



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Prozessleittechnik in Chemieanlagen

von

Dr.-Ing. Henry Winter und Dipl.-Ing.(FH) Marina Böckelmann

6. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsseldorf Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten
Europa-Nr.: 70962

Autor:**Dr.-Ing. Henry Winter, Nemsdorf-Göhrendorf**

Der Autor hat langjährige Erfahrungen als Trainer für Prozessleittechnik und Verfahrenstechnik in einer überbetrieblichen Ausbildungsstätte der chemischen Industrie. Derzeit arbeitet er als Ingenieur für Anlagensicherheit in der Petrochemie und ist dabei unter anderem mit der Optimierung von prozessleittechnischen Systemen befasst. Durch seine berufliche Tätigkeit kennt er die herstellerunabhängigen Funktionsprinzipien sowie die häufigsten Verständnisschwierigkeiten der Lernenden.

Mitautorin:**Marina Böckelmann, Dipl.-Ing. (FH), Halle/Saale**

Die Mitautorin ist seit 1987 als Ausbilderin und Trainerin in der chemischen Industrie tätig. Dabei hat sie sich auf die Gebiete Speicherprogrammierbare Steuerungen, Visualisierung von Bedien- und Beobachtungsgeräten sowie das Automatisieren von mechatronischen Systemen spezialisiert. Ihre langjährige Erfahrung beim Aufbereiten und Vermitteln unterschiedlicher Lehrinhalte ermöglicht es ihr, die Themen zur Steuerungstechnik in diesem Buch gut verständlich darzustellen.

Verlagslektorat:

Dr. Astrid Grote-Wolff

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

6. Auflage 2021

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern identisch sind.

Das vorliegende Fachbuch wurde auf der **Grundlage** des zur Zeit der Drucklegung **aktuellen Standes des technischen Normen-Regelwerks** erstellt.

ISBN 978-3-7585-7000-1

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2021 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Umschlaggestaltung: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Druck: Plump Druck und Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Vorwort

Die Effektivität der Wertschöpfungsketten in der stoffwandelnden Industrie beruht in zunehmendem Maße auf der Gewinnung und Verarbeitung von **Informationen**. In seiner Rolle beim Leiten der Produktionsprozesse wird der Mensch immer mehr von digitalen Geräten unterstützt. Sie nehmen ihm die Teilaufgaben des **Leitens** der stoffwandelnden Prozesse, wie Steuerung, Regelung, Überwachung und Dokumentieren, im gewünschten Maße ab. Die Geräte gewinnen die nötigen Informationen direkt aus dem technologischen Prozess, verarbeiten sie und wirken selbsttätig auf den Prozess ein. Die technischen Komponenten sind dabei elektronisch vernetzt, tauschen ihre Daten in den Netzwerken aus und treffen Entscheidungen zur Beeinflussung der Prozesse. Sie arbeiten mit Software zusammen, die teilweise von anderen Geräten bereitgestellt wird, sodass man nur noch von **Systemen** spricht. An der Schnittstelle zum Menschen stehen heute zunehmend grafische Bildschirmsysteme und funkbasierte Ein- und Ausgabegeräte. Das Entwicklungsziel für die vernetzte und intelligente Leitung der Produktionsprozesse wird mit dem Begriff **Industrie 4.0** charakterisiert.

Die zunehmend selbsttätige Arbeitsweise der technischen Komponenten, ihre partielle Lernfähigkeit und Intelligenz, erfordern vom Menschen ein immer tieferes Verständnis für deren **Wirkungsweisen**. Die Komplexität der modernen Systeme stellt besonders hohe Anforderungen an die Kenntnisse der grundlegenden **Funktionsprinzipien** der Leitsystem-Komponenten. Solche Kenntnisse sind für die Beschäftigten in der stoffwandelnden Industrie eine Voraussetzung für die zielführende Nutzung dieser komplexen Systeme. Das vorliegende Buch „**Prozessleittechnik in Chemieanlagen**“ hat das Anliegen, Auszubildende, Teilnehmende an Weiterbildungen, Studierende sowie Praktiker im Bereich der stoffwandelnden Industrie, speziell der chemischen Industrie, in verständlicher Form mit den Grundlagen der Prozessleittechnik vertraut zu machen. Auch die **6. Auflage** verfolgt das Ziel, **elementares Grundlagenwissen** zu vermitteln.

Zielgruppen:

- **Ausbildung** zum Chemikanten/zur Chemikantin, zum Elektroniker/zur Elektronikerin Automatisierungstechnik, zum Chemielaboranten/zur Chemielaborantin, zum Lacklaboranten/zur Lacklaborantin sowie zum Biologielaboranten/zur Biologielaborantin
- **Weiterbildung** zum geprüften Industriemeister/zur gepr. Industriemeisterin Chemie bzw. Elektrotechnik
- **Weiterbildung** zum staatlich geprüften Techniker/zur staatlich gepr. Technikerin der Fachrichtung Chemie bzw. Elektrotechnik
- **Studierende** der Ingenieurstudiengänge, insbesondere der Chemischen Technologie, der Verfahrenstechnik, der Umwelttechnik und der Biotechnik

Methodische Prinzipien: Die Autoren legen besonderen Wert auf eine **praxisorientierte Darstellung** der Fakten und Zusammenhänge und beschränken sich bei der Darstellung von wissenschaftlichen Hintergründen auf das unbedingt Notwendige. Durch die enthaltenen Beispiele werden die Leser in die Lage versetzt, ihre Kenntnisse selbstständig zu vertiefen und zu erweitern. Das Buch ist als **unterrichtsbegleitendes Lehrmaterial** ebenso geeignet wie für das **Selbststudium**.

Inhaltliche Schwerpunkte: Zu den inhaltlichen Schwerpunkten zählen die **Mess- und Regelungsprinzipien, Stellorgane, Steuerungsvorgänge** bei **Batchprozessen** sowie Aufbau und Funktion von digitalen **Prozessleitsystemen**. Die Leserinnen und Leser werden mit den Arbeitsprinzipien beim **Konfigurieren** und bei der Fehlersuche in Prozessleitsystemen vertraut gemacht und erhalten einen Einblick in die Aspekte des Entwicklungsziels **Industrie 4.0**.

Wir wünschen unseren Leserinnen und Lesern viel Erfolg und Freude beim Einstieg in die Grundlagen der modernen Prozessleittechnik. Hinweise und Ergänzungen, die zur Verbesserung oder Weiterentwicklung des Buches beitragen, nehmen wir unter der Verlagsanschrift oder per E-Mail (lektorat@europa-lehrmittel.de) gerne entgegen.

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	3
1	Definition des Begriffs „Prozessleittechnik“ (PLT)	11
1.1	Vorbetrachtungen	11
1.2	Begriffsteil „Prozess“	11
1.3	Begriffsteil „Leiten“	12
1.4	Begriffsteil „Technik“	14
1.5	Zusammenführung der Begriffsteile	14
1.6	Prozessleittechnik und Automatisierungstechnik	16
1.7	Abgrenzung von Prozessindustrie und Fertigungsindustrie	16
1.8	Fachliche Teilgebiete der Prozessleittechnik	19
2	Historische Entwicklung der Prozessleittechnik	21
3	Hauptfunktionen, die vom Prozessleitsystem auszuführen sind	27
3.1	Vorbetrachtungen	27
3.2	Signalaufnahme- und Signalwandlungsfunktion	28
3.3	Signalaufbereitungsfunktion	31
3.4	Regelungsfunktion	33
3.5	Steuerungsfunktion	39
3.5.1	Vorwärtssteuerungsfunktion	40
3.5.2	Ablaufsteuerungsfunktion	40
3.6	Überwachungsfunktion	43
3.7	Dokumentationsfunktion	46
3.8	Signalausgabefunktion	48
4	Aufbau und Funktion von computerbasierten Prozessleitsystemen	50
4.1	Vorbetrachtungen	50
4.2	Einfaches Prozessleitsystem ohne Controller als Einplatzstation	50
4.3	Einfaches Prozessleitsystem ohne Controller als Mehrplatzsystem	55
4.4	Prozessleitsystem mit externem Controller als Mehrplatzsystem	60
4.5	Prozessleitsystem mit mehreren externen Controllern als Mehrplatzsystem	63
4.6	Prozessleitsysteme mit Remote-I/Os	68
4.7	Prozessleitsysteme mit Feldbus	70
4.8	Das Ebenenmodell der Prozessleittechnik	74
4.9	Zusammenfassung zu computerbasierten Prozessleitsystemen	77

5	Bedienen und Beobachten von Chemieanlagen mithilfe von Prozessleitsystemen	80
5.1	Vorbetrachtungen	80
5.2	Informationsbereitstellung auf dem Monitor	80
5.3	Anlagenübersichtsdarstellung	80
5.4	Fließbilddarstellung	82
5.5	Faceplate-Darstellung	88
5.6	Detaildarstellung	92
5.7	Gruppendarstellung	93
5.8	Trenddarstellung	94
5.9	Alarmdarstellung	96
5.10	Historische Darstellung	99
5.11	Bedienaktivitäten	101
6	Grundlagen der Elektrotechnik	104
6.1	Vorbetrachtungen	104
6.2	Elektrischer Strom	104
6.2.1	Gleichspannung und Wechselspannung	104
6.2.2	Der Stromkreis	105
6.2.3	Mehrere Stromkreise – Zusammenfassung von Minuspolen	106
6.2.4	Der Schutzleiter	108
6.3	Reihen- und Parallelschaltung	109
6.4	Widerstand und Leistung	112
6.5	Die Impedanz als Wechselstromwiderstand	115
6.6	Elektrische Verbraucher im Prozessleitsystem	115
6.7	Sicherungsmaßnahmen zum Leitungsschutz	116
6.8	Sicherungsmaßnahmen zum Personenschutz	117
6.8.1	Schutzisolierung	117
6.8.2	Verwendung von Kleinspannung	117
6.8.3	Fehlerstrom-Schutzschaltung	118
6.9	Transformation von elektrischer Spannung	119
6.10	Gleichrichten und Glätten einer Wechselspannung	120
6.11	Galvanische Trennung und Eigensicherheit von Stromkreisen	121
6.12	Leiterplatten als service-freundliches Bauteil im Prozessleitsystem	123
6.13	Modulation von elektrischen Größen zur Signalübertragung	123
6.13.1	Binärsignale durch Ein-Aus-Modulation	124
6.13.2	Analogsignale durch Strommodulation	125
6.13.3	Digitale Signale durch Ein-Aus-Modulation	126

6.13.4	Digitale Signale durch Frequenzmodulation	127
6.13.5	Das HART-Protokoll als Kombination von Strom- und Frequenzmodulation	128
6.14	Messen und Prüfen von elektrischen Größen	129
6.14.1	Spannungsprüfung	129
6.14.2	Durchgangsprüfung und Widerstandsmessung	129
6.14.3	Spannungsmessung und Strommessung.	130
6.14.4	Energie- und Leistungsmessung	131
6.14.5	Frequenzmessung	132
6.15	Relais-Schaltungen	132
7	Messtechnik	137
7.1	Vorbetrachtungen	137
7.2	Temperaturmessung	140
7.2.1	Thermoelement	140
7.2.2	Widerstandsthermometer.	144
7.2.3	Strahlungspyrometer	146
7.3	Druckmessung	146
7.3.1	Federmanometer	147
7.3.2	Kapazitive Drucksensoren.	147
7.3.3	Induktive Drucksensoren	149
7.3.4	Dehnungsmessstreifen (DMS)	149
7.3.5	Piezoresistive Drucksensoren.	150
7.4	Füllstandsmessung	151
7.4.1	Behälterwägung.	151
7.4.2	Bodendruckmessung.	152
7.4.3	Einperlung.	152
7.4.4	Schwimmermessverfahren (magnetoresistives Messverfahren)	153
7.4.5	Kapazitive Füllstandsmessung	154
7.4.6	Radiometrische Füllstandsmessung	155
7.4.7	Füllstandsmessung mit Ultraschall, Radar oder Laser	155
7.4.8	Mechanische Lotsysteme	157
7.4.9	Füllstands-Grenzwertüberwachung	158
7.5	Durchflussmessung des Massen- oder Volumenstromes	158
7.5.1	Ovalradzähler	159
7.5.2	Birotorzähler.	160
7.5.3	Drehschieberzähler	160
7.5.4	Drehkolbengaszähler.	160
7.5.5	Flügelradzähler.	161
7.5.6	Woltmannzähler (Turbinenzähler)	161
7.5.7	Wirbelzähler (Vortexzähler)	162
7.5.8	Wirkdruckmessverfahren mit Messblende, Messdrossel oder Messdüse	163

7.5.9	Schwebekörpermessverfahren (Rotameter)	165
7.5.10	Ultraschall-Durchflussmessung	166
7.5.11	Magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID)	167
7.5.12	Thermische Durchflussmessung mit Hitzdraht oder Thermistor	168
7.5.13	Coriolis-Massenstrommessung	169
7.5.14	Bandwaage	170
7.5.15	Strömungsüberwachung	172
7.6	Analysenmessverfahren	173
7.6.1	Gaschromatografie (GC)	173
7.6.2	pH-Wert-Messung	175
7.7	Sonstige Messverfahren	177
8	Steuerungen in Chemieanlagen	179
8.1	Vorbetrachtungen	179
8.2	Vorwärtssteuerung (offene Steuerung)	179
8.3	Verknüpfungssteuerungen	181
8.4	Ablaufsteuerung (GRAFCET)	187
8.5	Darstellungen von Steuerungsaufgaben	196
9	Regelungen in Chemieanlagen	210
9.1	Vorbetrachtungen	210
9.2	Stetige Regelungen	212
9.3	Unstetige Regelungen	220
9.3.1	Zweipunktregelung	221
9.3.2	Dreipunktregelung	222
9.4	Fuzzy-Regelung	223
9.5	Charakteristiken von Regelstrecken	227
9.5.1	Durchflussregelstrecke an einer offenen Rohrleitung	228
9.5.2	Flüssigkeitsspeicher mit Zu- und Abfluss	228
9.5.3	Rührbehälter mit Rohrschlangenheizung	229
9.5.4	Rührbehälter mit Mantelheizung	231
9.6	Beispiele für Regelungsaufgaben in Chemieanlagen	233
9.6.1	Füllstandsregelung eines durchströmten Vorratsbehälters	233
9.6.2	Druckregelung an einem Gasspeicher	234
9.6.3	Durchflussregelung durch Drosselung des Volumenstromes	234
9.6.4	Durchflussregelung mit Rücklaufstrom	235
9.6.5	Durchflussregelung mit Drehzahlverstellung	235
9.6.6	Temperaturregelung an einem Wärmeaustauscher	236
9.6.7	Temperaturregelung an einem Rührreaktor	237
9.6.8	Druckregelung an einem Kreiselpverdichter	237

9.6.9	Kaskadenregelung zur Behältertemperierung	238
9.6.10	Produktqualitätsregelung am Kopf einer Rektifikationskolonne	239
9.6.11	Kaskadenregelung zur Kolonnentemperierung	240
9.6.12	Split-Range-Druckregelung an einem Tank oder einem Gasspeicher	241
9.6.13	Kombinierte Split-Range- und Kaskadenregelung zur Reaktortemperierung	241
9.6.14	Umsatzregelung an einem Gasphasenreaktor	242
9.6.15	Split-Range-Regelung zur kontinuierlichen Neutralisation einer Flüssigkeit	243
9.6.16	Durchflussverhältnisregelung zweier Stoffströme	243
9.6.17	Folgeregelung eines Gas-Luft-Gemisches an einem Industrieofen	244
9.6.18	Komplexe Regelung einer Rektifikationskolonne	245
10	Typische Aktoren in Anlagen der stoffwandelnden Industrie	250
10.1	Vorbetrachtungen	250
10.2	Stellorgane (Klappen, Hähne, Schieber, Ventile)	252
10.3	Antriebe für Stellorgane	256
10.3.1	Pneumatische Stellantriebe	257
10.3.2	Hydraulische Stellantriebe	261
10.3.3	Elektrische Stellantriebe	263
10.3.3.1	Elektromagnetische Stellantriebe	263
10.3.3.2	Elektromotorische Stellantriebe	264
10.4	Zusammenwirken von Stellventil und Rohrleitung	267
10.5	Relais und Schütze	270
10.6	Antriebsmotoren	272
10.6.1	Wichtigste Motortypen	272
10.6.1.1	Drehstrom-Asynchronmotor	273
10.6.1.2	Drehstrom-Synchronmotor	274
10.6.1.3	Gleichstrommotor	275
10.6.1.4	Vergleich von Drehstrom-Asynchron- und Gleichstrommotor	276
10.6.2	Drehrichtungs- und Drehzahländerung von Elektromotoren	278
10.6.2.1	Drehrichtungsänderung	279
10.6.2.2	Drehzahländerung	281
11	Automatisierte Rezeptursteuerung (Batch-Prozesse)	291
11.1	Vorbetrachtungen	291
11.2	Von der Teilaktivität zum Rezeptabschnitt	291
11.3	Die Grundfunktionen als Hauptbausteine der Rezepte	292
11.4	Zusammensetzen der Grundfunktionen zu größeren Rezeptbausteinen	294
11.5	Komplexbeispiel	297
11.6	Batch-Prozesse und Computersoftware	303
11.7	Die innere Logik der Grundfunktionen	306

12	Grundlagen der Digitaltechnik	313
12.1	Vorbetrachtungen	313
12.2	Die Bedeutung des Begriffes „digital“	313
12.3	Paralleler und serieller Transport digitaler Daten	315
12.4	Nullen und Einsen zum Verschlüsseln	317
12.5	Busse und Speicherzellen	320
12.6	Logische Grundsaltungen ohne Speicherverhalten	322
12.7	Saltungen mit Speicherverhalten	325
12.8	Additionssaltungen	327
12.9	Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	329
12.10	Analog-Digital-Umsetzer	333
12.11	Digital-Analog-Umsetzer	335
13	Planung, Konfigurierung und Inbetriebnahme von Prozessleitsystemen	338
13.1	Vorbetrachtungen	338
13.2	Fließbilderstellung	338
13.3	Apparatedimensionierung	340
13.4	Ermittlung von Anzahl und Typ der I/Os	340
13.5	Auswahl der Feldtechnik	341
13.6	Wahl des digitalen Teils des Prozessleitsystems	342
13.7	Leistungsabschätzung des Bus-Systems und der Controller	343
13.8	Detailplanung	344
13.9	Konfigurierung der Software	345
13.10	Kopieren und Laden	354
13.11	Der Loop-Check	355
13.12	Zusammenfassung der Teilschritte	355
14	Erstellen von Anlagensimulationen	357
14.1	Vorbetrachtungen	357
14.2	Vorgehensweise bei der Erstellung von Simulationen	357
15	Instandhaltung und Fehlersuche in der Prozessleittechnik	364
15.1	Vorbetrachtungen	364
15.2	Fehlerursachen	364
15.2.1	Prozessbedingte Fehler	365

15.2.2	Verschleißbedingte Fehler	365
15.2.3	Alterungsbedingte Fehler	365
15.2.4	Hardwarefehler	366
15.2.5	Softwarefehler	366
15.2.6	Subjektive Fehler	366
15.3	Eingrenzung der Fehlerursachen	367
15.4	Fehlersuche unter Nutzung der Loop-Darstellung	369
16	Sicherheitsaspekte der Prozessleittechnik	381
16.1	Vorbetrachtungen	381
16.2	Die Prozessleittechnik im Sicherheitskonzept der Anlage	383
16.3	Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Redundanz	388
16.4	Mehrfachauslegung von Schlüsselbaugruppen des Prozessleitsystems	392
16.5	Prozessleittechnik und Explosionsschutz	396
16.5.1	Voraussetzungen für Explosionen	397
16.5.2	Einführung wichtiger Begriffe	398
16.5.3	Explosionsschutz	399
16.5.4	Zündschutzarten	401
16.5.5	Die Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit“	402
16.5.6	Die Zündschutzart „Eigensicherheit“	403
16.5.7	Kennzeichnung von Betriebsmitteln hinsichtlich des Explosionsschutzes	407
16.6	Datensicherheit, Datenschutz und Bedienberechtigung	410
16.6.1	Datensicherheit und Bedienberechtigung	410
16.6.2	Datenschutz	412
17	Industrie 4.0 in der Prozessleittechnik	414
18	Die Verantwortung der Beschäftigten der Chemieindustrie	419
	Englische Fachbegriffe	421
	Verzeichnis der für das Fachgebiet wichtigsten aktuellen Normen und Standards	424
	Stichwortverzeichnis	425
	Bildquellenverzeichnis	434

1 Definition des Begriffs „Prozessleittechnik“ (PLT)

1.1 Vorbetrachtungen

Die Bedeutung des Begriffes „Prozessleittechnik“ wird deutlich, wenn man das Wort in seine Bestandteile zerlegt. Danach ist die **Prozessleittechnik** die gesamte Technik, die dazu dient, einen stoffwandelnden Prozess zu leiten.

Nun ist jedoch zu klären, was die Teilbegriffe bedeuten. Die Definitionen der Begriffsteile sind teilweise in DIN IEC 60050-351 enthalten. Sie werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

1.2 Begriffsteil „Prozess“

Der erste Wortbestandteil des Begriffes „Prozessleittechnik“ ist der Begriff **Prozess**.

Merksatz

Ein **Prozess** ist ein Verlauf oder Ablauf in einem System, in dem **Materie**, **Energie** oder auch **Informationen** umgeformt, transportiert oder auch gespeichert werden. Prozesse dienen der Änderung stofflicher Eigenschaften.

Charakteristisch für einen Prozess sind die vorkommenden Ströme von Materie, Energie und Information. Bild 1 veranschaulicht die Definition in grafischer Form.

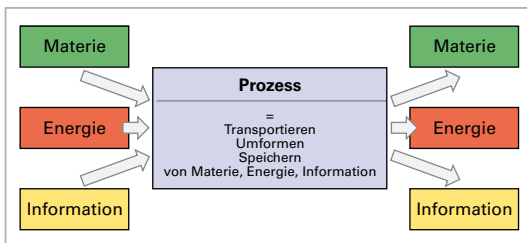


Bild 1: Charakterisierung des Prozess-Begriffes

Stets werden bestimmte Ausgangsstoffe, also **Materie**, in einen Prozess hineintransportiert. Im Prozessverlauf werden sie hinsichtlich ihrer Eigenschaften umgewandelt, um danach den Prozess zu verlassen.

Oft erfolgt eine vorübergehende Speicherung, d. h. Lagerung, von Zwischen- oder Endprodukten.

Diese Aussagen zum Materialfluss treffen analog auch für den Fluss der **Energie** zu. Auch hier gibt es die Vorgänge des Transports, der Umformung oder Zwischenspeicherung.

Informationen werden ebenfalls transportiert, umgeformt oder gespeichert. Dies trifft für eingestellte Sollwerte ebenso zu wie für angezeigte Messwerte oder für Alarmmeldungen. Ein Beispiel soll dies näher verdeutlichen.

Beispiel

Ein Prozess

In einem Wärmeübertragungssystem mit Temperaturregelung (Bild 2) findet ein Wärmeübergangsprozess statt.

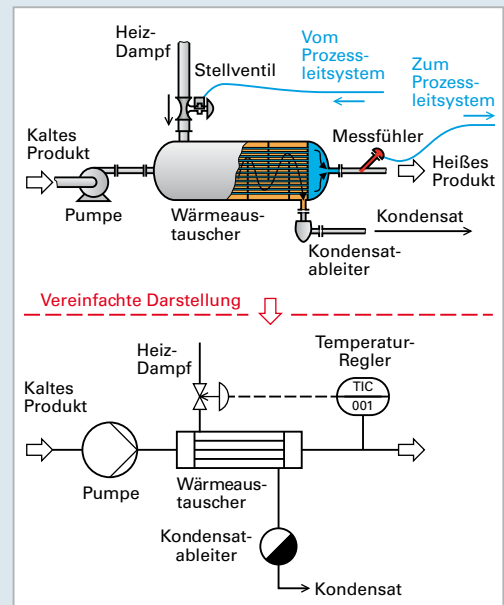


Bild 2: Typischer Wärmeübertragungsprozess

Dampf und aufzuheizendes Medium werden hineintransportiert. Kondensat und aufgeheiztes Medium werden heraustransportiert. Im Kondensatableiter wird der durch Wärmeabgabe verflüssigte Dampf als Kondensat gespeichert und periodisch in die Kondensatsammelleitung abgelassen. Die Pumpe wandelt Elektroenergie in eine Bewegungsenergie des aufzuheizenden Mediums um.

Die Information über die Produkttemperatur wird in ein elektrisches Signal umgewandelt und zu einem Anzeigergerät „transportiert“.

Die physikalische Eigenschaft „Temperatur“ des Stoffstromes wird damit geändert. Dieser Prozess dient als Hilfsvorgang der Änderung von weiteren wesentlichen Eigenschaften bestimmter, hier nicht erkennbarer Hauptprodukte.

Nach der Prozess-Definition von Seite 11 handelt es sich bei jeglichem Transportieren, Umformen und Speichern von Materie, Energie und Information um einen **Prozess**. Demnach stellen nicht nur die industriellen Vorgänge zur

Stoffwandlung Prozesse dar, sondern auch die Fertigung und Montage von Gegenständen. **Fertigungsprozesse** und **stoffwandelnde Prozesse** gehören als **Produktionsprozesse** zu den **technischen Prozessen**. Daneben gibt es die **Bewegungsprozesse**. Selbst auf biologische und geologische Vorgänge ist der Prozessbegriff streng genommen anwendbar. Letztere sind **natürliche Prozesse**.

Bild 1 zeigt eine Einteilung der verschiedenen Prozesse, die unter die Definition nach DIN IEC 60050-351 fallen.

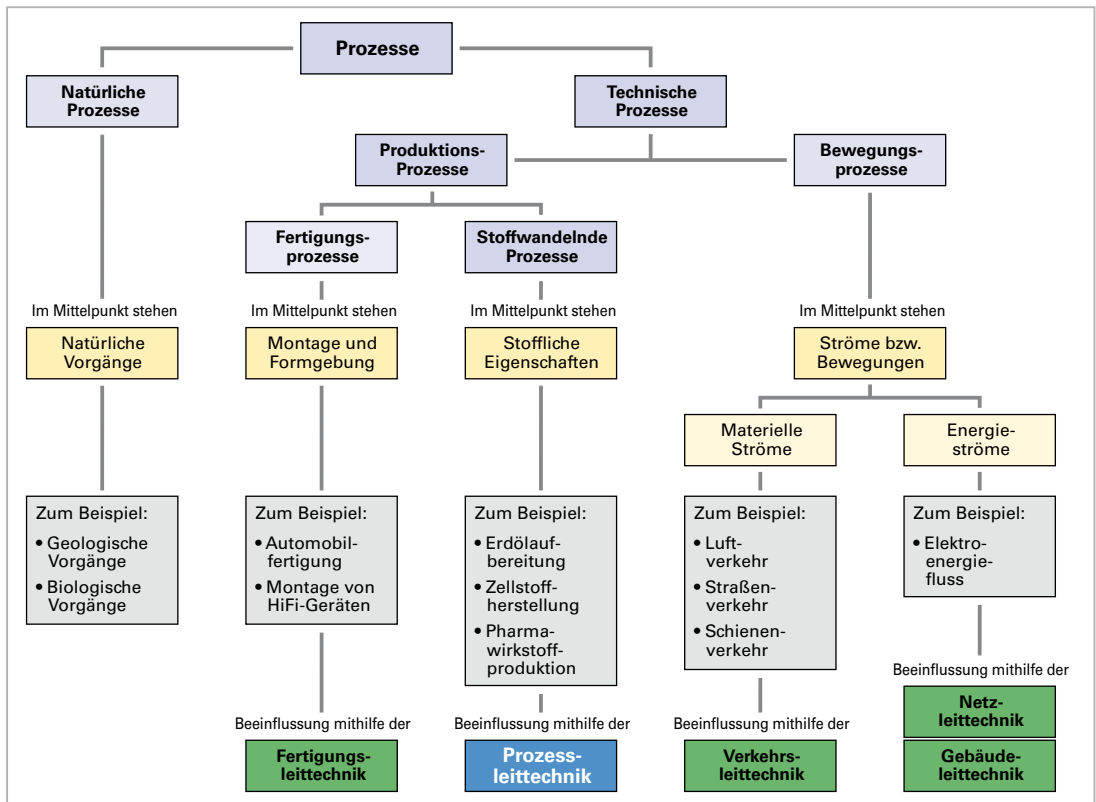


Bild 1: Struktur der unterschiedlichen Prozess-Begriffe

In Kapitel 1.7, Seite 16, wird näher ausgeführt, dass im Umgangssprachegebrauch der Begriff **Prozessleittechnik** jedoch lediglich dem Bereich der **Stoffwandlungsprozesse** zugeordnet wird.

Im Bereich der Fertigungstechnik ist trotz der eindeutigen Prozess-Definition nach DIN IEC 60050-351 nicht von **Prozessleittechnik**, sondern von der **Fertigungsleittechnik** die Rede. Diese Tatsache zeigt, dass die technische Praxis nicht immer mit deren Normung übereinstimmt.

1.3 Begriffsteil „Leiten“

Der zweite Wortbestandteil des Begriffes „Prozessleittechnik“ ist der Begriff des Leitens. **Leiten** bedeutet, alle Maßnahmen zu treffen, um den Prozess gemäß den gewünschten Zielen zu beeinflussen.

Merksatz

„Leiten“ bedeutet, Maßnahmen zum Erreichen bestimmter **Ziele** zu ergreifen.

Die vom Menschen bei den unterschiedlichen Prozessen angestrebten Ziele lassen sich zu bestimmten übergeordneten und immer wieder zu findenden Punkten zusammenfassen:

- **Realisierung** der materiellen Produktion,
- Verbesserung der **Qualität** und Erhöhung der Quantität der Produktion mit geringstmöglichem Einsatz an Material, Energie und Personal,
- Verminderung des **Betriebsrisikos** für Mensch, Anlage und Umwelt,
- Erhöhung der **Anlagenzuverlässigkeit** und **-verfügbarkeit**,
- Sicherung von leistungsfördernden **Arbeitsbedingungen** und angemessenen **Arbeitsbeanspruchungen** für das Bedienpersonal,
- Verbesserung der **Anpassungsfähigkeit** an geänderte Marktbedingungen.

Einige wesentliche Maßnahmen zum Erreichen dieser Ziele können bereits in der Phase der Anlagenplanung und -errichtung realisiert werden. Dies sind die **konstruktiven Maßnahmen**.

Die **leittechnischen Maßnahmen** betreffen jedoch die Phase des Betriebs der Anlage.

Die Maßnahmen im laufenden Anlagenbetrieb lassen sich schlagwortartig charakterisieren mit den Begriffen

- **Steuern,**
- **Regeln,**
- **Überwachen,**
- **Dokumentieren.**

Beispiel

Maßnahmen zum Leiten

In dem Wärmeübertragungssystem von Bild 2, Seite 11, steht das Ziel, das aufzuheizende Produkt mit einer Temperatur von 60 °C austreten zu lassen.

Maßnahmen dazu sind:

Die Software des Prozessleitsystems ist so zu konfigurieren, dass bei zu hoher Temperatur das Dampfventil weiter geschlossen und bei zu niedriger Temperatur weiter geöffnet wird. Das bedeutet, es ist vom Konstrukteur eine Regelung vorzusehen (Maßnahme: Regelung).

Der künftige Bediener hat am Bildschirm des Prozessleitsystems den Sollwert von

60 °C für den Regler einzustellen (Maßnahme: **laufende Bedienung**).

Bei Fehlfunktionen muss der Bediener in zweckmäßiger Weise eingreifen (Maßnahme: **Überwachung**). Dabei helfen ihm geeignete Geräte. Wenn beispielsweise das Regelventil defekt ist und ständig geöffnet bleibt, ist es von Nutzen, wenn die Konstrukteure ein 2. Ventil vorgeschaltet haben, das im Überhitzungsfall im Sinne eines Noteingriffs automatisch schließt.

Oft werden solche Ereignisse dann auch automatisch protokolliert, das heißt, deren Uhrzeit wird auf einer Festplatte des Prozessleitsystems zur späteren Auswertung dauerhaft gespeichert (Maßnahme: **Dokumentieren**).

Der Begriff des Leitens findet nicht nur in den Industrien der materiellen Produktion Verwendung, sondern auch in der Kraftwerkstechnik, in der Kommunikationsindustrie, in der Energieverteilung, im Facility Management und im Verkehrswesen. Dementsprechend spricht man neben der **Produktionsleittechnik** auch von der **Netzleittechnik**, **Gebäudeleittechnik** und **Verkehrsleittechnik**.

Eine sinnvolle Gruppierung dieser Leittechnik-Begriffe ist in Bild 1 dargestellt. Der Begriff der **Kraftwerksleittechnik** ist dort nicht mit aufgeführt, da in der Elektroenergieerzeugung die Prozessleittechnik eine Rolle spielt, während bei der Energieverteilung die Netzleittechnik Anwendung findet.

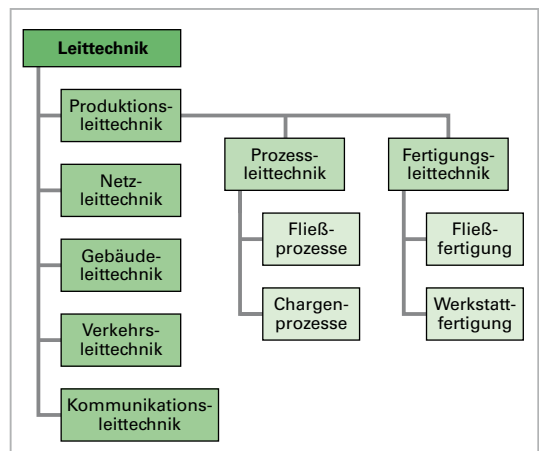


Bild 1: Gruppierung der gebräuchlichsten Leittechnik-Begriffe in Anlehnung an DIN IEC 60050-351

1.4 Begriffsteil „Technik“

Der dritte Wortbestandteil des Begriffes „Prozessleittechnik“ ist der Begriff der Technik. Unter **Technik** versteht man die vom Menschen geschaffenen komplexen künstlichen Produkte, die er unmittelbar zur Nutzung oder aber indirekt zur Durchführung der Produktion verwendet. Zur Entwicklung und Herstellung dieser Produkte werden naturwissenschaftliche Erkenntnisse praktisch umgesetzt. Eine besondere Rolle spielen dabei die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse auf den Fachgebieten der Elektrotechnik, der Mechanik, des Maschinenbaus und der Informationsverarbeitung.

Merksatz

Unter dem Begriff „**Technik**“ versteht man vom Menschen geschaffene komplexe künstliche Produkte.

Beispiel

Komplexe künstliche Produkte

Personenkraftwagen oder **Hifi-Anlagen** sind künstliche Produkte, die der Mensch unmittelbar zur Nutzung verwendet.

Ein **beheizbarer Rührapparat** ist ein künstliches Produkt, das vom Menschen zum Beispiel zur Produktion eines pharmazeutischen Wirkstoffes verwendet wird.

Ein **Computer** ist ein künstliches Produkt, das vom Menschen sowohl unmittelbar zur Konsumtion (zum Beispiel für Computerspiele) oder aber mittelbar für die Produktion verwendet werden kann. Die Verwendbarkeit hängt in erster Linie von der eingesetzten Software ab. Diese ist damit ein wesentlicher Bestandteil der Computertechnik.

Die **Software** in einem Computer zur Steuerung einer Chemieanlage ist ein vom Menschen geschaffenes künstliches Produkt, das er zur Produktion verwendet.

Das **Dampfregelventil** im Bild 2, Seite 11, stellt ebenso wie die **Datenübertragungsleistungen** ein künstliches Produkt dar, das zur Produktion verwendet werden kann.

Die Technik hilft dem Menschen bei der Erleichterung, Beschleunigung und Intensivierung der Arbeitsprozesse oder dient der Unterhaltung und Wiederherstellung seiner Arbeitskraft.

1.5 Zusammenführung der Begriffsteile

Nach den Vorbetrachtungen der Kapitel 1.1 bis 1.4 lässt sich der Begriff **Prozessleittechnik** folgendermaßen definieren:

Merksatz

Unter dem Begriff **Prozessleittechnik** und unter einem **Prozessleitsystem im weiteren Sinne** versteht man alle Anlagenteile inklusive der Software, die dazu dienen, einen stoffwandelnden Prozess:

1. zu **steuern**,
2. zu **regeln**,
3. zu **überwachen**,
4. zu **dokumentieren**.

Diese vier Hauptfunktionen werden im Kapitel 3, Seite 27 ff., näher erläutert. DIN IEC 60050-351 nennt darüber hinaus weitere Aufgaben, die sich jedoch vollständig in die vier genannten Hauptfunktionen einordnen lassen. Dazu gehören das Messen, Zählen, Anzeigen, Melden, Stellen, Eingreifen, Auswerten und Optimieren.

Zur Lösung der in der Definition angegebenen Aufgaben enthält die in einer chemischen Anlage vorhandene **Prozessleittechnik** bzw. das **Prozessleitsystem** (PLS im weiteren Sinne) folgende Einrichtungen:

- **Messeinrichtungen** (z. B. Temperaturmessfühler mit Signalverstärker und -umformer),
- **Stelleinrichtungen** (z. B. Ventile oder Drehzahlverstell-Elektronik),
- **Informationsverarbeitende und -transportierende Einrichtungen** (z. B. Computer und Verbindungskabel).

Die in der Definition des Begriffes „Prozessleittechnik“ enthaltenen vier Kernaufgaben lassen sich in weitere Teilaufgaben untergliedern. So setzt sich beispielsweise allein die Aufgabe **Regeln** aus den folgenden Teilaufgaben zusammen:

- **Messen**, z. B. der Produktaustrittstemperatur,
- **Registrieren**, z. B. der Produktaustrittstemperatur (also Speichern von deren zeitlichem Verlauf, des sogenannten Trends),
- **Berechnung**, z. B. Ermittlung der erforderlichen Ventilöffnung,

- **Melden**, z. B. durch ein Alarmsignal, falls die Temperatur einen einprogrammierten Grenzwert überschreitet,
- **Schutzmaßnahmen** ergreifen, z. B. Notabschaltung der Dampfzufuhr bei zu hoher Produktaustrittstemperatur infolge eines defekten Dampfregelventils,
- **Anzeigen** des momentanen Temperaturmesswertes, des eingestellten Temperatursollwertes und der aktuellen Ventilöffnung,
- **Optimierungsmaßnahmen** ergreifen, z. B. Optimierung der Reglerarbeitsweise (Ist es vielleicht günstiger für den Dampfverbrauch, den Regler künftig etwas schneller oder vielleicht etwas träger arbeiten zu lassen? Moderne Regler sind in der Lage, selbstständig ihre günstigsten Parameter zu ermitteln.),
- **Auswertungen durchführen**, z. B. Ermittlung der Durchschnittstemperatur oder des Dampfverbrauches als zeitlichen Mittelwert,
- **Verwaltung** ermöglichen, z. B. Planung der nächsten Wartung des Regelventils in Abhängigkeit von dessen Beanspruchung durch die insgesamt zurückgelegte Spindelwegstrecke,
- **Bedienung** ermöglichen, z. B. eine Eingabemöglichkeit des Temperatursollwertes oder einer vom Bediener gewählten festen Ventilöffnung vorsehen.

In einer konkreten Chemieanlage kann für die Gesamtheit der **Prozessleittechnik** auch der Begriff **Prozessleitsystem** (im weiteren Sinne) völlig identisch verwendet werden.

Die Umgangssprache versteht unter einem Prozessleitsystem jedoch nur den computergestützten Teil der Prozessleittechnik. Nach dieser eingebürgerten umgangssprachlichen Verwendung des Begriffes „**Prozessleitsystem**“ im engeren Sinn gibt es eine weitere Definition:

Merksatz

Unter einem **Prozessleitsystem im engeren Sinne** versteht man den computergestützten, digital arbeitenden Teil der Prozessleittechnik mit seiner Hard- und Software.

Dieser Teil wird im englischen Sprachraum als „Digital Control System“ bezeichnet. Daraus ergeben sich die Abkürzungen „PLS“ bzw. „DCS“.

Bei modernen größeren Prozessleitsystemen ist dies nicht ein einzelner Computer, sondern ein Computernetzwerk mit mehreren Arbeitsstationen. Diese werden auch als **Operator Stations, Leitstationen, Workstations** oder **Anzeige- und Bedienkomponenten** bezeichnet.

Bild 1 trifft eine grobe Unterteilung der Bestandteile eines Prozessleitsystems in einen computerbasierten, digitalen Teil, und einen nicht computerbasierten, konventionellen Teil. Entsprechend werden auch die Prozessleittechnik-Begriffe im **engeren Sinne** und im **weiteren Sinne** zugeordnet.

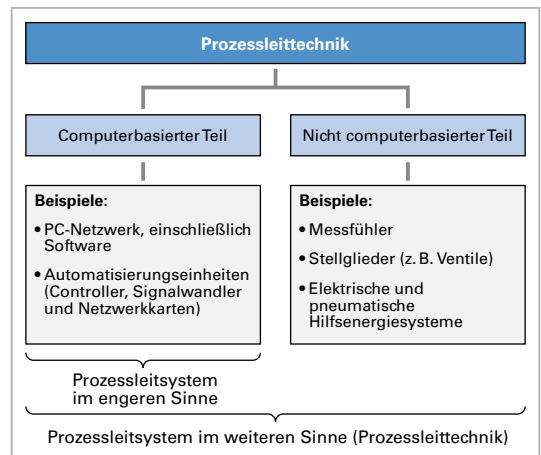


Bild 1: Hauptbestandteile eines Prozessleitsystems

Bild 2 veranschaulicht schematisch das Zusammenwirken von Mensch und Prozess. Es ist ersichtlich, dass die Leittechnik das Bindeglied zwischen dem Menschen (in der Regel dem Bediener) und dem Prozess darstellt.

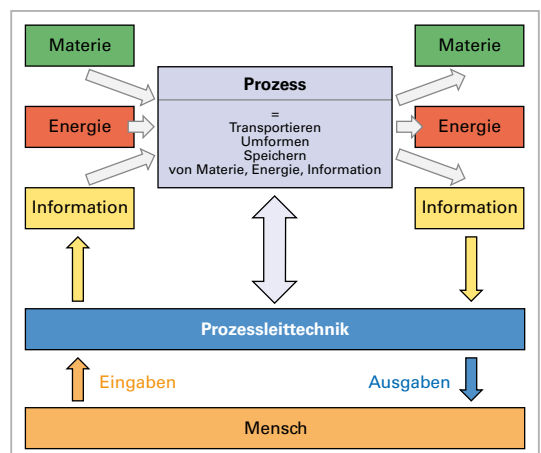


Bild 2: Stellung der Prozessleittechnik als Bindeglied zwischen Mensch und Prozess

Bedeutung der Kennbuchstaben für die Darstellung von PCE-Aufgaben (DIN EN 62424)

Erstbuchstabe (PCE-Kategorie)	Folgebuchstaben (PCE-Verarbeitungsfunktion)	
	Innerhalb des Ovals	Außerhalb des Ovals
A Analyse	B Beschränkung, Eingrenzung	A Alarmierung, Grenzwertmeldung
B Flammenüberwachung	C Regelung (engl. „control“)	H Bei Erreichen des oberen Grenzwertes
D Dichte	D Differenz	L Bei Erreichen des unteren Grenzwertes
E Elektrische Spannung	F Verhältnis	O Optische Anzeige, Statusanzeige von Binärsignalen
F Durchfluss (engl. „flow“)	I Analoganzeige	S Binäre Steuerungsfunktion oder Schaltfunktion
G Abstand, Länge, Stellung	Q Integration oder Summenbildung (Aufsummierung von kleinen Teilbeträgen)	Z Binäre Steuerungsfunktion oder Schaltfunktion mit Sicherheitsrelevanz (Noteingriff)
H Handeingabe, Handeingriff	R Registrierung, Aufzeichnung	
J Elektrische Leistung	Y Rechenfunktion	
L Füllstand oder Trennschichtstand (engl. „level“)	X Frei verfügbarer Buchstabe	
M Feuchtigkeit (engl. „moisture“)		
N Motor, elektr. Stellantrieb		
P Druck (engl. „pressure“)		
Q Menge, Anzahl, Quantität		
R Strahlungsgrößen („radiation“)		
S Geschwindigkeit, Drehzahl, Frequenz (engl. „speed“)		
T Temperatur		
U Leitfunktion (komplexe Informationsverarbeitung)		
V Schwingung/Vibration		
W Gewicht (engl. „weight“), Kraft		
Y Stellventil, Stellungsvorgabe		
X Frei verfügbarer Buchstabe		

Hinweise:

- Fehlt der Querstrich im PLT-Stellen-Symbol, handelt es sich um eine örtliche Funktion (z. B. Anzeige direkt an einem Behälter).
- Die Kennbuchstaben für die PLT-Stellen sind nicht zu verwechseln mit den Ausrüstungsbezeichnungen wie z. B. HV 11 für Handventil Nr. 11!
- Die Kennbuchstaben sind ebenfalls nicht zu verwechseln mit den Formelzeichen für Führungsgröße (w), Stellgröße (y) und Störgröße (z)!
- Die Länge und Gliederung der Referenzkennzeichnung (PLT-Stellennummer) sind nicht genormt, sondern werden betriebsintern festgelegt.
- In den Unternehmen existieren vielfach noch die älteren Dokumentationen nach der nicht mehr gültigen DIN 19227. Dort erfolgt die Darstellung der PLT-Aufgaben mit kreisförmigen Symbolen, den „MSR-Stellen-Kreisen“.

Beispiele

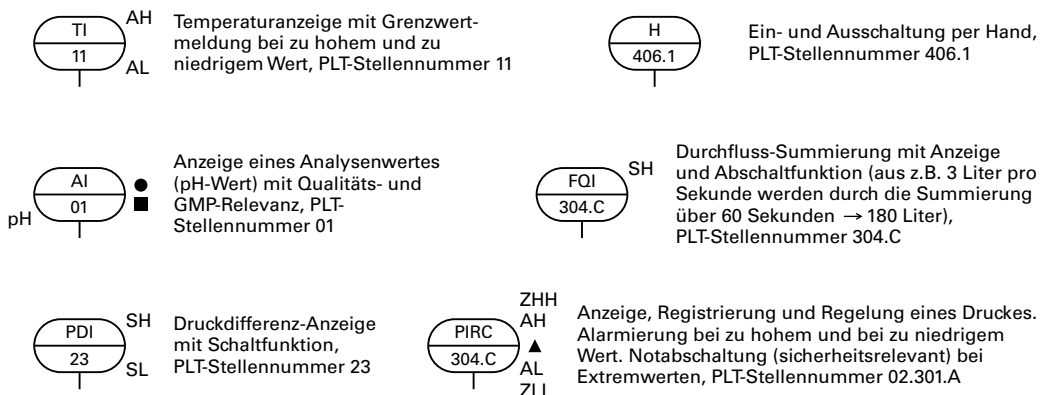
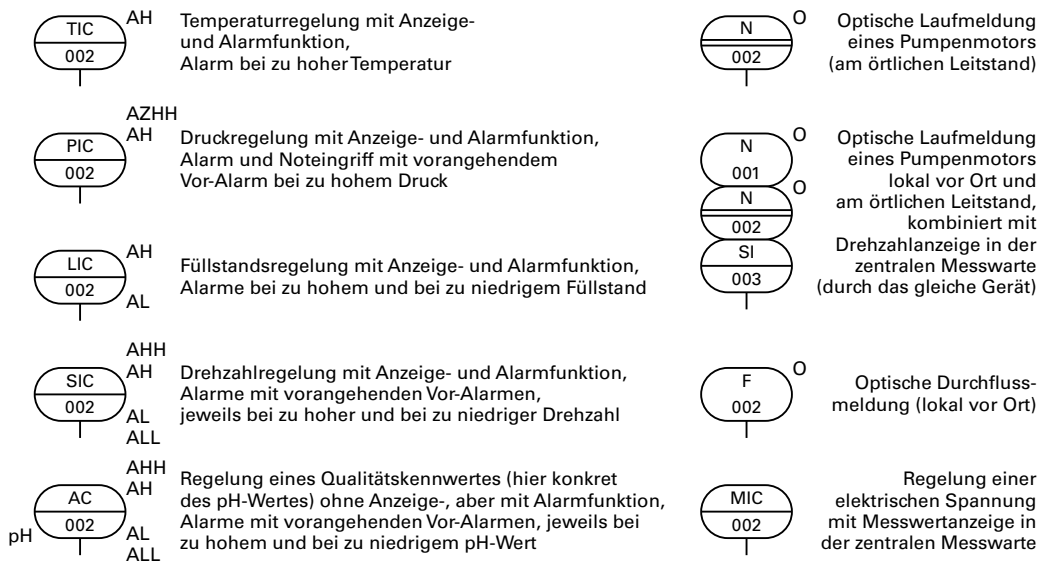
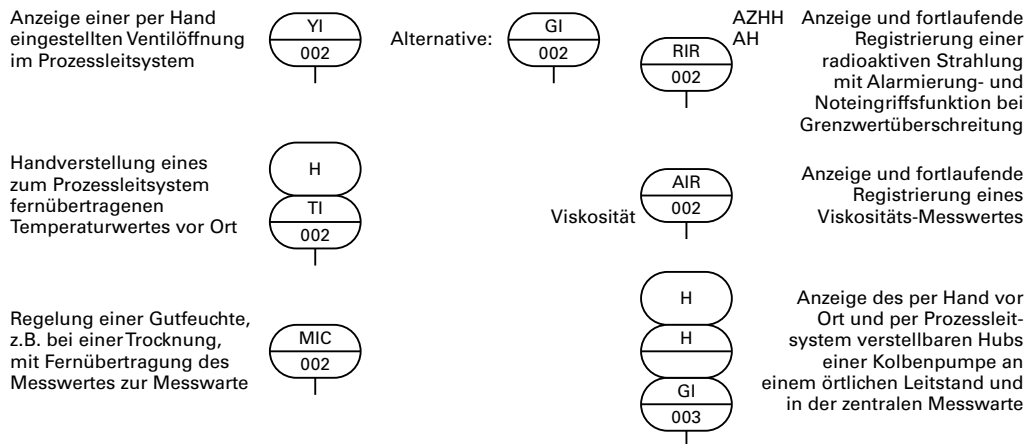


Bild 1: Ausführungsbeispiele für PLT-Stellen-Kennzeichnung gemäß DIN EN 62424

Beispiele für die Darstellung und Kennzeichnung von PCE-Aufgaben gemäß DIN EN 62424



Beispiele für weniger häufig anzutreffende Kennzeichnungen von PCE-Aufgaben



spezielle PCE-Verarbeitungsfunktionen für Aktoren mit Beispielen

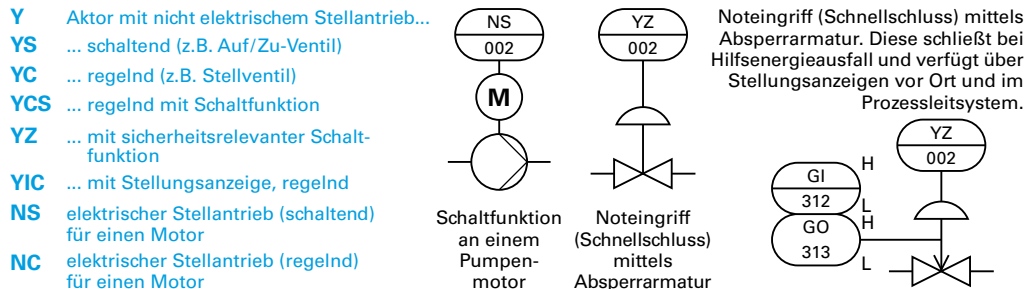


Bild 1: Ergänzende Angaben in den PLT-Stellen-Kennzeichen gemäß DIN EN 62424

Die DIN EN 62424 regelt in erster Linie die Darstellung in den Konstruktions- und Planungszeichnungen. Sie ist aber sinngemäß auch für die Darstellung auf den Computermonitoren gültig.

Nun bieten Computermonitore andere Möglichkeiten, aber auch andere Beschränkungen der grafischen Darstellung als eine Papierzeichnung. Deshalb weicht die Monitordarstellung in der Praxis häufig von den genormten schwarz-weißen Strichsymbolen der DIN-Normen ab. Dies gilt sowohl für die Apparate- und Ausrüstungssymbole als auch für die EMSR-Stellen. Stattdessen findet man oft räumlich gestaltete farbige Symbole für die Apparate und Ausrüstungen. Sie bilden dann das tatsächliche Aussehen realistischer ab als eine Strichzeichnung.

Solche Abweichungen von der Norm sind vertretbar, wenn dadurch die Bedien-Ergonomie verbessert wird und die schnelle und zielsichere Informationsaufnahme durch den Bediener gefördert wird.

Auf dem Monitor-Fließbild gibt es sensitive Bereiche (meist die EMSR-Stellen oder schaltbare Ausrüstungsteile, wie Motoren, Pumpen, Binärventile), die per Mausklick anwählbar sind. Werden sie angeklickt, öffnet sich ein spezielles Bedienfenster, auch Faceplate genannt.

5.5 Faceplate-Darstellung

Nach Aufruf durch Anklicken stellt sich jede EMSR-Stelle (Messung, Regler, Stellorgan) als **Faceplate** (frei übersetzt: „Bedienfenster“) dar.

Die Faceplate-Darstellung trägt bei manchen Leitsystem-Herstellern auch die Bezeichnung **Loop-Detail** oder **Bediendialog**.

Die Faceplate-Darstellung bietet dem Bediener Informationen aus der Anlage, z. B. Messwerte, oder enthält Bedienelemente zur Prozessbeeinflussung.

Merksatz

Das Faceplate ist das Bedienfenster einer prozessleittechnischen Einrichtung, der **EMSR-Stelle** (umgangssprachlich auch als „PLT-Stelle“ bezeichnet).

Ein Beispiel dazu zeigt Bild 1. Das im Bild gezeigte Faceplate wird verwendet, um ein Binärventil (Ventil mit zwei Stellungsmöglichkeiten) zu öffnen oder zu schließen.

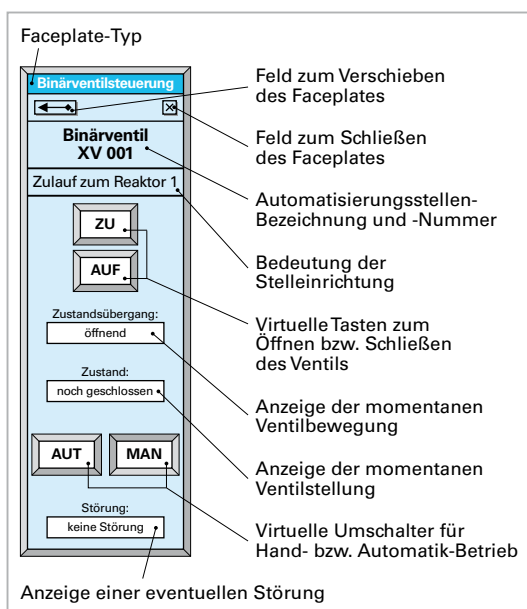


Bild 1: Faceplate eines Binärstellers

Die gleiche Gestalt hätten (beim gleichen Hersteller) zum Beispiel die Faceplates einer Pumpschaltung oder der Ein-Aus-Schaltung eines Rührwerks-Motors. Die wichtigsten Bedienelemente sind der Ein- und der Ausschalter. Vorgesehen sind gleichfalls Anzeigefelder, die dem Bediener signalisieren, ob das Ventil momentan geöffnet oder geschlossen ist, bzw. ob der Motor gerade läuft oder still steht.

Hinweis

Nicht alle Ventile liefern Rückmeldesignale zum Prozessleitsystem. Die Rückmeldungen „geöffnet“ oder „geschlossen“ beanspruchen jeweils einen zusätzlichen Signalweg im Prozessleitsystem, einen sogenannten Kanal.

Vom Ventil bis zur Binär-Eingangskarte stellen diese Kanäle ein oder zwei Drahtpaare dar; im computerbasierten Teil des Prozessleitsystems sind es reservierte Speicherplätze bzw. Datenpakete im Bus-System. Bei Ventilen ohne Rückmeldesignal sind die Anzeigefelder der momentanen Ventilstellung inaktiv. Es ist auch möglich, dass beim Fehlen des Rückmeldekanals die Anzeigefelder unabhängig von der wirklichen Ventilstellung die zuletzt angewählte Schaltstellung anzeigen.

Neben dem in Bild 1, Seite 88, gezeigten Faceplate zur Ein-Aus-Schaltung (**Binär-Steller-Faceplate**) ist eines der am meisten anzutreffenden Faceplates das **Faceplate der stetigen Regelung**.

Im Design der **Regler-Faceplates** verfolgt jeder Hersteller seine eigenen Philosophien. Ein Teil der Bedienfenster auf den Computermotoren ist gestalterisch an die Fronten der früheren pneumatischen Regler angelehnt. Bild 1 zeigt eine solche Regler-Front.

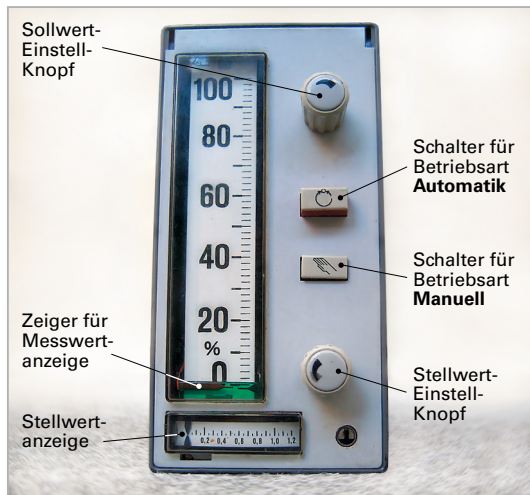


Bild 1: Bedienfront eines pneumatischen Reglers

Die Bilder auf den Seiten 88 bis 90 verdeutlichen, wie Reglerfaceplates in der PLT-Software typischerweise gestaltet sein können.

Die anzuzeigenden Werte können entweder als Säulen oder als Dreiecke veranschaulicht werden. Unabhängig vom konkreten Design sind folgende Anzeigen und Bedienelemente im Faceplate immer vorhanden:

- Anzeige des aktuellen Messwertes (der **Regelgröße**, umgangssprachlich auch "Istwert" genannt),
- Anzeige des eingestellten **Sollwertes** (Führungsgröße),
- Anzeige des momentanen **Stellwertes** (Wert der Stellgröße),
- Anzeige, ob der Regler momentan im **Automatik**-Betrieb oder im **manuellen** Betrieb oder im **Kaskaden**-Betrieb arbeitet,
- Knopf zum Schalten in den **Automatikbetrieb** („AUT“, „A“ oder „Auto“),
- Knopf zum Schalten in den **manuellen Betrieb** („MAN“, „M“ oder „Hand“),
- Knopf zum Schalten in den **Kaskadenbetrieb**, („Ext“, „E“, „Casc“, „C“, „Remote“ oder „R“),
- Knopf für **Regler-Einstellungen**, die sogenannten Reglerparameter („Init“ oder „Param“).

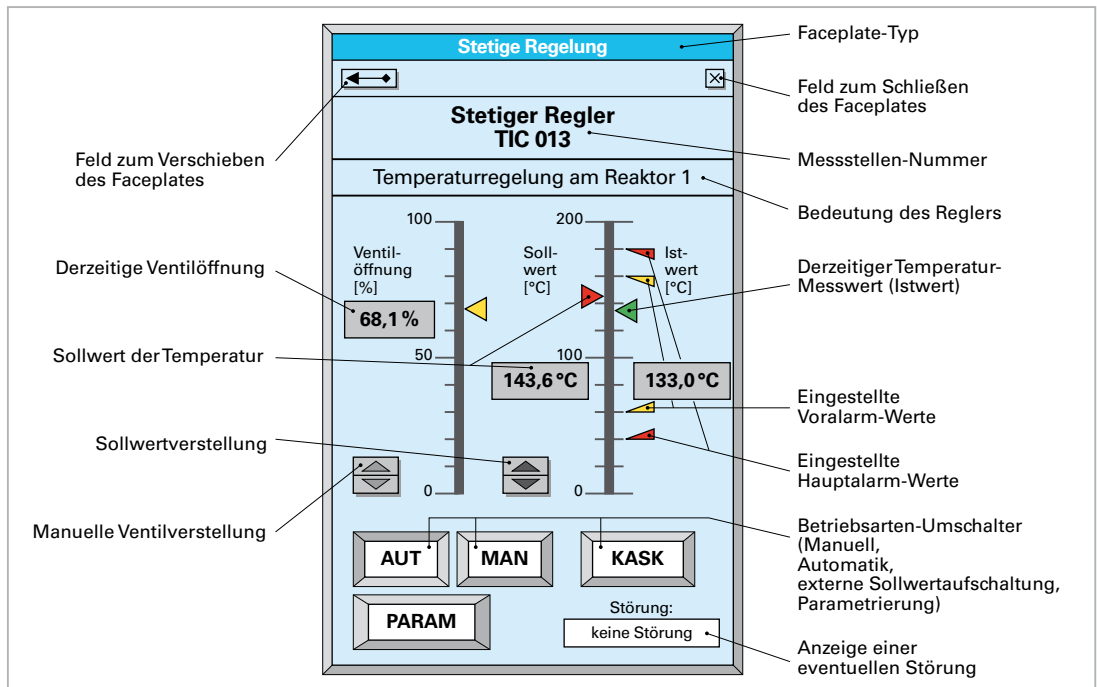


Bild 2: Typische Gestaltung eines Regler-Faceplates mit Dreieck-Anzeigen (Stellwertanzeige links vertikal)

Merksatz

Transmitter sind elektronische Geräte, welche die Messsignale so umformen, dass sie über längere Wege übertragen werden können. In bestimmtem Umfang sind sie auch zur Anpassung des Messsignals an die Auswertegeräte zuständig. Andere Ausdrücke für Transmitter sind **Messumformer** und **Messwandler**.

Zur Messung von Prozesswerten kommen nur physikalische Größen infrage, für die nach dem Stand der Technik geeignete Sensoren bereitstehen. Eine Übersicht über die wichtigsten physikalischen Größen, die üblicherweise zum Messen von Prozesswerten herangezogen werden, enthält Tabelle 1, Seite 138.

Im Folgenden werden die in der Chemieindustrie gebräuchlichsten Messprinzipien vorgestellt.

7.2 Temperaturmessung

Merksatz

Die Temperatur ist die am häufigsten messtechnisch erfasste physikalische Größe in der stoffwandelnden Industrie.

Die gebräuchlichsten Temperatursensoren sind das **Thermoelement** und das **Widerstandsthermometer**.

7.2.1 Thermoelement

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Thermoelement-Sensors mit den am Kopf angebrachten Leitungsanschlüssen. Zwei lange Drähte aus zwei unterschiedlichen Metallen führen im Inneren der Hülse vom Kopf bis hinunter zur Spitze, wo sie miteinander verlötet oder durch eine Pressung verbunden sind.

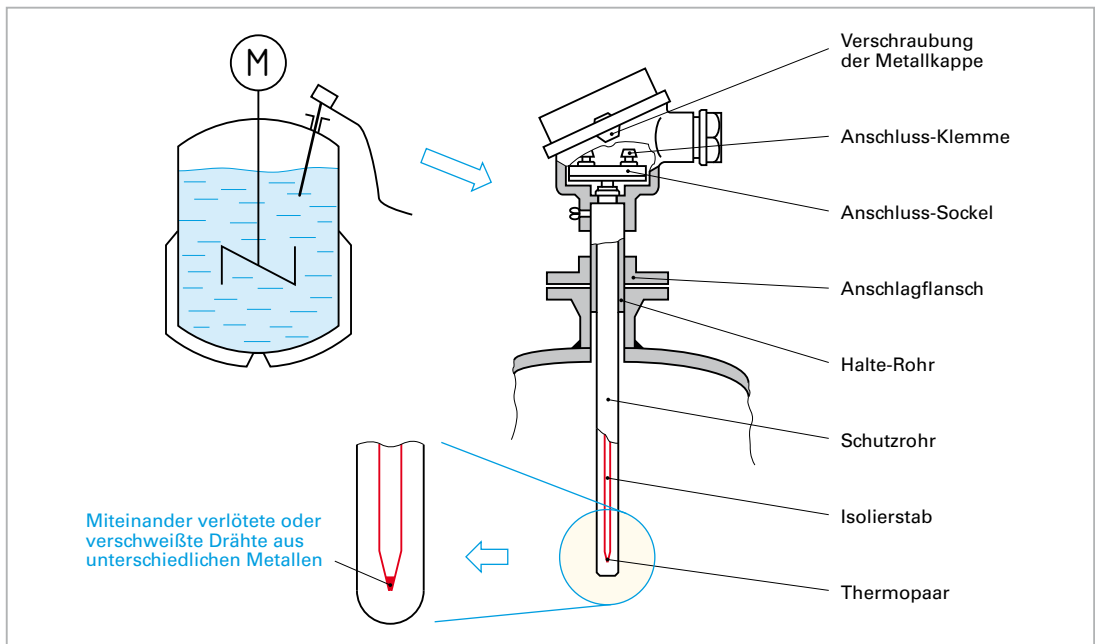


Bild 1: Aufbau eines Thermoelements

Das Thermoelement wird in ein am Messort montiertes Schutzrohr eingeführt, welches beim Austausch des Thermoelementes am Messort verbleiben kann. Bild 1, Seite 141, zeigt Thermoelemente aus einem Herstellerprospekt. Das Thermoelement macht sich die Gesetzmäßigkeit zunutze, dass an der

Verbindungsstelle zweier unterschiedlicher Metalle eine elektrische Spannung entsteht. Diese hängt von der Temperatur an der Verbindungsstelle ab. Daneben ist sie abhängig von der Art der verbundenen Metalle oder Metall-Legierungen (siehe Tabellen 1 und 2, Seite 141).



Bild 1: Thermoelemente in Herstellerprospekten

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der in DIN EN IEC 60584 als Thermopaare eingesetzten standardisierten Metalle.

Die erste Spalte enthält den genormten Typ-Kennbuchstaben.

Die zweite und dritte Spalte geben Auskunft über die Art der Metalle oder ihrer Legierungen. Dabei werden die Kurzzeichen aus dem Periodensystem der Elemente genutzt. So steht **Fe** für reines Eisen, **NiAl** für eine Nickel-Aluminium-Legierung oder **PtRh** für eine Platin-Rhodium-Legierung.

Die dritte Tabellenspalte enthält die zugehörigen Temperaturbereiche bei Dauereinsatz.

Tabelle 1: Nach DIN EN IEC 60584, Teil 1 spezifizierte Thermopaare

Typ-kenn-zeich-nung	Material (+)	Material (-)	Temperaturbereich bei Dauerbetrieb
J	Fe	CuNi	-180 °C bis +750 °C
K	NiCr	NiAl	-180 °C bis +1350 °C
T	Cu	CuNi	-250 °C bis +400 °C
E	NiCr	CuNi	-40 °C bis +900 °C
R	Pt13Rh	Pt	-50 °C bis +1700 °C
S	Pt10Rh	Pt	-50 °C bis +750 °C
B	Pt30Rh	Pt6Rh	+100 °C bis +1820 °C

Für jedes Thermopaar existieren genormte Abhängigkeiten der Thermospannung von der gemessenen Temperatur. Der genormte Grundzustand des Thermoelementes ist die Temperatur von Null Grad Celsius. Bei exaktem Abgleich des gesamten Messkreises am zugehörigen Transmitter entsteht dann eine Thermospannung von 0 V.

Tabelle 2 sowie Bild 2 verdeutlichen die Temperaturabhängigkeit der Thermospannung bei dem häufig eingesetzten Thermoelement des **Typs J**, also eines Elements mit der Werkstoffpaarung **Fe/CuNi**.

Die Legierung aus Kupfer (Cu) und Nickel (Ni) wird auch als **Konstantan** bezeichnet. Fe steht für das chemische Element Eisen. Daher trägt die Thermopaarung des Typs J auch die Bezeichnung **Eisen-Konstantan**.

Tabelle 2: Genormte Thermospannungsreihe eines Eisen-Konstantan-Thermoelementes (Typ J) nach DIN EN IEC 60584-1

Temperatur	Thermospannung	Temperatur	Thermospannung
-200 °C	-7,890 mV	300 °C	16,325 mV
-100 °C	-4,632 mV	400 °C	21,864 mV
0 °C	0 mV	500 °C	27,388 mV
20 °C	1,019 mV	600 °C	33,096 mV
50 °C	2,585 mV	800 °C	45,498 mV
100 °C	5,268 mV	1100 °C	57,942 mV
200 °C	10,777 mV	1200 °C	69,536 mV

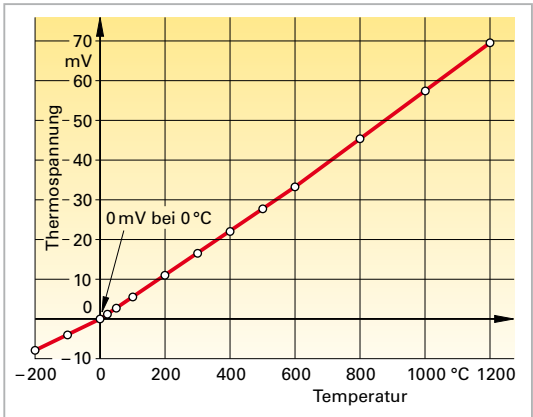


Bild 2: Abhängigkeit der Thermospannung von der Temperatur bei einem Thermoelement des Typs J (Eisen-Konstantan)

Das Signal, welches das Pumpen-Schaltrelais ansteuern soll, muss hinter der bereits in Bild 1, Seite 186, vorhandenen UND-Funktion um 2 Sekunden verzögert werden. Bild 3, Seite 186 stellt diese Verknüpfung mit der Zeitfunktion „Verzögerungsglied“ dar. Wenn die UND-Funktion erfüllt ist, wird nach 2 Sekunden die Pumpe mit einem "1"-Signal angesteuert.

Merksatz

Zeitfunktionen ermöglichen in Steuerungen das verzögerte Ein- oder Ausschalten von Ausgängen oder Prozessen.

Damit sind die wichtigsten Funktionen, um Verknüpfungssteuerungen aufbauen zu können, beschrieben. Diese könnten z. B. als Programm in Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) erstellt werden. Dazu werden Beispiele im Kapitel 8.5, Seite 196, aufgeführt. Die SPS wird im Kapitel 12.9, Seite 329, erläutert.

8.4 Ablaufsteuerung (GRAFCET)

Aufgrund ihrer Komplexität werden Ablauf- oder Rezeptursteuerungen auch als **Batch-Steuerungen** oder **Batch-Prozesse** (engl. batch: stapelweise) bezeichnet. Diese werden in Kapitel 11, Seite 291 ff., ausführlicher behandelt.

Eine **Ablaufsteuerung** ist eine Steuerung mit zwangsweise **schrittweisem Ablauf** von Prozessschritten, bei dem der Übergang von einem Schritt auf den programmäßig folgenden Schritt abhängig von **Transitionen** (Weiter-schaltbedingungen, z. B. Eingangssignale) ist.

Merksatz

Ablaufsteuerungen werden in der Industrie immer dort verwendet, wo Prozesse ein zwangsweise schrittweises Abarbeiten von Teilprozessen erfordern.

Zum besseren Verständnis der Funktion einer Ablaufsteuerung soll in diesem Kapitel die folgende Anlage als Beispiel dienen.

Beispiel

Für einen Rührbehälter (Bild 1) soll folgender Ablauf automatisiert werden:

- Wird der Starttaster *Start* betätigt **und** ist der Vorlagebehälter BE1 mit 1 Liter Produkt A gefüllt (LI001="1"), dann soll der Rührbehälter BR3 mittels Ventil VV1 und Pumpe PL1 gefüllt werden.

- Ist der Rührbehälter BR3 gefüllt (LI003="1"), soll das Rührwerk RW1 für 60 Sekunden laufen und das Produkt umrühren.
- Ist die Zeit abgelaufen, dann wird das Produkt über das Ventil VV2 abgelassen.
- Ist der Behälter BR3 entleert (LI002="0"), dann ist ein Ablauf beendet.

In dieser Aufgabenstellung ist deutlich erkennbar, dass die notwendige Steuerung als Ablaufsteuerung erstellt werden muss. Es wird beschrieben, dass sich der Prozess aus einer Folge von Prozessschritten zusammensetzt, die immer nur einzeln nacheinander ablaufen dürfen. *Kursiv* sind im Text die Transitionen (Eingangssignale) und unterstrichen die Aktionen (Ausgangssignale) hervorgehoben.

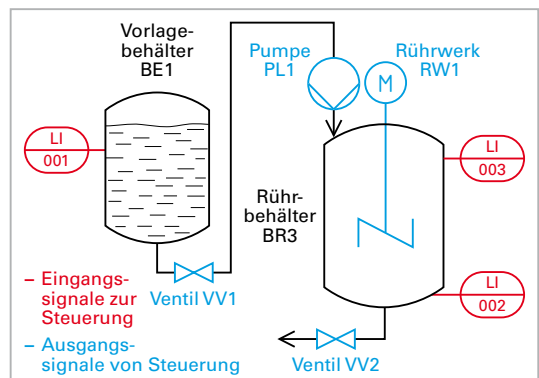


Bild 1: Rührbehälter BR3

Mithilfe der Ablaufsteuerung können Prozesse mit einer Folge von Prozessschritten schnell und übersichtlich automatisiert werden.

Merksatz

Eine Ablaufsteuerung stellt die Bedingungen für einen zu automatisierenden Prozess dar, der einen zwangsweise schrittweisen Ablauf von Teilprozessen aufweist. Ein Prozessschritt kann nur aktiv werden, wenn der davor bearbeitete Schritt aktiv ist und die Transition, die über dem Schritt steht, erfüllt ist.

Für die direkte Programmierung werden zwar logische Funktionen miteinander verknüpft, dies erfolgt aber nach einem bestimmten Prinzip, das durch die Norm GRAFCET (auch GRAFCET-Plan, DIN EN 60848) einfach und übersichtlich beschrieben wird.

Unter GRAFCET versteht man eine grafische Erstsprache für die funktionale Beschreibung der Ablaufvorgänge einer Steuerung.

Die DIN EN 60848 ist seit dem 1. April 2005 europaweit gültig und hat die alte Norm 40719-Teil 6 abgelöst. Darin sprach man vom Funktionsplan, der prinzipiell dem GRAFCET-Plan ähnelt. Der GRAFCET ermöglicht aber eine verständlichere Darstellung der Aktionen (Befehle).

GRAFCET ist die Abkürzung für „**GRA**phe **Fon**ctionnel de **Com**mande **E**tape **T**ransition“. Aus dem Französischen übersetzt bedeutet dies: Grafische Darstellung der Steuerungsfunktion mit Schritten und Weberschaltbedingungen. Die Darstellung von Ablaufsteuerungen mit GRAFCET-Plänen ist aufgrund ihrer einfachen Symbolik übersichtlich und verständlich.

Merksatz

Mithilfe von GRAFCET lassen sich die Ablaufsteuerungen schnell und übersichtlich darstellen. GRAFCET beschreibt den Ablauf der Ausführungen sowie die jeweils auszuführenden Aktionen.

Jede Steuerung arbeitet nach dem EVA-Prinzip (**E**ingabe-**V**erarbeitung-**A**usgabe).

Auch bei einer Ablaufsteuerung werden die aktuellen Signale von Eingängen (Schaltern, Tastern, Sensoren) in der Steuerung mit Bedingungen (logische Funktionen) verknüpft, durch das Ergebnis werden Signale an die Ausgänge (Pumpen, Ventile, Motoren, Meldeleuchten) aus der Steuerung herausgegeben. Eingangssignale werden als **Transitionen** (Weberschaltbedingungen) bezeichnet. Die **Prozessschritte** (Bedingungen, die die Eingangssignale verarbeiten) werden mit Kästchen dargestellt und die Ausgangssignale werden durch **Aktionen** beschrieben.

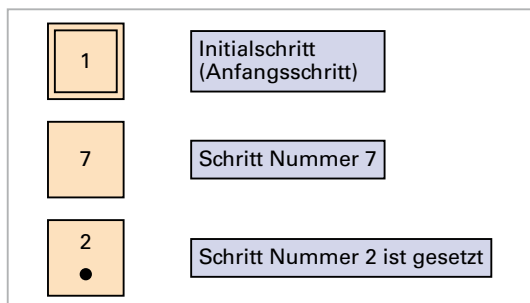


Bild 1: Darstellung von Schritten

Die Prozessschritte werden, wie in Bild 1 dargestellt, mit einer alphanumerischen Kennzeichnung (Ziffern, Buchstaben) versehen, womit die Schrittabfolge deutlich wird.

Kommentare können in "Anführungszeichen" rechts neben die Schritte geschrieben werden.

Der erste Schritt wird durch ein Doppelkästchen als **Initialschritt** (Anfangsschritt) hervorgehoben. Dieser Schritt bedeutet „Die Anlage ist bereit zum Starten“. Man benötigt in einer Ablaufsteuerung immer einen Schritt, in dem die Anlage in Ausgangszustand verharrt, bis die Steuerung gestartet wird. Ist ein Ablauf beendet, schaltet die Steuerung wieder in diesen Initialschritt. Die Anlage ist nun im Ausgangszustand und kann neu gestartet werden.

Die Schritte werden mit **Wirklinien** verbunden. Damit wird der schrittweise Ablauf der Prozessschritte wiedergegeben. In Bild 2 sind die Symbole für die Wirklinien und ein Beispiel dargestellt.

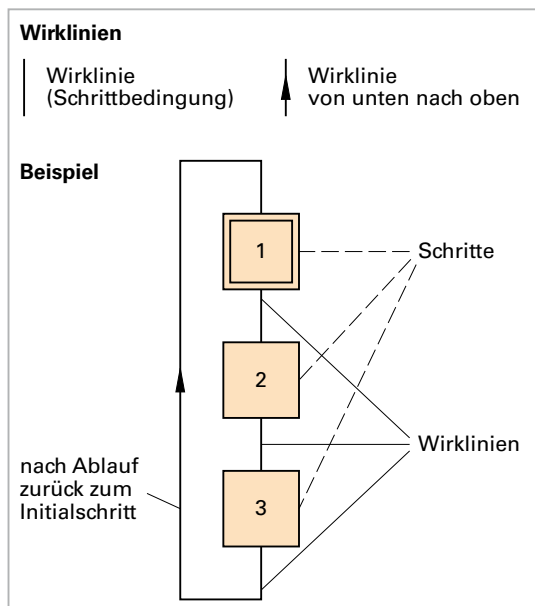


Bild 2: Darstellung von Wirkverbindungen

Der GRAFCET beschreibt immer zwei Aspekte der Steuerung:

- Durch die Folge von Schritten und Transitionen wird der schrittweise **Ablauf der Ausführung** beschrieben.
- Mit den Aktionen werden die einzelnen **auszuführenden Befehle** dargestellt.

Unter **Aktionen** wird die Ansteuerung der Stellgrößen verstanden. Aktionen werden durch Eingangssignale (hier als Transitionen bezeichnet), die mit Bedingungen (Schritte) in der Steuerung verarbeitet wurden, beeinflusst. Bei Ablaufsteuerungen werden die Bedingungen dadurch bestimmt, dass ein Prozessschritt nur aktiviert werden kann, wenn zwei Eingangsbedingungen erfüllt sind.

Die erste Bedingung fragt ab, ob der vorher bearbeitete Prozessschritt aktiv ist. Sie wird mittels **Wirklinie** zwischen den einzelnen Schritten dargestellt.

Die zweite Bedingung ist z. B. ein Eingangssignal von einem Sensor, das den vorher zu bearbeitenden Schritt als erfüllt erklärt. Dieses Signal führt letztendlich zum Weiterschalten in den nächsten Prozessschritt. Diese zweite Bedingung wird als Transition bezeichnet. Die Transition wird auf der Wirklinie zwischen den Schritten rechts an einer Linie im rechten Winkel dargestellt. Diese beiden Bedingungen setzen den neuen Prozessschritt, der vorher bearbeitete Schritt wird sofort rückgesetzt. Das Prinzip ist in Bild 1 dargestellt.

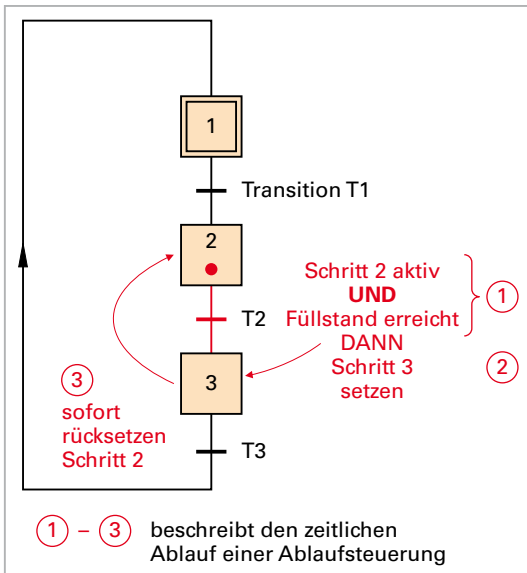


Bild 1: Prinzip einer Ablaufsteuerung

Die Prozessschritte bedingen sich somit untereinander so, dass **immer nur ein Prozessschritt aktiv** sein kann und die Prozessschritte nur **einzeln nacheinander** bearbeitet werden. Deshalb bezeichnet man lineare Ablaufsteuerungen auch als **Ablaufketten** oder **Schrittketten** (vgl. Seite 193).

Die **Transitionen** beschreiben die Weicherschaltbedingungen zum nächsten Schritt. Sie können mit einem **Transitionsnamen** bezeichnet werden. Damit Verwechslungen ausgeschlossen sind, ist der Name links und in Klammern zu setzen. Jede Transition beinhaltet eine **Transitionsbedingung**, die zum Weicherschalten in den nächsten Prozessschritt führt. Sie wird auf der rechten Seite der Transition mit einem Symbol (z. B. Start) dargestellt.

Kommentare können in "Anführungszeichen" rechts neben die Transition geschrieben werden (Bild 2).

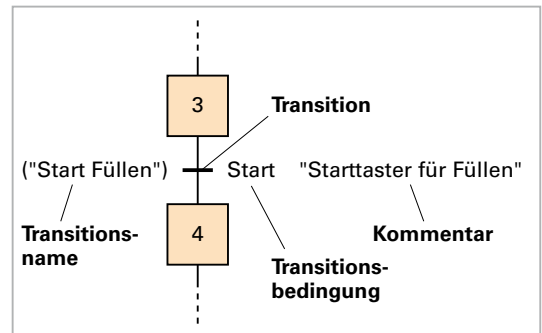


Bild 2: Darstellung von Transitionen

Die Transitionsbedingungen können erfüllt sein oder nicht. Als binäre Variable gilt:

- 0 oder FALSE: Transition nicht erfüllt
- 1 oder TRUE: Transition erfüllt

Wird für eine Transitionsbedingung eine Abfrage auf "0"-Signal benötigt, dann wird über dem Symbol der Bedingung ein Negationsstrich gezogen. Wenn z. B. abgefragt werden muss, ob der Füllstand LI001 nicht erreicht ist, dann würde als Bedingung LI001 geschrieben werden.

Man unterscheidet prozessabhängige und zeitabhängige Transitionsbedingungen. **Prozessabhängige Transitionsbedingungen** sind Eingangssignale aus dem Prozess, die z. B. das Erreichen eines Füllstandes oder einer Temperatur in einem Behälter melden. **Zeitabhängige Transitionen** signalisieren, dass eine Zeit, z. B. die Nachrührzeit, abgelaufen ist. Hierzu wird als Transitionsbedingung die Zeit und nach einem Schrägstrich die Nummer des Schrittes, in dem die Zeit gestartet wurde, dargestellt. Beispiel: 2s/X6, bedeutet, dass nach der Zeit von 2 Sekunden, die im Schritt 6 (X steht für Schritt) gestartet wurde, die Transition erfüllt ist. Jeweils zwei Beispiele für Transitionen sind in Tabelle 1 auf Seite 190 beschrieben.

Tabelle 1: Beispiele für Transitionen

Prozessabhängige Transitionen	Zeitabhängige Transitionen
Start „Starttaster betätigen“	2s/X3 „Wartezeit: 2 Sekunden“
LI001 „erreichter Füllstand“	30 min/X15 „Rührzeit: 30 Minuten“

Auch mehrere Transitionsbedingungen können zum Weiterschalten in den nächsten Prozessschritt erforderlich sein. Hierzu sind logische Verknüpfungen notwendig, die genau darstellen, wie diese Bedingungen zusammenwirken sollen.

Zum Beispiel kann es erforderlich sein, dass zum Weiterschalten in den nächsten Prozessschritt eine Wartezeit abgelaufen **UND** eine Reaktionstemperatur erreicht sein muss. Ein zweites Beispiel wäre, dass man den nächsten Prozessschritt startet mit einem Starttaster direkt an der Anlage **ODER** durch einen visuellen Startbutton auf einer Bedienoberfläche in der Leitstelle. Diese logischen Funktionen und Beispiele für Transitionen sind in Bild 1 dargestellt.

Logische Funktion	Bedeutung
• oder *	UND-Funktion
+	ODER-Funktion
Beispiel	Erklärung
LI001 • LI002	LI001 erreicht UND LI002 nicht erreicht
Start + Startbutton	Starttaster ODER Startbutton betätigen

Bild 1: Logische Funktionen für Transitionen

Auf der Seite 187 ist im Beispiel die Aufgabenbeschreibung für eine Ablaufsteuerung in einem Rührbehälter erläutert. Das folgende Beispiel gibt an, wie die Schritte, Wirklinien und die Transitionen nach GRAFCET aufgebaut werden.

Beispiel

Beim Erstellen der Schritte muss zuerst festgelegt werden, wie viele Prozessschritte nötig sind. In der Aufgabenstellung sind drei Schritte genannt. Darüber hinaus beginnt eine Ablaufsteuerung immer mit einem

Initialschritt (vgl. Seite 188). Es werden somit für das Beispiel vier Schritte benötigt.

Als nächstes werden die Transitionen, die zum Weiterschalten in den nächsten Schritt führen sollen, aus der Aufgabenstellung zusammengetragen. Auf diese Weise entsteht der GRAFCET-Plan. Die Transitionen sind rot dargestellt (Bild 2).

Die Ablaufsteuerung befindet sich zu Beginn im Initialschritt 1.

Wird der Starttaster *START* betätigt und der Vorlagebehälter ist gefüllt (LI001="1"), dann wird der Schritt 2 „Füllen des Rührbehälters BR3“ aktiv. Sofort wird der Schritt 1 durch den aktiven Schritt 2 zurückgesetzt.

Meldet der Füllstandssensor LI003, dass der Rührbehälter BR3 gefüllt ist, wird in den Schritt 3 „Rühren des Produktes“ geschaltet und der Schritt 2 wird sofort zurückgesetzt.

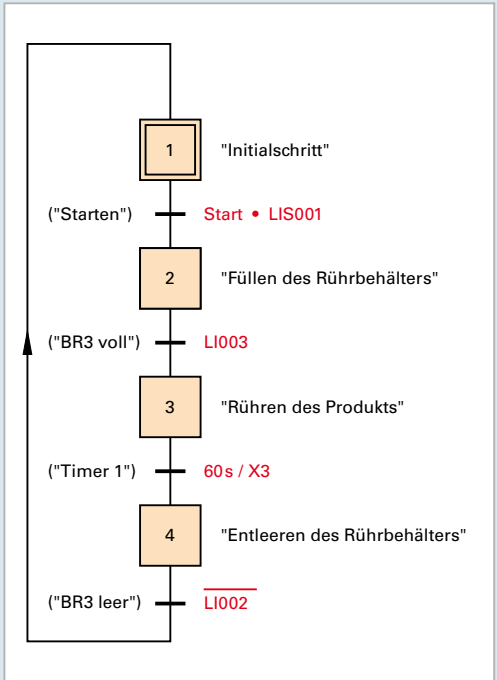


Bild 2: GRAFCET-Plan für den Rührbehälter

Ist die Rührzeit (60s/X3) abgelaufen, wird der Schritt 4 „Entleeren Rührbehälter“ aktiv und sofort wird der Schritt 3 rückgesetzt.

Dieser Effekt tritt auf, wenn der Lieferdruck zu hoch bzw. die Fördermenge zu gering wird. Das eigentliche Kriterium für das Einsetzen des Pumpverhaltens ist nicht der Enddruck der Gesamtanlage, sondern die Druckerhöhung des Verdichters selbst.

Merksatz

Die Automatisierungsstrukturen an Kreiselpumpen- und Turboverdichtern müssen vermeiden, dass bei zu geringer Gasabnahme strömungstechnische Instabilitäten entstehen, die zu gefährlichen Situationen führen können.

Deshalb wird diese Druckerhöhung, d. h. die Druckdifferenz zwischen Saugleitung und Druckleitung, unmittelbar vor und hinter dem Verdichter durch PDIC001 gemessen (P: pressure bzw. Druck, D: Differenz, I: indication bzw. Anzeige, C: control bzw. Regelung).

Der Druckdifferenzregler beginnt erst beim Überschreiten eines bestimmten Maximalwertes das Regelventil VV2 (Pumpgrenzventil) zu öffnen. Ein einfacher Zweipunktreger ist dafür nicht geeignet, da er VV2 zu plötzlich öffnen würde. Auch ein einfacher stetiger Regler ist dafür wenig geeignet, weil dieser bestrebt wäre, die Druckdifferenz stets auf dem vorgegebenen Sollwert zu halten.

Vielmehr soll der Regler erst bei Überschreitung eines Differenzdruckgrenzwertes das Rücklaufventil VV2 mehr oder weniger weit und mehr oder weniger schnell öffnen. Dafür ist ein im Prozessleitsystem speziell zu programmierender Algorithmus oder aber eine Zusammenschaltung von mehreren Reglern zu verwenden.

In der Praxis wird hierzu eine offene Steuerung verwendet, welche das Regelventil VV2 bei kritischen Kombinationen von Volumenstrom FI001 und Druckdifferenz PDIC001 öffnet. Diese kritischen Kombinationen ergeben sich aus dem beim Hersteller experimentell ermittelten Kennliniendiagramm des Verdichters. Dieses ist im Prozessleitsystem fest eingespeichert.

Ein geöffnetes Ventil VV2 hat zur Folge, dass der verdichtete Gasstrom wieder zurück zum Pufferbehälter BE1 geführt wird, um danach erneut angesaugt und verdichtet zu werden.

Da sich das Gas bei dieser Kreislaufströmung durch die Verdichtung immer wieder aufs Neue erhitzt, muss das Kreislaufgas in einem Wärmeaustauscher gekühlt werden. Vom Prinzip her führt der Wärmeaustauscher dann jene Energie ab, die dem Gas im Verdichter als mechanische Energie zugeführt wurde. Zusätzlich kann der Noteingriff TIAZH001 bei extremer Temperaturerhöhung die Abschaltung des Kompressors veranlassen (T: Temperatur, I: indication bzw. Anzeige, A: Alarm, Z: Noteingriff).

9.6.9 Kaskadenregelung zur Behältertemperierung

Die Temperatur im Behälter nach Bild 1 wird konstant gehalten, indem ein mehr oder weniger großer Strom eines flüssigen Heizmittels (z. B. Wärmeträgeröl oder Heißwasser) den Doppelmantel durchfließt. Da nur kaltes Medium eintritt und durch die chemische Reaktion kaum Wärme frei wird, muss nur geheizt werden. Eine Kühlung ist nicht erforderlich.

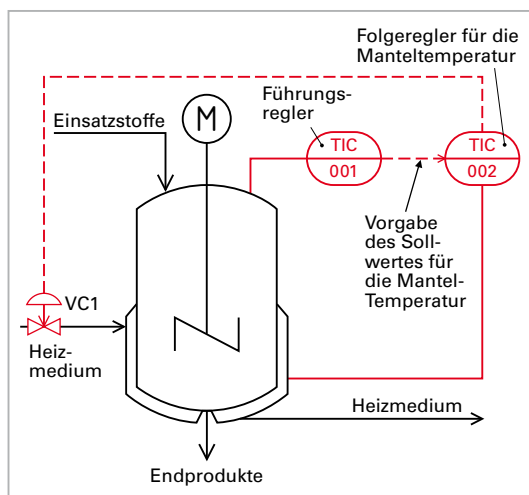


Bild 1: Kaskadenregelung zur Behältertemperierung (Folgeregler als Temperaturregler)

Die Temperatur im Doppelmantel ist ein Maß dafür, ob die Menge des Heizmittels ausreichend ist. Diese Temperatur kann direkt im Behältermantel oder am Austritt aus dem Mantel gemessen werden.

Der Führungsregler TIC001 misst die Behälterinnentemperatur und gibt dem Folgeregler TIC002 den Temperatursollwert vor, auf dem er die Manteltemperatur halten soll.

Diese Manteltemperatur misst der Folgeregler TIC002 nun seinerseits. Er versucht, sie durch Verstellen des Regelventils selbstständig auf dem vorgegebenen Wert zu halten.

Der Folgeregler ist in der Lage, selbstständig auf Störgrößen, wie die Veränderung der Heizmedium-Eintrittstemperatur oder des Heizmedium-Vordrucks, durch Verstellen von VC1 zu reagieren.

Ehe sich diese Störgrößen auf die eigentliche Reaktortemperatur auswirken können, korrigiert TIC002 bereits die Manteltemperatur auf den von TIC001 vorgegebenen Sollwert, indem er das Regelventil entsprechend betätigt.

Gelegentlich ist auch eine Struktur wie in Bild 1 zu finden. Der Unterschied zum voranstehenden Beispiel besteht im Charakter des Folgereglers (Durchflussregler statt Temperaturregler).

Hier gibt der Führungsregler TIC001 dem Folgeregler FIC001 vor, auf welchem Wert der Durchfluss des Heizmediums durch den Behältermantel zu halten ist.

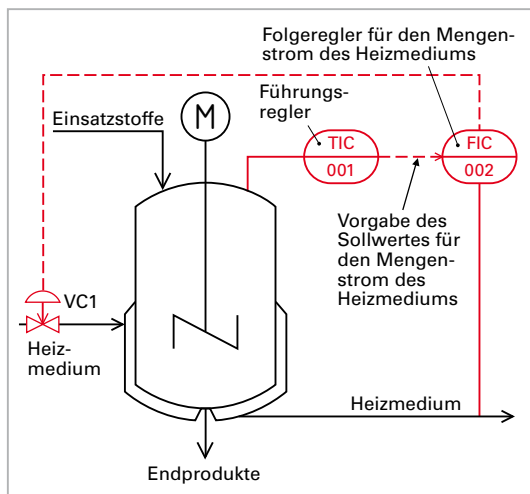


Bild 1: Kaskadenregelung zur Behältertemperierung (Folgeregler als Durchflussregler)

FIC001 misst diesen Durchfluss und hält ihn selbstständig konstant. Auf eine Verringerung des Drucks des Heizmediums und damit des Durchflusses reagiert er durch Öffnen des Stellventils VC1, noch ehe die Temperatur im Reaktor absinken kann.

Diese Struktur wird oft dann eingesetzt, wenn als Heizmedium Dampf aus dem Werknetz Verwendung findet, in dem der Versorgungsdruck häufig schwankt. Das Absinken des Versorgungsdruckes wird durch diese Regelstruktur schnell und effektiv ausgeregelt, ohne dass dies Auswirkungen auf den konstant zu haltenden Prozess hat.

9.6.10 Produktqualitätsregelung am Kopf einer Rektifikationskolonne

Mit Rektifikationskolonnen lassen sich flüssige Stoffgemische kontinuierlich in ihre Bestandteile trennen. Die leichtsiedenden Bestandteile werden am Kopf abgezogen; schwersiedende sammeln sich im Sumpf. Auf die verfahrenstechnischen Grundlagen soll hier nicht näher eingegangen werden.

Mit der in die Kolonne zurückgeführten Menge an kondensiertem Kopfprodukt kann die Produktqualität direkt beeinflusst werden. Dies macht man sich bei der automatischen Regelung der Kopfproduktqualität zunutze. Bild 2 zeigt eine übliche regelungstechnische Struktur zu diesem Zweck.

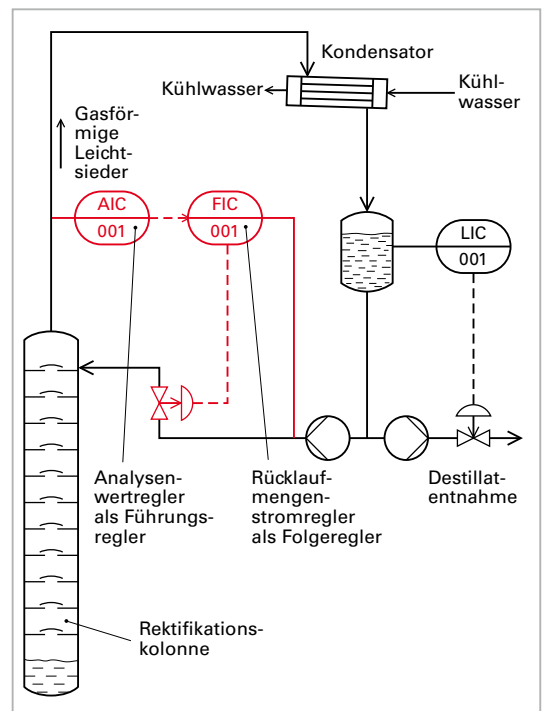


Bild 2: Produktqualitätsregelung am Kopf einer Rektifikationskolonne

16.3 Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Redundanz

Unter der Zuverlässigkeit eines technischen Systems versteht man die Fähigkeit, seine Aufgabe innerhalb eines Zeitraumes mit wenig oder gar keinen Ausfällen zu erfüllen. Die Zuverlässigkeit des gesamten Prozessleitsystems wird maßgeblich von der Zuverlässigkeit seiner Komponenten bestimmt. Bekanntlich ist die stärkste Kette nur so stark wie ihr schwächstes Glied.

Dementsprechend könnte z. B. ein Prozessleitsystem seine Funktion völlig einstellen, wenn nur für kurze Augenblicke die Stromzufuhr unterbrochen war. Auch ein Hardware-Defekt an einem Controller kann unter Umständen zur Havarie einer Teilanlage führen. Dem muss durch besondere konstruktive und softwaretechnische Maßnahmen vorgebeugt werden.

Bild 1 zeigt die Funktionsdauer zweier störungsanfälliger Prozessleitsysteme. Bei beiden Systemen gab es zwei Ausfälle im betrachteten Zeitraum. Die **Ausfallrate** beträgt deshalb: „zwei pro Jahr“. Auch die **Zuverlässigkeit** ist bei beiden hinsichtlich der Anzahl der **Funktionsperioden** gleich, nämlich ebenfalls „zwei pro Jahr“. Dennoch scheint System b) das bessere zu sein, da es über einen längeren Zeitraum

funktionsfähig war. Diese Tatsache wird mit dem Begriff **Verfügbarkeit** charakterisiert. Sie beträgt beim System b) z. B. 50 Wochen von 52 Wochen, also 96 %. Beim System a) beträgt die Verfügbarkeit hingegen nur 32 Wochen von 52 Wochen, also 61,5 %.

Merksatz

Der Begriff **Zuverlässigkeit** kennzeichnet die **Anzahl** der Ausfälle und damit die **Häufigkeit** des Funktionierens.

Der Begriff **Verfügbarkeit** bezieht sich hingegen auf die **Zeitdauer** der Funktionsfähigkeit.

In der Umgangssprache wird meist nicht zwischen den Begriffen Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit unterschieden.

Es gilt demnach beide Größen, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des gesamten prozessleittechnischen Systems zu maximieren.

PLT-Schutzeinrichtungen müssen einen besonders hohen Grad an Zuverlässigkeit aufweisen. Bei neueren Prozessanlagen wird ihnen eine Zuverlässigkeitskennzahl, der **Safety Integrity Level (SIL)** zugeordnet.

Der Safety Integrity Level ist eine Zuverlässigkeitskenngröße, die einer prozessleittechnischen Funktion (einer „PCE-Aufgabe“, vgl. Seite 85 ff.) bereits bei der Anlagenplanung zugeordnet wird. PLT-Funktionen, die einen Prozess mit hohem Gefährdungspotenzial absichern, müssen besonders zuverlässig sein.

SIL 4 steht für die höchste Zuverlässigkeit, also für die geringste Ausfallwahrscheinlichkeit.

SIL 1 kennzeichnet eine niedrige Zuverlässigkeit, also eine höhere Ausfallwahrscheinlichkeit. Bei PLT-Funktionen für Prozesse mit niedrigem Gefährdungspotenzial kann man höhere Ausfallwahrscheinlichkeiten tolerieren. Solchen Funktionen ordnet man keinen SIL zu. (In der Umgangssprache wird dies gelegentlich mit dem nicht fachgerechten Begriff SIL 0 bezeichnet.)

Der Herstellungsaufwand für besonders zuverlässige PLT-Geräte ist höher als der für weniger zuverlässige Geräte. Dieser Aufwand spiegelt sich in den Anschaffungskosten und im Aufwand für Prüfung und Instandhaltung wider. In der Norm DIN EN 61511-1 und in VDI/VDE 2180 sind die SIL-Stufen und die zugehörigen Ausfallwahrscheinlichkeiten standardisiert (Tabelle 1, Seite 389).

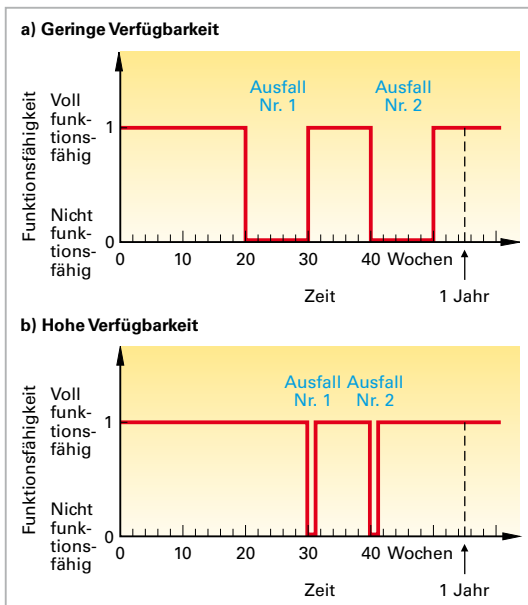


Bild 1: Zwei Prozessleitsysteme mit gleicher Zuverlässigkeit, aber unterschiedlicher Verfügbarkeit

Tabelle 1: Ausfallwahrscheinlichkeiten und Verfügbarkeiten für die SIL-Stufen nach DIN EN 61511-1

Sicherheitsintegritätslevel	Ausfallwahrscheinlichkeit (PFD)	Risikominderung um den Faktor
ohne SIL	größer/gleich 0,1	nicht mehr als 10-fach
SIL 1	kleiner als 0,1	mehr als 10-fach
SIL 2	kleiner als 0,01	mehr als 100-fach
SIL 3	kleiner als 0,001	mehr als 1000-fach
SIL 4	kleiner als 0,0001	mehr als 10000-fach

Dabei wird nicht die Einsatzzeit der prozessleittechnischen Funktionen oder Geräte betrachtet, sondern die Anzahl der passiven Fehler im Anforderungsfall.

Merksatz

Die **Ausfallwahrscheinlichkeit** im Anforderungsfall wird mit dem englischsprachigen Begriff **Probability of Failure on Demand (PFD)** bezeichnet. Sie ergibt sich aus dem Verhältnis der Anzahl von passiven Fehlern zur Anzahl der Funktionsanforderungen als statistischer Mittelwert im Langzeiteinsatz und bei einer großen Anzahl von Geräten.

Beispiel

Eine Sicherheitsabschaltung (Überfüllsicherung) an einem Behälter hat in einem sehr langen Zeitraum 850 mal angesprochen, d. h. 850 mal hat sie den Behälter sicher vor dem Überlaufen geschützt. Ein einziges Mal hat sie versagt. Obwohl sie hätte ansprechen müssen, ist sie passiv geblieben. Damit betrug ihre Ausfallwahrscheinlichkeit $1/850 = 0,001176$. Dieser Wert liegt zwischen 0,001 und 0,01. Nach der beobachteten Zuverlässigkeit erfüllt diese Sicherheitsfunktion somit die Anforderungen von SIL 2.

Die Gerätehersteller ermitteln die Zuverlässigkeitskenngrößen ihrer Geräte in der Regel nicht durch solche Langzeitbeobachtungen, sondern durch Berechnungen aus den Versagenswahrscheinlichkeiten der Einzelkomponenten ihrer Geräte.

Zu beachten ist, dass zu einer prozessleittechnischen Funktion immer mehrere Geräte gehören, die in geeigneter Weise miteinander verknüpft sind. Typischerweise besteht ein prozess-

leittechnisches Sicherheitssystem aus einem Messfühler mit dem zugehörigen Messumformer, der Verarbeitungseinheit (z. B. dem digitalen Prozessleitsystem) und einem Stellorgan (z. B. einem Schnellschlussventil). Bei Verknüpfung mehrerer Geräte mit der Ausfallwahrscheinlichkeit von jeweils 0,001 hat das Gesamtsystem nicht zwangsläufig die gleiche Ausfallwahrscheinlichkeit wie die Einzelkomponenten.

Merksatz

Bei einem **passiven Fehler** versagt ein Sicherheitssystem im Anforderungsfall. Es bleibt infolge eines inneren Defektes passiv, obwohl es bei einem gefahrdrohenden Prozesszustand eingreifen müsste. Solche Fehler sind gefährlicher als aktive Fehler. Bei einem **aktiven Fehler** greift ein Sicherheitssystem ohne Notwendigkeit ein. Es wird also infolge eines inneren Defektes aktiv, ohne dass es einen gefahrdrohenden Prozesszustand gibt.

Im Rahmen der Anlagenplanung wird die erforderliche SIL Stufe für jede PLT-Schutzeinrichtung vom Planungsteam festgelegt. Grundlage der Einstufung bilden die möglichen Personengefährdungen im Falle des Versagens der Schutzeinrichtungen. Berücksichtigt werden dabei die **Schwere** des eintretenden Schadens bei Versagen der Schutzeinrichtung (z. B. potenzielle Verletzungen oder Todesfälle), die **Häufigkeit** des Auftretens des abzusichernden gefährlichen Zustandes, die **Aufenthaltsdauer** von Personen im gefährdeten Bereich und die Möglichkeiten der **Gefahrenabwendung** durch andere Maßnahmen. Wenn möglich, nehmen an den Beratungen zur Einstufung bereits Vertreter des künftigen Betreibers teil. Als Hilfestellung zur Einstufung stellt die VDI/VDE 2180 einen Risikografen bzw. eine Risikomatrix bereit. Auf der Grundlage der auf diese Art festgelegten Einstufung erfolgt beim Anlagenbau die Auswahl der einzusetzenden Geräte.

Vor Inkrafttreten der DIN EN 61511 und der VDI/VDE 2180 wurde die Zuverlässigkeit von PLT-Schutzeinrichtungen gemäß DIN 19250 bewertet und nach sogenannten Anforderungsklassen (AK) klassifiziert. Diese Einteilung ist oft noch in Altanlagen zu finden, die dem Bestandsschutz unterliegen. Zwischen den unterschiedlichen Einstufungen gelten nach DIN EN 61511-3 die folgenden Beziehungen (Tabelle 2):

Tabelle 2: Entsprechungen SIL - AK

AK1	AK2	AK3	AK4	AK5	AK6	AK7	AK8
---	SIL 1	SIL 2	SIL 3	SIL 4	---	---	---

SIL-Stufen werden nur **den PLT-Schutzeinrichtungen** zugeordnet. **Reine Betriebs- und Überwachungseinrichtungen** erhalten keine SIL-Stufe, da sie nicht dem Eingriff bei gefährdrohenden Zuständen dienen. Oftmals ist die Abgrenzung nicht ganz einfach, da die Prozesswerte meist fließend in den gefährlichen Zustand übergehen.

Eine Erhöhung der Sicherheit eines PLT-Systems kann durch Mehrfachauslegung (**Redundanz**) erreicht werden. Dies geht jedoch nicht zwangsläufig mit der gleichzeitigen Erhöhung von **Zuverlässigkeit** und **Verfügbarkeit** einher.

Im nachfolgenden Beispiel einer PLT-Schutzeinrichtung (Bild 1, Seite 390 bis Bild 3, Seite 391) werden die Zusammenhänge zwischen Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit eines PLT-Systems näher erläutert. Dargestellt ist eine Hydrieranlage zur Entschwefelung von Heizöl.

Das Heizöl wird zusammen mit gasförmigem Wasserstoff als Zweiphasengemisch durch einen Hydrierreaktor geleitet. Dieser enthält eine Katalysatorschüttung. An der Oberfläche des Katalysators erfolgt die Reaktion der Schwefelverbindungen zu Schwefelwasserstoff, der in die Gasphase übergeht. Im Kreislaufgas-Abscheider wird die Gasphase von der Flüssigphase getrennt, um mithilfe des Verdichters weiter im Kreislauf über das Katalysatorbett gefahren werden zu können.

Der Prozess läuft unter dem extrem hohen Druck von ca. 60 bar ab. Dieser Druck ist auch die antreibende Kraft für die Strömung des hy-

drierten Heizöls über den Wärmeaustauscher zum Tank.

Der Regler LIC001 hält mithilfe des Ventils VC01 den Füllstand im Abscheider konstant. Durch dieses Ventil erfolgt der Druckabbau von ca. 60 bar auf ca. 5 bar.

Bei einem Versagen von LIC001, insbesondere beim fehlerhaften Öffnen von VC01 kann der Füllstand im Abscheider so weit sinken, dass es zu einem Gasdurchschlag in Richtung Wärmeaustauscher und Tank kommt. Dabei gelangt schlagartig Wasserstoff unter hohem Druck zum Tank. Dort kann es zum Bersten, zu Brand oder zur Explosion kommen.

Zur Verhinderung dieses gefährlichen Zustandes gibt es die PLT-Schutzeinrichtung LIZLL001, die bei hoher Verfügbarkeit des verfahrenstechnischen Systems ein hohes Maß an Sicherheit gewährleisten soll. Nachstehend wird untersucht, welche Auswirkungen eine Mehrfachauslegung (**Redundanz**) von Sensor und Aktor als Komponenten dieser PLT-Schutzeinrichtungen hat.

Merksatz

Unter **Redundanz** versteht man die Mehrfachauslegung von Baugruppen zur Erhöhung von Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Je nach Anzahl der vorhandenen Baugruppen spricht man bei der Mehrfachauslegung von PLT-Einrichtungen von **einkanaliger** oder **mehrkanaliger Bauweise**.

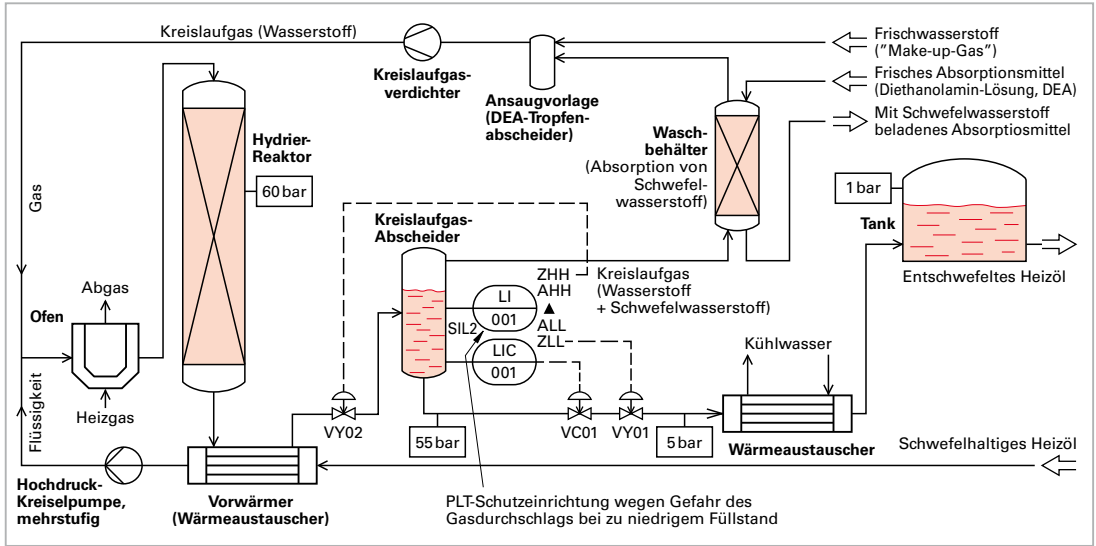


Bild 1: Hydrieranlage mit PLT-Schutzeinrichtung