzeptionelle Basis des Projekts bestimmt und sind in diesem Plan dargestellt. Die Darstellung der Meilensteine erfolgt entweder in tabellarischer oder grafischer Form. Diese Art der Planung enthält normalerweise nur die Meilensteine an denen Vorgänge angrenzen (z. B. für Zahlungsvorgänge) und wird zu Planungszwecken verwendet. Die Einhaltung der Meilensteine während der Ausführungsphase wird damit überwacht. Die Absicht dieses Plans ist es, einen kurzen Überblick über die erreichten Ziele bzw. Ereignisse aufzuzeigen.

### **6.5.4 Project Level Schedule**

Der „Project Level Schedule“ ist ein auf Vorgängen und Arbeitsergebnis konzentrierter Plan.

In der Regel ist er nach den wichtigsten Projektphasen und deren Besonderheiten aufgebaut. Die Aktivitäten des Engineering, der Beschaffung und der Bau- und Montage werden als Netzplan oder Balkendiagramm dargestellt. Die CPM -Technik wird hier verwendet um den kritischen Pfad zu identifizieren. In der Regel bietet dieser Plan unterschiedliche Ebenen zur Separierung von Arbeitspaketen, wodurch der Fortschritt der entsprechenden Arbeitspakete überwacht werden kann. Der Zweck dieses Plans ist es, spezifische Termine, anhand ihrer Abhängigkeit innerhalb der verschiedenen Arbeitspakete, detailliert darzustellen.

### **6.5.5 Project Control Schedule**

Der „Project Control Schedule“ ist ein detaillierter CPM Plan in dem die geplante Abfolge zur Erfüllung der Leistungen dargestellt wird. Des Weiteren werden die Leistungen entsprechend ihrer Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten aufgezeigt und dienen somit der Projektleitung zur Steuerung. In der Regel wird der Plan in Form eines Balken Diagramms- oder in Tabellenformat dargestellt.

Der Bau- und Montagephase werden entsprechend der geplanten Sequenzen folgende Anforderungen zugeordnet:

- Erforderliche Personalstärke
- Erforderliche Maschinen und Geräte
- Zugangs- und Arbeitsplatzbeschränkungen
- Leistungen der Subunternehmer
- Lieferanten Spezialisten

Darüber hinaus sind die Schlüsseldokumente an bzw. von

- Prüfstellen
- Lieferanten
- Subunternehmer

für die Bau- und Montage sowie der Inbetriebnahme darzustellen.

Jeder Disziplinverantwortliche des Projektteams ist für die rechtzeitige Bereitstellung seiner zu erbringenden Leistungen verantwortlich. Der „Project Control Schedule“ muss den gesamten Projektumfang beinhalten um die Schnittstellen zu identifizieren und möglichen Auswirkungen, Verzögerungen und/oder Störungen auf andere Disziplinen und/oder Vertragspartner aufzuzeigen. Des Weiteren wird er für die Fortschritts und Leistungsmessung verwendet. Dieser Plan wird auch für die Analyse der „Was-wäre-wenn-Szenarien“ verwendet und zeigt die Auswirkungen möglicher Verzögerung auf die Fertigstellungstermine auf.

### 6.5.6 Look ahead Schedule

Aus dem Gesamtprojektterminplan kann ein detaillierter Balkenplan generiert werden, der die Aktivitäten aufzeigt, die in einem definierten, noch kommenden Zeitraum anfallen. Der „Look ahead Schedule“ zeigt die Prioritäten der einzelnen Disziplinen auf, die regelmäßig zu überprüfen sind, sodass der aktuelle Fortschritt mit den aktuellen Terminen abgeglichen werden kann, um mögliche Konflikte und Störungen zu verhindern.

Im Allgemeinen dauern die vorausschauenden Zeiträume von zwei bis drei Wochen bis zu 90 Tagen.

Betrachtungen von Stillstandsarbeiten in Raffinerien und Prozessanlagen werden üblicherweise sehr viel detaillierter, und auch in kürzeren Zeiträumen gemessen. Nicht selten erfolgt die Betrachtung in Minuten oder Stunden anstelle von Tagen. Zweck ist es den Verantwortlichen vor Ort ein Instrument zur Verfügung zu stellen, mit dem die tägliche Arbeit bezogen auf den erforderlichen Fortschritt gemessen werden kann.

### 6.5.7 Task Lists

Um die tägliche Arbeit entsprechend der geplanten Vorgaben zu bewältigen werden des Öfteren Arbeitslisten mit detaillierten Aufgaben erstellt.

### 6.5.8 Supporting Data

Zusätzlich zu den genannten Plänen werden Leistungen auch über folgende Dokumente geplant und gesteuert:

- Request for Information (Informationsanfragen)
- Punch Listen
- Analyseberichte

---

## 6.6 Übersicht

Terminpläne, Ablaufpläne als Balkendiagramm oder Netzwerkdiagramme auf einer Zeitachse, in welcher Form auch immer, haben ihre eigene Daseinsberechtigung. Tabelle 6.1 versucht die unterschiedlichen Formate entsprechend ihrer Detailtiefe und Verwendung zu strukturieren.

Die eigentliche Hauptaufgabe des Terminplans besteht natürlich in der Planung und Steuerung der Vorgänge.

Darüber hinaus eignet sich der Terminplan für die graphische Unterstützung des Berichtswesens. Unterschiedliche Funktionen im Unternehmen, als auch im Projekt, haben unterschiedliche Ansprüche. Während das Top Management grob über den Status informiert werden möchte, benötigt der Vorarbeiter eine detaillierte Planung für seine Arbeiten. Idealerweise werden alle Beteiligten aus einem Terminplan versorgt. Tabelle 6.2 versucht dieser Anforderung gerecht zu werden.

Tabelle 6.3 hingegen dient als Planungshilfe für die Erstellung eines Terminplans.

Abbildung 6.4, 6.5 und 6.6 zeigen die unterschiedliche Detailtiefe der entsprechenden Ebene auf. Im Level 1 wird die Bau- und Montage übergeordnet dargestellt – lediglich die Unterteilung Prozessanlage und Nebenanlagen -, während im Level 2 bereits eine weitere Aufsplitterung in den Prozessanlagen und Nebenanlagen, entsprechend der Gewerke, durchgeführt wurde. Der Level 3 strukturiert hingegen den einzelnen Gewerken noch detaillierter.

**Tab. 6.1** Terminplanebenen entsprechend Verwendung und Formate

| Numerisch | Format                                              | Verwendung                                                                                       |
|-----------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Level 1   | Netzwerkdiagramm (auf einer Seite)                  | Kundenforderung mittels Anfrage (ITB)                                                            |
|           | Balkenplan (auf einer Seite)                        | Zugeständnis des Anbieters mit seinem Angebot                                                    |
|           | Aktualisierung erfolgt über Level 2                 | Vertragsbestandteil                                                                              |
|           |                                                     | Basis Machbarkeitsstudie                                                                         |
| Level 2   | Balkendiagramm                                      | Vertragsbestandteil                                                                              |
|           | zeitskaliertes Netzwerkdiagramm                     | Entwicklung und Erstellung für Angebote                                                          |
|           | Zusammenfassung (Aktivitäten und Logik) von Level 3 | Entwicklung und Erstellung für Mobilisierung                                                     |
|           | Aktualisierung erfolgt über Level 3                 | Aufzeigen des kritischen Pfads<br>Darstellung Schlüsseltermine für den Fortschrittsplan (Rev. 0) |
|           |                                                     | Bau- und Montageablaufplan, unter Berücksichtigung der Constructability                          |
|           |                                                     | Methoden, Disziplin- und Ressourcenabhängigkeiten                                                |
|           |                                                     | Überwiegend Ende-Start Logiken                                                                   |
| Level 3   | Zeitskaliertes Netzwerkdiagramm                     | Analyse des kritischen Pfads (CPM)                                                               |
|           | Balkendiagramm mit logischen Verknüpfungen          | Integration von Herstellerangaben, Fertigungs- und Lieferterminen                                |
|           | Aktualisierung der Vorgänge bzw. über Level 4       | Darstellung von Bau- und Montagesequenzen                                                        |
|           |                                                     | Fertigstellung von Systemen und Inbetriebnahme                                                   |
|           |                                                     | Bewertung mit Ressourcen (kritische und allgemeine Abhängigkeiten)                               |
|           |                                                     | Einarbeitung von Kosten                                                                          |
|           |                                                     | Zur Ausschreibung an Nachunternehmer                                                             |
| Level 4   | Zeitskaliertes Netzwerkdiagramm                     | Darstellung und Verfolgung einzelner Termine                                                     |
|           | Balkendiagramm mit logischen Verknüpfungen          | Abgleich mit Feldüberwachung und Subunternehmer-Input                                            |
|           | Aktualisierung der Vorgänge                         | Koordinierung der Gewerke                                                                        |
|           |                                                     | Einarbeitung von detaillierten Vorgaben für Kolonnen (Crews)                                     |
| Level 5   | Balkendiagramm mit logischen Verknüpfungen          | Weitere Detailierung Level 4                                                                     |
|           | Tabellen, Listen                                    | Einzelne Vorgänge (=Aufgaben) für die kommenden 2 bis 3 Wochen                                   |
|           | Aktualisierung der Vorgänge                         | Entwickelt für die Vorarbeiter-Ebene                                                             |
|           |                                                     | Vorgänge werden auf Vorarbeiterebene verfolgt<br>Wöchentliche Überprüfung                        |



**Tab. 6.2** Terminplanebenen Zielgruppen

| Numerisch | Beschreibungen                   | Zielgruppe        | Genauigkeit |
|-----------|----------------------------------|-------------------|-------------|
| Level 1   | Executive Schedule               | Top Management    | Grob        |
|           | Project Master Schedule (PMS)    |                   |             |
|           | Project Milestone Schedule       |                   |             |
| Level 2   | Management Schedule              | Top Management    | Niedrig     |
|           | Project Summary Schedule         | Projektleitung    |             |
| Level 3   | Progress Schedule                | Projektleitung    | Medium      |
|           | Integrated Project Schedule      | Baustellenleitung |             |
|           | Project Control Schedule (PCS)   |                   |             |
| Level 4   | Functionel Intermediate Schedule | Abschnittsleitung | Hoch        |
|           | Working Schedule                 | Vorarbeiter       |             |
| Level 5   | Look Ahead Schedule              | Baustellenleitung | Fein        |
|           | Detail Work Schedule/Plan        | Abschnittsleitung |             |
|           |                                  | Supervision       |             |
|           |                                  | Vorarbeiter       |             |

**Tab. 6.3** Terminplanebenen: inhaltliche Gegenüberstellung

| Numerisch | Inhalt                                                                                                                                          |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Level 1   | Zusammenfassung von Meilensteinen und der Gruppierungsebenen                                                                                    |
|           | Darstellung der Hauptbeschaffungsaktivitäten und der Gesamtinbetriebnahme                                                                       |
|           | Dauer der Hauptaktivitäten der Bau und Montage: 20–40 % des Auftrags, in der Regel 6–18 Monate (10–30 % des Auftrags, in der Regel 3–12 Monate) |
| Level 2   | Unterteilung nach z. B. Erdarbeiten, Fundamente, Rohrleitungen, Prozess-Ausrüstungen                                                            |
|           | Unterteilung in Bereiche (Prozessanlage/Nebenanlage)                                                                                            |
|           | Einstufung nach Vergabepaketen                                                                                                                  |
|           | Basierend auf der Machbarkeitsstufe                                                                                                             |
|           | Berücksichtigung von widrigen Witterungsbedingungen                                                                                             |
|           | Ausrüstung & Material mit langen Lieferzeiten                                                                                                   |
|           | Kritische Inbetriebnahme Sequenzen                                                                                                              |
|           | Dauer der Hauptaktivitäten der Bau und Montage: 10–20 % des Auftrags, in der Regel 3–9 Monate (5–15 % des Auftrags, in der Regel 2–6 Monate)    |
| Level 3   | Unterteilung nach Räumlichkeiten (vertikal und/oder horizontal) oder Prozesssysteme                                                             |
|           | Level 2 (Erdarbeiten, Fundamente, Rohrleitungen, Prozess-Ausrüstungen usw.) unterteilt in Komponententeile                                      |
|           | Berücksichtigung von widrigen Witterungsbedingungen                                                                                             |
|           | Detaillierte Liefer-Sequenzen                                                                                                                   |
|           | Integrierter, detaillierter Ablauf der Inbetriebnahme                                                                                           |
|           | Dauer der Hauptaktivitäten der Bau und Montage: 2–5 % des Auftrags, in der Regel 3–12 Wochen (1–3 % des Auftrags, in der Regel 2–6 Wochen)      |

Tab. 6.3 (Fortsetzung)

| Numerisch | Inhalt                                                                                                                                                                         |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Level 4   | Unterteilung nach Räumlichkeiten (vertikal und/oder horizontal) oder Prozesssysteme                                                                                            |
|           | Level 3 (Erdarbeiten, Fundamente, Rohrleitungen, Prozess-Ausrüstungen usw.) unterteilt in Fragmente und Aktivitäten der Subunternehmer und/oder Gewerke                        |
|           | Berücksichtigung von widrigen Witterungsbedingungen                                                                                                                            |
|           | Detaillierte Beschaffungs- und Inbetriebnahme-Aktivitäten                                                                                                                      |
|           | Dauer der Hauptaktivitäten der Bau und Montage: 1–3 % des Auftrags, in der Regel 2–6 Wochen (1–2 % des Auftrags, in der Regel 2–4 Wochen)                                      |
| Level 5   | Die Arbeiten werden den Baustellenkolonnen zugewiesen                                                                                                                          |
|           | Heruntergebrochen auf spezifische Detailabläufe, sodass die Arbeiten im Einzelnen geplant werden und dass Materialien und Zeichnungen diesen Arbeiten zugeordnet werden können |
|           | Dauer der Aktivitäten: ein paar Tagen bis zu drei Wochen                                                                                                                       |

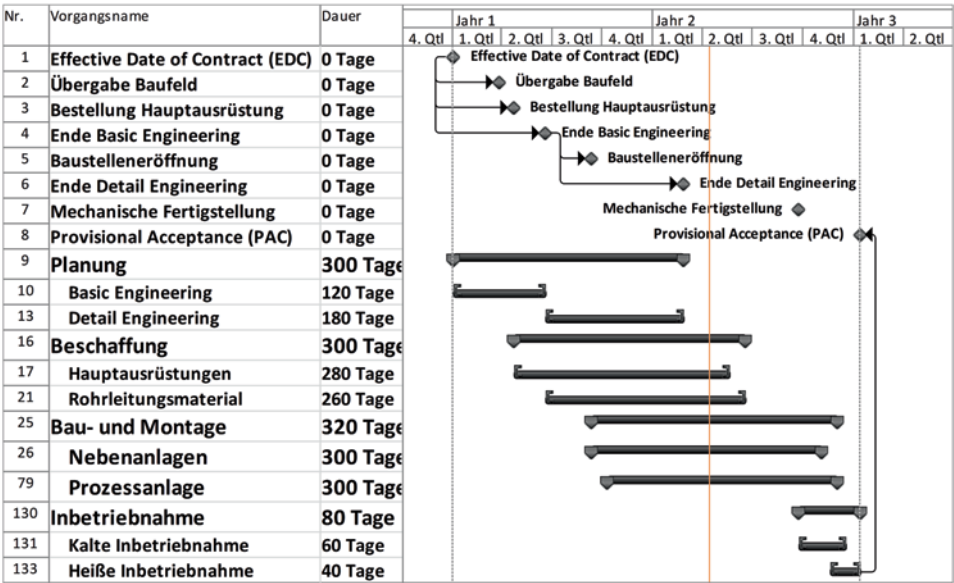


Abb. 6.4 Executive Schedule Level 1

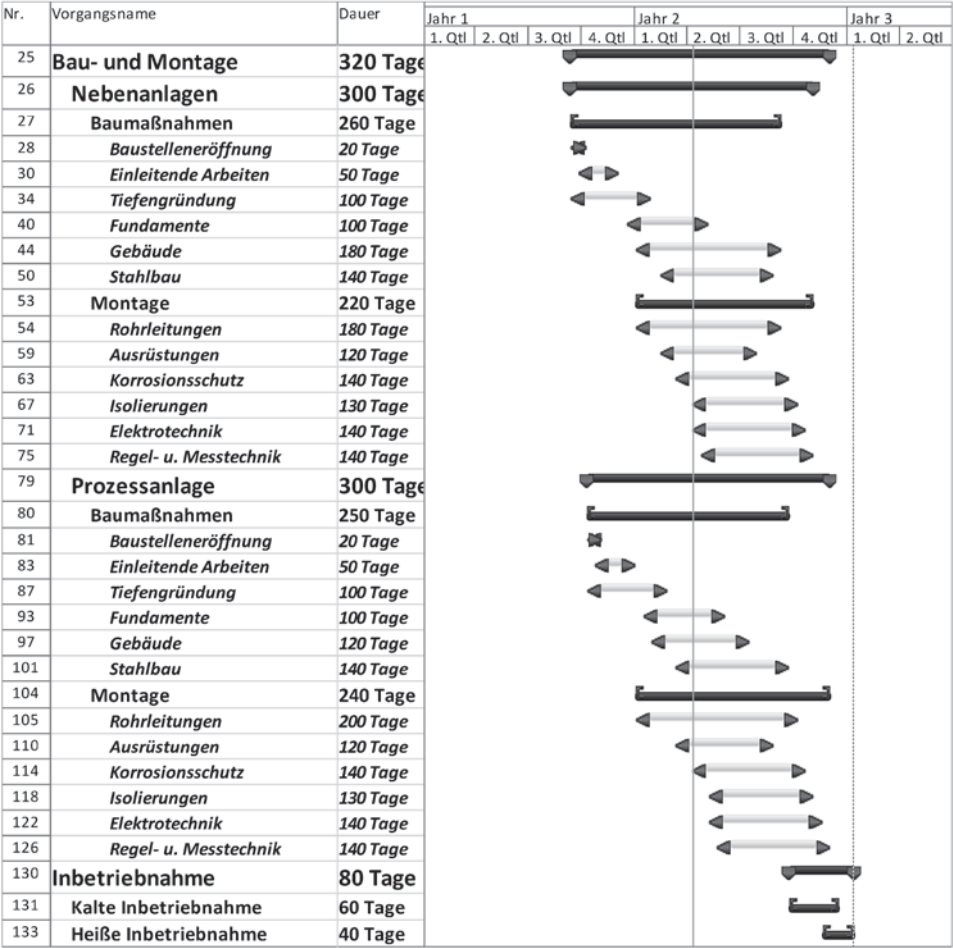


Abb. 6.5 Management Schedule Level 2

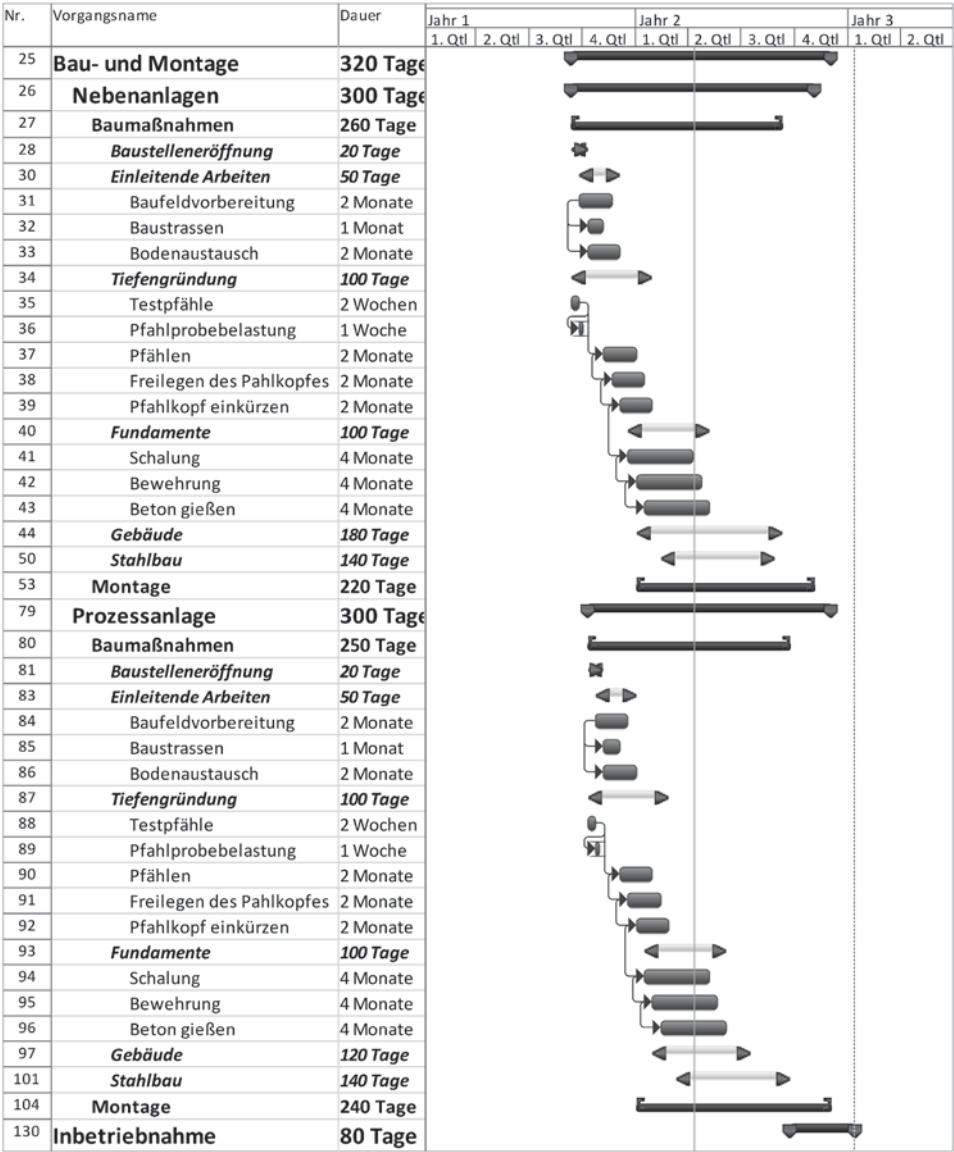


Abb. 6.6 Progress Schedule Level 3

## 6.7 Zusammenfassung

Terminpläne existieren in den unterschiedlichsten Formen. Sie dienen zum einen dazu, den Verantwortlichen im Unternehmen einen Überblick über den Status der einzelnen Projekte zu geben, zum anderen als detaillierte Ablaufplanung um Prozesse und Teilprozesse terminorientiert zu steuern und abzuschließen.

In dem Terminplan werden Vorgänge geplant und Meilensteine fixiert. Vorgänge werden untereinander verknüpft und mit Ressourcen bewertet. Frühest- und Spätesttermine bilden den Rahmen, indem die Leistungen zeitlich zu erbringen sind.

Die Detailplanung erfolgt entsprechend dem Kenntnisstand der entsprechenden Projektphase. Abweichungen, zusätzliche Erkenntnisse usw. lassen den Terminplan über die gesamte Projektlaufzeit „leben“.

Unterschiedliche Verwendungen des Terminplans, mannigfache Anwendungen wie beispielsweise in Tab. 6.1 dargestellt, erfordern eine flexible jedoch standardisierte Form und Darstellung der Termine.

Wie immer der Terminplan auch letztendlich bezeichnet wird, entscheidend ist, dass alle Projektbeteiligten das gleiche Verständnis über inhaltliche Darstellung und verwendeten Zweck haben.

In Ablauf- und Terminpläne der Bau- und Montage werden die Reihenfolge und die Zeiträume wiedergespiegelt, in denen Leistungen zu erbringen sind. Dazu ist es primär erforderlich, die Sequenzen der einzelnen Gewerke untereinander zu bestimmen und in Relation zu setzen. Den Sequenzen ist der Bedarf der erforderlichen Ressourcen zuzuordnen, und mit den gesamten verfügbaren Ressourcen zu vergleichen. Aus der Zuordnung verfügbarer Ressource ergeben sich die Dauern für die einzelnen Vorgänge.

Zur Ermittlung der Ressourcen können zwei unterschiedliche Verfahren angewendet werden, der „Top Down Ansatz“ oder der „Bottom Up“ Ansatz.

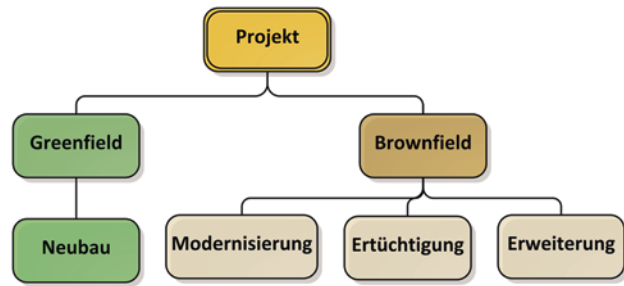
Der „Top Down Ansatz“ erfolgt meistens unter Verwendung eines Dreisatzes. Bei der Vorgabe des Ausführungszeitraums und bekanntem Output lassen sich die erforderlichen Ressourcen schnell ermitteln. Für Plausibilitätsprüfungen und Verwendung in einem Terminplan der Stufe 2 eine gute und sinnvolle Methode. Sind weitere detaillierte Untersuchungen zu tätigen, sollte die Größe der Ressource über ihren Bedarf her bestimmt werden, also „Bottom Up“. Auf die Ressourcenermittlung wird in Kap. 8.1 näher eingegangen.

Grundsätzlich sei darauf hingewiesen, dass die Ermittlung und Zuordnung der für das Projekt erforderlich Ressourcen auch als Teil einer Machbarkeitsuntersuchung zu sehen ist. Sollten die erforderlichen Ressourcen, aus welchen Gründen auch immer, nicht in der benötigten Menge zur Verfügung stehen, sind Probleme vorprogrammiert und im schlimmsten Fall sind die Termine nicht zu halten.

---

## 7.1 Rahmenbedingungen als Einflussfaktoren

Bei der Planung sind des Weiteren auch die Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen. Die wesentlichen Rahmenbedingungen eines Projektes, die die Planung entscheidend beeinflussen, sind wie, oder ob die Anlage in einen bestehenden Anlagenkomplex integriert

**Abb. 7.1** Projektarten

wird oder auf der „grünen Wiese“. Des Weiteren bilden die äußeren klimatischen Bedingungen als auch kulturelle Aspekte wichtige Einflussfaktoren.

Gemäß Abb. 7.1 beinhalten Projekte des Anlagenbaus nicht nur den Neubau einer Anlage, sondern auch das Erweitern, Ertüchtigen (Kapazitätssteigerung) und Modernisieren (Reduzierung von Emissionen, Aufwertung von Produkten usw.) von bestehenden Anlagen oder Teilen.

### 7.1.1 Greenfield/Grassroot

„Greenfield“ bedeutet, dass die Anlage auf der „grünen Wiese“ also auf unerschlossenem Gelände gebaut wird. Hierbei handelt es sich meistens um Neuanlagen oder um Anlagen die umgesiedelt werden. Ergänzend zur dem eigentlich Bau der Anlage kommt noch die Anbindung der Anlage(n) an die vorhandene Infrastruktur hinzu, oder die Errichtung einer neuen Infrastruktur.

Vorteile:

- Keine Rückbau- oder Demontagearbeiten
- In der Regel großzügige Freiflächen
- Optimierung der Aufstellungsplanung
- Möglichkeiten für zukünftige Anlagenerweiterungen

Nachteile:

- Keine vorhandenen Nebenanlagen (Strom, Wasser, usw.)
- Fehlende Infrastruktur (Zufahrten, Anbindung an öffentliche Netze, usw.)
- Umfangreiche Erdarbeiten (abhängig vom Geländeniveau)

### 7.1.2 Brownfield

„Brownfield“ bedeutet dass die Anlage innerhalb eines bereits bestehenden Industriegeländes errichtet wird. Im Allgemeinen ist die Errichtung einer Brownfield-Anlage

aufwendiger als die Errichtung einer gleichartigen Greenfield-Anlage. Im Bereich der Baumaßnahmen oder Montagearbeiten befinden sich produzierende Anlagenteile. Hier ist besondere Sorgfalt erforderlich, da die bestehenden Anlagenteile eine Gefährdung darstellen können. Abhängig von den jeweiligen Medien kann eine Beschädigung dieser Anlagenteile zu gravierenden Unfällen führen, von der Gefährdung von Personen bis hin zu schweren Umweltschäden.

Schwierigkeiten sind bereits im Untergrund zu erwarten. Hier sind mögliche Kontaminierungen zu berücksichtigen, die durch den Betrieb vorherigen oder angrenzenden Anlagen verursacht worden sein könnten. Des Weiteren besteht bei Brownfield-Projekten die Gefahr, dass im Untergrund Fundamente, Rohrleitungen, Kabel usw. vorhanden sind, die auf den ersten Blick nicht ersichtlich sind.

Der Anlagenbauer ist in solchen Fällen gut beraten, eventuelle Kontaminierungen und/oder das gesamte Bodenrisiko vertraglich auszuschließen.

Im Verhältnis zu Greenfield-Anlagen ist die Produktivität der Bau- und Montagetätigkeiten bei Brownfield-Anlagen niedriger anzusetzen. Dies wird durch umfangreiche, jedoch sinnvolle sicherheitstechnische Vorgaben des Anlagenbetreibers hervorgehoben. Des Weiteren kann die Zugänglichkeit zu der Baustelle, durch Freihalten von Rettungsgassen und/oder für den Betrieb des Tagesgeschäftes, beeinträchtigt werden.

Nicht selten sind die Unterlagen des Betreibers über den Untergrund unvollständig bzw. nicht auf dem aktuellen Stand. So ist des Öfteren der Einsatz von Baumaschinen bei Aushubtätigkeiten eingeschränkt, bzw. sind verstärkt Handausschachtungen (Suchschachtungen) durchzuführen, um unbeabsichtigte Beschädigungen von unterirdischen Kabeln und Rohrleitungen zu vermeiden. Ist verstärkt mit Behinderungen im Untergrund zu rechnen, stellt das Ausheben eines umlaufenden Grabens um das Baufeld eine bewerte Methode dar. Dadurch wird ein Überblick über Kabel und Rohrleitungen gewonnen, die in das Baufeld laufen, oder aus ihm herauskommen.

Viele Arbeiten benötigen einen Erlaubnisschein. Zum einen handelt es sich um sogenannte Schachtscheine in denen sicherheitsrelevante Maßnahmen für jegliche Arbeiten im Untergrund aufgeführt sind, zum anderen, Erlaubnisscheine für Brenn- und Schneidarbeiten, die mitunter täglich neu zu beantragen sind. Der daraus resultierende organisatorische Aufwand sollte nicht unterschätzt werden, Ebenso sollte frühzeitig untersucht werden, welche zusätzlichen Maßnahmen vom Betreiber gefordert werden. Der Einsatz von Brandwachen bei Brenn- und Schneidarbeiten kann um bis zu 15 % den Personalaufwand bei der Rohrleitungsmontage erhöhen.

Da bei Brownfield-Projekten eine Infrastruktur bereits vorhanden ist, sind die neu zu errichtenden Anlagenteile in den bestehenden Komplex zu integrieren. Erforderliche Einbindungsarbeiten finden größtenteils in einem Anlagenstillstand dem sog. „Shut Down“ statt. Da ein Stillstand der Anlage immer mit einem Produktionsstopp gleichzusetzen ist, besteht die Möglichkeit von heißen Einbindung bzw. „Hot Taps“. Hier werden neue Rohrleitungen in vorhandenen, in Betrieb befindlichen Rohrleitungen eingebunden. Bei toxischen und/oder explosiven Medien sind dabei besondere Maßnahmen zu treffen.



Zusammenfassend sind die Vorteile bzw. Nachteile bei Brownfield Projekten folgende Vorteile:

- Vorhandenen Nebenanlagen (Strom, Wasser, usw.) sofern die Kapazität ausreicht
- Ausgeprägte Infrastruktur (Zufahrten, Anbindung an öffentliche Netze, usw.)

Nachteile:

- Möglicher Rückbau- oder Demontearbeiten
- Begrenzte Freiflächen
- Mögliche Kontaminierungen
- Geringere Produktivität

### **7.1.2.1 Revamp**

Bei einem Revamp wird der größte Teil der erforderlichen Arbeiten während des Betriebes der Anlage durchgeführt. In der Regel handelt es sich um Modernisierungs- oder Ertüchtigungsarbeiten. Da die bestehende Anlage bereits produziert, ist es im Interesse des Anlagenbetreibers diesen Zustand möglichst lange aufrecht zu halten.

### **7.1.2.2 Shut Down**

Bei einem Anlagenstillstand, dem sogenannten Shut Down, werden die betroffenen Anlagenteile heruntergefahren, um Prüfungen oder Arbeiten an der Anlage durchzuführen, die während des Betriebes zu gefährlich oder nicht machbar wären.

Anlagenstillstände kosten Geld, und sollten möglichst von kurzer Dauer sein. Hoher Personalaufwand auf engstem Raum ist daher der typische Charakter von Stillstandarbeiten. Um diesen Personalaufwand möglichst effektiv, unter Berücksichtigung der Arbeitssicherheit, zum Zufrieden aller Beteiligten durchzuführen, sind die Stillstandarbeiten im Detail zu planen. Detailplanung bedeutet hier, eine Level 5 Planung, wie sie in Kap. 6.3.5 detailliert beschrieben wird.

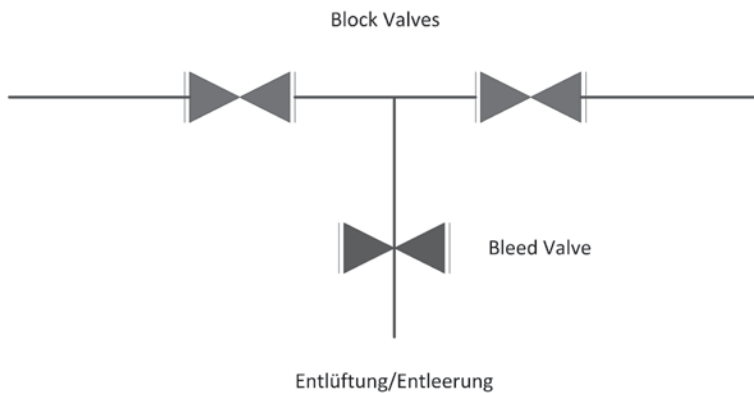
Bei der Planung von Stillstands-Arbeiten werden 3 Phasen unterschieden:

- Arbeiten vor dem Stillstand
- Arbeiten während dem Stillstand
- Arbeiten nach dem Stillstand

### **7.1.2.3 Shut Down Vorbereitungen**

Frühzeitig, bevor die eigentlichen Stillstands Arbeiten beginnen, ist das Sicherheitskonzept für das Herunterfahren der Anlage zu erstellen. Ein wesentlicher Teil des Sicherheitskonzeptes ist die Isolation (im Sinne von Trennung) der Systeme an den Prüfungen stattfinden, oder an denen gearbeitet werden muss.

Die Isolation ist eine Methode die das Durchfließen von Medien (Flüssigkeit oder Gas) durch Rohrleitungen und Ausrüstungen verhindert, um eine gefahrlose Überprüfung oder



**Abb. 7.2** Double block and bleed Anordnung

Arbeiten an der Rohrleitung gewährleisten zu können Die Isolation wird durch eine oder mehrere Absperrungen realisiert.

Eine Absperrung wird in der Regel durch ein Absperrventil erreicht. Wenn keine Absperrarmatur vorhanden ist, erfolgt die Trennung der Systeme durch Abstecken. Abstecken (Blinding) erfolgt unter Verwendung von Steckscheiben.

- Bei der Verwendung von Absperrarmaturen ist es aus Sicherheitsgründen erforderlich, dass die Absperrarmatur im geschlossenen Zustand verriegelt werden kann, und somit gegen unbeabsichtigtes Öffnen gesichert ist.

Mitunter ist es erforderlich zwei unabhängige Absperrungen zu berücksichtigen. Dazu bietet sich das sogenannte „Double block and bleed“ (DB&B) an. Hierbei kann es sich, wie in Abb. 7.2 dargestellt, um eine Anordnung von einer Erst- und Zweitabsperrung, mit einer dazwischen liegenden Entlüftung, handeln. Alternativ gibt es diese Anordnung auch als ein Bauteil, welches die gleichen Bedingungen wie die Anordnung erfüllt.

#### 7.1.2.4 Shut Down Arbeiten

Sind Arbeiten oder Prüfungen an den Rohrleitungen und/oder Prozessausrüstungen zu tätigen, sind diese von den durchfließenden Produkten zu entleeren und zu reinigen.

Des Weiteren benötigen sämtliche Arbeiten während eines Stillstandes Arbeitserlaubnis-scheine.

Die wesentlichen Erlaubnisscheine sind die konditionierten Freigaben für die Begehung von Ausrüstungen und die Erlaubnis für Schneid-, Brenn-, Heißarbeiten.

Da in der Regel die größte Gefahr durch Heißarbeiten erfolgt, sollte im Vorfeld sorgfältig untersucht werden, welche Arbeiten während des Stillstandes durchzuführen sind, und vor allem, welche alternativen Montageverfahren angewendet werden können.

Mögliche Alternativen, die im Vorfeld zu überprüfen sind, wären:

- Ist die Arbeit während eines Stillstandes durchzuführen
- Können Kaltarbeiten (Sägen, Schrauben usw.) Heißenarbeiten (Schneiden, Brennen, Schweißen usw.) ersetzen
- Müssen die Arbeit an dem Montageplatz, in der Anlage durchgeführt werden.
- Können die Arbeiten auf sicheren Montageplätzen außerhalb der Anlage ausgeführt werden?

Für die Ausführung der Arbeiten sind folgende Überlegungen durchzuführen:

- Durchführung einer Risikobetrachtung unter der Berücksichtigung von Risikominimierung
- Erstellung von detaillierten Job Cards, auf denen die erforderlichen Arbeiten einschließlich aller Sicherheitsvorkehrungen beschrieben werden.

Falls Heißenarbeiten nicht vermieden werden können, sind besondere Schutzmaßnahmen vorzusehen, wie z. B.:

- Arbeitsumgebung mittels funkenresistentem Material zu schützen
- Einsatz von Brandwachen
- Einsatz von Gasmelder

Grundsätzlich sind bei Heißenarbeiten die Bedingungen entsprechend der Arbeitserlaubnis zwingend einzuhalten. Die Erlaubnisscheine spezifizieren den Mindeststandard an persönlicher Schutzausrüstung, die für diese Tätigkeit erforderlich ist. Darüber hinaus werden zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen wie Gasmelder, Brandwachen usw. festgelegt.

### **7.1.3 Klimatische Bedingungen**

Klimatische Bedingungen haben nicht nur einen Einfluss auf die Produktivität und Kosten, sondern auch auf die Psyche der Betroffenen.

Gibt es das perfekte Klima für Menschen?

Im Allgemeinen natürlich nicht. Diese Frage beantwortet ein Personenkreis aus dem hohen kanadischen Norden mit Sicherheit anders, als die Bewohner im Mittleren Osten. Von daher ist auch bei der Besetzung der Baustelle darauf zu achten, dass nach Möglichkeit eine hohe Anzahl der Projektbeteiligten klimaerprobt sind.

Die wesentlichen klimatischen Beeinflussungen erfolgen durch

- Kälte
- Hitze

- Niederschlag
- Permafrost
- Windgeschwindigkeiten
- Luftfeuchtigkeit

In Kap. 3.4 Betonbau wurde auf den Temperatureinfluss beim Betonieren hingewiesen.

Für den Ablaufplan stellen die klimatischen Bedingungen einen wichtigen Punkt dar, der im Detail betrachtet werden muss. Nachfolgend sind Beispiels aufgeführt, die einen direkten Einfluss auf die Ablaufplanung ausüben.

#### Beispiele

Beeinträchtigung der Versorgung der Baustelle während der Schneeschmelze bzw. des Dauerfrostes. Welche Transportfenster stehen zur Verfügung?

Hohe Windgeschwindigkeiten können die Hebevorgänge beeinflussen. Entstehen dadurch terminliche Auswirkungen?

Extrem hohe Außentemperaturen minimieren den Baufortschritt. Lassen sich Leistungen während der Nacht erbringen und welchen Einfluss hat die Nachtschicht auf geplante Hebevorgänge.

Ist die Zugänglichkeit zum Baufeld während Regenperiode (Monsun) sichergestellt, und wie wirkt sich der Monsun auf den Fortschritt aus?

Welchen Einfluss hat eine hohe Luftfeuchtigkeit auf die Produktivität?

Extrem starker Schneefall bedeutet neben einer direkten Gefährdung auch eine Einschränkung des Fortschritts und der Zugänglichkeit. Der Schnee muss geräumt werden, was wiederum Zeit und Kosten in Anspruch nimmt.

Vorgenannte Beispiele zeigen mögliche Auswirkungen auf die Terminalschiene auf. Eine Auswertung sogenannter historischer Wetterdaten, sowie ein entsprechender angepasster Maßnahmenkatalog sollte Bestandteil einer jeden Ablaufplanung sein.

Abbildung 7.3 zeigt Europas größte LNG-Anlage die von Linde Engineering in Melkoya, Nähe Hammerfest, Norwegen unter extremen winterlichen Bedingungen, modular errichtet wurde.

### 7.1.4 Kulturelle Bedingungen

Das Arbeiten mit unterschiedlichen Kulturen lässt sich zwar in einem Projekt oder auf der Baustelle nicht bewerten bzw. planen, sollte aber grundsätzlich nicht außer Acht gelassen werden. Mitunter können Missverständnisse entstehen, die sich negativ auf den Baustellenablauf auswirken können. Daher sollte im Vorfeld jede Möglichkeit in Betracht gezogen werden, diese Auswirkungen, oder Teil dessen zu eliminieren. Mitglieder in internationalen Baustellenteams sollten detailliert auf ihre Aufgabe vorbereitet werden.



**Abb. 7.3** Baustelle unter winterlichen Bedingungen – LNG Plant. (Bild: Linde AG)

Workshops in denen die grundlegenden Unterschiede der involvierten Kulturen aufzeigen, fördern das gegenseitige Verständnis und minimieren Missverständnisse, die zu Verzögerungen im Bauablauf führen können.

Nachfolgend sind Beispiele aufgeführt, die zu Kommunikations- oder Interpretationsproblemen auf internationalen Baustellen führen können.

#### Beispiel

Die spanische Übersetzung für das Wort „morgen“ bedeutet mañana. Frag man auf einer Baustelle in Lateinamerika, wann diverses Arbeiten abgeschlossen sind, und man erhält die Antwort „mañana“, bedeutet dies nicht unbedingt „innerhalb der nächsten 24 h“.

Ein Kopfschütteln hervorgerufen durch Inder bedeutet eine Zustimmung, während in Europa das Kopfschütteln als Ablehnung aufgefasst wird.

Das Zeichen „Alles in Ordnung“ (Daumen und Zeigefinger bilden einen Kreis) bedeutet in der westlichen Welt „Alles in Ordnung“. Ein Japaner würde bei diesem Zeichen gerne über Geld reden, der südliche Franzose meint das Gegenteil, in Osteuropa und Russland handelt es sich dabei um ein vulgäres Zeichen.

Neben den kulturellen Missverständnissen kann es auch zu sprachlichen Schwierigkeiten kommen. Obwohl auf internationalen Baustellen „Englisch“ gesprochen wird, gibt es Länder und Regionen in den die englische Sprache nicht so weit verbreitet ist. Hierbei bietet es sich an, kurze Sätze, verstärkt mit aktiven Verben zu verwenden. Wichtiges sollte wiederholt und zusammengefasst werden.

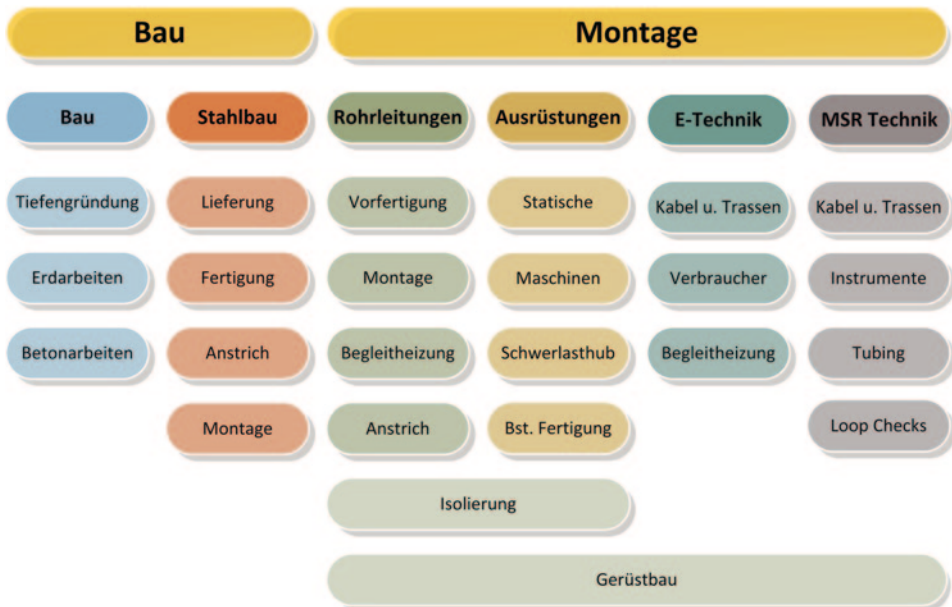


Abb. 7.4 WBS Bau- und Montage

## 7.2 Bau- und Montageplanung

Die Bau- und Montageplanung beinhaltet die Festlegung sämtlicher Prozesse und Teilprozesse zu einer gesamten Prozesskette. Eine Optimierung der Prozesskette sollte zu Beginn der Betrachtung nicht auf Lasten von kostbaren Ressourcen aufgestellt werden. In den seltensten Fällen führt, gerade im Anlagenbau, ein optimierter Einsatz von Ressourcen, als alleinige Maßnahme, zum gesetzten Ziel. Dazu sind die Projekte und Aufgaben zu komplex. Durch die Ermittlung und Festlegung sinnvoller Sequenzen zu einer Prozesskette lässt sich zwar ein Optimum darstellen, wird aber nie den Optimierungsgrad einer Serienfertigung erreichen.

*Wie wird also die Prozesskette festgelegt?* Zuerst ist ein Strukturplan (= engl. Work Breakdown Structure, WBS), entsprechend der vertraglichen Leistungen zu entwickeln. Abbildung 7.4 zeigt einen Strukturplan über die typischen Gewerke bzw. Teilgewerke, die zur Errichtung einer verfahrenstechnischen Anlage erforderlich sind. (Dieser WBS dient auch zur Vergabestrategie. Dabei können die Gewerke einzeln vergeben werden, oder in Paketen bis hin zu einem Generalunternehmer für Bau und Montage.)

Im nächsten Schritt wird die Anlage in geografischen Einheiten, unterteilt. Geografische Einheiten sind übersichtliche und räumlich voneinander getrennte Flächen, in denen, unabhängig von anderen Einheiten, gearbeitet werden kann.





**Abb. 7.5** Rohrbrücken innerhalb der TDI Anlage von Bayer Dormagen. (Bild: Bayer AG)

- Hier gilt das Prinzip, je komplexer die Anlage desto detaillierter die Unterteilung.

Nach der räumlichen Trennung erfolgt die Zuordnung der Gewerke.

Systeme, wie z. B. Rohrleitungen, die raumübergreifend sind, werden separat erfasst. Der Montagebeginn dieser Systeme erfolgt zunächst unter folgenden montagetechnischen Gesichtspunkten,

- Zugang
- Reihenfolge
- Aufwand bzw. Montagedauer.

Anschließend erfolgt die Betrachtung aus Sicht der Inbetriebnahme, also wann werden diese Systeme benötigt, bzw. wann sind sie fertigzustellen.

Wie Abb. 7.5 zeigt, verbinden Rohrleitungen auf Rohrbrücken Nebenanlagen und Prozessanlagen untereinander. Aus Sicht der Inbetriebnahme sind die Nebenanlagen zuerst fertigzustellen. Für die voranschreitende Inbetriebnahme Aktivitäten der Prozessanlage sind grundlegende Betriebsmittel wie Luft, Wasser, Dampf usw. erforderlich. Rohrbrücken werden demzufolge zuerst benötigt. Die Errichtung der Rohrbrücke erfolgt über die Arbeitsschritte Erdarbeiten, Betonarbeiten und Errichtung des Stahlbaus. Diese Arbeiten werden räumlich geplant. Das Belegen der Rohrbrücke mit Rohrleitungen erfolgt zuerst unter Nutzung der montagetechnischen Grundregeln.

- Zuerst die großen Durchmesser danach die kleineren. Zuerst der Stahl, dann die GfK Rohrleitungen.

Da nicht alle Rohrleitungen zum gleichen Tag fertig werden müssen, erfolgt ungefähr nach 2/3 der Rohrleitungsmontage die Fertigstellung der Rohrleitung entsprechend der notwendigen Verfügbarkeit. Dazu werden sämtliche Rohrleitungen bezüglich ihrer Medien und Aufgabe in Systeme zusammengefasst. Das System Kühlwasser beinhaltet die Leitungen, die Wasser für den Kühlprozess transportieren. Andere System wie z. B. Feuerlösch, Dampf, Gas usw. runden das Bild ab. Die Systeme werden gemeinsam zwischen Montageplaner und Planer der Inbetriebnahme definiert und sequenziert. Diese Struktur und Reihenfolge bilden den „roten Faden“ der Prozesskette.

Die Systeme werden im weiteren Verlauf den geografischen Einheiten zugeordnet. Welche Rohrleitung (aus welchem System) verläuft von A nach B über welche Rohrbrücke.

Erschwerend kommt nun hinzu, dass die Systeme nicht immer in den Grenzen von geografischen Einheiten und Strukturen hereingepresst werden können. Das System Synthese-Gas befindet sich z. B hauptsächlich in der Prozessanlage Synthese, während das Kühlwasser durch alle Prozessanlage und Nebenanlage laufen kann.

Bei der Verlegung des Kühllaufsystems sind neben den Rohrbrücken auch teilweise die Untergründe betroffen.

Bei der Planung ist nun so vorzugehen, dass die Untergrundarbeiten und Rohrbrücken mit ausreichendem Vorlauf ausgeführt werden. Untergrundarbeiten schränken grundsätzlich die Beweglichkeit im Baufeld ein.

Erschwerend könnte noch hinzukommen, dass die erforderlichen Ressourcen nicht durch einen Nachunternehmer abgedeckt werden können. Also müssen bestimmte Leistungen als Teilleistungen an mehrere Nachunternehmer vergeben werden. Man spricht somit von einer Losgrößenvergabe. Das bedeutet, dass bei gleichen Gewerken mehrere Nachunternehmer erforderlich sind.

- Sollte bei der Errichtung der Anlage mehrere Nachunternehmer gleicher Gewerke eingebunden sein, so sollte mindestens die unterste Ebene des Strukturplans dieses widerspiegeln.

Nachdem diese Grundlagen ermittelt und bearbeitet wurden, erfolgt die Terminierung. Dazu werden die Gewerke bzw. Teilgewerke in der zeitlichen Abhängigkeit zueinander betrachtet.

Ziel ist es hierbei, die erforderlichen Bau- und Montageleistungen solange in Teilaufgaben bzw. Vorgänge zu zerlegen, bis diese eine überschaubare Größe erhalten. Den einzelnen Vorgängen sind Start- und Endtermine zuzuordnen. Des Weiteren sind die Abhängigkeiten der Teilleistungen untereinander zu erfassen und deren Abhängigkeiten zum Planungsprozess (= Verfügbarkeit von Unterlagen) und Beschaffungsprozess (= Verfügbarkeit von Materialien) darzustellen.

Abbildung 7.6 zeigt eine typische Struktur eines Terminplans.



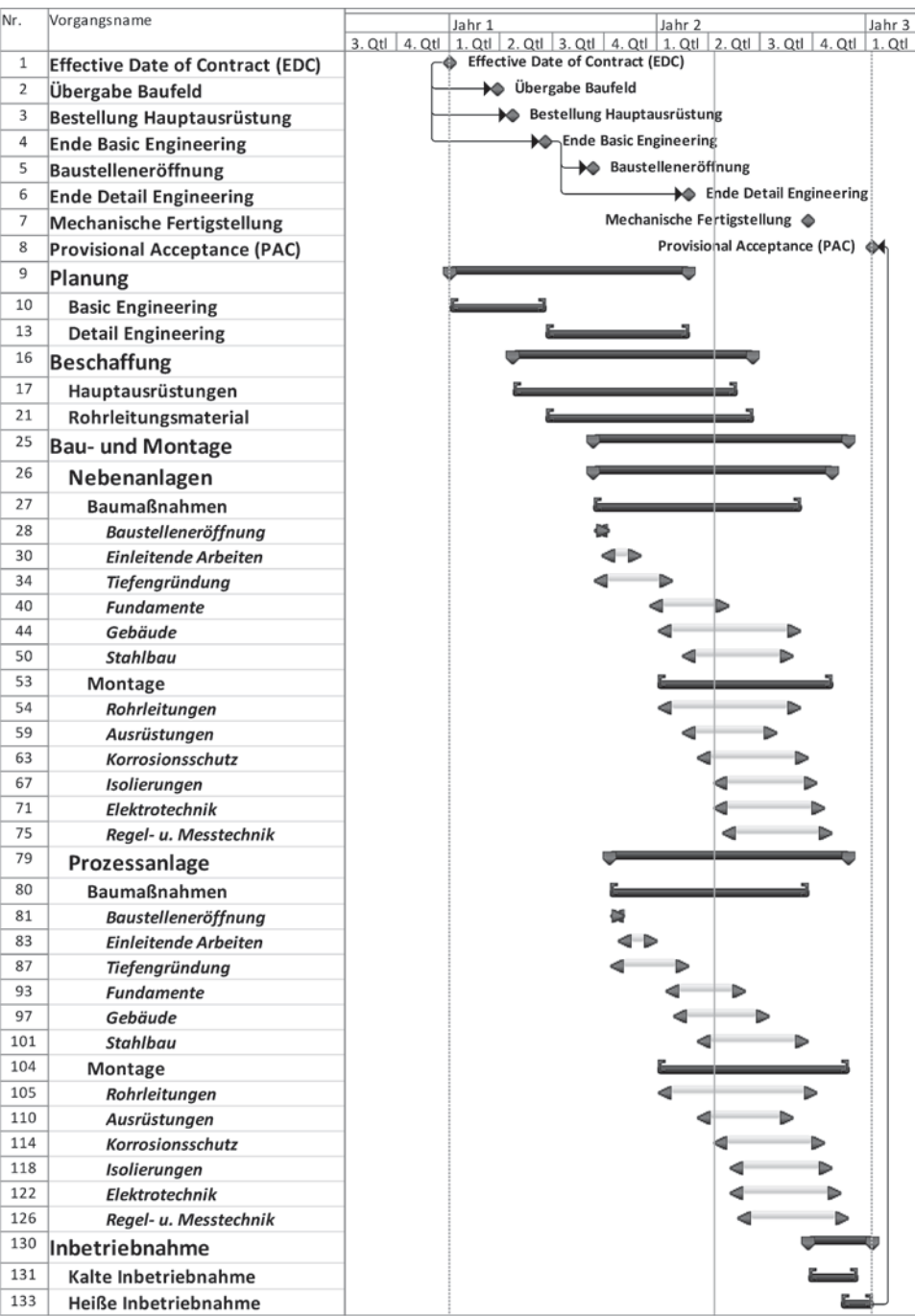


Abb. 7.6 Terminplan Bau- und Montage

Je nach Größe des Projektes erfolgt wie bereits beschrieben die Einteilung in geographischen Einheiten. Die erste Ebene ist das Projekt. Das Projekt wird wiederum in die entsprechenden Prozessanlagen unterteilt, wobei eine räumliche Trennung dieser Prozessanlagen unterstellt wird, und den geographischen Einheiten zugeordnet. Parallel dazu werden die Nebenanlagen aufgeführt.

Die Prozessanlagen und Nebenanlagen werden weiterhin entsprechend ihrer räumlichen Trennung in Bau- und Montageabschnitte unterteilt. Die weitere Unterteilung verlässt nun die räumliche Trennung und bezieht sich auf die Systeme. Eine Prozessanlage verfügt in der Regel über mehrere Systeme, die über die Grenzen der geographischen Einheiten hinausgehen.

Aus Sicht der Planung erfolgt nun die Festlegung welche geographische Einheit zuerst errichtet wird. Unter Berücksichtigung des Top Down Ansatzes (Inbetriebnahme Sequenzen) werden einzelne Systeme/geographischen Einheiten mit Prioritäten versehen, und unter Zugrundelegung nachfolgend aufgeführter Gesichtspunkte definiert.

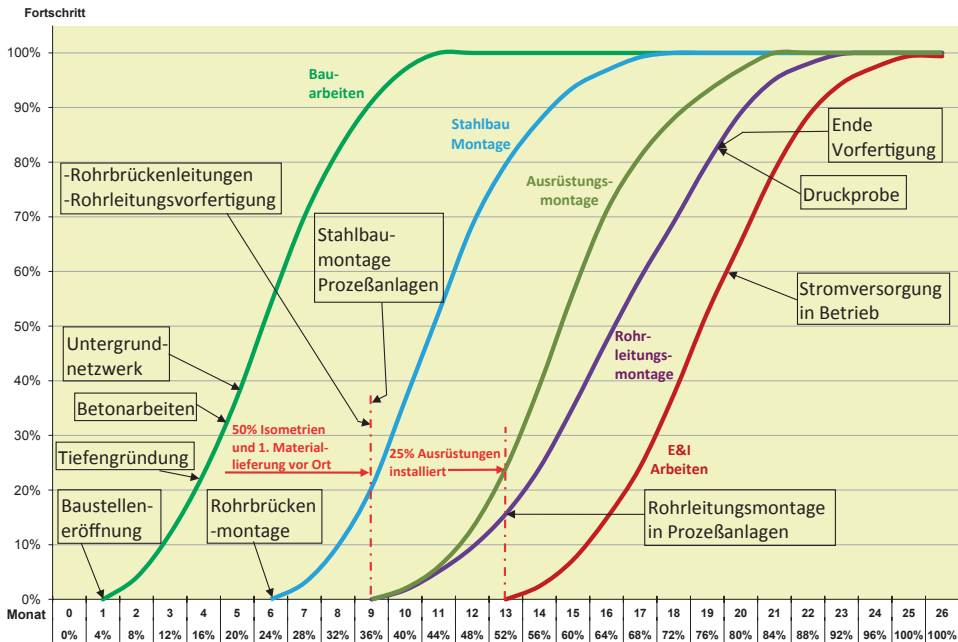
- Verfügbarkeit von technischen Unterlagen
- Verfügbarkeit von Material, Lieferzeiten
- Verfügbarkeit von Arbeitsfronten
- Inbetriebnahme Sequenzen
- Montagetechnische Bedingungen

Zu Beginn der Ausführungsphase wird erstmal nach der Devise „Massenfertigung“ gearbeitet. Hier heißt es, entsprechend den verfügbaren Materialien und den dazugehörigen Zeichnungen zu arbeiten. Der Start der Bau- und Montagearbeiten richtet sich demzufolge nach der Verfügbarkeit von Dokumenten und Materialien. Ausgehend von einer ausreichenden Auslastung der Nachunternehmer, ist der Bau- und Montagebeginn so früh wie möglich und so spät wie nötig zu wählen. Sollte der Starttermin zu früh gewählt werden, kommt ein weiterer Einflussfaktor ins Spiel.

Dieser nicht unwesentliche Einflussfaktor ist ein möglicher Anstieg der Montagekosten aufgrund von Änderungsarbeiten und Mehrkosten. Untersuchungen im „The Alberta Report, COAA Major Projects Benchmarking Summary“ haben ergeben, dass der Fortschritt der Planung einen direkten Einfluss auf steigende Bau- und Montagekosten hat.

Der erreichte bzw. geplante Fortschritt des Engineerings zu Beginn der Ausführungsphase (Bau und Montage) ist dabei eine entscheidende Kennzahl. Der Trend zeigt, dass je vorangeschrittener das Engineering ist, desto geringer fallen die Kostenerhöhungen während der Ausführungsphase aus. Kostenerhöhungen ergeben sich aus:

- Änderungsarbeiten
- Revisionen von Zeichnungen
- Wartezeiten aufgrund von fehlenden Zeichnungen
- Effizienz-Verluste durch nicht vollständiges Material
- Usw.,



**Abb. 7.7** Zeitliche Abhängigkeit der Gewerke

Dieser Trend gilt bis zu einem bestimmten Zeitpunkt. Der optimale Wert stellt sich bei etwa 60% Fortschritt des Engineerings ein. Dieses Ergebnis spiegelt die Erkenntnis, unter anderem auch aus Studien des Construction Industry Institut (CII), Universität von Texas, Austin, wieder. Diese Ergebnisse sollen statistisch signifikant sein, was wiederum bedeuten würde, dass eine enge Beziehung zwischen dem Planungsstand vor Baubeginn und steigenden Bau- und Montagekosten bestehen. (28S. 26)

Die Empfehlung geht hier von einem Fertigstellungsgrad des Engineerings zu Beginn der Bau- und Montage von 60% aus.

Abbildung 7.7 zeigt die prinzipiellen Abhängigkeiten der Bau- und Montagegewerke untereinander, anhand einer Zeitachse die nur den bau- und Montageablauf widerspiegelt. (Die Zeitachse ist exemplarisch mit 25 Monaten gewählt, sodass ein Monat eine Wertigkeit von 4% besitzt. Kürze Montagezeiträume können somit linear angepasst werden.) Je nach Gewerk ist sicherzustellen, dass die vorherigen Gewerke einen ausreichend Vorlauf erhalten um dem Nachfolgewerk die notwendigen Arbeitsfronten bereitzustellen.

Nach der Herstellung der Tiefengründung folgen die Betonarbeiten für die Fundamente. Nach ca. 4–6 Wochen sollten die ersten Stahlbauteile für die Rohrbrücken installiert werden. Nah ca. 20% Fortschritt werden die ersten Stahlbaustrukturen für die Prozessanlagen errichtet. Dieser Zeitpunkt bietet sich, sofern die erste Bestellung von Rohrleitungsmaterial auf der Baustelle eingetroffen, für den Beginn der Rohrleitungsmontage auf den Rohrbrücken und der Vorfertigung an. Dazu ist aber, als weitere Vorbedingung, die Verfügbarkeit von ungefähr 50% der Isometrie erforderlich. Nur dadurch kann eine

ausreichende Auslastung der Rohrleitungsmontage und Vorfertigung erreicht werden. Die Rohrleitungsmontage in den Prozessanlagen beginnt idealerweise, wenn ein Viertel der Ausrüstungen verfügbar ist. Üblicherweise erfolgt zur Hälfte der Baustelle der Beginn der Elektroarbeiten.

Neben den logischen Sequenzen, das natürlich erst das Fundament zu bauen ist, bevor der Stahlbau montiert werden kann, hat auch die Machbarkeit (Constructability) einen Einfluss auf die Prozesskette.

So sind ausreichend Zugänge zu den Arbeitsplätzen bzw. –bereichen sicherzustellen. Eine Unterbrechung der Stahlbaumontage muss berücksichtigt werden, wenn eine Ausrüstung montiert werden muss, die nach Fertigstellung des Stahlbaus nicht mehr eingebracht werden kann.

Arbeitsfronten für Bereiche mit einer hohen Leistungserbringung bzw. einer langen Montagezeit wie baustellengefertigte Tanke, sind frühzeitig zu beginnen.

Eine alte Grundregel des Anlagenbauers, die nach wie vor Gültigkeit besitzt, lautet:

- Von „schwer“ nach „leicht“ und von „innen“ nach „außen“.

Die Berücksichtigung montagebedingte Sequenzen soll sicherstellen, dass eine Reihenfolge gewählt wird, die ein Zubauen der Baustelle verhindert. So werden Rohrbrücken stets zu Beginn montiert, da sie in der Regel im Mittelpunkt des Anlagenkomplexes liegen. Ausrüstungen die in einem Stahlgerüst angeordnet sind wie Abb. 7.8 zeigt, sind bereits während der Stahlbaumontage zu installieren. Verspätete Eintrefftermine der Ausrüstungen auf der Baustelle führen zu deutlichen höheren Aufwendungen für die Montage, oder üben einen negativen Einfluss auf die Termine aus.



**Abb. 7.8** Ausrüstungsgerüst einer Bayer Anlage. (Bild: Bayer AG)

### 7.3 Constructability

Eines der magischen Begriffe im internationalen Großanlagenbau ist sicherlich das Wort „CONSTRUCTABILITY“.

Eine Suche im „Oxford Dictionaries“ nach dem Begriff führte zu keinem Ergebnis.

Das Construction Industry Institut (CII), Universität von Texas, Austin, ist ein Zusammenschluss von mehr als 130 führenden Anlagenbetreiber, Engineering-Unternehmen, Auftragnehmer und Zulieferer aus dem öffentlichen und privaten Sektor. Ihrer Auffassung nach ist „Constructability“ folgendes:

- “Constructability is the process of doing everything possible to make construction easy, to improve quality, safety and productivity, to shorten construction schedules and to reduce rejection and rework”.

*(Constructability ist der Prozess indem alles Erforderliche zu unternehmen ist, um die Bau- und Montage einfach zu gestalten, die Qualität, Sicherheit und Produktivität zu verbessern, die Bauzeiten zu verkürzen und Nacharbeiten zu vermeiden oder zu verringern.)*

Wie bereits auch Edward D. Wright feststellte, wurden Constructability Untersuchungen bereits in der Vergangenheit durchgeführt, ohne großes Aufsehen darüber zu verlieren.

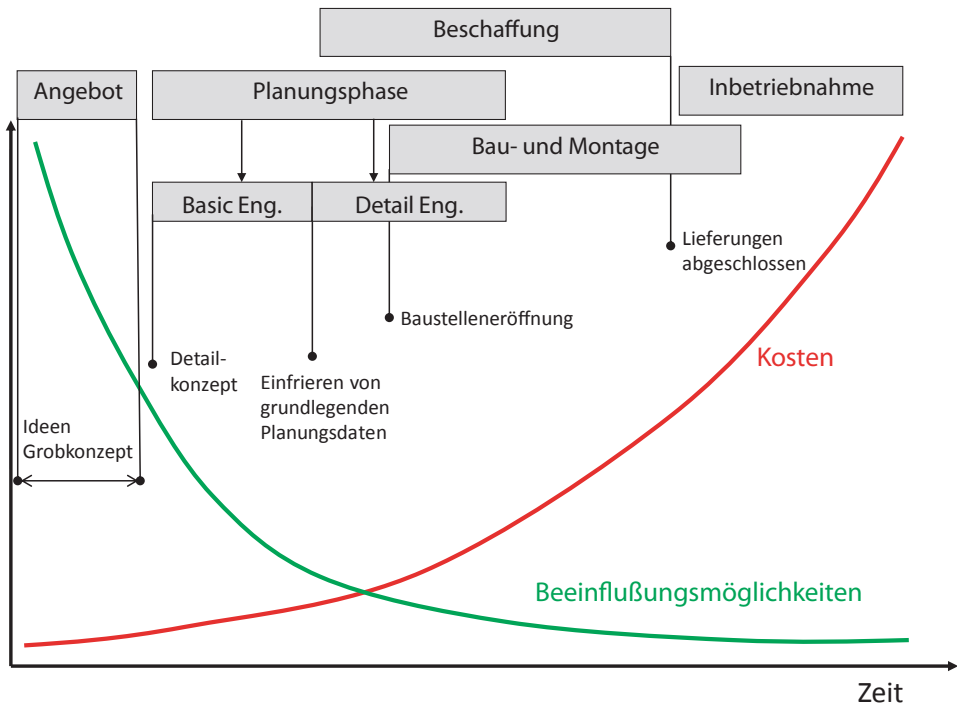
Über Jahre hinweg hat erfahrenes Montagepersonal wertvolle Hinweise gegeben, um die Montage von Anlagen einfacher zu gestalten. Die Legende besagt, dass Hamid, einer der Vorarbeiter beim Bau der großen Pyramide, sich beim Pharao beschwert hat. Hamid deutete gegenüber dem Pharao an, dass die Steinblöcke zum Bau der Pyramide zu groß und zu schwer geplant werden, sodass dadurch der Einbau in ihre endgültigen Positionen sehr schwierig wäre und er dafür zu viele Männer benötige. Durch die unsicheren Arbeitspraktiken fielen zudem immer wieder Arbeitskräfte aufgrund von Arbeitsunfällen aus. Ferner beklagte Hamid auch die Qualität der Kanten durch das Brechen der Blöcke im Steinbruch. Die Kanten der Blöcke erforderten dadurch zu viel Nacharbeit vor Ort. Die Termintreue bei der Auslieferung der Blöcke sei ebenfalls sehr bescheiden, und führe auf der Baustelle immer wieder zu Verzögerungen.

Der Pharao bestand nun aufgrund dieser Beschwerde auf ein intensives Constructability-Programm. Er brachte Hamid mit den Planern und den Lieferanten der Blöcke zusammen. Die Planer wurden gezwungen die Blöcke in einer montagegerechten Größe zu planen. Der Steinbruch musste seine Qualität verbessern und zudem pünktlich ausliefern.

Danach wurden die weiteren Pyramiden um 13,05 % der Zeit schneller gebaut und wiesen auch noch eine Kosteneinsparung von 31,12 % aus.

Diese Verbesserungen hielten solange an, bis die Unterlagen im Laufe der Zeit verloren gingen und die Bau und Montage in ihre alten Gewohnheiten zurückfiel. (29)

Dem erneut entgegen zu wirken, wurde das Constructability Programm wieder ins Leben gerufen. Die Philosophie die hinter dem Programm steht, ist die, durch **erfahrenes** Baustellenpersonal einen Einfluss auf die Planung der Anlage in einem frühen Projektstadium zu gewinnen. Das soll nicht automatisch bedeuten, dass nur die Kosten zur Herstel-



**Abb. 7.9** Kosten-Beeinflussungsdiagramm

lung der Anlage zu optimieren sind. Vielmehr ist das Ziel ein Optimum des Zusammenspiels von Kosten, Terminen, Qualität und Arbeitssicherheit zu erreichen.

Wie Abb. 7.9 darstellt, ist der Zeitpunkt des Ereignisses entscheidend für die Beeinflussbarkeit und der Höhe der entstehenden Kosten.

Mit voranschreitender Projektlaufzeit reduzieren sich die Möglichkeiten korrigierend in die Planung einzugreifen.

Je eher die „Constructability“-Untersuchungen also durchgeführt werden, umso einfacher lassen sich die Ergebnisse der Untersuchungen in dem Projekt implementieren. Nachfolgend sind die 7 Kernelemente der Constructability zusammenfassend aufgeführt:

1. Die Sequenzen zu Erstellung von Engineering-Unterlagen und die Bestellvorgänge werden entsprechend den Erfordernissen der Bau- und Montage angepasst.
2. Der Ausführungsstandard ist so auszulegen, dass ein effizientes Bauen und Montieren möglich ist.
3. Elemente werden standardisiert und wo immer möglich wiederholt.
4. Der Umfang der Vormontage ist im Voraus zu planen und die konstruktive Möglichkeit von Modulen zu berücksichtigen, um die Montage, den Transport und die Installation zu erleichtern.
5. Die Planung begünstigt den Zugang der Arbeitskräfte, Materialien und Ausrüstungen.

6. Die Planung erleichtert die Bau- und Montage unter widrigen Umgebungsbedingungen durchzuführen.
7. Technische Daten sind im Detail von den beteiligten Parteien überprüft worden und dienen dazu, den Bau- und Montageablauf zu vereinfachen.

Studien haben gezeigt, dass in einem Projekt Kosteneinsparungen direkt in der Projektphase angefallen sind, in der die Constructability durchgeführt wurde. Je früher die Umsetzung also erfolgte, desto größer waren die Einsparungen.

Möglicher Potentiale sind:

- Verbesserung der Arbeitssicherheit
- Reduzierung der Bau- und Montagekosten
- Qualitätsverbesserung
- Signifikante Termineinsparungen
- Erhöhung der Produktivität
- Reduzierung von Ausführungszeiträumen
- Weniger Änderungen und somit geringe Kosten

---

#### Beispiel

Während einer Constructability-Untersuchung wird festgestellt, dass der Aufstellungsplatz einer Kolonne von Rohrbrücken umgeben wird, also kein direkter Zugang vorhanden ist. Da der Liefertermin der Kolonne relative spät ist, müssen die Rohrbrücken entsprechend ihrem natürlichen Ablauf montiert werden. Somit muss die Kolonne über die Rohrbrücke gehoben werden. Dadurch ist ein Kran mit einer wesentlich höheren Kapazität für den Hebevorgang erforderlich. Eine Änderung des Aufstellungsplans zu Gunsten einer niedrigeren Krankapazität würden unter Umständen maximal den Aufwand einer Zeichnungsrevision bedeuten.

Constructability ist auch ein Verfahren indem Sachverhalte, dazu sollten auch standardisierte und wiederkehrende Abläufe gehören, hinterfragt werden sollten. Die Constructability Studie ist während der Projektabwicklung von einem unabhängigen Team durchzuführen. Dieses Team wird von einem erfahrenen Baustellenmann geführt. Des Weiteren sollten erfahrene Planer aus dem Bereich Bau und Stahlbau, sowie von der Lage und Aufstellungsplanung integriert werden.

Die Constructability Untersuchungen sollten bereits in der Angebotsphase durchgeführt werden und zu feststehenden Ereignissen abgeschlossen und ggf. implementiert worden sein. Als Möglichkeiten bieten sich die standardisierten „Model Reviews“ wie 30 und 60% an. Insbesondere sollte das Model Review mit dem Fertigstellungsgrad 60% berücksichtigt werden.

Die Baustellenaktivitäten werden ungefähr zu diesem Zeitpunkt eröffnet. Maßnahmen aus der Constructability Untersuchung sollten hier letztendlich in die Planung einfließen



bzw. eingeflossen sein. Abweichungen und Änderungen kosten von nun an viel Zeit und Geld.

Ob eine Anlage aus Einzelteilen vor Ort oder modular gebaut wird, wird bereits in der Angebotsphase entschieden. Die Grundlage für die Entscheidung ist

- die Verfügbarkeit von Arbeitskräften,
- klimatische Bedingungen,
- Lohnkosten oder
- die Dauer der Erteilung von Betriebserlaubnissen

als auch eine Kombination der genannten Einflüsse.

Die Machbarkeit steht auch hier im Vordergrund. Sind in der Region keine Arbeitskräfte verfügbar, kann die Anlage nicht vor Ort aus Einzelteilen errichtet werden. Ähnlich verhält es sich bei extrem klimatischen Bedingungen und bei allen Offshore Projekten. Die modulare Bauweise bietet einen Zeitvorteil, wenn ohne die Erteilung lokaler Genehmigungen nicht mit den Bauarbeiten begonnen werden darf, und diese Erteilung mitunter mehrere Monate in Anspruch nimmt.

Wie immer die Entscheidung ausfällt, wenn sie einmal getroffen ist, ist es schwierig sie zu korrigieren.

Abbildung 7.10 zeigt ein Modul einer LNG-Anlage, das auf einem externen Modulyard in Cardiz, Spanien gefertigt wurde, und nun zu seinem Bestimmungsort nach Melkoya Nähe Hammerfest, Norwegen transportiert wird.

Nachfolgend sind einige Überlegungen aufgeführt, die während der Constructability-Betrachtung behandelt werden.



**Abb. 7.10** Anlagen-Modul: LNG plant for Melkoya on a barge. (Bild: Linde AG)



### Beispiele

Je nach Lage der Baustelle und deren Witterungsbedingungen sollten befestigte Wege und Flächen frühzeitig angelegt werden. Ein Vorteil wäre unter anderem die Verwendung von kostengünstigen Rollgerüsten.

Eine der grundsätzlichen Constructability Fragen, ist die Frage, ob die Anlage modular oder mittels Einzelteile Vor-Ort (stick built) gebaut wird. Die Beantwortung dieser Frage hat eine entscheidende Auswirkung auf die Abwicklungsstrategie des Projektes. Einmal getroffen, lässt sich diese Entscheidung nur schwer rückgängig machen.

Fundamente sollten, wo immer möglich, standardisiert werden. Besonders bei Rohrbrücken bietet sich die Vorgabe an. Durch die Standardisierung besteht die Möglichkeit auf kostengünstige vorgefertigte Blöcke zurückzugreifen. Von daher ist es zu empfehlen, bereits frühzeitig Kontakt zu den lokalen Betonwerken zu suchen, um vorgefertigte Betonteile einzusetzen.

Die Einbindung von lokalen Stahlbaulieferanten aus abwicklungs-technischer Sicht sollte grundsätzlich angestrebt werden. Kürzere Wege sind in der Ausführungsphase bei Änderungen ein wesentlicher Pluspunkt. Allerdings dürfen auch die wirtschaftlichen Aspekte bei der Wahl des Beschaffungsmarktes nicht außer Acht gelassen werden.

Sollte der Stahlbaulieferant auch noch den Stahlbau montieren?

Einige Anlagenbauer streben die Maximierung vom feuerverzinkten Stahlbau an. Andere Anlagenbauer wiederum befürworten den Einsatz von angestrichenem Stahlbau. Die Gründe hierfür sind meist unterschiedlicher Natur. Der Einsatz von galvanisiertem Stahlbau vermeidet einen späteren Aufwand für die Behebung möglicher Montageschäden am Anstrich. Angestrichener Stahlbau wiederum bietet dem Anlagenbauer, insbesondere bei den Rohrleitungshalterungen mehr Flexibilität.

Ein Weiterer wesentlicher Punkt ist die Minimierung der Vielfältigkeit von Verbindungselemente. Je weniger unterschiedliche Typen zum Einsatz kommen, umso geringer ist das Risiko von Fehlmaterialien.

Die Verlegung von Kabel in Kabeltrassen ist zu maximieren. Die Verteilerkästen sind an gut zugänglichen Stellen zu positionieren, idealerweise in Gruppen, um den Aufwand an Gerüsten zu minimieren. Das gleiche gilt für den Verlauf der Kabelrohre.

Das Aufstellen von einigen Ausrüstungen, im Besonderen große Maschine, wird während der Montage und/oder während der Vorinbetriebnahme durch Vertreter der Lieferanten begleitet. Zum einen ist das Fachwissen der Spezialisten während der Montage gefragt, zum anderen überzeugt sich der Hersteller von der spezifikationsgerechten Montage zur Absicherung seiner Gewährleistungen. Die Kosten für die Bereitstellung, sowie der angenommene Zeitraum sollte Bestandteil der Bestellung der Hauptausrüstungen sein.

Wie sieht nun die Constructability Untersuchung in ihrem eigentlichen Ablauf aus.

Abbildung 7.11 zeigt wie die vorhandenen Informationen ermittelt werden und in den Constructability Prozess einfließen. Als Voraussetzung für eine Constructability Untersuchung sollten u. a. Marktkenntnisse über Lohnkosten, berufliche Qualifikation,

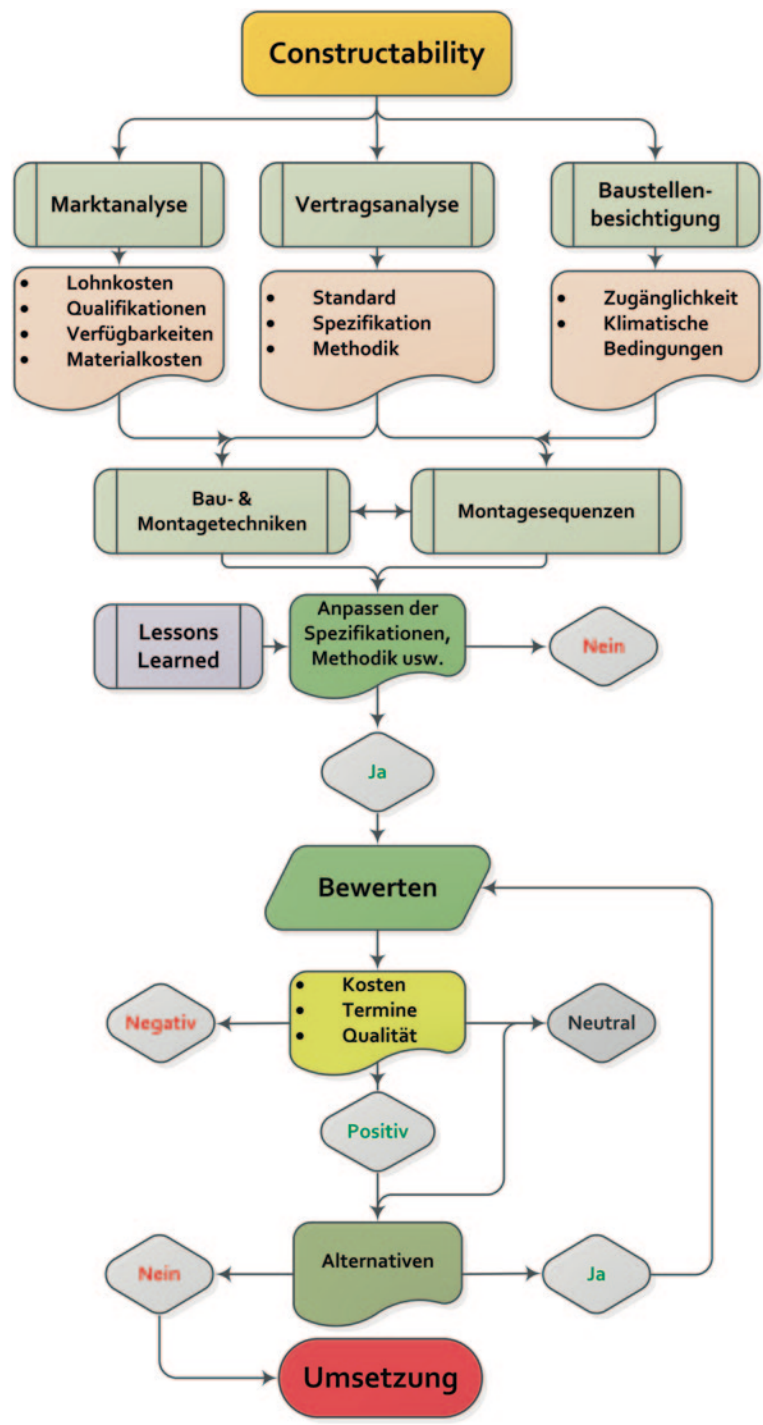


Abb. 7.11 Constructability Ablauf

Verfügbarkeit von Ressourcen und Materialkosten vorliegen. Informationen aus dem Vertrag sowie gewonnenen Eindrücke aus der Baustellenbesichtigung bilden weitere Säulen der Constructability Untersuchung. Sämtliche Erkenntnisse aus dem vorgenannten, werden mit den standardisierten Bau- und Montagetechniken, sowie den Standardsequenzen zur Herstellung der Anlage zusammengefahren. Dabei sollte auch bereits Bewährtes hinterfragt werden. Werden aufgrund der Überprüfungen und neuen Erkenntnisse Abläufe, Methoden oder Spezifikation angepasst bzw. verändert, sind diese bezüglich ihrer Auswirkung auf Kosten, Termine und Qualität hin zu überprüfen. Sind die Auswirkung als Ganzes negativ sollte mit dem erprobten Standard weiterverfahren werden. Bei neutralen oder positiven Auswirkungen sind mögliche Alternativen untereinander erneut bezüglich der Kosten, Termine und Qualität hin zu überprüfen.

Liegen keine weiteren Alternativen mehr vor, sollte zielorientiert mit der Umsetzung der Maßnahme begonnen werden.

---

## 7.4 Zusammenfassung

Projekte bestechen durch ihre Einmaligkeit, unabhängig ob es sich um einen Neubau, eine Erweiterung oder Modernisierung einer Anlage handelt. Die Baustellenabwicklung eines Projektes, bedingt durch die technischen Ansprüche, als auch durch die lokalen und klimatischen Bedingungen, erfordert jedes Mal eine individuelle Planung.

Wie bereits eingangs beschrieben hat das Baustellenmanagement sämtliche Projektphasen bis hin zur mechanischen Fertigstellung zu berücksichtigen. Ziel ist es dabei:

- Abläufe vorherzusagen
- Schwierigkeiten zu erkennen
- Lösungen zu erarbeiten
- Alternativen aufzeigen und implementieren.

Montagesequenzen werden optimiert um die kostbaren Ressourcen in dem Maße zu nutzen, wie sie verfügbar sind. Machbarkeitsuntersuchungen dienen der zielgerichteten Fertigstellung der Anlage.

Die Festlegung der Ablaufplanung wird durch weitere Annahmen, die zu dokumentieren sind, untermauert. Diese Dokumente sind z. B.:

- Baustelleneinrichtungsplanes
- Montagespezifikation und Anweisungen
- Kapazitätenplanung und Personaleinsatzplanung
- Krankonzept einschl. Alternativen
- Montagewegplanung
- Montagetechnologien
- Montagebeschreibungen

- Montageabläufe
- erforderliche Montage- und Transportfreiräume
- Model Review
- Baustellenordnung

Während der Constructability-Studie werden neben umfangreichen montagetechnischen und logistischen Betrachtungen auch standardisierte Abläufe, von erfahrenem Baustellenpersonal hinterfragt. Während des Constructability-Prozesses werden die Faktoren

- Arbeitssicherheit
- Termine
- Kosten
- Qualität

in **einer Funktion** betrachtet.

Ziel ist es hierbei aus einer Funktion mit vier (Un?)Bekannten ein optimales Ergebnis zu generieren.

Entscheidend für eine ablaufoptimierte Baustellenabwicklung, unabhängig davon, ob man sich noch in der Planungsphase oder schon in der Ausführungsphase befindet, ist der Kenntnisstand über den erforderlichen Bedarf.

Der Bedarf an Ressourcen oder Flächen muss zu jederzeit an die aktuelle Situation anpassbar sein.

Steuern oder korrigierend eingreifen kann nur derjenige, der einen Überblick über die verfügbaren Ressourcen und Flächen hat, sowie Kenntnisse über den erforderlichen Bedarf.

Diese Thematik kann nicht oft genug wiederholt werden.

- Eine Baustelle kann nur erfolgreich abgewickelt werden, wenn der erforderliche Bedarf entsprechend der Planung zu Verfügung gestellt wird.

Elementare Kriterien sind die Ressourcen, also Personal und Geräte. Diese Ressourcen werden benötigt um Materialien zu bewegen und zu verbauen. Demzufolge müssen die Materialien den Ressourcen mengenmäßig, entsprechend der Produktivität, zugeführt werden. Störungen in diesem Ablauf bedeuten Störungen (hier Reduzierung) der Produktivität.

Anders als in der Serienfertigung der Automobilindustrie ist eine „just in time“ Lieferung nicht empfehlenswert. Sinnvolle Ausnahmen bilden mitunter die Lieferungen von Ausrüstungen.

Die primären Faktoren hierzu sind:

- Ressourcen
  - Personal
  - Geräte

- Flächen
- Verbrauchsmaterialien

Es ist also sicherzustellen, dass für die Lagerung der erforderlichen Materialien auch entsprechende Flächen zur Verfügung stehen. Sollte diese nicht ausreichend sein, sind entsprechende Logistikkonzepte zu entwickeln, die z. B. eine „Just in time“ Lieferung der zu verbauenden Materialien gewährleistet. (Siehe hierzu Beispiel Empire State Building).

Die Bedarfsermittlung des Personals orientiert sich zum einen an dem Terminplan, zum anderen an der Machbarkeitsanalyse der einzusetzenden Personaldichte. Wie bereits beschrieben, ist ein Personaleinsatz ohne die entsprechenden Geräte nicht effektiv und ist somit ebenfalls im Detail zu untersuchen.

Nicht unwichtig, jedoch mitunter unterschätzt, ist der Bedarf an Verbrauchsstoffen wie Wasser, Energie und technischen Gasen.

Um im Nachfolgenden die Inhalte etwas lebhafter zu gestalten wurde ein Pseudoprojekt mit folgendem Projektvolumen in Betracht gezogen.

*Annahmen Beispielprojekt:*

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| Beton            | 15.000 m <sup>3</sup> |
| Stahl            | 5000 t                |
| Rohrleitungen    | 1000 t                |
| Untergrund       | 200 t                 |
| Equipment        | 3000 t                |
| Isolierung       | 20.000 m <sup>2</sup> |
| Anstrich         | 10.000 m <sup>2</sup> |
| Elektrotechnik   | 200 Verbraucher       |
| Instrumentierung | 2500 Instrumente      |

## 8.1 Ressourcen

Abbildung 8.1 zeigt den Ablauf der Ermittlung und Zuordnung von Ressourcen wie sie in die Terminplanung einfließt.

Basis für die Ressourcenermittlung und Zuordnung im ersten Schritt sind Erfahrungswerte und projektspezifische Werte. Nicht immer liegen detaillierte Mengen und Massen zu Beginn eines Projektes vor. In den meisten Fällen sind jedoch die Mengen und Massen aus der Angebotsbearbeitung in ersten Annäherung ausreichend. Liegen zu einem späteren Zeitraum detaillierte Erkenntnisse vor, sollte im Falle von Abweichungen eine mögliche Auswirkung auf die Ressource und somit vielleicht auf Termine untersucht werden.

Die verfügbaren Mengen und Massen werden mit spezifischen Kennzahlen wie Arbeitszeitwerte, Produktivität, Effizienz und Länderfaktoren bewertet. Daraus lässt sich

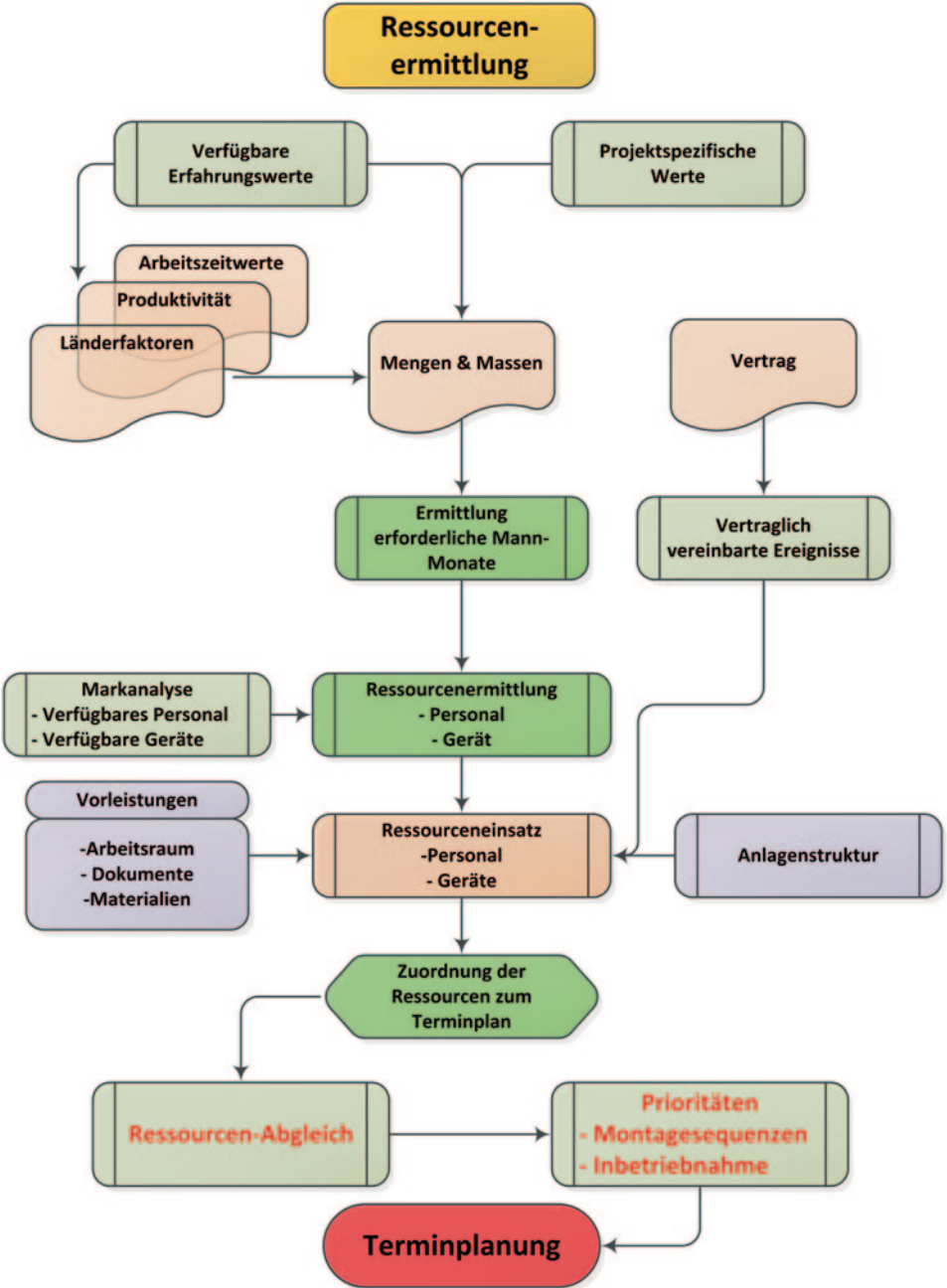


Abb. 8.1 Ablauf Ressourcenermittlung

eine Anzahl von Mannmonaten ermitteln. Diese Ermittlung wird für alle Gewerke oder Teilgewerke durchgeführt.

Laut Vertrag sind Ecktermine für Teilleistungen vereinbart. Daraus ergeben sich als erste Annäherung die Dauern für die einzelnen Gewerke.

Nun erfolgt anhand der angenommenen Dauern und Ressourcen eine detaillierte Betrachtung. Verfeinerte Sequenzen werden hinsichtlich der Einsätze von Kolonnen und Geräte untersucht. Die so ermittelten Werte sind gegen die Marktanalyse zu prüfen.

- Sind auf dem Markt ausreichende Kapazitäten mit den geforderten Qualifikationen verfügbar?

#### **Bietet der lokale Markt ausreichend genügend Geräte an?**

Sollten diese beiden Fragen nicht mit einem eindeutigen „Ja“ beantwortet werden können, ist es dringend empfohlen, sich auf andere Beschaffungsmärkte zu konzentrieren.

Nachdem die Ressourcen ermittelt wurden, erfolgt die Planung des Ressourceneinsatz. Parallel dazu erfolgt die Plausibilitätsprüfung, ob der erforderliche Arbeitsaufwand des Ressourceneinsatz mit dem verfügbaren Arbeitsaufwand abgedeckt werden kann. Hierbei wird das rechtzeitige Vorhandensein von Dokumenten, Materialien und verfügbaren Arbeitsräumen überprüft. Können die Ressourcen mit ausreichenden Dokumenten und Materialien versorgt werden, sodass aus dieser Richtung keine Einschränkung bezüglich ihrer Auslastung erfolgt, werden die Ressourcen den einzelnen Vorgängen, Teilvorgängen und Dauern im Terminplan zugeordnet. Im Anschluss hieran erfolgt eine Überprüfung möglicher Ressourcenspitzen.

Aufgrund der vielfachen unterschiedlichen Anfangs- und Endtermine sind die einzelnen Vorgänge ressourcentechnisch zu optimieren. Hierbei werden sämtliche Vorgänge mit freiem Puffer solange verschoben, bis unnatürliche Ressourcenspitzen abgebaut werden.

### **8.1.1 Ressourcenermittlung**

Welche Bedingungen müssen für die Ermittlung der erforderlichen Ressourcen bekannt sein?

Zum einen sollten Kenntnisse über die zu verbauenden Massen ( $Q$ =Quantitäten) vorliegen.

Laut Vertrag ist die Bau- und Montage der Anlage zu einem definierten Zeitpunkt fertigzustellen, der sogenannten Mechanischen Fertigstellung. Somit liegen auch Erkenntnisse über die Dauer  $D$  (in Tagen) vor.

Nachdem die Bau- bzw. Montageverfahren bestimmt wurden, lassen sich die ersten Abschätzungen unter Berücksichtigung der entsprechenden Effizienz  $E$ , der jeweils gewählten Montageverfahren tätigen.

Darüber hinaus ist die Struktur des Bau- und Montageablaufplan, wie unter 7.2 Bau- und Montageplanung beschrieben, zu definieren und in Vorgänge zu unterteilen. Die



logische Verknüpfung der Vorgänge ist die wesentliche Voraussetzung einer zielorientierten Ressourcenermittlung. Anfangstermine und Endtermin der Vorgänge sind vordefiniert. Die Dauer eines Vorganges hängt nun von den zu verbauenden Mengen ab und von den eingesetzten Ressourcen, die diesem Vorgang zuzuordnen sind. Die Ressourcen auf der Baustelle bestehen aus Arbeitskräften und Geräten. Da bekanntlich 1000 Chinesen nicht ein Haus an einem Tag bauen, erfolgt ein iterativer Prozess zwischen der Dauer und der Größe der einzusetzenden Ressource.

Die Effizienz hingegen variiert im Zusammenhang mit dem gewählten Montageverfahren wie. z. B. Hand- oder Automaten-schweißung.

Die Ansätze für die Effizienz sind entweder dem Unternehmensfundus oder der Literatur zu entnehmen. (Ansätze aus der Literatur sollten nur als Richtwerte verwendet werden.)

- Jedes Unternehmen sollte auf Grundlage der Dokumentation eigener, abgeschlossener Projekte eine Sammlung an KPI'S (Effizienzwerte) für die unterschiedlichen Gewerke und im Zusammenhang mit verschiedener Randbedingungen (z. B. Witterung, Länder) zusammentragen und permanent pflegen.

Auf Basis dieser Erfahrungswerte werden die Vorgangsdauern ermittelt.

Was ist nun die kleinste Einheit bei der Ermittlung der Ressource?

Im Anlagenbau bietet es sich an, die Ressourcenermittlung auf Basis von Kolonnen durchzuführen. Dies wird dadurch begründet, dass nicht nur die Anzahl von Arbeitskräften die treibende Größe ist, sondern auch die Anzahl von Montagegeräten bzw. eine Kombination aus beidem. Viele Gewerke benötigen bei ihrer Ausführung Hebezeuge. Während bei der Pfahlgründung eindeutig die treibende Kraft das Gerät ist, ist bei der Stahlbaumontage oder Rohrleitungsmontage die treibende Größe eine Kombination aus Kran und Personal. Wobei hierbei das Personal als Kolonne zu verstehen ist.

Geht man bei der Ressourcenermittlung von der Arbeitskolonne aus, ist je nach Aufgabenstellung, die Zusammensetzung der Kolonne als effektiv zu betrachten. Das heißt, der Kolonne wird ein Optimum an Output unterstellt.

---

#### Beispiel

*Eine Rohrleitungsmontagekolonne besteht in der Regel aus 5 Personen, zwei Vorrichter, die die Rohrleitungsenden vorbauen, einem Schweißer, der die Schweißnaht herstellt, zwei Monteure, die die Rohrleitungsteile zum Montageort transportieren und grob ausrichten.*

*Hierbei geht man von dem optimalen Einsatz der Ressourcen aus. Zwei Vorrichtern richten eine Naht für den Schweißer in dem Zeitraum vor, die der Schweißer für die Herstellung eben solch einer Schweißnaht benötigt. Es wird ferner davon ausgegangen, dass die beiden Monteure weitere Rohrleitungsteile in dem gleichen Zeitraum an einem anderen Einbauort transportieren.*

Entscheidend ist hierbei, dass es sich nicht um einen einmaligen Ablauf handelt, sondern um wiederkehrende und wiederholende Abläufe handelt.

Einer Kolonne mit unterschiedlichen Anforderungen an die Qualifikation ihrer einzelnen Arbeiter wird ein effektives Zusammenspiel unterstellt. Die unterschiedlichen Arbeitsschritte einer Kolonne greifen, im Idealfall, nahtlos ineinander über. Mögliche Abweichungen vom Optimum werden durch entsprechende Faktoren bei der Festlegung der Effizienz berücksichtigt.

Betrachtet wird nun die Kolonne als kleinste Einheit der Ressource (RK). Dabei wird die Kolonne als Ressource projektspezifisch auf ihre Zusammensetzung hin überprüft.

*Sind in jedem Land unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen 5 Personen für eine Rohrleitungsmontagekolonne ausreichend, und/oder erfordern lange Transportwege mehr Personen?*

*Die Anzahl bzw. Besetzung der Kolonnen ist aus planerischen Gründen zu ermitteln. Die Aufsummierung der Personalstärke dient unter anderem der Festlegung der Baustelleneinrichtung.*

Die Zusammensetzung der Kolonne dient in erster Linie der Klärung von Ressourcenfragen. Die Effizienz der Kolonne wird hierbei als Konstante verstanden. Eine höhere Anzahl von Arbeitern erhöht nicht automatisch den Output der Kolonne.

Die Dauer des Vorganges wird durch die auszuführende Menge  $Q$  [ME] und der angenommenen Effizienz  $E$  [h/ME] bestimmt. Unter Berücksichtigung von Formel 3–1 Effizienz ergibt sich folgender Ansatz:

$$\text{Effizienz} = E = \frac{D}{Q} = \frac{\text{Input}}{\text{Output}} = \frac{\text{Arbeitsaufwand}}{\text{prod.Stückzahl}}$$

$D$  = Dauer des Vorgangs [Tagen]

$Q$  = auszuführende Menge [ME=m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>, t, Stck.]

$E$  = Effizienz [h/ME]

$T_d$  = tägliche Arbeitszeit [h/d]

Da die Kennzahl Effizienz in der Regel den Aufwand auf h-Basis beinhaltet ist die Gleichung entsprechend der Einheit der Dauer anzupassen.

$$D = \frac{Q * E}{T_d}$$

*Formel 8–1 Vorgangsdauer* Mitunter sind Vorgänge aufgrund ihrer komplexen Zusammensetzung oder weil sie auf dem kritischen Pfad liegen detaillierter zu betrachten. Dadurch werden die Mengen bzw. Massen die während einer Vorgangsdauer produziert werden in Teilmengen und somit in Teilvorgänge heruntergebrochen. Ein Vorgang verfügt somit über mehrere Teilvorgänge.

*Im Rohrleitungsbau wäre die Vorgehensweise, dass z. B. Subsysteme in Isometrie unterteilt werden.*

$$Q = n * q$$

*Formel 8–2 Teilvorgänge (Mengen)*

$n$  = Anzahl der Teilvorgänge

Unter der Annahme, dass alle **Teilvorgänge parallel verlaufen**, also die Start- und Endtermine des Teilvorganges identisch mit denen des Vorganges sind ergibt sich:

$$D = \frac{Q * E}{Td} = \frac{n * q * E}{Td}$$

*Formel 8–3 Dauer Teilvorgänge*

Wie bereits eingangs erwähnt, werden im Anlagenbau jeweils die Ressourcen von zwei Seiten betrachtet. Von daher erfolgt die Unterteilung der Ressourcen in die Ressource Personal ( $R_K$ ), wie vorab beschrieben, mit der Größenordnung Kolonne, und der Ressource Gerät ( $R_G$ ). Die Ressourcen sollten grundsätzlich mit dem Ziel, Vorgangsdauern zu verkürzen, geplant und eingesetzt werden.

Da heißt, dass bei einem Ansatz mittels Formel 8–3 auch die Verfügbarkeit der Ressource Gerät zu untersuchen ist. Die gesamte Vorgangsdauer  $D$ , wird nun in Abhängigkeit beider eingesetzten und verfügbaren Ressourcen betrachtet.

Als Treiber der Vorgangsdauer wird die Ressource  $R$  entweder die Anzahl der einzusetzenden Kolonnen ( $R_K$ ) oder der Geräte ( $R_G$ ) betrachtet, je nachdem, ob sich der Aufwandswert für eine Geräte- oder Arbeitsleistung bemisst.

$$D = \frac{Q * E}{R * Td} = \frac{n * q * E}{R * Td}$$

*Formel 8–4 Ressourcenabhängige Dauer von Teilvorgängen* Wird beispielsweise das „Abtragen von Gelände“ betrachtet, wie im Beispiel in Kap. 3.1 aufgeführt, ist die treibende Ressource der Einsatz der Geräte, da die Logistik maßgebend ist. Bei der Stahlbaumontage wird bei Bestimmung der Vorgangsdauer  $D$ , die Ressource Personal und Gerät berücksichtigt. So benötigt zum Beispiel jede Stahlbaukolonne ein Hebegerät. Bei dem Einsatz mehrerer Kolonnen ist hier der freie Arbeitsraum als Standflächen für die Krane zu berücksichtigen.

Wie bereits erwähnt besteht im Anlagenbau ein Vorgang aus mehreren Teilvorgängen, wie auch das Beispiel Rohrleitungsbau aufzeigt. Die Teilvorgänge lauten „Transport zum Einbauort“, „Vorrichten der Rohrleitung“ und „Schweißen der Rohrleitung“. Wenn die

Teilvorgänge auf die gleichen Ressourcen (Gerät) zurückgreifen, entsteht eine Einschränkung, die nicht mit verstärktem Einsatz kompensiert werden kann. So benötigt der Teilvorgang „Transport zum Einbauort“ das gleiche Hebegerät wie der Teilvorgang „Vorrichten der Rohrleitung“. Die Teilvorgänge sind also zeitlich versetzt. Es entsteht also eine Ende-Anfang-Verknüpfung innerhalb der Teilvorgänge.

Können dagegen mehrere Kolonnen bzw. Geräte eingesetzt werden, die parallel arbeiten, so dass alle Teilvorgänge gleichzeitig hergestellt werden können, ist der zeitliche Versatz gleich null.

### Beispiel

*Herstellung einer Rohrbrücke aus Stahl mit einer Länge von 50, 6 breit und 8 m hoch und einem Gesamtgewicht von 60 t.*

*Eine Stahlbaukolonne setzt sich in der Regel aus 5 Personen zusammen.*

*Annahme:*

*Menge Q: 60 t*

*Effizienz E: 20 h/t*

*Arbeitstag Td: 8 h/Tag*

*Geplante Dauer: 10 Tage*

*Unter Berücksichtigung von Formel 8–4 ergibt sich eine erforderliche Ressource von:*

$$D = \frac{Q * E}{RK * Td} = \frac{n * q * E}{RK * Td}$$

$$RK = \frac{Q * E}{D * Td} = \frac{60t * 20h/t}{10 \text{ Tage} * 8h/Tag} = 15$$

*Demzufolge sind 15 Arbeitskräfte bzw. 3 Kolonnen einzusetzen. Die Stahlbaumontage wiederum erfordert dass pro Kolonne mindestens ein Hebegerät erforderlich ist. Demzufolge ist RG = 3 Krane.*

### Beispiel

*Eine Rohrbrücke wird von A nach B errichtet. Hier ist im Detail zu prüfen, inwieweit der Einsatz von 3 Kranen realisiert werden kann, ohne eine gegenseitige Gefährdung bei überlappendem Schwenkbereich hervorzuhoben.*

*Wirtschaftlich sinnvoll wäre es in diesem Fall die Errichtung der Rohrbrücke mit 1 Kolonnen (Rk = 5) zu planen.*

*Hieraus würde sich dann eine Dauer D von*

$$D = \frac{Q * E}{RK * Td} = \frac{60t * 20h/t}{5 * 8h/Tag} = 30 \text{ Tage}$$

*ergeben*

*Anhand des Beispiels soll verdeutlicht werden, dass die Dauer eines Vorganges immer unmittelbar mit der eingesetzten Ressource verknüpft ist.*

Übersteigt die Nachfrage von erforderlicher Ressourcen das Angebot an verfügbare Ressourcen, sind Maßnahmen des Ressourcenabgleichs (Ressourcen-Levelling) zu ergreifen um zu einem realisierbaren Ablaufprogramm zu gelangen. Aber auch im umgekehrten Fall, d. h. bei einem Überangebot an verfügbaren Ressourcen, bezogen auf die Menge von erforderlichen Ressourcen, ist ein Ressourcenabgleich durchzuführen. Eine sinnvolle Maßnahme wäre z. B. eine vorübergehende Stilllegung nicht benötigter Ressourcen um Kosten zu sparen, eine weitere Maßnahme wäre die Ressourcenauslastung, etwa durch das terminliche Vorziehen von Leistungen, zu entspannen.

Grundsätzlich sind zwei Wege des Ressourcenausgleiches zu unterscheiden:

1. Bei einem Ressourcenüberangebot des Marktes ist die Ressourcennachfrage (also die Menge der erforderlichen Ressourcen) die treibende Größe bei der Terminplanung. Ihr entsprechend wird der Ressourcenabgleich mit dem Schwerpunkt, unwirtschaftliche Ressourcenspitzen zu eliminieren, durchgeführt.
2. Bei einer Ressourcenunterdeckung des Marktes (die Ressourcennachfrage ist größer als das Ressourcenangebot) ist das Ressourcenangebot die treibende Größe bei der Terminplanung. Ihr entsprechend wird der Ressourcenabgleich mit dem Schwerpunkt, terminliche Abläufe zu optimieren um somit Ressourcenspitzen zu vermeiden, durchgeführt.

Die Planung des Bau- und Montageablaufes erfolgt in der Regel entsprechend dem ersten Weg, die Anpassung der Ressourcen während der Abwicklung, wie die Realität des Öfftens zeigt, nach dem zweiten Weg.

### **8.1.2 Einfluss des Arbeitsraums auf den Ressourceneinsatz**

Je nach Tätigkeit oder Gewerk ist jeder Vorgang oder Teilvorgang von dem verfügbaren Arbeitsraum abhängig. Unter Arbeitsraum sind die Freiflächen zu verstehen, die ein Arbeiter oder die Kolonne benötigt, um ihre Tätigkeit ungehindert auszuüben, als auch die Flächen, an denen Material zwischenzulagern ist, oder die als Standflächen für Geräte dienen. Verfügbarer Arbeitsraum wiederum bedeutet, dass der Arbeitsraum für die Kolonne freizugeben ist. Vorlaufende Gewerke sind in dem Maße abgeschlossen, dass die nachfolgenden Gewerke nicht behindert werden.

Der zeitliche Versatz von Vorgängen mit Anordnungsbeziehung, z. B. die Differenz zwischen dem Beginn des Vorgangs A und dem Beginn des vorhergehenden Vorgangs B bei einer Anfangsfolge, ist sowohl von dem verfügbaren Arbeitsraum, als auch von den logistischen Rahmenbedingungen abhängig. Für die Errichtung des Stahlbaus müssen z. B. die Fundamente hergestellt und belastbar sein. Demzufolge bestimmen auch arbeitsorganisatorische und logistische Rahmenbedingungen den Einsatz der Ressourcen.

Die unterschiedlichen Gewerke benötigen einen spezifischen Arbeitsraum pro Kolonne bzw. pro Arbeiter, um eine gegenseitige Behinderung oder Gefährdung bei der Durchführung der Arbeiten zu vermeiden. Für Schalarbeiten kann z. B. ein notwendiger Arbeitsraum von 15 m<sup>2</sup> pro Arbeiter angesetzt werden. Ebenso haben die (Transport-)Geräte einen bestimmten Wirkungsradius, der vom jeweiligen Gerätetyp abhängt (z. B. Schwenkbereich Kran).

- Der verfügbare Arbeitsraum, der sich für die Kolonnen, aber auch für die Maschinen und Geräte ergibt, ist von den jeweiligen Baustellenbedingungen abhängig und somit projektspezifisch zu ermitteln.

Der verfügbare Arbeitsraum schränkt somit die Anzahl der einzusetzenden Kolonnen und (Transport-)Geräte ein.

Bei der Ermittlung der maximalen Größe der Ressource, sollte zusätzlich eine Plausibilitätsprüfung bezüglich der Verfügbarkeit von erforderlichen Vorleistungen getätigt werden. Stehen genügend Unterlagen und Materialien zur Verfügung.

*Durch diese Überlegungen können bereits im Rahmen der Ablaufplanung mögliche Verzögerungen durch eine „Überbelegung“ der Baustelle ausgeschaltet werden, so dass ein reibungsloser Bauablauf geplant wird. Durch den Vergleich der tatsächlich vorhandenen Ressourcen mit den projektabhängigen, maximal einzusetzenden Kapazitäten, kann darüber hinaus überprüft werden, ob eine Beschleunigungsmaßnahme durch Aufstockung der Produktionsfaktoren noch möglich ist, oder ob die Kapazitäten bereits voll ausgenutzt sind.*

Die Dauer des Vorgangs ist also davon abhängig, in welche Abschnitte die Vorgangsmenge unterteilt wird und mit welchen Kapazitäten bzw. in welcher Ablauffolge die Teilvorgänge ausgeführt werden können.

---

## 8.2 Personal

Anlagen werden durch Personen errichtet. Somit ist die Dauer für die Errichtung der Anlage unweigerlich mit der eingesetzten Ressource Personal verbunden.

Die Ressourcen sind für die einzelnen Teilvorgänge zu ermitteln. Die führende Größe ist zwar die Kolonne, wobei die Zusammensetzung der Kolonnen entsprechend den Anforderungen der Teilvorgänge, auch innerhalb einer Disziplin variieren kann.

Je nach Stadium und vorhandener Informationen führen unterschiedliche Betrachtungen zum Ziel. Für die ersten Machbarkeitsüberlegungen sind anhand von groben Massenschätzungen, Untersuchungen durchzuführen. Primär ist der Bedarf an erforderlichem Personal zu bestimmen, der wiederum ein unbehindertes Arbeiten voraussetzt. Das Personal ist in einigen Ländern der treibende Kostenfaktor, bei dem Störungen im Ablauf, die Kosten am negativsten beeinflussen.

Unter Berücksichtigung der Produktivität und des zur Verfügung stehenden Arbeitsraum ist durch einen iterativen Prozess die eingesetzte Personalstärke zu ermitteln.

Dazu sind im nachfolgenden einige Schlüsselkennzahlen aufgeführt, die die Erfahrungen unterschiedlicher Literatur widerspiegelt, wobei sich die Werte nur am direkten Arbeitsstundenaufkommen orientieren.

*Anmerkung Diese nachfolgenden Werte sind als Kalkulationswerte zur Ermittlung von Kosten gänzlich ungeeignet und dienen lediglich der besseren Darstellung von Sachverhalten. Viele Unternehmen verfügen hier über ein detailliertes Fachwissen.*

### **Bauarbeiten**

Die Bestimmung des erforderlichen Personals bei den Bauarbeiten ist in erster Linie abhängig von Einsatz des gewählten Verfahrens. Sind überwiegend Maschinen im Einsatz ist der Personalaufwand natürlich wesentlich geringer.

Als möglicher Näherungswert kann für die Herstellung des Betons ein Näherungswert von  $7,5 \text{ h/m}^3$  angenommen werden.

### **Stahlbauarbeiten**

Bei der Stahlbaumontage beträgt der durchschnittliche Wert bei mittelschweren Trägern ca. 20 h/t.

### **Ausrüstungsmontage**

Da die Ausrüstungsmontage in erster Linie von der Aufstellungsplanung und dem Anlieferungszustand abhängig ist, sind Vorhersagen bezüglich des Aufwandes schwierig. Hier ist immer die Empfehlung den Aufwand der Ausrüstungsmontage projektspezifisch zu bewerten. Von daher ist der Ansatz 15 h/t weder richtig noch falsch. Er dient lediglich einer Annahme, wenn keine Informationen vorhanden sind, um zu einem ersten Ansatz zu kommen.

### **Rohrleitungen**

Bei der Rohrleitungsmontage kann in erster Annäherung ein Wert von 200 h/t angesetzt werden.

### **Isolierungen**

Bei der Isolierung ist ein Ansatz von 2 h bis  $3 \text{ h/m}^2$  nicht unüblich

### Anstrich

Der Anstrich sollte in 0,5 h/m<sup>2</sup> hergestellt werden.

### Elektromontage

Die Elektrotechnik ist sicherlich diesbezüglich schwierig zu „benchmarken“. Ein möglicher repräsentativer Ansatz von 200 h/Verbraucher könnte eine erste Indikation liefern. Allerdings ist der Aufwand für die Herstellung der Elektrotechnik bei weitem nicht so groß, wie bei den anderen, vorab genannten Gewerken. Entscheiden ist hierbei auch die Struktur der Anlage, die wiederum einen Einfluss auf die Längen der zu verlegenden Kabel hat.

### Mess- und Regeltechnik

Die Mess- und Regeltechnik verhält sich ähnlich wie die Elektrotechnik. Hier wäre ein übergeordneter Ansatz von 8 h/Instrument zu wählen.

#### Beispiel

*Um im Nachfolgenden die Werte etwas lebhafter zu gestalten wurde das Projektvolumen des vorgenannten Pseudoprojekts in Betracht gezogen.*

*Erwarteter Personalaufwand:*

|                  |           |
|------------------|-----------|
| Beton            | 150.000 h |
| Stahl            | 100.000 h |
| Rohrleitungen    | 200.000 h |
| Equipment        | 45.000 h  |
| Isolierung       | 40.000 h  |
| Anstrich         | 5000 h    |
| Elektrotechnik   | 40.000 h  |
| Instrumentierung | 20.000 h  |

*In Summe sind 600.000 h erforderlich. Unter Berücksichtigung einer 50 h/Woche (4,35 Wochen pro Monat) fallen ungefähr 2750 Mannmonate direkte Arbeit an.*

*Geht man von einem Bau- und Montagezeitraum von 17 Monaten aus, würden im Durchschnitt ungefähr 162 Arbeiter erforderlich sein, in der Spitze also ungefähr 243 Arbeiter.*

*Das Baufeld hat eine Größe von 75 × 50 m also 3750 m<sup>2</sup>.*

*Die erste Plausibilitätsprüfung würde in diesem Beispiel eine Fläche von 15,4 m<sup>2</sup> pro Arbeiter erfordern.*

*Ein Bauarbeiter benötigt ca. 15 m<sup>2</sup> Arbeitsraum um ungehindert und effektiv arbeiten zu können. Das wären bei dieser Anlagegröße 250 Mann auf der Baustelle.*

*Das hier gelieferte Ergebnis würde unsere Annahmen bestätigen.*



Dieser theoretische Ansatz liefert in diesem speziellen Beispiel, die Information, dass genügend Arbeitsraum für eine Ausführungsphase von 17 Monaten vorhanden ist. Dieser Zeitraum ist als Basisinformation erst mal ausreichend.

Es ist von daher anzunehmen, dass die Treiber oder auch kritischen Pfade für den Terminplan eher in der Planungsphase und/oder der Beschaffungsphase liegen. Dahingehend sind weitere Untersuchungen zu tätigen um den Gesamtterminplan zu optimieren.

---

### 8.3 Geräte, Werkzeuge

Geräte sind eine wichtige Ressource, die die Taktgeschwindigkeiten der Baustelle entscheidend mitbestimmen. Neben der Auswahl der Geräte entsprechend ihrer Effizienz, ist der weitere entscheidende Faktor, die Anzahl der Geräte. Geräte kosten Geld, besonders die Geräte, die auf der Baustelle „stehen“ und nicht effektive genutzt werden. Auf der anderen Seite verursacht das Baustellenpersonal ebenfalls Kosten wenn es nicht optimal, aufgrund fehlender Geräte, ausgelastet ist.

---

#### Beispiel

*Ein Kettenzug (1,5 t) ist mit das am häufigsten genutzte Werkzeug auf einer Baustelle und kostet weniger als 100 €. Sind nicht genügend Kettenzüge vorhanden, oder muss erst ein halbe Stunde ein Kettenzug gesucht werde, entstehen sehr schnell Kosten, die um ein vielfaches höher liegen als die reinen Anschaffungskosten.*

Dieses Beispiel lässt sich natürlich nicht auf einen 1000 t Kran transferieren. Wie bereits erwähnt, sollte die Anzahl der einzusetzenden (Groß)Geräte detailliert durch eine Ressourcenplanung ermittelt werden.

Geräte mit niedrigen Kostensätzen, wie aus unserem Beispiel der Kettenzug, sollten in ausreichenden Mengen verfügbar sein.

Ordnungshalber sollte an dieser Stelle auch auf die Bedeutung der Zustände der zum Einsatz kommenden Geräte hingewiesen werden. Je älter die Geräte desto höher ist die Ausfallwahrscheinlichkeit.

---

### 8.4 Verbrauchsstoffe

In einigen Regionen der Welt ist Wasser mittlerweile ein kostbares Gut. Entsprechend der erforderlichen Menge und Qualität sind Überprüfungen bezüglich der Kosten und der Organisation durchzuführen.

- Kann das Wasser aus einem bestehenden Netz in unmittelbare oder mittelbare Entfernung entnommen werden, oder muss das Wasser mit Tankwagen herangeschafft werden?

Der Wasserbedarf der Baustelleneinrichtung wird primär von dem Verbrauch der Personen bestimmt. Erfahrungswerte von 100 l pro Person und Tag sind nicht unüblich.

Weitere Wasserverbräuche fallen wie folgt an:

|                                 |                                           |
|---------------------------------|-------------------------------------------|
| Beton                           | 0,3 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> Beton  |
| Befeuchten                      | 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> Beton |
| Wasserdruckprobe                | 1 m <sup>3</sup> /t Rohr                  |
| Wasserverbrauch personenbezogen | 0,1 m <sup>3</sup> /Tag                   |

Weiter Verbrauchstoffe wie

- Strom
- Technische Gase
- Schweißzusatzwerkstoffe
- Usw.

sind bezüglich ihrer Verfügbarkeit zu prüfen und zu bewerten.

## 8.5 Flächen

Die Dimensionierung der Baustelleneinrichtung gehört zu den wesentlichen Aufgaben während des Planungsprozesses. Nachfolgend werden die Hauptmerkmale der Baustelleneinrichtung dahingehend beschrieben, dass die notwendigen Elemente der Baustelleneinrichtung, sowie deren Kapazität, Größe, Anzahl und Anordnung ermittelt werden können.

Freiflächen werden für die Lagerung nachfolgend aufgeführter Materialien verwendet.

### 8.5.1 Zufahrtsstraßen und Verkehrswege

Zufahrtsstraßen und Verkehrswege sind in Abhängigkeit von dem erwarteten Verkehrsaufkommen zu planen und zu dimensionieren.

Die Dimensionierung richtet sich nach der Größe der Baustellentransportfahrzeuge, kann aber auch maßgeblich von den Dimensionen der größten, anzuliefernden Ausrüstungsteile mitbestimmt werden.

Otto Schach beschreibt in seiner Publikation „Baustelleneinrichtung“ die Baustraßen wie folgt.

*Baustraßen mit einem zweispurigen Richtungsverkehr sollten eine Breite von mindestens 5,5 m, üblicherweise 6,0 bis 6,5 m haben. Für Fahrzeuge mit Überbreite ist auch hier ein Zuschlag zu machen. Die Einrichtung eines zweispurigen Richtungsverkehrs empfiehlt sich ab einer Verkehrsdichte von 10 Fahrzeugen pro Stunde. [30]*

Der Anteil der Verkehrswege an der erforderlichen Gesamtfläche kann bis zu 25 % betragen und ist daher nicht zu unterschätzen.

Nachfolgens sind einige Lagerflächen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, aufgeführt, sowie ca. Werte für deren Ermittlung.

### **8.5.2 Parkplätze**

In einigen Ländern wie z. B. USA ist der Parkplatz für die Fahrzeuge des eingesetzten Personals, ein wesentlicher Bestandteil der Gesamtfläche. Er sollte auch in unmittelbarer Nähe zu den Büros liegen, da ein Gehen (vom Parkplatz zum Büro) nicht immer zumutbar ist.

### **8.5.3 Zuschläge für Beton/Mischanlage**

Erfolgt die Herstellung des Betons auf der Baustelle mittels Mischanlage sind für die Mischanlage als solche, sowie für die Lagerung des Sandes und der Zuschläge, wie Kies oder Split notwendige Flächen vorzusehen. Bei der Planung ist auf die ausreichende Rangierfläche der an- und abfahrenden Transporter zu achten.

Mischanlagen mit einer Kapazität von 40 m<sup>3</sup>/h benötigen eine Fläche von ca. 500 m<sup>2</sup>.

### **8.5.4 Lagerflächen Bewehrungsstahl**

Die Lagerung des Bewehrungsstahls sollte möglichst nah am Einsatzort erfolgen. Der Lagerplatz ist so zu bemessen, dass auch die erforderlichen Biegearbeiten stattfinden können. Es sollte bei der übergeordneten Zuordnung der Flächen berücksichtigt werden, dass die Lagerflächen des Bewehrungsstahls nach Beendigung der Arbeiten z. B. für Lagerung von Rohrleitungsteilen benutzt werden können.

### **8.5.5 Lagerflächen Stahlbau**

Die Lagerung des Stahlbaus erfolgt unter dem Gesichtspunkt der Verfügbarkeit. Bauteile die vormontiert werden, sollten im Bereich des Einbauortes gelagert werden. Je nach Stückgewicht kann der Bedarf ca. 1–3 m<sup>2</sup>/t betragen.

### **8.5.6 Lagerflächen Ausrüstungen**

Die Montage der Ausrüstungen sollte „Just in Time“ erfolgen, da jeder Umweg über ein Zwischenlager zusätzliche und auch vermeidbare Kosten hervorruft. Da dies aber nicht

immer möglich ist, sollte bei der Baustelleneinrichtungsplanung eine Fläche für die Zwischenlagerung vorgesehen werden. Ein Ansatz von  $5 \text{ m}^2/\text{t}$  liefert die ersten Richtwerte.

### **8.5.7 Lagerflächen Rohrleitungsmaterial**

Rohrleitungsmaterial wie vorgefertigte Leitungen und Halterungen benötigen ca.  $3\text{--}5 \text{ m}^2/\text{t}$ .

### **8.5.8 Lagerflächen Gerüstbau**

Je nach Größe der Anlage kann der Lagerplatz für Gerüstbaumaterial schon  $500 \text{ m}^2$  betragen.

### **8.5.9 Büroanlage**

Die Auslegung der Büroanlage erfolgt unter Berücksichtigung aller auf der Baustelle zum Einsatz kommender Personen.

Sie besteht aus:

- Büroräume
- Besprechungsräume
- Sanitäreinrichtungen
- Tee- oder Kaffeeküchen
- Umkleideräume
- Sanitätsraum

Der durchschnittliche Platzbedarf pro Arbeitsplatz im Büro kann mit  $6\text{--}8 \text{ m}^2$  angesetzt werden.

---

## **8.6 Zusammenfassung**

Die Ergebnisse der Bedarfsermittlung führen in der Organisation eines Anlagenbauers immer wieder zu Diskussionen.

Die ersten Bedarfsermittlungen werden im Rahmen der Angebotskalkulation durchgeführt. Meistens sind sie auch die wichtigsten. Üblicherweise wird mit dem Abwicklungskonzept des Angebotes auch der erforderliche Bedarf an Flächen und Verbrauchsmedien genannt. Einmal im Vertrag spezifiziert, und später als zu gering empfunden, führt es zu Diskussionen mit dem Kunden, oder auch zu höheren Kosten.

Zu Beginn der Auftragsabwicklung wird der Bedarf aus der Angebotsbearbeitung verifiziert und dem vertraglichen Leistungsumfang angepasst.

Die Ermittlung der Ressourcen, im speziellen Personal und Geräte, dienen einer terminlich orientierter Abwicklung. Es ist dabei selbsterklärend, das die Kosten für die Ressourcen mit dem Budget im Einklang stehen sollten. Die Verfügbarkeit der Ressourcen ist das entscheidende Thema für die Abwicklung. Hierbei handelt es sich um einen iterativen Prozess. Leistungen fallen hinter ihre Planwerte zurück. Kompensationen können nur mit einem erhöhten Ressourcenaufwand erreicht werden.

Weitere mitbestimmende Faktoren sind die Geräte, Werkzeuge und Verbrauchstoffe. Eine Baustelle will versorgt werden. Engpässe in der Versorgung bedeuten gleichzeitig Engpässen im Baufortschritt.

Eine Anlage wird aus tausenden von Einzelteilen zu einer funktionierenden Einheit zusammengebaut. Diese Einzelteile müssen in ausreichender Menge auf der Baustelle und im Baufeld gelagert werden. Der Nachschub „just in time“ sollte durch eine planbare Lagerung von Materialien entsprechend der Montagesequenzen ersetzt werden. Die erforderlichen Freiflächen müssen dafür verfügbar sein. Mangelnder Platzbedarf hat einen direkten Einfluss auf den Leistungsfortschritt und sollte vermieden werden.

Laut Mahlstedt ist die Baustelleneinrichtung neben ihrer Funktionalität auch ein Aushängeschild für den Anlagenbauer.

Die Baustelleneinrichtung ist Grundlage für wirtschaftliche und sichere Bauprozesse. Sie bestimmt auch die Qualität der Arbeit und Arbeitsbedingungen, bringt damit Unternehmenskultur und Wertschätzung gegenüber den Beschäftigten zum Ausdruck und beeinflusst deren Motivation und Einsatzbereitschaft. Eine gute Baustelleneinrichtung demonstriert auch Außenstehenden, Qualität und Kultur der am Bau Beteiligten. Die rechtlichen Regelungen für den Arbeitsschutz werden maßgeblich durch die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) bestimmt. Die Arbeitsstättenverordnung beschreibt keine detaillierten Schutzmaßnahmen und Verhaltensvorgaben für die Gestaltung von Arbeitsstätten sondern allgemeine Schutzziele und Anforderungen. Auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilung können die Unternehmen diesen Spielraum nutzen, um ihre Arbeitsschutzmaßnahmen optimal an die betriebliche Situation anzupassen. [31]

Unter dem Begriff Baustelleneinrichtung werden alle nicht permanenten Einrichtungen verstanden. Die Baustelleneinrichtung ist in der Regel nicht ein fester Teil des Auftrages zur Errichtung einer Anlage, sondern beinhaltet vielmehr die temporären Einrichtungen, die für die Bau und Montage einer Anlage erforderlich sind. Dazu gehören neben den Büroräumen, die Unterkünfte der Arbeiter, sowie die Sanitäreinrichtungen als auch die Lagerflächen für das Material und die Fertigungseinrichtungen für die Baustellenfertigungen. Des Weiteren ist die erforderliche Infrastruktur, wie Zugänglichkeiten, Sicherung und Versorgung Bestandteil der Baustelleneinrichtung.

Nachdem die Anlage errichtet ist, sind die Flächen der Baustelleneinrichtung in ihren Ursprungszustand zurück zu bauen, sofern vertraglich nicht anderweitig geregelt.

Bereits in der Angebotsphase ist die Baustelleneinrichtung zumindest überschlägig zu planen. Neben den zu ermittelnden Kosten für Mobilisierung, Unterhalt und Demobilisierung, sind besonders die erforderlichen Flächen von großer Bedeutung. Ausreichend

verfügbare Lagerflächen im Bereich des Baufeldes dienen der Optimierung des Bau- und Montageablaufes. Keine verfügbaren Flächen im Bereich des Baufeldes bedürfen einer gesonderten Logistik, die sich negativ auf die Kosten und die Dauer auswirken kann. Ein entscheidender Faktor sind auch die Wegezeiten des Personals zwischen Baufeld und Baustelleneinrichtung.

Es ist empfehlenswert sich die erforderlichen Flächen vertraglich zusichern zu lassen.

---

## 9.1 Planung der Baustelleneinrichtung

Die Planung erfolgt basierend auf dem ermittelten Bedarf für Personen, Geräte und Lagerflächen.

Die Festlegung der Örtlichkeiten erfolgt unter dem Gesichtspunkt der vorhandenen Freiflächen sowie deren Nutzungsmöglichkeit.

Des Weiteren sind Gegebenheiten zu prüfen, die die Verwendung dieser Flächen beschränken, wie z. B.

- Untergrundbeschaffenheit
- max. Flächenbelastung
- max. Transporthöhe
- Wegezeiten

Für die Ermittlung der Energien ist die Art und Verfügbarkeit vorab zu prüfen:

- Welche Energien sind verfügbar?
- Wo sind die Anschlüsse der Hauptverteiler?
- Welche Kapazitäten stehen zur Verfügung?

Des Weiteren sind die Abwicklungsstrategien wie Baustellen vorfertigung und/oder externe Vorfertigung zu berücksichtigen. Parallel zum Baustellenplan wird ein Mobilisierungsplan für die Baustelle erstellt. Dieser definiert zu welchem Zeitpunkt welche Teile der Einrichtung funktionell verfügbar sein müssen. Z.B werden Hallen für die Rohrleitungsvorfertigung zu einem späteren Zeitpunkt errichtet, als die Mischanlage für Beton.

Bei der Planung der Baustelleneinrichtung und unter der Berücksichtigung, dass die Baustelleneinrichtung unter das Arbeitsplatzschutzgesetz fällt ist eine Gefährdungsanalyse durchzuführen.

Eine Arbeitsstätte im Sinne der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) sind die Orte, an denen sich Arbeitsplätze befinden und zu denen ein Zugang im Rahmen der Ausübung der beruflichen Tätigkeit erfolgt.

Es sollte von daher grundsätzlich eine Besichtigung der Baustelle, wenn nicht bereits während der Angebotsbearbeitung geschehen, zur Absicherung der getroffenen Annahmen, während der Planungsphase, erfolgen.

## 9.2 Baustellenbesichtigung

Bereits während der Angebotsbearbeitung sollte das Baufeld besichtigt werden und Kenntnisse über das Umfeld gewonnen werden. Zugänglichkeiten zum Baufeld, Lagerbedingungen und verfügbare Flächen bilden wichtige Faktoren, die die Abwicklungsstrategie als auch die Kosten mit beeinflussen.

Die in Tab. 9.1 aufgeführten Punkte können als technische Checkliste für eine Baustellenbesichtigung und dem sozialen Umfeld dienen.

**Tab. 9.1** Technische Checkliste Baustellenbesichtigung

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| 1,0 | <i>Allgemeines</i>                       |
| 1,1 | Zustand der Zufahrtsstraßen              |
| 1,2 | Maximale Durchfahrthöhe                  |
| 1,3 | Kurvenradius                             |
| 1,4 | Zugangskontrolle                         |
| 1,5 | Anzahl der Tore                          |
| 1,6 | Einzäunung erforderlich                  |
| 1,7 | Schienennetz                             |
| 1,8 | Zugang zum Wasser (Abladen, RoRo)        |
| 1,9 | Flughafen                                |
| 2,0 | <i>Baustelle</i>                         |
| 2,1 | Art des Baugrunds                        |
| 2,2 | Bodengutachten verfügbar                 |
| 2,3 | Baustraßen erforderlich                  |
| 2,4 | Verfügbarkeit von Strom, Wasser und Luft |
| 2,5 | Telekommunikationssysteme                |
| 2,6 | Regulieren des Betreibers                |
| 2,7 | Zugangsregelungen                        |
| 2,8 | Arbeitssicherheit                        |
| 2,9 | Arbeiterlaubnisscheine                   |
| 3,0 | <i>Einbindung in bestehende Anlagen</i>  |
| 3,1 | Rohrleitungen                            |
| 3,2 | Elektrische Anschlüsse                   |
| 3,3 | Weitere, parallel laufende Projekte      |
| 3,0 | <i>Baustelleneinrichtung</i>             |
| 3,1 | Entfernung zur Baustelle                 |
| 3,2 | Größe                                    |
| 3,3 | Baustraßen erforderlich                  |
| 3,4 | Verfügbarkeit von Strom, Wasser und Luft |
| 3,5 | Telekommunikationssysteme                |



**Tab. 9.1** (Fortsetzung)

|     |                                            |
|-----|--------------------------------------------|
| 3,6 | Containerbauweise                          |
| 3,7 | Parkplätze                                 |
| 3,8 | Security                                   |
| 4,0 | <i>Camps</i>                               |
| 4,1 | Entfernung zur Baustelle                   |
| 4,2 | Shuttle Service                            |
| 4,3 | Flächen                                    |
| 4,4 | Medizinische Versorgung                    |
| 4,5 | Lokale Camp Betreiber                      |
| 4,6 | Energien, Wasser, Abwasser                 |
| 5,0 | <i>Baustellenbedingungen</i>               |
| 5,1 | Baufeldvorbereitungen                      |
| 5,2 | Roden von Pflanzen und Bäumen              |
| 5,3 | Grundwasserspiegel                         |
| 5,4 | Störkanten im Untergrund                   |
| 5,5 | Terrain (Eben oder Gefälle)                |
| 5,6 | Entsorgungsmöglichkeiten Aushub            |
| 5,7 | Ableiten von Oberflächenwasser             |
| 5,8 | Gefahr möglicher Kontaminierungen          |
| 6,0 | <i>Klimatische Bedingungen</i>             |
| 6,1 | Temperatur (min., max.)                    |
| 6,2 | Niederschlag                               |
| 6,3 | Wind, Windrichtung                         |
| 7,0 | <i>Lokale Bedingungen</i>                  |
| 7,1 | Gewerkschaftseinflüsse                     |
| 7,2 | Monopole                                   |
| 7,3 | Visabeschränkungen                         |
| 7,4 | Lokaler Anteil                             |
| 7,5 | Verfügbarkeit von Nahrungsmittel           |
| 7,6 | Marktsituation                             |
| 7,7 | Verfügbarkeit von Fachkräften              |
| 7,8 | Verfügbarkeit von Nachunternehmer          |
| 7,9 | Verfügbarkeit von Materialien              |
| 8,0 | <i>Verfügbarkeit von Verbrauchsstoffen</i> |
| 8,1 | Verfügbarkeit von Beton (Transportbeton)   |
| 8,2 | Verfügbarkeit von Montagegeräte            |
| 8,3 | Freizeitgehalt                             |
| 8,4 | Schulen                                    |
| 8,5 | Einkaufsmöglichkeiten                      |
| 8,6 | Öffentliche Verkehrsnetze                  |



**Abb. 9.1** Baustelleneinrichtungsplan

### 9.3 Baustelleneinrichtungsplan

Ein Baustelleneinrichtungsplan sollte über folgende Informationen verfügen (Abb. 9.1).

- Zugangspunkte für Personal und Materialtransporte
- Temporäre Straßen
- Büroflächen
- Parkplätze
- Lagerflächen und Lagerhäuser für Material
- Werk- und Fertigungsstätten
- Vormontageplätze
- Abstellfläche für Großgeräte
- Anschlusspunkte für Strom, Wasser und Abwasser
- Sammelpunkte und Fluchtwege

### 9.4 Gefährdungsanalyse

Gemäß § 5 ArbSchG sind von Arbeitgebern grundsätzlich Gefährdungen ihrer Beschäftigten zu ermitteln, zu beurteilen und unter Beachtung von § 4 ArbSchG geeignete Arbeitsschutzmaßnahmen zu planen und zu realisieren. Eine Gefährdung kann sich nach § 5 (3) Nr. 1 ArbSchG auch „durch die Gestaltung und Einrichtung der Arbeitsstätte und des Arbeitsplatzes“ ergeben. [31 S. 7]

Speziell im petrochemischen Anlagenbau und im Besonderen bei Brownfield Projekten ist die Gefährdung durch die in der Umgebung in Betrieb befindlichen Anlagen zu untersuchen. Sind toxische oder explosive Medien in unmittelbarer Nähe oder besteht eine Gefährdung durch Luftübertragung? Demzufolge ist der Standort der Baustelleneinrichtung, auch unter Berücksichtigung der Windrichtung auszuwählen.

### **9.4.1 Büro**

Die erforderlichen Büroräume sind in der Regel für den Auftraggeber, den Anlagenbauer und die Nachunternehmer zu errichten. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass neben den Büroräumen auch angemessene Sanitäreinrichtungen installiert werden. Ebenso sind für die Arbeiter des Nachunternehmers ausreichende Umkleidemöglichkeiten zu berücksichtigen. Eine ausreichende Größe und Anzahl von Besprechungsräumen gehören zu der Baustelleneinrichtung wie auch die Kaffee- oder Teeküchen und Pausenräume.

Für die Lagerung der Dokumentationen empfiehlt es sich auf feuerfeste Container zurückzugreifen.

Je nach Witterungsbedingungen sind Klimaanlage und/oder Heizung für die entsprechenden Büroräume einzukalkulieren.

### **9.4.2 Lagerflächen**

Das Materiallager besteht aus Freilager (nicht eingezäunt, eingezäunt, überdacht) und provisorischen Lagerräumen (z. B. abschließbar, klimatisiert, trocken). Größere Materiallager sind in nummerierte Lagerorte zu unterteilen, um die Auffindbarkeit der eingelagerten Materialien sicher zu stellen. Die Lagerflächen sind so auszuführen, dass sie mit Gabelstaplern oder anderen Hebezeugen befahren werden können. Im Bereich von Hallen ist es empfehlenswert, die Zufahrten mit Beton oder Asphalt zu belegen. Bei den Lagerflächen im Freilager ist der Untergrund mit einer Schotterschicht zu verfüllen, soweit keine befestigte Fläche mit entsprechender Oberflächenentwässerung vorhanden ist. Befestigte Flächen sind mit Gefälle so anzuordnen, dass sie nicht überflutet werden können. Je nach Witterungseinflüsse sind die Flächen an ein Entwässerungssystem anzuschließen.

Die Größe der Lagerflächen ist entsprechend Kap. 8.5 Bedarfsermittlung Flächen abzuschätzen.

#### **9.4.2.1 Freiflächen**

Freiflächen werden für die Lagerung nachfolgen aufgeführter Materialien verwendet.

- Zufahrtsstraßen und Verkehrswege
- Zuschläge für Beton

- Mischanlage
- Lagerflächen Bewehrungsstahl
- Stahlbau
- Ausrüstungen
- Rohrleitungsmaterial
- Kabeltrommel
- Gerüstbau
- Isolierung
- Seecontainer

#### **9.4.2.2 Lagerhallen**

In Lagerhallen/geschlossenen Räumen werden hauptsächlich Maschinen, Kleinteile und Materialien, die besonders vor Diebstahl zu schützen sind, eingelagert. Des Weiteren werden die Materialien eingelagert, die witterungsbedingt zu schützen sind, d. h. sie werden in klimatisierten oder beheizten Räumen gelagert.

#### **9.4.2.3 Fertigungseinrichtungen**

Abhängig von der Abwicklungsphilosophie, dem geografischen Standort der Anlage oder sonstiger logistischer Überlegungen kann ein großer Teil der Vorfertigung auf die Baustelle verlagert werden. In den meisten Fällen erfolgt die Rohrleitungsvorfertigung auf der Baustelle. Je nach Aufwand der vorzufertigen Rohrleitungen sind Überlegungen an die Einrichtungen der Vorfertigungsstätten wie z. B. Hallenkrane, zustellen.

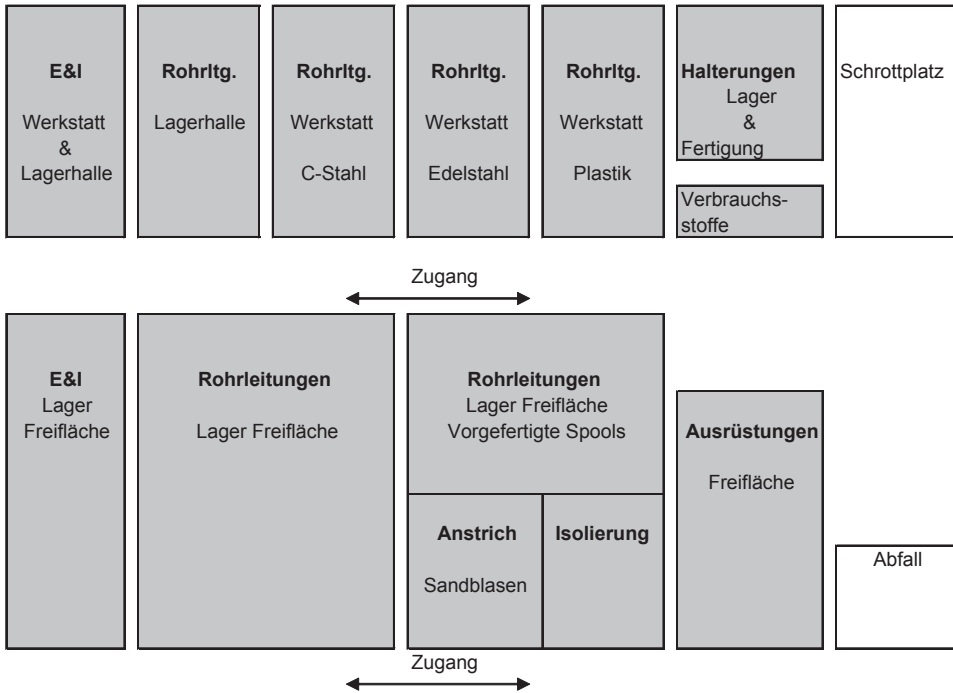
Sollten die Rohrleitungsvorfertigung auf der Baustelle erfolgen, sind weitere entsprechende Einrichtungen vorzuhalten. Dazu gehören Einrichtungen zum Sandstrahlen, Lackier- oder Anstricheinrichtungen mit den entsprechenden Trocknungszonen Abb. 9.2.

### **9.4.3 Infrastruktur**

Entscheidend für die Planung der Baustelleneinrichtung, neben der Bedarfsplanung, ist eine funktionierende Infrastruktur. Die Infrastruktur muss den logistischen Anforderungen genügen. Die Zugänglichkeit zu jeder Stelle der Baustelleneinrichtung ist zu jedem Zeitpunkt zu gewährleisten. Das beinhaltet den gesamten Baustellenverkehr, seien es die ankommenden Lieferungen oder die vorgefertigten Teile, die zum Einbauort transportiert werden.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Versorgung der Baustelleneinrichtung mit Medien. Dazu gehört die Planung und Verteilung von Strom, Wasser und der Telekommunikation.

Je nach Witterungseinfluss sind Arbeiten wie Schneeräumen, Enteisung von Straßen und Flächen oder das Bewässern von Flächen bei trockenen Witterungsbedingungen, zwecks Verringerung bzw. Vermeidung von Staubbildungen, von Beginn an zu planen.



**Abb. 9.2** Typische Anordnung Lager- und Vorfertigungsstätte

#### 9.4.4 Besondere Bedingungen

Lagerräume, in denen brennbare Materialien gelagert werden, sind mit einer ausreichenden Anzahl von Feuerlöschgeräten auszustatten. Die örtlichen Brandschutzbestimmungen sind hierbei zu beachten.

Chemikalien erfordern für das Lagern in der Regel besondere Maßnahmen. Besonders zu beachten sind:

- Gesetzliche Vorschriften,
- Maximale Lagerzeit,
- Brennbarkeit,
- Chemische Reaktionsfähigkeit,
- Explosionsgefahr,
- Bildung von giftigen Dämpfen,
- Maximale Lagertemperaturen.

## 9.5 Arbeitsstättenverordnung

Baustellen sind Arbeitsstätten, deren geographische Lage sich ständig ändert und die meistens einem starken Einfluss der Witterung unterworfen sind. Wenn auf ihnen ortsgebundene Arbeitsplätze oder solche in umschlossenen Räumen vorhanden sind (z. B. Montage in einem Gebäude) gelten ähnliche Anforderungen, wie sie auch für permanente Arbeitsplätze gelten.

Die rechtlichen Regelungen für den Arbeitsschutz werden maßgeblich durch die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) bestimmt. Die Arbeitsstättenverordnung beschreibt keine detaillierten Schutzmaßnahmen und Verhaltensvorgaben für die Gestaltung von Arbeitsstätten, sondern allgemeine Schutzziele und Anforderungen.

---

## 9.6 Baustellenordnung

Aus Sicherheitsgründen und zur Aufrechterhaltung der Ordnung auf der Baustelle ist eine Baustellenordnung zu erstellen.

Um einen reibungslosen Baustellenablauf, sowie die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz der auf der Baustelle tätigen Personen zu gewährleisten, muss die Baustellenordnung von allen Beteiligten eingehalten und umgesetzt werden. Sie gilt somit für alle auf der Baustelle tätigen Personen. Die Baustellenordnung beinhaltet, unter anderem die Zugangsbedingungen für permanentes Personal, sowie für Lieferanten, Besucher usw.

Folgende Mindestanforderungen sollten von einer Baustellenordnung erfüllt werden:

### 9.6.1 Allgemeines

- **Lage der Baustelle**

In der Baustellenordnung sind die Flächen zu spezifizieren, die zur Baustelle gehören und auf denen die Baustellenordnung ihre Gültigkeit besitzt.

- **Telefonliste**

In der Telefonliste sind neben den Notfallnummern, auch die Anschriften und Rufnummern von der Baustellen-Verantwortlichen aufzuführen.

- **Baustellenorganisationsplan**

Im Baustellenorganisationsplan sind die verantwortlichen Personen darzustellen

- **Koordination und Überwachung von Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz**

Regelung der Weisungsbefugnis für den Koordinator

- **Berichterstattung**

über Arbeitsunfälle und Schadensfälle. Die gesetzlich vorgeschriebene Meldepflicht an Behörden und Berufsgenossenschaften bleibt davon unberührt.

- **Personal**

Verhaltensanweisungen für das Personal

- **Arbeitszeitregelung**  
Regelung der Arbeitszeit
- **Liste der auf der Baustelle tätigen Firmen**  
Sämtliche auf der Baustelle tätigen Firmen sind aufzulisten. Die Firmenanschrift, als auch die Kontaktdaten der Firmenverantwortlichen sind aufzuführen.

### 9.6.2 Arbeitsstätten

- **Baustelleneinrichtung, Baustellenverkehr**  
Der aktuelle Baustelleneinrichtungsplan mit Angabe der Baustelleneinrichtungsflächen, Materialeingang, Materiallagerplätze, Abstellplätze für Maschinen und Geräte, Verkehrswege, Schwertransportwege, Verkehrsbeschränkungen, Flucht- und Rettungswege, Feuerwehrezufahrten und PKW-Stellplätze usw.
- **Unterkünfte und soziale Anlagen**  
Die nach der jeweils gültigen Arbeitsstättenverordnung erforderlichen Sanitärräume, Pausen- und Bereitschaftsräume sind einzurichten.
- **Erste-Hilfe**  
Organisation der Ersten Hilfe sowie Hinweise auf die Meldekette bei Unfällen
- **Baustromversorgung, Baustellenbeleuchtung**  
Die Stromversorgung erfolgt entsprechend dem Baustelleneinrichtungsplan.
- **Ordnung, Sauberkeit und Hygiene**  
Regelungen für Arbeitsbereiche, Unterkünfte und sanitären Anlagen
- **Rauschmittelmissbrauch**  
Regelungen des Alkohol- und Drogenmissbrauch.

### 9.6.3 Arbeitssicherheit

- **Unterweisung**  
Erstmalig auf der Baustelle eingesetztes Personal ist vor Beginn der Arbeiten über die besonderen Bedingungen auf der Baustelle zu unterweisen
- **Arbeitsmedizinische Vorsorge**  
Regelungen über erforderliche arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen
- **Erdarbeiten**  
Ermittlungen über die Lage von Versorgungsleitungen und Fremdlasten (Gefahrstoffe, Kampfmittel) durchzuführen.
- **Baumaschinen und Geräte**  
Bei Maschinen, Geräten, Werkzeugen, elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln sowie überwachungsbedürftigen Anlagen, die einer Prüfpflicht unterliegen, sind die entsprechenden Nachweise, Aufbauanleitungen, Zulassungsbescheide, Erlaubnisse, Prüf- und Kontrollbücher an der Baustelle vorzuhalten.

- **Montagearbeiten**  
Regelungen, bei welchen Montagearbeiten eine Montageanweisung, in der die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen, sowie die zum Einsatz kommenden Maschinen, Geräte und Werkzeuge erkennbar sind, zu erstellen ist.
- **Gerüste**  
Regelungen über einzusetzenden Arbeits-, Schutz- und Traggerüste
- **Umgang mit Gefahrstoffen**  
Regelungen zum Umgang mit Gefahrenstoffen
- **Persönliche Schutzausrüstung**  
Auflistung der erforderlichen persönlichen Schutzausrüstungen für Personen
- **Lärm- und Vibrationsarbeitsplätze**  
An Arbeitsplätzen, bei denen Lärm- und/oder Vibrationsexpositionen auftreten, sind Ermittlungen zu den Belastungen der Arbeitnehmer durchzuführen

#### 9.6.4 Brand- und Explosionsschutz

- **Allgemeines**  
Regelungen über Arbeitsbereich mit z. B. erforderlichen Brand- bzw. Explosionsschutzmaßnahmen
- **Brandfall**  
Verhalten im Brandfall

#### 9.6.5 Umweltschutz

- **Abfall**  
Regelungen über die Entsorgung von Abfällen
- **Lärm**  
Regelungen und Maßnahmen bei Arbeiten, bei denen voraussichtlich der Beurteilungspegel von 85 dB(A) überschritten wird
- **Gewässerschutz**  
Verhalten beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

#### 9.6.6 Sicherung der Baustelle

- **Fotografieren**  
Regelungen zum Fotografieren und Filmen auf der Baustelle
- **Besucher**  
Zutrittsregelungen



- **Besonderheiten der Baustelle**  
Aufführen von Besonderheiten auf der Baustelle
- **Arbeiten in Gruben**  
Regelungen zum Thema, Arbeiten in Gruben
- **Arbeiten in kontaminierten Bereichen**  
Regelungen zum Thema, Arbeiten in kontaminierten Bereichen
- **Biologische Arbeitsstoffe**  
Regelungen zum Thema, Biologische Arbeitsstoffe
- **Arbeiten in Lastbereichen**  
Regelungen zum Thema, Arbeiten in Lastbereichen
- **Gefährdungen durch angrenzende Produktionsstätte**  
Regelungen zum Thema, Gefährdungen durch angrenzende Produktionsstätte
- Etc.

---

## 9.7 Arbeitssicherheit

Da bereits auf die umfangreiche Literatur über das Thema Arbeitssicherheit hingewiesen wurde, sind im nachfolgenden einige Begriffe definiert, und Punkte aufgeführt um ein klareres Verständnis von Baustellenabläufen aus Sicht der Arbeitssicherheit zu unterstützen.

### ► Definitionen

- Ein **Unfall** bedeutet einen Vorfall oder eine Kette von Ereignissen, die von außen auf den Körper einwirken und eine Gesundheitsschädigung herbeiführen und/oder eine schädigende Wirkung auf die Umwelt, auf Materialien und das Vermögen ausübt.
- **Barrieren** sind technische, betriebliche oder organisatorische Maßnahmen, um die Wahrscheinlichkeit einer Gefahrensituation zu reduzieren, und mögliche Schäden und Unannehmlichkeiten nach einem Ereignis zu reduzieren.
- Einstufungen zufällige Ereignisse werden als Grundlage für die Planung, Auslegung und Anwendung von Sicherheitsbarrieren mit definierten Risikoakzeptanzkriterien, unternehmensinterne Anforderungen und behördlichen Vorschriften verwendet
- **FAR** ist eine internationale Abkürzung für die „Fatal Accident Rate“ (FAR). FAR ist eine statistische Zahl der Todesopfer pro 100 Mio. Arbeitsstunden.
- **IR** bedeutet individuelles Risiko. Das IR gibt die jährliche Wahrscheinlichkeit von FAR's an.
- **Risiko** ist eine mögliche Gefahr einer negativen Abweichung. Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist größer 0% und kleiner 100%.
- **Risikoakzeptanzkriterium** ist die obere Grenze für ein akzeptables Risiko für Personen, Umwelt und Vermögen

- Die **Risikoanalyse** ist die Verwendung von Analysemethoden und verfügbaren Informationen, um mögliche Unfälle zu identifizieren und die damit verbundenen Risiken einzuschätzen.

### 9.7.1 Risiko Analyse

Das Ziel einer Risiko- und Notfall-Analyse ist es, eine Entscheidungsgrundlage, für akzeptable Lösungen in Bezug auf Sicherheit zu erkennen und zu identifizieren, sowie entsprechende Gegenmaßnahmen zur Verringerung dieser Risiken zu beurteilen und zu entwickeln. Durch die Risikoanalyse wird zudem der Mindeststandard für die Baustelle definiert.

### 9.7.2 Persönliche Schutzausrüstung

Jede Baustelle hat einen Mindeststandard an persönlicher Schutzausrüstung wie z. B.:

- Schutzhelm, Sicherheitsbrille mit Seitenschutz und Sicherheitsschuhe müssen immer getragen werden.
- Auf Bühnen oder Gerüsten ohne Geländer müssen Sicherheitsgurte angelegt werden.
- Bei bestimmten Arbeiten sind Gummihandschuhe und/oder Atemschutzgeräte erforderlich.
- Arbeitshandschuhe sind bei den meisten Arbeiten zu tragen.

### 9.7.3 Werkzeuge und Geräte

- Müssen in einem guten Zustand sein und laufend gewartet werden.
- Dürfen nur von qualifizierten Personen benutzt werden.
- Werkzeuge und Schutzvorrichtungen dürfen nicht verändert werden.
- Werkzeuge dürfen nur für ihren vorgesehenen Zweck verwendet werden.

### 9.7.4 Absperrungen

Absperrungen sind erforderlich:

- an Baugruben und Ausschachtungen, in mindestens 1,5 m Abstand von Dachkanten oder ähnlichen Absturzmöglichkeiten.
- in Bereichen von Überkopfarbeiten, in denen Werkzeuge oder Material herunterfallen kann, und in Bereichen von Hebemanövern.

- alle Bühnen- und Deckenöffnungen müssen abgedeckt oder abgesperrt sein und mit einem befestigten Warnschild versehen sein.

### 9.7.5 Leitern

- Angelehnte Leitern müssen angebunden oder von einem zweiten Mann gehalten werden.
- Stehleitern müssen ganz gespreizt sein und auf einem ebenen und festen Untergrund aufgestellt werden.
- Bei Arbeiten auf Leitern in über 2 m Höhe ist ein Sicherheitsgurt zu tragen. Die Fangleine ist an einem ausreichend stabilen Konstruktionsteil zu befestigen.
- Die obersten drei Sprossen einer Leiter dürfen nicht benutzt werden.

### 9.7.6 Ordnung und Sauberkeit

- Alle Geräte und Materialien sind nur an den dafür vorgesehenen Plätzen zu lagern.
- Schrott und andere Abfälle sind in die dafür vorgesehenen Behälter zu entsorgen. Behälter für brennbare oder gesundheitsschädliche Stoffe müssen einen festen Deckel haben.
- Während der Arbeit sind Werkzeuge und Arbeitsplatz ggf. wiederholt zu säubern.
- Kabel und Schläuche sind entweder in etwa 1 m Höhe aufzuhängen oder, wenn nicht anders möglich, außerhalb von Gehwegen auf dem Boden zu verlegen.
- Material, Werkzeuge und Geräte sind so zu lagern, dass sie weder umkippen, noch rollen, noch fallen können.
- Die Zugänge zu den Arbeitsplätzen und sämtliche Durchgänge sind jederzeit freizuhalten.
- Abfälle sind regelmäßig und täglich zu entsorgen.
- Am Ende des Arbeitstages ist der Arbeitsplatz aufgeräumt zurückzulassen.

Ein sauberer Arbeitsplatz fördert nicht nur die Sicherheit sondern auch den Baustellenfortschritt. Dazu sind folgende Punkte zu beachten:

- Material sicher lagern.
- Kleine Teile in Kästen oder Schachteln aufbewahren.
- Werkzeuge, Elektrodenenden und Späne gehören nicht auf den Boden.
- Gehwege sind immer freizuhalten.
- Auf der Werkbank sollen sich nur das zu bearbeitende Werkstück und die dazu benötigten Werkzeuge befinden.
- Denken Sie bei der Materiallagerung an den Brandschutz.

## 9.8 Baustellensicherheit

Die Bewachung der Baustelle ist eine notwendige Aufgabe um das eigene Eigentum zu schützen. Die Sicherung der Baustelle geht zum Teil übergangslos in die Arbeitssicherheit über.

Die Hauptaufgaben des Bewachungspersonals besteht in:

- Vermeidung von Zugängen unberechtigter Personen
- Kontrolle der kommenden und gehenden Personals, Besucher und Baustellenverkehrs.
- Überwachung von eingeführten und ausgeführten Materials, Werkzeuge, Ausrüstungen Verbrauchsstoffe usw.

Des Weiteren sind spezielle Regeln auf internationalen Baustellen strengstens einzuhalten, wie z. B.:

- Das Mitbringen jeglicher Art von Waffen
- Das Mitbringen von Tieren (Ausnahme: Wachhunde)
- Verkaufen und/oder in Umlauf bringen von Alkohol und Drogen
- Verkaufen und verteilen von Zeitungen, politischem Propagandamaterials, und/oder religiöser, moralischer Natur
- Mitbringen von Fotoapparaten und Videokamera ohne schriftliche Freigabe
- Herstellen oder reparieren sämtlicher Gegenstände für den privaten Gebrauch

Die im nachfolgenden aufgeführten Anweisungen bilden den Standard für den Projektbedarf an Bewachungsaufwand. Abweichungen hiervon sind projektspezifisch entsprechend der lokalen Gegebenheiten zu ermitteln.

- Das Sicherheitspersonal nimmt nur Anweisungen von der beauftragenden Partei an.
- Jeglicher Personenverkehr wird entsprechend der Baustellenordnung kontrolliert und freigegeben.
- Besucher sind bei dem Betreten der Baustelle zu registrieren. Zur Identifikation wird ein Besucherausweis ausgestellt, der sichtbar zu tragen ist. Jeder Besucher erhält eine Sicherheitsbelehrung.

---

## 9.9 Zusammenfassung

Die Baustelleneinrichtung, meistens temporär, ist der Mittelpunkt bei der Errichtung einer Anlage. Von hier aus werden die Fäden der Bau- und Montageabwicklung gezogen, sämtliche Materialien und Verbrauchsstoffe werden eingelagert und, die Baustelle unterliegt dem Arbeitsplatzschutzgesetz.

Die Baustelleneinrichtung ist frühzeitig und unter Berücksichtigung von möglichem Gefährdungspotential zu planen und zu errichten. Sie muss die logistischen Ansprüche erfüllen. Je nach Größe der Baustelle beherbergt sie mehrere tausend Personen und ist Umschlagplatz von tausenden Tonnen von Materialien. Ohne Regeln wird es nicht funktionieren. Diese Regeln werden in der Baustellenordnung konzentriert behandelt und aufgestellt. Arbeitssicherheitsaspekte sowie die Baustellensicherheit werden dabei vorrangig behandelt.

Das Baustellenmanagement ist für die physische Erstellung der Anlage zuständig, die in der Regel durch örtliche oder internationale Nachunternehmer errichtet wird.

Die Arbeiten vor Ort beginnen mit der Übernahme des Baufeldes von Kunden/Betreiber und dauern mitunter bis zur erfolgreichen Inbetriebnahme der Anlage.

Mit Erreichen der mechanischen Fertigstellung und Beginn der kalten Inbetriebnahme geht in der Regel die Verantwortung der Baustelle an die Inbetriebnahme-Leitung über. Restarbeiten werden weiter unter der Zuständigkeit des Baustellenleiters erledigt.

Mit Beginn der Errichtung der Baustelleneinrichtung wird die Baustelle personell besetzt.

Während der frühen Baustellenphase, idealerweise noch vor Baustellenbeginn, ist es zwingend erforderlich, dass die Baustellenmannschaft sich mit den vertraglichen und technischen Dokumenten im Detail auseinandersetzt.

Die vertraglichen Grundlagen, sowie der Terminplan sollten jeder Führungskraft der Baustellenmannschaft, neben den fachspezifischen Dokumenten, bekannt sein.

Unter Leitung des Baustellenleiters, hat frühzeitig das sogenannte „Kick Off Meeting“ mit den Nachunternehmern zu erfolgen, um eine terminkonforme Mobilisierung der Nachunternehmer zu gewährleisten.

Während der Baustellenvorbereitung werden viele Informationen gesammelt. Nicht immer sind die Personen, die die Baustelle planen, auch die Personen, die die Baustelle abwickeln. Von daher ist es wichtig, die Informationen für die Baustelle an die Verantwortlichen in Form eines Baustellensteckbriefes zu übergeben.

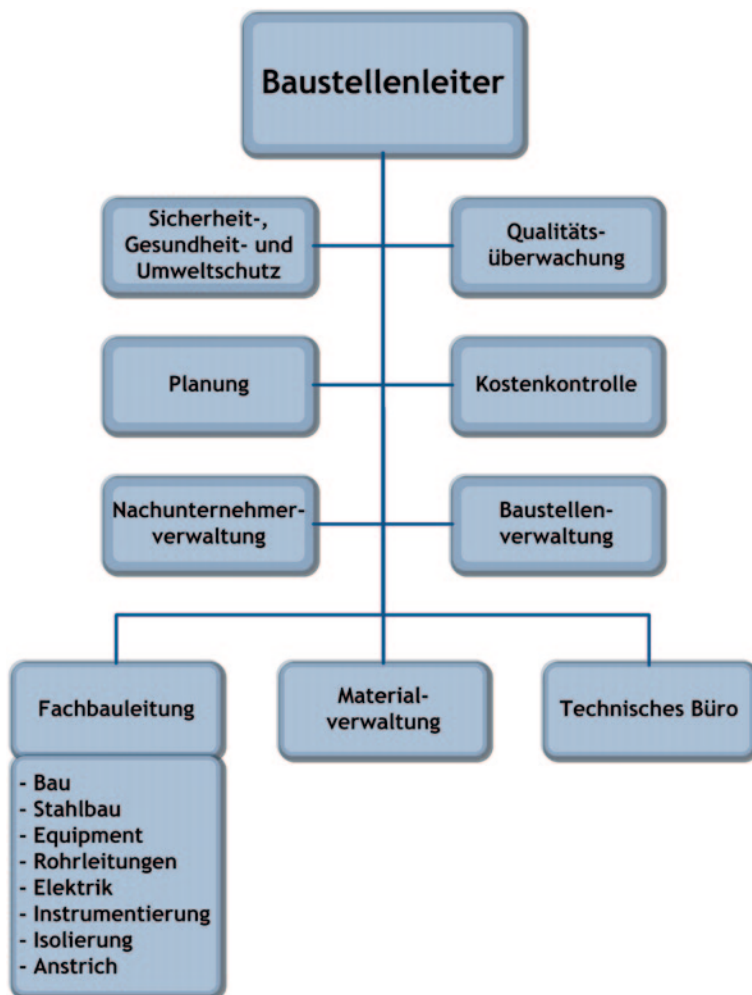
Tabelle 10.1 vermittelt einen Überblick über Informationen und Unterlagen die für eine sinnvolle Montageplanung als Mindestvoraussetzung vorliegen sollten.

**Tab. 10.1** Inhalt Baustellensteckbrief

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| Meilensteine                                |                |
| Mobilisierung                               |                |
| Start Erdarbeiten                           |                |
| Start Betonarbeiten                         |                |
| Start Stahlbaumontage                       |                |
| Start Ausrüstungsmontage                    |                |
| Start Rohrleitungsmontage                   |                |
| Start Isolierungsarbeiten                   |                |
| Start Korrosionsarbeiten                    |                |
| Start Elektrik und Instrumentierung         |                |
| Start Druckproben                           |                |
| Mechanische Fertigstellung                  |                |
| Start Anfahrvorbereitungen                  |                |
| <i>Indikation der zu verbauenden Massen</i> |                |
| Erdarbeiten                                 | m <sup>3</sup> |
| Betonarbeiten                               | m <sup>3</sup> |
| Stahlbaumontage                             | t              |
| Ausrüstungsmontage                          | t              |
| Rohrleitungsmontage                         | t              |
| Isolierungsarbeiten                         | m <sup>2</sup> |
| Korrosionsschutz                            | m <sup>2</sup> |
| Elektrik und Instrumentierung               | Verbraucher    |
| Instrumentierung                            | Messstellen    |
| E&I                                         | Kabel km       |
| Druckproben                                 | Stück.         |
| <i>Anlagen</i>                              |                |
| Terminplan Level 3                          |                |
| Lage- und Aufstellungsplan                  |                |
| P & ID                                      |                |
| Bau- und Montagekonzept                     |                |
| Baustellenordnung                           |                |
| Nachunternehmerverträge                     |                |
| Spezifikationen                             |                |
| QA/QC Plan                                  |                |
| SGU Plan                                    |                |
| Baustellenorganigramm                       |                |
| Personaleinsatzplanung                      |                |
| Nachunternehmerliste                        |                |
| Constructability Report                     |                |
| Effizienzkennzahlen                         |                |
| Produktivitätskennzahlen                    |                |

## 10.1 Baustellenteam

Die Gesamtverantwortung der Baustelle über Erfolg oder Misserfolg obliegt dem Baustellenleiter. Bei der Erfüllung seiner Aufgaben wird der Baustellenleiter durch zusätzliches Baustellenpersonal unterstützt. Entsprechend der Komplexität und des Arbeitsvolumen der Baustelle können Funktionen, wie Abb. 10.1 dargestellt, auch in Personalunion ausgeführt werden, oder bei Großprojekten sogar durch mehrere Personen.



**Abb. 10.1** Typisches Baustellenorganisationsorganigramm



Die Hauptaufgaben der Baustellenleitung ergeben sich wie folgt:

- Überwachung auf Einhaltung der Arbeitssicherheit
- Sicherung der Qualität
- Termin-, Fortschrittskontrolle (Planung)
- Kostenkontrolle
- Vertragsmanagement der Nachunternehmerverträge
- Verwaltung der Baustelle
- Überwachung der Bau- und Montagearbeiten
- Materialverwaltung
- Leitung des technischen Büro

Das technische Büro wird in der Regel durch das Engineering besetzt. Die Hauptaufgaben bestehen in der Unterstützung des Baustellenpersonals hinsichtlich Fragen zum Engineering, als auch die Erstellung des „as built“.

---

## **10.2 Funktionsbeschreibungen**

Nachfolgend aufgeführte Funktionsbeschreibungen gegeben einen Überblick über die auf der Baustelle erforderlichen Arbeiten aus Sicht der Baustellenüberwachung eines EPC-Kontraktors. Je nach Größe und Umfang der Arbeiten können die Funktionen auch in Personalunion ausgeführt werden. Ein weiterer mit zu berücksichtigender Gesichtspunkt ist die Leistungsstärke der vertraglich gebundenen Nachunternehmer. Wie eng müssen diese geführt werden?

Darüber hinaus können je nach Vertragsinhalt auch weitere Funktionen hinzukommen, die hier nicht explizit aufgeführt wurde.

Wie bereits mehrfach erwähnt, erfordert die Besetzung einer Baustelle durch Personen einer detaillierten Betrachtung. Unterschiedliche Länder, Klimazonen oder auch lokale Regularien haben neben dem vertraglichen Leistungsumfang ebenfalls einen Einfluss auf die Baustellenfunktionen.

### **10.2.1 Baustellenleiter**

In den meistens Fällen ist der Baustellenleiter der Vertreter des Projektleiters auf der Baustelle.

In der Verantwortung des Baustellenleiters liegt die fristgerechte Fertigstellung der Anlage, innerhalb des vorgesehenen Budgets mit der vertraglich zugesicherten Qualität.

Damit ist eigentlich schon alles gesagt. Allerdings ist je nach Anlage die Aufgabenstellung so komplex, dass der Baustellenleiter ohne die Hilfe und Mitwirkung weiterer Fachkräfte, die ihm gestellten Aufgaben nicht bewältigen kann.

Der Baustellenleiter, als eine der wesentlichen Schlüsselpersonen im Anlagenbau, sollte von daher frühzeitig vor Baubeginn, auf seine kommende Aufgabe vorbereitet werden.

Während der detaillierten Einarbeitungsphase sind Einflussmöglichkeiten in bereits laufende Prozesse noch gegeben. Dazu gehören die Überprüfung des Bau- und Montageablaufplans sowie die dazugehörige Baustellenorganisation. Ein erfahrener Baustellenleiter hat sicherlich seine eigenen Vorstellungen bezüglich der Besetzung der erforderlichen Positionen auf der Baustelle.

Des Weiteren erfolgt eine Prüfung der geplanten Baustelleneinrichtung durch den Baustellenleiter, ob die Funktionalität hinsichtlich der Anforderungen gegeben ist.

Während der Vorbereitungsphase werden Anweisungen und Pläne für die Verwendung auf der Baustelle erstellt. Diese Anweisungen regeln das Miteinander bei folgenden Thema:

- Arbeitssicherheit, Sicherheit, medizinische Versorgung auf der Baustelle
- Qualitätskontrolle (alle Gewerke)
- Anmeldung der Baustelle
- der Beziehung zwischen Stammhaus und Baustelle über
  - Kommunikation und Koordination
  - technische Aspekte
  - Beschaffung
  - Fortschrittsermittlung und Kontrolle
  - Personaleinsatzplanung und Gestellung

Während der Bau- und Montagephase liegen die Verantwortungen des Baustellenleiters in der:

- Baustellenorganisation und Arbeitssicherheit
- Koordination sämtlicher Bau- und Montagetätigkeiten gemäß:
  - Einhaltung des Budget
  - Einhaltung des Terminplans
  - Festlegung der mengenmäßigen und qualitativen Kontrolle der durchzuführenden Arbeiten
- Pflege einer engen und positiven Geschäftsbeziehung zum Kunden
- Pflege eines effizienten Kontaktes zu den lokalen Behörden
- Pflege einer positiven Atmosphäre zu allen im Projekt involvierten Parteien
- Erstellung von Berichten
- Überprüfung, ob die Arbeitsmethoden der Nachunternehmer im Einklang mit den speziellen Arbeitsanweisungen sind
- Steuerung der eigenen Bau- und Montageüberwachung
- Überprüfung, ob sämtliche Subunternehmerkapazitäten ausreichen um die gesetzten Ziele zu realisieren.

Die vorgenannten Aufgaben und Zuständigkeiten können zum Teil auf weitere Schultern verteilt werden.

Allerdings liegt und bleibt die Verantwortung beim Baustellenleiter.

In nicht seltenen Fällen, besonders bei größeren Projekten oder Projekten die suboptimal laufen, befindet sich der Projektleiter ebenfalls auf der Baustelle. Bei solchen Konstellationen, ist es im Sinne einer reibungslosen Abwicklung von entscheidender Bedeutung, dass eine klare Rollenverteilung zwischen Baustellenleiter und Projektleiter vorliegt.

- Ein Schiff wird nur vom Kapitän gesteuert, unabhängig davon, ob sich der Reeder (= Projektleiter) an Bord befindet oder nicht.

### 10.2.2 SGU Fachkraft

Die SGU (Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz) Fachkraft oder der SGU Manager stellt eine weitere wesentliche Schlüsselfunktion auf der Baustelle dar. Unabhängig von einem permanenten Verbesserungspotential auf deutschen oder europäischen Baustellen, gibt es Ländern, in denen der SGU-Standard bei weitem nicht den uns bekannten Standard erreicht. Was bei uns selbstverständlich ist, in vielen Ländern leider noch eine Frage der Notwendigkeit und sogar des Budgets. Hier sollte der Anlagenbauer auch seiner Fürsorgepflicht anderen Personen in Detail nachkommen.

Denn als wesentliche Regel und als Mindeststandard sollte folgendes gelten.

- Jede Person die auf der Baustelle zum Einsatz kommt, unabhängig der Nationalität und der Religion, soll die Baustelle mindestens in dem Zustand verlassen, wie sie betreten wurde.

Sämtliche Baustellen-Sicherheits-Bestimmungen werden durch den SGU Beauftragten eingeleitet.

Er ist verantwortlich für die Einhaltung der allgemein gültigen und der lokalen Vorschriften. Dazu erstellt er

- den für die Bau- und Montageaktivitäten relevanten SGU Plan und definiert entsprechend des Plans das Arbeitssicherheitsprogramm (Arbeitssicherheitsvorschriften, Sicherheitstraining, Arbeitssicherheitsanreize).
- das Gesundheitsschutzprogramm
- das Umweltschutzprogramm

Des Weiteren wird das SGU Konzept der Nachunternehmer überprüft.

Evakuierungspläne und das entsprechend Training werden durch den SGU Beauftragten organisiert und durchgeführt.

Zu seinen Aufgaben gehören im Einzelnen:

- Absprache mit der Bauleitung und Teilnahme an den Bau- und Koordinationsbesprechungen mit allen beteiligten Unternehmen zu sicherheitstechnischen Fragen
- Durchsetzen der Baustellenordnung
- Kontrolle der Einhaltung der sicherheitstechnischen Vorschriften durch die Nachunternehmer auf der Baustelle
- Anpassung von sicherheitstechnischen Maßnahmen an mögliche Veränderungen im Bau- und Montageablauf
- Fortschreibung des SiGe-Plans und der zugehörigen Dokumente
- Führen eines Sicherheitstagebuches
- sicherheitstechnische Beratung zur Vorbereitung und Durchführung von „gefährlichen Arbeiten“ und Begleitung dieser Arbeiten im Rahmen der vereinbarten Einsatzzeiten
- Erarbeitung der Unterweisungsgrundlagen für die allgemeine Baustelleneinweisung
- Festlegung der erforderlichen Arbeitserlaubnisscheine, Festlegungen zu Sicherheitskennzeichnungen, Absperrungen und Abschottungen
- Kontrolle der Baustelle mit folgenden Schwerpunkten:
  - Tragen der erforderlichen persönlichen Schutzausrüstungen
  - Anwendung von Absturzsicherungen und Sicherung von Öffnungen gegen Hineinstürzen
  - Vorhandensein der erforderlichen Erste-Hilfe-Einrichtungen und Feuerlöscher
  - Einhaltung der Baustellenordnung besonders in Bezug auf Verkehrs- und Lagerflächen
  - Freihalten der Zufahrt für Rettungsfahrzeuge und Feuerwehr
  - Überschneidung von Kranschwenkbereichen
  - sachgerechtes Anschlagen von Lasten
  - sicherheitstechnischer Zustand der Baustromversorgung
  - Qualität und Umfang der erforderlichen Beleuchtung
  - Brauchbarkeit und Standsicherheit der Gerüste
  - Schutzmaßnahmen für Schlechtwetter
  - ordnungsgemäßer Zustand der Schutzeinrichtungen für den öffentlichen und Anliegerverkehr
  - sicherheitsgerechte Ausführung von Gruben, Gräben und Böschungen
  - Sicherheitsmaßnahmen bei der Montage von Profiltafeln auf Flachdächern
  - Durchführung „Gefährlicher Arbeiten“ entsprechend der Festlegungen des Erlaubnisscheins.

### 10.2.3 Qualitätssicherungen

Die Nichteinhaltung der erforderlichen Qualität ist oft Nährboden für unerwartete terminliche Verzögerungen und/oder versteckter Kosten. Von daher ist es selbsterklärend, dass die Überwachung und Sicherstellung der Qualität auf der Baustelle eines der obersten Gebote

ist. Diese Sicherstellung ist die Hauptaufgabe des Qualitätssicherungs-Koordinator. Dazu erstellt er den Qualitätsplan für die Baustelle und stellt die Einhaltung der dort genannten Regeln sicher.

Des weiteren

- erstellt er, als Teil der Projekt-Qualitätssicherung, den Bau- und Montage Qualitätsplan (einschl. Audits Programm).
- überprüft er die QS-Anweisungen der Nachunternehmer auf Übereinstimmungen mit den vertraglichen Anweisungen.
- leitet er Audits (intern/extern) um sicherzustellen, dass die Verantwortlichen in Übereinstimmung mit ihren Arbeitsanweisungen arbeiten.
- empfiehlt und leitet er korrigierende Maßnahmen ein, um interne (oder externe) Fehler zu verhindern.

#### 10.2.4 Planungsingenieur

Der Planungsingenieur ermittelt den aktuellen Fortschritt der Bau- und Montageaktivitäten und vergleicht diesen mit den Plandaten. Er versorgt den Baustellenleiter mit den entsprechenden Informationen, damit dieser entsprechende Entscheidungen fällen kann.

Seine Hauptaufgaben sind wie folgt definiert:

- Anfertigung und Pflege der Bau- und Montagefortschrittsbewertung unter Berücksichtigung des Leistungsumfanges der auszuführenden Arbeiten, sowie den erforderlichen Mitteln, die der Erfüllung dieser Aufgabe dienen.
- Überprüfung auf Übereinstimmung zwischen dem Level 3 Plan und dem Level 4 Plan der Nachunternehmer.
- Aufzeigen der Entwicklung (Soll/Ist) der erwarteten Trends oder möglichen Abweichungen und deren Einfluss auf den übergeordneten Terminplan.
- Erstellung von Status- und Leistungsumfangsberichte und Aktualisierung des geschätzten Personalaufwandes anhand der Fortschrittskurven und der Histogramme.
- Vorbereitung und Zusammenstellung sämtliche Fortschrittsdaten, die für den monatlichen Baustellenfortschrittsbericht benötigt werden.

Auf der Baustelle ist der Planungsingenieur verantwortlich für die Überwachung sämtlicher Montagetermine und Fortschrittsaktivitäten, gemäß den Vertragsvorschriften und der, mit dem Montageteam, abgestimmten Vorgehensweise. Er ermittelt die erforderlichen Mittel (Manpower, Ausrüstung, Spezialwerkzeuge...) für die Bau- und Montagephase in Zusammenarbeit mit dem Baustellteam. (Die hier ermittelten Werte fließen in den vorgenannten Terminplan ein.)

Eine weitere wesentliche Funktion ist die Zusammenarbeit mit dem Material Manager und der Baustellenleitung bezüglich der Materialverfügbarkeit unter Vorhersage kritischer Lieferengpässe.

### 10.2.5 Kostenkontrolller

Der Kostenkontrolller ist verantwortlich für die Implementierung eines umfassenden Kostenüberwachungssystems, einschließlich des dazugehörigen Berichtswesens, und der Darstellung der Übersicht über sämtliche Bau- und Montagekosten.

Seine Hauptaufgaben liegen in der

- Erstellung und dem Vorschlagen korrigierende Handlungen zwecks Vermeidung von Kostenüberschreitungen
- Förderung von Lösungen die zu einer Reduzierung der Bau- und Montagekosten führen.
- Überprüfung der Nachunternehmerkosten
- Laufende Pflege des Budgets sowie der Aktualisierung entsprechend genehmigter Änderungen.
- Vorbereitung von Änderungsmitteilungen
- Überwachung und Erstellung der Kostenvorhersage über die Entwicklung der Bau- und Montagekosten
- Darstellung antizipierter Kosten aus Risiken und Claims

### 10.2.6 Nachunternehmer Verwalter

Der Verwalter des Nachunternehmervertrages ist verantwortlich für die vertragskonforme Umsetzung der Nachunternehmerverträge bezüglich sämtlicher Kosten, Leistungen und Vertragsbedingungen.

Seine Hauptaufgaben liegen in der

- Bilanzierung der Bau- und Montagekosten durch die Nachunternehmer
- Überprüfung möglicher Zusatzansprüche der Nachunternehmer auf Richtigkeit und vertraglicher Grundlagen
- Abwicklungsrisiken (Termin, Kosten) aufzeigen und bewerten
- Mehransprüche (aktiv/passiv) mit dem Nachunternehmer verhandeln
- Ausstehende Leistungen zu bewerten
- Führung der Korrespondenz mit den Nachunternehmer
- Überprüfung der Schlussrechnungen der Nachunternehmer

### 10.2.7 Baustellenverwalter

Eine Baustelle ist mitunter nichts anderes als eine Unternehmung auf Zeit. Je nach Situation muss die Baustelle sich selbst versorgen bzw. koordinieren. Sei es nur die Anmeldung der Baustelle um einen Telefonanschluss oder eine Postadresse zu erhalten. Nichts erledigt

sich von alleine. Von daher ist die Funktion des Baustellenverwalters nicht zu unterschätzen.

Der Baustellenverwalter

- erstellt das Buchungssystem.
- bucht und belegt Eingänge innerhalb der Buchführung und der Konten
- eröffnet Bankkonten.
- bucht und belegt Eingänge innerhalb des Kassen- und Sparbuches.
- erstellt Bilanzen,
- erstellt Vorhersagen und Aussagen über Geldeingänge und Geldausgänge.
- leitet den Zahlungsverkehr des Personals.
- bezahlt lokale Gehälter.

Neben dieser viele unscheinbaren Aufgaben, die aber für die Gesamtfunktion einer Baustelle unerlässlich sind, ist er für den allgemeinen kaufmännischen Bereich verantwortlich, sowie für das Funktionieren der Baustelle im Sinne:

- Empfangs- und Schreibsekretariat,
- Arbeitsbeziehung zu örtlichen Behörden,
- Buchhaltung,
- Baustellen-Einkäufe,
- Übersetzer,
- medizinischer Einrichtungen,
- Beschaffung von Sicherheitspersonal,
- Anstellung von Bürogehilfen, Poststelle, und Fahrer.
- des Büroservice wie, Telekommunikation, email-Service, Büroreinigung, Übersetzungen und Sekretariat.
- der Organisation von Unterkünften

### 10.2.8 Materialverwalter

Der Materialverwalter ist für die Lagerverwaltung verantwortlich. Die Lagerverwaltung schließt den Wareneingang, die Einlagerung und die Materialausgabe ein. Der lokale Einkauf und die Auswahl der lokalen Lieferanten wird mit begleitet.

Zu seinen Hauptaufgaben gehört:

- Die Materiallogistik auf der Baustelle
- Der Material Ein- und Ausgang
- Die Lagerverwaltung
- Die Wareneingangskontrolle und Materialverfolgung und der Materialrückfluss
- Das Materialberichtswesen

- Die Verwaltung von Versicherungsfällen
- Die Überwachung des Lagerpersonal auf der Baustelle,
- Die Verwaltung der Materialabnahme-Zertifikate.
- Die Prüfung der Lagerbedingungen gemäß den Lieferantenanforderungen
- Die Instandhaltung des eingelagerten Material
- Die frühzeitige Erkennung eventueller Materiallieferprobleme
- Die Erstellung von Schadensberichte bei Transportschäden

### 10.2.9 Technisches Baustellenbüro

Ein 100 % verfügbares Engineering sollte zwar immer das Ziel sein, ist aber definitiv nicht erreichbar. Hier sind die paar Prozentpunkte die fehlen, zu steuern.

Dazu gehören hauptsächlich Unterstützungsleistungen an das Baustellenüberwachungspersonal bei der Abarbeitung von Baustellenmodifikationen, abschließende Klärung eines Mängelberichtes (NCR) sowie die richtige der Interpretation von Zeichnungen und/oder Spezifikationen.

Des Weiteren ist die Pflege des As Built Zustandes der Anlage ein wesentlicher Bestandteil der hier getätigten Aufgaben.

### 10.2.10 Fachbauleitung

Eine wesentliche Funktion auf der Baustelle bilden die Fachbauleiter oder die sogenannten Superintendent. Sie sind die Personen, die fachlich mit dem Nachunternehmer die Erstellung der Anlage hautnah im Feld miterleben.

Die Hauptfunktion besteht darin, sämtliche notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, um sicherzustellen, dass die von ihm zu beaufsichtigten Arbeiten streng nach den vertraglichen Richtlinien erfolgt. Des Weiteren ist sicherzustellen, die erbrachten Leistungen, wie

- SGU Anforderungen,
- der technischen Vertragsanforderungen, Spezifikationen
- der technischen, finanziellen und geplanten vertraglichen Anforderungen und Vereinbarungen,
- des allgemeinen Stand der Technik (einwandfreie Ingenieurleistungen)

eingehalten werden.

Die Fachbauleiter bewerten die Nachunternehmer bezüglich der Qualifikation des eingesetzten Personals, sowie deren Personalstärke und den Zustand der Geräte. Sie überwachen den geplanten Fortschritt und empfehlen Maßnahmen und korrigierende Eingriffe, falls Unstimmigkeiten und Verzögerungen bei Terminen eintreten.



### 10.3 Berichtswesen

Arbeiten auf der Baustelle unterliegen strikten Regularien. So gibt es neben den gesetzlichen Vorschriften, den vertraglich einzuhaltenden Bedingungen, auch interne Regelungen. Eine dieser internen Regelungen ist das Berichtswesen.

Baustellen sind mitunter tausende von Kilometern entfernt. Eine Vorort-Überprüfung ist somit nur durch eine zeitintensive Reise durchzuführen.

Doch wie stellt man am anderen Ende der Welt sicher, dass die Aktivitäten auf der Baustelle auch in die richtige Richtung laufen?

Zum einen kann durch das Reporting der Baustelle Rückschlüsse auf den Stand der Baustelle gezogen werden, zum anderen sollte dieses Reporting auch dazu dienen, sicher zu stellen, dass die Betroffenen sich mit der Problematik auseinandersetzen und auch aus den Sachverhalten die Notwendigen Schlüsse ziehen.

Die Berichte sind periodisch (wöchentlich oder monatlich) zu erstellen und beinhalten primär folgende Informationen:

- Fortschritt des Berichtszeitraumes
- Besondere Vorkommnisse im Berichtszeitraum
- Kritische Pfade
- Vorschläge zu Gegenmaßnahme

---

### 10.4 Materialverwaltung

Die Verwaltung des Materials und der Ausrüstungsgegenstände auf der Baustelle ist eine wesentliche Voraussetzung für einen reibungslosen und flexiblen Bau- und Montageablauf.

Bei der verbrauchsgesteuerten Disposition wird der Materialbedarf mithilfe von Prognoseverfahren (engl. Forecast) auf Basis der verfügbaren Materialien, bezogen auf die erforderlichen Einzelteile zur Errichtung funktionierender Systemen, abgeglichen. Die entscheidenden Kennwerte sind dabei der Istbestand, sowie der Sollbestand zum jetzigen, als auch zu einem künftigen Zeitpunkt (Prognose unter Berücksichtigung kommender und zugesagter Lieferungen).

#### 10.4.1 Materiallager

Wie bereits zu Beginn definiert wurde, ist die Montage der Zusammenbau von Einzelteilen zu einer funktionierenden Einheit. Diese Einzelteile werden beschafft und zur Baustelle geliefert. Nach dem Eintreffen auf der Baustelle sind diese Einzelteile einzulagern.

Das Materiallager besteht aus Freiflächen und provisorischen Lagerräumen (z. B. abschließbar, klimatisiert, trocken). Größere Materiallager sind in nummerierte Lagerorte zu unterteilen, um die Auffindbarkeit der eingelagerten Ausrüstungen zu verbessern.

Von daher ist die termingerechte Fertigstellung des Materiallagers ein wesentlicher Meilenstein im Terminplan. Beim Eintreffen der ersten Lieferung auf der Baustelle sollte das Materiallager betriebsbereit sein. Dies beinhaltet nicht nur die Verfügbarkeit von Lagerflächen und Lagereinrichtungen, vielmehr ist sicherzustellen, dass die entsprechende Infrastruktur auch funktionsfähig ist. Dazu zählt neben Strom und Wasser auch die Verfügbarkeit der Telekommunikationsdienste.

Für eine einwandfreie Lagerung und Kontrolle sind nachfolgend aufgeführte Voraussetzungen zu erfüllen:

- sichere Konservierung von verschiedenen Materialien gegen Feuchtigkeit oder aggressive Atmosphäre
- kontinuierliche Bestandskontrolle um eine exakte Übersicht über das verfügbare Material, zu jeder Zeit, zu gewährleisten
- sichere Lagerung in umzäunten und verschlossenen Lagern
- Vermeidung von Diebstählen
- frühzeitige Erkennung von Beschädigungen vor Montagebeginn

### 10.4.2 Lagerbedingungen

Bei der Einlagerung der Materialien sind die Herstellerangaben zu berücksichtigen und zu erfüllen. Nachfolgend sind allgemeine Hinweise für die Einlagerungen aufgeführt.

Es ist selbsterklärend, dass sämtliche Lagerplätze einzuzäunen und mit verschließbaren Toren zu versehen sind. Falls erforderlich sollte ein permanenter Wachschatz installiert werden, der die Materialien gegen Diebstahl schützt. Nicht immer ist das entscheidende Kriterium für einen permanenten Wachschatz, der monetäre Wert der einzelnen Materialien, sondern der Schaden, der aus der nicht Verfügbarkeit des Materials resultiert. Gestörte Abläufe aufgrund von Fehlmaterialien rufen einen wesentlichen höheren Schaden hervor, als eben der Wert des Materials.

Je nach Umgebungsbedingungen sind empfindliche Teile gegen klimatische Einflüsse (Luftfeuchtigkeit, Sonneneinstrahlung) oder gegen Staubeinwirkung zu schützen. Dies erfolgt meistens in geschlossenen Räumen, die je nach Bedarf zu klimatisieren sind.

#### Rohrleitungsmaterial

Rohre sind ebenerdig auf Träger und/oder Kanthölzer zu lagern. Rohrleitungsmaterialien sind getrennt nach verschiedenen Materialklassen (C-Stahl, Edelstahl), ab Materialeingang, zu lagern. Sämtliche Materialien, außer C-Stahl, sind durch eine angebrachte Farbkodierungen am Ende des Rohres, zu identifizieren. Armaturen und Flansche größer als 2" sind in einem geschützten separaten Lager zu lagern.

**Ausrüstungen**

Ausrüstungsteile von Druckbehältern sind auf Kanthölzer, mit einem Mindestbodenabstand von 200 mm zu lagern.

**Rotierende Ausrüstungen**

Bei der Einlagerung von rotierenden Ausrüstungen (Pumpen, Turbinen, Ventilatoren, Motoren, Ausbläser) ist folgendes zu beachten:

Sämtliche nicht geschützten Oberflächen sind gegen Verunreinigungen zu schützen

- Sämtliche Wellen sind mindestens einmal pro Woche mehrere Male zu drehen, um einen permanenten Schutzfilm (Öl) auf den Wellen und in den Lagern zu gewährleisten.
- Einlass und Auslass (Flanschflächen) der Flansche sind mit Abdeckband (Tape) zu schützen

**Geschlossenes Lager**

Das geschlossen Lager dient zur Einlagerung für:

- Kleinmaterial, Rohre, Rohrleitungsteile (Fittinge), Ventile kleiner 2", Bolzen usw.
- Edelstahl-Fittinge und Flansche
- Dichtungen
- zu schützende Materialien wie Katalysatoren und Chemikalien
- Instrumente

**Isolierung**

Thermisches Isolierungsmaterial ist in Regalen, sortiert nach Abdeckungsmaterial, Rohrdurchmesser und Isolierdicke zu lagern und gegen Feuchtigkeit zu schützen.

Für eine einwandfreie Lagerung und Kontrolle sind nachfolgend aufgeführte Voraussetzungen erforderlich:

- sichere Konservierung von verschiedenen Materialien gegen Feuchtigkeit oder aggressiven Atmosphären
- kontinuierliche Bestandskontrolle um eine exakte Übersicht über das verfügbare Material, zu jeder Zeit, zu gewährleisten
- sichere Lagerung in umzäunten und verschlossenen Lagern
- Vermeidung von Diebstählen
- frühzeitige Erkennung von Beschädigungen, vor Montagebeginn

**10.4.3 Wareneingang**

Sobald Material angeliefert wird, ist dieses Material auf Beschädigungen und der tatsächlich gelieferten Menge hin zu überprüfen.

Für einen kontrollierten Wareneingang sollte nach Möglichkeit das ankommende Material und die Ausrüstungsgegenstände auf einer eigens dafür vorgesehenen Fläche gelagert werden bzw. von Bestandsmaterialien getrennt werden, bis der Wareneingang vollständig abgeschlossen ist. Sollte bei größeren und nicht sofort überprüfbaren Lieferungen, wie zum Beispiel Gitterboxpaletten mit Kleinteilen, eine exakte Kontrolle nicht sofort möglich sein, so hat die Annahme der Lieferung mit dem Vermerk „Vorbehaltlich der späteren Überprüfung auf Vollständigkeit“ zu erfolgen. Dieser Vermerk ist auf den Versandunterlagen zu dokumentieren.

Der Materialeingang sollte unmittelbar nach Erhalt des Materials in dem dafür vorgesehenen EDV-System eingepflegt werden.

Etwaiger Abweichungen der Liefermengen sowie Schäden oder Mängel der gelieferten Ware sollten umgehend dokumentiert und zur Anzeige gebracht werden. In der Regel verfügt hier der Anlagenbauer über interne Vorschriften, die zum einen korrigierende Schritte einleiten, und zum anderen die Schadenregulierung mit den Lieferanten und/oder mit den Versicherungen beschreiben.

Insbesondere sind folgende Punkte bei der Wareneingangskontrolle zu berücksichtigen und ggf. zu dokumentieren:

- Vollständigkeit der Lieferungen
- Abweichungen gegenüber Versandunterlagen
- Transportschäden
- Offensichtliche Mängel
- Ordnungsgemäßer Verschluss aller Bauteile
- Prüfen von Typenschildern

#### **10.4.4 Warenausgang**

Sämtliche Materialien die vom Anlagenbauer an seine Nachunternehmer übergeben werden sind zu dokumentieren.

Dabei ist es empfehlenswert dem Nachunternehmer, wenn möglich, die Verwendung des Materials vorzuschreiben. Bei Rohrleitungsmaterialien sollte eine Zuordnung der Materialien zu den entsprechenden Rohrleitungen (Isometrie) erfolgen. Dieser gezielte Warenausgang vereinfacht die Verwaltung des Bestandes. Mögliche Fehlteile sind leichter zu erkennen und können somit frühzeitiger nachbestellt werden.

Obwohl mit Warenausgang der Materialien der Gefahrenübergang und somit die Gefahr des plötzlich Untergangs an den Nachunternehmer übergeht, sollte sich der Anlagenbauer zu mindestens moralisch noch in der Verantwortung sehen. Auch hier gilt, dass wenn Materialien, aus welchem Grund auch immer, bei dem Nachunternehmer beschädigt oder verloren gehen, das Hauptrisiko beim Anlagenbauer verbleibt. Es kann zwar der Nachunternehmer für die Wiederbeschaffung und/oder Ersatzmaßnahmen in Haftung genommen werden, wobei das Risiko möglicher Terminverzögerungen der Gesamtanlage der Anlagenbauer zu tragen hat.

### 10.4.5 Materialverfügbarkeit

Um einen reibungslosen Montageablauf zu gewährleisten, d. h. frühzeitiges Bereitstellen des Materials, sind nachfolgend aufgeführte Dokumente, bzgl. der Materialeingangskontrolle und des Materialausganges, grundsätzlich zu prüfen und anzugleichen.

- Ausrüstungsliste
- Bestellungen, Anforderungen und Spezifikationen
- Inspektionsberichte
- Berichte der Terminkontrolle
- Material Empfangsbestätigungen, Materialausgangsbescheinigungen
- Einlagerungsbedingungen entsprechend Lieferantenempfehlungen/-erfordernissen

Je nach Länge des Bau- und Montagezeitraumes empfiehlt es sich, regelmäßige Inventuren durchzuführen. Frühzeitiges Erkennen von Fehlbeständen und/oder Fehlbuchungen garantieren zeitnahe Korrekturmaßnahmen, die sich wiederum positiv auf die Materialverfügbarkeit niederschlägt.

### 10.4.6 Zertifikate

Bei Wareneingang der Materialien auf der Baustelle ist sicherzustellen, dass die entsprechenden Materialzertifikate vorhanden und zuordnungsbar sind. Materialien die nicht über die entsprechenden Materialzertifikate verfügen, sind gesondert zu lagern. Hier spricht man von sogenannten Quarantänen.

Eine wesentliche Regel besagt:

- Materialien ohne entsprechende Zertifikate werden nicht eingebaut.

---

## 10.5 Zusammenfassung

Die Baustellenorganisation beinhaltet die Personen bzw. die Funktionen die für die Errichtung der Anlage erforderlich sind. Dabei geht es primär wieder um die Faktoren:

- Arbeitssicherheit
- Termine
- Kosten
- Qualität

Darüber hinaus organisiert das Baustellenteam die Baustelle. Zur Baustelle gehören die Baustelleneinrichtung einschließlich des Materiallagers und natürlich das Baufeld, auf dem die Anlage errichtet wird.

Die Baustellenorganisation bildet das Bindeglied zwischen der Abwicklung vor Ort und dem Engineering bzw. der Beschaffung des Stammhauses. Auf der einen Seite führt sie Klärungen bei technischen Schwierigkeiten herbei, übt mitunter einen Druck auf die rechtzeitige Beistellung von Dokumenten und Materialien aus, und berichtet auf der anderen Seite den Status der Bau- und Montagearbeiten.

Des Weiteren steht sie den ausführenden Nachunternehmern beratend, und wenn es erforderlich ist, fordernd zur Seite.

Die Zusammensetzung und die Größe der Baustellenmannschaft reflektieren die Ansprüche bei der Errichtung. Dabei fließen Faktoren wie Ausbildungsstand der Nachunternehmer, das Nachunternehmerkonzept selbst und der Terminplan mit ein.

Die Überwachung der Baustelle ist ein weiteres entscheidendes Kapitel für eine erfolgreiche Projektabwicklung.

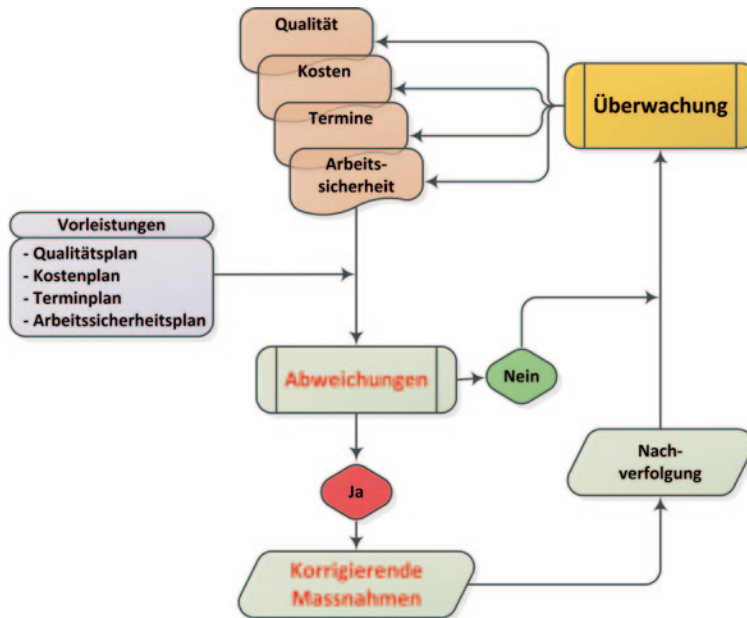
Auch bei der Überwachung dreht es sich, wie bei der Planung, um die Hauptgebiete Termine, Kosten und Qualität. Ergänzend hierzu stellt die Überwachung der Arbeitssicherheit auf der Baustelle eine wesentliche Größe dar, die aber in diesem Kapitel nur ansatzweise berücksichtigt wird. An dieser Stelle sei nochmals auf die umfangreiche vorhandene Literatur verwiesen.

Im Gegensatz zur Planung, wo die Herausforderung darin bestand, den gesamten Bau- und Montageablauf im Voraus zu planen, also voraus zu denken, vergleicht man bei der Überwachung Istzustände gegen Sollzustände. Die Hauptaufgabe besteht also in der Überwachung darin, Istzustände aufzunehmen bzw. zu erkennen, diese zu interpretieren und mögliche Entwicklungen oder Konsequenzen daraus als Tendenz aufzuzeigen.

Die Überwachung ist der permanente Abgleich zwischen einem definierten Soll und einem messbaren Ist. Er ist als iterativer Prozess zu sehen. Ziel der Überwachung ist es, Abweichungen frühzeitig festzustellen um entsprechend dagegen zu steuern.

Von der Definition her ist die Überwachung das Bindeglied zwischen Planung und Steuerung. Aus Sicht der Überwachung ergibt sich aus Abb. 5.5 ein sich kontinuierlich wiederholenden Prozess der wie in Abb. 11.1 in einer Endlosschleife endet.

Die physische Errichtung einer Anlage ist von den Leistungsprozessen abhängig, während die Qualität der Bau- und Montageausführung von den Steuerungsprozessen mit beeinflusst wird.



**Abb. 11.1** Iterativer Überwachungsprozess

Um einen wirkungsvollen Steuerungsprozess zu etablieren, muss zuerst die Basis geschaffen werden, indem Klarheit über folgende Fragen herrscht.

- Was will ich steuern?
- Wie kann ich steuern?
- Wann muss ich steuern?

**Was will ich steuern?** Wo liegen meine Risiken? Entscheidend ist hierbei, dass die Ursprungsplanung als Basis für den Steuerungsmechanismus geeignet ist. Planung und Steuerung sollten die gleichen Kennzahlen verwenden, nur so können Abweichungen interpretiert und bewertet werden. Kennzahlen, als Erfahrungswerte aus der Steuerung, bieten eine solide Basis für die Planung.

**Wie kann ich steuern?** Welche Mittel habe ich? Ohne die erforderlichen Mittel ist eine ausreichende Steuerung nicht durchzuführen. Deswegen ist auch die Steuerung zu planen.

**Wann muss ich steuern?** Wie erkenne ich Abweichungen? Es müssen klare Ziele definiert werden. Um Abweichungen zu erkennen müssen mindestens zwei messbare Größen mit einander verglichen werden.

All diese entscheidenden Fragen lassen sich primär folgenden Kategorien zuordnen:

- Termine
- Kosten
- Qualität
- Arbeitssicherheit



Jede einzelne Kategorie hat somit einen direkten Einfluss auf den Erfolg oder Misserfolg eines Projektes. Erschwerend kommt hinzu, dass negative Abweichungen einer Kategorie unweigerlich die eine oder andere, oder sogar alle drei Kategorien negativ mitbeeinflussen.

Zeitprobleme bei der Abwicklung können die Kosten beeinflussen in dem Beschleunigungsmaßnahmen eingeleitet werden und/oder Vertragsstrafen anfallen.

Qualitätsprobleme können zu höheren Kosten und zu Terminverschiebungen aufgrund notwendiger Ersatzmaßnahmen führen.

---

## 11.1 Kennzahlen als Steuerungsinstrument

Ohne sinnvolle Kennzahlen wäre eine zielführende Steuerung nicht denkbar. Anhand von Kennzahlen erfolgen Bewertungen, Beurteilungen und Einschätzungen von messbaren Ergebnissen.

Sie werden zur Analyse von Abweichungen und zur Erkennung der Ursachen herangezogen und dienen dem Aufzeigen von Risiken und Chancen.

Eine Kennzahl ist eine Maßzahl, die zur Quantifizierung dient und der eine Vorschrift zur quantitativen reproduzierbaren Messung einer Größe oder eines Zustandes oder Vorgangs zugrunde liegt.

Voraussetzung dafür ist also, dass diese Sachverhalte messbar und zählbar sind.

Für Kennzahlen finden sich typischerweise Namen wie -anteil, -beiwert, -faktor, -grad, -index, -koeffizient, -quote, -verhältnis, -zahl und Ähnliches, die teilweise nach den messtechnischen Normen speziellen Typen von Kennzahlen vorbehalten sind.

Streng genommen wäre eine Kennzahl für sich genommen nicht aussagekräftig; gemeint ist immer eine Kenngröße, also das Produkt aus Zahl und Einheit. [32]

Durch die Verwendung von Kennzahlen kann ein Überblick über den Sachverhalt dargestellt werden. Kennzahlen dienen den Überwachenden bei der Analyse und der Steuerung.

Kennzahlen lassen sich grob gesehen wie folgt gliedern;

- absolute Kennzahlen: z. B. Laufzeit eines Vorganges, Personalzahl, Anzahl Geräte oder zu verbauende Menge
- relative Kennzahlen (Verhältniskennzahlen): dimensionsbehaftete relative Kennzahlen: z. B. Dauer pro Stück, Leistung pro Zeiteinheit,

Absolute Kennzahlen geben eine durch ihre Einheit bezeichnete Menge oder Masse an. Die Kennzahlen finden ihre Verwendung als Durchschnittswerte, Einzel- oder Summenwerte. Man unterscheidet von daher zwischen Einzelwerten, Summen, Differenzen und Mittelwerte.

**Beispiel**

|                     |                                                   |
|---------------------|---------------------------------------------------|
| <i>Einzelwerten</i> | <i>Rohrleitungsgewicht einer Isometrie</i>        |
| <i>Summen</i>       | <i>Rohrleitungsgewicht einer Anlage</i>           |
| <i>Differenzen</i>  | <i>Noch zu verbauende Rohrleitungen</i>           |
| <i>Mittelwerte</i>  | <i>Durchschnittlicher Rohrleitungsdurchmesser</i> |

Relative Zahlen entstehen dadurch, dass zwei absolute Zahlen, die in einer sinnvollen Zusammenhang stehen, in Quotienten-Form (z. B. Stunde pro Tonne) zueinander in Beziehung gesetzt werden.

Der Vorteil von relativen Zahlen besteht darin, dass die Bedeutung einer einzelner Größe in einen Bezug zu einer anderen Größe gesetzt werden kann. Sachverhalte werden erkennbar und ein Vergleich von Kennzahlen, beispielsweise im Rahmen eines Benchmarking-Projektes, wird möglich, ohne die absolute Höhe der Ausgangsdaten offen legen zu müssen. [33]

So können erbrachte Leistungen über einen festen Zeitraum miteinander verglichen werden, unabhängig davon ob die gesamte zu erbringende Leistung bekannt ist oder nicht. Diese Kennzahlen bieten sich auch für das Berichtswesen an den Kunden an, da die tatsächlichen Mengen und Massen nicht immer kommuniziert werden.

Relative Zahlen kommen als unterschiedlichen Kennzahlen vor. Die Hauptgruppen bilden die,

- Gliederungszahlen
- Beziehungszahlen und
- Indexpzahlen.

Bei Gliederungszahlen ist der Zähler des Quotienten eine Teilmenge des Nenners (x Tonnen von y Tonnen, wobei  $y > x$  ist).

Bei Beziehungszahlen fehlt dagegen der Teilmengencharakter und es werden Größen gegenübergestellt, deren sachlogischer Zusammenhang wichtige Ursache-Wirkungs-Beziehungen verdeutlicht. So setzt sich die Gesamtproduktivität der Baustelle aus dem erreichten Fortschritt zum eingesetztem Personal und Gerät in Beziehung, um die erreichte Effizienz zu relativieren.

Indexpzahlen sollen zeitliche oder leistungsbezogene Entwicklungen veranschaulichen. Dazu wird der Anfangs-, Mittel- oder Endwert einer Reihe als Basiswert gleich 100 gesetzt und alle anderen Werte im Verhältnis dazu umgerechnet. [33]

Nachfolgende Beispiele verdeutlichen den zweckgerichteten Einsatz der unterschiedlichen Kennzahlen.

**Beispiel*****Gliederungszahl***

*Gliederungszahlen werden typischerweise in der Fortschrittsermittlung und Bewertung verwendet. Wenn 200 t Stahlbau von 1000 t gesamt, montiert wurden, liegt der Progress bei 20%.*

**Beziehungszahl**

*Wenn alle Schweißer auf der Baustelle zusammen 200 Nähte, mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 4 inch schweißen, beträgt die Tagesleistung*

*800 diainch per Tag. Diese Beziehungszahl gibt Auskunft darüber, ob die tägliche Leistung ausreichend ist. Betrachtet man die Schweißleistung pro Tag und Kolonne, können Rückschlüsse auf die Funktionalität der Kolonne geschlossen werden.*

**Indexzahl**

*Die Ursprungsplanung von Aktivitäten erfolgt in der Regel auf Basis Deutschland (= 100 %). Erfolgen die Aktivitäten auf einer Baustelle außerhalb des Landes, wird der Aufwand mit dem landesspezifischen Faktor bewertet. Des Weiteren werden Erfahrungswerte und Nachkalkulationen aus abgewickelten Projekten immer auf den Basiswert zurückgerechnet um eine Vergleichsmöglichkeit unterschiedlicher Projekte zu schaffen.*

Kennzahlensysteme beinhalten Kennzahlen, die in einer sinnvollen Beziehung zu einander stehen. Die Kennzahlen innerhalb dieses Systems dienen dem gleichen Ziel. Das typische Kennzahlensystem eines Anlagenbauers beinhaltet eine Sammlung an KPI'S (Key Performance Indikatoren). Diesen vorhandenen relativen Kennzahlen werden absolute Kennzahlen wie z. B. die tatsächlichen Mengen, projektspezifisch zugeführt.

Bei der empirischen Herleitung muss man sich nicht nur auf eigene Erfahrungen und Beobachtungen stützen, sondern kann auch wissenschaftliche Hypothesen nutzen, die in der Praxis überprüft und bestätigt wurden.

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden diverse Begriffe häufig synonym verwendet. Die häufigsten Begriffe sind „Aufwand“ und „Bedarf“ bzw. „Produktivität“ und „Effektivität“.

So wird z. B. bei der Aufwandsschätzung kein Aufwand, sondern ein Bedarf bestimmt. „Aufwand“ im eigentlichen Sinne ist erst die Menge der tatsächlich eingesetzten Ressourcen, der bei der Aufwandserfassung gemessen wird. Um Missverständnisse zu vermeiden, ist zu empfehlen, den Begriff Aufwand durch entsprechende Adjektive zu präzisieren und z. B. „geplanter Aufwand“ oder „entstandener Aufwand“ zu verwenden.

Die Produktivität P und Effizienz E unterscheiden sich darin, dass es sich um reziproke Werte handelt. Die Erhöhung der Produktivität zielt darauf ab, den Ausstoß basierend auf einem festen Maß an verfügbaren Ressourcen (Arbeitsaufwand) zu erhöhen, während die Erhöhung der Effizienz darauf abzielt, den Arbeitsaufwand für einen festen Ausstoß zu reduzieren.

Arbeitsaufwand ist der in Einheiten von Arbeitszeit bemessene Personaleinsatz zur Durchführung eines Vorgangs, Arbeitspakets oder Projektes.

**Formel 11.1 Effizienz**

$$\text{Effizienz} = E = \frac{\text{Input}}{\text{Output}} = \frac{\text{Arbeitsaufwand}}{\text{prod. Stückzahl}}$$

*Formel 11.2 Produktivität*

$$\text{Produktivität} = P = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{\text{prod. Stückzahl}}{\text{Arbeitsaufwand}}$$

*Formel 11.3 Effektivität*

$$\text{Effektivität} = \frac{\text{Output}}{\text{Zielvorgabe}} = \frac{\text{prod. Stückzahl}}{\text{Zielvorgabe}}$$

**Beispiel**

Bei der Planung eines Bauvorhabens geht man von einer Effizienz eines Nachunternehmers von 10 h/m<sup>3</sup> aus. Anhand dieses Wertes werden die Dauern für den Vorgang geplant. Während der Bauphase stellt man fest, dass der Nachunternehmer mit 2 Mann in einer Woche bei 50 Arbeitsstunden 9 m<sup>3</sup> hergestellt hat.

Die Produktivität ist demzufolge 9 m<sup>3</sup>/100h. D. h. die Effizienz (11,11 h/m<sup>3</sup>) bleibt hinter der Erwartung zurück.

Demzufolge könnte eine Einteilung der beiden Kennzahlen wie folgt erfolgen:

- Die Effizienz ist eine Planungskennzahl basierend auf Erfahrungswerten, mit der Dauern von Vorgängen bei erwartetem Output bestimmt werden kann. Die Produktivität ist eine Steuerungskennzahl, mit der der Output über eine festgelegte Dauer und einem auf der Baustelle gemessenen Aufwand ermittelt wird.

Viele Unternehmen verfügen über Kennzahlen, die aus abgewickelten Aufträgen generiert und angepasst wurden. Die Schlüsselkennzahlen (KPI's) sind aus Sicht eines Anlagenbauers für die erfolgreiche Errichtung einer Anlage zwingend erforderlich. Dabei ist eine Unterteilung der KPI's in Planungs- und Steuerungskennzahlen sinnvoll.

---

**11.2 Termine**

Die Einhaltung der Termin ist der „Heilige Gral“ des Baustellenmanagement.

Bei komplexen Projekten reicht es nicht aus, nur „aus dem Fenster“ zu schauen um einen subjektiven Eindruck der Terminsituation zu erhalten.

Die Kontrolle der Termine ist eine der schwierigsten Aufgaben während der Projektabwicklung.

Die Terminkontrolle fängt bereits in der Planung an. Die unterschiedlichen Levels der Terminplanung unterstützen die Terminkontrolle, indem sie die Aktivitäten in eine Detailtiefe herunterbrechen, die eindeutig zuordnungsbar ist, und somit messbar. Das entscheidende an der Planung ist es, eindeutig messbare Größen zu definieren und zu planen. Das Gewicht liegt hier auf eindeutig messbar. Sollten keine klare Regelungen vorliegen wie eine Leistung definiert ist (also messbar), die in einem festen Zeitraum (Start/Ende) zu erbringen ist, können freie Interpretationen zu Verwässerungen führen.

Des Weiteren sollte berücksichtigt werden, dass die Ermittlung oder das Messen der Leistung nicht zu einem unnötigen Aufwand führt.

Dazu verwendet man Kennzahlen die den Stand des Projektes reflektieren und einfach zu messen sind.

Solche Kennzahlen können z. B. für die Gewerke wie folgt aussehen, um nur einige zu nennen:

|                     |                           |
|---------------------|---------------------------|
| Bau                 | m <sup>3</sup> Beton      |
| Stahlbau            | t Stahl                   |
| Ausrüstungen        | Anzahl Ausrüstung         |
| Rohrleitungsmontage | Anzahl Schweißnähte       |
| Anstrich            | m <sup>2</sup> Anstrich   |
| Isolierung          | m <sup>2</sup> Isolierung |
| Elektrotechnik      | m Kabel/Kabeltrasse       |
| Instrumentierung    | m Kabel                   |

### Beispiel

*Der Treiber für die Rohrleitungsmontage ist das Schweißen. Beinhaltet die gesamte Rohrleitungsmontage 10.000 Schweißnähte, und stehen hierfür 10 Monate zu Verfügung sind pro Monat 1000 Schweißnähte zu erbringen. Einfach dargestellt, 40 Schweißnähte pro Arbeitstag. Da Schweißnähte der Qualitätsüberwachung unterliegen, ist jede Schweißnaht mit dem Schweißdatum zu dokumentieren. Die Informationen über die Herstellung der Schweißnähte liegen also vor: Von daher ist es ein Leichtes die Anzahl der Schweißnähte über einen bestimmten Zeitraum zu ermitteln. Eine sinnvolle Größe wäre die Anzahl der Schweißnähte pro Woche. (Je nach Erfordernis können auch der Durchmesser und die Wandstärke (zeitbeeinflussende Faktoren) in die Kennzahl integriert werden.)*

*Hier besteht nun die Möglichkeit mit geringem Aufwand abschätzen zu können, ob die erbrachte Leistung ausreichend ist.*

Die Vorgaben für die Termine erfolgen aus der Planung. Unterstellt, dass die Planung in messbaren Größen erfolgt, wie z. B. eine bestimmte Leistung in einem bestimmten

Zeitraum zu erbringen ist, kann die Erbringung dieser Leistung auch terminlich überwacht werden. Dazu ist die erbrachte Leistung bezogen auf die insgesamt zu erbringende Leistung, also dem Fortschritt, zu ermitteln. Allerdings stellt sich sehr oft die Fortschrittsermittlung als das Buch mit den „sieben Siegel“ dar.

Obwohl sämtliche Parteien bestrebt sind, vertraglich einheitliche Maßstäbe zu definieren, ist die Interessenlage oft unterschiedlich.

Der Auftraggeber/Investor benötigt einen bestimmten Fortschritt um mögliche Kredite bei den finanzierenden Banken abrufen zu können.

Der Nachunternehmer wird in der Regel nach Fortschritt, also geleisteter Arbeit bezahlt, und tendiert von daher zu einer positiven Auslegung des Fortschritts, während im Gegensatz beim Auftraggeber Fortschritt gleich Mittelabfluss bedeutet.

Der Fortschritt ist der Quotient aus geleisteter Arbeit bezogen auf das gesamte Arbeitsvolumen.

Allerdings ist hier zwischen physischem und funktionalem Fortschritt zu unterscheiden.

Der Anlagenbauer benötigt einen funktionalen Fortschritt um einzelnen Gewerke und die Nachfolgewerke terminlich nicht zu gefährden.

---

#### Beispiel

*Wenn der Rohrleitungsbauer eine Transferleitung von ca. 1.000 m fertig errichtet hat und nur noch die Einbindung in das bestehendes System ausstehend ist, wäre aus Sicht des Rohrleitungsbauers ein Fortschritt von nahezu 99% erreicht.*

*Aus Sicht des Anlagenbauers ist der funktionale Fortschritt gleich null, da die Transferleitung nicht genutzt werden kann.*

Die Hauptaufgabe der Fortschrittsermittlung ist die Unterstützung des Projektes bezüglich Überwachung und Steuerung der Projektabläufe in Hinblick auf die vertraglichen Vereinbarungen, als auch die Einhaltung von Plandaten.

Um dieser Hauptaufgabe gerecht zu werden sind unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen.

Die Grunddaten für die Fortschrittsermittlung erfolgt anhand eines Aufmaßes. Dabei kann das Aufmaß elektronisch aus den IT Tools generiert werden, oder es wird manuell vor Ort aufgemessen. Eine Kombination aus beiden ist der übliche Weg.

Es sind die Leistungen zu messen, für die Plandaten existieren. Wurde die Rohrleitungsmontage nach Gewicht geplant, so sollte der Fortschritt in der gleichen Einheit gemessen werden. Üblicherweise werden die Bau- und Montageleistungen mittels Einheitspreisvertrages vergeben. Dadurch ist alleine für die Abrechnung der erbrachten Bau- und Montageleistungen ein Aufmaß erforderlich. Dieses Aufmaß kann gleichzeitig für die Fortschrittsbewertung herangezogen werden. Das bedeutet zwar, dass die Fortschrittsermittlung (in %) auf die gleichen aktuellen Werte zurückgreift, wie die Vergütung der Leistungen, muss allerdings nicht den gleichen Wert (in %) aufweisen. Fortschritt und Vergütung sollten von ihrer Wertigkeit getrennt betrachtet werden.

Analog zur Planung sind die Leistungen zu messen.

Die Ermittlung des Baustellenfortschritts orientiert sich in erster Linie an die Mengen der verbauten Massen.

Primär spricht man somit von physischem Fortschritt.

Es gilt also:

$$\text{Fortschritt} = \frac{\text{geleistete Arbeit}}{\text{gesamtes Arbeitsvolumen}}$$

#### *Formel 11.4 Fortschritt*

Die geleistete Arbeit wird während eines Berichtszeitraums, oder relative nahe zu dem, erfasst.

Die Aufsummierung der geleisteten Arbeit bezogen auf das gesamte Arbeitsvolumen gibt den jeweiligen Fortschritt an.

Die Ermittlung des Fortschritts erfolgt pro Gewerk.

### **Massivbau/Stahlbau**

Die Bemessungsgrundlage der einzelnen Aktivitäten geht im Bereich Massivbau über m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup> oder Stückzahlen.

#### **Beispiel**

*Die Gewichtung der einzelnen Arbeitseinheiten errechnet sich, ungeachtet ob m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup> oder Stückzahlen, aus der Einzelmenge bezogen auf die Gesamtmenge.*

*Der Stahlbau wird analog zum Massivbau aufgebaut und mit den entsprechenden Aktivitäten und Fortschrittsschritten versehen.*

*Für die Bemessungsgrundlage gelten hier die Gewichte.*

### **Ausrüstungen**

Die Bemessungsgrundlage im Bereich Ausrüstungsmontage ist das Einzelgewicht der jeweiligen Ausrüstung. Die Gewichtung errechnet sich aus dem Einzelgewicht bezogen auf das Gesamtgewicht. Mitunter bietet sich auch eine komplexere Lösung an, indem, zusätzlich zu dem Gewicht, auch die Anzahl der Ausrüstungen mit berücksichtigt wird.

Grundlage ist die Ausrüstungsliste mit den entsprechenden Angaben.

### **Rohrleitungsvorfertigung/-montage**

Bei der Rohrleitungsmontage bestehen unterschiedliche Möglichkeiten der Fortschrittsermittlung. Zum einen kann man Vorfertigung und Montage separat betrachten und mit jeweils eigenen Arbeitsschritten bewerten.

Grundlage für die Ermittlung sind die Massen der Isometrien. Die Fortschrittsbewertung sollte über eine vorhandene Datenbank mit entsprechenden Arbeitszeitwerten der

relevanten Arbeitsschritte erfolgen. Basierend auf dem, durch die Datenbank ermittelten Aufwand pro Isometrie, bezogen auf den Gesamtaufwand, errechnet sich die Wertigkeit der einzelnen Isometrien. Der Bearbeitungsstatus und der Fortschritt werden somit festgelegt.

In dem Fall das Vorfertigung und Montage zusammengefasst werden, kann die Wertigkeit der Arbeitsschritte wie folgt aussehen.

#### Beispiel

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| <i>Material abfassen</i>             | 5%   |
| <i>Start Vorfertigung</i>            | 15%  |
| <i>Ende Vorfertigung</i>             | 20%  |
| <i>Abnahme/Druckprobe</i>            | 10%  |
| <i>Start Montage</i>                 | 10%  |
| <i>Ende Montage</i>                  | 20%  |
| <i>Unterstützungen (komplett)</i>    | 10%  |
| <i>Servicetest/Dichtheitsprüfung</i> | 10%  |
|                                      | 100% |

Wie die einzelnen Arbeitsschritte prozentual bewertet werden, ist jeweils zwischen den Vertragsparteien festzulegen.

#### Mess- und Regeltechnik

Im Bereich MSR geht die Bemessungsgrundlage über Stückzahlen, ausgenommen bei den Kabeltrassen und der Kabelverlegung, bei denen die Länge in m ausschlaggebend ist.

#### Anstrich

Die Fortschrittsbewertung erfolgt über eine Liste mit den zu streichenden Flächen in m<sup>2</sup>. Die Einzelflächen bezogen auf die Gesamtfläche ergibt die Gewichtung.

#### Isolierung

Die Fortschrittsbewertung erfolgt über eine Liste mit den zu isolierenden Flächen in m<sup>2</sup>. Die Einzelflächen bezogen auf die Gesamtfläche ergibt die Gewichtung.

Eine isolierte Betrachtung des Fortschrittes innerhalb der Gewerke, lässt den Gesamtfortschritt der Baustelle nur erahnen. Um die einzelnen Fortschritte untereinander vergleichbar zu gestalten, bedient man sich fachspezifischer Arbeitszeitwerte. Diese Arbeitszeitwerte reflektieren den identischen Aufwand unterschiedlicher Arbeiten. Eine Tagesleistung pro Isolierer, ist somit identisch mit einer Tagesleistung eines Schweißers.

Die Basisdaten werden von dem Terminplan geliefert.



### 11.3 Kritischer Pfad

In vielerlei Hinsicht ist es die Hauptaufgabe des Baustellenleiters, die aus den unterschiedlichen Gewerken resultierenden Schnittstellen innerhalb der Baustellenorganisation zu steuern. Wenn jedes Gewerk seine Arbeiten ohne Vorgabe von einem anderen Gewerk erfüllen könnte, wäre die Aufgabe des Baustellenleiters relative einfach. Vielmehr sind es die Schnittstellen, die die Probleme verursachen. Auf diese Schnittstellen ist die kritische Pfad Analyse ausgerichtet. Trotz seines Rufes als äußerst komplex und zeitaufwendig Planungsmethode, ist die „Critical Path Method“ (CPM) eigentlich ein einfaches Instrument zur Ermittlung der kritischen Pfade.

Im Gegensatz zu den üblichen Planungstechniken (Ereignislisten und einfache Balkendiagramme), konzentriert sich die CPM auf zwei extrem wichtige Bereiche.

- Darstellung der Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Vorgängen
- Identifizierung der Ereignisse und/oder Vorgänge, die entscheidend für die rechtzeitige Fertigstellung der Anlage sind.

Zur Bestimmung des Kritischen Pfades wird jeder Vorgang bezüglich der Auswirkung seines Vorgängers und Nachfolgers betrachtet.

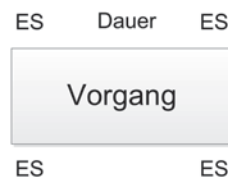
Jeder Vorgang verfügt über eine Dauer, wie in Abb. 11.2 dargestellt, sowie einem

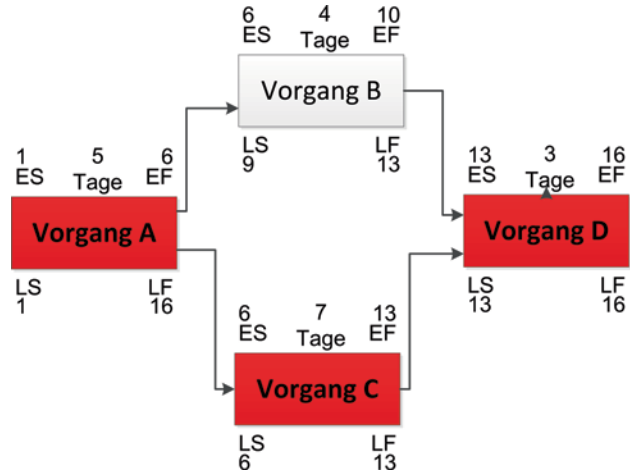
- Frühesten Anfang (Early Start=ES)
- Frühesten Ende Early (Finish=ES)
- Spätesten Anfang (Latest Start=LS)
- Spätesten Ende (Latest Finish=LF)

In Abb. 11.3 wird der kritische Pfad durch ACD bestimmt. Bei der Ermittlung der Werte werden die frühesten Termine (early) von links nach rechts bestimmt, die spätesten Termine (latest) hingegen von rechts nach links bestimmt.

Zur Ermittlung des kritischen Pfades werden die frühesten Termine untersucht. Bei einer Ende-Anfang Beziehung der Vorgänge ergibt sich der früheste Beginn von B aus dem frühesten Ende von A, also Tag 6. Das früheste Ende von B ist somit Tag 10. Betrachtet man nun den frühesten Anfang von D, der wiederum als Vorgänger den Vorgang

**Abb. 11.2** Vorgang



**Abb. 11.3** Kritischer Pfad

B und C besitzt, so kann Vorgang D erst dann starten, wenn Vorgang B und C beendet ist. Da Vorgang C erst nach 13 Tagen beendet ist, ist also der früheste Beginn von D Tag 13. Die Gesamtdauer beträgt also 16 Tage. Nur Vorgang B hat einen Puffer, und zwar von 3 Tagen. Der kritische Pfad ist somit ACD.

Die Ermittlung des Zeitpuffers erfolgt durch die Betrachtung der spätesten Termine. Gestartet wird mit dem spätesten Ende, also  $LF=16$  des Vorganges D. Daraus ergeben sich die spätesten Termine für Vorgang B und C jeweils aus  $LS$  (von D)=13. Durch die unterschiedliche Dauer der Vorgänge B und C ergeben sich ebenfalls unterschiedliche spätesten Termine. An dem Knotenpunkt BC zu A wird der niedrigste Wert übertragen, also der von Vorgang C.

- Bei der Betrachtung von links nach rechts wird an einem Knotenpunkt immer der Maximalwert verwendet. Bei der Betrachtung von rechts nach links, immer der Minimalwert.

Der kritische Pfad kann auch als die treibende und entscheidende Prozesskette verstanden werden.

- Der kritische Pfad ist die Anordnung von Vorgängen mit der längsten (Gesamt) Dauer. Vorgänge, die auf dem kritischen Pfad liegen, haben keinen Puffer. Verzögerungen der Vorgänge wirken sich unmittelbar auf den Endtermin aus.

Entscheidend ist hier allerdings, dass die Aufgaben (=Vorgänge) identifiziert werden, die am wichtigsten für die Durchführung des Projektes sind. Änderungen in der Fertigstellungsterminkette, die als Funktion dieser Vorgänge zu verstehen sind, die (früher oder später) Auswirkungen auf den endgültigen Fertigstellungstermin haben. Hier unterstreicht die CPM diese entscheidenden Vorgänge, so dass die entsprechende Aufmerksamkeit auf diese Vorgänge geleitet werden kann.

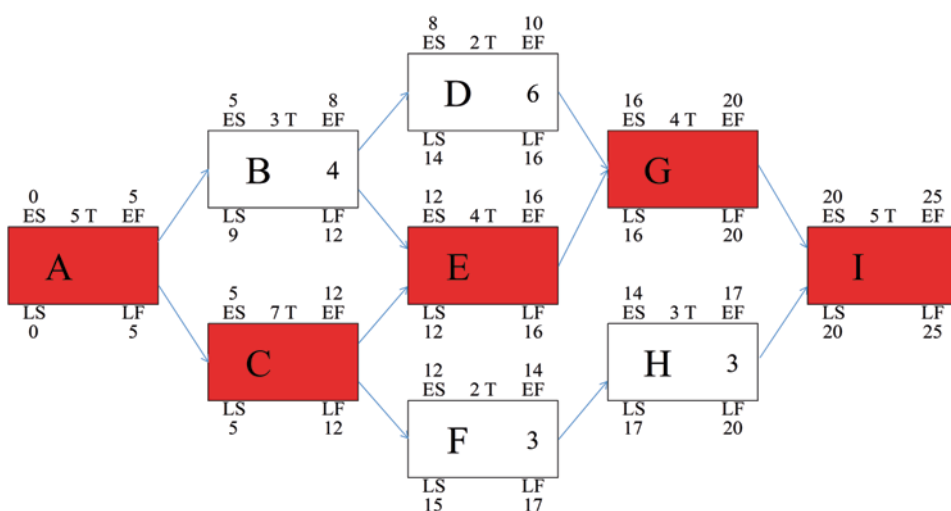
Ist von der Verschiebung eines Vorgangs kein weiterer Vorgang betroffen, so besitzt dieser Vorgang einen freien Puffer. (Vorgang B mit drei Tagen)

- Der Freier Puffer, auch als „Free Float“ bezeichnet, ist die Dauer, mit der ein Vorgang verspätet werden kann, ohne den frühesten Anfang der nachfolgenden Vorganges zu verzögern.

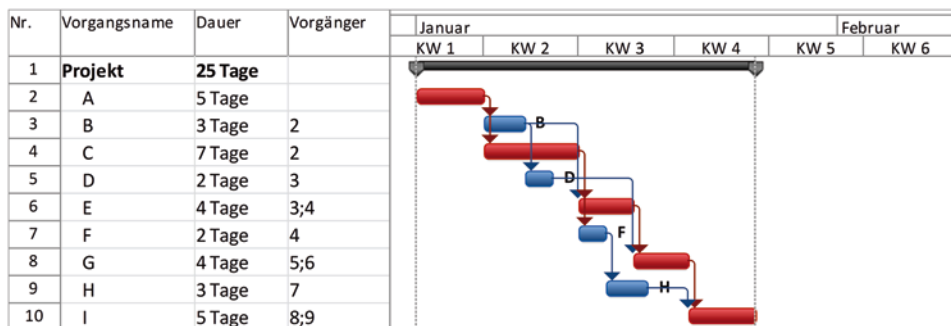
Hat die Verschiebung eines Vorgangs aber Auswirkungen auf seine mittelbaren oder unmittelbaren Nachfolger und bleibt lediglich der Fertigstellungstermin unverändert, so handelt es sich um einen Gesamtpuffer.

- Der Gesamtpuffer eines Vorgangs setzt sich somit aus seinem eigenen freien Puffer, falls vorhanden, und der Freien Puffer der nachfolgenden Vorgänge, die mit ihm verknüpft sind, zusammen.

Falls bei einem Vorgang die früheste und späteste Lage identisch sind, der Vorgang also keinen Verschiebungsspielraum hat, wird dieser Vorgang als kritisch bezeichnet. Die Summe der kritischen Vorgänge im gesamten Ablauf bestimmt den kritischen Pfad. Die Verschiebung oder Verlängerung eines Vorgangs auf dem kritischen Pfad hat somit eine Verschiebung des Fertigstellungstermins des Projekts zur Folge. Die Kompensation des kritischen Pfades ist nicht gleichbedeutend mit der Tatsache, dass der Fertigstellungstermin erreicht werden kann. Vielmehr entsteht durch die Beseitigung des kritischen Pfades ein weiterer kritischer Pfad, sodass man hier von einem iterativen Prozess zur Beseitigung der kritischen Pfade sprechen kann (Abb. 11.4, 11.5).



**Abb. 11.4** Kritische Pfad Darstellung Beispiel



**Abb. 11.5** Kritischer Pfad Darstellung Balkendiagramm

### Beispiel

*Der kritische Pfad wird durch die Kette ACEGI bestimmt. Der freier Puffer von B beträgt 4 Tage, des Gesamtpuffer der Kette BD beträgt 6 Tage.*

*Die Dauern der auf dem kritischen Pfad liegenden Vorgänge werden summiert. Die hier dargestellte Mindestdauer des Projektes beträgt 25 Arbeitstage.*

Nachdem ein kritischer Pfad erkannt wurde sind korrigierende Maßnahmen einzuleiten. Dazu werden in der Regel sog. „Maßnahmenkataloge“ erstellt, indem jede Maßnahme einer zuständigen Person zugeteilt wird, einschließlich einer klaren Terminvorgabe. Die Verfolgung dieser Maßnahme(n) ist regelmäßig und in kurzen Abständen zu tätigen.

## 11.4 Kosten

Eine Projektabwicklung ist eine Unternehmung auf Zeit. Ein Unternehmen wird mit der Absicht gegründet, Gewinne zu erwirtschaften. Gewinne werden realisiert wenn die Einnahmen größer als die Ausgaben sind.

Demzufolge müssen auch die Ausgaben geplant und überwacht werden. Im speziellen spricht man hier von der „Kostenkontrolle“.

Die Kostenkontrolle beinhaltet primär die Überwachung der eigenen und fremden Kosten.

Unter „eigenen Kosten“ sind die Kosten zu verstehen, die in dem Unternehmen bei eigener Wertschöpfung anfallen. Bei einem EPC Kontraktor sind das die Baustellenkosten für die eigene Bau- und Montageüberwachung, sowie die Kosten die durch die erforderlichen Einrichtungen auf der Baustelle anfallen.

Fremdkosten, sind Kosten für Leistungen, die durch Dritte erbracht werden und demzufolge eingekauft werden müssen. Sie beinhalten die Kosten von den Nachunternehmern und von extern eingestelltem Überwachungspersonal. Die Fremdkosten lassen sich in einen direkten und indirekten Teil aufteilen. Grob dargestellt, beziehen sich die direkten

Kosten auf die reine Herstellung der Anlage und sind mengen- und massenabhängig. Indirekte Kosten beinhalten die Kosten, die hauptsächlich Zeit abhängig sind, und nicht in direkter Verbindung zu den Herstellkosten stehen.

Bei der Bau und Montage sind die Massen und Mengen die Kosten beeinflussenden Faktoren schlechthin. Die indirekten Kosten verändern sich analog zu den Bauzeiten. Eine Bauzeitenverlängerung bedeutet automatisch höhere Kosten. Bei Großbaustellen können sich die Kosten für die Baustellenüberwachung, sowie das Vorhalten der Baustelleneinrichtung einschließlich aller Geräte, mitunter auf bis zu siebenstelligen Beträge pro Monat belaufen. Alleine dies sollte schon ausreichend Motivation sein, die Baustelle termingerecht, oder auch frühzeitiger, abzuwickeln.

In der Regel wird nach dem Eingang des Auftrages die Ursprungskalkulation überprüft und verifiziert. Einem projektspezifischen Kontenplan werden die Budgets und die Budgetverantwortlichen zugeordnet.

Je nach Komplexität des Zahlenwerkes und der Projektdauer, werden in regelmäßigen Abständen Hochrechnungen über die noch zu erwartenden Kosten getätigt. Hierbei spricht der Anlagenerbauer von „cost to complete“ oder „estimate to complete“.

---

#### Beispiel

*Das Mengengerüst für die Rohrleitungsmontage wurde in der Angebotskalkulation anhand von Erfahrungswerten vergleichbarer Projekt generiert und kostenmäßig bewertet. Während der Projektbearbeitung wird dieses Mengengerüst mehrfach revidiert. Die erste maßgebliche Revision findet zu Beginn des Detail Engineerings statt, um eine Basis für den Einkauf der Rohrleitungen zu haben, und um den Aufwand des Nachunternehmervertrages zu reflektieren. Je weiter das Detailengineering voranschreitet, umso genauer werden die Informationen über den tatsächlichen Bedarf. Demzufolge ist zu bestimmten Zeitpunkten das neue Mengengerüst kostenmäßig zu bewerten, um eine Tendenz der Kostenentwicklung aufzeigen zu können.*

An dieser Stelle sei nur kurz darauf hingewiesen, dass permanent wirtschaftliche Risiken durch Claims seitens der Nachunternehmer bestehen. Sei es nur die üblichen Änderungsarbeiten im Feld, oder gravierende Forderungen die aus gestörten Abläufen sich generieren.

---

## 11.5 Qualität

Die Überwachung der Ausführungsqualität auf der Baustelle erfolgt nach spezifischen Vorgaben.

Zur Sicherung der Qualität ist ein „Qualitätsplan (Quality Control Plan)“ für die Baustelle zu erstellen.

Der Zweck eines solchen Handbuchs stellt sie wie folgt dar:

- Einrichten und Umsetzen eines effektiven Qualitätssystems um die Vorgaben der ISO 9001 zu erfüllen
- Sicherstellen, dass die zum Einsatz kommenden Materialien und Produkte entsprechend der Spezifikationen hergestellt und/oder zusammengebaut werden bzw. bereitgestellt werden.
- Sicherstellen, dass alle Projektbeteiligten, einschließlich Lieferanten und Nachunternehmer die vertraglichen Qualitätsansprüche erfüllen.

Um eine effektive Qualitätsüberwachung zu gewährleisten, ist es zwingend erforderlich, dass die für die Qualitätsüberwachung verantwortlichen Personen sich mit den vertraglichen Spezifikationen ausreichend vertraut gemacht haben.

Die Qualitätsüberwachung für eine Baustelle fängt bereits mit der Auswahl der entsprechenden Nachunternehmer an. Potentielle Nachunternehmer sind vor der Vergabe von Leistungen bezüglich ihrer Ausführungsqualität hin zu überprüfen. In der Regel findet diese Überprüfung im Rahmen eines Audits statt. Ein solches Audit sollte als Mindestanforderung die Besichtigung einer aktuellen Baustelle des Nachunternehmers beinhalten. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass ein Baustellenaudit nur eine Momentaufnahme einer bestimmten Baustelle ist, die durch bestimmte Personen besetzt ist.

Ein weiterer Aspekt der Qualitätsüberwachung ist, dass unter allen Umständen sicherzustellen ist, dass der Nachunternehmer nur mit Zeichnungen und Spezifikationen des letztgültigen Revisionsstandes arbeitet.

Die Überwachung der Qualität im Feld ist unter allen anderen Punkten die entscheidende Herausforderung, wo sich die Spreu von Weizen bei den Anlagenbauern trennt. Hier sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Feldüberwachung, wie der Name sagt, im Feld stattfindet.

Viele Arbeiten beinhalten Arbeitsschritte, deren Qualität nur während der Ausführung überwacht werden können, wie z. B. die Einhaltung der Vorwärmtemperatur beim Schweißen oder die fachgerechte Reinigung der Oberfläche vor dem Anbringen des Korrosionsschutzes. Andere Arbeiten wiederum können nach Fertigstellung qualitativ überprüft werden.

Für die Überprüfung der einzelnen Arbeitsschritte diverser Gewerke ist der FQCP (Field Quality Control Plan) Bestandteil des Qualitätsplans. In dem FQCP werden sogenannte Inspektionspläne (ITP – Inspection Test Plan) integriert. In diesem Plan werden die Aktivitäten, Zuständigkeiten und Verantwortungen zur Qualitätssicherung beschrieben.

Eine Zuordnung der Verantwortungen und Tätigkeiten zwischen den beteiligten Parteien erfolgt wie in Tab. 11.1 dargestellt. Die Wertigkeit bzw. Intensivierung der Überprüfung wird den entsprechenden Parteien zugeordnet. Dabei reicht die Messlatte von der Stichprobe über den Nachweis-Punkt bis zum Haltepunkt. Zum Beispiel führt der Subunternehmer die Herstellung des Anstrichs 1) durch, die Überprüfungen erfolgen durch den Auftraggeber (C) und den Kunden (O) stichprobenartig. Unter Nr. 6 ist die Überprü-

**Tab. 11.1** Beispiel Inspection Test Plan Anstricharbeiten

| Lfd. Nr | Inspektion                                      | S | C  | O  |
|---------|-------------------------------------------------|---|----|----|
| 1       | Anstrich                                        | X | Bs | Bs |
| 2       | Überprüfen der Anschlussverbindung              | X | Bs | Bs |
| 3       | Überprüfen der Flanschverbindung                | X | R  | Bs |
| 3a      | Dichtungen                                      | X | R  | Bs |
| 3b      | Schrauben                                       | X | R  | Bs |
| 4       | Flussrichtung                                   | X | R  | Bs |
| 5       | Zugänglichkeit und Bedienbarkeit von Handrädern | X | R  | Bs |
| 6       | Überprüfung der Beschichtung (innen) vor Einbau | X | R  | H  |
| 7       | Entfernen von Transportsicherungen              | X | R  | Bs |
| 8       | Visuelle Prüfung auf Beschädigungen             | X | R  | Bs |

fung der Innen-Beschichtung ein Haltepunkt, seitens des Kunden, d. h. der Kunde möchte sich selbst von dem Zustand der Innenbeschichtung überzeugen.

Ein Haltepunkt (H) und der Nachweis-Punkt (W) erfordert die Anwesenheit der zuständigen Partei. Dazu ist eine rechtzeitige Einladung für die Zwischenprüfung schriftlich an die überprüfenden Parteien zu senden. Bei einem Nachweis-Punkt reicht die rechtzeitige Bekanntmachung, es ist dem Überprüfer freigestellt an der Prüfung teilzunehmen oder auch nicht. Der Prüfende führt die Prüfung wie geplant durch. Bei einem Haltepunkt ist die Anwesenheit des Überprüfenden während der Prüfung zwingend erforderlich, da hierbei der Prüfende auch einen Nachweis über das Ergebnis der Prüfung erbringen muss bzw. dieses zu bestätigen hat. Die Prüfung beginnt *erst* dann, wenn der Prüfende eingetroffen ist.

Legende:

|    |                                      |
|----|--------------------------------------|
| X  | Execution (Ausführung, Durchführung) |
| Bs | By spot (Stichprobe)                 |
| R  | Review (Überprüfen)                  |
| H  | Hold point (Haltepunkt)              |
| W  | Witness point (Nachweispunkt)        |
| S  | Subunternehmer (Nachunternehmer)     |
| C  | Contractor (Auftragnehmer)           |
| O  | Owner (Auftraggeber)                 |

## 11.6 Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz

Ein ganz entscheidender Faktor ist die Arbeitssicherheit auf Baustellen.

Das Thema Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz kann in diesem Buch nicht entsprechend dem hohen Stellenwert behandelt werden. Hier soll der Leser nur mit der wichtigen Bedeutung und den grundlegenden Aspekten vertraut werden.

Für Baustellen in Deutschland ist ein Sicherheits- und Gesundheitsschutz-Koordinator (SiGeKo) in die Baustellenmannschaft zu integrieren. Gemäß Wikipedia ist die Gestaltung eines SiGe Koordinators rechtlich definiert, und zwar wie folgt:

Seit 1. Juli 1998 gilt die Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (Baustellenverordnung – BaustellV). Nach § 4 BaustellV Verordnung haben Bauherren als Veranlasser eines Bauvorhabens für eine wesentliche Verbesserung von Sicherheits- und Gesundheitsschutz der Beschäftigten auf Baustellen zu sorgen und die Maßnahmen nach § 2 und § 3 Abs. 1 BaustellV zu veranlassen. Diese Pflicht beinhaltet auch die Bestellung geeigneter Koordinatoren, sofern der Bauherr – mangels eigener Fachkenntnisse – die Aufgaben des Koordinators (siehe Regeln zum Arbeitsschutz auf Baustellen (RAB 30) – „Geeigneter Koordinator“ -Ziffer 3) nicht selbst wahrnehmen kann. [34]

Auf internationalen Baustelle erfolgt die Überwachung und Koordination von dem SGU Manager und seinem Team.

Basis für die SGU Überwachung sind die lokalen Vorschriften, die Kundenvorgaben und der eigenen Standard des Anlagenbauers.

Typische Standards im Anlagenbau sind die Zertifizierungen nach:

- OSHAS 18001
- SCC
- ISO 14001

SCC bedeutet „Safety Certifikat Kontraktor“. Das SCC Zertifikat ist eine gängige Forderung in der Petrochemie. Im Prinzip ist das SCC Zertifikat keine Bestätigung, dass entsprechende Managementprozesse integriert sind. Vielmehr handelt es sich beim SCC Zertifikat um eine Sammlung von Fragekatalogen deren Ursprung in den Niederlanden entstand. Ziel ist das entsprechende Baustellenpersonal auszubilden oder ausgebildet zu haben.

OHSAS (Occupational Health and Safety Assessment System) 18001 ist die Grundlage eines Arbeitsschutzmanagementsystems für den betrieblichen Arbeitsschutz im Unternehmen.

Die DIN EN ISO 14001 ermöglicht seit 1996 Organisationen bzw. Organisationseinheiten ihr Umweltmanagementsystem zertifizieren zu lassen.

Ein Umweltmanagementsystem ist der Teil des gesamten übergreifenden Managementsystems, der die Organisationsstruktur, Zuständigkeiten, Verhaltensweisen, förmlichen Verfahren, Abläufe und Mittel für die Festlegung und Durchführung der Umweltpolitik einschließt. Ein Umweltmanagementsystem beinhaltet grundsätzlich:

- Umweltpolitik, -ziele und -programme
- Organisation und Personal
- Auswirkungen auf die Umwelt
- Aufbau- und Ablaufkontrolle
- Umweltmanagement-Dokumentation
- Umweltbetriebsprüfungen.



Standardisierte Umweltmanagementsysteme sind durch die ISO 14001 und EMAS gegeben.  
[35]

Mit jeder Bautätigkeit sind Risiken und Gefahren verbunden. Der SGU-Plan beschreibt auf der Basis von Richtlinien, Grundsätzen und Verfahren die Vorgehensweise, die der Erkennung und Beseitigung dieser vorhersehbaren Risiken und Gefahren dient. Von daher ist für jedes Projekt ein projektspezifischer SGU Plan zu entwickeln, abzustimmen und umzusetzen.

In diesem Plan sind, unter Berücksichtigung der in Betracht kommenden Gesetze, Vorschriften, Umstände und der Beurteilung der Arbeitsbedingungen vor Ort, die jeweils erforderlichen Maßnahmen, die der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten dienen, dargelegt.

Der Zweck des SGU Planes und den dazugehörigen Anlagen ist es, den auf der Baustelle tätigen Beschäftigten die anerkannten Sicherheitsanweisungen und -richtlinien als auch die Vorschriften und Maßnahmen zur Durchführung der geplanten Arbeiten zu vermitteln. Dabei ist es oberstes Ziel die Baustellenbeschäftigten so zu sensibilisieren, dass die Vermeidung von Unfällen die höchste Priorität besitzt. Das Einfließen der konsequenten Einhaltung der installierten SGU – Prinzipien und Regeln in den konkret gelebten Tagesablauf auf der Baustelle sollte das primäre Ziel sein.

Auf folgenden wesentlichen Grundlagen basiert die Erstellung eines SGU Plans:

- Lokale Verordnungen und Gesetze
- Kundenanforderungen
- Unternehmensstandard

In den meistens Fällen werden vertragliche Dokumente mit Prioritäten versehen, um klare Regelungen, bei möglichen Widersprüchen gleicher Inhalte unterschiedler Quellen, zu haben. Bei der Arbeitssicherheit sollte bei möglicher Varianz ähnlicher Inhalte immer die mit den strengeren Vorschriften angewendet werden.

Schwerpunktmäßig beschäftigt sich der SGU Plan mit

- Der Gefährdungsanalyse
- Persönlichen Schutzausrüstungen

Die Hauptaufgabe der SGU Überwachung besteht darin, mögliche Gefahren, auf der Baustelle, frühzeitig zu erkennen um sofortige Gegenmaßnahmen einzuleiten. Eine effektive Umsetzung der Arbeitssicherheit kann mitunter erreicht werden, wenn nachfolgende Punkte erfüllt bzw. eingehalten werden.

- Einsatz von kompetentem Führungspersonal und kompetenten Mitarbeitern, um sicheres Arbeiten sowie das Einhalten der Gesetze und Vorschriften zu gewährleisten.
- Erstellung eines projektspezifischen SGU-Plans.

**Tab. 11.2** Anteilige SGU Überwachung zur Beschäftigungszahl

| Mitarbeiter | Sicherheitsfachmann | Sicherheitsfachkraft |
|-------------|---------------------|----------------------|
| < 10        | 0                   | Personalunion        |
| > 10        | 1                   | 1                    |
| > 50        | 1                   | 1                    |
| > 100       | 1                   | 1                    |
| > 200       | 1                   | 2                    |
| > 300       | 1                   | 3                    |

- Unterweisung sämtlicher Beschäftigten bezüglich baustellen- und arbeitsspezifischer Gefährdungen.
- Permanente Analyse der Arbeitsbedingungen während der Ausführungsphase auf der Baustelle unter Zugrundelegung einer übergeordneten Gefährdungsbeurteilung. Die Sicherstellung wird durch regelmäßige Kontrollen erreicht.
- Die Einführung eines Arbeitserlaubnisscheinsystems, z. B. für Aushub-, Abriss- und Heißenarbeiten, Bodenöffnungen sowie Arbeiten in engen Räumen.
- Regelmäßige Inspektion der Baustelle sowie aller Maschinen, Geräte, Fahrzeuge, Werkzeuge, Lastaufnahmemittel, persönlicher Schutzausrüstung, sowie sonstiger Ausrüstung.
- Sicherstellung einer effektiven Kommunikation zwischen der Baustellenleitung und den SGU- Spezialisten.
- Konsequenter Umweltschutz auf der Baustelle.
- Die Meldung und Untersuchung von Zwischenfällen und Unfällen sowie eine statistische Auswertung, als Grundlage für Verbesserungsmaßnahmen.

Die Tab. 11.2 SGU stellt eine gängige Empfehlung über das Verhältnis von Sicherheitsfachkräften bezogen auf die Anzahl aller Beschäftigten auf der Baustelle dar.

## 11.7 Zusammenfassung

Die Überwachung und Steuerung der Baustelle ist die entscheidende Phase des Projektes. Hier fällt die Entscheidung wie gut oder wie schlecht die Planung war.

Die Überwachung ist der permanente Abgleich zwischen einem definierten Soll und einem messbaren Ist. Ziel der Überwachung ist es Abweichungen frühzeitig festzustellen um entsprechend dagegen zu steuern.

Um einen wirkungsvollen Steuerungsprozess zu etablieren, muss zuerst die Basis geschaffen werden, indem Klarheit über folgende Fragen herrscht.

- Was will ich steuern?
- Wie kann ich steuern?
- Wann muss ich steuern?

Die Kunst ist es nun diese Fragen gezielt zu beantworten. Dafür ist es erforderlich, ein klares Bild von der Leistungsfähigkeit des Nachunternehmers, als auch von den eigenen Ressourcen zu haben.

Wird der Qualitätsanspruch erfüllt, werden die Arbeitssicherheitsregeln eingehalten, passt der Fortschritt mit den Vorgaben und letztendlich reicht das Geld.

Hier ist es von großer Bedeutung „immer am Ball“ zu bleiben. Der permanente Soll/Ist-Vergleich ist der Weg der kleinen Schritte, die letztendlich zum Erfolg führen.

---

## 12.1 Abweichungsmanagement

Mit der Planung wurde festgelegt welche Leistungen im welchem Zeitraum zu erbringen und abzuschließen sind.

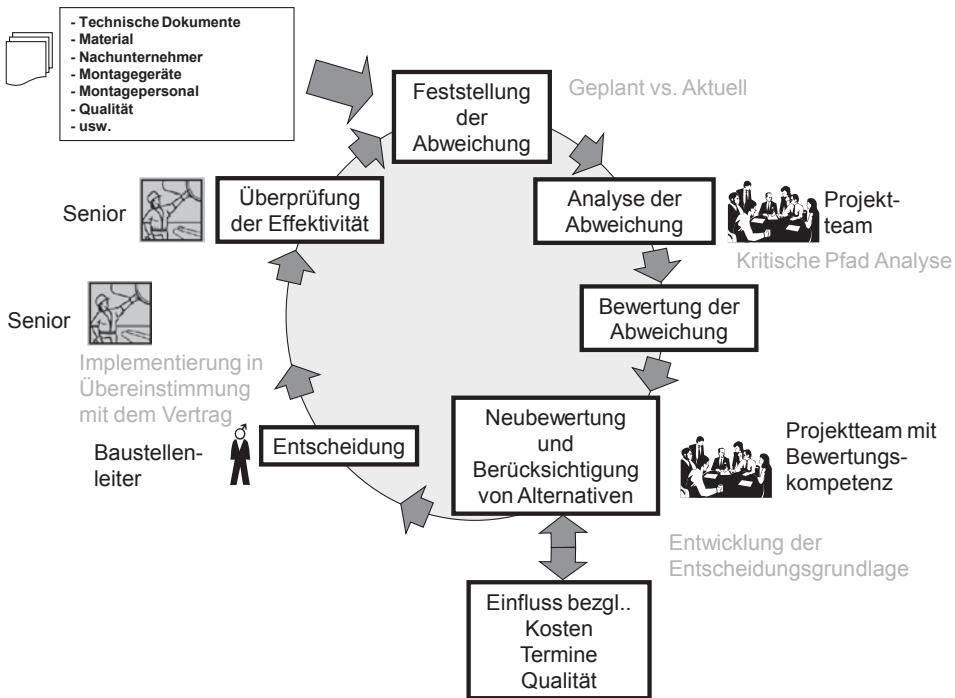
Ändern sich die Leistungen oder der Zeitpunkt der Leistungserbringung spricht man von Abweichungen. Diese Abweichungen können Änderungen sein, die keinen direkten Einfluss auf die Prozesskette haben, wie z. B. Massenerhöhungen oder Massensenkungen. Änderungen, die einen direkten Einfluss haben, bezeichnet man als Störungen. Störungen sind demzufolge unplanmäßige Einwirkungen auf die geplante Prozesskette.

Wie ist mit solchen störenden Abweichungen umzugehen?

Zum einen werden die Abweichungen bezüglich ihrer Auswirkung auf die Prozesskette hin untersucht, zum anderen wird die Ursache der Abwicklung dahingehend ermittelt, um sie abzustellen und um mögliche Ersatzansprüche zu generieren.

Abweichungen von den Plandaten gehören auf der Baustelle zum täglichen Geschäft. Jede Abweichung stört den Arbeitsprozess, ist unerwünscht und muss beseitigt werden. Es ist zwar das Ziel die Anzahl von möglichen Abweichungen zu minimieren, aber gerade der Anlagenbau mit seiner Einzigartigkeit und Komplexität wird sich immer wieder mit Abweichungen konfrontiert sehen. Von daher ist es ratsam, frühzeitig ein Abweichungsmanagement zu etablieren, um gezielt die Behebung der Abweichungen anzugehen.

Die wichtigsten Teilprozesse des Abweichungsmanagement sind die Feststellung der Abweichung, deren Kategorisierung und die Implementierung von korrigierenden Maßnahmen. Damit bei der Feststellung einer Abweichung nicht gleich mit Kanonen auf Spatzen geschossen wird, ist diese Abweichung bezüglich ihrer Auswirkung zu analysieren und zu bewerten. Hier liegt eigentlich die wahre Kunst. Vorhersagen mit negativem Ergebnis sind meistens unerwünscht, kein-Problem-Aussagen werden schnell von der Real-



**Abb. 12.1** 1 Abweichungsmanagement auf der Baustelle

tät eingeholt. Also bleibt nur die sachliche Ermittlung, die durch Zahlen und Erfahrungswerte zu untermauern ist.

Abbildung 12.1 zeigt das Abweichungsmanagement auf der Baustelle, von der Feststellung der Abweichung bis zur Überprüfung der korrigierenden Maßnahme bezüglich ihrer Effektivität.

Betrachtet werden in einem Berichtszeitraum die im Einzelnen ermittelten Fortschritts- werte. Die Fortschrittswerte sind hierbei Kennzahlen, die bereits in der Planung verwendet wurden, und die pro Zeiteinheit gemessen werden können. Danach erfolgt das Vergleichen der Fortschrittswerte mit den geplanten Daten (Soll/Ist-Vergleich). Wenn die Werte nicht passen liegt eine Abweichung vor. Üblicherweise führt die Bekämpfung der Ursache zu den besten Ergebnissen. Dazu wird eine Analyse der Abweichung getätigt. Die Einflüsse, die auf eine Abweichung störend einwirken, sind in der Regel begrenzt und übersichtlich. In den meisten Fällen handelt es sich, klimatische Einflüsse außer Acht gelassen, um:

- Geringe Arbeitsfronten oder zu geringer Arbeitsraum
- Keine ausreichende Materialverfügbarkeit
- Zu wenige oder zu anfällige Montagegeräte

- Zu wenig oder schlecht ausgebildetes Montagepersonal
- Keine ausreichende Verfügbarkeit von Dokumenten

Mitunter treten die Ursachen auch als Kombination zweier oder mehrerer Einflüsse auf.

Nachdem die Ursache analysiert wurde, erfolgt die Bewertung entsprechend der in Kap. 12.4 aufgeführten Kategorien.

Die korrigierenden Maßnahmen sollte im Detail besprochen werden, ihre möglichen Erfolgsaussichten sind aufzuzeigen und dienen der Entscheidungsgrundlage. Entscheidend ist auch hier die Auswirkung auf Kosten, Termine und Qualität. Nachdem die Entscheidung gefallen ist, werden die Maßnahmen implementiert und bezüglich ihrer Effektivität überprüft und nachgehalten.

---

## 12.2 Ermittlung der Abweichungen

Im Allgemeinen wird zuerst durch einen permanenten Abgleich der Termine, Aktivitäten und Zwischenzielen ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt. Dazu sind die Fortschrittswerte laufend zu ermitteln. Wir sprechen also hier vom **Messen**.

Wenn die gemessenen Werte mit den Vorgaben des Terminplans **verglichen** werden, und Abweichungen zu Tage kommen, müssen diese Abweichungen **analysiert** werden. Die Ursachen sind zu beheben und korrigierende Maßnahmen einzuleiten. Die einzuleitenden Maßnahmen sind bezüglich ihrer Effektivität hin **nachzuverfolgen**.

Da in der Regel Projekte von mehreren Beteiligten abgewickelt werden und die Führung des Unternehmens ein wesentliches Interesse an der Projektabwicklung hat, sind projektspezifische Informationen bereitzustellen. Diese werden üblicherweise gezielt in **Berichten** zusammengefasst.

Demzufolge bedient sich das Abweichungsmanagement fünf wesentlichen Tätigkeiten.

- Messen
- Vergleichen
- Analysieren
- Nachverfolgen
- Berichten bzw. Dokumentieren

### 12.2.1 Messen

Die Ermittlung des Baustellenfortschritts orientiert sich in erster Linie an den Mengen der verbauten Massen. Weitere Details zum Messen des Fortschrittes sind bereits in Kap. 11.2 detailliert beschrieben worden.

### 12.2.2 Vergleichen

Die ermittelten Fortschrittswerte werden mit den Plandaten verglichen. Zum einen wird der Gesamtfortschritt verglichen, zum anderen wird der Fortschritt des Berichtszeitraumes mit den Plandaten verglichen.

Die Überprüfung des Fortschritts des Berichtszeitraums, ist der Indikator um frühzeitig Abweichungen zu erkennen.

Sollte bei einer Bauzeit von 24 Monaten und einem Gesamtprogress von angenommenen 60 % der geforderte Fortschritt von 4 % pro Woche nur 2 % pro Woche betragen, so stellt die Gesamtfortschrittskurve eine Abweichung von 2 %, allerdings auf 60 % bezogen, dar. Das heißt die Abweichung (Soll 64 %, Ist 62 %) liegt für den Betrachter nicht im kritischen Bereich.

Allerdings sollte hier untersucht werden, warum nur die Hälfte der geplanten Leistung im Berichtszeitraum erbracht wurde (2 % anstelle von 4 %). Entscheidend ist nun, dass, bevor der Gesamtfortschritt wieder eingeholt wird, erstmal die eigentlichen Planvorgaben (also die Steigerung von 2 % auf 4 %) wieder erreicht werden müssen. Das bedeutet, in diesem konkreten Fall, eine Verdopplung des Outputs in dem kommenden Berichtszeitraum, bezogen auf den vorherigen Berichtszeitraum, ohne das Verzüge kompensiert wurden.

Die hierbei festgestellten Abweichungen, sowie die daraus abgeleiteten Abweichungsanalysen, gehören zu dem wichtigsten Instrument der Baustellensteuerung.

### 12.2.3 Analysieren

Störungen können nur sinnvoll behoben werden wenn die entsprechenden Ursachen bekämpft werden. Von daher ist der wesentliche Bestandteil der Analyse festzustellen, was ursächlich Einfluss auf die Abweichungen hatte. Sollte der geplante Fortschritt nicht erreicht werden, macht es wenig Sinn mehr Personal auf die Baustelle zu schicken, wenn z. B. nicht ausreichend Material verfügbar ist.

---

#### Beispiel

*Der gemessene Fortschritt der Betonarbeiten pro Berichtszeitraum liegt hinter den Erwartungen zurück. Anstelle der geplanten 1000 m<sup>3</sup> wurden nur 300 m<sup>3</sup> gegossen.*

*Woran kann es liegen?*

- *Sind zu wenige Arbeitskräfte auf der Baustelle?*
- *Hatte die Witterung einen negativen Einfluss auf die Baustelle?*
- *Gibt es Lieferengpässe beim Beton?*
- *Fehlt es an ausreichender Schalung?*
- *Ist nicht genügend Bewehrungsseisen vorhanden?*
- *Liegt es an fehlenden Baufreiheiten?*

- *Fehlen Transportfahrzeuge?*
- *Sind nicht genügend Zeichnungen vorhanden?*
- *usw.*

Ohne eine detaillierte Ursachenforschung wird es schwierig geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Jegliche Art der Abweichung ist zu untersuchen, wobei nicht immer korrigierende Maßnahmen erforderlich sind.

Sollten Lieferengpässe beim Beton, die Ursache für die nicht Erbringung der geplanten Leistung während des Berichtszeitraums sein, allerdings die Schalung und Bewehrung in dem Umfang fertiggestellt ist, dass nur noch das Vergießen des Betons aussteht, sind in der Regel keine größeren Ersatzmaßnahmen erforderlich. In diesem konkreten Einzelfall, ist lediglich zu überwachen, dass im nächsten Berichtsmonat mehr Beton angeliefert und eingebaut werden muss. Es ist zu empfehlen solche Punkte in den entsprechenden Baubesprechungen anzusprechen und in einem Maßnahmenkatalog aufzuführen. Ein kontinuierliches Nachverfolgen und Abarbeiten solcher Listen ist zwingend erforderlich.

#### 12.2.4 Nachverfolgen

Nachdem die Ursachen für Störungen im Bauablauf ermittelt wurden, die Störung noch keinen negativen Einfluss verursacht, ist die weitere Entwicklung kritisch zu beobachten.

Sollte wie im vorgenannten Beispiel, auch in den kommenden Berichtszeiträumen keine Verbesserung erkennbar werden, sind gezielt Maßnahmen einzuleiten.

Eine Maßnahme könnte z. B. die Einbindung eines weiteren Betonwerkes werden. Für solche Maßnahmen bietet es sich an, jemanden als „Kümmerer“ zu benennen, da unterschiedliche Abteilungen involviert werden müssen. In diesem konkreten Fall wäre es der Einkauf für die Erstellung einer zusätzlichen Bestellung, sowie die Rechtsabteilung, die eine Reduzierung des per Nachunternehmervertrages vereinbarten Leistungsumfanges zu prüfen hat. Eine korrigierende Maßnahme kann somit aus mehreren Aktivitäten bestehen, die auch chronologisch abhängig sein können.

Die korrigierenden Maßnahmen sind zu terminieren und bezüglich ihrer Effektivität nachzuverfolgen.

#### 12.2.5 Berichten

Ein wesentlicher Bestandteil bei der Abwicklung der Projekte ist das Berichtswesen bzw. die Dokumentation. Nicht immer wird das Berichten von den entsprechenden Projektbeteiligten als wichtiges Steuerungselement gesehen, sondern mehr als notwendiges Übel. Das Berichtswesen oder im neudeutschen „das Reporting“, ist ein Instrument das als Frühindikator und auch als Entscheidungshilfe dienen kann, und somit auch genutzt werden sollte.



Unterschiedliche Ansprüche und Ziele an das Berichtswesen erfordern auch unterschiedliche Berichte.

Banken die ein Großprojekt finanzieren haben sicherlich andere Anforderungen an das Berichtswesen als ein Nachunternehmer der vielleicht 50 Personen auf der Baustelle beschäftigt.

Aus Sicht der Bau- und Montageverantwortung eines EPC Kontraktors sollte das Baustellenberichtswesen mindestens folgende Informationen bereitstellen.

- Gesamtfortschritt des Projektes
- Montage Fortschrittsbericht
- Übersicht der Disziplinen
- Fortschritt: Gesamtkurve
- Fortschritt: Balkendiagramm
- Untergruppen mit Fortschrittserfassung der einzelnen Gewerke
- Kritische Pfade
- Eingeleitet korrigierende Maßnahmen

Seitens der Baustelle sollten ein detaillierte Wochenbericht und ein kumulierter Monatsbericht erstellt werden, und an die Projektleitung verteilt werden.

---

### 12.3 Einleiten korrigierender Maßnahmen

Nachdem im Abweichungsmanagement die Implementierung der korrigierenden Maßnahmen entschieden wurde, erfolgt nun die Umsetzung und Nachverfolgung.

Abbildung 12.2 stellt diese Vorgehensweise schematisch dar.

Die eingeleitet Maßnahme wird verfolgt und berichtet. In der Regel werden die Maßnahmen in die Baustellen „Action List“ übernommen. Die Umsetzungen von Maßnahmen werden bezüglich ihrer Auswirkung beobachtet und bewertet. Ist keine Besserung in Sicht, bzw. greifen die Maßnahmen noch nicht, die Auswirkung allerdings eine negative Auswirkung auf die Baustelle beibehält, kann die Abweichung zum kritischen Pfad „aufsteigen“. In diesem Fall werden die Maßnahmen überprüft und erneut gezielt definiert. Das bedeutet, dass für die Implementierung der Maßnahme ein Verantwortlicher benannt wird. Die Maßnahme wird nun gezielt verfolgt und schwerpunktmäßig bezüglich ihrer Effektivität permanent überprüft.

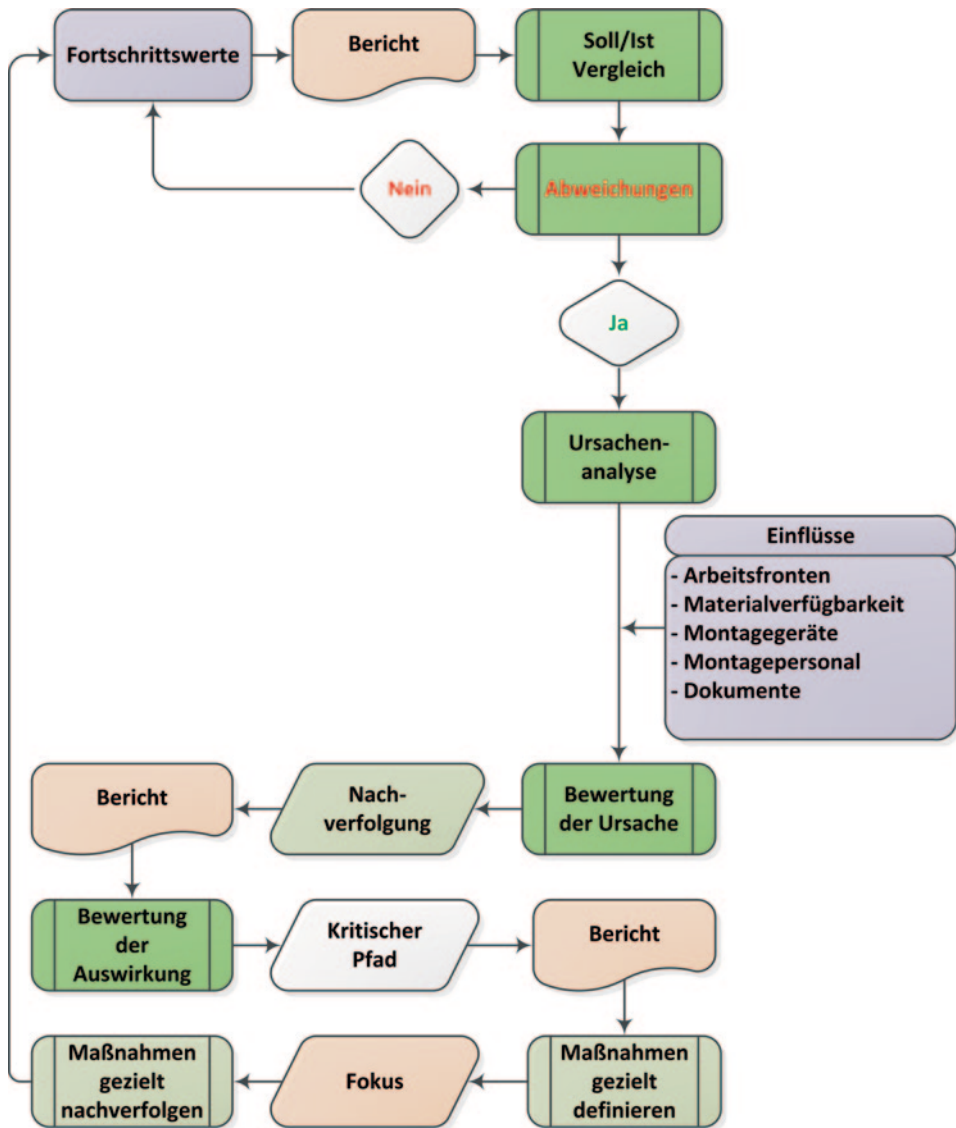


Abb. 12.2 Ablaufschema Korrigierende Maßnahmen

## 12.4 Abweichungskategorien

Nachdem eine Abweichung festgestellt wurde, sind weitere mögliche Abweichungen und deren Auswirkungen zu ermitteln bzw. vorherzusagen. Je nach Größe der Auswirkung und dem daraus resultierenden Aufwand für die Beseitigung der Abweichung wird die Auswirkung kategorisiert.

Die Kategorisierung erfolgt entsprechend der nachfolgend aufgeführten drei Kategorien.

- Kategorie 1 – Selbstheilung
- Kategorie 2 – Non-Invasive
- Kategorie 3 – Invasive

Nachdem die Abweichung bewertet wurde erfolgt eine Zuordnung zu den Kategorien. Entsprechend der zugeordneten Kategorie werden korrigierende Maßnahmen ermittelt. Die Maßnahmen werden bezüglich ihrer Beeinflussung von Kosten, Termine und Qualität ebenfalls bewertet. Durch kritisches Abwägen werden die Entscheidungen für die Implementierung der Maßnahmen getroffen. Nachdem die Maßnahme eingeleitet wurde, erfolgt eine begleitende Überwachung der Effektivität. Sollte die eingeleitete Maßnahme nicht zu dem gewünschten Erfolg führen, wird erneut eine Analyse getätigt, mit der Zielsetzung Alternativen aufzeigen zu können.

#### 12.4.1 Kategorie1– Selbstheilung

Kategorie 1 beinhaltet die Abweichungen die ohne größere Umstände zu kompensierend sind. Man kann auch von *Selbstheilung* sprechen.

---

##### Beispiel

*Während eines Berichtszeitraums herrschen überdurchschnittlich schlechte Witterungsverhältnisse. Es wird aber davon ausgegangen das der daraus resultierende geringe Fortschritt im nächsten Berichtszeitraum kompensiert werden kann.*

#### 12.4.2 Kategorie 2 – Non-Invasiv

Die Kategorie beinhaltet die Abweichung die nur durch Zuführung weiterer Mittel (in der Regel Kosten) kompensiert werden kann, es erfolgt somit eine Non-Invasive Therapie.

---

##### Beispiel

*Der Fortschritt fällt aufgrund fehlender Arbeitsgeräte zurück. Ohne die Zuführung von weiteren Geräten lässt sich der Verzug nicht kompensieren. Des Weiteren werden zwecks Kompensierung Schichtarbeiten erforderlich. Die eingeleiteten Maßnahmen greifen.*

### 12.4.3 Kategorie 3 – Invasiv

Abweichungen der Kategorie 3 haben einen direkten Einfluss auf den kritischen Pfad. Sämtlicher Zeitpuffer ist verbraucht. Zusätzliche Kosten entstehen. Die eingeleiteten Maßnahmen dienen der Schadensminimierung. Es handelt sich hierbei um eine *invasive* Therapie, eine Heilung kann erfolgen, aber zurück bleiben mindestens die Narben.

#### Beispiel

*Während einer Abnahme werden Risse in einem Wärmetauscher festgestellt. Der Apparat ist dadurch nutzlos. Die Ersatzmaßnahme, Bestellung eines neuen Wärmetauschers, bedeutet zusätzliche Kosten. Die Lieferzeit der Neubestellung führt zu einem Verzug der nicht mehr kompensiert werden kann. Dem Anlagenbauer drohen Pönalen.*

## 12.5 Arten von Abweichungen

Im Nachfolgenden werden die unterschiedlichen Abweichungsarten, wie

- Behinderung,
- Fehler,
- Schäden,
- Mängel,
- Zusatzleistungen aufgeführt.

### 12.5.1 Behinderung

Tritt im Verlauf eines Prozesses ein Ereignis ein, dass den planmäßigen Ablauf stört, spricht man von Behinderung.

Behinderungen sind unverzüglich anzuzeigen. In der Folge von Behinderungen können erhebliche Mehrkosten entstehen.

Von Behinderungen wird gesprochen, wenn terminlich vereinbarte Vorleistungen nicht erfüllt werden. Die Nachfolgenden Gewerke werden nicht in die Lage gesetzt ihre Leistungen uneingeschränkt zu erbringen. Die Gefahr von Behinderungsketten entsteht.

Eine typische Behinderungskette beginnt mit den fehlenden Lastangaben eines Ausrüstungsteils. Demzufolge kann die erforderliche Gründung nicht statisch berechnet. Da die Gründung nicht ausgelegt ist, können auch die entsprechenden Stahlbaustrukturen nicht ausgeführt werden. Da weitere Ausrüstungsteile mit dem Stahlbau verankert sind, können auch diese nicht montiert werden. Ohne Ausrüstung ist eine sachgerechte Rohrleitungs-montage nicht machbar. Ohne Rohrleitungen können auch keine Instrumente installiert werden, usw.

Im schlimmsten Fall kann das Fehlen einer einzigen Lastangabe den Endtermin gefährden und somit die Gefahr von Vertragsstrafen nachziehen. Erfahrene Anlagenbauer arbeiten hier üblicherweise mit Annahmen um solche Behinderungsketten auszuschließen.

Allerdings gibt es eine weitaus größere Anzahl von kleineren Behinderungen im Tagesgeschäft.

Hier sollte die erforderliche Sensibilität und Disziplin unter allen Projektbeteiligten geschaffen werden, die die Einhaltung sämtlicher Zwischentermine gewährleistet.

### 12.5.2 Fehler

Ein Fehler ist zunächst eine Abweichung von einem erwünschten, idealen oder standardmäßigen Zustand oder Verfahren innerhalb eines Systems.

In der DIN EN ISO 9000 wird ein Fehler schlicht als die Nichterfüllung einer festgelegten Anforderung definiert, während Langmack etwas ausführlicher an das Thema herangeht.

Fehler treten in jeder Organisation, jedem Betrieb und jeder Abteilung auf. Der fehlerfreie Zustand ist wohl das Ziel jedes Unternehmens, bleibt aber letztlich Utopie, hier können allenfalls Etappensiege errungen werden, ein Restrisiko bleibt immer. Auf diesem Weg haben einige Branchen, bei denen das Nichtauftreten von Fehlern eine besondere Rolle spielt, bereits große Fortschritte erzielt, als Beispiele seien hier die Luftfahrt oder die Kerntechnik genannt. Bei der Auseinandersetzung mit Fehlern geht es eigentlich immer um deren Beseitigung und zukünftige Vermeidung. Dieses ist gängige Praxis und Aufgabe der Vorgesetzten für ihren Verantwortungsbereich.

Das Problem, um das es im Folgenden gehen soll, hat seinen Ursprung darin, dass zwar über Fehler gesprochen und auch Maßnahmen vereinbart werden, letztlich aber die eigentlichen Schwierigkeiten bestehen bleiben. Es entsteht in den Betrieben ein Eindruck, der oft mit folgenden Worten zusammengefasst wird: „Wir beschäftigen uns ständig mit unseren Fehlern und stellen sie auch ab, für mehr ist keine Zeit“. Dabei wird übersehen, dass eine systematische Erfassung aller Fehler und Probleme oft zu neuen Erkenntnissen führt, die bisher so nicht gesehen wurden. Hier spielt auch die „Betriebsblindheit“ mit herein, die mit den Methoden des Fehlermanagements zum Teil überwunden werden kann. Im Folgenden sind einige Faktoren aufgezählt, die in der Praxis einer effektiven Fehlerbehandlung oft entgegenstehen: Fehler werden nicht als solche erkannt. Fehler werden oft hingenommen als unvermeidbare Ereignisse, die im Rahmen des „Tagesgeschäftes“ bearbeitet werden.

Fehler werden nicht registriert. Wenn Fehler nicht aufgezeichnet werden, geraten sie schnell wieder in Vergessenheit, zudem kann das öftere Auftreten nur aus dem Gedächtnis heraus beurteilt werden und sich so einer späteren Auswertung entziehen.

Fehler werden tabuisiert. Manche Fehler können auf Probleme zurückgeführt werden, die im Allgemeinen bekannt sind, jedoch aus den verschiedensten Gründen nicht offen angesprochen werden.

In der folgenden Übersicht sind einige Fehlertypen aufgeführt, die nicht vernachlässigt werden dürfen und oft noch nicht ausreichend erfasst werden:

- Fehler, die zu ihrer Beseitigung zusätzliche Arbeit erfordern, z. B. Baustellenmodifikationen
- Fehler, die die Produktsicherheit gefährden, z. B. Verstoß gegen Schallschutz oder Emissionsgesetze
- Fehler, die eine allgemeine Gefährdung bedeuten, z. B. nachlässiger Umgang mit gefährlichen Chemikalien

- Fehler, die auf Schwächen der Organisation hinweisen, z. B. fehlende Arbeitsmaterialien oder Informationen
- Fehler, die zu Beschädigungen führen, z. B. Falsche Handhabung von Maschinen
- Fehler, die zwar geringfügig erscheinen, in ihrem wiederholten Auftreten aber lästig sind. z. B. falsche Ablage von Dokumenten [35]

Wie durch Langmack beschrieben ist die Abschaffung von Fehler zwar das oberste Ziel, jedoch in der Praxis nur selten erreichbar. Die Komplexität des Großanlagenbaus bietet Fehlern einen guten Nährboden. Hier sollte das Bewusstsein dahingehend geschärft sein, mit einer bestimmten Anzahl von Fehler zu leben.

Ziel ist es natürlich die Anzahl von Fehlern zu minimieren. Dieses Ziel begleitet uns ein Leben lang. Sei es in der Schule, beim Sport und natürlich im Berufsleben. Während in der Schule schon mal „der Mut zur Lücke“ zum Erfolg führte, endet diese Einstellung im Großanlagenbau in einem Fiasko. In der Schule stand das Lernen im Vordergrund, das Berufsleben ist eher sportlich zu sehen. Fehler die gemacht werden, sind zu analysieren um zukünftig vermieden zu werden. Abläufe sind wo immer möglich zu standardisieren. Deswegen spricht man im Sport auch von Training.

- Fehler sollen nicht akzeptiert werden, aber das Bewusstsein über das Vorhandensein von Fehlern und das offenen Umgehen mit diesen Fehlern führen letztendlich zu Erfolg.

Dazu sollte ein Fehlermanagementsystem implementiert werden.

### 12.5.3 Schaden

Schaden: durch einen schädigenden von außen einwirkenden Umstand entstehende materielle (seltener ideelle) Nachteile.

Schäden passieren auf Baustelle bzw. auf den Transportwegen dorthin. Sämtliche Schäden sind eindeutig zu dokumentieren. Meistens lassen sich bei Schäden die Verursacher ermitteln. Zwecks Weiterbelastung von Kosten oder im ungünstigsten Falle einer Neubeschaffung ist ein Schadensmanagement durchzuführen. In den meistens Fällen hat der Verursacher das Recht auf Nachbesserung. Diese kann in der Behebung des Schadens bestehen oder in der bereits erwähnten Neubeschaffung. Nicht immer sind die Interesse des Schadensverursacher und des Geschädigten gleich. So beschäftigen die entstandenen Schäden die Projektbeteiligten weit über das Projektende hinaus.

### 12.5.4 Mängel

Ein Mangel entsteht, wenn das Produkt nicht die zugesicherten Eigenschaften aufweist.

Komplexe Bauteile oder Maschinen werden in der Regel vor Versand zur Baustelle im Fertigungswerk bezüglich ihrer Konformität mit den Spezifikationen und Zeichnungen

hin überprüft. Ziel ist es frühzeitig Mängel aufzudecken und diese bereits im dem Fertigungswerk zu beheben. Unnötige Mängelbeseitigung auf der Baustelle verursachen in der Regel nur höhere Kosten und terminliche Probleme.

Sollte allerdings die durch die Beseitigung von Mängeln verspätete Lieferung eine Behinderung in der Montagesequenz bedeuten, so sind die weiteren Schritte zu analysieren und zu bewerten. In dem Falle ist zu prüfen inwieweit eine Behebung des Schadens auf der Baustelle erfolgen kann, um die Einhaltung der Montagetermine bzw. Montagesequenzen zu gewährleisten.

Mängel die auf der Baustelle entstehen werden im Rahmen der Mechanischen Fertigstellung behandelt.

Entdeckte Mängel werden in einer Mängelliste (= Punch List) aufgeführt und entsprechend ihrer Auswirkung kategorisiert.

---

## 12.6 Kosten der Abweichung

Wo immer Abweichungen auch auftreten und herkommen, eines haben alle gemeinsam:

- Sie kosten Geld.

Zur Überwachung und Feststellung der Kosten, die im Rahmen der Bau und Montage anfallen, ist mindestens einmal pro Monate der Kostenplan zu aktualisieren.

Der Kostenplan zeigt den monetären Wert der geleisteten Arbeit auf der Baustelle während des Berichtszeitraumes auf. Des Weiteren enthält er sämtliche Nebenkosten bzw. Forderungen aus Änderungsmitteilungen, Baubehinderungen usw. seitens der Nachunternehmer.

Einige Abweichungen erfordern die Einbindung vom Stammhaus, Lieferanten usw. Andere Abweichungen werden durch den Nachunternehmer behoben. Dafür, wenn es nicht die Verschuldung des Nachunternehmers ist, erhält der Nachunternehmer eine Kompensation.

Hierzu gibt es folgende Möglichkeiten, wie,

- Zusatzleistungen,
- Änderungsarbeiten,
- Stundenlohnarbeiten.

### 12.6.1 Zusatzleistungen

Zusatzleistungen sind die Leistungen, die neben den bereits vertraglich vereinbarten Leistungen zu erbringen sind.

Zu den Zusatzleistungen gehören Änderungsarbeiten oder auch Stundenlohnarbeiten für Tätigkeiten die nach Aufwand abgerechnet werden.

### 12.6.2 Änderungsarbeiten

Änderungsarbeiten entstehen, wenn das Design während oder nach der Ausführung geändert wird. Ursächlich hierfür sind Planungsfehler oder Auslegungsfehler. Des Weiteren können Änderungsarbeiten durch Erweiterung des Leistungsumfanges, oder durch Schäden von Dritten wie Transportschäden, mangelhafte Lieferung usw. entstehen.

Die Änderungsarbeiten sind mittels Änderungsmitteilung detailliert zu dokumentieren und zu archivieren. Aus der Dokumentation müssen eindeutig die Ursache und der Verursacher hervorgehen. Beim Fremdverschulden sind die Kosten an den Verursacher zwecks Schadensregulierung weiter zu belasteten.

### 12.6.3 Stundenlohnarbeiten

Stundenlohnarbeiten sind Arbeiten die nach Aufwand abgerechnet werden. Stundenlohnarbeiten werden in der Regel für solche Arbeiten verwendet, die nicht in der organisatorischen Verantwortung des Auszuführenden liegen. Dazu gehören Hilfestellungen durch die Nachunternehmer zu Unterstützung der Kalten und Heißen Inbetriebnahme.

Des Weiteren wird die Bezahlung nach Aufwand angewendet, wenn die Leistungsbeschreibung der Tätigkeiten, sowie der erforderliche Ausführungszeitraum nicht eindeutig abgeschätzt werden kann. Hier liegt der Vorteil darin, unnötige Risikozuschläge durch den Anbietenden, zu vermeiden.

---

## 12.7 Kosten

Für die Kompensation von Abweichungskosten in Richtung Verursacher oder Ausbesserer gibt es unterschiedliche vertragliche Handwerkszeuge.

### 12.7.1 Variation Order

Eine Variation Order in Bezug auf einen Nachunternehmervertrag ist eine Änderung der Qualität oder Quantität der vertraglichen Leistungen oder Teile davon.

Eine Variation Order kann von dem Auftraggeber als auch von dem Auftragnehmer initiiert werden.

Im Falle einer Variation Order ist zuerst die Abweichung zu beschreiben und der Gegenpartei zu melden. Bei Annahmen der Abweichung erfolgt die eigentliche Variation Order und wird als Vertragsänderung aufgenommen.



### **12.7.2 Extra Work Order**

Extra Work Orders werden während der Baustellenabwicklung zur Vergütung von kleineren Abweichungen verwendet. Meistens erfolgt die Vergütung nach Aufwand zu vereinbarten Sätzen. Inhaltlich handelt es sich um Baustellenmodifikationen oder geringfügige Zusatzleistungen.

Die Extra Work Order wird vom Auftraggeber bei dem Nachunternehmer platziert.

### **12.7.3 Backcharges**

Sollten während der Baustellenabwicklung Schäden durch die Nachunternehmer verursacht werden, die Kosten auf der Seite des Auftraggebers verursachen, so werden diese Kosten an die Verursacher zurückbelastet. Man spricht von sogenannten Backcharges.

Eine Backcharge ist also ein Ersatzanspruch vom Auftraggeber an den Auftragnehmer bzw. Lieferanten.

---

## **12.8 Zusammenfassung**

Zusammenfassend lässt sich folgendes hervorheben. Abweichungen sind zu minimieren, jedoch im Anlagenbau nicht vollständig zu eliminieren. Von daher sollte eine gewisse Akzeptanz vorhanden sein, um gezielt die Abweichungen zu beheben. Abweichungen kosten Geld, je eher sie erkannt werden weniger, je später umso mehr Geld.

Ist jedoch erstmal eine Abweichung erfolgt ergibt sie sich üblicherweise aus:

- Behinderung
- Fehler
- Schäden
- Mängel
- Zusatzleistungen

Diese Abweichungen sind entsprechend ihrer Auswirkungen in die drei Kategorien:

- Selbstheilung
- Noninvasiv
- Invasiv

einzuordnen und zu bewerten und zielorientiert durch Maßnahmen zu beseitigen.

Eine der häufigsten Fragen, die mitunter auch zu umfangreichen Unstimmigkeiten zweier Parteien führt, ist die Frage:

► **Bis wann habe ich meinen Vertrag zu erfüllen?**

Im internationalen Anlagenbau kursieren unterschiedliche Begriffe die gerne für den Termin der Vertragserfüllung verwendet werden.

- Mechanical Completion
- Ready for Commissioning
- Ready for Start Up
- Initial Acceptance
- Provisional Acceptance
- usw.

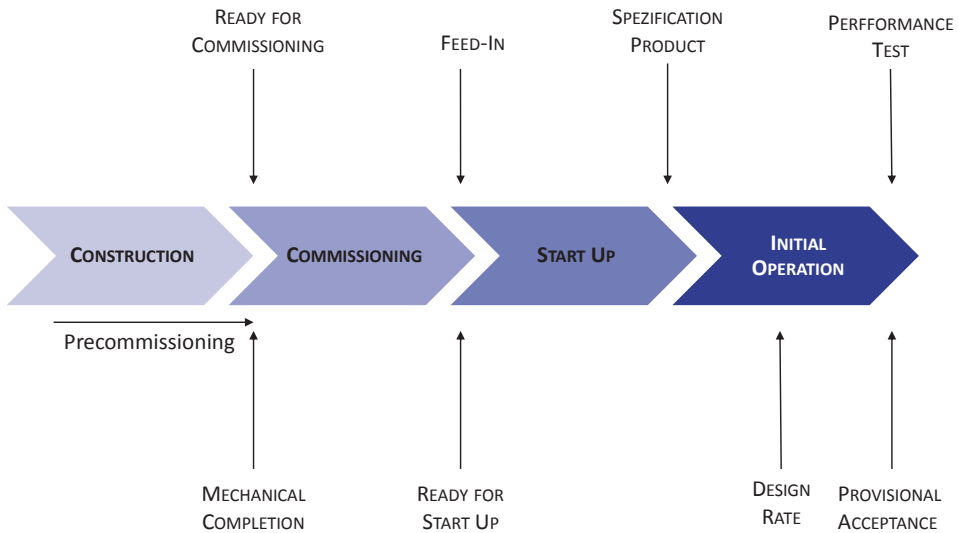
So interessant wie sich die Begriffe auch anhören, es ist ein wesentliches Risiko mit der Verwendung dieser Begriffe verbunden.

► **Sie sind pönalisiert!**

Die Pönale belaufen sich auf 5–10% des Auftragswertes und sind somit mitentscheidend über den finanziellen Erfolg eines Projektes.

Deswegen gilt hier ein besonderer Grundsatz:

► **Pönalisierte Ereignisse müssen klar definiert und messbar sein.** Aus Sicht des Anlagenbauers empfehlen sich grundsätzlich die Ereignisse, die den Beginn eines Ereignisses beschreiben, und nicht die Ereignisse, die ein Ende beschreiben. Abbildung 13.1 stellt die Vielzahl der Begrifflichkeiten auf der Zeitachse von der Montage bis zum Leistungs-



**Abb. 13.1** Anfahrzeitachse einer Produktionsanlage

test dar. Auf dieser Zeitachse sind die Ereignisse „Mechanische Fertigstellung“ und die „Bereitschaft zur Inbetriebnahme“ zeitgleich dargestellt. Während die Mechanische Fertigstellung sehr komplex ist, was die Nachweisbarkeit beinhaltet, dass **alle Leistungen** erbracht sind, benötigt der Nachweis für die Bereitschaft der Inbetriebnahme **nur eine Aktivität**, die der Inbetriebnahme zuzuordnen ist.

Die Begrifflichkeiten bezeichnen Vorgänge und Ereignisse.

Zu den Vorgängen gehören

- Bau und Montage – Construction
- Kalte Inbetriebnahme – Pre-Commissioning
- Heiße Inbetriebnahmen – Commissioning
- Anfahren der Anlage – Start Up
- Erstbetrieb – Initial Operation

Die Ereignisse sind:

- Mechanische Fertigstellung – Mechanical Completion
- Bereitschaft zur Inbetriebnahme – Ready for Commissioning
- Anfahrbereitschaft – Ready for Start Up
- Einspeisung – Feed In
- Produktspezifikation – Specification Product
- Erreichen der Planwerte — Design Rate
- Leistungstest – Performance Test
- Vorläufige Akzeptanz – Provisional Acceptance
- Wesentliche Fertigstellung – Substantial Completion

## 13.1 Mechanische Fertigstellung

Mechanische Fertigstellung bezeichnet den Zustand einer Anlage bei dem sämtliche Hauptmontagearbeiten vollständig, regelkonform und nachweisbar abgeschlossen worden sind. Restarbeiten, Nebenarbeiten und Mängelbeseitigungen, die nicht die sichere Inbetriebnahme betreffen, sind in einer Mängel und Restarbeitsliste zu führen.

Obwohl die Mechanische Fertigstellung als Ereignis definiert wird, erstreckt sich die Fertigstellung in der Regel über einen längeren Zeitraum.

Die mechanische Fertigstellung ist erreicht, wenn die Bau- und Montagearbeiten der Anlage oder Anlagenteile in Übereinstimmung mit den relevanten Zeichnungen und Spezifikationen durchgeführt wurden. Sämtliche erforderlichen Tests und Überprüfungen wurden ausgeführt und dokumentiert.

Standardtest und Überprüfungen sind primär:

- das Ausrichten der Maschinen
- das Kalibrierung von Sicherheitseinrichtungen
- die Druckproben
- die Instrumenten-Kalibrierung
- das Überprüfung der Regelkreise (loop check)

Alle erforderlichen Arbeiten und Prüfung werden in einem sogenannten MC Handbuch beschrieben und definiert. Bestandteile eines MC Handbuches sind:

- Formblätter
- Prüflisten
- Prüfprotokolle

Des Weiteren regelt das MC Handbuch die Vorgehensweise der einzelnen Teilabnahmen durch oder mit dem Auftraggeber, wie z. B.:

- physischen Überprüfungen
- Tests
- Simulationen
- Spülen und chemische Reinigung
- Trocknen
- Umgang mit offenen Punkten
- Mängel
- Restarbeiten
- Art und Umfang der Dokumentation

Die Feststellung der mechanischen Fertigstellung erfolgt systemweise. Dazu wird das Projekt in Systeme unterteilt. Die Systeme werden wiederum in Betriebssysteme („Operational System“) und Nicht-Betriebssysteme („Non-operational System“) klassifiziert.

Betriebssysteme sind Systeme, die eine funktionierende Einheit bilden, und innerhalb von Prozessanlagen oder Nebenanlagen auftauchen. Bei den Nebenanlagen wären das z. B. die Systeme Instrumentenluft, Kühlwasser, Speisewasser usw. Betriebssysteme benötigen eine Inbetriebnahme.

Nicht-Betriebssysteme können Flächen mit Säureschutz sein, oder diverse Kabeltrasse. Sie haben eins gemeinsam, sie benötigen keine Inbetriebnahme.

Die chronologische Reihenfolge zur Fertigstellung der Anlage wird durch die Inbetriebnahme-Sequenzen definiert.

Nachdem ein System fertiggestellt wurde, wird es auf die Konformität hin überprüft. Eine Begehung vor Ort stellt sicher, dass die Anforderungen aus Spezifikationen und Zeichnungen eingehalten wurden, sowie die Funktion des Systems gegeben ist. Standardisierte Prüflisten erleichtern die Kontrolle. Abweichungen, die während der Kontrolle festgestellt werden, werden in einer Mängel und Restarbeitsliste (engl. Punch list) aufgeführt. International spricht man vom sogenannten „punchen“.

Die Mängel und Restarbeiten, die während der Überprüfung aufgefallen sind, werden entsprechend ihrer Bedeutung kategorisiert. Die gängigsten Kategorien sind die Kategorie A, Kategorie B und mitunter die Kategorie C.

**Kategorie A** beinhaltet die Restarbeiten und Mängel, die eine weitere Verwendung des Systems aus Sicht der Inbetriebnahme verhindern. Es sind hauptsächlich Punkte, die zum einen das Funktionieren der Einheit nicht gewährleisten und/oder einen Sicherheitsmangel darstellen. Ein System darf erst dann in Betrieb genommen werden, wenn keine Punchpunkte der Kategorie A mehr offen sind.

**Kategorie B** beinhaltet die Restarbeiten und Mängel, die keinen signifikanten Einfluss auf die Funktionalität des Systems haben. Klassische Punkte sind Ausbesserungen am Anstrich. Die Inbetriebnahme kann, trotz dem Vorhandensein von B-Punkten, begonnen werden.

Nachdem System für System fertiggestellt und abgenommen wurde, wird mit der Fertigstellung des letzten Systems der sogenannte „Final MC“ erreicht.

Sind die Vorbereitungen zur Inbetriebnahme, oder auch als „Kalte Inbetriebnahme“ bezeichnet, per Definition Bestandteil der Mechanischen Fertigstellung, bedeutet dieses Ereignis gleichzeitig die Inbetriebnahme-Bereitschaft (Ready for Commissioning, RfC).

---

## 13.2 Vorbereitungen zur Inbetriebnahme

Die Vorbereitung zur Inbetriebnahme beinhaltet die Herstellung der Funktionalität einzelner Komponente und Systeme. Anlagenteile werden noch nicht als Ganzes gesehen.

Ein wesentlicher Bestandteil zur Herstellung der Funktionalität ist die Reinigung der Rohrleitungssysteme entsprechend ihrer prozessspezifischen Vorgabe. Hierbei streckt sich das Spektrum von einfachen Spülen, über chemische Reinigung bis hin zum Ausblasen mit Dampf.

Des Weiteren werden Maschinen-Testläufe, Drehrichtungskontrollen durchgeführt. Ölsplungen an den Schmierölsystemen zählen ebenso zu den Vorbereitungen der Inbetriebnahme.

Kolonnen werden z. B. mit Katalysatoren gefüllt, bei Prozessöfen wird die Ausmauerung getrocknet.

Ergänzend zu den bereits getätigten FAT's (Factory Acceptance Test) werden einige Funktionsprüfung der Mess- und Regeltechnik auf der Baustelle erneut durchgeführt. Hier werden schwerpunktmäßig umfangreiche Tests an Sicherheitseinrichtungen oder an sehr komplexen Regelkreisläufen, mittels der sogenannte „Loop Checks 3“ oder „Class A loops“ durchgeführt, um die logischen Funktionen zu überprüfen.

### 13.2.1 Dampfblasen

Die Reinigung der Rohrleitungssysteme durch Dampfblasen wird in erster Linie für Dampfsysteme angewendet, wie z. B. Dampferzeuger, Dampfturbinen usw.

Ziel ist es, sämtliche fremden Substanzen oder Verschmutzungen in dem Rohrleitungssystem zu beseitigen.

Aufgrund der Problematik der Kondensierung, oder Abführen des Kondenswassers, ist diese Reinigungsmethode mit Vorsicht zu betrachten. Kondensat Rückstände in den Rohrleitungen können zu einem Wasserschlag führen, der beträchtlichen Schaden an den Rohrleitungen zu Folge haben kann.

Das Dampfblasen bedient sich einfacher physikalischer Gesetze. Durch das Einspeisen von Dampf wird die Rohrleitung stark erhitzt. Eine Unterbrechung der Dampfzufuhr verursacht eine Abkühlung der Rohrleitung. Dampfzufuhr bedeutet Ausdehnung der Rohrleitung, Dampfunterbrechung bedeutet Schrumpfen der Rohrleitung. Durch das Dehnen und Schrumpfen lösen sich unerwünschte Partikel im Inneren der Rohrleitungen wie z. B. Zunder, der während der Herstellung der Rohre entsteht.

Vor Beginn des Dampfblasens sind sensible Bauteile wie Steuerungsventile, Messgeräte, Siebe usw. aus den Rohrleitungen zu entfernen und durch sogenannte Dummies zu ersetzen.

Für den Ausblasevorgang sind temporäre Schalldämpfer zu benützen, um die Umwelt vor erhöhter Lärmbelästigung zu schützen.

Nach dem Dampfblasen sind die ausgebauten Bauteile wieder einzubauen.

Inwieweit ein Dampfblasen erfolgreich war, stellt man fest, indem Aluminiumplatten an den Entlüftungsventilen angebracht werden. Mögliche Verunreinigungen prallen an die Aluminiumplatte und hinterlassen dort ihre Spuren. Die Häufigkeit der Einschläge in die Aluminiumplatte lässt einen Rückschluss auf die Reinheit des Rohrleitungssystems zu.

Das Dampfblasen ist erfolgreich durchgeführt, wenn die Aluminiumplatte maximal zwei Einschläge pro cm<sup>2</sup> aufweist, wobei der maximale Durchmesser des Einschlages nicht größer als 0,3 mm sein darf.

Vor dem Dampfblasen sind diverse Überprüfungen zu tätigen um mögliche Schäden an den Rohrleitungen zu vermeiden. Dazu gehören:

- Überprüfung der Rohrhalterungen auf Vollständigkeit
- Sicherstellen, dass alle Rohrleitungen überprüft wurden und mit Wasser abgedrückt wurden.
- Ausbau sämtlicher Inline-Geräte und Ersetzung durch Dummies
- Sicherstellen, dass alle Leitungen über entsprechende Entwässerungen verfügen
- Anbringen von temporären Druckmessern
- Einrichten eines Sicherheitssystems
- Sicherstellen der ausreichenden Schutzmaßnahmen während des Dampfblasens getroffen werden.

### 13.2.2 Chemische Reinigung

Zweck des Beizens ist das Befreien der Innenoberflächen von Rohrleitungen von Zunder, Rost, Anlauffarben und Ablagerungen.

Beim Beizen lassen sich drei grundlegende Zielsetzungen unterscheiden:

- Entfernen von Oxiden auf austenitischen Stählen
- Abtragbeizen von austenitischen Stählen
- Entzundern von un- und niedriglegierten Stählen

Die Eintrittsleitungen in empfindliche Maschinen, wie Kompressoren oder Turbinen, sowie spezielle Rohrleitungen aus verfahrenstechnischen Gründen, müssen gegen Ablösungen von Rost, Zunder, Schweißperlen etc. geschützt werden. Durch das Beizen sollen die vorgenannten Verunreinigungen vorzeitig gelöst und ausgespült werden.

Je nach Verunreinigungsgrad kann das Dampfblasen sehr zeitaufwendig werden. Um Zeit zu sparen können die Rohrleitungssysteme durch das Umlaufbeizen vorab gereinigt werden. Das bedeutet aber nicht, dass das Umlaufbeizen das Dampfblasen ersetzen kann.

Vor dem Beizen sind Schlackenreste, festhaftende Schweiß- und Schleifspritzer, Schmutz und andere Verunreinigungen sorgfältig durch Bürsten oder Schleifen zu entfernen.

Die Rohrleitungen sind vor dem Beizen von den Ausrüstungen zu lösen und mit Blindflanschen zu verschließen. Alle Armaturen, Mess- und Regelkomponenten müssen aus dem Beizsystem entfernt und durch Passstücke ersetzt werden. Einschweißarmaturen im Beizkreislauf sind vollständig zu öffnen. Packungen, die nicht säurebeständig sind, sind nach dem Beizen auszutauschen. Standanzeiger sind zu entfernen und ihre Anschlüsse abzustecken.

Ausrüstungen wie Behälter, Wärmetauscher, Pumpen oder Maschinen dürfen nicht in ein Beizsystem eingebunden werden.

Parallel verlaufende Rohrleitungen sind durch einen Umschluss vorübergehend in Reihe zu schalten, um sicherzustellen, dass alle Abschnitte des Rohrleitungssystems im Zwangsumlauf liegen, und der Beizlösung für denselben Zeitraum ausgesetzt sind.

Abzweigende Leitungen, die nicht in das zu beizende Rohrleitungssystem eingebunden werden können, sind zu demontieren und getrennt zu beizen. Dasselbe gilt für Leitungen größerer Nennweiten, falls es aus beiztechnischen Gründen erforderlich ist.

Alle Verbindungen zu Rohrleitungsabschnitten, die nicht gebeizt werden, sind mittels Steckscheiben zu verschließen.

Zur Überprüfung des Reinheitsgrades sind Probestücke in das Beizsystem einzubringen. Vor dem Beizen ist das Beizsystem einer Dichtheitsprüfung zu unterziehen. Dies kann in Verbindung mit dem Vorspülen erfolgen.

Das Beizen der Innenoberflächen von Rohrleitungen auf der Baustelle erfolgt im Allgemeinen nach dem Umlaufverfahren. Es setzt sich aus verschiedenen Ablaufschritten zusammen:

- Vorspülen
- ggf. Vorreinigen
- ggf. Zwischenspülen
- das eigentliche Beizen
- Nachspülen
- Passivieren

Das Beizen sollte, wenn möglich, so durchgeführt werden, dass das Rohrleitungssystem unmittelbar danach in Betrieb genommen werden kann.

Für alle Spül-, Reinigungs- und Beizschritte ist sauberes Wasser in Trinkwasserqualität mit einem Chloridgehalt < 50 ppm einzusetzen.

### **Vorspülen**

Zweck des Vorspülens ist das Entfernen aller losen Rückstände im Beizsystem. Während des Vorspülens ist das Beizsystem auf Dichtheit zu überprüfen, um ein späteres Austreten von Chemikalien sicher auszuschließen. Das Vorspülen ist beendet, wenn der Reinheitsgrad des austretenden Wassers dem des eintretenden Wassers entspricht.

### **Vorreinigen**

Starke Fettschichten, Folienreste, Sand und andere starke Verunreinigungen, die sich im Lauf der Verarbeitung der Rohrleitungsteile an ihrer Oberfläche gebildet haben, können ein gleichmäßiges Beizen beeinträchtigen. Zweck des Vorreinigens ist das Entfernen aller Verunreinigungen, die in der Beizsaure unlöslich sind.

Auf eine Vorreinigung kann bei leichter Verschmutzung verzichtet werden, wenn die Beizlösungen Anteile reinigender Tenside enthalten, die vorhandenen Verschmutzungen lösen.



**Zwischenspülen nach dem Vorreinigen**

Zwischenspülen nach dem Vorreinigen dient zum Entfernen von Resten der Vorreinigungslösung und Feststoffen, die sich während des Vorreinigens von der Oberfläche gelöst haben. Das Zwischenspülen ist beendet, wenn das austretende Wasser den gleichen Reinheitsgrad wie das eintretende Wasser hat.

**Beizen**

Beizen ist eine chemische/elektro-chemische Reaktion zwischen der Beizlösung und dem zu behandelnden Werkstoff. Da das Beizen zu einem Werkstoffabtrag führt, sind der jeweiligen Beizlösung ggf. Inhibitoren zuzusetzen, die den Werkstoff vor einem zu großen Beizeffekt schützen.

Die verwendete Beizlösung muss zur Beizaufgabe und zum jeweiligen zu beizenden Werkstoff passen. Die Verarbeitungshinweise des Herstellers sind grundsätzlich zu beachten.

Die erforderliche Beizzeit ist abhängig vom Grad der Verunreinigung, Werkstoffqualität, Art und Standzeit der Beizlösung und der Temperatur. Bei einer Temperatur von 20 °C beträgt sie ca. 10–30 min. Bei hochfesten und niedriglegierten Stählen ist der schädliche Einfluss einer Wasserstoff-Versprödung durch kurze Beizzeiten möglichst gering zu halten.

**Nachspülen**

Nachspülen nach dem Beizen dient zum Entfernen von Resten der Beizlösung und von Feststoffen, die sich während des Beizens von der Oberfläche gelöst haben.

Eine Leitwertmessung der Spülflüssigkeit gibt Auskunft über den Restgehalt der noch im Spülwasser vorhandenen Säure. Das Zwischenspülen ist beendet, wenn das austretende Wasser den gleichen Reinheitsgrad (Gehalt an Feststoffen) wie das eintretende Wasser hat.

**13.2.3 Spülen und Trocken von Ausrüstungen und Rohrleitungen**

Sämtliche Ausrüstungen und insbesondere Rohrleitungen durch die flüssige oder gasförmige Medien strömen, sollten frei von sämtlichen Verunreinigungen sein. Dies erfolgt wie bereits erwähnt, bei starker Verunreinigung oder hohen verfahrenstechnischen Ansprüchen an die Sauberkeit durch Dampfblasen oder Umlaufbeizen, oder durch andere geeignete Verfahren wie Spülen und Trocknung.

**13.2.3.1 Trocknen mit Luft**

Je nach Anforderung der Prozesstechnik sind die Rohrleitungen nach der Wasserdruckprobe zu trocknen. Die trockene Luft nimmt die Restfeuchte nach der Entleerung der Rohrleitung auf.

Das Spülen der Rohrleitung mittels trockener Luft wird bis Erreichen des geforderten Taupunkts kontinuierlich durchgeführt. Der Nachteil dieser Methode ist zum einen der

zeitintensive Vorgang, zum anderen die Ungenauigkeit bei der Feststellung der Restfeuchte.

Bei größeren Rohrleitungssystemen entsteht im mittleren Bereich ein höherer Druck als an den Ein- bzw. Auslassstellen. Je höher der Druck ist, desto weniger Feuchtigkeit kann er aufnehmen. Somit wird am Auslass, wo der Druck auf Umgebungsdruck fällt, mehr Feuchtigkeit aufgenommen, was wiederum zu verfälschten Messergebnissen führen kann.

Von daher spiegelt die Restfeuchte die am Rohrausgang gemessen wird nicht die tatsächliche Feuchte im Inneren des Rohrleitungssystems wieder.

Bei der Trocknung mit Luft kann ein Taupunkt von bis zu  $-20^{\circ}\text{C}$  erreicht werden.

### 13.2.3.2 Trocknen mit Stickstoff

Eine weitere Methode zum Trocknen von Rohrleitungen (oder auch Ausrüstungen, Tanke usw.) ist das Trocknen mit Stickstoff. Je nach Einspeisung kann ein Taupunkt von  $-40$  bis  $-70^{\circ}\text{C}$  erreicht werden.

---

## 13.3 Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme beginnt an dem Punkt, bei dem Maßnahmen ergriffen werden, um die Anlage auf Betriebsdruck und Betriebstemperatur hochzufahren. Sie endet, wenn die Anlage das Produkt entsprechend der Spezifikation und mit der zugesicherten Kapazität produziert.

Für jede Inbetriebnahme ist ein entsprechender Inbetriebnahme Plan zu erstellen, in dem sämtliche Prüfungen und Vorgehensweisen definiert sind.

Für Projekte, die über mehrere Prozessanlagen und Nebenanlagen verfügen, sind die Sequenzen der Inbetriebnahme der einzelnen Teilanlage im Detail zu definieren.

Klassische Sequenzen der Fertigstellung von Nebenanlagen bei einem Greenfield-Projekt bestehen in der Regel aus:

- Verfügbarkeit von Strom für die Vorinbetriebnahme
- Instrumentenluft
- Wasseraufbereitung
- Speisewasser
- Kühlwassersystem
- Brennstoff System
- Dampfsystem zum Dampfblasen
- Usw.

Weitere Abhängigkeiten ergeben sich aus der Produktionskette.

Die Verantwortungen und Zuständigkeiten zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber sollten bereits im Vertrag eindeutig definiert sein. Hierbei sind Themen wie

- Bereitstellung von Arbeitskräften,
- Lieferanten-Spezialisten,
- Spezialisten von Lizenzgeber,
- Trainingsanforderungen und –bedingungen
- Verwendung von Betriebsstoffen und Vorprodukten zu regeln.

Ergänzend zu bereits durchgeführten Prüfungen hat die Inbetriebnahme die Verantwortung dafür, dass die Anlage in Übereinstimmung mit den entsprechenden Zeichnungen und Spezifikationen errichtet wurde. Demzufolge ist eine der wesentlichen Prüfung der Inbetriebnahme die P&ID und Isometrie-Überprüfung. Dabei ist jede Rohrleitung individuell vor Ort zu überprüfen.

---

### 13.4 Anfahrbereitschaft

Die Anfahrbereitschaft (Ready for Start Up) ist erreicht, wenn

- Sämtliche Druckprüfungen durchgeführt wurden.
- Das Spülen der Rohrleitungen abgeschlossen ist.
- Alle Instrumente angeschlossen, kalibriert und geprüft sind.
- Der erforderliche Reinheitsgrad der Rohrleitungen und Ausrüstungen nachgewiesen ist.
- Maschinen ausgerichtet und kontrolliert wurden.
- Sämtliche Sicherheitsvorkehrungen voll funktionsfähig sind.
- Ausmauerungen, falls vorhanden, getrocknet sind.
- Katalysatoren vorhanden sind.
- Dichtheitsprüfung erfolgt sind.

---

### 13.5 Feed In

„Feed In“ bedeutet, dass die Anlage den Status erreicht, indem das Vorprodukt für die Herstellung des Endproduktes eingespeist werden kann. Bei Kraftwerken handelt es sich hierbei um die Einspeisung von Gas zum Betrieb des Kessels, bei chemischen Anlagen wie z. B. Herstellung von Polymeren die Einspeisung von Ethylene.

---

### 13.6 Produktspezifikation

Unter diesem Punkt werden die Zusicherungen der Produkteigenschaften verstanden. Es wird durch diverse Analysen festgestellt, ob das Produkt auch den vertraglichen zugesicherten Qualitäten und Spezifikationen entspricht.

Mitunter dienen die Analysen auch für das „Einstellen“ der Anlage und die entsprechende Qualität zu erzeugen. Hierbei kann es sich um einen iterativen Prozess handeln.

---

### 13.7 Performance Test

Während des Performance Test oder dem Leistungstest wird nachgewiesen, dass die Anlage das Produkt in der vertraglich zugesicherten Qualität und Menge produziert. Mitunter bildet das erfolgreiche Bestehen des Leistungstest auch gleichzeitig die Erfüllung der vertraglichen Pflichten des Anlagenbauers ab. Der Leistungstest erstreckt sich in der Regel über 72 h.

---

### 13.8 Übergabe an den Kunden (Hand Over)

Die Übergabe der Anlage an den Kunden (Hand Over oder Take Over) ist das wesentliche Ziel des Anlagenbauers. Es bedeutet, dass der Gefahrenübergang der Anlage auf den Kunden übergeht, der Anlagenbauer seine vertraglichen Verpflichtungen erfüllt hat und die Gewährleistungsperiode beginnt.

---

#### Beispiel

Laut Vertrag erfolgt die Übergabe der Anlage nach der Mechanischen Fertigstellung. Der Anlagenbetreiber führt die Inbetriebnahme eigenständig, mit Unterstützung des Anlagenbauers durch. Die erforderlichen Arbeiten für die Vorinbetriebnahme sind als Teil der Mechanischen Fertigstellung zu verstehen.

Im Rahmen der Übergabe, werden die Anlage sowie die erforderliche Dokumentation, die für das Betreiben der Anlage erforderlich ist, an den Kunden übergeben.

---

### 13.9 Provisional Acceptance

Die vorläufige Abnahme der Leistung erfolgt nach dem die Mechanische Fertigstellung nachweisbar erreicht wurde und sämtliche Anlagenteile in Betrieb genommen wurden. Die Anlage produziert nachweisbar das vertragliche Produkt in entsprechender Qualität und Menge.

### 13.10 Wesentliche Fertigstellung (Substantial Completion)

„Substantial Completion“ ist erreicht, wenn die vertragliche Leistungen (oder ein spezifizierter Teil davon) des Anlagenbauers nachweisbar erbracht wurden. Die Leistungen sind in der Form erbracht, dass die Hauptnutzung der Anlage durch den Auftraggeber gewährleistet ist. In der Regel bedeutet das die stabile Produktion der Anlage.

Sollten mehrere verfahrenstechnische Anlagen Vertragsbestandteil sein, wobei einige Prozessanlagen das Vorprodukt für das Endprodukt produzieren, wird „Substantial Completion“ erst dann erreicht, wenn das Endprodukt entsprechend der vertraglichen Spezifikation produziert wird.

Mögliche Restarbeiten werden auch hier in Punchlisten festgehalten und sind durch den Anlagenbauer zu leisten.

---

### 13.11 Zusammenfassung

► **Irgendwann wird jede Anlage fertig.**

Ein Zitat, das man auf allen Baustellen hundertmal hört. Ohne auf den tieferen Sarkasmus dieser Aussage einzugehen, stellt sich jedoch immer wieder die Frage nach der Definition von „fertig“.

► **Fertig heißt im übertragenden Sinne, die vertraglichen Verpflichtungen sind erfüllt.**

Die Erfüllung vertraglicher Verpflichtungen muss klaren und messbaren Ereignissen zu geordnet werden. Dazu gibt es eine Reihe von gebräuchlichen Begriffen, wie z. B.:

- Mechanical Completion
- Ready for Commissioning
- Ready for Start Up
- Initial Acceptance
- Provisional Acceptance
- usw.

Diese Begriffe haben aber leider keine allgemein gültige Definition.

Es liegt also im Interesse aller Beteiligten klare Definitionen aufzustellen. Dazu ist es primär erforderlich die Leistungen zu kennen, die bis zu dem Eintreffen des festgelegten Ereignisses erbracht **werden können**.

Grundsätzlich ist die Nachweisbarkeit vom Eintreffen eines Ereignisses einfacher, wenn der Beginn spezifiziert ist und nicht das Ende.

---

## Glossar

### A

**Agreement** Siehe Vertrag

**Amendment** Ein Amendment beinhaltet eine Änderung, eine Ergänzung oder eine Löschung einer oder mehrerer Bedingungen des Hauptvertrages. Die beteiligten Parteien müssen die Änderung, Ergänzung oder Löschung einvernehmlich vereinbaren. Diese Vereinbarung bedarf der schriftlichen Form und wird integraler Bestandteil des Hauptvertrages.

### B

**Baustelle** Die Baustelle beinhaltet sämtliche Flächen auf denen Bau- und Montageaktivitäten zur Erfüllung der vertraglichen Leistungen erfolgen, und nicht Vorfertigungsstätte sind.

**Baustelleneinrichtung** Die Baustelleneinrichtung beinhaltet sämtliche temporären Einrichtungen, die zur Erfüllung der vertraglichen Leistungen am Bau- und Montageort erforderlich sind.

**Benchmarking** Eine Methode zur Analyse vergleichbarer Abläufe basierend auf vorhandenen Erfahrungswerten.

**Bill of Quantity (BOQ)** Siehe Leistungsverzeichnis

**Bulk Material** Siehe Massenware

### C

**Cash Flow** Einnahmen und Ausgaben innerhalb eines Projektes. In den meisten Fällen wird der Cash Flow grafisch dargestellt.

**Change Order** Eine Change Order beinhaltet die Leistungen, die im Hauptvertrag weder preislich (als Einheitspreis, Stundensätze usw.), noch dem Umfang und dem Inhalt nach definiert sind.

Eine Change Order ist ein Zusatzauftrag über Leistungen, die von dem Nachunternehmer auf gesondertem Wunsch des Auftraggebers zu erbringen sind. Für die Vergütung der Leistungen ist der Nachunternehmer verpflichtet ein Angebot dem Auftraggeber zu unterbreiten. Nach Annahme des Angebotes durch den Auftraggeber erfolgt die Ver-

gütung der Leistungen zu den Bedingungen des angenommenen Angebotes. Sämtliche Bedingungen des Hauptvertrages bleiben hiervon unberührt.

**Claim** Ein Claim ist eine Forderung zur Anerkennung eines Anspruches (monetärer oder zeitlicher Art) des Nachunternehmers an den Auftraggeber.

**Commissioning** Siehe Inbetriebnahme

**Constructability** Constructability ist der Prozess indem alles Erforderliche zu unternehmen ist, um die Bau- und Montage einfach zu gestalten, die Qualität, Sicherheit und Produktivität zu verbessern, die Bauzeiten zu verkürzen und Nacharbeiten zu vermeiden oder zu verringern.

**Construction Management** Baustellenmanagement, als Teil des Projektmanagement, mit der Zuständigkeit und Verantwortung für die Errichtung der Anlage.

## E

**Effizienz** Die Effizienz ist eine Planungskennzahl basierend auf Erfahrungswerten, mit der Dauern von Vorgängen bei erwartetem Output bestimmt werden kann.

**Ereignis** Ein Ereignis ist der Beginn oder das Ende eines Vorganges. Es hat keine zeitliche Ausdehnung, im Gegensatz zu dem Zustand, den es hervorruft. Für das Projekt und das Projektmanagement ist der Eintrittszeitpunkt des Ereignisses und somit das Erreichen eines Zustands wichtig.

**Extra Work Order (EWO)** Eine Extra Work Order beinhaltet die Leistungen, die im Hauptvertrag preislich (als Einheitspreis, Stundensätze), jedoch nicht nach Umfang und Inhalt definiert sind. Eine Extra Work Order ist ein Zusatzauftrag über Leistungen, die von dem Nachunternehmer, auf gesondertem Wunsch vom Auftraggeber, zu erbringen sind. Bei der Vergütung der Leistungen finden die hierfür im Hauptvertrag vorgesehen Einheitspreise und Stundensätze Anwendung. Sämtliche Bedingungen des Hauptvertrages bleiben hiervon unberührt. Eine Extra Work Order könnte z. B. eine Modifikation an bereits erbrachten Leistungen, wie nachträgliche Änderungen eines Rohrleitungsverlaufes, die nicht von dem Nachunternehmer zu verantworten sind, sein

## F

**Fortschritt** Der Fortschritt ist der Quotient aus geleisteter Arbeit bezogen auf das gesamte Arbeitsvolumen.

Allerdings ist hier zwischen physischem und funktionalem Fortschritt zu unterscheiden.

## G

**Gleichzeitigkeitsfaktor** Der Gleichzeitigkeitsfaktor (GZK Faktor) bestimmt die tatsächliche Einsatzzeit des Verbrauchers.

Entscheidend für den erforderlichen Bedarf ist in der Regel nicht die Anzahl oder die Art der Verbraucher. Vielmehr bestimmt der entsprechende GZK Faktor den tatsächlichen Bedarf.

**I**

**Inbetriebnahme** Inbetriebnahme ist die Phase des Projektes wenn erstmalig das Produkt dem System hinzugefügt oder hergestellt wird. Die Inbetriebnahme beinhaltet in der Regel die Funktionsprüfungen zur Überprüfung ob ein Bauteil oder ein System einwandfrei entsprechend den Spezifikationen unter Betriebsbedingungen funktioniert. Des Weiteren wird die Anlage oder Teile davon arretiert.

**Inbetriebnahme, kalte** Die kalte Inbetriebnahme beginnt nach Abschluss der wesentlichen Montagearbeiten. Die kalte Inbetriebnahme konzentriert sich auf die Fertigstellung von Systemen. Die Hauptaktivitäten beinhalten die Überprüfung der Systeme auf Konformität mit den Spezifikationen, sowie der Reinigung mittels Dampfblasen, Spülen, Trocknen usw.

**K**

**Kalkulation** Die Ermittlung von Minimalkosten bei der Annahme optimaler Bedingungen.

**Key Performance Indicator** Key Performance Indicators sind Hauptleistungskennzahlen.

**Kritischer Pfad** Der kritische Pfad ist die Anordnung von Vorgängen mit der längsten (Gesamt)Dauer. Vorgänge die auf dem kritischen Pfad liegen haben keinen Puffer. Verzögerungen der Vorgänge wirken sich unmittelbar auf den Endtermin aus.

**L**

**Leistungsverzeichnis (LV)** Im Detail beschreibende und mengenmäßige Auflistung von Leistungen die zu erbringenden sind. Dabei kann es sich um die Beistellung von Materialien und/oder die Erbringung von Dienstleistungen handeln. Üblicherweise beinhaltet das LV auch Anweisungen wie die einzelnen Leistungspositionen gemessen werden.

**M**

**Maintenance** Die Wartung einer Anlage. Ist in der Regel nicht Bestandteil des Hauptvertrages.

**Massenware** Massenware wird in Losen geliefert (z. B. Rohre als Stangenmaterial, Kabel auf Kabeltrommeln). In der Regel kann das Material aus einem Standardkatalog geordert werden.

**Mechanical Completion (Mechanische Fertigstellung)** Die Montage der Anlage oder Teile davon haben den Zustand erreicht um mit der Inbetriebnahme zu beginnen. Dabei sind die wesentlichen Arbeiten abgeschlossen. Offene Punkte und Restarbeiten, die nicht die Inbetriebnahme beeinträchtigen, werden in einer Liste (punch list) aufgeführt und abgearbeitet.



**N**

**Nachunternehmer** Ein Nachunternehmer erbringt aufgrund eines Werkvertrages oder eines Werkliefervertrages im Auftrag des Hauptunternehmers Leistungen, die der Hauptunternehmen gegenüber seinem Auftraggeber schuldet.

**O**

**Operation** Der Betrieb einer Anlage.

**P**

**Peak (Spitze, Gipfel)** Peak bedeutet der Spitzenwert bezogen auf den Durchschnittswert  
**Planung** Planung ist die Verknüpfung von Logik und Abwicklungsstrategien für die Arbeit, die geleistet werden muss.

**Pre-Commissioning** Siehe Inbetriebnahme, kalte

**Pre-dressing** Als Pre-dressing bezeichnet man die Aktivitäten an Bauteilen, meistens an Kolonnen, die vor dem Montagehub (Aufstellen) am Boden getätigt werden. Z. B. Isolierungsarbeiten

**Produktivität** Die Produktivität ist eine Steuerungskennzahl, mit der der Output über eine festgelegte Dauer und einem auf der Baustelle gemessenen Aufwand ermittelt wird.

**Prozess** Prozesse sind Verknüpfungen von Aktivitäten zur Erstellung eines Arbeitsergebnisses (Prozessziel). Prozesse können aus mehreren Teilprozessen bestehen.

**Punch list** Offene Punkte und Restarbeiten, werden in einer Liste (punch list) aufgeführt und abgearbeitet.

**S**

**Start Up** Ist der Zeitpunkt innerhalb eines Projektes indem eine funktionierende Einheit den Zustand erreicht hat, unter Betriebsbedingungen betrieben zu werden, mit der Absicht, Produkt herzustellen.

**System** Ein funktionaler Teil der Anlage der in sich geschlossen in Betrieb genommen werden kann.

**T**

**Terminplanung** Die Planung der Termine bedeutet, die richtige Zuordnung der verfügbaren Ressourcen, um die vertraglich zu erbringenden Arbeiten innerhalb der vertraglichen festgesetzten Dauer, in der effizientesten Art und Weise zu realisieren.

**V**

**Variation Order** Eine Variation Order ist eine beidseitige Willenserklärung der Vertragsparteien den Vertrag oder Teile des Vertrages zu verändern. Die Änderung kann sich auf die zu erbringenden Leistungen und/oder auf den Leistungserbringungszeitraum beziehen.

**Vorfertigungsstätte** Die Vorfertigungsstätte beinhaltet sämtliche Einrichtungen und Verbraucher die zur Herstellung von vorgefertigten Bauteilen erforderliche sind.

**Vorgang** Ein Vorgang ist ein Ablauf einer oder mehrerer klar definierter Handlungen und verfügt jeweils über einen Anfang und ein Ende, die zeitlich versetzt sind. Er verbraucht Zeit, d. h. die Dauer des Vorganges ist immer größer Null, und bindet während dieser Zeit Ressourcen. Vorgänge sind messbar und kontrollierbar, und können aus mehreren Aufgaben oder Teilvorgängen bestehen.

## W

**Werksgelände** Das Werksgelände beinhaltet sämtliche Flächen, bebaute und unbebaute, die vom Betreiber betrieben werden. In der Regel ist das Werksgelände durch permanente Zäune gesichert. Der Zugang zum Werksgelände erfolgt durch die dafür vorgesehenen Tore.

---

## Literatur

1. Gabler Wirtschaftslexikon. 2013. Stichwort: Projekt. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/13507/projekt-v7.html>. Zugriffen: 12. Sept. 2013.
2. DIN 69901–5.
3. Chempark. [Cited: 03 28, 2018.] <http://www.chempark.de/de/>.
4. ATV DIN 18300. 2012. *VOB Vergabe und Vertragsordnung für Bauleistungen*. s. 1. Berlin: Beuth.
5. Wikipedia. 2013. Stichwort: Pfahlintegritätsprüfung. <http://wikipedia.org/wiki/Pfahlintegritätsprüfung>. Zugriffen: 14. Sept. 2013.
6. Liebherr. 2014. [http://www.liebherr.com/MT/de-DE/region-DE/products\\_mt.wfw/id-486-0/measure-metric](http://www.liebherr.com/MT/de-DE/region-DE/products_mt.wfw/id-486-0/measure-metric). Zugriffen: 14. Sept. 2014.
7. Kämpfe, H., und A. Kämpfe. 2012. Zeit- und Preisplanung im Bewehrungsbau. *ISB Mitteilung*, 1. 2012.
8. CEMEX. 2013. Betonieren im Winter. 7 2013.
9. ZERTplus Überwachungsgesellschaft. 2013. [http://zertplus.halle-service.de/images/stories/dokumente/zp\\_betonieren\\_im\\_winter.pdf](http://zertplus.halle-service.de/images/stories/dokumente/zp_betonieren_im_winter.pdf). Zugriffen: 27. Dez. 2013.
10. GmbH, Holcim. Betonieren bei kaltem Wetter.
11. CEMEX. 2013. Betonieren im Sommer. 7 2013.
12. Verein Deutscher Zementwerke e. V., Hrsg. 2002. *Zementtaschenbuch 2002*. 50. Düsseldorf: Verlag Bau + Technik. ISBN 3-7640-427-4.
13. Liebherr. 2014. [www.liebherr.com/CCM/de-DE/products\\_ccm.wfw/id-12406-0/tab-8746\\_330](http://www.liebherr.com/CCM/de-DE/products_ccm.wfw/id-12406-0/tab-8746_330). Zugriffen: 15. Feb. 2014.
14. Wikipedia. 2014. Stichwort: Turmdrehkran. <http://de.wikipedia.org/wiki/Turmdrehkran>. Zugriffen: 15. Feb. 2014.
15. Anleitung zum Schweißen. 2014. <http://anleitung-zum-schweissen.de/schweissen-grundlagen/schweissverfahren/>. Zugriffen: 16. Feb. 2014.
16. Schweißzusatzwerkstoffe von ThyssenKrupp VDM. Januar 2007. Druckschrift N 568.
17. DGZfP. 2013. <http://www.dgzfp.de/startseite/wir-über-uns/zfp-einführung>. Zugriffen: 8. Sept. 2013.
18. TÜV Saarland. 2014. <http://tuev-saar.net/de/gesellschaftfelder/zerstoerungsfreie-pruefverfahren>. Zugriffen: 15. Feb. 2014.
19. Karl Deutsch. 2014. [http://www.karl.deutsch.de/KD\\_GENERAL\\_KnowledgeBase\\_MT\\_DE\\_ME.html](http://www.karl.deutsch.de/KD_GENERAL_KnowledgeBase_MT_DE_ME.html). Zugriffen: 16. Feb. 2014.
20. Bilfinger Gerber GmbH. 2013. <http://www.gerber.bilfinger.com/produkteleistungen/schallhauben/>. Zugriffen: 29. Dez. 2013.

21. Baunetzwissen. 2014. [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Beton\\_Ziele-des-Brand-schutzes\\_151154.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Beton_Ziele-des-Brand-schutzes_151154.html). Zugegriffen: 29. Dez. 2014.
22. Wikipedia. 2015. Stichwort: Mess-, Steuer- und Regelungstechnik. [http://de.wikipedia.org/wiki/Mess-,\\_Steuerungs-\\_und\\_Regelungstechnik](http://de.wikipedia.org/wiki/Mess-,_Steuerungs-_und_Regelungstechnik). Zugegriffen: 8. Feb. 2015.
23. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen. 2003. S 145. [www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/](http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/). Zugegriffen: 15. Feb. 2015.
24. Zimmer-Henrich, Werner. 2008. *Projektmanagement*. 5. Aufl. s. 1.: Friedrich Ebert Stiftung. ISBN3-86077-539-1.
25. Zimmermann, Josef. 2009. *Prozessorientierter Nachweis der Kausalität zwischen Ursache und Wirkung bei Bauablaufstörungen*. München: Technische universität München. ISBN 978-3-939956-12-9.
26. Gabler Wirtschaftslexikon. 2014. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/17918/produktionsplanung-und-steuerung-v10.html>. Zugegriffen: 20. Mai 2014.
27. Projektmanagement Definitionen. 2014. Stichwort: Ereignis. <http://projektmanagement-definitionen.de/glossar>. Zugegriffen: 20. Feb. 2014.
28. Alberta Cost Report. 2009. Under Research Contract: UTA05-782.
29. Wright, Edward D. 1994. *Constructability guide*. March.
30. Schach, Otto. 2011. *Baustelleneinrichtung*. s. 1.: Vieweg & Teubner. ISBN 978-3-8348-1399-2.
31. Blockman, Günther, Hans Mahlstedt, und Rainer Schach. 2012. *Wirtschaftliche und sichere Baustelleneinrichtung*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. ISBN 978-3-88261-719-1.
32. Wikipedia. 2014. Stichwort: Kennzahl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Kennzahl>. Zugegriffen: 9. Feb. 2014.
33. Weber, Küting. 2006. *Die Bilanzanalyse: Beurteilung von Abschlüssen nach HGB und IRFS*. Stuttgart: Schäffer-Poschel Verlag für Wirtschaft. 8. Aufl.. ISBN-10: 3791025406.
34. Wikipedia. [http://de.wikipedia.org/wiki/Sicherheits-\\_und\\_Gesundheitsschutzkoordinator](http://de.wikipedia.org/wiki/Sicherheits-_und_Gesundheitsschutzkoordinator). Zugegriffen: 2. Jan. 2015.
35. Langmack, Heinz. *Managementsysteme in der Lebensmittelindustrie*. Hamburg: Behr Verlag.
36. UNIC Cranes. 2015. <http://www.unic-cranes.co.uk/mini-cranes/094>. Zugegriffen: 15. Feb. 2015.

---

# Sachwortverzeichnis

## A

Abwineichung  
    Kategorien 279  
Änderungsarbeiten 285  
Anfahrbereitschaft 296  
Arbeitsraum 207  
    verfügbarer 208  
Arbeitssicherheit 267  
Auflockerungsfaktor  
    Erdarbeiten 21  
Aufmaßes 258

## B

Bau- und Montagekonzept 146  
Begleitheizung 117  
Behinderungen 281  
Beizen 294  
Beizens 292  
Brandschutz 124  
Brownfield 177

## C

CAPEX 8

## D

Dämmung  
    Kälte 119  
    Schall 123  
    Wärme 116  
    Wetterschutz 120

Dampfblasen 291  
Downstream 15

## E

Ereignisse 158

## F

Feed In 296  
Fehler 282  
FIDIC 3  
Fortschritt  
    funtional 258  
    physisch 259

## G

Gantt Diagramm 157  
Garantienähte 82  
geografischen Einheiten 184  
*Golden Weld* Garantienähte 82  
Greenfield 176

## H

Hebestudien 70

## I

Inbetriebnahme 295  
    Vorbereitung 290  
Isolation 179

**K**

Kosten  
  eigene 264  
  fremde 264  
Kostenkontrolle 264  
Krane 58  
  Hubsystem 67  
  Mobilkrane 64  
  Raupenkrane 64  
  Turmdrehkrane 65

**L**

Loop Check 137  
  durchklingeln 137  
  Durchklingeln 137  
  logische Funktionen 137  
  Regelkreis 137

**M**

Mangel 283  
Maßnahmenkatalog 277  
Mechanische Fertigstellung 289  
Midstream 15

**O**

Offshore 11  
Onshore 13  
OPEX 8

**P**

Performance Test 297  
Projekt 5  
Prozess  
  Leistungs- 143  
Prozesse 143, 161  
  Teil- 161  
Puffer  
  freier 263

**R**

Revamp 178  
Rohrleitungen  
  Montage 74  
  Spools 74

**S**

Schaden 283  
Setzversuch 44  
Shut Down 178  
Stundenlohnarbeiten 285  
Substantial Completion 298

**T**

Trocknen  
  mit Luft 294  
  mit Stickstoff 295

**U**

Upstream 14

**V**

Vorgang 158

**W**

Wärmebehandlung 77, 84  
Wärmeeinflusszone 83  
Wasserhaltung 23  
  geschlossene 25  
  Grundwasserabsenkung 25  
  offene 24

**Z**

Zusatzleistungen 284