Planung von Verarbeitungsanlagen

2

2.1 Grundlagen der Planung

2.1.1 Aufgaben, Abläufe, Planungsstrategie

Grundlage der weiteren Investitionsvorbereitung sind die in Ziel- und Konzeptplanung (Abschn. 1.5) festgelegten Investitionsziele, hier: eine konkrete Verarbeitungsanlage.

Je nach Größe und Spezialisierung der Projektierungseinrichtung – Betriebsabteilung, Ingenieurbüro – erfolgt die Planung durch unterschiedlich umfassendes Management auf Basis

- spezifischer Planungsdokumente, Anforderungsprofil und Planungshorizont, der sich aus Unternehmensentwicklung und Planzielen ergibt
- eines Logistikkonzeptes für die Anlage mit Produktionsprozessen, Materialflüssen, Informationsbeziehungen
- interdisziplinären Wissens und individueller Lösungen
- geeigneter Methoden wie dynamischer Simulation (Kap. 9) bestimmter Abläufe und Systemzustände und/oder analytischer Berechnung (Kap. 3, 5 und 8).

Aufgaben und Abläufe Der potentielle Auftragnehmer erhält vom Anlageninteressenten, dem möglichen Auftraggeber, Anfragen bzw. Aufgabenstellungen als erste Arbeitsgrundlage. Nimmt er diese an, sind bei der weiteren Planung im Allgemeinen die in Abb. 1.9 bereits genannten drei charakteristischen Dokumente mit den grundsätzlichen Zielen und Inhalten in zeitlicher Reihenfolge zu erarbeiten (Abb. 2.1 und 2.2).

In Abschn. 2.3.1 werden zur Erarbeitung dieser Dokumente jeweils analoge Arbeitsschritte 1 bis 8 vorgeschlagen, die in zeitlicher Reihenfolge zu durchlaufen sind. Dazu sind die als wesentlich angesehenen Eingangs- und Ausgangsinformationen jeweilige Arbeitsgrundlage bzw. Arbeitsergebnis.

P. Römisch und M. Weiß, *Projektierungspraxis Verarbeitungsanlagen*,
DOI 10.1007/978-3-658-02359-1_2, © Springer Fachmedien Wiesbaden 2014

	Dokumente	Ziele Inhalte Arbeitsschritte
1. Phase	Informationsangebot	AN signalisiert dem AG seine grundsätzliche Leistungsfähigkeit und -bereitschaft mit Grob-Spezifikation der Hauptausrüstungen und möglichem Zeit- und Kostenrahmen für die Anlage. Arbeitsschrittfolge und Inhalte: **Bild 2-4**, **Abschnitt 2.3.1** Dem AG erwachsen daraus noch keine Pflichten. Nimmt AG Angebot in vorliegender oder in Abstimmung mit dem AN geänderter/präzisierter Form an, folgt 2. Phase
2. Phase	Verbindliches Angebot oder Vorprojekt	AN bietet Leistungs- und Liefervertrag in vereinbarter Form an mit gegenüber 1. Phase weiter detaillierten und vervollständigten Leistungs- und Lieferinformationen, im Wesentlichen mit weiterer Spezifikation aller wesentlichen Ausrüstungen, Liefer-, Montage- und Erprobungszeiträumen sowie präzisiertem Kostenrahmen der Anlage. Arbeitsschrittfolge und Inhalte: **Bild 2-4**, **Abschnitt 2.3.1** Nimmt AG Vertrag in vorliegender oder in gegenseitiger Abstimmung geänderter Form an, folgt 3. Phase
3. Phase	Ausführungsprojekt	AN erstellt die in allen Teilen komplette Grundlage zur kommerziellen, materiellen und zeitlichen Realisierung der Anlage. Arbeitsschrittfolge und Inhalte: **Kapitel 7, Abschnitt 7.2** Ausführungsprojekt ist in Verbindung mit Leistungs- und Liefervertrag die verbindliche Grundlage zur materiellen Realisierung und weiteren Abwicklung bis hin zum Abschluss des Vorhabens, der mit dem Übergabe-/Übernahme-Akt in der Regel erreicht ist.

Abb. 2.1 Grundsätzliche Ziele, Erarbeitung und Inhalte der charakteristischen Planungsdokumente

Diese *Arbeitsschrittfolge* ist als *Bearbeitungsalgorithmus* anzusehen. Die aufgezählten Eingangs- und Ausgangsinformationen sind allgemein einzubeziehende Inhalte. Bearbeitungsumfang und -tiefe sind von Fall zu Fall anhand Größe, Komplexität und Vorbereitungsstand des Vorhabens zu entscheiden.

Dem schließlich zu erarbeitenden *Ausführungsprojekt* gehen in der Regel die – erfolgreich abzuschließenden – zwei Angebotsphasen voraus. Vom Informationsangebot zum Ausführungsprojekt steigt der Informationsgehalt enorm an, es muss immer detaillierter und zeitaufwändiger gearbeitet werden, es sind immer mehr Aufgaben wahrzunehmen.

Welche *Vielfalt unterschiedlicher Aufgaben* ein Projektant im Rahmen einer größeren Anlageninvestition grundsätzlich wahrzunehmen bzw. an welchen Aufgaben er mitzuwirken hat, zeigt auch das *Leistungsbild Technische Ausrüstung* der HOAI [2.1], das hinsichtlich der Leistungsbewertung des Projektanten die Aufgaben in 9 *Leistungsphasen* entsprechend der zeitlichen Projektabwicklung einteilt (ANLAGE 2.1):

1. Grundlagenermittlung
2. Vorplanung (Projekt- und Planungsvorbereitung)
3. Entwurfsplanung (System- und Integrationsplanung)
4. Genehmigungsplanung
5. Ausführungsplanung
6. Vorbereitung der Vergabe

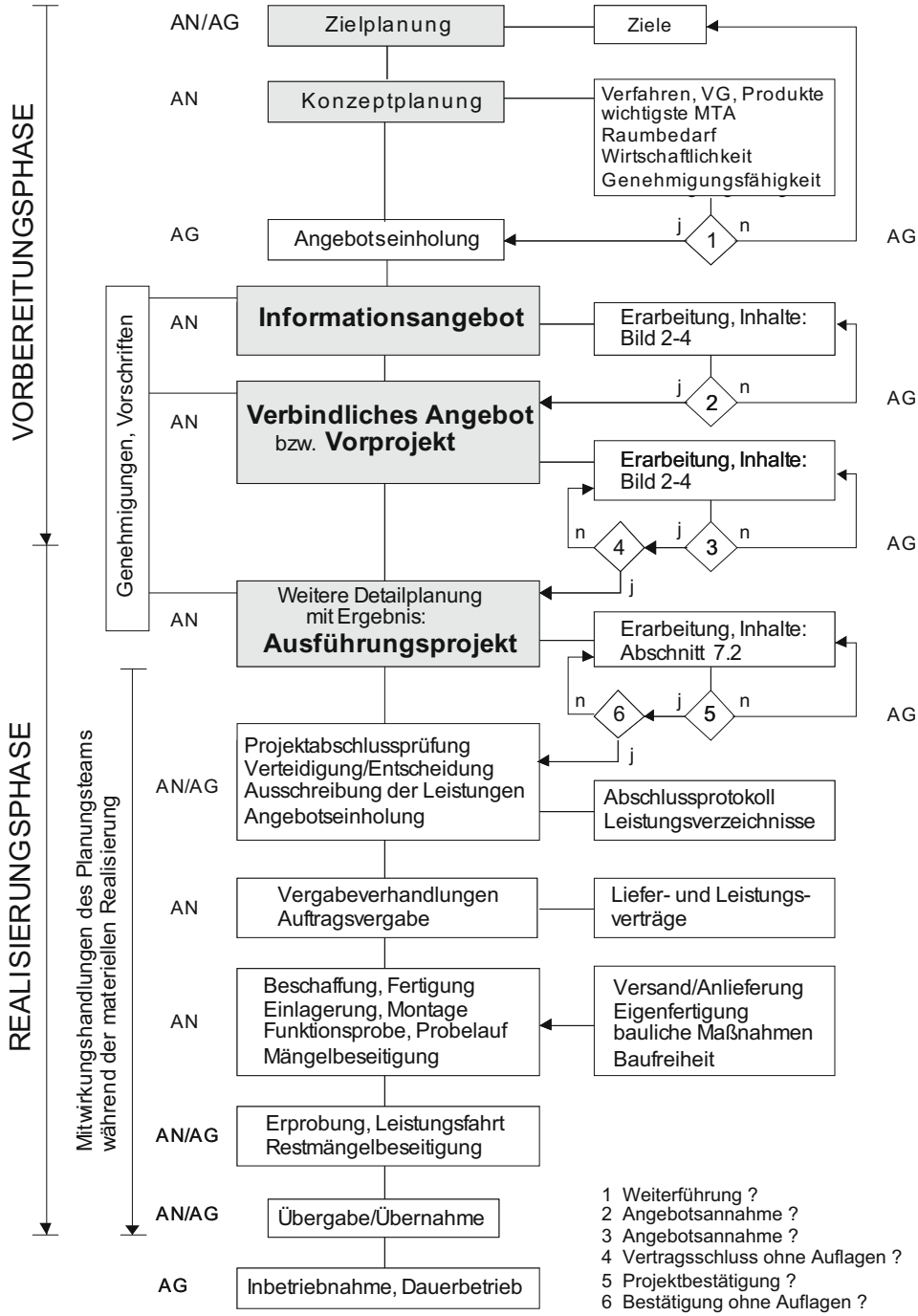


Abb. 2.2 Planungsstrategie für das Investitionsobjekt Verarbeitungsanlage

7. Mitwirkung bei der Vergabe
8. Objektüberwachung
9. Objektbetreuung und Dokumentation.

Jeder dieser Leistungsphasen ist ein Aufgabenkomplex zugeordnet. Es werden jedoch nicht immer alle diese Aufgaben bei *einem* Vorhaben vorliegen.

Planungsstrategie Schließt sich an diese drei charakteristischen Planungsphasen die materielle Realisierung des Planungsobjektes an – davon ist in der Regel auszugehen –, soll dem Objekt Verarbeitungsanlage die in Abb. 2.2 dargestellte *Planungsstrategie* zu Grunde gelegt werden mit den Verantwortlichkeiten von AG und AN für die jeweilige Aktivität im Investitionsprozess.

Die *Verantwortlichkeit* muss in allen Phasen des Investitionsprozesses festliegen. Es kann auch sein, dass zwar der AN für die Konzeptplanung verantwortlich ist, der AG aber für das Verfahren haftet, wenn dieser als Betreiber auch Verfahrensgeber ist (siehe Vertragsgegenstände und Vertragsarten, Kap. 11).

Für manche Aktivitäten können *auch beide* Vertragsseiten gemeinsam Verantwortung tragen – so bei Zielplanung oder Erprobung und Leistungsfahrt. Dann muss jede Seite ihren vereinbarten Pflichtteil zum Gesamterfolg leisten.

Diese Planungsstrategie ist aus Übersichtsgründen auf die wesentlichsten Aktivitäten reduziert. Bei Bedarf sind Aktivitäten weiter zu untergliedern oder zu ergänzen.

In [2.2] wird eine Planungsstrategie besonders für die Ausführungsplanung bei größeren Vorhaben wie folgt begründet (Zitat):

- Die Realisierung ist auf die Mitwirkung verschiedener, oft recht zahlreicher, hierfür spezialisierter Firmen (mit einschlägigem *Know-how*, einschlägiger Ausrüstung) angewiesen, wodurch eine weitgefächerte Teamarbeit entsteht.
- Den anzufragenden Firmen sind Spezifikationen vorzulegen, in denen die gewünschten Leistungen (Lieferumfang, Anforderungen) und die zu berücksichtigenden Gegebenheiten genau, jedoch lieferneutral festgelegt werden (Ergebnisse der Detailplanung I. Teil).
- Für die Auswahl des optimalen Lieferanten und zum Aushandeln der Einzelheiten sind Angebote und Vergabeverhandlungen erforderlich.
- Der II. Teil der Detailplanung, nämlich die Sicherstellung der bedarfsgerechten Liefererbringung und die funktionelle, erstellungsmäßige und terminliche Koordinierung, erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Projektplaner und Lieferanten. Aufgaben, Pflichten und Zuständigkeiten müssen hierfür im Sinne des Projektmanagements genau geregelt werden.
- Zur reibungslosen Auftragsabwicklung sind zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer schriftlich festgehaltene Vereinbarungen (Verträge, Aufträge) erforderlich, in denen alle relevanten (technischen, terminlichen und kaufmännischen) Aspekte geregelt werden. Insbesondere sind das die termingerechte Leistungserbringung, die quantitative

und qualitative Abnahmeprüfung, die Zahlungsbedingungen und Garantiepflicht. (Zitatende).

Zur Anlagenplanung sei auch auf *Bernecker* [2.3], *Tempelmeier* [2.4] und *Martin* [2.5] verwiesen: Von der Projektleitung als *technisch-wirtschaftliche Organisationsaufgabe*, über Vertragsgestaltung (Kap. 11), gesetzliche Grundlagen, *Basic-* und *Detail-Engineering* bis zu Montage und Inbetriebnahme werden alle wesentlichen Aktivitäten und Abläufe begründet und dargestellt (teilweise dazu in Kap. 7).

2.1.2 Aufgabenstellungen, Grundfälle der Projektierung

Bei der Projektierung stoffverarbeitender Anlagen kann sich die Aufgabenstellung (AST) für das Investitionsvorhaben aus folgenden *Grundfällen* ergeben:

a) *Neuerrichtung* von Anlagen (Neubau)
   - in vorhandener Bauhülle (Etagen- oder Flachbau), auf vorhandener Freifläche
   - in neu zu errichtender Bauhülle, auf neuer Freifläche

b) *Erweiterung* bestehender Anlagen
   - als Funktionserweiterung (Anbau), z. B. Erweiterung des Produktsortiments
   - als Produktivitätserweiterung, z. B. durch Erhöhung der Systemverfügbarkeit

c) *Anpassung* bestehender Anlagen
   - an technischen Fortschritt (Erneuerung, Modernisierung)
   - an geänderte Bedingungen (Umbau)

d) Mischfälle aus a bis c.

Die Fälle b bis d, bei denen vorhandene Gebäude/Bauhüllen beizubehalten sind oder nur wenig geändert werden dürfen, sind meist *Rationalisierungsaufgaben*. Für den Projektanten ergeben sich aus der Weiternutzung vorhandener Gebäude im Allgemeinen die meisten Restriktionen (siehe Abschn. 2.5.5). Im Fall a und neuer Bauhülle/Freifläche hat der Projektant die größte Gestaltungsfreiheit.

Der bei *Rationalisierungsaufgaben* erzielbare Effekt ist oft von der *Betrachtungstiefe* entscheidend abhängig. Je tiefer in eine vorhandene Betriebsstruktur eingegriffen wird, desto größere Möglichkeiten hat der Projektant. So sinken diese Möglichkeiten in der Reihenfolge der Betrachtungsobjekte 1 bis 6:

1. Gesamtbetrieb
2. Produktionsbereich des Betriebes
3. Produktionsabteilung des Produktionsbereiches
4. Verarbeitungsanlage
5. Teilanlage
6. Schwachstelle der Anlage, z. B. Maschine, Koppelstelle.

In entgegengesetzter Richtung steigt allerdings der materielle und finanzielle Aufwand. Anzustreben ist immer ein *Optimum an Rationalisierungstiefe*, das den größten wirtschaftlichen Effekt erwarten lässt. Nicht selten sind bereits durch organisatorische Maßnahmen, z. B. Eingriffe in bestehende Logistikkonzepte [1.23], die bei ihrer Einführung progressiv waren und später immer mehr, infolge ihrer Unflexibilität, zum Hemmnis geworden sein können, beachtliche Effekte erzielbar, ohne dass größerer materieller und finanzieller Aufwand betrieben werden muss.

Der Entscheidung für einen der genannten Fälle a bis d unter Einbeziehung der Betrachtungsobjekte 1 bis 6 sollten immer entsprechende *Betriebsanalysen* vorausgehen. Dazu gehört neben den technisch-deterministisch zu beantwortenden Fragen besonders bei den Fällen b und c auch die Frage nach der Veränderung des Ausfallverhaltens der Anlagentechnik infolge Veränderung des Verarbeitungsgut- und Produktsortiments (siehe Abschn. 2.5.1 und 3.2).

2.2 Projektierungsprozess

2.2.1 Gesamtprozess

Wenn es auch für den Projektierungsprozess, insbesondere für die Erarbeitung der in den Abschn. 1.5 und 2.1.1 genannten drei charakteristischen Dokumente – Informationsangebot, Verbindliches Angebot/Vorprojekt, Ausführungsprojekt – *keinen* allgemeingültigen Algorithmus gibt, so hat sich auch für Verarbeitungsanlagen die aus der klassischen Fabrikprojektierung stammende Darstellung des Projektierungsprozesses nach Rockstroh [1.11] als ***Entwicklungs- und Transformationsprozess*** mit den typischen inhaltlichen Planungsetappen bewährt (Abb. 2.3):

- Bestimmen der Funktion
- Dimensionieren
- Strukturieren
- Gestalten.

Dieser Prozess ist infolge seiner hohen Komplexität gleichzeitig ein *Schleifenprozess* mit vielen Rücksprüngen auf vorhergegangene Schritte und erarbeitete Teilergebnisse, die iterativ schließlich zum Gesamtergebnis zu führen sind.

Bestimmen der Funktion bezieht sich bei der Fabrikplanung auf die Systemplanung – Produktionsbereiche bis hin zu kompletten Fabriken. Beim Planungsobjekt Verarbeitungsanlage liegt mit dem Verarbeitungsverfahren die Systemfunktion fest, so dass hier für diese Planungsetappe von *Präzisieren der Aufgabenstellung* gesprochen werden soll.

Dimensionieren heißt *Auswählen* der Maschinen und anderen Ausrüstungen nach Art, Konfiguration, Größe und Leistungsfähigkeit, ausgehend von der zu erfüllenden Funktion.

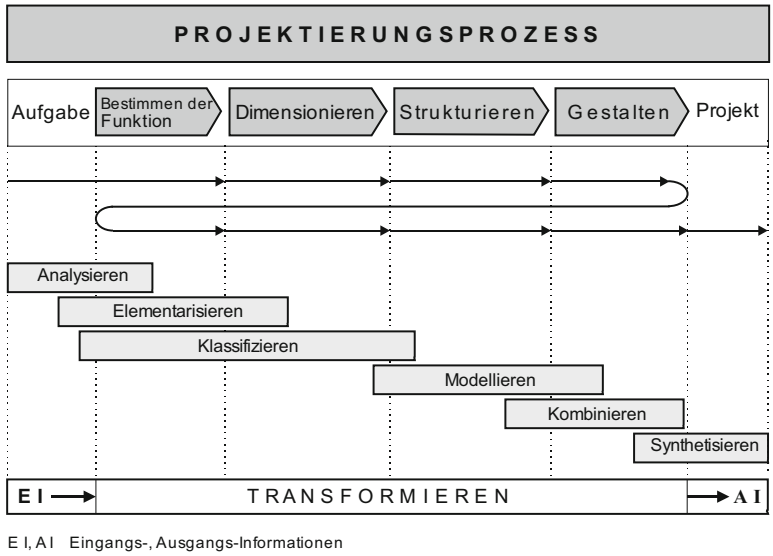


Abb. 2.3 Projektierungsprozess nach Rockstroh [1.11]

Die ausgewählten oder zunächst vorausgewählten Ausrüstungen sind im weiteren Projektierungsprozess die *Elemente des Systems* Anlage.

Strukturieren bedeutet Zusammenstellen der Elemente nach ihrer technologischen Funktion. Die so strukturierten Elemente bilden die *technologische Struktur* der Anlage. Das Strukturieren erfolgt noch unabhängig von räumlichen Gegebenheiten.

Gestalten beinhaltet nun das räumliche Anordnen der Elemente zueinander und im vorhandenen oder zu fordernden Raum. Nach dem Gestalten liegt die Anlage in *räumlicher Struktur* vor.

Mit der *Aufgabenpräzisierung* sind die entscheidenden Ausgangspunkte festgelegt. Analysieren und Elementarisieren heißt, die Aufgabe zunächst in *Teilaufgaben* zu zerlegen, die jede für sich dann einfacher lösbar sind, frei nach einem Grundsatz von *Descartes*: Jedes Problem ist in so viele Einzelprobleme aufzuteilen, wie es möglich und nötig ist, um jedes Einzelproblem für sich behandeln zu können.

Es ist immer von den *Anforderungen an das Ausführungsprojekt* auszugehen, um davon Umfang und Aussagetiefe für die Dokumente der Angebotsphasen abzuleiten, gewissermaßen als *Maximalrahmen*, von dem zunächst Abstriche zu machen sind.

Noch *unverbindliche* Angebote sind nicht selten für den Angebotsgeber *verlorene Aufwände*, kommt es nicht zum Vertrag. Das ist in der Regel der häufigere Fall. Deshalb werden Angebote nur so detailliert wie unbedingt notwendig ausgearbeitet, es sei denn, der Angebotsgeber verfolgt auch über das *eine* Angebot hinausgehende Interessen wie die Gewinnung weiterer Märkte.

Die *arbeitsaufwändigste Planungsphase* des Vorhabens ist die Ausführungsplanung, da nun – in Weiterführung der vorliegenden Angebotsunterlagen – die Anlage *technisch im Einzelnen* detailliert und als Ganzes in geeigneter Weise dargestellt werden muss, so:

- Verarbeitungsmaschinen in genauer Konfiguration: Grundmaschine und Ausrüstungsvarianten in Ausrüstungsliste exakt, beschaffungsgerecht bezeichnet
- Gesamtanlage im Ganzen – erforderlichenfalls auch in Teilen – auf elektronischen Datenträgern und in Zeichnungen dargestellt, alle betreffenden Ausrüstungen im Layout exakt räumlich positioniert und für Kontroll- und Montagezwecke hinreichend bemaßt.

Der MTA-Projektant legt zunächst die zur Durchführung der Verarbeitungsaufgabe erforderliche *Maschinentechnik* fest. Danach erarbeitet er die zur Spezialprojektierung erforderlichen *Aufgabenstellungen* für die einzubeziehenden Gewerke *Bau-, Energie-, Prozessüberwachungs- und Steuerungstechnik,* …, gegebenenfalls bis hin zu Gewerken der *Haustechnik* wie Laboreinrichtungen zur Qualitätssicherung in einem Lebensmittelbetrieb.

2.2.2 Schrittfolge Dimensionieren, Strukturieren, Gestalten

Die schöpferisch anspruchvollsten und aufwändigsten Schritte sind *Dimensionieren, Strukturieren, Gestalten*, in denen zunächst das Hauptsystem der Anlage – Maschinen und andere Hauptelemente – entworfen und dann mit dem Hilfssystem, der Verkettungstechnik schrittweise komplettiert wird.

Zur Bearbeitung dieser Schrittfolge werden theoretische Grundlagen, Arbeitsinhalte und Vorgehensweisen in folgenden Kapiteln dargestellt (teilweise bereits in Abschn. 1.7):

- Kap. 3 Betriebsverhalten (Grundlagen zur Dimensionierung)
- Kap. 4 Dimensionierung – Auswahl der Ausrüstungen
- Kap. 5 Strukturierung – technologische Struktur
- Kap. 6 Gestaltung – räumliche Anordnung, Layout
- Kap. 7 Anlagenrealisierung
- Kap. 8 und 9 Verfügbarkeitsberechnung, Simulation (Grundlagen zur Strukturierung).

Kapitel 8 und 9 liefern die Grundlagen zu Berechnung und Auswahl von Strukturvarianten.

In Kap. 7 wird die Planungsmethodik auf die Ausführungsplanung weiter zugeschnitten und auf Planungstechniken zur Zeitablauf- und Kapazitätsplanung hingewiesen (Abschn. 7.2).

2.3 Projektdokumentation

2.3.1 Ausarbeitung der Dokumente

Für die Erarbeitung der technischen Projektdokumente muss das Management über entsprechendes *Engineering* und *Know-how* auf entscheidenden Gebieten wie neue Verfahren und hochproduktive Maschinen verfügen, möglichst so umfassend, dass potentiellen Interessenten einer Branche *Komplettlösungen aus einer Hand* angeboten und geliefert werden können.

In Untersetzung der gewählten Planungsstrategie (Abb. 2.2) sollten bei der Ausarbeitung der charakteristischen Planungsdokumente – Angebote und Ausführungsprojekt – durch den *MTA-Projektanten* folgenden 8 Schritte durchlaufen werden:

1. Präzisieren der Aufgabenstellung
2. Dimensionieren (MTA auswählen)
3. Strukturieren (MTA funktionell koppeln)
4. Gestalten (MTA räumlich anordnen)
5. Aufgaben Spezialgewerke (Bau-, Elektrotechnik, MSR, …)
6. Nachweisen (Realisierbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Schutzgüte)
7. Beschreiben (technologischer Ablauf/MTA, Montage, Probebetrieb, …)
8. Komplettieren (Projektdokumente zusammenstellen und kontrollieren).

Ausgehend von den Anforderungen und den zu erarbeitenden Dokumenten für Ausführungsprojekte (Kap. 7) ist zunächst für *Informationsangebote* und *Verbindliche Angebote bzw. Vorprojekte* in Abb. 2.4 veranschaulicht, welche Inhalte für den MTA-Projektanten in den Schritten 1 bis 8 in Betracht kommen, die nacheinender zu durchlaufen sind, jedoch praktisch mehr oder weniger zeitlich parallel und mit Rückkopplungen ablaufen.

Angebote können in gleichen Schritten und Schrittfolgen wie Ausführungsprojekte erarbeitet werden, jedoch mit *geringerer Informationstiefe*. Es ist erkennbar, wie *Detailliertheit* und *Informationsgehalt* der Dokumente des Verbindlichen Angebotes gegenüber dem Informationsangebot zunehmen.

Vorklärungen zur Realisierbarkeit des Vorhabens Ist es beim Informationsangebot noch ausreichend, die *grundsätzliche* Liefermöglichkeit eines potentiellen Lieferanten in Schritt 2 zu klären, und genügt zunächst dem AG eine *Grobausrüstungsliste* für seine Entscheidung, so erfordert das Verbindliche Angebot bereits eine *verbindliche* Lieferzusage und eine verbindliche, hinreichend *detaillierte Ausrüstungsspezifikation*, das Ausführungsprojekt schließlich die komplette, genau *spezifizierte Ausrüstungsliste* und das komplette Anlagen-Layout.

In Schritt 6 ist die materielle Realisierbarkeit vorzuklären. Dazu sind für zu beziehende Ausrüstungen *Lieferangebote* einzuholen, für weitere Fremd- und für Eigenleistungen

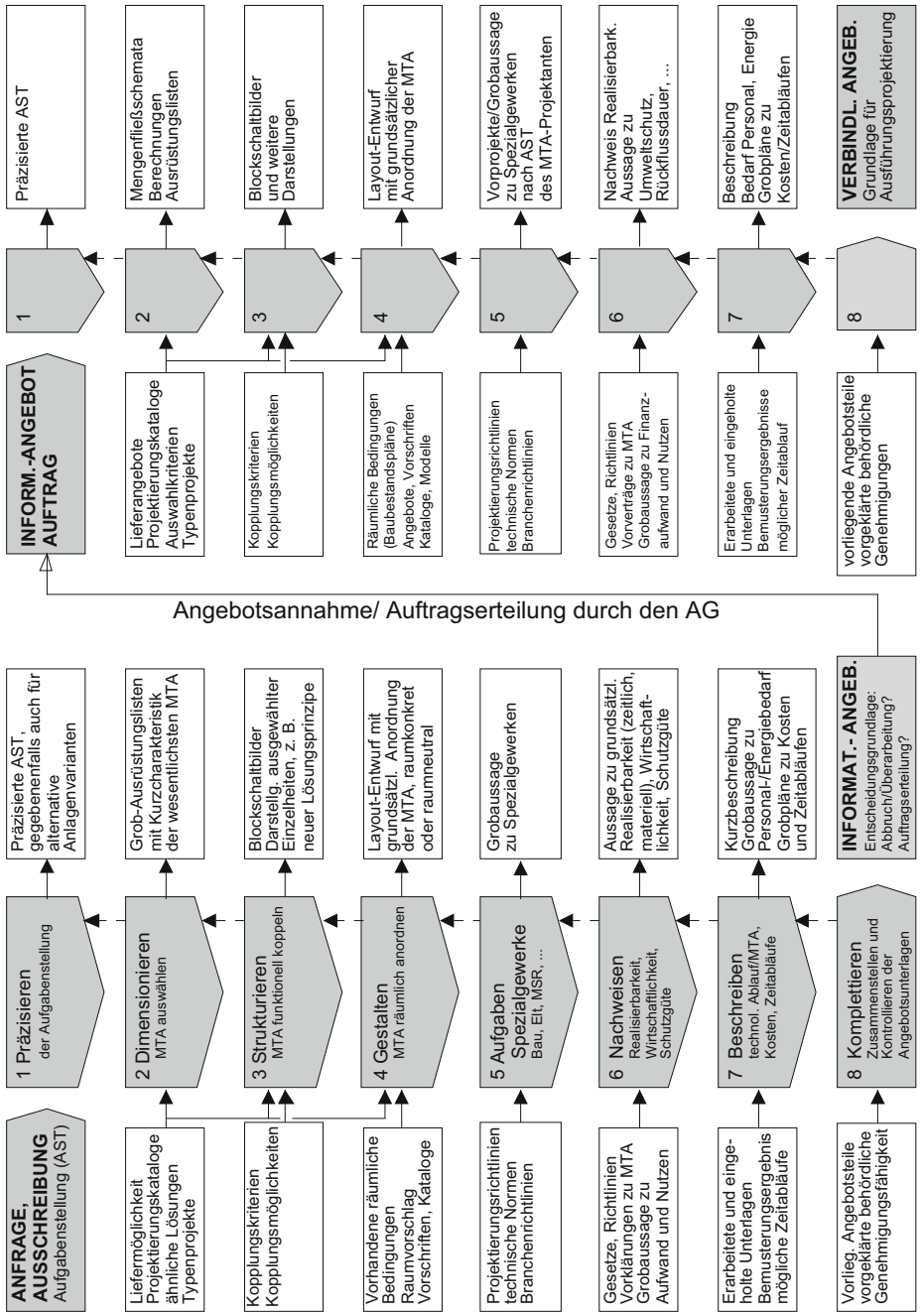


Abb. 2.4 Von der Anfrage zum Verbindlichen Angebot

des AN *Kapazitätsplanungen* vorzunehmen und *mögliche Termine und Abläufe* für die Projektabwicklung vorzuplanen. In Schritt 6 sind bereits *Aussagen zu Kosten* zu treffen; beim Vorprojekt schon Grobpläne zu Kostenbedarf und zeitlichem Verlauf sowie zum Finanzbedarf.

Zeitablauf-, Kapazitäts-, Kosten- und Finanzpläne werden entsprechend der Projektstruktur für die in der Angebotsphase interessierenden Projektteile und Teilaufgaben (Abb. 1.11) in mehr oder weniger detaillierten Grobplänen ausgearbeitet (siehe beispielhafte Darstellung bei Ausführungsplanung, Abschn. 7.2.3 und Hinweise in Abschn. 10.3).

Schicksal von Informationsangeboten Der Empfänger prüft das Angebot, vereinbart mit dem Angebotsgeber Änderungen/Ergänzungen, erhält ein überarbeitetes Angebot und nimmt dieses bei positiver Entscheidung mit seinem Auftrag an. So der Ablauf im *Erfolgsfall* für den Angebotsgeber.

Es kann auch sein, das der Empfänger nur ein *vermeintlicher* Interessent ist, der das erste Angebot zu Vergleichszwecken anfordert und daraus keine weitere Geschäftsbeziehung erwächst. Dann stellt dieses Angebot für den Anbieter – zumindest zunächst – *verlorenen Aufwand* dar.

Besonders im Serienmaschinen- und -anlagenbau kommen zur Minimierung verlorener Aufwände erste Angebote oft als *Typenprojekte/-konzepte* zur Anwendung. So kann ein z. B. für verschiedene Produktivitäts-, Verarbeitungsgut- und Produktspektren ausgearbeitetes Angebot *mehrfach* genutzt und so sein einmaliger Aufwand relativiert werden.

2.3.2 Inhalte von Angeboten

Unabhängig von Leistungsgegenstand und Verbindlichkeit sollten Angebote formell folgende Inhalte haben und diese hinreichend beschreiben:

1. Leistungsgegenstand
2. Lieferumfang
3. Leistungspreis
4. Zahlungsbedingungen (Zahlungsraten für Teilleistungen, Modalitäten)
5. Leistungszeitraum (Termine)
6. Erfüllungsort (Lieferort)
7. Gewährleistung und Service
8. Angebotsbindefrist
9. Geschäftsbedingungen
10. Gerichtsstand (bereits angegeben oder noch festzulegen).

Angebote sind mit *Ident-Nummer* – Vorhabens-/Projekt-Nr. –, Ausfertigungsdatum und autorisierter Unterschrift des Angebotsgebers zu kennzeichnen. Werden Angebote durch Änderungen/Ergänzungen fortgeschrieben, ist auch diese Ident-Nummer fortzu-

schreiben, damit zwischen Angebotsgeber und -empfänger immer klar ist, welche Version vorliegt.
Aus dem *Leistungsgegenstand* (siehe Kap. 11) ergeben sich

- Angebote für *immaterielle* Leistungen: wissenschaftlich-technische Leistungen, Engineering-Leistungen, Projektierungsleistungen, …
- Angebote für *materielle* Leistungen: Lieferangebote für definierte Objekte
- Komplettangebote: alle immateriellen und materiellen Leistungen von der Projektplanung über Lieferung, Montage bis zur Objektübergabe.

Abbildung 2.5 zeigt ein *Lieferangebot* für eine Anlage zur Herstellung von Schokoladenmasse (dazu Dimensionierungs- und Gestaltungsbeispiel in Abschn. 4.5.1).

Besonderheit dieses Angebotes: die *extreme Zahlungsbedingung* mit nur zwei Raten gegenüber der allgemein üblichen Praxis (Kap. 11), die aber aus der konkreten Geschäftsbeziehung resultiert. Mit einer derartig hohen Anzahlung bei Vertragsabschluss geht der Angebotsgeber kaum ein Risiko ein, da er seine Vorleistungen hinreichend vergütet bekommt und den Vertragspartner stark an sich bindet.

Mit den zum Angebotsbestandteil erklärten Listen werden Betriebsparameter und Rohstoffe als Voraussetzung der zu erbringenden Anlagenproduktivität (2500 kg/h) vorgeschrieben.

Der von freibleibendem Angebot bis Vorprojekt immer *detailliertere* Inhalt betrifft besonders Leistungsgegenstand, Lieferumfang und Leistungspreis:

In einem *ersten Lieferangebot* kann es noch genügen, die *Anlage als Ganzes* zu beschreiben und einen Gesamtpreis anzugeben. Im Verbindlichen Angebot/Vorprojekt ist dann der Leitungsgegenstand spezifiziert in Ausrüstungsliste, Layout-Entwurf und Beschreibung darzustellen:

- Hauptausrüstungen im Einzelnen, positioniert entsprechend technologischem Ablauf
- Verkettungstechnik entweder vorerst als Sammelposition oder ebenfalls im Einzelnen
- Arbeitskräfte-, Medien- und Betriebsmittelbedarf
- Produktionsplanung und -steuerung (erste Aussage zu vorgesehenem PPS-System)
- Der Angebotsgeber kann bestrebt sein, möglichst nur den Gesamtpreis zu nennen, um sich Spielräume freizuhalten. Der Angebotsempfänger kann aber Interesse an Einzelpreisen haben, um eventuell einzelne Liefer-Positionen anderweitig zu beziehen/selbst beizustellen. Lieferumfang und Preisgestaltung sind in Grenzen Verhandlungssache.

2.3.3 Inhalte von Ausführungsprojekten

Die fachlich unterschiedlichsten Inhalte von Ausführungsprojekten sind in *charakteristische Teile* zu gliedern. Abbildung 2.6 zeigt eine mögliche Gliederung mit allgemein üblichen

Budget-Angebot Nr. xxx 17.09.2010

Sehr geehrter Herr K.,
wir bedanken uns für Ihre Anfrage vom 13.09.2010. Auf Basis unserer Allgemeinen Verkaufsbedingungen erlauben wir uns, Ihnen nachfolgendes Angebot zu unterbreiten:

1 Linie zur Herstellung qualitativ hochwertiger Schokoladenmasse zur Produktion von xxx

Es wurde berücksichtigt:
Dosierung der 3 flüssigen Komponenten (Kakaomasse, Kakaobutter, Fett) erfolgt über Pumpen und Ventile entsprechend der Rezeptur aus Tanks in den Mischer.
Dosierung der 4 festen Komponenten (Zucker, Magermilch, Vollmilchpulver, Kakaopulver) erfolgt mittels Dosierschnecken in den Mischer.
Alle Komponenten werden nach einer in der Rezeptur festgelegten Zeit gemischt.

Um die gewünschte Leistung der Linie zu erzielen, haben wir 3 Stück 6t-Batch-Conchen vom Typ HBC 6 mit folgender Technologie vorgesehen: Füllzeit 2,4 Stunden; Conchierzeit 4,5 Stunden; Entleerungszeit 0,3 Stunden.

Maschinen und Ausrüstungen entsprechen dem Technologischen Schema 17.585.002.00 sowie der Maschinen- und Preisliste 17.585.002.00.

Leistung der Linie: 2500 kg/h

Preis und Lieferbasis: xxx.xxx,- Euro

ab Werk, verpackt, gemäß Incoterms 2000, ohne Chefmontage- und Inbetriebnahmekosten.

Zahlungsbedingung: 50 % Anzahlung mit der Auftragserteilung,
50 % durch ein unwiderrufliches und von einer deutschen Bank bestätigten L/C, eröffnet zugunsten der Petzholdt-Heidenauer Maschinen- und Anlagenbau International GmbH, 01239 Dresden.

Alle Zahlungen erfolgen durch Banküberweisung auf unser Konto xxx bei xxx oder nach noch zu treffender Vereinbarung.

Elektrische Ausrüstung der Maschinen erfolgt in 400 V/ 50 Hz, Steuerung Typ Siemens S 7.

Chefmontage und Inbetriebnahme:

Auf Basis gesonderter vertraglicher Vereinbarungen übernimmt die Petzholdt-Heidenauer Maschinen- und Anlagenbau International GmbH die Chefmontage und die Inbetriebnahme sowie die Schulung des Bedien- und Wartungspersonals für gelieferte technologische Ausrüstung. Die Montage wird von dem Fach- und Hilfspersonal des Käufers durchgeführt.
Der Preis der Chefmontage und Inbetriebnahme hängt wesentlich von technischem und technologischem Umfang des Projektes ab.

Farbgebung: Maschinen in Grundfarbe Perlweiß RAL 1013 und Komplementärfarbe RAL 5012

Techn. Dokumentation: pro Maschine je 1-fach in deutscher und in russischer Sprache.

Gewährleistung: 12 Monate nach Inbetriebnahme, jedoch nicht länger als 15 Monate nach Lieferdatum; Verschleißteile sind von der Gewährleistung ausgenommen.

Gültigkeit des Angebotes: Das Angebot ist gültig bis 30.12.2010.

Das Angebot gilt nur in Verbindung mit den Dokumenten:
Liste der Liefergrenzen (Transport, Montagen, Montagewerkzeuge, …)
Liste Prozesstemperaturen der Hauptausrüstungen, Rohstoffspezifikationen, Betriebsparameter der Maschinen.

Wir hoffen, dass unser Angebot Ihren Vorstellungen entspricht.

Zur Beantwortung Ihrer Fragen stehen wir Ihnen selbstverständlich gern zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Petzholdt-Heidenauer Maschinen- und Anlagenbau International GmbH

gez. xxx — Sales Manager
gez. xxx — Area Sales Manager

Abb. 2.5 Lieferangebot am Beispiel einer Anlage zur Herstellung von Schokoladenmasse [2.6]

Charakteristische Teile von Ausführungsprojekten	
Allgemeiner Teil	Zusammenfassende Angaben zum Vorhaben in Kurzdarstellung: Vertragspartner, Aufgabenstellung, Grundlagen, wesentlichste Ergebnisse
Technologisch-technischer Teil	Beschreibung, Verarbeitungsverfahren, Anlagen-Layout, Ausrüstungslisten zu MTA-Projekt; Analoge Angaben zu Spezialgewerken/-projekten; Übersichten zu Arbeitskräften, Energiearten und -bedarf, Betriebsstoffen; Angaben zu Montage und Betrieb, Ver- und Entsorgung, Qualitätssicherung
Ökonomischer Teil	Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Nachweise zu Kosten, Nutzen, Rentabilität, Finanzierung
Kommerzieller Teil	Liefernachweise für Ausrüstungen, Vorverträge für Bau- und andere Leistungen
Organisatorischer Teil	IT-Lösungen für Produktion, Instandhaltung, Betriebsanalyse und BDE, Qualitätsmanagement, gegebenenfalls im Rahmen eines PPS-Systems; Gewährleistung, Service
Geltende Vorschriften	Einschlägige und zu Grunde liegende Gesetze und andere Vorschriften
Genehmigungen	Genehmigungspflichten und Stand der Genehmigungsverfahren
Weitere Realisierung	Zeitablauf- und Terminpläne (für materielle und immaterielle Leistungen) zu Kapazitäts-, Kosten- und Finanzbedarf (Soll-Pläne); Kontrollpläne zum Soll-Ist-Vergleich

Abb. 2.6 Charakteristische Teile von Ausführungsprojekten für Investitionsvorhaben

Inhalten als Mindestanforderung. Der technologisch-technische Teil ist der für den Projektanten entscheidende, da hier die Anlage in ihrer Gesamtheit und im Einzelnen erarbeitet und dokumentiert wird. Inhalte im Einzelnen siehe Kap. 7.

Die Darstellungen in den Abschn. 2.1, 2.2 und 2.3 sollen

- dem Projektanten eine *Arbeitsrichtlinie* zur systematischen Bearbeitung sein, die durch bewährte Mittel zur rationelleren Bearbeitung (Abschn. 2.4) unterstützt wird
- den Betriebsingenieur des AG bei seinen Mitwirkungshandlungen in Vorbereitung und Realisierung unterstützen, so bei *Beratungen* zu Projektentwürfen, *Einholung* und *Prüfung* von Angeboten und während der materiellen *Realisierung*.

2.4 Mittel zur rationelleren Aufgabenbearbeitung

2.4.1 Grundsätze und Methoden

Nützlich sind die aus der Betriebsprojektierung bekannten, grundlegenden Erkenntnisse zu Grundsätzen, Methoden und Hilfsmitteln der Planung, die in [1.11] dokumentiert sind.

Diese für stoffverarbeitende Anlagen allgemeingültigen Erkenntnisse resultieren aus wissenschaftlicher Durchdringung des komplexen Projektierungsprozesses und praktischer Erfahrung bei Investitionsvorbereitung und -realisierung. Sie haben das vorrangige Ziel, den Projektierungsprozess durch *Zeitverkürzung*, *Qualitätssicherung* und *Aufwandsminimierung* effektiver zu gestalten.

Grundsätze Folgende Grundsätze gelten für Planung und Projektierung gleichermaßen:

1. Grundsatz der Komplexität
   Die Projektierung umfasst einen Komplex vielfältiger Beziehungen sachlicher, menschlicher, zeitlicher, ökonomischer Art. Voraussetzungen für ein optimales Gesamtergebnis sind: die Kenntnis der beeinflussenden Faktoren, der Gesetzmäßigkeiten bestimmter Vorgänge, der Kausalitätsbeziehungen innerhalb der Teilprozesse und des Gesamtprozesses; das Miteinander der beteiligten Personen.
2. Stufengrundsatz
   Eine wesentliche Voraussetzung zum Vermeiden unnötiger Arbeiten, z. B. detaillierte Ablaufplanungen oder Berechnungen zum falschen – zu frühen – Zeitpunkt, ist die stufenweise, vom *Groben zum Feinen* gehende Bearbeitung der Aufgabe.
3. Variantengrundsatz
   Ein Projekt umfasst einen Komplex von Einzelheiten und damit auch von Einzellösungen. Damit die Gesamtlösung ein Optimum wird, müssen von Anfang an *Lösungsvarianten* für die Einzelheiten ausgearbeitet und diese zu Gesamtlösungsvarianten kombiniert werden. Zur Lösung eines Problems gibt es immer *mehrere* Möglichkeiten, Varianten, die für sich allein betrachtet zunächst günstig sein können, sich aber nicht alle zu einem optimalen Gesamtergebnis kombinieren lassen.
4. Ordnungs- und Vereinheitlichungsgrundsatz
   Schaffe Ordnung und vereinheitliche! Dieser hinsichtlich Übersichtlichkeit und rationeller Beherrschbarkeit komplexer Probleme wichtige Grundsatz wird besonders durch folgende Kriterien verkörpert:
   - *Gemeinsame Sprache* für Bezeichnungen und Symbole ist zur Vermeidung von Fehldeutungen und Doppelarbeit umso wichtiger, je mehr Fachdisziplinen am Vorhaben beteiligt sind.
   - *Elementarisierung und Strukturierung* sind Voraussetzungen dafür, komplexe Gebilde nach einem Ordnungssystem zu strukturieren und zu gestalten und gestaltete Gebilde organisatorisch beherrschen und weiterentwickeln zu können.
   - *Baukastenprinzip* mit seiner ordnenden Wirkung ist Voraussetzung für effektive Mehrfachnutzung von Erkenntnissen einmal geleisteter Arbeit; Typenbeschränkung ist besonders bei einzusetzenden Ausrüstungen Voraussetzung rationeller Projektierung, aber auch effektiverer Anwendung (Instandhaltung, Organisation, …).
5. Grundsatz der Projekttreue
   Im Zeitraum zwischen Fertigstellung der Projektlösung und Realisierung sind Änderungen nicht auszuschließen. Nachträgliche Änderungen können begründet sein,

z. B. zur Berücksichtigung zwischenzeitlich bekannt gewordener wissenschaftlich-technischer Neuerungen, die das Gesamtergebnis positiv beeinflussen. Wenn aber z. B. unzureichende Variantenauswahl oder Nichtbeachtung von Entwicklungstrends zu Fehlern oder ungünstigen Teillösungen führten, dann sind solche Änderungen vermeidbar.

Projektänderungen sollten nachträglich nur dann vorgenommen werden, wenn eindeutige Projektierungsfehler festgestellt wurden oder wenn sich wirtschaftlich, kapazitätsmäßig oder technisch grundsätzlich andere Aufgaben- und Zielstellungen ergeben haben.

Für die Projektierung der Anlagenstruktur seien Erkenntnisse *der Materialfluss- und Handhabungstechnik* ergänzt:

6. Grundsatz der Erhaltung der Gutordnung
   Eine vorliegende oder erreichte Ordnung der Güter im Gutstrom sollte beibehalten werden, um den technischen Aufwand zum Wiederherstellen der für den Folgeprozess erforderlichen Ordnung zu vermeiden.
7. Nutzung von Entwicklungserfahrung
   Bewährte technische Lösungen, insbesondere Funktionsprinzipe der im Praxiseinsatz befindlichen branchentypischen Verkettungstechnik und deren *Entwicklungsweg* können Anregung für ein aktuell zu lösendes Problem sein (siehe Schlussfolgerungen Abschn. 4.4.2).

Methoden Die im Projektierungsprozess angewandten, mehr oder weniger spezifischen Methoden charakterisieren die besondere Art und Weise der Lösung von Aufgabenstellungen; sie schließen die Anwendung typischer Projektierungsverfahren und -hilfsmittel ein.

Erforderlich sind Methoden, die zur Erhöhung der Projektqualität beitragen und auch deren Bearbeitungs- und Realisierungszeit verkürzen helfen. Derartige Methoden bauen im Wesentlichen auf den genannten Grundsätzen auf. Dazu gehört auch die Anwendung des Baukastenprinzips (Modulbauweise), das die flexible Nutzung von Projektbausteinen wie z. B. beim Angebotsbeispiel Abschn. 4.5.1 und die *Mehrfachnutzung bewährter Projektteillösungen* ermöglicht.

Aus der klassischen Fabrikplanung, z. B. [2.2] ist eine Vielzahl Methoden zur Lösungsfindung bei schöpferischer Arbeit bekannt: Methoden der Ideenfindung, -ermittlung, -entwicklung, und -verarbeitung. Neuere Literatur, z. B. [2.7, 2.8] teilt derartige Methoden ein in intuitive, analytische und widerspruchsorientierte. Einige seien genannt:

- Brainstorming (Ideenkonferenz)
- Entscheidungstabellen (unterscheidende Merkmale, ordnende Gesichtspunkte)
- ABC-Analyse (Ordnen der Elemente eines Systems nach ihrer Wertigkeit, …)
- Nutzwertanalyse (mehrdimensionales Verfahren, gewichtete Punktbewertung)
- Befragung von Nichtfachleuten (Methode nach *Moliere*)
- Widerspruch-Methode nach *Altschuller*.

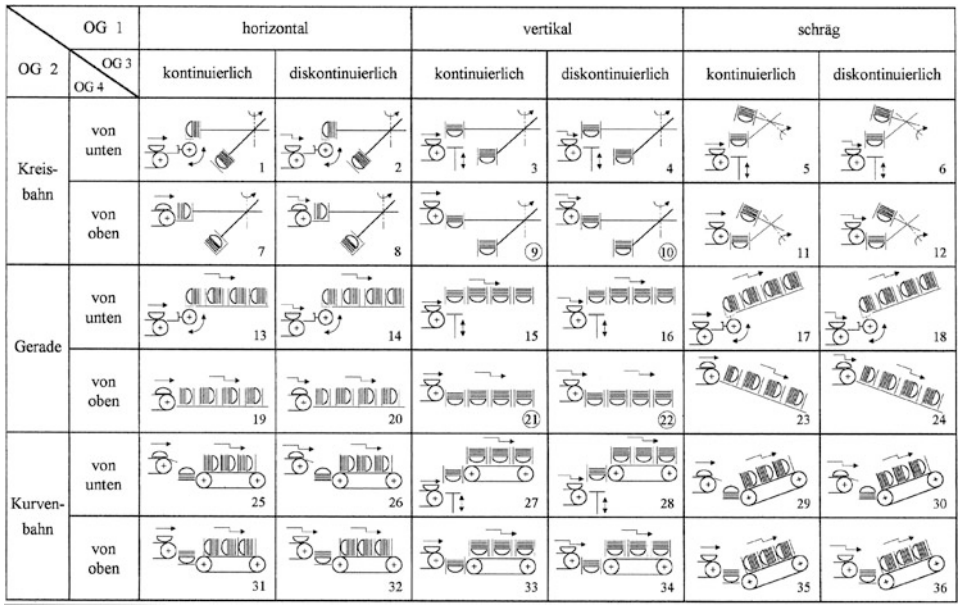


Abb. 2.7 Entscheidungstabelle als Lösungssystem zur Entwicklung eines Verkettungselements [2.9]

Entscheidungstabellen ermöglichen als Ordnungssysteme die übersichtliche Darstellung von Varianten, die nach bestimmten Gesichtspunkten und Merkmalen bewertet werden sollen. Bewährt haben sich solche Tabellen z. B. bei der Auswahl von Verkettungsvarianten und der Entwicklung von Funktionsprinzipen, besonders für kompliziert handhabbares Gut, für das keine handelsübliche Materialflusstechnik in Betracht kommt. Ordnungssysteme z. B. zur Suche funktionserfüllender Prinzipe der Guthandhabung können auf solchen Merkmalen basieren wie:

- Antrieb: kraftschlüssig (Schwerkraft, Reibschluss), formschlüssig (Mitnehmer, Picker, …)
- Bewegungsbahn: geradlinig oder bogenförmig, eben oder räumlich
- Bewegungsablauf: kontinuierlich, diskontinuierlich.

Am Beispiel *Waffelschale* (Abb. 2.7) sind Handling-Grundprinzipe dargestellt als Bewertungsgrundlage zur Auswahl einer Lösungsvariante zur geordneten Übergabe der Produkte einer Backanlage an den Verpackungsprozess; die Waffelschalen verlassen jeweils als Viererblock die Backanlage.

Zur *Widerspruch-Methode*, z. B. in [2.10]: Ausgehend von einer morphologischen Widerspruchmatrix [2.7] wird das Untersuchungsobjekt anhand von technischen Widersprüchen einer kritischen Bewertung unterzogen, aus der im Ergebnis Lösungsmöglichkeiten

hervorgehen. Diese Methode kann Anregungen zu Verbesserungen bzw. Innovationen geben.
Weitere Literatur zu Methoden: [1.13, 2.11].

2.4.2 Verfahren und Hilfsmittel der Planung

In allen Phasen der Planung und Projektabwicklung müssen immer wieder *Entscheidungen* getroffen werden. Der Projektant hat technologische, technische, wirtschaftliche, zeitliche und organisatorische Alternativen zu analysieren, zu bewerten und sich schließlich zu einer Lösung zu entscheiden.

Analyse- und Bewertungsverfahren Es werden folgende Verfahren beispielhaft genannt:

- Break-Even-Verfahren zu Analyse und Bewertung (auch: Gewinnschwelle-Verfahren)
- Portfolio-Analyse
- ABC-Analyse und Bewertungsverfahren
- Nutzwertanalyse (gewichtete Punktbewertung)
- Benchmarking (vergleichende Analyse mit Best- oder Referenzwerten).

Das Break-Even-Verfahren ist am einfachen Beispiel dargestellt (Abb. 2.8). Für die Ersatzinvestition einer Altanlage kommen die Alternativen A oder B in Betracht. A hat geringere Anschaffungskosten (konstante Kosten K_c) als B, dafür aber höhere laufende Kosten, so dass bei B die Gewinnschwelle eher erreicht wird: Anlage B amortisiert sich in kürzerer Zeit. Die geringeren laufenden Kosten bei B können aus geringeren Betriebskosten oder höherer Produktivität resultieren (siehe auch Investitionsrechnungen, Abschn. 10.2).
Weiterführende Literatur und Anwendungen in [2.7].

Planungshilfsmittel Besonders in der Realisierungsphase (Kap. 7) und bei größeren, komplexeren Vorhaben bewähren sich *Planungshilfsmittel*, im Wesentlichen für:

- Projektstrukturplanung: Zerlegung der Projektaufgabe in Teilaufgaben und Arbeitspakete (Abschn. 1.6), Klärung deren Beziehungen und Schnittstellen
- Kapazitäts- und Bedarfsplanung: Materieller- und personeller Bedarf (zu Bearbeitungskapazität des Projektteams siehe auch Kap. 10)
- Zeitablauf- und Terminplanung: Balkendiagramme, Netzpläne zur Vorausplanung der Projektabwicklung (Soll-Abläufe), Terminlisten
- Kostenplanung: Zeitlicher Kostenverlauf (Soll-Kosten)
- Fortschrittskontrolle (turnusmäßiger Soll-Ist-Vergleich) zu Zeitabläufen, Kosten, Material
- Montagepläne (Reihenfolge, Zeitablauf, Soll-Ist-Kontrolle)
- Maßnahmepläne (Aufholen von Zeitverzug, Gegensteuern bei Kostenüberschreitung).

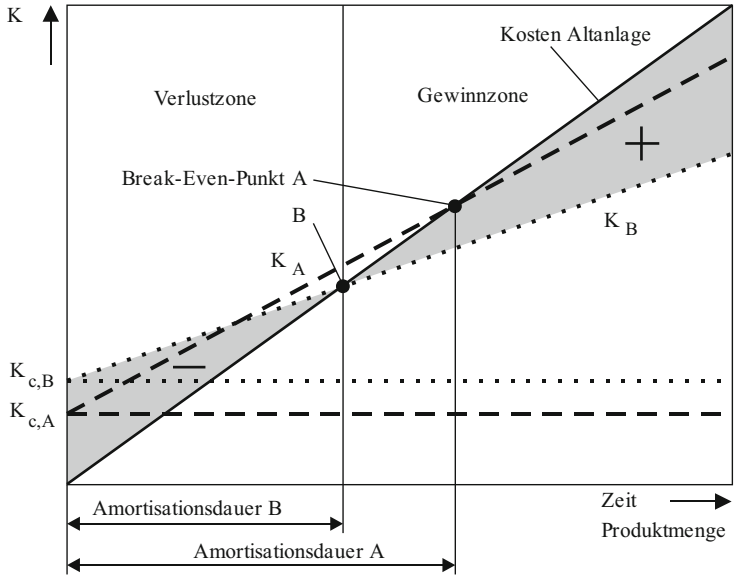


Abb. 2.8 Break-Even-Diagramm am Beispiel einer Wirtschaftlichkeitsbewertung

Weiterführende Literatur und Anwendungen in [1.18, 1.19, 2.7]. Bewährte Planungshilfsmittel sind Balkenplan- und Netzplantechnik (siehe Abschn. 7.2.3 und 7.2.5); letztere mit weitreichenden Möglichkeiten zu Ablaufplanung und Fortschrittskontrolle.

2.4.3 Nutzung EDV

Heute ist die *EDV-Unterstützung* mit einer Vielzahl spezieller IT-Systeme in allen Planungsphasen gängige Praxis. Zur Entwicklung der EDV-gestützten Planung zieht Pawellek [1.21] eine Analyse (Abb. 2.9) und nennt spezielle Anwendungen derartiger Planungs-, Analyse- und Optimierungshilfen in der Fabrikplanung mit solchen Programmen wie PROLOGA (Produktionslogistik-Analysator), MAFLU (Materialflussplanung), LASYS (Lagersystemplanung).

Die technische Entwicklung der EDV-Unterstützung schreitet ständig voran. Soft- und Hardware sind in ständigem Wandel begriffen. Es kann nicht von *dem bevorzugten* IT-Werkzeug allgemein für die Anlagenprojektierung gesprochen werden. Fest steht aber:

Wo noch vor 10 bis 15 Jahren 2D-Projektierung gängige Praxis war, ist heute in vielen Unternehmen 3D Standard.

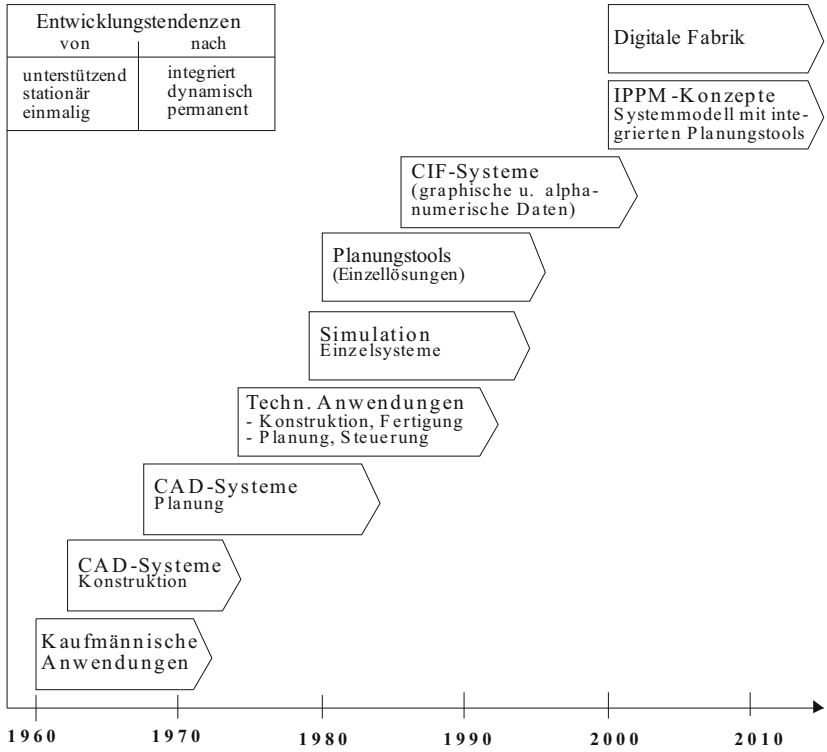


Abb. 2.9 Entwicklung der EDV-gestützten Planung nach [1.21]

Auf heute gebräuchliche *Methoden und Hilfsmittel* sei beispielhaft hingewiesen:

- Allgemein anwendbare, z. B
  - Auto-CAD und Pro Engineer: Anlagenstrukturierung und -gestaltung
  - TCO (*Total Cost of Ownership*): Berechnung von Gesamtlebenszykluskosten
  - ROI (*Return on Investment*): Ermittlung des Rückflusses der Investitionskosten
  - Lifecycle Service: Aufgaben-Auslagerung mit Inspektions-, Support-, Ih-Vertrag
- Branchen- und firmenspezifische, z. B. IT-Lösungen für die Getränkeindustrie [1.24]:
  - MES (*Manufacturing Execution System*): ganzheitliche Betrachtung des Informationsflusses in allen Produktionsbereichen
  - LMS (*Line Management System*): zentrale Auftragsverwaltung mit vorprogrammierter Maschinenparametrierung und schneller Einbindung auftragsbezogener Daten
  - QualiKit, Qualitätsmanagement: Einbindung aller Analysenschritte zur Qualitätskontrolle, chargenorientierte Qualitätssicherung
  - KAM (*Krones Asset Management*), Ih-Management: kontinuierliche und automatische Kontrolle aller Wartungsaufgaben; steigende Anlagenverfügbarkeit durch vorbeugende WartungLDS (*Linien Dokumentations-System*), BDE: auftragsbezogene Er-

fassung von Produktions- und Verbrauchsdaten inklusive Chargenverfolgung, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durch Echtzeit-Analyse und Auswertung historischer Betriebsdaten
- LPA (*Line Performance Analyser*), Leistungsanalyse: verdichtete Verfügbarkeits-, Leistungs-, Qualitäts-, und Auftragsinformationen, Kennzahlenanalyse OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) mit Auftrags- und Schichtbezug, Klassifikation der Stillstandsursachen.

2.5 Besonderheiten der Verarbeitungsanlagen

Der Projektierungsprozess unterscheidet sich in seinen grundsätzlichen Inhalten und Abläufen bei Verarbeitungsanlagen wenig von anderen Anlagen der Stoffwirtschaft. Die hier zu beachtenden Besonderheiten ergeben sich aus der Fachspezifik der Verarbeitungstechnik mit ihren vielfältigen Verfahren, der dazu entwickelten Maschinentechnik sowie der Vielfalt und Eigenschaften der Verarbeitungsgüter mit ihrem dominierenden Einfluss auf das Betriebsverhalten (Kap. 3).

Nichtbeachtung dieser Besonderheiten führt zu kaum korrigierbaren *strukturellen Mängeln* der Anlage, zu mangelhaftem Betriebsverhalten, vor allem hinsichtlich Produktivität und Zuverlässigkeit und damit Wirtschaftlichkeit der Anlageninvestition.

2.5.1 Verarbeitungsgut und Verarbeitungsverfahren

Verarbeitungsgut (VG), herzustellendes Produkt und Verarbeitungsverfahren (siehe Abb. 1.4) sind die entscheidenden Ausgangspunkte für den MTA-Projektanten.

Die Verfahrens- und auch die Verarbeitungstechnik (VAT) unterscheiden darüber hinaus je nach Kompliziertheit differenzierte *Betrachtungsebenen* [1.6]: Verfahren, Verfahrenstufe, Prozess, Teilprozess, Volumenelement, Elementarprozess.

Für das Verarbeitungsverfahren als technologischer Ausgangspunkt genügt hier die Unterscheidung in Verfahren (Prozessfolge) und Prozess.

Verfahrensdokumente für Projektunterlagen

1. *Verfahrensfließbilder* zur Darstellung der VG, Produkte (Zwischen-, End-, Neben-, Abprodukte) und Prozesse, darstellbar durch Symbole (DIN EN 62424, DIN EN ISO 10628):
   - Verfahrensschema: grundsätzliche Beziehungen und Verknüpfungen
   - Grundfließbild: Verfahrensschema mit Angabe von Mengen, Gutströmen, Energieträgern, Betriebsbedingungen wie Temperatur, Druck, Feuchtigkeit
   - Verfahrensfließbild: Grundfließbild mit Informationen zu MTA, Produktivitäten, Energieverbrauch und weiteren
2. Verbale Verfahrensbeschreibung als Ergänzung und zur Erläuterung der Fließbilder.

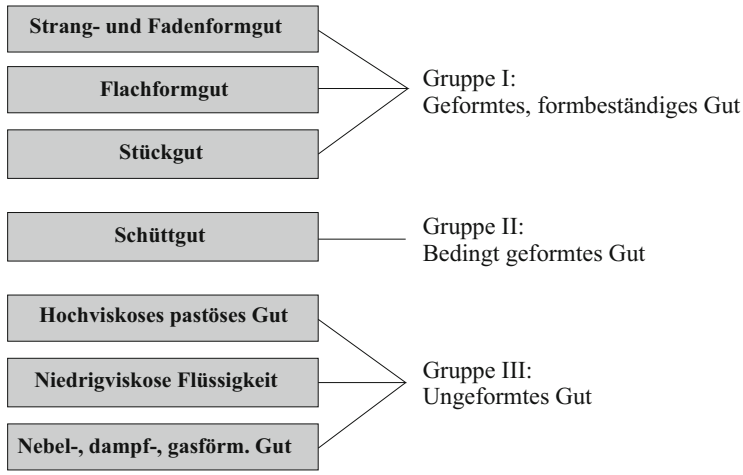


Abb. 2.10 Einteilung der Verarbeitungsgüter nach [1.3] (Kenngrößen, Kennwerte in [2.12])

Wenn auch der Projektant die innermaschinellen Verfahren nicht im Detail zu kennen braucht, so muss er die zwischen den Hauptelementen bestehenden Beziehungen, besonders die zu handhabenden Gutströme genau kennen, um diese maschinell verketten zu können.

Für ein herzustellendes Produkt – das Konsumgut als Endprodukt – ist mitunter eine Vielzahl unterschiedlicher Ausgangsstoffe erforderlich, die als VG in den technologischen Prozessen der Anlage der zielgerichteten Verarbeitung unterliegen. Um die Vielfalt zu verarbeitender Güter rationell geeigneten Verarbeitungsprozessen und -verfahren systematisch zuzuordnen, hat die VAT die Güter nach ihrem ähnlichen Verarbeitungsverhalten in *Gutgruppen* und *Gutvarianten* eingeteilt (Abb. 2.10).

Diese Einteilung ist nicht nur für die Verarbeitung bedeutsam, sondern auch für *Verkettungsprozesse*, da die zu Grunde liegenden Gutmerkmale die wichtigste Ausgangsbasis zur Auswahl geeigneter Förderprinzipe und weiterer Prinzipe der Gutstromhandhabung sind.

Oft benötigte *Gut-Kennwerte* wie *Schüttdichte, Reibwerte, Schüttwinkel* sind einem Kennwertspeicher der VAT [2.12] für eine Vielzahl von Gutbeispielen zu entnehmen, die darüber hinaus auch Analogieschlüsse ermöglichen. Zur besseren Anschaulichkeit sind in Tab. 2.1 beispielhaft allgemein bekannte Güter genannt mit Unterscheidungsmerkmalen der Gutvarianten. Der Projektant muss mindestens die zur Verkettung der Gutströme bedeutsamen Eigenschaften wie Geometrie, Flexibilität, Handhabbarkeit (weitere in Abschn. 4.3) kennen.

Die der Anlage zugeführten Güter durchlaufen vom Eingangszustand zum Fertigprodukt die Anlage in *unterschiedlichen Gutvarianten*. Zur Herstellung z. B. von Teigwaren können die *Schüttgüter* Mehl, Eipulver und Farbe mit der *Flüssigkeit* Wasser gemischt und zu *pastösem Gut* Teig verarbeitet werden, das extrudiert und geschnitten als *Schüttgut* getrocknet und schließlich in eine Schachtel zum *Stückgut* verpackt wird. Deshalb sind in einer Anlage *unterschiedlichste Verkettungsmittel* erforderlich.

Tab. 2.1 Gutbeispiele und ausgewählte Merkmale der Gutvarianten

Gutvariante		Merkmal nach [1.3]	Gutbeispiele
I	Strang- und Fadenformgut	$H/B \approx 0{,}1 \ldots 1$; $B/L \approx 0 \ldots 10^{-2}$	Spaghetti, Textilfaden, Faserband
	Flachformgut	$H/B \approx 10^{-4} \ldots 10^{-1}$	Kunststoff-, Teig-, Papier-, Textil-Laminatbahn; Vlies, Gewebe, Folie, Leder, Häute, Felle, Papierblatt
		bahnförmig: $B/L \approx 0 \ldots 10^{-2}$ blattförmig: $B/L \approx 10^{-2} \ldots 1$	
	Stückgut	$H/B \approx 10^{-1} \ldots 1$; $B/L \approx 10^{-2} \ldots 1$	Butterstück, Joghurtbecher, Flasche, Schachtel, Schokoriegel, Praline, Buch
II	Schüttgut	lose Zusammenlagerung von Einzelteilchen	Getreide, Hülsenfrüchte, Kristallzucker, Kakaopulver
III	Hochviskoses pastöses Gut	hohe Viskosität, teilweise plastisches Fließverhalten	Schokoladenmasse, Butter, Teig, Keramikmasse, Druckfarbe, Zahncreme
	Niedrigviskose Flüssigkeit	geringe Viskosität, Newtonsches Fließverhalten	Wasser, Öl, Milch, Wein, Lösungsmittel
	Nebel, Dämpfe, Gase	Gase und Aerosole als kontinuierliche Phase mit dispersen Feststoff- oder Flüssigkeitsteilchen in geringen Volumenanteilen, z. B. Stickstoff, CO_2, Lacknebel	

H, B, L: Höhe, Breite, Länge

Situation zu Beginn Für den Projektanten ist die Situation zu Beginn meist kompliziert:

1. Die Kenntnis aller erforderlichen Ausgangspunkte ist oft *unvollständig*, so dass noch weitere Klärung mit der *Aufgabenpräzisierung* erfolgen muss.
2. Die zunächst mit der Aufgabenstellung (AST) vorgegebenen Informationen z. B. zum VG dürfen nicht einfach hingenommen werden, sondern es ist immer für eine optimale Gesamtlösung auch auf diese rückkoppelnd einzuwirken.

So kann es sein, dass zunächst formulierte *Qualitätsanforderungen* zum VG, z. B. Toleranzforderungen überzogen, nicht unbedingt erforderlich sind oder sich das Verfahren so maschinentechnisch nicht optimal realisieren lässt. Durch Änderung von Qualitätsanforderungen – wie Entfeinerung von Toleranzen – ist oft eine günstigere Maschinentechnik möglich. Ursprünglich überhöhte Anforderungen von AG/Betreiber können aus Sicherheitsbedürfnis oder Konkurrenzgründen resultieren. Der Projektant sollte die technischen Möglichkeiten darstellen und so gemeinsam mit dem AG *überzogene Forderungen entschärfen*.

Weitere Bedingungen, die bezüglich VG und Verfahren zu beachten sind:

1. Ist das VG ein *Naturprodukt*, sind besonders schwankende Guteigenschaften zu erwarten (Herkunftsland, Wachstums- und Gewinnungsbedingungen), die Einfluss auf Verarbeitbarkeit und zu wählende Verarbeitungsgeschwindigkeit, meist Betriebsdrehzahl, haben. Der Projektant sollte hier der Anlagenkapazität unterschiedliche, gut- und

produktspezifische Betriebsdrehzahlen oder Drehzahlbereiche zu Grunde legen und im Projekt als *Betriebsanweisungen* für den Betreiber dokumentieren (siehe auch Abschn. 3.2).

2. Neben bekannten und gewünschten Guteigenschaften können bei manchem VG innerhalb der Anlage *weitere Eigenschaften* [2.13] bedeutsam werden, wie:
   - Förderbarkeit: Standsicherheit, Widerstand gegen Qualitätsminderung
   - Speicherbarkeit (Zeitfaktor): Manche Eigenschaften sind erst nach längerer Speicherzeit bedeutsam, z. B. Adhäsionsneigung, Widerstand gegen Staudruck, Haltbarkeit.
3. Ist das herzustellende Produkt ein *saison- und modebedingtes Konsumgut*, muss der Projektant dem Rechnung tragen: Die Anlage sollte eine gewisse Flexibilität aufweisen – bei Sortimentsproduktion ohnehin erforderlich – und möglichst ohne größeren technischen Aufwand umrüstbar sein, so durch:
   - Stellbereiche zur Formatumstellung: automatische Anpassung oder manuelle Einstellung
   - Umstellung durch Austausch von Formatsätzen, Beispiel: Etikettiermaschinen in Getränkeabfüllanlagen.
4. *Verarbeitungsverfahren* unterliegen im Zuge des technischen Fortschritts einer Dynamik: Neue oder veränderte Produkte erfordern neue oder modifizierte Verfahren.
5. *Wissenschaftlich-technische Neuerungen* ermöglichen günstigere Verarbeitung oder überhaupt erst die maschinelle Herstellung mancher Produkte. Die Anlage ist für einen großen Zeitraum, die Nutzungsdauer, zu konzipieren. Bis zur Inbetriebnahme vergehen nicht selten mehrere Jahre. Dagegen schreitet die Verfahrensentwicklung relativ schnell voran. Der Projektant ist bestrebt, der Anlage das modernste Verfahren zum Zeitpunkt der Planung zu Grunde zu legen. Daraus folgt, dass ein Verfahren zu diesem Zeitpunkt noch unausgereift sein kann. Deshalb sind immer *zu Beginn solche Fragen* zu klären:
   - Wie technisch *sicher* ist das Verfahren, welches Risiko liegt vor, welches ist tragbar?
   - Sind *Ausweichmöglichkeiten* bei Nichtbewährung des neuen Verfahrens vorzusehen? Wenn ja, dann Rückgriff auf ein älteres Verfahren?
   - Kommen Ausweichmöglichkeiten nur zeitweilig – als Interimslösung bis zur Praxisreife des neuen Verfahrens – oder als dauerhafte Alternative in Betracht?
   - Ist bei neuem VG oder bei neuem Verfahren die Verarbeitbarkeit durch *Bemusterung unter praxisnahen Bedingungen* zu klären?

2.5.2 Verarbeitungstechnisch bedingte Gutströme

Anlagenspezifische Gutströme der VAT sind so vielfältig wie die zu verarbeitenden Güter und Verfahren. Hinzu kommen prozess- und strukturbedingte Anforderungen, die bei der Verkettung der Elemente zu beachten sind. Der von einer Maschine abgegebene Gutstrom ist in seinen geometrischen und anderen Eigenschaften verfahrens- und maschinentech-

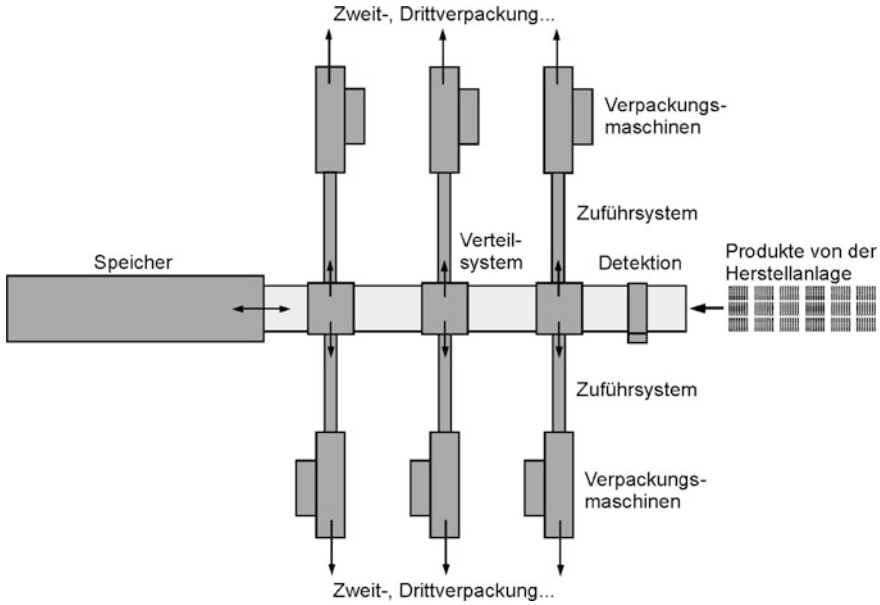


Abb. 2.11 Verkettung verarbeitungsbedingter Gutströme am Beispiel THEEGARTEN-PACTEC [1.25]

nisch bedingt. Der Projektant hat bei der Anlagenstrukturierung *zwei Fälle* zu unterscheiden:

1. Der Ausgangsstrom eines Elements kann unmittelbar Eingangsstrom des nächsten Elements sein – einfachster Fall.
2. Ist dies nicht möglich, erfordert die Verkettung Koppelelemente zur Gutstrom-Umformung.

Nichthomogene Gutströme, von solchen ist bei Gutströmen der Gutgruppe I meist auszugehen, stellen an die Verkettung erhöhte Anforderungen (Abb. 2.11). Dazu zählen besonders

- mehrbahnige Stückgut-, Flachformgut- und Strangformgutströme, die geometrisch geordnet eine Maschine verlassen, deren weitere Verarbeitung aber eine andere Gutordnung erfordert, z. B. kleinstückige Süß- und Dauerbackwaren-Gutströme, die für die Verpackung in einzelne Bahnen aufzuteilen sind
- kleinstückige Gutströme, die eine Maschine als Schüttgut verlassen, deren Weiterverarbeitung aber eine bestimmte Gutordnung erfordert, z. B. Tabletten oder Pastillen und deren Verpackung in Blister.

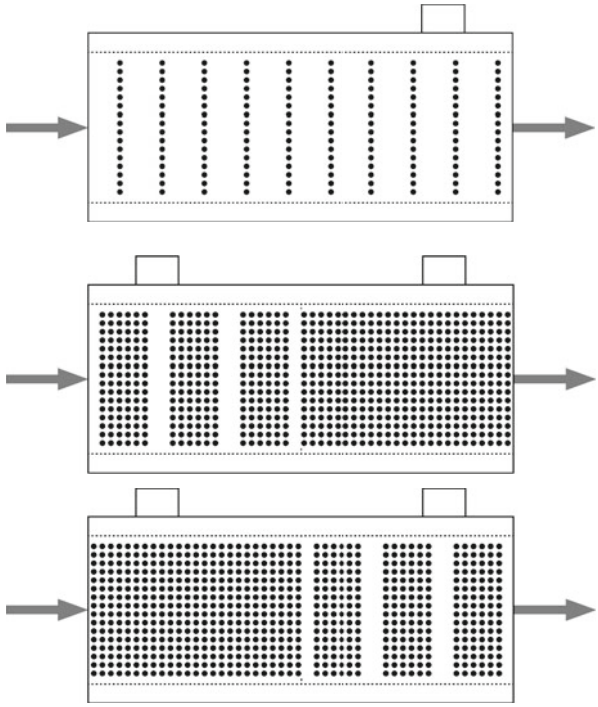
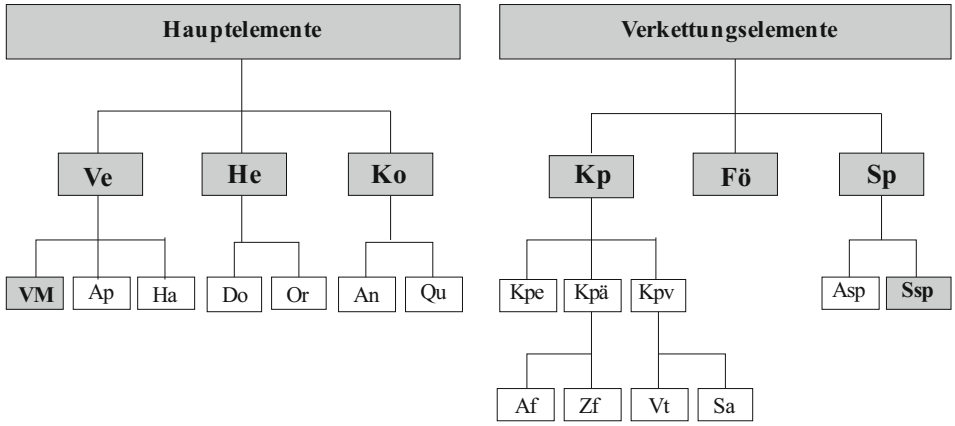


Abb. 2.12 Gutstromvarianten am Beispiel kleinstückiger Güter [1.25]

Dieses Beispiel zeigt ein modular konzipiertes Verpackungssystem für kleinstückige Süßwaren, bei dem prozessbedingte mehrbahnige Gutströme der Herstellanlage an Verteilsystemen in ein- oder mehrbahnige Gutströme für die Verpackungsmaschinen durch komplizierte Verkettungstechnik [2.14] umgeformt wird. Besonderer Anspruch dieses Systems ist die kundenspezifische Konfiguration hinsichtlich VG-Format, Gutordnung und Produktivität (siehe auch Gestaltungsbeispiel Abschn. 6.6.2). So kann die Herstellung neben gleichverteilten ein- oder mehrbahnigen Gutströmen auch kompliziertere Ströme mit zusätzlich längs- und quergeteilten Gutgruppen in technologisch bedingten Abständen liefern.

Abbildung 2.12 zeigt Beispiele kleinstückiger Gutströme, die eine Herstellanlage geordnet verlassen und für spätere Prozesse umgeformt werden müssen.

Mehr zu Gutstromspezifik und Verkettungsmöglichkeiten in Abschn. 4.3, 4.4 und 4.5.



Ve	*Verarbeitungselement*	*Kp*	*Koppelelement*	*Fö*	*Förderer*
VM	Verarbeitungsmaschine	Kpe	Kp zum Erhalten der Gutordnung		
Ap	Apparat	Kpä	Kp zum Ändern der Gutordnung		
Ha	Handarbeitsplatz	Kpv	Kp zum Gutstromverzweigen	*Sp*	*Speicher*
He	Handhabungselement	Vt	Verteilelement	Asp	Ausgleichsspeicher
Do	Dosierelement	Sa	Sammelelement	Ssp	Störungsspeicher
Or	Gutordnungselement	Af	Auseinanderführungselement		
Ko	Kontrollelement	Zf	Zusammenführungselement		
An	Anwesenheits-Kontrollelement				
Qu	Qualitäts-Kontrollelement				

Abb. 2.13 Die Anlagenelemente des Stoffsystems [2.16]

2.5.3 Maschinentechnische Ausrüstungen – die Anlagenelemente

Während Abschn. 1.4 einen Überblick über die Funktionsbereiche der Anlage, die entsprechenden Teilsysteme und die Elementearten des Stoffsystems gibt, ausgehend von der zu erfüllenden Funktion, werden nun die Anlagenelemente weiter spezifiziert.

Die in Abb. 2.13 dargestellten maschinentechnischen Ausrüstungen (MTA) sind die Elemente der Anlage, mit denen sich der MTA-Projektant vorrangig zu befassen hat. Wegen ihrer repräsentativen Funktion sind *Verarbeitungsmaschine* als wichtigste Hauptausrüstung und *Störungsspeicher* als zuverlässigkeitserhöhendes Mittel besonders hervorgehoben.

Entsprechend ihrer Funktion sind die *Hauptausrüstungen* und die *Verkettungselemente* so weit unterteilt, wie es die Planung der Anlagenstruktur im Allgemeinen erfordert. Das schließt eine brancheninterne weitere Unterteilung mancher Elemente nicht aus.

So kann es sinnvoll sein, die Maschine weiter in *Grundmaschine* und wahlweise einsetzbare *Zusatzbaugruppen* zu spezifizieren, z. B. eine Etikettiermaschine mit sortimentsabhängigen *Formatbaugruppen*, die im Projekt zu begründen und in der Ausrüstungsliste separat, mit eigener Position aufzuführen sind.

Es können auch die Förderer weiter in *Stetig-* und *Unstetigförderer* unterteilt werden usw.

Hauptausrüstungen Die Hauptausrüstungen sind die entscheidenden Elemente des Systems Anlage und von diesen wiederum die Maschinen, da hauptsächlich diese die Verarbeitungsprozesse vollziehen.

Die Darstellung verarbeitungstechnischer Erkenntnisse und charakteristischer Zusammenhänge geht deshalb im Folgenden von der Maschine aus. Am Beispiel der Maschine vermittelte Erkenntnisse sind mehr oder weniger auf die anderen Hauptausrüstungen und in bestimmtem Maße auch auf die Verkettungselemente übertragbar.

Verarbeitungsmaschine [1.2, 1.3] Die VAT unterscheidet bezüglich der *Arbeitsweise* der Maschine drei Klassen:

Klasse I zyklisch arbeitende Maschinen (Chargenbetrieb)
Klasse II diskontinuierlich arbeitende Maschinen (getakteter Betrieb)
Klasse III kontinuierlich arbeitende Maschinen (kontinuierlicher Betrieb).

Dieser Unterscheidung liegt die *Arbeitsweise der Wirkpaare (WP)* zu Grunde, die sich aus zeitlichem Ablauf der Einwirkung und Guttransport durch die Maschine ergibt. WP sind Stellen der Maschine, in denen die Arbeitsorgane unmittelbar auf das VG in Realisierung des Verarbeitungsprozesses einwirken (siehe auch Abschn. 1.4).

Im Ergebnis der verfahrens- und maschinentechnischen Entwicklung dominiert die *kontinuierliche Arbeitsweise*, Klasse III, die höhere Produktivitäten ermöglicht und bessere Voraussetzungen zur Automatisierung bietet. Diskontinuierlicher und Chargenbetrieb sind überall dort noch anzutreffen, wo dies entweder das Verarbeitungsverfahren erfordert oder infolge zu geringer Produktmengen wirtschaftlich begründet ist.
Hinsichtlich *Steuerung* sind drei Automatisierungsstufen unterscheidbar:

Stufe 1 handgesteuerter Betrieb
Stufe 2 halbautomatischer Betrieb
Stufe 3 automatischer Betrieb.

Bei Stufe 1 leitet die Bedienperson jeweils den nächsten Arbeitstakt der Maschine von Hand ein, bei Stufe 2 laufen bestimmte Abläufe automatisch ab, andere erfordern noch Steuerungseingriffe des Bedieners. Demzufolge werden die Maschinen unterschieden in:

- *Handbediente Maschinen*, z. B. Bügelpresse: Bediener liefert mechanische Energie und Signal zur Durchführung und Steuerung der Verarbeitungsvorgänge sowie zur VG-Zuführung und Produktabführung
- *Teilautomatische Maschinen*, Teilautomaten, z. B. Knopfnähmaschine: Bediener liefert Signal zur Steuerung der Verarbeitungsvorgänge, übernimmt oder unterstützt VG-Zuführung und Produktabführung
- *Automatische Maschinen*, Automaten, z. B. Webmaschine, Verpackungsmaschine: Bediener überwacht Arbeitsablauf und verändert gegebenenfalls – bei Sortimentswechsel oder aus Gründen schwankender VG-Qualität – den Programmablauf.

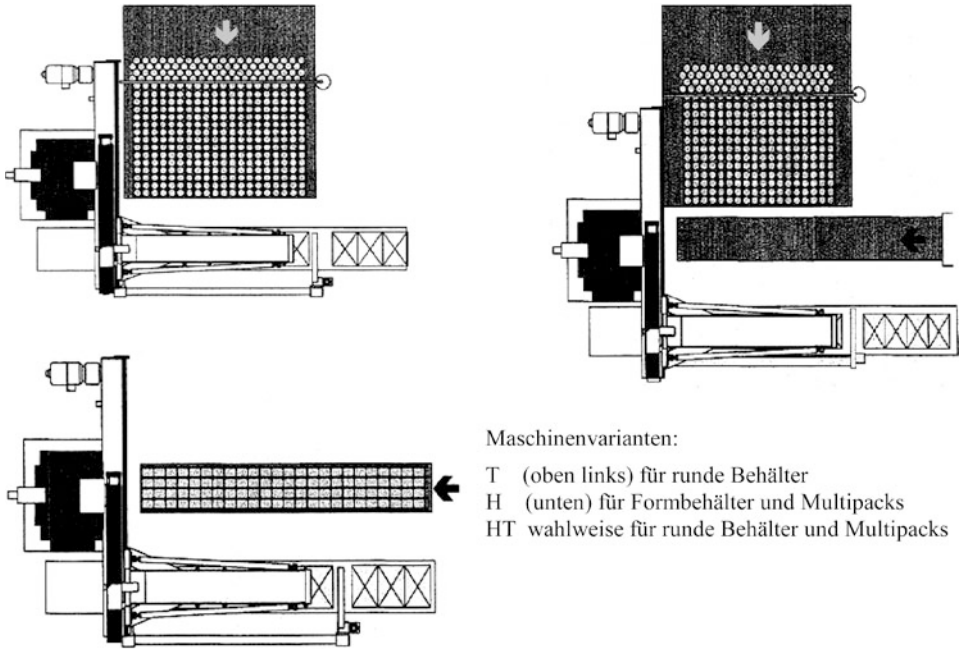


Abb. 2.14 Flexible Maschine am Beispiel Kastenpacker Linapac II von KRONES AG [1.24]

Moderne Maschinen sind oft in *Modulbauweise* konzipiert für *flexiblen Einsatz*:

- verfahrensflexibel hinsichtlich VG- und Produktsortiment
- raumflexibel hinsichtlich möglicher Aufstellungsvarianten, besonders der Gutzuführungs- und Produktabführungsrichtungen.

Diese Maschinen ermöglichen eine flexible Projektierung hinsichtlich Produktsortiment, räumlicher Anordnung und somit eine flexible Linienführung der Anlage.

Besonders fortgeschritten ist die Modulbauweise in der Verpackungstechnik, z. B. bei Maschinen in Getränkeabfüllanlagen: Etikettiermaschinen, Palettier- und Entpalettiermaschinen, Kastenauspacker/-einpacker (Abb. 2.14) sind hinsichtlich VG und räumlicher Anordnung weitgehend flexibel einsetzbar.

Handhabungs- und Kontrollelemente Diese Elemente haben *qualitätsgerechte Gutströme* für Folgeprozesse der Anlage zu gewährleisten; sie erfüllen Funktionen wie:

- Dosieren: Herstellen/Abteilen der für den Folgeprozess benötigten Gutmenge
- Ordnen: Herstellen/Wiederherstellen einer bestimmten Gutordnung
- Kontrollieren der Anwesenheit: Gut *nicht da* bedeutet *Lücke* im Strom

- Kontrollieren der Qualität: Nichtqualitätsgerechtes Gut ist auszuschleusen, auszusortieren.

Zu diesen Funktionen und zu funktionserfüllenden Prinzipen wird auf Mechanismen einer Datenbank der VAT [2.12] und auf [2.13–2.18] verwiesen. Besonders die Elemente zum Ordnen und Kontrollieren sind oft gemeinsam mit Koppelelementen zu betrachten.

Haben die Hauptausrüstungen *eigene Organe* für Gutaufnahme und Produktabgabe und erfolgt dies außerdem in einbahnigen Gutströmen, ist deren funktionelle Einordnung bei der Systemstrukturierung meist unproblematisch. Beispiele: Einlauf- und Auslaufsterne bei Flaschenfüll- und Etikettiermaschinen in Getränkeabfüllanlagen.

Verkettungselemente [2.14–2.22] Nach ihrer Funktion im System Anlage werden diese Elemente in *Förderer, Speicher und Koppelelemente* unterschieden (siehe auch Abschn. 1.4 und Abb. 2.13). Hierfür kommen Förderer wie Bandförderer, Kettenförderer oder einzelne Elemente der Materialflusstechnik wie Tragrollen, Transportketten usw. in Betracht.

In Verarbeitungsanlagen werden sowohl *Stetigförderer* als auch *Unstetigförderer* eingesetzt, je nach *Verkettungsgrad der Gutstromkopplung*:

- Stetigförderer bei hohem Verkettungsgrad zur maschinellen Kopplung meist kontinuierlich oder getaktet ablaufender Gutströme
- Unstetigförderer zur Gutstromkopplung an Schnittstellen mit niedrigerem Verkettungsgrad, so innerhalb einer Anlage oder zu anderen Anlagen und Teilsystemen des Betriebes, so zum Wareneingangs- oder -ausgangslager (siehe Abb. 1.3), deren Gutströme nicht maschinell miteinander gekoppelt sind und keine Kontinuität an diesen Stellen erfordern, z. B. der Palettentransport mittels Gabelstapler, der Kannentransport in Spinnereien (Abschn. 5.5).

Innerhalb der Anlage dominieren Stetigförderer und diese in meist ortsfester Anordnung.

Unter *Verkettungsgrad* soll der Grad der Automatisierung und Kontinuität der Gutstromkopplung verstanden werden. Dieser ist am höchsten bei automatisch und kontinuierlich ablaufendem Gutfluss – analog Klasse III der Maschine; er ist demzufolge bei ausschließlich manuellem Gutfluss am niedrigsten. Ausschließlich manueller Gutfluss ist in entwickelten Industrieländern lange schon die seltene Ausnahme. Zumindest kommen solche Unstetigförderer wie Gabelstapler oder Gabelhubwagen, meist in Verbindung mit Transport-, Lagerhilfsmitteln und weiteren Mitteln der Materialflusstechnik [2.20] zum Einsatz.

Auf die *Vielfalt* der allgemein einsetzbaren, handelsüblichen *Stetigförderer und Zubehörgeräte*, sei hier vorab nur hingewiesen (ausführlicher in Kap. 4):

- DIN 15201, Teil 1 – Begriffe – veranschaulicht 10 Gruppen von Stetigförderern
- DIN 15201, Teil 2 – Zubehörgeräte – veranschaulicht Zusatzeinrichtungen, die der Zuführung, Verteilung, Zusammenführung, Ordnung, Abführung oder Messung des Fördergutes dienen, gegliedert in 5 Gruppen.

2.5.4 Betrieb, Steuerung, Prozessüberwachung

Dieser Abschnitt beschränkt sich auf einige *Besonderheiten* bei Verarbeitungsanlagen und *Hinweise* der Übersicht halber zur Steuerung maschinentechnischer Ausrüstungen und Anlagen. Ansonsten wird auf die einschlägige Literatur verwiesen sowie auf spezielle zu Antrieb und Steuerung verarbeitungstechnischer Systeme, z. B. [2.23–2.26]. Hingewiesen sei auch auf aktuelle *Entwicklungstrends* zu *energieeffizienten Antrieben* für fördertechnische Anlagen, die auch für Anlagen der VAT relevant sind, z. B. [2.27].
Das Steuerungssystem der Anlage ist charakterisiert durch

- die Steuerung der Maschinen und anderen Anlagenelemente
- die den Anlagenelementen übergeordnete, die Elementefunktion koordinierende Steuerung, die nach einem hierarchischen Konzept strukturierte Steuerungstechnik auf Anlagenebene.

Der Stand der Technik ermöglicht es, in das eigentliche Steuerungssystem der Anlage neben der Antriebssteuerung der MTA weitere Funktionen einzubeziehen, so Funktionen der Prozessüberwachung, -steuerung und -regelung.
Prozessüberwachung kann beinhalten:

1. Erfassung und Berechnung spezifischer Prozesskenngrößen
2. Kommunikation mit Bedien- und Überwachungspersonal bei möglicher manueller Dateneingabe/Datenkorrektur
3. Signalisation kritischer Prozesssituationen, z. B. Faserbandalarm in Spinnereianlagen
4. Anzeige aktueller Prozesssituationen wie Störungen, Kennwerte wesentlicher Größen, z. B. Bandfeinheit und Anzeige von Handlungsanweisungen
5. Trendüberwachung und Vorhersage von Prozesssituationsänderungen, z. B. Verläufe der Bandfeinheit über wählbare Intervalle
6. Protokollierung des Prozessablaufes, Langzeitspeicherung von Prozessdaten
7. Überwachung technischer Zustände bis hin zu Diagnostik, z. B. Anzeige auszutauschender Schneidmesser, deren Schneide die Toleranzgrenzen bald oder bereits erreicht hat.

Prozesssteuerung/-regelung kann umfassen:

1. Prozessführung: Steuerung der einzelnen Prozessphasen innerhalb des Prozessablaufes unter Berücksichtigung möglicher Zustände
2. Prozesssicherung: Verhinderung den Prozess gefährdender Zustände
3. Prozessstabilisierung: Stabilisierung ausgewählter Prozessvariablen bei gestörtem Betrieb innerhalb eines Sollbereiches zur Erfüllung z. B. bestimmter Effektivitätsanforderungen

4. Prozessoptimierung: Auswahl von Zielfunktionen nach aus Prozessanalyse gewonnenen Daten und Steuerung ausgewählter Regelgrößen nach diesen Funktionen.

Komplexe Anlagen erfordern *hierarchisch strukturierte Steuerungssysteme*, z. B. in vier Ebenen mit entsprechender Anlagentechnik:

1. Prozessebene: Sensoren/Aktoren
2. Maschinenebene: Maschinensteuerungen
3. Anlagenebene: Anlagensteuerung
4. Leitebene: Leitsysteme.

Der MTA-Projektant muss in der *Aufgabenstellung zur Steuerungstechnik* alle möglichen Betriebszustände der Anlagenelemente einbeziehen:

1. Nennlastbetrieb der Anlage mit Q_{rp} = konst. oder in zulässigen Grenzen schwankender Produktivität $Q_r(t)$, siehe Abschn. 3.2
2. An- und Abfahren der Anlage bei Beginn/Ende der Betriebszeit oder bei Sortimentswechsel
3. Stillsetzung der Anlage oder Leerlauf infolge Ausfall eigener Elemente oder angrenzender Systeme
4. Wiederinbetriebnahme nach Stillstand oder Ausfall
5. NOT-AUS der Anlage oder einzelner Anlagenteile (nach DIN EN ISO 12100 *Not-Halt*).

Bei NOT-AUS sind in der Verzögerungsphase eine bestimmte Funktionserfüllung und die technische Sicherheit gegen Überlastung der MTA zu fordern. Vor Wiederinbetriebnahme können visuelle Kontrolle und manueller Eingriff in den Gutstrom zur Beseitigung von Gutstau vorgesehen sein.

Zur Gewährleitung technischer Sicherheit und kontinuierlicher Gutströme haben sich die Anlagenelemente antriebs- und signalseitig übergeordneter Betriebsstrategien unterzuordnen., z. B. unter die aus der Fördertechnik bekannte Anfahr- und Signalordnung. *Störeinflüsse* auf die Kontinuität des Gutstromes wie

- Gutrückstau im Ausgangsstrom einer MTA
- Gutüberschuss, nichthandhabungsgerechtes Gut oder unzulässige Gutordnung im Eingangsstrom einer MTA

sind durch geeignete Mittel stromab bzw. stromauf fernzuhalten.

Den Erfordernissen der Automatisierung folgend, ging und geht die Entwicklung der Antriebs- und Steuerungstechnik immer mehr zu stufenlos stellbaren und dezentralen, peripheren Antrieben, die eine bessere Anpassung an die Prozessdynamik der Verarbeitung und einen effektiveren Anlagenbetrieb ermöglichen.

So wird z. B. der Antrieb von Arbeitsorganen moderner Verarbeitungsmaschinen immer mehr peripher angesteuert (Abb. 2.15).

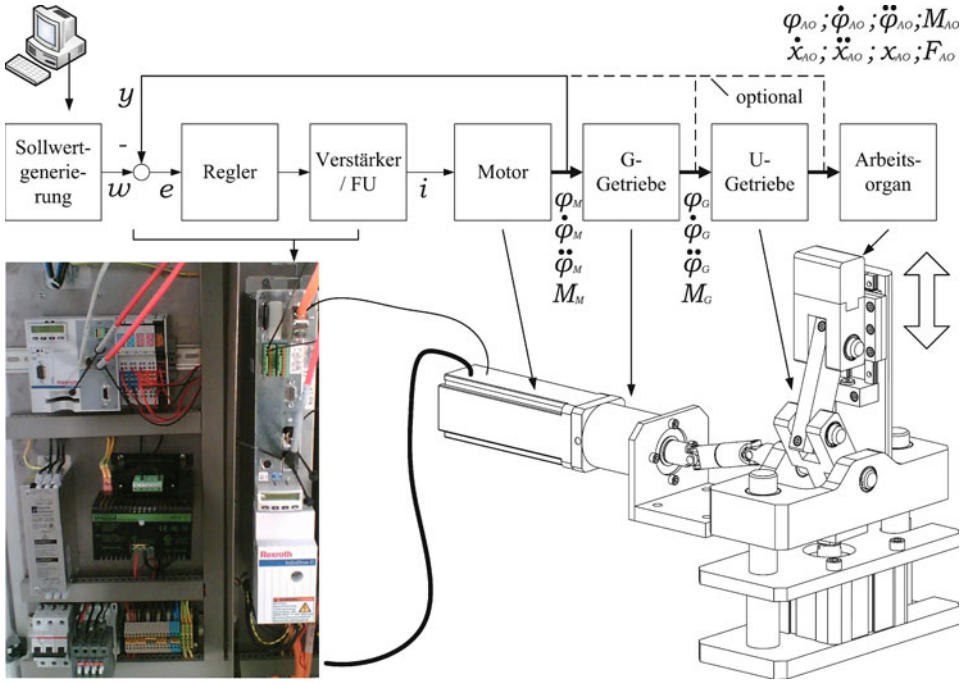


Abb. 2.15 Typische Antriebssteuerung eines Arbeitsorgans von Verarbeitungsmaschinen [2.23]

Voraussetzungen für einen hohen Automatisierungsgrad der Anlage sind:

1. Hinreichend zuverlässige Anlagenelemente, ermöglicht
   - maschinentechnisch durch Hersteller und Anwender (Instandhaltung, Fahrweise)
   - verarbeitungstechnisch durch qualitätsgerechte VG (Maßtoleranzen, Stoffparameter)
2. Automatisierte Kontrollprozesse nach jedem technologischen Prozess, z. B. zum Erkennen und Ausschleusen nichtqualitätsgerechter VG und Zwischenprodukte, z. B. mit Ausschleusern gekoppelte Flascheninspektoren in Abfüllanlagen (Abschn. 1.8)
3. Prozesserkennungstechnik zum Erfassen aktueller Zustände (Füllstand von Speichern, …).

Grundsätzliche Betriebsstrategien Die zu wählende *Betriebsstrategie* einer MTA als Grundlage für den Entwurf des Steuerungskonzeptes hängt wesentlich von der verarbeitungstechnisch gewählten bzw. festliegenden Prozessführung ab.

Nach dem *Zeitverhalten der Produktivität* sind grundsätzlich *zwei Strategien* zu unterscheiden (siehe Abschn. 3.2):

Strategie I: Betrieb mit *fester* Produktivität Q_r = konst.; bei VM oft n_p = konst.
Strategie II: Betrieb mit *variabler* Produktivität $Q_r = f(t)$ bei Nutzung der internen Redundanz φ im gestörten Anlagenbetrieb.

Strategie II ist zumindest bei den Hauptelementen immer mehr vorherrschend. Für stellbare Antriebe kommen thyristor- oder frequenzgesteuerte Motore und Stellgetriebe, auch polumschaltbare Motore und Schaltgetriebe zum Einsatz. Strategie I kann verarbeitungsbedingt erforderlich sein, z. B. bei Fünfwalzwerken für Schokoladenmassen (Abschn. 4.5.1).

Ein Steuerungskonzept muss neben den bekannten Grundlagen für stoffverarbeitende Anlagen auch anlagenspezifische Besonderheiten berücksichtigen und Forderungen erfüllen, so z. B. bestimmte Gutstromverhältnisse an Schnittstellen/Koppelstellen, die bei Bedarf zur Steuerung der Arbeitsgeschwindigkeit angrenzender Maschinen dienen.

2.5.5 Restriktionen für den Projektanten

Der Projektierungsprozess ist durch viele Restriktionen gekennzeichnet. Bei Verarbeitungsanlagen ergeben sich diese besonders aus den *Einsatzbedingungen*, die nach ihrem Einfluss auf den Projektierungsprozess gruppiert etwa in folgender Rangfolge wirken können:

1. VG, Verarbeitungshilfsmittel, herzustellendes Produkt
2. Verarbeitungsverfahren
3. Zwänge aus dem Gutstrom-Handling, aus der Gutstrom-Verkettung
4. Gegebenheiten des Standortes: Flächen, lichte Raumhöhe, feste Einbauten, …
5. Restriktionen aus weiteren Einflussfaktoren (siehe auch Abb. 4.1, Abschn. 4.1) sind z. B.
   - Kosten, Termine: einzuhaltende Vorgaben
   - extreme klimatische Bedingungen: z. B. tropische
   - Arbeitskräfte: Qualifikationsniveau, Leistungsfähigkeit
   - Produktionslogistik: Auftragsdurchlauf, Schichtregime, Springertätigkeit.

Besonders die Gruppen 1 bis 3 können an den MTA-Projektanten erhöhte Anforderungen stellen, sind sie doch für den Nicht-Verarbeitungstechniker fachspezifische Restriktionen.

Sind Verfahren und VG (Abschn. 3.1) vorgegeben, hat der Projektant darauf kaum noch Einfluss. Er muss mit einschlägigen Lieferanten die geeigneten MTA vorauswählen und spezifische Anforderungen wie Maschinenspezifikationen vereinbaren. Erfüllen Lieferprogramme nicht diese Anforderungen (siehe auch Abschn. 4.4), sind *Sonderausführungen* erforderlich.

Der für die Strukturierung maßgebende Gutstrom kann bestimmte, begrenzte funktionelle und räumliche Gestaltungslösungen erzwingen, z. B. die Weiterverarbeitung eines

mehrbahnigen Stückgutstromes nach Backöfen oder Gießanlagen. Relativ langsame mehrbahnige Gutströme sind oft auch für Verpackungsprozesse zu einbahnigen Strömen hoher Geschwindigkeit zusammenzuführen und mit Lücken für bestimmte Eingriffe wie Qualitätskontrolle, kombiniert mit Auswerfern zu versehen. Beispiel: Leerflascheninspektor in Getränkeabfüllanlagen.

Bei Rationalisierungsaufgaben (Grundfälle b bis d, Abschn. 2.1.2) sind oft räumliche Gegebenheiten die bedeutendste Restriktion. Industriegrundstücke und -bauwerke sind intensiv zu nutzen. Das zwingt zu Beschränkung in der Gestaltungsphase (Kap. 6). Hinsichtlich Vorauswahl auch räumlich realisierbarer MTA sollten räumliche Gegebenheiten bereits im Groben frühzeitig in die Phasen Dimensionieren und Strukturieren einbezogen werden.

2.5.6 Anforderungen an Konstruktion und Entwicklung

Nicht für alle Verarbeitungsaufgaben stehen sofort geeignete MTA zur Verfügung. Dieses Problem liegt vor, wenn

1. im Zuge des technischen Fortschritts neue Verfahren und/oder neue Verkettungsaufgaben zu realisieren sind, es sich also nicht um Routine-Projektierung handelt
2. neue Märkte zu erschließen sind für Anlagen, deren MTA noch nicht alle für die neuen Einsatzgebiete geeignet sind.

Der Projektant hat dann aus Anlagensicht *Forderungen an Konstruktion und Entwicklung* zu stellen. Er sollte so vorgehen, dass für Entwicklung, Konstruktion (VDI 2221, 2222, 2225, 2234) und Realisierung geringster Aufwand entsteht.

Eine einfache *Suchstrategie* kann die Beantwortung folgender, der Reihe nach zu durchlaufender Fragen sein, die von geringstem Aufwand ausgeht und bei einer Neuentwicklung endet:

1. MTA laufender Angebote/eigener Fertigung geeignet?
2. MTA gemäß 1 anpassbar? Möglichkeiten:
   - Geänderte Zu- und Abführung
   - Zusatzeinrichtungen, z. B. Sonderformat, Gutkennzeichnung, Qualitätskontrolle
   - Verwendung wesentlicher Baugruppen, z. B. Grundmaschine mit Einbeziehung von Baugruppen anderer MTA/anderer Hersteller
   - Zusätzliche Maßnahmen für Arbeitsschutz, Umweltschutz, Qualitätssicherung
3. Sonderausführung sinnvoll? Möglichkeiten:
   - Vereinfachte Universalmaschine, wenn vorhandene Vielfalt der Verarbeitungsfunktionen im konkreten Fall nicht erforderlich ist, d. h. abgerüstete Maschinenvariante
   - Konstruktion einer Maschine bei Wiederverwendung bewährter Baugruppen für bestimmte Funktionen, z. B. Dosieren, Schneiden
4. Neuentwicklung erforderlich?

2.6 Beispiele

2.6.1 Verfahren und Maschinentechnik einer Schokoladenfabrik

Am Beispiel einer Schokoladenfabrik zeigt Abb. 2.16, welche Vielzahl von VG, Prozessen und MTA von der Rohstoffannahme bis zum verpackten Produkt in einem Verarbeitungsbetrieb bei der Planung derartiger Anlagentechnik zu beachten sein kann.

Die einzelnen *Verfahrensfließbilder* sind hier zur Demonstration der Komplexität und Vielfalt zu einem *Gesamtfließbild* verbunden, das so nur im Extremfall – dem Neubau einer gesamten Schokoladenfabrik – Planungsgrundlage wäre. Technologisch abgrenzbare Produktionsbereiche umfassen im Wesentlichen:

- Rohstoffe: Annehmen, Kontrollieren, Lagern, Bereitstellen zur Verarbeitung; beim Hauptrohstoff Kakaobohne außerdem: Reinigen, Rösten, Brechen zu Kernbruch
- Produktionslinien zur Herstellung von: Kakaomasse, Kakaobutter, Kakaopulver, Schokoladenmasse
- Produktion der Schokoladenartikel: Tafeln, Pralinen, Hohlfiguren usw.
- Abfälle und Abprodukte: Entsorgen, Aufbereiten von Reststoffen wie Kakaoschalen.

Schokoladenfabriken sind meist auf bestimmte Produkte spezialisiert. Auch haben sie aus wirtschaftlichen Gründen nicht alle das gesamte technologische Spektrum. So verarbeiten manche Fabriken fremdbezogene Schokoladenmasse, die in Spezial-Tankfahrzeugen temperiert, zu vereinbarten Bedarfszeitpunkten nach dem Prinzip JIT (*just in time)* angeliefert wird.

Zur Herstellung von Schokoladenmasse sind dargestellt:

- ein Verfahrensschema in Abb. 2.17
- ein Anlagenbeispiel in Abb. 2.18.

Die Herstellung von Schokoladenmasse ist durch biochemische, mechanische und Wärmeprozesse gekennzeichnet [1.6, 2.28]. Wesentliche Voraussetzungen für hohe Produktqualität und Produktivität sind: Einhaltung bestimmter *Rohstoffanforderungen* und *Betriebsbedingungen*. Weiteres dazu am realen Beispiel in Kap. 4 und 7, dem das in Abschn. 2.3.2 dargestellte Lieferangebot zu Grunde liegt.

Zum Verfahren:

- Varianten: Zerkleinern der Masseteilchen mit oder ohne Vorwalzen
- Vorwalzen auf ca. 150 … 200 µm verkürzt das Feinwalzen auf Endfeinheit von ca. 15 … 25 µm
- Verfahren *ohne* Vorwalzen (Abb. 2.18) erfordert eine größere Anzahl Feinwalzwerke (Pos. 38).

A Rohkakaobohnen
A1 Kakaobohnen, gerein.
B Kakaokernbruch
C Kakaoschalen
D Kakaomasse
E Kakaokuchenbruch
F Kakaobutter, gefiltert
G Kakaopulver
H Kakaobutter, gebl.
I Kakaomasse, gebl.
J Fremdfett
K Fremdfett
L Lezithin
M Kristallzucker
N Kakaopulver
O Milchpulver
P Produkt, verpackt
Q Schokoladenmasse

1 Elevator
2 Trogkettenförderer
3 Steinausleser
4 Metallseperator
5 Windreiniger
6 Kreissieb
7 Silo
8 Rohrkettenförderer
9 Schachtröster
10 Becherwerk
11 Entschalungsanlage
12 Schlagmühle
13 Kakaomassetank
14 Vakuummischer
15 Differentialmühle
16 Spindelmühle
17 Schwingsieb
18 Wärmebehälter
19 Kakaopresse
20 Kakaobutterwaage
21 Vorbrecher
22 Gegenstromkühler
23 Pulverisieranlage
24 Absackanlage
25 Buttertank
26 Butterfilteranlage
27 Desodorierung
28 Kakaobuttertank
29 Temperierung
30 Abblockung von F
31 Abblockung von D
32 Sackaufgabe
33 Mischer
34 Muldenband
35 Zweiwalzwerk
36 Schneckenförderer
37 Stahlbandförderer
38 Fünfwalzwerk
39 Konticonche
40 Schokoladenmassetank
41 Überziehanlage bzw. Massivartikel- oder Hohlkörperanlage
42 Verpackungsanlage, 43 Förderer

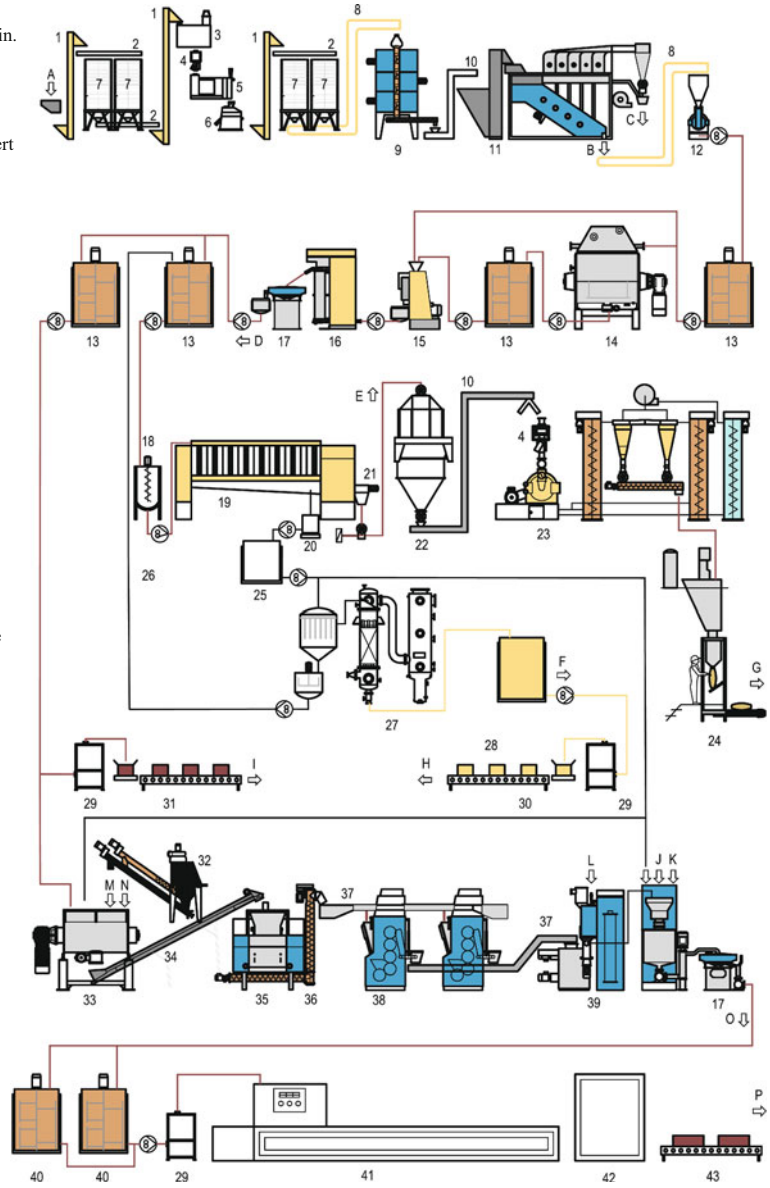


Abb. 2.16 Verfahrensfließbilder einer Schokoladenfabrik (Auszug aus PETZHOLDT-Heidenauer [1.26])

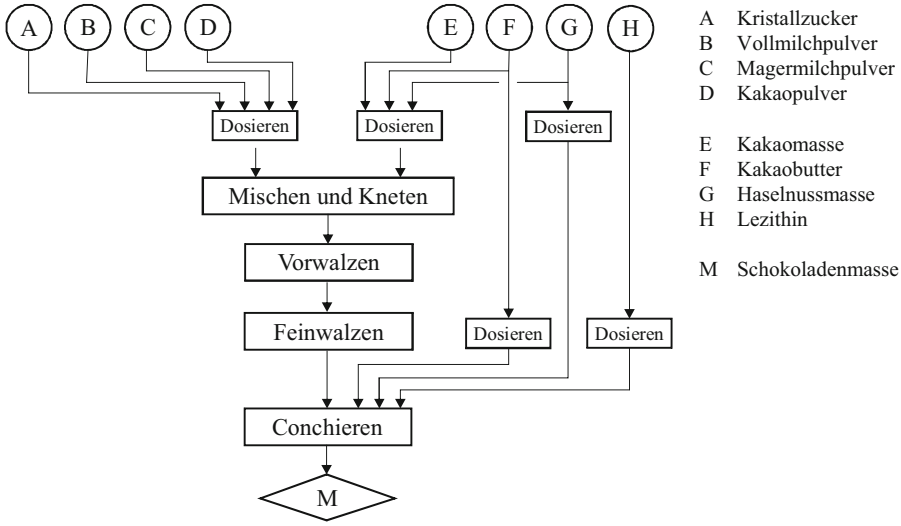


Abb. 2.17 Verfahrensschema zum Herstellen von Schokoladenmasse

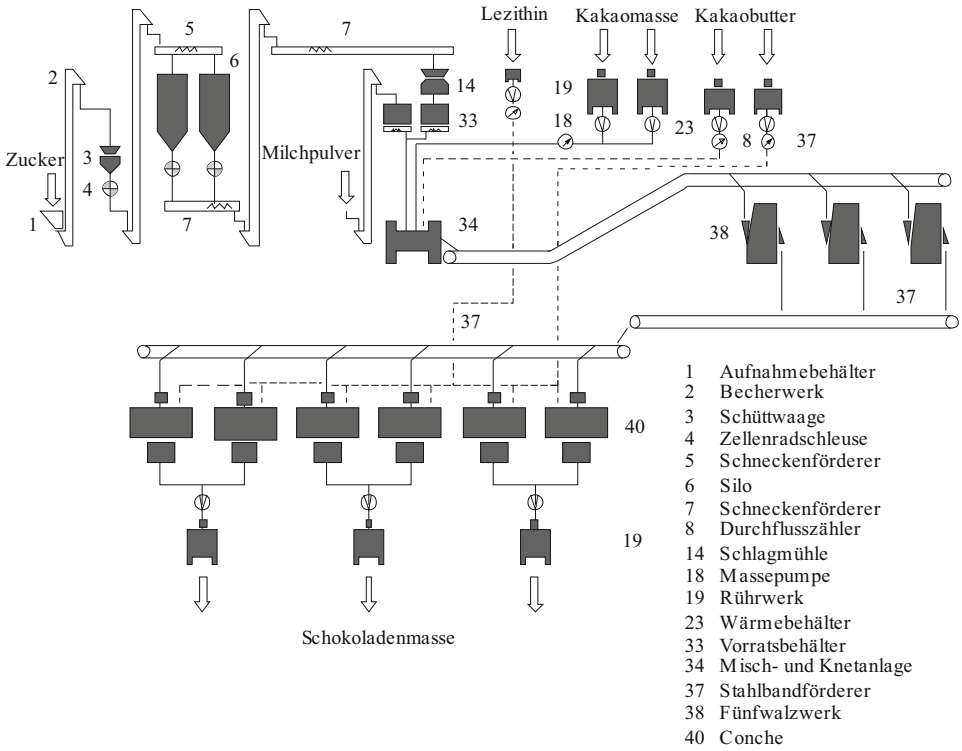


Abb. 2.18 Anlagenbeispiel Schokoladenmasseherstellung – schematische Darstellung

Abb. 2.19 Kastenstrom mit Leergut am Auspacker Linatec II [1.24]

Abb. 2.20 Flaschenstrom nach der Etikettiermaschine Solomatic [1.24]

Zu Produktivitäten und Verkettungstechnik derartiger Anlagen:

- Einzellinien gemäß Abb. 2.18 sind allgemein wirtschaftlich im Bereich 0,5 (0,75) … 6 (8) t/h; darüber hinaus sind mehrere, parallel zu betreibende Linien erforderlich
- Verkettung durch Standardelemente der Materialflusstechnik, teilweise angepasst an die VG
- Stahlbandförderer (Pos. 37) für den Massetransport in branchentypischer Ausführung mit speziellen Gutabgabeeinrichtungen (Abstreifer – hier nur angedeutet).

2.6.2 Gutströme von Getränkeabfüllanlagen

Folgende Beispiele betreffen typische Gutströme in Getränkeabfüllanlagen, speziell die in Abschn. 1.4 und 1.8 dargestellten Abfüllanlagen.

Abbildung 2.19 zeigt einen in den Kastenpacker eingelaufenen Kastenstrom mit leeren Flaschen, die hier mittels Greifermechanismus entnommen und dem Flaschenbereich

Abb. 2.21 Speicherstrom, Einzelflaschenstrom, Gebindestrom [1.24]

zugeführt werden. Die leeren Kästen gelangen weiter zu Kastenwender (Abführung von Fremdkörpern), Kastenwaschmaschine und Kasteneinpacker. Die Modulbauweise des Kastenpackers (Maschinentyp wie in Abb. 2.14) ermöglicht seine Funktion als Auspacker (hier dargestellt) oder als Einpacker (dann als Pos. 16 in Abb. 1.10).

Abbildung 2.20 zeigt einen einbahnigen Flaschenstrom nach der Etikettiermaschine.

Abbildung 2.21 veranschaulicht drei Gutströme einer Flaschenabfüllanlage in technologischer Reihenfolge.

- Gefüllte und verschlossene Flaschen im mehrbahnigen Speicherstrom vor der Etikettierung
- Einzelflaschenstrom nach der Etikettierung
- Gebindestrom nach der Gebindebildung.

http://www.springer.com/978-3-658-02358-4

Projektierungspraxis Verarbeitungsanlagen
Planungsprozess mit Berechnung und Simulation der Systemzuverlässigkeit
Römisch, P.; Weiß, M.
2014, XV, 425 S. 172 Abb., 14 Abb. in Farbe., Softcover
ISBN: 978-3-658-02358-4