
1 Strukturen

Norbert Große, Wolfgang Schorn

1.1 Automatisierung technischer Prozesse

1.1.1 Grundbegriffe

1.1.1.1 Prozess und Prozesstechnik

Unter einem **Prozess** versteht man Abläufe, mit welchen Materie, Energie oder Information umgeformt bzw. transportiert werden, DIN EN ISO 10 628 /1.1/. Die **Prozesstechnik** befasst sich mit der Durchführung solcher Vorgänge.

Nach SCHÖNE /1.2/ und TGL 25 000-1 /1.3/ definiert man weitere Teilgebiete (→ Bild 1.1).

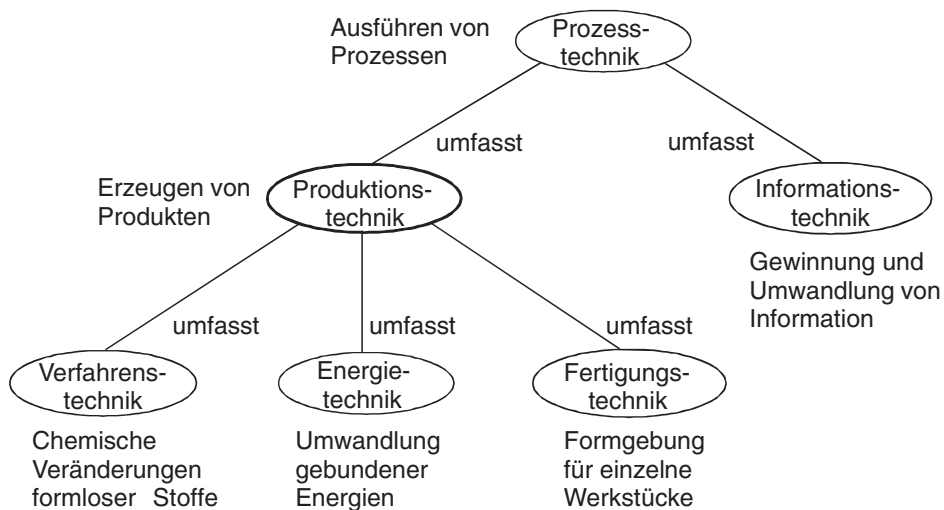


Bild 1.1 Teilgebiete der Prozesstechnik nach SCHÖNE /1.2/

1.1.1.2 Produktionstechnik

Bei der Produktionstechnik geht es um die Herstellung von Produkten und um die Gewinnung nutzbarer Energien. Hierbei unterscheidet man drei Kategorien:

- Gegenstand der **Verfahrenstechnik** ist das Erzeugen formloser Stoffe. Dies sind typisch Gase, Flüssigkeiten, Pasten, Pulver, Granulate und dgl.

Verfahrenstechnische Prozesse werden nach DIN EN ISO 10 628 /1.1/ auch **Verfahren** genannt. Verfahrensklassen sind **Fließverfahren (Konti-Verfahren)** zur kontinuierlichen Herstellung großer Stoffmengen über längere Zeiträume und **Chargenverfahren (Absatzverfahren)** für häufig wechselnde Produkte.

- Das Ziel der **Fertigungstechnik** ist die Herstellung einzelner Werkstücke (Erzeugnisse) mit definierter Form und festgelegten Abmessungen. Bei diesen Gütern spielt die geometrische Gestalt eine wichtige Rolle. Fertigungstechnische Prozesse heißen auch **Fertigungen**. Hier gibt es die **Linienfertigung** für die Herstellung großer Produktmengen über längere Zeiträume und die **Werkstattfertigung** bei wechselnden Produkten kleinerer Stückzahl.
- Im Bereich der **Energietechnik** werden gebundene Energien in Energieformen umgesetzt, welche sich unmittelbar in technischen Anwendungen nutzen lassen. Es geht dabei um das Umwandeln, Transportieren und Speichern von Energie.

1.1.1.3 Informationstechnik

Bei informationstechnischen Prozessen befasst man sich mit der Gewinnung und Auswertung von Informationen. Unter anderem gehören Mess- und Prüfprozesse ebenso dazu wie die Vorgänge bei der Informationsverarbeitung mittels EDV-Anlagen und Prozessleitsystemen.

1.1.2 Strukturierung produktionstechnischer Prozesse

1.1.2.1 Prozessabschnitte

Untergliedern kann man produktionstechnische Prozesse in weitere Einheiten, die sog. **Prozessabschnitte** (DIN 61 512-1 /1.5/). Hierunter sind Teile von Prozessen zu verstehen, welche sich organisatorisch weitgehend autark ausführen lassen und zur Verarbeitung von Stoffen dienen. Die Aufteilung eines Prozesses in Abschnitte ist von großer Bedeutung für das Aufrechterhalten der Produktion bei Störungen oder kurzzeitigen Außerbetriebnahmen etwa für Wartungsaufgaben und muss beim Anlagenbau durch das Einrichten von Pufferbehältern oder Zwischenlagern berücksichtigt werden.

In der Fertigungstechnik spricht man von **Fertigungsabschnitten**, in der Verfahrenstechnik von **Verfahrensabschnitten**. In Anlehnung an EIGENBERGER /1.6/ sind folgende Kategorien von Verfahrensabschnitten entsprechend der Art der technologischen Vorgänge unterscheidbar:

- **Stoffaufbereitung:** Hierbei werden die zu verarbeitenden Einsatzstoffe für die Produktion vorbereitet, z. B. zerkleinert, aufkonzentriert usw. Die chemischen Stoffeigenschaften werden hierbei nicht verändert.
- **Stoffumwandlung:** In einem solchen Verfahrensabschnitt stellt man die eigentlichen Produkte her. Es finden chemische Vorgänge (Reaktionen) statt, wobei neue Stoffe (i. Allg. auch unerwünschte Nebenprodukte) entstehen.
- **Stoffaufarbeitung:** Die produzierten Ausgangsstoffe werden Nachbehandlungsschritten unterzogen. Hierzu gehören beispielsweise Trennvorgänge sowie Abfüll- und Verpackungsarbeiten. Auch hier bleiben die Stoffeigenschaften erhalten.

Eine alternative Möglichkeit der Definition von Verfahrensabschnitten ergibt sich aus der zur Ausführung gewählten Produktionsmethode (kontinuierlich, diskontinuierlich).

1.1.2.2 Prozessoperationen

Prozessabschnitte setzen sich aus Vorgängen zusammen, welche die Eigenschaften von Stoffen oder Energien beeinflussen oder dem Transport oder der Speicherung dienen. Diese Vorgänge heißen nach DIN 61 512-1 /1.5/ **Prozessoperationen**.

Operationen der Fertigungstechnik nennt man **Fertigungsoperationen**; eine Operation zur Werkstückbearbeitung wird nach MEINBERG, TOPOLEWSKI /1.26/ auch als **Fertigungsstufe** bezeichnet.

In der Verfahrenstechnik spricht man von **Grundoperationen**. Bei diskontinuierlicher Produktion besteht ein Verfahrensabschnitt aus einer sequenziellen Folge solcher Operationen, welche jeweils zu quasistationären Zwischenzuständen mit definierten Produkteigenschaften führen. Kontinuierliche Verfahrensabschnitte enthalten – abgesehen von An- und Abfahrvorgängen – stets *eine* Grundoperation. **Leittechnische Grundoperationen** sind nach NAMUR NE 33 /1.7/ Arbeitsfolgen zur Realisierung der nachstehend beschriebenen **verfahrenstechnischen Grundoperationen** sowie von **Speicher- und Transportoperationen**.

Nach TGL 25 000-1 /1.3/ stellen **verfahrenstechnische Grundoperationen** zielgerichtete Handlungen dar, mit welchen man Zwischenprodukte mit definierten Eigenschaften erzeugen kann. Mittels solcher Grundoperationen werden über physikalische Vorgänge die Zusammensetzung, der Verteilungsgrad oder der Energieinhalt des betreffenden Guts verändert.

Der zugrunde liegende angelsächsische Begriff *Unit Operation* wurde 1915 von LITTLE /1.8/ in den USA geprägt. Nach TGL 25 000-1 /1.3/ kann man folgende Einteilung vornehmen:

- **Grundoperationen zur Stofftrennung:** Hiermit sind z. B. Vorgänge zum Destillieren, Filtrieren, Trocknen, Eindampfen, Kondensieren etc. verbunden.
- **Grundoperationen zur Stoffvereinigung:** Dazu zählt man das Kneten, Suspendieren, Verschmelzen, Mischen von Gasen usw.
- **Grundoperationen zur Stoffzerteilung:** Hierzu gehören das Brechen, Mahlen und Zerschneiden.
- **Grundoperationen zum Agglomerieren:** Diese bedeuten z. B. Tablettieren, Brikettieren, Sintern.
- **Grundoperationen zum Ändern der Enthalpie:** Hierunter versteht man Aufheiz- und Abkühlvorgänge wie etwa Verdampfen, Erstarren, Kondensieren, Erwärmen und Abkühlen von Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen.

1.1.2.3 Prozessschritte

Die Elemente der Prozessoperationen sind nach DIN 61 512-1 /1.5/ **Prozessschritte**. Solche Schritte lassen sich nicht sinnvoll in kleinere, prozesstechnisch autonome Einheiten zerlegen; sie sind die unterste Stufe definierbarer Vorgänge innerhalb eines technischen Prozesses. Prozessschritte werden durch Prozessereignisse oder menschliche Eingriffe beendet.

In der Fertigungstechnik kann man zwei Klassen von **Fertigungsschritten** unterscheiden:

- **Handhabungsfunktionen** nach VDI 2860 /1.27/ dienen zum Positionieren und zum Prüfen von Werkstücken.
- Mit **Arbeitsvorgängen** nach TGL 21 639 /1.28/ werden Werkstücke bearbeitet.

In der Verfahrenstechnik werden die Begriffe **Verfahrensschritt** und – nach NAMUR NE 33 /1.7/ – **Grundfunktion** verwendet. Beispiele sind Vorgänge wie Rühren, Dosieren und Heizen.

1.1.3 Darstellungsformen für Prozesse

1.1.3.1 Grundfließbild

Das **Grundfließbild** entsprechend DIN EN ISO 10 628 /1.1/ gibt Vorgänge und deren Zusammenhänge mit Rechtecken und gerichteten Linien wieder.

Bild 1.2 zeigt die Darstellung eines Verfahrens.

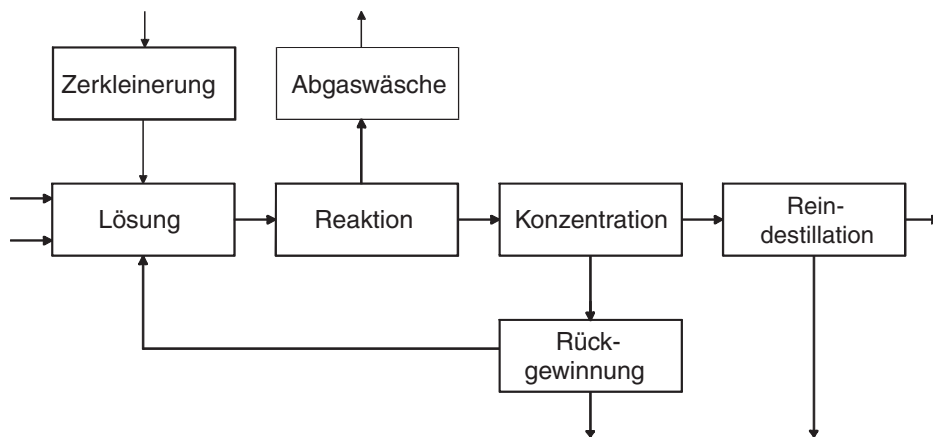


Bild 1.2 Grundfließbild nach DIN EN ISO 10 628 /1.1/

Bei produktionstechnischen Prozessen bedeuten diese Rechtecke je nach Detaillierungsstufe Prozessabschnitte, Prozessoperationen oder Prozessschritte. Die gerichteten Linien repräsentieren konditionale Zusammenhänge. Speicher- und Transportoperationen werden nicht mit eigenen Symbolen dargestellt.

1.1.3.2 Formalisierte Prozessbeschreibungen

Als Alternative zum Grundfließbild kann man **formalisierte Prozessbeschreibungen** (auch unter der Bezeichnung **Phasenmodelle** bekannt) nach VDI/VDE 3682 /1.29/ verwenden. Sie beschreiben das Wechselspiel zwischen Stoffen und Energien einerseits und Vorgängen andererseits.

Diese Darstellungsformen kennen folgende Objekttypen mit zugehörigen Typkennzeichen TK und grafischen Symbolen:

- Stoffe (TK: P) werden durch Kreise dargestellt, Energien bzw. Energieträger (TK: E) durch Rauten.
- Vorgänge wie z. B. Prozessabschnitte oder -operationen (TK: O) gibt man mit Rechtecken (sog. **Prozessoperatoren**, früher als **Prozesselemente** bezeichnet) wieder. Ein Prozessoperator kann wiederum eine formalisierte Prozessbeschreibung beinhalten; ein Vorgang kann also seinerseits in Vorgänge zerlegt oder *dekomponiert* werden. Formalisierte Prozessbeschreibungen können hierarchisch aufgebaut sein.
- Für Ressourcen wie etwa Teilanlagen oder technische Einrichtungen (TK: T → 1.1.4.3) werden Langrunde verwendet.
- Stoff- oder Energieflüsse (ohne TK) stellt man mit einfachen Pfeilen dar, Ressourcennutzungen (ohne TK) mit gestrichelten Doppelpfeilen.
- Die Systemgrenze (auch: Bilanzraum) der betrachteten Vorgänge (TK: B) wird durch ein gestricheltes Rechteck wiedergegeben.

Eindeutige Bezeichnungen (Idents, engl. auch *tags*) von Objekten erhält man durch Kombination des Typkennzeichens mit einer alphanumerischen Zeichenfolge. Bei Ressourcen lässt sich ein „sprechendes“ Ident z. B. aus einem Anlagenstrukturkennzeichnungssystem AKZ (→ 1.1.5.2) ableiten, sodass eine Pumpe in einer Destillationsteilanlage etwa mit T_DS1PA10 bezeichnet werden kann.

Bild 1.3 enthält als Beispiel zwei ortssequenzielle Verfahrensabschnitte.

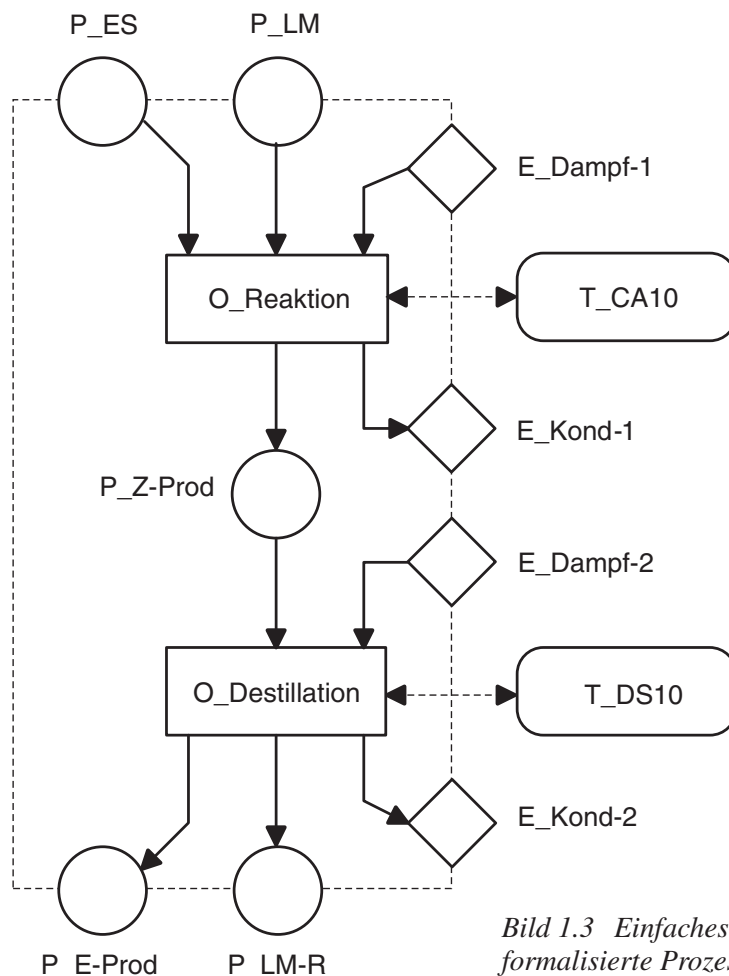


Bild 1.3 Einfaches Beispiel für eine formalisierte Prozessbeschreibung

- Im Verfahrensabschnitt **Reaktion** wird ein Zwischenprodukt *Z-Prod* aus Einsatzstoff *ES* und Lösemittel *LM* erzeugt. Hierzu wird als Energieträger Heizdampf *Dampf-1* verwendet, welcher als Kondensat *Kond-1* wieder austritt. Die Reaktion läuft in der technischen Ressource (einer Teilanlage → 1.1.4.2) *CA10* ab.
- Im Verfahrensabschnitt **Destillation** wird das Zwischenprodukt *Z-Prod* in Lösemittel *LM-R* und Endprodukt *E-Prod* aufgespalten. Auch hier wird als Energieträger Heizdampf *Dampf-2* verwendet, welcher als Kondensat *Kond-2* wieder austritt. Die Destillation läuft in der Teilanlage *DS10* ab.

Der Informationshaushalt von Prozessen wird durch **Attribute** der zugehörigen Objekte beschrieben. Hierbei unterscheidet man zwischen **Kennzeichen** und **Merkmale**.

- Das **Kennzeichen** (die Identifikation) eines Objekts enthält das bereits angegebene Ident, einen Langnamen, einen Kurznamen, Versionsangaben u. a. Hinzu kommen objektspezifische Verweise auf Zusatzinformationen, bei einem Prozessoperator z. B. auf Produkte und Energien.
- Die **Merkmale** (Charakteristika) umfassen jeweils wiederum ein Kennzeichen (hier auch Kategorie genannt), eine Beschreibung (z. B. physikalische Einheit, Grenzwerte, Messwerthistorie) und ggf. Referenzen auf weitere Informationen, z. B. auf Prozessmodelle.

1.1.3.3 GRAFCET-Plan

Eine weitere Möglichkeit zur Darstellung von Prozessen ist der **GRAFCET-Plan** (auch Ablaufplan, Funktionsplan) mit Symbolen nach DIN EN 60 848 /1.30/ (→ 4.3.5). Man verwendet ihn, wenn man die zur Prozessdurchführung erforderlichen Steuerungsaktivitäten hervorheben will. Bild 1.4 gibt als Beispiel ein diskontinuierliches Verfahren wieder.

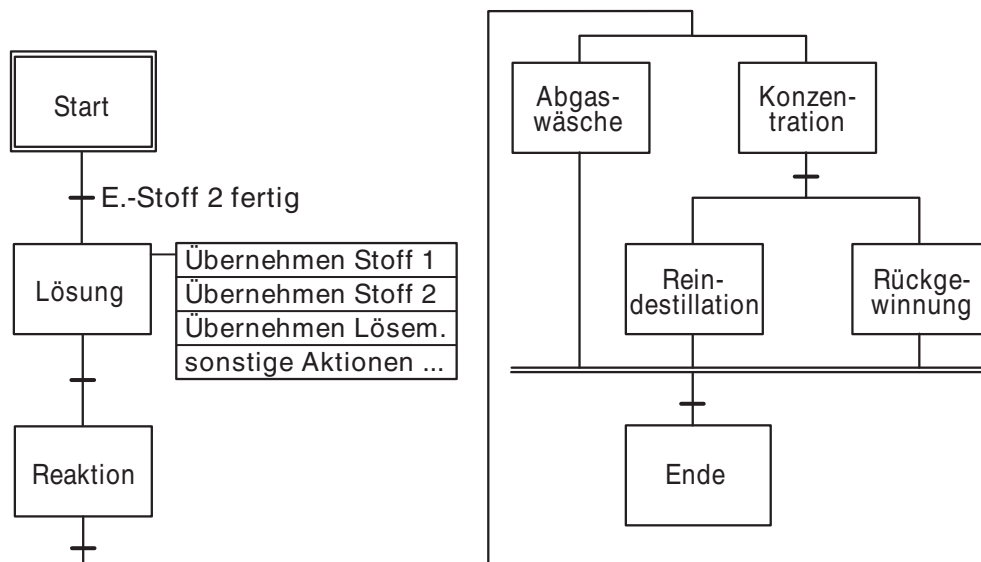


Bild 1.4 GRAFCET-Plan für ein Verfahren

Bei einem **GRAFCET-Plan** stellen die Rechtecke Maßnahmen (**Steuer-schritte**) zur Durchführung von Vorgängen dar. Auch hier können diese Vorgänge Prozessabschnitte oder Prozessoperationen sein. Die gerichteten Linien repräsentieren konditionale Zusammenhänge, und die Bedingungen

zum Durchführen eines Steuerschritts in Abhängigkeit von anderen Steuerschritten gibt man mit Querbalken an. Übergänge zwischen Schritten nennt man **Transitionen**. Neben den Schrittsymbolen kann man Einzelheiten der zugehörigen Maßnahmen notieren. Diese Details nennt man **Aktionen**, und sie haben – je nach Detaillierungsgrad der Darstellung – die Bedeutung von Prozessoperationen oder Prozessschritten (→ 1.1.2.3).

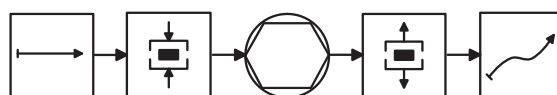
1.1.3.4 Fertigungsablaufplan

Fertigungstechnische Vorgänge können in einem **Fertigungsablaufplan (Bearbeitungsfolgegraf)** dokumentiert werden. Im einfachsten Fall werden Vorgänge durch Rechtecke dargestellt, welche man mit gerichteten Linien verbindet.

VDI 2860 /1.27/ legt verdeutlichend folgende Grundsymbole fest:

- Kreise bezeichnen Arbeitsvorgänge.
- Quadrate kennzeichnen Handhabungsfunktionen mit Ausnahme von Prüfungsvorgängen.
- Dreiecke kennzeichnen Prüfschritte.
- Funktionsfolgen werden durch gerichtete Linien dargestellt; bei parallelen Abläufen zeichnet man die zugehörigen Symbole unmittelbar nebeneinander.

In die Grundsymbole können Zusatzsymbole zur Darstellung der Funktionalität eingetragen werden. In Bild 1.5 wird ein Werkstück einer Drehmaschine zugeführt, eingespannt und bearbeitet. Dann wird es wieder gelöst und der Weiterverarbeitung zugeführt.



Zuführen Spanen Drehen Lösen Weitergeben

Bild 1.5 Einfacher Fertigungsablaufplan

1.1.4 Anlagenhierarchien

1.1.4.1 Produktionstechnische Anlagen

Eine **produktionstechnische Anlage** umfasst in Anlehnung an DIN EN ISO 10 628 /1.1/ die für die Durchführung produktionstechnischer Prozesse notwendigen Einrichtungen (Apparate, Maschinen, Leiteinrichtungen inklusive der Sensor- und Aktorsysteme etc.) und Bauten.