

Vorwort

Seit Einzug der – vornehmlich elektronischen – Automatisierungstechnik in Maschinen und Anlagen ist deren Bedeutung derart gestiegen, dass es heute kaum noch ohne sie geht. Mechanik und Elektronik verschmelzen immer fester zu Mechatronik und viele Funktionen werden überhaupt erst durch Automatisierungstechnik und Software möglich. Mit industriellen Softwarelösungen lassen sich heute Funktionen verwirklichen, die früher nur mit großem mechanischen Aufwand oder überhaupt nicht möglich waren. So verwundert es nicht, dass zahlreiche Innovationen des Maschinen- und Anlagenbaus ohne Technologien aus der Informations- und Automatisierungstechnik heute undenkbar wären.

Das Ergebnis einer Umfrage unter 162 Unternehmen zum Thema Bedeutung von IT und Automatisierungstechnik im Maschinenbau bis zum Jahr 2018 ergab, dass sie allein im Bereich der Kunststoff- und Gummimaschinen bis zum Jahr 2018 bei einem Skalenwert von 5,7 Punkten liegen wird [1]. Bedenkt man, dass der Wert 6,0 für unverzichtbar steht und der Durchschnitt für den Maschinenbau bei 4,9 liegt, wird offensichtlich, welchen Stellenwert Automatisierungstechnik und IT aktuell einnehmen. Dieser Trend setzt sich unvermittelt fort und so ist abzusehen, dass Software zukünftig die dominante Disziplin im Maschinen- und Anlagenbau sein wird (Bild 1).

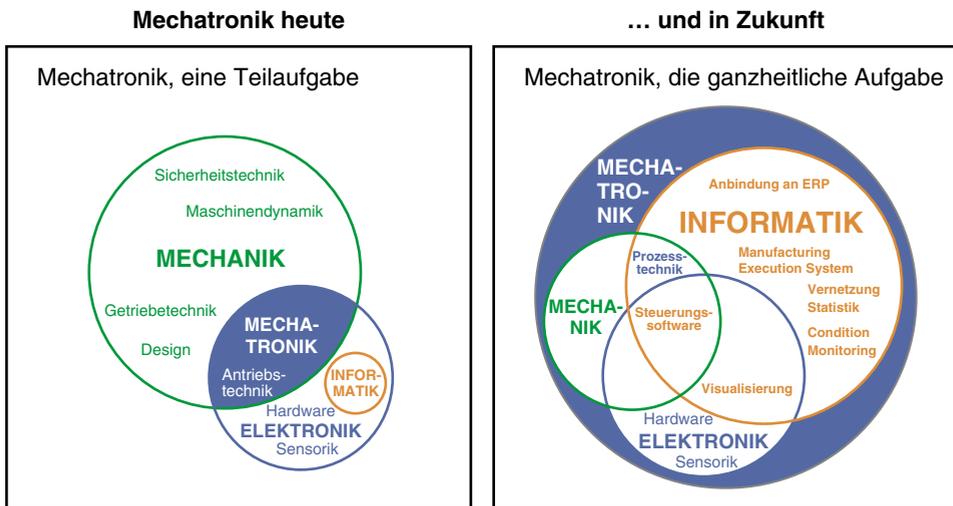


Bild 1 Mechatronik wird heute durch Mechanik geprägt. In Zukunft ist Mechanik nur noch ein kleiner Bestandteil. [Quelle: ITQ]

Bedenkt man, dass schon heute durchschnittlich rund 30 Prozent der Herstellkosten für ein Maschinenbauprodukt auf IT und Automatisierungstechnik [2] entfallen, so wird klar, dass die Konfiguration eines Automatisierungssystems sowie die Auswahl der dazu erforderlichen Komponenten gemeinsam mit den Kosten des Engineerings schon allein für den wirtschaftlichen Erfolg oder Misserfolg eines Produktionssystems ausschlaggebend sein können. (Der Begriff «Produktionssystem» wird in diesem Buch als Sammelbegriff für automatisierte Maschinen und Anlagen verwendet.)

Es ist daher von entscheidender Bedeutung, den gesamten Engineering-Prozess mit einem exzellent recherchierten Lastenheft zu beginnen und alle technologischen, konstruktiven und

wirtschaftlichen Entscheidungen daraus abzuleiten. Folgerichtig werden diese Aspekte in allen Kapiteln dieses Buches besonders thematisiert.

Einen weiteren Schwerpunkt stellt die Konfiguration eines Automatisierungssystems dar. Dazu werden die einzelnen Komponenten in kompakter Form und nach aktuellem Stand der Technik mit den wesentlichen Auswahlkriterien vorgestellt. Der Konstrukteur soll mit diesen Informationen in die Lage versetzt werden, aus der Vielzahl von scheinbar gleichwertigen Produkten die für sein konkretes Produktionssystem richtigen Komponenten strukturiert auszuwählen und zu einem geeigneten Gesamtsystem zu konfigurieren. Dazu muss auch eine mögliche – und empfehlenswerte – modulare Konstruktion genauso wie eine geforderte Industrie-4.0-Tauglichkeit des Produktionssystems berücksichtigt werden.

Mit diesen Themen wird dem praktisch arbeitenden Ingenieur ein Leitfaden für die strukturierte Gestaltung eines Automatisierungssystems zur Verfügung gestellt. Für die Studierenden der Fachrichtungen Mechatronik, Automatisierungs- und Elektrotechnik sollte der Inhalt dieses Buches ein wesentlicher Bestandteil ihrer Ausbildung sein.

Leipzig

Prof. Dr.-Ing. Thomas Schmertusch

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Automatisierung im Maschinen- und Anlagenbau	15
1.1 Der automatisierte technologische Prozess	15
1.2 Aktuelle Herausforderungen an die Automatisierungstechnik	18
1.2.1 Der gesamte Lebenszyklus	18
1.2.2 Endprodukte dominieren	19
1.2.3 Veränderungen im Engineering-Prozess	20
1.2.4 Effizienzsteigerung sichert Wirtschaftlichkeit	21
1.2.5 Guter Service ist unverzichtbar	25
1.2.6 Qualitätsanforderungen sichern	26
1.2.7 Wandelbarkeit macht fit für die Zukunft	28
1.2.8 Sicherheit für Mensch, Maschine und Produkt	28
1.2.9 Neue Technologien in Erfolge umsetzen	33
1.2.10 Digitale Produktion	36
1.3 Schlussfolgerungen	38
2 Der Weg zum Automatisierungssystem	41
2.1 Das Lastenheft	42
2.2 Lastenheft nach VDI/VDE-Richtlinie 3694	42
2.2.1 Projekteinführung	43
2.2.2 Beschreibung der Ausgangssituation (Ist-Zustand)	46
2.2.3 Aufgabenstellung (Soll-Zustand)	47
2.2.4 Anforderungen an die Kommunikationsschnittstellen	49
2.2.5 Anforderungen an die Systemtechnik	52
2.2.6 Anforderungen für Systementwicklung, -inbetriebnahme, -einsatz ...	53
2.2.7 Anforderungen für die Qualität	54
2.2.8 Anforderungen an die Projektabwicklung	54
2.2.9 Lastenheft in der Zusammenfassung	55
2.3 Die Projektanalyse	56
2.3.1 Analytische Sichten im Überblick	57
2.3.2 Produktsicht	58
2.3.3 Investitionssicht	62
2.3.4 Umfeldsicht	65
2.3.5 Betreibersicht	68
2.3.6 Ergebnis der Projektanalyse und Fazit	71
2.4 Das Pflichtenheft	71
2.5 Pflichtenheft nach VDI/VDE-Richtlinie 3694	73
2.5.1 Systemtechnische Lösung	73
2.5.2 Systemtechnik	74
2.5.3 Pflichtenheft in der Zusammenfassung	75
2.6 Pflichtenheft strukturiert entwickeln	76
2.6.1 Technologisch-konstruktive Sicht	77
2.6.2 Wirtschaftliche Sicht	80
2.6.3 Automatisierungstechnische Aspekte	83

2.6.4	Zusätzliche allgemeine Aspekte	88
2.7	Anwendungsbeispiele aus der Praxis	89
2.7.1	Beispiel: Detailanalyse an einem Sammelhefter	89
2.7.1.1	Anforderung: Betriebsweise 24 h / 7 d	89
2.7.1.2	Anforderung: Losgröße 1	91
2.7.2	Beispiel: Lasten- und Pflichtenheft für ein Fördersystem	92
2.7.3	Beispiel: Entwicklung einer Werkzeugmaschine	92
2.8	Zusammenfassung und Fazit	94
3	Das Automatisierungssystem	97
3.1	Übersicht	98
3.2	Auswahl der Automatisierungstechnik – allgemein	100
3.2.1	Konstruktion	100
3.2.1.1	Abmessungen, Anordnung, Montage, Handhabung	100
3.2.1.2	Stömpfindlichkeit, Robustheit	101
3.2.1.3	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	101
3.2.2	Technologie	102
3.2.2.1	Technologische Aufgabe	102
3.2.2.2	Systemarchitektur	102
3.2.2.3	Dynamische Anforderungen	103
3.2.2.4	Sicherheitstechnische Anforderungen	103
3.2.2.5	Betriebssicherheit	103
3.2.2.6	Kommunikation	104
3.2.3	Wirtschaftlichkeit	104
3.2.3.1	Beschaffungsprozess	105
3.2.3.2	Engineering-Aufwand	105
3.2.3.3	Montageaufwand	105
3.2.3.4	Inbetriebnahme-Aufwand	105
3.2.3.5	Wartungsaufwand	105
3.2.3.6	Diagnose	105
3.2.3.7	Zuverlässigkeit	106
3.2.3.8	Verfügbarkeit, Austauschbarkeit	106
3.2.3.9	Exportbedingungen	106
4	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	109
4.1	Überblick, grundsätzlicher Aufbau	109
4.2	Zentraleinheit (CPU)	110
4.2.1	Konstruktive Kriterien	110
4.2.1.1	Prinzipieller Aufbau	111
4.2.1.2	Mainboard	112
4.2.1.3	Programm- und Datenspeicher	114
4.2.1.4	Dynamischer und statischer RAM	114
4.2.1.5	Stromversorgung	115
4.2.1.6	Anzeigen und Bedienelemente	115
4.2.1.7	Mechanische Laufwerke	116
4.2.1.8	Robustheit	116
4.2.1.9	Bauarten	116

4.2.2	Technologische Kriterien	117
4.2.2.1	Basisanforderungen	117
4.2.2.2	CPU-Betriebssystem	119
4.2.2.3	Arbeitsweise	120
4.2.3	Wirtschaftliche Kriterien	125
4.2.3.1	Lieferantenbewertung	125
4.2.3.2	Engineering-Aufwand	125
4.2.3.3	Wartungsaufwand	125
4.2.3.4	Zuverlässigkeit	126
4.2.3.5	Diagnose und Fernwartung	126
4.3	I/O-Komponenten	126
4.3.1	Überblick	126
4.3.1.1	Klassifikation	127
4.3.1.2	Grundsätzlicher Aufbau	128
4.3.2	Konstruktive Kriterien	130
4.3.2.1	Mechanischer Aufbau	131
4.3.2.2	Anschlusstechnik	132
4.3.2.3	Elektrischer Aufbau	133
4.3.2.4	Weitere Kriterien im Überblick	136
4.3.3	Technologische Kriterien	138
4.3.3.1	Signalformen	138
4.3.3.2	Genauigkeit	139
4.3.3.3	Funktionalität	140
4.3.4	Wirtschaftliche Kriterien	141
4.4	Engineering-Werkzeug	142
4.4.1	Konstruktive Kriterien	142
4.4.2	Technologische Kriterien	144
4.4.2.1	Geschlossenes Konzept	144
4.4.2.2	Offenes Konzept	145
4.4.2.3	Projektorganisation	147
4.4.2.4	Programmierung	150
4.4.2.5	Simulationswerkzeuge	156
4.4.2.6	Diagnoseverfahren	159
4.4.3	Wirtschaftliche Kriterien	164
4.4.3.1	Gerätetechnik	164
4.4.3.2	Engineering-Software	165
4.4.3.3	Technologiepakete	166
4.4.3.4	Support und Hilfe	166
5	Feld- und Schaltgeräte	169
5.1	Überblick	169
5.1.1	Klassifizierung	169
5.1.2	Grundsätzlicher Aufbau von Sensoren	171
5.1.3	Grundsätzlicher Aufbau von Aktoren	174
5.2	Konstruktive Kriterien	176
5.2.1	Technologische Prozessmedien und -größen	176
5.2.2	Örtliche Anordnung und Robustheit	176

5.2.3	Mechanischer Aufbau, Montagebedingungen	177
5.2.4	Schnittstellen zur SPS	177
5.2.5	Hilfsenergie	177
5.3	Technologische Kriterien	178
5.3.1	Mess- und Stellgröße	179
5.3.2	Messverfahren der Sensorik	179
5.3.3	Stellglieder der Aktorik	179
5.3.4	Technologische Funktionen	180
5.3.5	Konfiguration und Diagnose	180
5.4	Wirtschaftliche Kriterien	181
6	Antriebssysteme	183
6.1	Überblick	183
6.1.1	Klassifikation	184
6.1.2	Grundsätzlicher Aufbau	186
6.1.3	Antriebstechnik – Herausforderungen	189
6.2	Konstruktive Kriterien	192
6.2.1	Der Auslegungsprozess	192
6.2.2	Motoren	193
6.2.3	Positionsgeber	194
6.2.3.1	Überblick	194
6.2.3.2	Optischer Inkrementalwertgeber	195
6.2.3.3	Induktiver Absolutwertgeber (Resolver)	196
6.2.3.4	Optischer Absolutwertgeber	196
6.2.3.5	Absolutwertgeber – EnDat	197
6.2.3.6	Absolutwertgeber für funktionale Sicherheit	197
6.2.3.7	Serielle Geberschnittstellen	198
6.2.4	Stromrichter für Drehstromantriebe	199
6.2.4.1	Prinzip der Leistungsregelung	199
6.2.4.2	Vermeidung der Entstehung von thermischen Verlusten	202
6.2.4.3	Kühlkonzepte	203
6.2.4.4	Frequenzumformer	204
6.2.4.5	Servoverstärker	205
6.2.4.6	Motorintegrierte Stromrichter	206
6.2.5	Gleichstromantriebe	208
6.2.5.1	Motoren	209
6.2.5.2	Stellglieder	210
6.2.6	Verkabelung	212
6.2.7	EMV-gerechte Installation (Normen und Vorschriften)	213
6.2.8	Erdung und Schirmung	214
6.2.9	Leistungsversorgung	215
6.3	Technologische Kriterien	217
6.3.1	Funktionen der Stellgeräte	217
6.3.1.1	Temperaturüberwachung	217
6.3.1.2	Virtuelle Achsen	218
6.3.1.3	Regeln ohne Geber	218
6.3.1.4	Virtuelle Sensoren	218
6.3.1.5	Lose kompensieren	218

6.3.1.6	Kompensation motorspezifischer Störungen	219
6.3.1.7	Schleppfehler automatisch kompensieren	219
6.3.1.8	Automatische Optimierung	219
6.3.1.9	Simulation mit Virtual Motion	220
6.3.2	Funktionen im Engineering-Werkzeug	220
6.3.2.1	Projektierung einer Antriebskonfiguration	220
6.3.2.2	Programmierung von Antriebsaufgaben	221
6.3.2.3	Alle Steuerungsaufgaben vereinen	221
6.4	Wirtschaftliche Kriterien	222
7	Bedienen und Beobachten (HMI)	225
7.1	Bedeutung und grundsätzliche Aufgaben	226
7.2	Strukturelle Übersicht	228
7.3	Konstruktive Kriterien	232
7.3.1	Tableaus und Terminals	232
7.3.1.1	Geräteklasse	233
7.3.1.2	Gehäuseausführung und Montage	233
7.3.1.3	Touchsysteme	236
7.3.1.4	Tastenfelder	237
7.3.1.5	Kopplung mit Controller	239
7.3.2	Embedded Controller	240
7.3.3	Industrie- und Panel-PC	241
7.3.3.1	Anforderungen an einen Industrie-PC	242
7.3.3.2	Konstruktiver Aufbau	242
7.4	Technologische Kriterien	247
7.4.1	SCADA-System	247
7.4.1.1	Systemeinordnung	247
7.4.1.2	Engineering von SCADA-Applikationen	248
7.4.1.3	SCADA-Funktionsumfang und Spezifikation	251
7.4.2	IPC-Betriebssysteme	252
7.4.2.1	Anforderungen an die Installation	252
7.4.2.2	Anforderungen an das Laufzeitverhalten	253
7.4.2.3	IPC-Betriebssysteme	254
7.5	Wirtschaftliche Kriterien	255
8	Sicherheitstechnik (Safety)	257
8.1	Allgemeine Gestaltungsleitsätze	257
8.1.1	Normen und Richtlinien	257
8.1.2	Risikoanalyse von Maschinen und Anlagen	258
8.1.3	Bewertung des Performance Level PL _e	262
8.1.4	Sichere Automatisierungstechnik	264
8.1.4.1	Schnelle und leistungsfähige Produktionssysteme	264
8.1.4.2	Neue Maschinenkonzepte	266
8.1.4.3	Modulare Produktionssysteme	266
8.1.4.4	Sicherheitstechnik integrieren	268
8.2	Konstruktive Kriterien	268
8.2.1	Sicherheitstechnik im Überblick	269
8.2.2	Sichere Steuerungstechnik	274

8.2.3	Sicherheitstechnik ergänzen oder integrieren?	276
8.2.4	Sichere Antriebstechnik	278
8.2.5	SISTEMA-Bewertungsassistent	279
8.3	Technologische Kriterien	280
8.3.1	Funktionsprinzip sicherer Automatisierungstechnik	280
8.3.2	Programmierung von Safety-Applikationen	282
8.3.3	Sicherheitstechnik in modularen Systemen	284
8.3.4	Sichere Antriebstechnik und Robotik	284
8.4	Wirtschaftliche Kriterien	289
9	Serielle Kommunikation	291
9.1	Industrielle Kommunikation im Überblick	291
9.2	Serielle Kommunikation mit Feldgeräten	292
9.2.1	IO-Link	292
9.2.1.1	Konstruktiver Aufbau	294
9.2.1.2	IO-Link-Technologie	295
9.2.2	AS-Interface	297
9.2.2.1	Konstruktiver Aufbau	298
9.2.2.2	AS-Interface-Technologie	300
9.2.3	Branchenspezifische Varianten	301
9.2.3.1	BACnet für die Gebäudeautomatisierung	301
9.2.3.2	HART für die Prozessautomatisierung	302
9.3	Nicht-Ethernet-basierte Kommunikation	304
9.3.1	Profibus	304
9.3.2	CAN-Bus	307
9.3.3	Weitere Feldbusse in der Übersicht	310
9.4	Ethernet-basierte Kommunikation	312
9.4.1	Ethernet-basierte Feldbusse – Eigenschaften und Arbeitsweise	314
9.4.1.1	Summenrahmenverfahren	315
9.4.1.2	Einzeltelegrammverfahren	316
9.4.1.3	Welches Verfahren ist geeignet?	317
9.4.2	OPC UA im Industrial Ethernet	319
9.4.2.1	OPC UA in der Übersicht	319
9.4.2.2	Publish-Subscribe-Modell	321
9.4.2.3	Time Sensitive Networking	322
9.4.3	Sichere Kommunikation – Safety	324
9.4.4	Sichere Kommunikation bis in die Cloud (Security)	326
9.4.5	Betriebssicherheit – Redundanz	329
9.4.6	Zusammenfassung und Fazit	331
10	Typische Konfigurationen	333
10.1	Zentrale Steuerung	333
10.2	Zentrale Steuerung mit verlängerter Backplane	334
10.3	Dezentrale Steuerung mit SPS und Feldbus	336
10.4	Dezentrale Steuerung mit IPC und Soft-SPS	337
10.5	Dezentrale Steuerung mit Embedded Controller	338
10.6	Safety-integrierte Steuerung	339
10.7	Modulare Systeme	340

10.7.1	Integrierbares Modulkonzept	342
10.7.2	Autonomes Modulkonzept	343
10.7.3	Die I4.0-Komponente	345
11	Besondere Anforderungen und Aufgaben	349
11.1	Echtzeitverhalten dezentraler Automatisierungssysteme	349
11.1.1	Reaktionszeit – Definition und Anforderungen	350
11.1.2	Jitter – Die große Unbekannte	356
11.1.3	Stabile Reaktionszeiten in dezentralen Strukturen	361
11.1.3.1	Erhöhung der Systemleistung	362
11.1.3.2	Interrupt-basierte Systeme	364
11.1.3.3	Intelligente Feldgeräte	366
11.1.3.4	Spezialentwicklungen	368
11.1.3.5	Intelligente I/O-Module	369
11.2	Besondere Anforderungen aus dem Verwendungsumfeld	372
11.2.1	Mobile Arbeitsmaschinen	372
11.2.2	Explosionsschutz und Eigensicherheit	374
11.2.2.1	Explosionsschutz allgemein	375
11.2.2.2	Normen und Zulassungen	376
11.2.2.3	Zündschutzarten elektrischer Geräte	376
11.2.2.4	Kennzeichnung elektrischer Geräte	377
11.2.2.5	Die Zündschutzart Eigensicherheit	378
11.3	Vorbeugende Wartung und Instandhaltung	382
11.3.1	Anforderungen und Lösungsansätze	383
11.3.2	Condition Monitoring	384
11.3.2.1	Condition Monitoring mit Künstlicher Intelligenz	384
11.3.2.2	Feldgeräte und I/O-Module für Condition Monitoring	386
	Schlusswort	389
	Anhang	391
A1	Lasten- und Pflichtenheft für ein Fördersystem	391
A2	Entwicklung einer Verzahnungswalzmaschine	403
	Abkürzungen	407
	Literatur- und Quellenverzeichnis	411
	Stichwortverzeichnis	419

1 Automatisierung im Maschinen- und Anlagenbau

Am Anfang eines jeden Studiums der Automatisierung stehen die Erläuterung der bekannten Automatisierungspyramide sowie die Grundregel, dass vor dem Steuern und Regeln das Erfassen der Ist-Daten und im Anschluss die Ausgabe der Soll-Daten erfolgen. Dabei wird noch lange nicht unterschieden, für welchen Prozess und in welchem Ausmaß dies stattfinden soll, zumal sich die typischen Automatisierungssysteme für den Maschinenbau nur wenig von denen unterscheiden, die im Anlagenbau, z.B. in der Chemie- oder Pharmaindustrie, typischerweise Anwendung finden. Immer geht es um einen technologischen Prozess, der zu steuern, zu regeln und zu überwachen ist. Soll jedoch für einen bestimmten Produktionsprozess ein Automatisierungssystem entworfen und realisiert werden, so muss ganz am Anfang der Fokus auf dem Produkt und der Technologie liegen, zu dessen Zweck das Produktionssystem Verwendung finden soll.

Im Folgenden soll diese Sichtweise ergänzend zur klassischen Lehre der Automatisierungstechnik vorgestellt werden, um am Ende ein strukturiertes Lastenheft für die konkrete Entwicklung und Konstruktion eines automatisierten Produktionssystems zu erhalten. Diese Sicht hilft uns im weiteren Verlauf dieses Kapitels – und des ganzen Buches – bei der Definition der Anforderungen von typischen Komponenten und deren Konfiguration zu wettbewerbsfähigen Automatisierungssystemen.

1.1 Der automatisierte technologische Prozess

Grundsätzlich kann die Lehre der Automatisierungstechnik für jeden technologischen Prozess angewendet werden – ganz gleich, ob es sich um eine Waschmaschine, eine Druckmaschine oder eine Chemieanlage handelt. Während sich grundsätzliche Unterschiede aus der Art und Weise der Prozessführung ergeben¹, entscheiden auch Ausdehnung und Umfang über die konkrete Konfiguration. Letzteres wird durch eine sogenannte *Bilanzgrenze* definiert. Dabei erfolgt die Strukturierung des Automatisierungssystems und aller Untersysteme allein für den Bilanzinnenraum des Prozesses, während die Bilanzgrenze über die entsprechenden Schnittstellen zu anderen Systemen bzw. Organisationsebenen entscheidet.

Wird beispielsweise eine ganze Produktionslinie für ein individuelles Fotobuch betrachtet und die Bilanzgrenze um diese gelegt, so kann man automatisierungstechnisch von einer Anlage mit diskontinuierlicher Arbeitsweise sprechen, die aus einzelnen Maschinen konfiguriert wird. An deren Bilanzgrenze müssen wiederum funktionale Schnittstellen definiert werden, damit die Maschine innerhalb des Produktionssystems ihre technologische Aufgabe erfüllen kann.

Im verfahrenstechnischen Anlagenbau dominiert hingegen der kontinuierliche Prozess das Geschehen, wobei auch hier Bilanzgrenzen gezogen und Teilsysteme gebildet werden. Die NAMUR-Empfehlung NE148 definiert dazu, wie diese Teilsysteme auch als Module ausgeprägt sein können und zukünftig auch sollen [1]. Außerdem gelten teilweise andere bzw. strengere Vorschriften als im Maschinenbau (z.B. beim Explosionsschutz), wobei dort wiederum durch den umfangreicheren Einsatz von Antriebstechnik schärfere Vorschriften für die Maschinensicherheit gelten.

Die Ausführungen sollen zeigen, wie wichtig die Betrachtung des eigentlichen technologischen Prozesses innerhalb einer Bilanzgrenze ist, und daher wollen wir uns auch zuerst damit beschäftigen.

1 Im Maschinenbau dominiert eher die diskontinuierliche, im Anlagenbau die kontinuierliche Arbeitsweise.

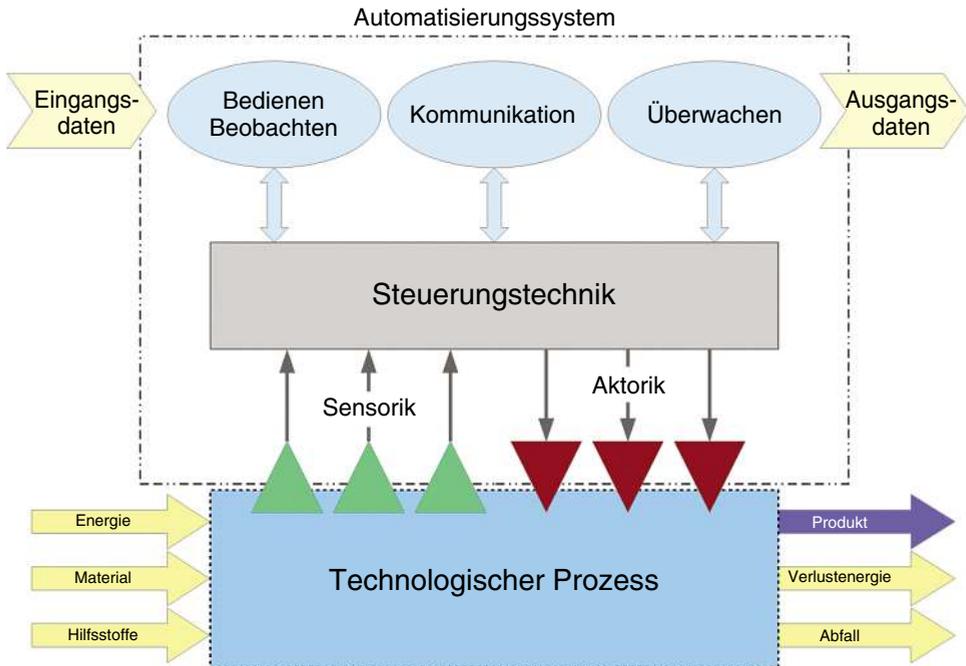


Bild 1.1 Prinzipielle Darstellung eines automatisierten technologischen Prozesses

Bild 1.1 zeigt in stark vereinfachter Form das Schema eines automatisierten Prozesses mit einer am Gesamtprozess orientierten Bilanzgrenze (gestrichelte Linie). Dabei ist es gleichgültig, ob es sich um einen kontinuierlichen (verfahrenstechnischen) oder diskontinuierlichen (Stückgut-) bzw. einen Teilprozess handelt. Prinzipiell wird der technologische Prozess stets mit Energie, Material und Hilfsstoffen versorgt. Energie kann in Form elektrischer, thermischer oder anderen Energieformen zugeführt werden. Als Ergebnis entsteht ein Produkt und es fallen Verluste in Form von Abfall und Energie an, wobei die Verlustenergie i.d.R. als Abwärme auftritt. Die für das Produkt erforderlichen Materialien und Hilfsstoffe sowie die Abfälle sind bei dieser Betrachtung produkt- und verfahrensabhängig.

Das dazugehörige Automatisierungssystem besteht aus den Grundkomponenten für *Sensorik* und *Aktorik* in Form von *Feldgeräten*, einem *Steuerungssystem*, Komponenten für die *Kommunikation* intern und mit anderen Systemen sowie zum *Bedienen und Beobachten*. Des Weiteren werden Komponenten zur *Überwachung* des Prozesses benötigt. Dazu zählen sicherheitsrelevante Einrichtungen genauso wie optische Sensoren für die Prozess- und Qualitätskontrolle oder Komponenten zur Erfassung des Maschinen- oder Anlagenzustandes (*Condition Monitoring*). Die Bilanzgrenze (Strich-Punkt-Linie) umschließt dieses System als Ganzes und offenbart damit auch die Schnittstellen zur übergeordneten Steuerung des Prozesses. Das kann entweder der Mensch als Bediener oder ein Prozessleitsystem sein. Des Weiteren sind die Bilanzgrenzen wichtig für die Bestimmung der *inneren und äußeren Funktionalität* [2].

Diese vereinfachte Darstellung gilt für sehr kompakte bzw. kleine Prozesse, wie z.B. dem Brotschneideautomat im Supermarkt, einfachen Maschinen oder auch kleineren verfahrenstechnischen Anlagen wie Mischer, Extruder oder ähnlichen. Auch in der Gerätetechnik findet man z.B. bei Druckern, Waschmaschinen oder auch DVD-Playern solche Strukturen. Im praktischen

Maschinen- und Anlagenbau sind dagegen eher Systeme anzutreffen, wie sie in Bild 1.2 prinzipiell dargestellt sind.

Dabei ist der technologische Prozess in *Teilprozesse* gegliedert, die sowohl Teile der eigentlichen Verarbeitungs- als auch Hilfsprozesse repräsentieren. Dazu zählen z.B. die Erfassung der ein- und ausgehenden Produktströme, die Qualitätsprüfung, die Identifikation sowie Transport und Handling mit Hilfe von Förderbändern oder Robotern. Die Automatisierungstechnik der Teilprozesse kann entweder mit einer eigenen (intelligenten) Steuerung erfolgen oder sie besteht aus dezentralen Komponenten, die via Feldbus mit einer übergeordneten Steuerung kommunizieren, die zugleich die funktionale Koordination des gesamten Automatisierungsumfangs übernimmt².

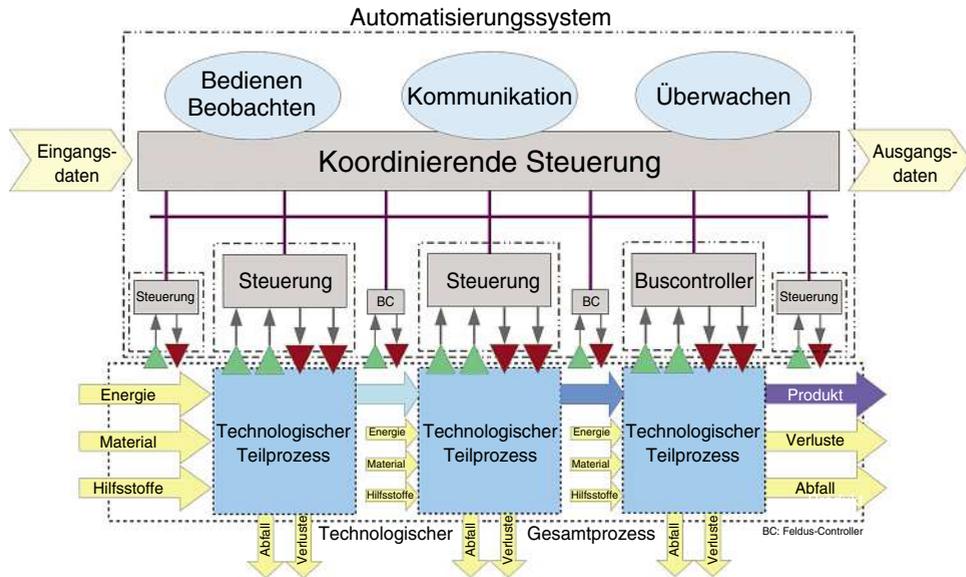


Bild 1.2 Darstellung eines modular gegliederten technologischen Prozesses mit dezentralen Steuerungssystemen

Die gezeigte Darstellung eines in Teilprozesse gegliederten Produktionssystems gilt grundsätzlich sowohl für kontinuierliche (verfahrenstechnische) als auch für diskontinuierliche technologische Prozesse. Wird sie für die Verfahrenstechnik angewandt, wie beispielsweise in einer petrochemischen Anlage zur Herstellung von Kraftstoffen, so werden es sehr viele dieser Teilprozesse sein. Schließlich ist eine wesentliche Eigenschaft dieser Anlagen ihre Ausdehnung und die damit einhergehende Komplexität mit einer Vielzahl an Teilanlagen, dezentralen Aggregaten, zu regelnden Zu- und Abflüssen usw. In diesen Anlagen wird die koordinierende Steuerung i.d.R. durch ein größeres Prozessleitsystem repräsentiert und der oder die Bediener sitzen an mitunter weit entfernten Operatorstationen.

Im Maschinenbau sind die Prozesse im Gegensatz dazu weniger ausgedehnt. Dafür werden die Konstrukteure mit wesentlich höheren Anforderungen z.B. in Bezug auf die Echtzeit, der Maschinensicherheit oder der Volatilität der Produkte³ konfrontiert. Des Weiteren werden Maschinen i.d.R. in Serie gebaut, was wiederum wirtschaftliche und produktionstechnische Herausforderungen

² Die modularen Konzepte werden in Abschnitt 10.7 *Modulare Systeme* vertiefend behandelt.

³ Siehe individualisierte Maschinen oder Endprodukte in Losgröße 1.

rungen zur Folge hat. Daher ist die modularisierte Maschine mit entsprechend gestalteter Automatisierungstechnik immer mehr ein grundsätzliches Konstruktionsprinzip [2].

Die Ausführungen zeigen, dass es aus automatisierungstechnischer Sicht prinzipiell keine strukturellen Unterschiede zwischen den technologischen Prozessen des Anlagen- und des Maschinenbaus gibt, obwohl diese in den einzelnen gerätetechnischen Ausprägungen sehr wohl existieren. Und weil für den Entwurf eines Automatisierungssystems für alle Arten technologischer Prozesse die gleichen Regeln und Arbeitsschritte erforderlich sind, soll im weiteren Verlauf nur noch von *Produktionssystemen* als Sammelbegriff die Rede sein.

Bevor wir uns der Analyse des zu automatisierenden Prozesses widmen, wollen wir noch einige aktuelle Trends und Anforderungen aufzeigen, mit denen sich die Entwickler auseinandersetzen müssen.

In Kürze

Ein automatisiertes Produktionssystem wird durch einen technologischen Prozess und der dazugehörigen Automatisierungstechnik repräsentiert. Es wird durch eine Bilanzgrenze gekennzeichnet und verfügt über Schnittstellen sowie innere und äußere Funktionalitäten. Das Produktionssystem ist üblicherweise in Teilsysteme gegliedert.

1.2 Aktuelle Herausforderungen an die Automatisierungstechnik

Bereits im Vorwort wurde auf die Bedeutung der Automatisierung im Maschinen- und Anlagenbau und die anteiligen Verschiebungen der beteiligten Ingenieurdisziplinen verwiesen. Darüber hinaus wird zukünftig nicht mehr das Produktionssystem im Fokus stehen, sondern dessen Funktionen, die zudem flexibel genutzt und einfach ergänzt werden können. Generell steigen aber auch die technologischen Anforderungen. Bauteile werden immer kleiner, Qualitätsanforderungen, Umwelt- und Sicherheitsvorschriften immer strenger, Verarbeitungsgeschwindigkeiten immer höher und vieles mehr. Es wird daher immer schwieriger, alledem gerecht zu werden, aber genau das ist die Aufgabe eines Entwicklungsteams. Schließlich wären es schlechte Ingenieure, wenn sie vor diesen Anforderungen kapitulieren würden und sie wären noch schlechter, wenn sie an die «eierlegende Wollmilchsau» glaubten. Daher gilt es, die im Folgenden ausgewählten Aspekte zu berücksichtigen und in die Erarbeitung der Lösungskonzepte einzubeziehen.

1.2.1 Der gesamte Lebenszyklus

Der Lebenslauf eines beliebigen Produktes wie auch eines Produktionssystems spiegelt nichts anderes als die Realität wider und das ist auch nicht neu. Grundsätzlich beginnt der Lebenszyklus mit der Spezifikation und führt über Entwicklung, Produktion über die Verwendung bis hin zur Verschrottung und dem Recycling. Da jede einzelne Phase mehr oder weniger Ressourcen verbraucht und Kosten verursacht, wird in Zeiten des Klimawandels und der Ressourcenverknappung verstärkt



Bild 1.3 Der Lebenszyklus eines Produktionssystems in sechs Phasen
 [Maschinenbild: © Profiroll Technologies GmbH]

die Effektivität über den gesamten Lebenszyklus als Maßstab für den ökologischen Fußabdruck betrachtet. Diese Betrachtung der Gesamtanlageneffektivität (engl.: **Overall Equipment Effectiveness, OEE**) führt zu einer Sichtweise, wie sie in Bild 1.3 symbolisch und stark vereinfacht dargestellt ist. Nur diese Sicht zwingt dazu, bereits bei der Spezifikation zu berücksichtigen, dass beispielsweise das Produktionssystem auch in Betrieb genommen und später gewartet oder im Verlauf der Verwendung auch verändert werden muss. Damit ist die Sicht auf den Lebenszyklus integraler Bestandteil aller weiteren Betrachtungen.

1.2.2 Endprodukte dominieren

Schon immer unterliegen die Anforderungen an alle Arten von Gütern den Megatrends der menschlichen Bedürfnisse. Das gilt seit dem Beginn der Mechanisierung natürlich auch für Maschinen und Anlagen aller Art. Der Wunsch nach gemusterten Stoffen brachte neue Webmaschinen hervor. Die Entwicklung hygienischer Standards führte zu Vakuumverpackungen und Maschinen zu deren Herstellung. Die Gewissheit, dass unsere Ressourcen an Rohstoffen begrenzt sind, führte zur Entwicklung von Kohlefasern, um durch Leichtbau Energie zu sparen, und zu Solarpanels, um Energie umweltschonend zu erzeugen. Maschinen und Anlagen müssen diesem Trend folgend, genau wie Haushaltsgeräte und Leuchtmittel, ihren Energieverbrauch reduzieren und schließlich durch Labels ausweisen.

So ist erkennbar, dass in erster Linie die Anforderungen an die Endprodukte – das Textil, die Kontaktlinse, das Fotobuch, die Fertigungspizza, der Kühlschrank – die dazu erforderlichen Technologien zu deren Produktion bestimmen und vorantreiben. Bei der Entwicklung eines Produktionssystems steht daher die Sicht auf das Endprodukt an erster Stelle. Mit dieser Kenntnis folgt die Auswahl der Verfahren und Technologien sowie der Ausgangsmaterialien und Hilfsstoffe, die sich in der anschließenden Konstruktion wiederfinden müssen.

Müssten wir bei der Entwicklung eines Produktionssystems aber allein diesen Vorgaben folgen, wäre der Ingenieurberuf eine ziemlich langweilige Angelegenheit. Was die Arbeit spannend und zugegebenermaßen mitunter das Leben auch schwer macht, sind die zahlreichen Randbedingungen, Gesetze und Vorschriften, die in der Regel den Konstruktionsaufwand vervielfachen.

Man stelle sich nur ein modernes Atomkraftwerk vor. Der eigentliche Reaktorraum würde leicht in ein mittleres Mehrfamilienhaus passen. Die Aufwände für Kühlung, Brennstoffver- und -entsorgung, die Anforderungen an die Strahlensicherheit sowie die schlussendliche Erzeugung der Elektroenergie machen daraus eine Anlage in der Größe einer mittleren Kleinstadt. Ähnlich verhält es sich bei der Halbleiterproduktion. Um einen Prozessor herzustellen, der am Ende in einer Smartwatch steckt, benötigt man Produktionslinien, die eine ganze Fabrikhalle mit Reinraum-Atmosphäre füllen. Allein deren Aufbereitung und Versorgung verschlingen Millionen zuerst an Investitionen und später im laufenden Betrieb.

Im Maschinenbau ist es nicht anders. Eine Hochleistungsverpackungsmaschine für Medikamente muss neben umfangreichen Sicherheitseinrichtungen für das Bedienpersonal hohe hygienische Standards erfüllen. Dazu kommen zahlreiche Komponenten und Funktionen zur Qualitätssicherung, so dass die Komplexität einer solchen Maschine mit einer aus den Anfängen der Verpackungstechnik nicht mehr vergleichbar ist. Das gilt ebenso für die meisten modernen Verarbeitungsmaschinen, egal ob in der Werkzeugmaschinen-, Kunststoff- oder Papierverarbeitungsbranche, um nur einige zu nennen.



MERKSATZ

Allein das Endprodukt und der zu realisierende technologische Prozess mit all seinen Nebenanforderungen entscheiden über den zu erbringenden Engineering-Prozess und die zu realisierende Konstruktion.

1.2.3 Veränderungen im Engineering-Prozess

Bis weit ins 20. Jahrhundert hinein dominierten die Mechanik-Konstrukteure das Geschehen und Konstruktionsleiter hatten fast ausnahmslos ein Studium der Mechanik absolviert. Auch nachdem Mitte der 1970er-Jahre Elektronik-basierte Automatisierungstechnik zur Verfügung stand, setzte sich nur sehr langsam die Bereitschaft durch, mechanische Kompetenz an Chips und Transistoren abzugeben. Erst zum Ende des 20. Jahrhunderts wurde nach und nach erkannt, dass neue Funktionen oft besser durch Software zu realisieren sind oder ein elektrischer Servoantrieb mit elektronischer Kurvenscheibe ohne Abstriche an dessen Zuverlässigkeit preiswerter und flexibler eingesetzt werden kann als ein kompliziertes asymmetrisches Getriebe in mechanischer Bauart.

Der einsetzende Preisverfall für elektrische Antriebstechnik und immer leistungsfähigere Steuerungskomponenten haben in der Folge den mechanischen Anteil in der Konstruktion immer

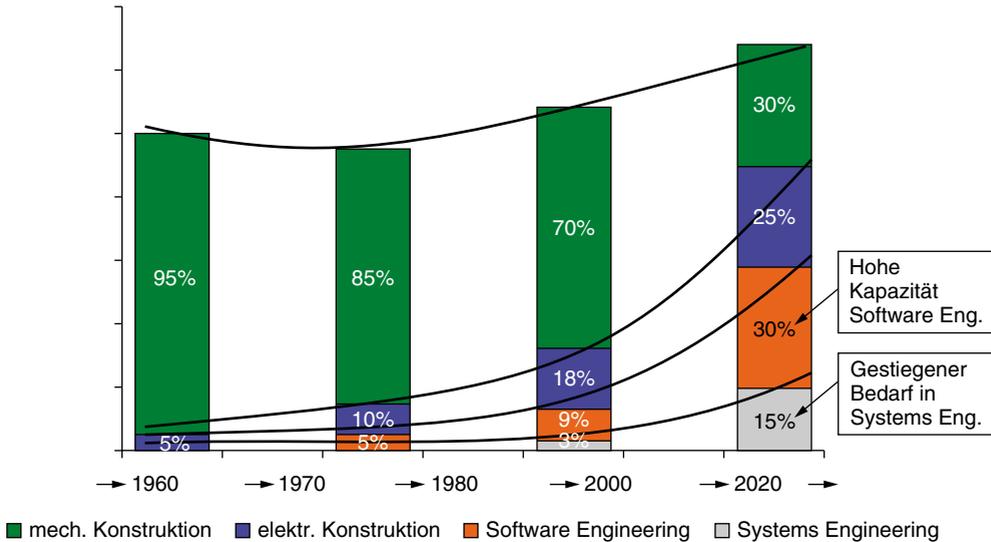


Bild 1.4 Die Engineering-Anteile im Maschinen- und Anlagenbau verschieben sich in Richtung Automatisierung und Software-Entwicklung. [Quelle: ITQ]

deutlicher reduziert und zu neuen, innovativen Maschinenkonstruktionen geführt. Infolgedessen verschieben sich die bei der Entwicklung einer Produktionsanlage erforderlichen Engineering-Anteile immer deutlicher (Bild 1.4).

Zukünftig wird die Grenze zwischen Mechanik und Elektronik als separate Disziplinen immer mehr verschwinden und es entstehen mechatronische Komponenten mit technologischen Funktionen, die immer mehr allein durch Software definiert werden – Tendenz steigend.

MERKSATZ

Der Engineering-Prozess verändert sich. Zukünftig nimmt die Bedeutung der Mechanik ab und Funktionen werden über Software realisiert.



1.2.4 Effizienzsteigerung sichert Wirtschaftlichkeit

Es liegt in den Genen unserer Marktwirtschaft, dass sich geschäftlicher Erfolg vornehmlich aus monetärem Gewinn rekrutiert. Als FREDERICK WINSLOW TAYLOR im Jahr 1895 in einem vielbeachteten Vortrag sein Ein-Stücklohn-System der Welt präsentierte, bekam das Streben nach Effizienz auch einen Namen: Taylorismus. Dabei geht es im Kern einzig um die Organisation der Arbeit mit dem Ziel, die Stückzeiten und damit die Arbeitskosten zu minimieren. Auch die Einführung der Fließbandarbeit im frühen 20. Jahrhundert (zweite industrielle Revolution) war letztlich die konsequente Fortführung des Taylorismus.

Automatisierte Systeme, wie Fertigungsautomaten oder Roboter, tun nichts anderes als programmierte Arbeitsschritte schnellstmöglich und mit höchster Wiederholgenauigkeit auszuführen. Sie verrichten in der erforderlichen Präzision Arbeitsgänge, mit denen der Mensch überfordert wäre, arbeiten ohne Pausen und werden nicht krank – ein Segen für jedes Unternehmen.

2 Der Weg zum Automatisierungssystem

In den nachfolgenden Abschnitten wollen wir einige der wichtigsten Kriterien mit ihrer Relevanz für die gesamte Konstruktion und explizit für die Automatisierung darstellen, anhand derer die ersten und grundsätzlichen Anforderungen an das zu entwickelnde Produktionssystem ermittelt werden können. Dabei bedienen wir uns zweier Werkzeuge, mit denen die Anforderungen einerseits und das Lösungskonzept andererseits klar strukturiert beschrieben werden können: dem *Lasten-* und dem *Pflichtenheft*.

Das *Lastenheft* (engl.: *System Requirements*) stellt grundsätzlich die *Anforderungsspezifikation* als Ergebnis einer *Anforderungsanalyse* dar. Prinzipiell wird im Lastenheft das *Was* und *Wofür* mit den entsprechenden Randbedingungen definiert. Im Projektgeschäft wird das von einem **Auftraggeber** (AG) erstellte Lastenheft in Form einer Ausschreibung an mögliche **Auftragnehmer** (AN) versandt, die auf dieser Grundlage ein *Pflichtenheft* (engl.: *Specification*) erstellen. Dieses enthält ein Lösungskonzept mit dem *Wie* und *Womit*, das der AN nach eigener Recherche und bereits geleisteten ersten Entwicklungsschritten erstellt. Lasten- und Pflichtenhefte kommen aber mehr oder weniger ausführlich auch bei firmeninternen Projekten zur Anwendung. Die abteilungsübergreifende Zusammenarbeit wird damit wesentlich erleichtert und der gesamte Entwicklungsprozess transparenter und damit schlussendlich wesentlich effizienter.

Die Anforderungen an die Inhalte von Lasten- und Pflichtenheften sind in zahlreichen Normen und Vorschriften festgelegt und besonders in öffentlichen Projekten auch verbindlich einzuhalten. Das gilt natürlich auch für den Entwurf eines Automatisierungssystems. Hier gilt die *VDI/VDE-Richtlinie 3694 «Lastenheft / Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen»*. Sie wurde 1990/1991 im Ausschuss «Einsatz von Automatisierungssystemen» der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik erarbeitet und 2004/2005 sowie 2012 im Ausschuss «Durchgängiges Engineering von Leitsystemen» überarbeitet. In der aktualisierten Fassung vom April 2014 finden vor allem die Aspekte der industriellen Kommunikation sowie der Sicherheitstechnik stärkere Beachtung.

Es ist anzumerken, dass sich die Richtlinie sehr stark an den Erfordernissen des Anlagenbaus orientiert¹. So wird beispielsweise einer ausführlichen Beschreibung der Ausgangssituation (Ist-Zustand), den betrieblichen Organisationsstrukturen oder dem Berichtswesen größere Bedeutung beigemessen, als es im Maschinenbau üblich wäre. Dem liegt die Tatsache zugrunde, dass große Prozessanlagen selten auf der grünen Wiese (engl.: *Green Field*) entstehen, sondern eher bestehende Anlagen durch Adaption bzw. Migration (engl.: *Brown Field*) umgebaut und modernisiert werden und auch anderen Anforderungen an die Betriebsweise oder der Sicherheit unterliegen. Trotzdem ist die Richtlinie auch für den Maschinenbau praktikabel, wenn das analytische Herangehen entsprechend adaptiert wird. So kann beispielsweise an die Stelle der Beschreibung der Ausgangssituation eine Marktstudie treten, in der die Anforderungen an das Produktions- und Automatisierungssystem analytisch herausgearbeitet werden. Insofern bietet die Richtlinie 3694 auch für die Entwicklungsarbeit im Maschinenbau eine praktikable Richtschnur.

1 Dieser Umstand ist sicher der Tatsache geschuldet, dass im Anlagenbau Lasten- und Pflichtenhefte sowie deren Anforderungen einen deutlich höheren Stellenwert besitzen als im Maschinenbau.

2.1 Das Lastenheft

Praktisch und ganz vereinfacht dargestellt entsteht ein Lastenheft, indem Systementwickler (oder Produktmanager) die *Anforderungen an das Produktionssystem* allgemein und das Automatisierungssystem im Speziellen ermitteln. Dazu gehört die Analyse des technologischen Prozesses mit der Festlegung der entsprechenden technologischen, konstruktiven und wirtschaftlichen Anforderungen. Diese werden aus vier Perspektiven ermittelt, die in diesem Kapitel unter Beachtung der VDI/VDE-Richtlinie 3694 [1] vorgestellt und mit praktischen Aspekten ergänzt und kommentiert werden.. [2; 3; 4]. Doch betrachten wir zunächst den Aufbau und die Struktur eines Lastenheftes.

2.2 Lastenheft nach VDI/VDE-Richtlinie 3694

Wie schon in der Einleitung erwähnt, werden in einem Lastenheft das *Was* und *Wofür* definiert.

Dazu ist zu bemerken, dass eine *Richtlinie* kein Gesetz oder Dogma darstellt, sondern als ein *Leitfaden* zu verstehen ist, wengleich die Auftraggeber und/oder -nehmer deren akribische Beachtung durchaus verlangen können. Existieren diese Vorgaben nicht, wird die Richtlinie in der Praxis unter Berücksichtigung der Branche und interner Firmenstandards adaptiert angewendet. Wie genau die Anforderungen in einem Lastenheft dargestellt sein müssen oder können und wie wichtig demgegenüber die Prüfung des Pflichtenheftes durch den AG ist, zeigt ein Beispiel aus [2].

Dabei geht es um die Lastenheft-Forderung nach einer Bedienfunktion. Die Umsetzung der Funktion kann über eine Geste am Touch-Display oder ein separates Bedienelement und demzufolge als Hardware- oder Softwarelösung erfolgen. Gibt der AG eine dieser Varianten vor, ist es eine *Last*, die genauso ausgeführt werden muss. Ist aber nur die Funktion als Vorgabe genannt, kann der AN festlegen, ob diese durch Software oder Hardware realisiert wird. Dann ist die inhaltlich gleiche Anforderung aus juristischer Sicht eine *Pflicht*. Fällt dem AG nun erst nach der Lieferung auf, dass er die ausgeführte Lösung eigentlich anders gewünscht hatte, so kann er zwar eine Nachbesserung wünschen, aber nicht kostenfrei einfordern.

Dieser Umstand birgt Risiken und Chancen zugleich. Zum einen muss der AG, wenn er eine bestimmte Funktion oder Komponente exakt so und nicht anders ausgeführt haben will, dies unmissverständlich zum Ausdruck bringen und auch kontrollieren. Es darf an diesem Punkt keine Nachlässigkeit geben. Andererseits kann das Lastenheft bestimmte Anforderungen bewusst nur in ihrer Grundfunktion bzw. ihren prinzipiellen Eigenschaften benennen, um dem AN die Möglichkeit einzuräumen, eigene Innovationen und neue Technologien einzubringen.

Steht beispielsweise im Lastenheft, dass das Automatisierungssystem von einem bestimmten Hersteller zu verwenden ist, dann kann das zwar für den Betreiber Vorteile im Service bringen, denn er muss nicht auf ein ihm unbekanntes Produkt geschult werden und kann auf vorhandene Ersatzteile zurückgreifen. Wenn mit diesem System aber bestimmte Technologien nur schwer oder gar nicht umzusetzen sind, dann ist schon im Lastenheft inkludiert, dass es Einschränkungen an Innovationen geben wird. Wird dagegen «das am besten geeignete Automatisierungssystem» verlangt, kann der AN Systeme auswählen, die wirkliche Innovationen bedeuten.

Im Serienmaschinenbau verhält es sich ähnlich. Eine solche Maschine, beispielsweise zum Verpacken von Lebensmitteln, wird nach aufwendiger Entwicklung und Erprobung entsprechend

einem fixierten Produktionsplan hergestellt und erlaubt i.d.R. nur marginale Anpassungen. Werden nun von einem AG im Lastenheft Anforderungen definiert, die weiterreichende Änderungen verlangen, so kann der Maschinenhersteller dies entweder gar nicht oder nur mit höherem Aufwand erfüllen. In der Folge wird er im ersten Fall den Auftrag ablehnen oder andernfalls die zusätzlichen Leistungen in den Preis einkalkulieren. Schließlich erbringt er diese Anpassungen nur für diesen einen Kunden, was für den Hersteller Zusatzarbeit mit geringer Nachhaltigkeit bedeutet².

Wir wollen uns diesen Sachverhalt verinnerlichen und bei der Darstellung der einzelnen Aspekte beachten.

Die Beispiele sollen zeigen, dass im Lastenheft ganz allgemein und einzig die Vollständigkeit der Beschreibung *aller relevanten Anforderungen* oberste Priorität hat. In der VDI/VDE-Richtlinie 3694 wird dem mit einer Struktur entsprochen, die nachfolgend im Einzelnen vorgestellt werden soll. Dabei werden zusätzlich und ohne das Gesamtgerüst zu schmälern praktische Aspekte einbezogen, so dass ein gebrauchsfertiger und praxisgerechter Fahrplan zur Lastenhefterstellung entsteht.

2.2.1 Projekteinführung

Die Projekteinführung beginnt mit allgemeinen Vorgaben rund um das zu realisierende Projekt. Diese werden ergänzt mit Angaben und Hinweisen zu den Zielsetzungen und dem Verwendungsumfeld. Im Einzelnen sind das die folgenden Abschnitte.

Allgemeine Vorgaben

Dazu gehören Angaben zur allgemeinen Zielsetzung des Vorhabens und einige Eckdaten³, die für den AN wichtig oder von Interesse sind. Dazu gehören Termine, Kosten sowie die Nennung relevanter Unterlagen und Dokumente, der zuständigen Bearbeiter, den Arbeitszeiten und alles Weitere, was der AN zum Projektablauf wissen muss.

Zu den allgemeinen Vorgaben (Veranlassungen) für das Projekt zählen weiterhin ergänzende Zielbestimmungen des Auftraggebers. Dazu gehören sogenannte *Grenzkriterien*, mit denen der AG ganz konkrete Anforderungen stellt⁴. Dazu gehört unter anderem, welche Funktionen zu realisieren sind oder wie die Software auszuführen ist. Zu Letzterem kann beispielsweise eine bestimmte Programmiersprache verlangt werden, die mit einem vorgeschriebenen Editor zu erstellen ist. Es kann auch die Verwendung von dedizierten Werkzeugen (Engineering Tools), z.B. für die Erstellung von Stromlaufplänen, verlangt werden.

Dagegen stellen *Wunschkriterien* die Vorgaben dar, die der AN nach eigenem Ermessen vorgeben kann. Dazu zählen beispielsweise der Einsatz bestimmter Baugruppen oder Softwarefunktionen, die der AN verwenden *kann*, aber nicht *muss*.

Schließlich kann mit *Abgrenzungskriterien* der Leistungsumfang durch den AG eingeschränkt werden. Beispiel dazu könnte die Bereitstellung von Teilkomponenten durch den AN oder Unterauftragnehmer sein oder es wird beispielsweise festgelegt, dass einige Leistungen durch den AN in Eigenregie durchgeführt werden.

2 Begegnen einem Maschinenhersteller diese Fälle häufiger, wird er natürlich versuchen, durch geeignete Szenarien wie z.B. eine geeignete Modularisierung auch die Serienmaschinen flexibler zu gestalten, um unterschiedlichste Kundenwünsche auch unter wirtschaftlichen Aspekten erfüllen zu können.

3 In der VDI/VDE 3694 ist dafür ein eigener Abschnitt vorgesehen.

4 Dieser Punkt ist in der VDI/VDE 3694 nicht explizit enthalten, hat sich aber in der Praxis bewährt [4].



Lastenheft, Teil 1.1: Projekteinführung, Veranlassung

- Art, Zielsetzung und Hintergründe des Gesamtprojektes
- Allgemeine Beschreibung des technologischen Prozesses
- Eckdaten des Projektes (Termine, verantwortliches Personal, Kostenrahmen)
- Mitgeltende Unterlagen, Dokumente, Normen und Richtlinien
- Ergänzende Zielbestimmungen (Grenz-, Wunsch- und Abgrenzungskriterien)
- Organisatorische Rahmenbedingungen
- Verantwortlichkeiten, Mitwirkende des Auftraggebers

Zielsetzung der Automatisierung

Dazu gehören technologische, wirtschaftliche und ergonomische Aspekte, die je nach Branche unterschiedlich gewichtet sein können. Technisch / technologisch stehen im Anlagenbau als Ziele der neuen Automatisierungsanlage u.a. Maßnahmen zur Erhöhung der Leistung, der Qualität, der Verminderung der Emissionen, einer effektiven Fahrweise oder der Verlängerung der Lebensdauer im Vordergrund. Dazu gehören auch wirtschaftliche Aspekte wie die Reduzierung der Lebenszykluskosten bzw. ergonomische Verbesserungen.

Adäquate Ziele im Maschinenbau können Leistungserhöhungen, die Beherrschung neuer Fertigungstechnologien oder die Senkung der Stillstandszeiten, beispielsweise durch automatisierte Umrüstung, sein. Aber auch neue Funktionen, sei es durch Hard- und/oder Software, die Einbindung in die digitale Produktion mittels standardisierter Kommunikationsprotokolle oder ein neues Maschinendesign können Zielsetzungen sein.

Beispielsweise wurde in [5] die Neuentwicklung eines Sammelhefters zur Herstellung von drahtgehefteten Broschüren beschrieben. Es handelte sich um eine Weiterentwicklung eines bestehenden Produktes mit dem Ziel, die Umrüstzeiten drastisch zu verkürzen. Dazu wurde im Lastenheft formuliert, dass die Umrüstung auf ein neues Produkt durch mehrere Bediener zugleich erfolgen kann, was zur Folge hat, dass an mehreren Anlegermodulen gleichzeitig die entsprechenden Einstellungen vorgenommen werden können. Dafür ist jedoch auch ein lokaler Probelauf erforderlich, der zuvor nur im kompletten Maschinenverbund erfolgen konnte. Die Vorgabe für die Automatisierung lautete daher, dass im Einrichtbetrieb jeder Anleger separat in Einrichtgeschwindigkeit bewegt werden kann, ohne den lokalen oder andere Bediener zu gefährden. Das bedeutet, dass die Steuerungstechnik über entsprechende Sicherheitstechnik verfügen und auch das Gesamtkonzept für diese Betriebsart ausgelegt sein muss.



Lastenheft, Teil 1.2: Projekteinführung, Zielsetzung der Automatisierung

- Technische und technologische Ziele (Leistung, Qualität, Umweltschutz, Sicherheit u.a.)
- Wirtschaftliche Aspekte (Rationalisierung, Kostensenkung)
- Ergonomische Anforderungen (Bedienbarkeit, Gestaltung)
- Einordnung in das Unternehmen (Hersteller und Betreiber)

Verwendungsumfeld

Unter dem Verwendungs- bzw. dem Benutzerumfeld werden die Anforderungen verstanden, die sich aus den Bedingungen der Örtlichkeit und dem Betreiben des fertiggestellten Produktionssystems ergeben. Dazu zählt u.a. die Vorstellung des Betreibers, dessen Produktprogramms und der Bedeutung des Produktionssystems. Dazu kommen Angaben zu den technischen Zusam-

menhängen, wie z.B. die Einbettung einer Maschine in den Produktionsablauf und dessen Beschreibung, sofern dies für das Projekt relevant erscheint.

Zum Verwendungsumfeld gehören auch wirtschaftliche Zusammenhänge, wie beispielsweise unternehmenspolitische Abhängigkeiten. Daraus kann sich z.B. ergeben, dass der AN Vorschriften eines amerikanischen Mutterkonzerns beachten muss, auch wenn die Maschine in einem chinesischen Werk betrieben werden soll.

Nicht zuletzt müssen diverse Standortfaktoren berücksichtigt werden. Dazu gehören Angaben zum Klima, der örtlichen Infrastruktur⁵, aber auch die geltenden Gesetze, Normen und Vorschriften. Soll das Produktionssystem z.B. in einem Gebiet betrieben werden, wo mit häufigen und unerwarteten Energieausfällen zu rechnen ist, muss geprüft werden, wie sich diese Unterbrechungen auf den technologischen Prozess auswirken. Können beispielsweise in einer Strick- oder Webmaschine bei einem plötzlichen Spannungsausfall tausende Fäden reißen oder Maschinenkomponenten beschädigt werden, müssen entsprechende Vorkehrungen getroffen werden. Das können Notstromaggregate genauso sein wie eine intelligente Auslegung der Antriebe, bei der die in der Maschine existierende Bewegungsenergie für ein geordnetes Abbremsen genutzt wird [6].

Schließlich ist vorzugeben, wie das Produktionssystem beim Benutzer organisatorisch eingebettet ist. Dazu gehören beispielsweise die Betriebsweisen (z.B. 24 h an 365 Tagen) oder die geforderte Identifikation und Rechtezuordnung von Bedienpersonal.

Lastenheft, Teil 1.3: Projekteinführung, Verwendungsumfeld

- Vorstellung des Auftraggebers bzw. Betreibers
- Technische und technologische Zusammenhänge (Verfahrensablauf, Einbettung in der Produktion)
- Wirtschaftspolitische Zusammenhänge
- Standortfaktoren (Normen, Betriebsbedingungen)
- Organisatorische Einbettung (Zielgruppen, Termine, Betriebszeiten)



Wesentliche Aufgaben

In der Richtlinie 3694 sind hierzu vornehmlich Aufgaben aus der Prozessindustrie genannt. Dazu zählen u.a. Prozessüberwachung, -stabilisierung, -führung und weitere Kriterien.

Grundsätzlich werden in diesem Abschnitt Aspekte genannt, die für das Gesamtverständnis wichtig sind. Wird beispielsweise als Aufgabe die Prozessoptimierung mit den entsprechenden Parametern genannt, muss der AN Lösungen anbieten, die diese Ziele erreichen. Das Gleiche gilt für den Maschinenbau. Hier könnte eine wesentliche Aufgabe darin bestehen, das Produktionssystem grundsätzlich zu modularisieren.

Lastenheft, Teil 1.4: Projekteinführung, wesentliche Aufgaben

- Informationen zum technologischen Prozess
- Angaben zum Gesamtverständnis



⁵ Dazu zählen auch die Netzart im Betreiberland (z.B. sogenannte T/TN-Netze, mit oder ohne Nullleiter, lokale Bestimmungen bzgl. der Ableitströme, Fehlerstrom-Schutzschalter usw.)

2.2.2 Beschreibung der Ausgangssituation (Ist-Zustand)

Inhalt dieses Abschnittes ist die Beschreibung der *Ist-Situation*. Diese Angaben sind sehr davon abhängig, ob es sich um eine Maschine bzw. Anlage handelt und ob es eine Neu- oder Weiterentwicklung ist. Die Arbeit wird besonders umfangreich, wenn es sich um eine Anlagenerweiterung, -Instandhaltungsmaßnahme oder Modernisierung (Retrofit) handelt und so ist auch der entsprechende Punkt der Richtlinie 3694 gefasst, dessen Inhalt die nachfolgenden Abschnitte aufzeigen.

Angaben zum Prozess und der Verwendung

Danach gehören zur Darstellung des Ist-Zustandes die Beschreibung der vorhandenen Anlage mit technischen Kenndaten, deren Struktur und Übersichten bis hin zu dem vorhandenen Kennzeichnungssystem bzw. der Namenskonvention für Datenpunkte, Feldgeräte usw. Das setzt sich fort in der Beschreibung der vorhandenen Automatisierungssysteme in ihrer Struktur und der Benennung eingesetzter Komponenten sowie der verwendeten Kommunikationsschnittstellen zwischen Anlagenteilen und Leitsystem. Das Ganze wird komplettiert mit Angaben zur Organisation und den organisatorischen Abläufen innerhalb des Betreiberunternehmens sowie geltende Arbeitsanweisungen für die Fertigung, die Verfahrenstechnik und die Sicherheit.

Handelt es sich dagegen um ein Projekt des Maschinenbaus oder eine neue Anlage, wird in diesem Teil des Lastenheftes und auch den folgenden Punkten nicht viel enthalten sein.



Lastenheft, Teil 2.1: Ist-Zustand, Angaben zum Prozess

- Beschreibung der vorhandenen Anlage
- Beschreibung der verwendeten Automatisierungssysteme
- Aufgaben und Funktionen des Automatisierungssystems
- Angaben zur Organisation und den betrieblichen Abläufen
- Geltende Arbeitsanweisungen für Fertigung, Verfahrenstechnik und Sicherheit

Datendarstellung und Mengengerüst

Dieser Punkt soll eine komplette Übersicht zu den vorhandenen und für die Durchführung des Projektes relevanten Daten und Messstellen enthalten. Dazu gehören die Datenpunkte des Prozesses und solche, die für die Bedienung des Prozesses von Bedeutung sind. Außerdem müssen sämtliche Kommunikationsbeziehungen und -verfahren zwischen den einzelnen Automatisierungssystemen, den Bedienern und einem ggf. vorhandenen Prozessleitsystem mit Datentyp, -format und dynamischen Kennwerten aufgelistet werden. Das gilt auch für alle neben- oder übergeordneten Systeme sowie deren Anwendungsprogramme, zu denen jeweils die Informationsquelle und die erhaltenen Informationen anzugeben sind. Schließlich sollten in diesem Punkt evtl. vorhandene Kapazitätsreserven (räumliche, energetische und gerätetechnische) aufgelistet werden.



Lastenheft, Teil 2.2: Ist-Zustand, Datendarstellung und Mengengerüst

- Komplette Übersicht zu Daten und Messstellen für Prozess, Bedienung Kommunikation mit Datentyp, -format und dynamischen Kennwerten
- Kommunikationsbeziehungen und -verfahren
- Vorhandene Kapazitätsreserven

2.2.3 Aufgabenstellung (Soll-Zustand)

Dieser Abschnitt enthält die funktionalen Anforderungen an das Automatisierungssystem des Projektes und kann durchaus als der Schwerpunkt eines Lastenheftes angesehen werden. Im Einzelnen soll diese Beschreibung folgende Punkte umfassen.

Anlage und automatisierter Prozess

Das beginnt mit der detaillierten Prozessbeschreibung des neuen (oder zu erweiternden) Produktionssystems mit allen technische Kenndaten, der Anlagenstruktur mit Übersichtsdarstellung bis hin zu Vorgaben für das Kennzeichnungssystem. Soll ein Verbund von Automatisierungssystemen entstehen, so erfolgen an dieser Stelle die Vorgaben für die Struktur, der Teilsysteme und der dazu benötigten Geräte.

Im modularen Maschinen- und Anlagenbau sind in diesem Punkt auch Vorgaben zur Gestaltung des modularen Systems erforderlich. Dazu gehören die Beschreibungen der Teilprozesse, die funktionalen Zuordnungen und Zusammenhänge, das Safety-Konzept sowie die Schnittstellen zur Kommunikation [7].

In diesen Punkt gehören auch alle Angaben für den Prozessablauf im ungestörten (normalen), den gestörten und den Notbetrieb. Das erfolgt am besten in Form formalisierter Prozessbeschreibungen für Verfahrens- und Fertigungsabläufe inklusive der in diesen Modi erforderlichen Bedienhandlungen.

Lastenheft, Teil 3.1: Soll-Zustand, Anlage und automatisierter Prozess

- Prozessbeschreibung
- Technische Kenndaten
- Anlagenstruktur und -übersicht
- Vorgaben für den Verbund von Automatisierungssystemen
- Angaben zur modularen Struktur (funktional, kommunikativ, sicherheitstechnisch, energetisch)
- Formalisierte Prozessbeschreibungen (Normal-, gestörter und Notbetrieb)



Organisation und organisatorische Abläufe

In diesen Punkt gehören alle Angaben zur Organisation und den organisatorischen Abläufen innerhalb des Betreiberunternehmens. Dazu zählen u.a. die Organisationsstruktur, die Ablauforganisation vom Engineering bis hin zum Änderungsmanagement, Arbeitsanweisungen für Fertigung, Verfahrenstechnik und Sicherheit sowie das Berichtswesen. Gerade die letzten Punkte sind für die Gestaltung des Automatisierungssystems im Hinblick auf die Bedienung, die Authentifizierung des Bedienpersonals, die Datensicherung und -protokollierung u.v.a.m. von Bedeutung.

Lastenheft, Teil 3.2: Soll-Zustand, Organisation und organisatorische Abläufe

- Angaben zur Organisation und den betrieblichen Abläufen
- Ablauforganisation (Engineering, Produktion, Qualität ...)
- Geltende Arbeitsanweisungen für Fertigung, Verfahrenstechnik und Sicherheit
- Berichtswesen



Aufgaben des Automatisierungssystems

Unter diesem Aspekt werden die einzelnen Anwendungsprogramme in Form von Einzelfunktionen verstanden. Diese erhält man aus einer Funktionsanalyse, die sich an der Gesamtaufgabe in Kombination mit der Anlagenstruktur und den technologischen Abläufen orientiert. Im Ergebnis entsteht ein Katalog von Einzelfunktionen, deren Ein- und Ausgangsparameter sowie innere Funktionalitäten exakt beschrieben werden [7].

Hierbei gilt wieder das Prinzip der Vollständigkeit, denn es gibt bei Weitem mehr Funktionen, als für die eigentliche Prozessführung erforderlich wären. In der Richtlinie 3694 sind folgende Aufgaben im Einzelnen aufgeführt:

- Prozessführung (Regelung und Steuerung)
- Prozessstabilisierung (Regelung und Steuerung)
- Prozessüberwachung (Darstellung, Alarmierung, Alarmmanagement)
- Prozessoptimierung
- Prozessbilanzierung für Stoff-, Energie- und Informationsströme, Kennwertberechnung
- Prozesssicherung
- Prozessbedienung
- Protokollierung
- Archivierung
- Elektronische Aufzeichnungen und Signaturen
- Analyse und Optimierung
- Stammdatenpflege
- Kommunikation
- Asset-Management
- Aufgaben in Bezug auf das Automatisierungssystem
 - Betrieb
 - Fehleranalyse
 - Wartung



Lastenheft, Teil 3.3: Soll-Zustand, Aufgaben des Automatisierungssystems

- Funktionskatalog (Gesamtfunktionalität ergibt sich aus Einzelfunktionen)
- Einzelfunktionen mit Ein-/Ausgangsparametern und innerer Funktionalität
- Kommunikationsbeziehungen (innerhalb, außerhalb)

Datendarstellung und Mengengerüst

Unter diesem Punkt wird analog zum Ist-Zustand eine komplette Übersicht zu erforderlichen Daten und Messstellen verstanden. Dazu gehört ein Mengengerüst aller Datenpunkte mit Datentyp, -format und dynamischen Kennwerten, und zwar für alle neben- oder übergeordneten Systeme sowie deren Anwendungsprogramme, zu denen jeweils die Informationsquelle und die erhaltenen Informationen anzugeben sind. Schließlich werden in diesem Punkt Anforderungen zu Kapazitätsreserven (räumliche, energetische und gerätetechnische) aufgelistet. Die Richtlinie 3694 gliedert das Mengengerüst dazu wie folgt:

- Prozessdaten
 - Datenbeschreibungen, Menge (Datenaufbereitung)
 - Dynamische Kennwerte

- Bedienungsdaten
 - Beschreibung der Daten in Dialogen und Ansichten
 - Transaktionen (Datenein- und -ausgabe, Frequenz)
- Daten zur Kommunikation (gegliedert nach den wesentlichen Informationsszenen)
 - Automatisierungssystem
 - Mensch (Bediener)
 - Für neben- oder übergeordnete Rechner
- Daten des Verbunds
 - Datenbeschreibungen
 - Datenbewegung (Übertragungsverfahren)
- Datenbestände
 - Dateien / Strukturen
 - Datenbeschreibungen
 - Datenübernahme, Zugriff (zeitliche und inhaltliche Gültigkeit)
 - Datenarchivierung
 - Datensicherung
 - Datenschutz

Lastenheft, Teil 3.4: Soll-Zustand, Datendarstellung und Mengengerüst

- Komplette Übersicht zu Daten und Messstellen für Prozess, Bedienung Kommunikation mit Datentyp, -format und dynamischen Kennwerten
- Kommunikationsbeziehungen und -verfahren
- Vorzusehende Kapazitätsreserven



2.2.4 Anforderungen an die Kommunikationsschnittstellen

Eine störungsfreie und servicefreundliche Kommunikation ist für moderne Produktionssysteme ein absolutes Muss. Die 2014 überarbeitete Fassung der Richtlinie 3694 widmet diesem Sachverhalt daher einen separaten Abschnitt, in dem die vorzusehenden Schnittstellen mit detaillierten Beschreibungen verlangt werden.

Schnittstelle Steuerung–technischer Prozess

Die Übersicht muss alle für den technologischen Prozess erforderlichen Feldgeräte (Signalgeber) für die Aufnahme von Prozessdaten sowie Aktorik (Stellglieder) enthalten. Dazu gehört auch die Benennung der Feldgeräte sowie physisches Medium und Protokoll der Datenübertragung.

Lastenheft, Teil 4.1: Kommunikationsschnittstellen, Steuerung – technischer Prozess

- Übersicht der Feldgeräte für Sensorik und Aktorik
- Spezifizierung der Geräte
- Art der Datenübertragung (Medium, Protokoll)
- Verweis auf Standards



4 Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)

Die SPS ist eindeutig die Hauptkomponente eines Automatisierungssystems – ganz gleich, in welcher Hard- und Software-Ausprägung sie angeboten wird. In diesem Kapitel werden die einzelnen Komponenten einer SPS grundlegend vorgestellt. Schließlich gehört das *Engineering-Werkzeug* untrennbar zum Auswahlverfahren der SPS hinzu, so dass wir uns auch dieser Komponente widmen wollen.

4.1 Überblick, grundsätzlicher Aufbau

Bild 4.1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer speicherprogrammierbaren Steuerung in Modulbauweise. In dieser Bauform werden CPU und alle I/O-Komponenten mechanisch auf einem Rückwandmodul (engl.: *Backplane*, BP) montiert. Diese Backplane kann selbst wieder modular aufgebaut sein und verfügt über den sogenannten *Rückwandbus* sowie über einen Bus zur internen Spannungsversorgung. Das Protokoll des Datenverkehrs auf dem Rückwandbus ist üblicherweise herstellerspezifisch und auch nicht standardisiert.

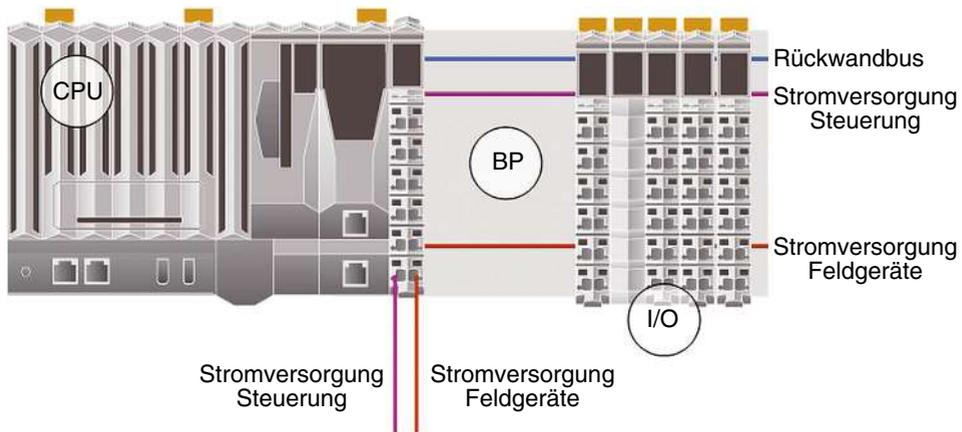


Bild 4.1 Basiskomponenten einer speicherprogrammierbaren Steuerung

Das Gleiche gilt für die interne Spannungsversorgung der einzelnen Module. Zusätzlich können in der Backplane auch Stromversorgungsleitungen für die Versorgung der Feldgeräte geführt werden, i.d.R. mit einem Spannungsniveau von 24 VDC und limitierter Strombelastung.

Selbstredend unterscheidet sich dieser Aufbau von Hersteller zu Hersteller und diese haben i.d.R. auch unterschiedliche Ausprägungen im Portfolio. So kann beispielsweise der gesamte Aufbau in einem Kompaktsystem zusammengefasst und mit einer fixen Anzahl von I/O-Kanälen ausgestattet werden (siehe Beispiele in [1; 2]).

Der modulare Aufbau einer SPS erlaubt dem Anwender die bestmögliche Systemanpassung an die technologischen Erfordernisse, wenn nicht der Aufbau und der i.d.R. geringere Funktions- und Leistungsumfang einer Kompaktsteuerung gerade auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten vorteilhaft sind. Das in [1] beschriebene System der B&R-X20-Produktfamilie bietet den Vorteil, dass der Rückwandbus inkl. der internen und externen Stromversorgung ohne einen Verlust in der Echtzeitfähigkeit auch über Kabel zu abgesetzten Stationen geführt werden kann.

Damit kann ein modularer Aufbau der I/O-Module erfolgen, ohne dass auf die üblicherweise hohe Performance des Rückwandbusses verzichtet werden muss. Im genannten System ist dabei auch eine beliebige Mischung unterschiedlicher Bauformen und Modultypen möglich (Bild 4.2).¹

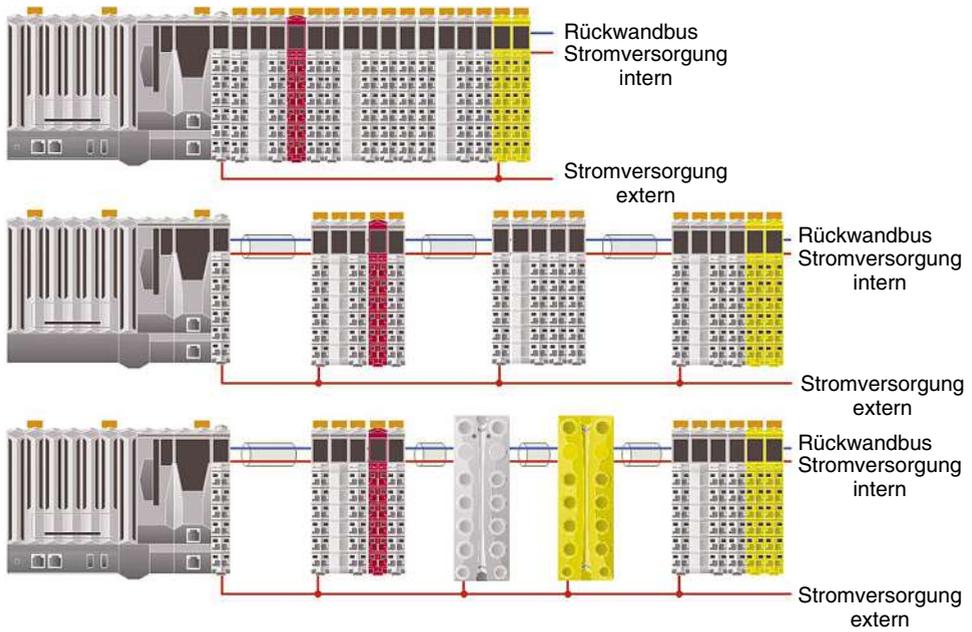


Bild 4.2 Modularisierung einer SPS-Konfiguration am Beispiel des B&R-X20-Systems

Widmen wir uns aber zunächst den beiden Hauptkomponenten CPU sowie den Ein- und Ausgangsmodulen.

4.2 Zentraleinheit (CPU)

4.2.1 Konstruktive Kriterien

Die Zentraleinheit einer SPS ist nichts anderes als Herz und Hirn eines Automatisierungssystems. Hier werden die technologischen Funktionen gesteuert, die Regelungsprozesse bearbeitet und sämtliche steuerungstechnischen Aufgaben realisiert. Wenn sie als zentrales Element des Automatisierungssystems versagt, steht die gesamte Produktionsanlage. Das gilt auch in einem modular strukturierten System mit mehreren dezentralen Steuerungen, denn auch wenn ein komplettes Teilsystem ausfällt, ist ein Produktionsstillstand unausweichlich. Dieser Bedeutung muss sich der Automatisierungingenieur stets bewusst sein und deren Auswahl und Programmierung besonders sorgfältig durchführen.

Dazu kommt, dass die Hersteller ihren CPUs eine Menge zusätzlicher Eigenschaften mitgeben, damit sie im Gegensatz zu einem einfachen Büro-PC nicht einfach mal stehen bleiben und auch ein eventueller Ersatz ohne Probleme und vor allem schnell erfolgen kann.

¹ Dieser Aufbau bietet gegenüber feldbusbasierten Dezentralisierungen einige Vorteile, die in Abschnitt 11.1 *Echtzeitverhalten dezentraler Automatisierungssysteme* näher betrachtet werden.

4.2.1.1 Prinzipieller Aufbau

Bild 4.3 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer CPU am Beispiel einer B&R-X20-CPU in der äußeren Ansicht² und Bild 4.4 den schematisch dargestellten inneren Aufbau.

Folgende konstruktive Kriterien sind typisch für eine Steuerungs-CPU:

- Die Montage erfolgt auf einer standardisierten *Hutschiene* und ist über diese auch mit dem Massepotenzial verbunden. Ähnliche Bauformen werden auch direkt auf die Rückwand eines Schaltschranks montiert.
- Eine integrierte Stromversorgung erzeugt die erforderlichen Betriebsspannungen für die Versorgung der CPU selbst und die auf der Backplane befindlichen I/O-Module.
- Es stehen Schnittstellen für die Kommunikation mit dezentralen Steuerungskomponenten, dem HMI, dem Engineering- und/oder einem ERP-System zur Verfügung.
- Ein von außen zugänglicher Steckplatz dient der Aufnahme einer Speicherkarte, auf der sämtliche Programme und Daten gespeichert sind³.
- Über einen Wahlschalter können für Service und Inbetriebnahme unterschiedliche Betriebsarten eingestellt werden. Z.B. kann die CPU in einen Modus versetzt werden, bei dem zwar alle Kommunikationsschnittstellen aktiviert sind, aber das Anwenderprogramm nicht ausgeführt wird, wie es mitunter für den Service erforderlich ist.
- Eine ebenfalls von außen zugängliche Batterie sorgt für die Versorgung eines remanenten Datenspeichers, sofern die CPU nicht mit einem Speichermedium bestückt ist, das Daten auch schnell und energielos speichern kann⁴.
- Mit einem Reset-Taster können verschiedene Szenarien, z.B. ein *Halt* des Anwenderprogramms, ausgelöst werden, ohne ein Engineering-System verwenden zu müssen.
- Verschiedene Statusanzeigen signalisieren den Zustand der CPU u.v.a.m.
- Zusätzliche Steckplätze können für verschiedenartige Erweiterungen verwendet werden. Beispielsweise können das Interface-Module für unterschiedliche Busprotokolle sein.

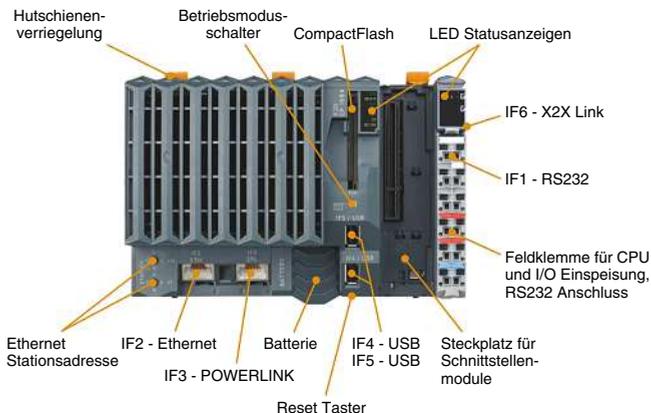


Bild 4.3 Äußerer Aufbau einer Steuerungs-CPU am Beispiel einer X20CP1586 [Quelle: B&R]

- 2 Die im Bild ersichtliche X2X-Link ist die B&R-Bezeichnung für den dezentralen Rückwandbus (siehe auch Bild 4.2).
- 3 Ist oft, aber leider nicht mehr immer so, da der entnehmbare Speicher ein negativer Kostenfaktor ist; je nach System kann es sich auch um einen integrierten Flash-Speicher handeln.
- 4 Das können z.B. FRAM (ferromagnetisches RAM) sein.

Während sich die äußere Ansicht und der konstruktive Aufbau einer Steuerungs-CPU sehr deutlich von einem PC unterscheiden, so verwischen sich die Unterschiede im Inneren durchaus. Komponenten wie Prozessor, Speicher und I/O-Controller für die Peripherie sind in einer CPU genauso die Hauptbestandteile wie in jedem PC. Unterschiede bestehen in den Bauelementen, die einerseits die Steuerungs-CPU für den Einsatz im industriellen Umfeld ertüchtigen und andererseits auch deren technologischer Bestimmung entsprechen.

Im Einzelnen sollen diese Unterschiede nachfolgend erläutert werden (Bild 4.4).

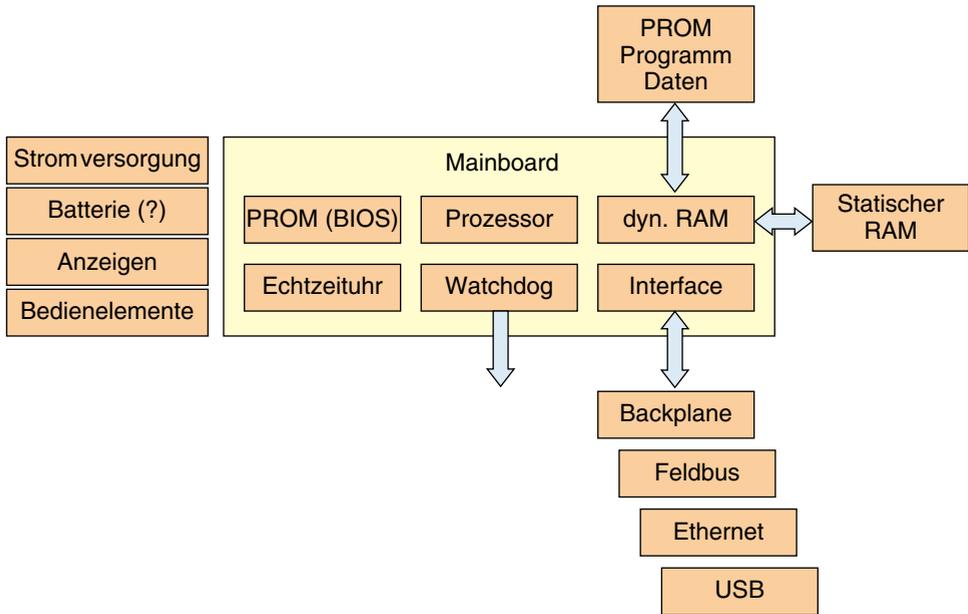


Bild 4.4 Hauptkomponenten einer Steuerungs-CPU (innerer Aufbau)

4.2.1.2 Mainboard

Üblicherweise verfügt eine Steuerungs-CPU ebenso über ein Mainboard mit Prozessor, Speicher für BIOS oder Bootloader sowie I/O-Controller wie ein handelsüblicher PC, wobei sich je nach Hersteller und Bauform auch alle anderen im Bild ersichtlichen Komponenten auf einer Hauptplatine befinden können⁵. Dazu zählen:

Echtzeituhr

Die Echtzeituhr (**Real Time Clock**, RTC) in einer Steuerungs-CPU dient nicht allein der Anzeige der Uhrzeit, die allerdings in einigen Applikationen durchaus für Steuerungsfunktionen benötigt wird, wie z.B. in der Gebäudeautomation. In dieser müssen unter anderem Raumtemperaturen, Beleuchtung und Zugangsberechtigungen auch nach einem bestimmten Zeitregime gesteuert werden.

⁵ Allerdings wird dieses Mainboard i.d.R. nicht in Millionenstückzahlen von beliebigen Zulieferern, sondern von den Herstellern der CPU selbst bzw. speziellen Dienstleistern gefertigt. Schließlich gehört diese Baugruppe zu den Kernkompetenzen eines jeden Anbieters von Automatisierungssystemen.

Aber auch in Maschinen und Anlagen wird eine exakte Uhrzeit benötigt, um z.B. den Zeitraum eines Benutzereingriffs zu protokollieren oder Prozessverläufe qualitativ über die Zeit darstellen zu können. In einer Verpackungsmaschine für Medikamente oder Lebensmittel muss zudem das Herstellungs- und Haltbarkeitsdatum protokolliert und auf die Verpackung gedruckt werden.

Da ein RTC-Chip mitunter sehr ungenau arbeitet (teilweise mehrere Sekunden Fehler pro Tag), ist für einen exakten Datums- und/oder Zeitbezug die zusätzliche Synchronisation z.B. über ein Funkuhrmodul oder eine Netzwerkuhr erforderlich.

Watchdog

Wie bereits erwähnt, kann es verheerende Folgen für eine laufende Maschine bewirken, wenn eine Steuerungs-CPU aufgrund eines Hard- oder Softwarefehlers nicht mehr arbeitet. Deshalb wird deren funktionsgerechte Tätigkeit von einem sogenannten *Watchdog* überwacht, dem in regelmäßigen Abständen durch die Software mitgeteilt wird, dass die CPU noch ordnungsgemäß arbeitet. Praktisch wird der Watchdog als ein monostabiles Zeitglied aufgebaut, das in den Ruhezustand fällt, wenn nicht in einer bestimmten Zeit ein Signal den integrierten Timer wieder neu auf Anfang setzt. Dieses Refresh-Signal wird i.d.R. durch das Betriebssystem einer CPU generiert.

Bleiben diese Signale aus, ist von einem schwerwiegenden Hard- oder Softwarefehler auszugehen und der Watchdog wird daraufhin sowohl die CPU wie auch alle anderen Komponenten des Automatisierungssystems in einen gefahrlosen Ruhezustand versetzen. So wird sichergestellt, dass die Mechanik der Maschine möglichst nicht beschädigt wird⁶.

Interface

Wie in Bild 3.1 gezeigt, ist die Fähigkeit zur Kommunikation mit weiteren Systemkomponenten die wohl wichtigste Grundeigenschaft einer modernen Steuerungs-CPU. Dazu gehört in erster Linie die Möglichkeit, mit einem externen Programmiergerät das Anwenderprogramm in die CPU und deren Programmspeicher zu übertragen sowie Servicefunktionen ausführen zu können. Die dafür aktuell am meisten verbreitete Schnittstelle ist ein TCP/IP-fähiger Ethernet-Anschluss, aber genauso ist auch ein USB-Port praktikabel. Viele Hersteller spendieren ihren CPUs auch weiterhin für die Verbindung mit dem Programmiergerät eine RS232-Schnittstelle⁷ oder spezielle Online-Interfaces [3].

Des Weiteren gehören Schnittstellen für die Kommunikation mit den I/O-Modulen über die Backplane zum Standardumfang einer jeden Steuerungs-CPU. Wie diese konstruktiv ausgeführt werden, ist sehr unterschiedlich und variiert von Hersteller zu Hersteller und Modell zu Modell. So werden beispielsweise auch zusätzliche I/O-Prozessoren integriert, die das I/O-Handling im Hintergrund erledigen, ohne den Prozessor zu belasten.

Moderne Steuerungs-CPU's verfügen ebenso standardmäßig über ein Feldbus-Interface, das für die echtzeitfähige Kommunikation mit dezentralen I/Os, der Antriebstechnik und vielen weiteren Komponenten des Automatisierungssystems erforderlich ist⁸. Die weitere Ausstattung mit Schnittstellen ist sehr stark hersteller- und modellspezifisch. Das können drahtlose Interfaces wie WLAN oder Bluetooth ebenso sein wie beispielsweise USB oder herstellerspezifische Steckplätze für Erweiterungsmodule.

6 Diese Funktion hat jedoch nichts mit der Gewährleistung der Maschinensicherheit zu tun.

7 Die RS232-Schnittstelle stammt noch aus der Gründerzeit der modernen PC-Technik und ist in aktuellen PC-Modellen kaum noch vorhanden. Trotzdem ist sie noch immer auf vielen Geräten zu finden, denn sie ist so etwas wie eine Hintertür für den Zugriff auf eine CPU, wenn alle anderen Schnittstellen versagen. Verwenden Hersteller handelsübliche PCs und Laptops, ist die Ergänzung zumeist mit USB- oder Ethernet-Adaptoren möglich. Bieten die Hersteller von Steuerungstechnik eigene Programmiergeräte an, so verfügen diese zumeist auch über alle Schnittstellen, die auf deren CPUs zu finden sind.

8 Siehe Kapitel 9 *Serielle Kommunikation*.

4.2.1.3 Programm- und Datenspeicher

Wie jeder PC benötigt auch die Steuerungs-CPU für die Anwenderprogramme sowie für maschinen- und prozessspezifische Daten einen nichtflüchtigen Speicher. Dieser kann entweder mit auf dem Mainboard integriert sein oder er wird in Form einer **Compact Flash (CF)** bzw. **Silicon Disk (SD)** in einen entsprechenden Slot gesteckt. Beschrieben werden diese Speicher über entsprechende Funktionen des Engineering-Werkzeuges entweder während diese in der CPU stecken (was ja bei integriertem Speicher ohnehin der Fall ist) oder die CF- bzw. SD-Module werden mit entsprechenden Geräten extern beschrieben. Letzteres ist besonders im Serienmaschinenbau von Vorteil, da hier in der laufenden Produktion Zeit für die Inbetriebnahme gespart werden kann.

Ein weiterer Vorteil für den modularen Programmspeicher ergibt sich im Servicefall. Ist bei einem Hardwaredefekt ein CPU-Tausch erforderlich, muss nur die Speicherkarte umgesteckt werden und die Maschine ist nach kürzester Zeit wieder funktionsfähig. Andernfalls müsste ein Programmiergerät angesteckt und das Programm neu übertragen werden, wobei das Servicepersonal über beides verfügen und dazu geschult werden muss.

4.2.1.4 Dynamischer und statischer RAM

Des Weiteren benötigt auch eine moderne CPU einen *dynamischen Arbeitsspeicher*, um kürzeste Zugriffszeiten auf Speicherzellen zu erhalten. Schließlich sind die kurzen Taktraten die wichtigsten Kenndaten von dynamischen Speichern und sie werden mit jeder neuen Speichertechnologie schneller. Der Nachteil dieser Speichertechnologie besteht darin, dass die Information der Speicherzellen in sehr kurzen Zyklen aufgefrischt werden müssen. Das erledigt ein integrierter Prozessor, der wiederum und in logischer Folge konstant mit Energie versorgt werden muss.

Der Umstand, dass statische Speicher wie Flash-PROM zwar die Möglichkeit bieten, große Datenmengen auf Chipgröße nichtflüchtig und ohne ständige Energieversorgung zu speichern, bedingt aber relativ lange Lese- und noch längere Schreibzyklen. Daher werden in leistungsfähigeren CPUs, ähnlich wie in normalen PCs, beim Hochlauf (engl.: *Booten*) die Anwenderprogramme in den dynamischen Arbeitsspeicher kopiert und von dort durch den Prozessor gelesen. Ebenso werden im laufenden Betrieb die Ein- und Ausgangs- sowie die im laufenden Programm berechneten Daten im dynamischen RAM gehalten.

Doch was passiert, wenn die Versorgungsspannung abgeschaltet wird oder unvorhergesehen ausfällt? Schließlich gibt es bei einer SPS keinen START-Button mit dem Befehl *Herunterfahren*, sondern nur den Hauptschalter an der Maschine, mit dem üblicherweise die gesamte Energieversorgung abgeschaltet wird⁹. In diesem Fall passiert prinzipiell das Gleiche wie bei einem PC: Alles, was nicht gespeichert ist, geht verloren, denn der dynamische Speicher benötigt dauerhaft Energie und wenn die ausfällt, ist er nicht mehr funktionsfähig und verliert seinen Inhalt.

Was bei der Arbeit im Büro einfach nervt und schlimmstenfalls nur Zeit kostet, ist in einem Automatisierungssystem grundsätzlich nicht praktikabel, denn ein plötzlicher Spannungsausfall kann nicht nur zu einem Datenverlust, sondern auch zu Beschädigungen an der Maschine führen, wenn beispielsweise koordiniert laufende Antriebe nicht mehr geregelt werden und einfach austrudeln.

Was wird also von einer Steuerungs-CPU bei Spannungsausfall erwartet? Auch wenn diese einfach abgeschaltet, also ungeordnet heruntergefahren wird, müssen die wichtigsten Prozesszustände gespeichert werden, wie z.B. das zuletzt bearbeitete Rezept oder die Position von

⁹ Besser wird das Ausschalten einer Maschine über das HMI durch den Bediener ausgelöst. Die eigentliche Funktion ist jedoch Bestandteil des Anwenderprogramms und muss schon in Lasten- und Pflichtenheft betrachtet werden. Das gilt auch für das Verhalten bei unvorhergesehenem Spannungsausfall.

Antrieben. Das funktioniert i.d.R. nicht mit einem Flash-PROM, denn dessen Schreibzyklen benötigen relativ viel Zeit, die bei einem Spannungsausfall nicht zur Verfügung steht. Also bedient man sich mit einem batteriegestützten statischen RAM, dessen Schreib- und Lesezugriffe zwar mehr Zeit als bei einem dynamischen Speicher benötigen, die aber immer noch deutlich schneller ablaufen als bei einem FEPROM.

DEFINITION

Unter einem **Rezept** wird in der Steuerungstechnik ein Parameter-Datensatz verstanden, mit dem ein Produkt bearbeitet werden soll.



Für die erforderliche Zeit von wenigen Millisekunden sehen die Hersteller einen kleinen Energiepuffer vor (meist nur einen Kondensator), um die im Engineering festgelegten Daten aus dem dynamischen in den statischen RAM kopieren. Im spannungslosen Zustand werden diese nun mithilfe der Energie aus einer Batterie (zumeist eine Lithium-Ionen-Batterie mit vielen Jahren Standzeit) gepuffert und stehen somit beim nächsten Hochlauf wieder zur Verfügung. Der technologische Prozess kann nun an der richtigen Stelle fortgesetzt werden.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass einerseits die FEPROM immer schneller werden und auch neue Speichertechnologien wie beispielsweise FRAM (**Ferromagnetisches RAM**), zur Verfügung stehen, die mit entsprechend kurzen Zugriffszeiten einen statischen RAM ersetzen können und somit die benötigte Pufferbatterie überflüssig machen.

4.2.1.5 Stromversorgung

Die Stromversorgung für eine Steuerungs-CPU ist i.d.R. für zwei Aufgaben zuständig. Erstens müssen die entsprechenden Spannungspegel für Prozessor und Mainboard generiert werden. Des Weiteren kann die integrierte (oder modular konfigurierte) Stromversorgung auch die auf der Backplane gesteckten I/O-Module versorgen und mitunter wird auch noch Hilfsenergie für die Versorgung der angeschlossenen Feldgeräte zur Verfügung gestellt. Das alles hat natürlich Grenzen hinsichtlich der Leistung, so dass bei sehr vielen I/O-Modulen bzw. erhöhtem Leistungsbedarf weitere Stromversorgungen auf der Backplane oder auch extern hinzu konfiguriert werden müssen. Das hat allerdings auch Vorteile, wenn z.B. durch die Bildung von Potenzialgruppen einzelne Maschinenbaugruppen sowieso getrennt versorgt werden sollen.

Die Netzteile von Steuerungs-CPUs selbst können mit Spannungen von 110/230 VAC oder auch 400 VAC versorgt werden. Aus verschiedenen Gründen (z.B. der Wärmeentwicklung bzw. der Störempfindlichkeit) wird jedoch in den meisten Systemen mit der standardmäßigen Spannung 24 VDC versorgt.

4.2.1.6 Anzeigen und Bedienelemente

Für die Kontrolle des Betriebszustandes und der Einstellung unterschiedlicher Betriebsarten muss eine Steuerungs-CPU über eine Minimalausstattung von Anzeigen und Bedienelementen verfügen. Dafür reichen üblicherweise einige LED-Anzeigen, ein Reset-Taster und/oder ein Betriebsarten-Wahlschalter aus. Einige Hersteller haben ihren CPUs auch kleine LCD- oder TFT-Displays spendiert, die sogar über eine Touch-Bedienung verfügen. Was alles angezeigt wird und bedient werden kann, liegt in der Entscheidung der Hersteller und der Ausführung der jeweiligen Modelle.

4.2.1.7 Mechanische Laufwerke

CD- oder DVD-Laufwerke sind nicht nur für Office-PCs Auslaufmodelle, für Steuerungs-CPU sind sie schlicht ein No-Go und das aus mehreren Gründen.

Zunächst einmal sind sie in ihren Abmessungen äußerst ungeeignet, denn üblicherweise bauen CPUs deutlich kleiner als ein optisches Laufwerk. Außerdem benötigen sie ziemlich viel Energie und in Bezug auf Verschmutzung, Handling und Haltbarkeit sind optische Laufwerke genau wie deren Datenträger nicht für die raue Industrieumgebung geeignet.

Etwas anders sieht es bei Festplatten (**Hard Disk**, HD) aus, denn diese sind gekapselt und benötigen auch keinen Zugang von außen, wie es bei den optischen Laufwerken zum Handling der Disk erforderlich ist. Trotzdem verfügen HDs über eine Mechanik, die ebenfalls nicht unbedingt für die Industrieumgebung geeignet ist.

Glücklicherweise stehen seit einigen Jahren sehr gut geeignete Halbleiterspeicher in Form von **Compact Flash** (CF), **Silicon Disk** (SD), **Solid State Disk** (SSD) und USB-Sticks mit für Industrieumhältnisse ausreichender Speichergröße zur Verfügung, so dass sich das Thema mechanische Laufwerke ohnehin bald erledigt hat.

4.2.1.8 Robustheit

Filigrane Konstruktionen, Bedienelemente und Miniaturanzeigen sind ebenso in einer Industrieumgebung ungeeignet wie Materialien, die schon nach kurzer Zeit so verschleifen, dass sie zerbrechen oder Plastikteile zerbröseln. Auch im Inneren einer CPU sind freiliegende Drähte, Kabel und ungesicherte Steckverbindungen tabu. Praktisch ist eine Bauform vorzuziehen, bei der die Module möglichst werkzeuglos schnell und einfach montiert werden können.

4.2.1.9 Bauarten

Um möglichst viele und unterschiedliche Konfigurationen eines Automatisierungssystems abdecken zu können, werden Steuerungs-CPU von den Herstellern in unterschiedlichen Bauformen angeboten. Folgende CPU-Bauarten sind verbreitet:

- **Kompaktsteuerung** (z.B. Siemens Logo)
 - Kleinste und kleine Automatisierungsaufgaben im untersten Preissegment
- **Modulare Steuerung** (CPU, Stromversorgung, I/O-Module, Kommunikation usw.)
 - Verbreitetste Bauform und nahezu für jeden Anwendungsfall geeignet
- **Embedded Controller** (Kombination aus HMI und SPS auf einer Hardware)
 - Für Anwendungsfälle mit verhältnismäßig hohem technologisch bedingten HMI-Anteil des Anwenderprogramms
- **Slot-SPS** (z.B. Einsteckkarte in einen PC oder Motion Controller)
 - Verwendung ähnlich einem Embedded Controller, jedoch liegt der Fokus noch stärker auf Datenverarbeitungs-, HMI- oder Antriebsfunktionalitäten
- **Soft-SPS** (z.B. virtuelle Steuerung in einem Office- oder Industrie-PC)
 - Die komplette Steuerungsfunktionalität wird in einer PC-Applikation realisiert. Damit unterliegen die Eigenschaften einer Steuerungs-CPU denen eines PCs und es müssen alle vorgenannten CPU-Besonderheiten applikativ und zum Teil auch eigenständig implementiert werden, sofern diese für die technologische Aufgabe von Bedeutung sind. Zu beachten sind außerdem das Verhalten bei einem Absturz des PC-Betriebssystems und natürlich die geforderte Echtzeitfähigkeit.

- **Sonderbauformen** (z.B. Geräteplatinen, intelligente I/O-Module)
 - Steuerungs-CPU's können in Feldgeräten, eigenständigen Maschinen- und Anlagenmodulen und vor allem in kompakter Gerätetechnik, wie z.B. Druckern, Waschmaschinen oder Steuergeräten für Verbrennungsmotoren integriert sein. Sie können aber auch ganz speziell und mit allen übrigen Steuerungskomponenten gemeinsam auf einer Leiterplatte oder einem FPGA-Chip (*Field Programmable Gate Array*) untergebracht sein.

Checkliste Konstruktion Zentraleinheit

Bauform	HW-, Slot-, Embedded- oder Soft-SPS
Ausstattung	CPU, Speicher, Schnittstellen, Stromversorgung
Schnittstellen zum I/O-System	Direkt-I/O auf der CPU, Backplane, Feldbus
Örtliche Anordnung	Schaltschrank, Maschinenkörper, Freiluft
Anwenderspeicher	Medium, integriert, tauschbar



4.2.2 Technologische Kriterien

Auch wenn sich Steuerungs-CPU's und PCs in ihrem konstruktiven Kernaufbau nur wenig unterscheiden – einige Hersteller bezeichnen ihre Zentraleinheiten auch direkt als Industrie- oder Embedded PC – so sind die Unterschiede in technologischer Hinsicht umso deutlicher. Schließlich geht es nicht darum, einen Brief zu schreiben oder Videos anzuschauen, sondern ein Produktionssystem in Echtzeit zu steuern und Regelungsprozesse in höchster Güte zu erledigen. Daraus ergeben sich grundsätzliche Unterschiede in der Technologie der Programmabarbeitung, was wiederum von den einzelnen Herstellern differenziert ausgeführt wird.

Es liegt in der Natur der Sache, dass die verschiedenen Systemtechnologien nicht für alle Automatisierungsaufgaben gleichermaßen geeignet sind, und so liegt es nahe, auch an dieser Stelle die Komponentenauswahl wieder mit dem Blick auf den zu automatisierenden technologischen Prozess zu beginnen.

4.2.2.1 Basisanforderungen

Die wesentlichen Anforderungen für die Auswahl der SPS werden bereits mit der Erstellung des Pflichtenheftes (siehe Abschnitt 2.6) ermittelt und fixiert. An dieser Stelle erfolgt eine kurze Zusammenfassung der für die Auswahl der CPU-relevanten und wesentlichsten Aspekte¹⁰.

Technologische Aufgabe

In den meisten Prozessen muss die Steuerung vielfältige Aufgaben erfüllen. Dazu gehören das Steuern und Regeln mit entsprechender Güte, das Erfassen und Speichern von Prozessdaten sowie die Beobachtung und Überwachung des gesamten Prozesses bis hin zur Kommunikation mit anderen Systemen. Allerdings können die Schwerpunkte ganz unterschiedlich gelagert sein. Verpackungsmaschinen, Industrieöfen oder Gebäudeautomatisierung stellen ganz unterschiedliche Anforderungen an Leistungsfähigkeit, Speicherbedarf oder Dynamik. Insofern müssen die durch den technologischen Prozess definierten Anforderungen in jedem Punkt der Komponentenauswahl abgeglichen werden.

¹⁰ Mit der Auswahl der CPU erfolgt zwangsläufig auch die Entscheidung für ein bestimmtes Automatisierungssystem und zumeist auch eines bestimmten Herstellers. Daher müssen an dieser Stelle die technologischen Kriterien auch Elemente des gesamten Automatisierungssystems enthalten.

5 Feld- und Schaltgeräte

5.1 Überblick

Die Aufgabe der *Feldgeräte* besteht darin, Prozessinformationen in Form von Eingangsinformationen zu erfassen sowie entsprechende Stellbefehle auszuführen. Sie bilden somit die unmittelbare Schnittstelle vom technologischen Prozess zur Automatisierungstechnik. Dabei steht der Begriff «Feld» für den Bereich außerhalb von Schaltschränken. Typische Vertreter sind Sensoren für die unterschiedlichsten Prozessgrößen, wie z.B. Temperatur, Druck oder Weg, sowie Aktoren wie beispielsweise Ventile oder Antriebe.

Der Begriff *Schaltgeräte* beschreibt wiederum die Gerätetechnik, die sich *innerhalb* eines Schaltschranks oder -kastens befindet. Beispiele dafür sind Trennschalter, Schütze, Relais oder auch Sicherungsautomaten. Grundsätzlich unterscheiden sich die beiden Gerätegruppen in ihrer Schutzklasse und der Art und Weise ihrer Montage. Während Schaltgeräte zumeist in IP20 ausgeführt und auf einer Montageplatte oder Hutschiene montiert werden, befinden sich Feldgeräte in direkter Prozessumgebung. Dementsprechend verfügen sie über einen höheren Schutzgrad – meist IP54 und höher – und sie müssen in ihrer konstruktiven Ausführung den Einbausituationen entsprechen. Dazu gehört auch, dass sie über robuste Anschlusstechnik verfügen und hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit erfüllen müssen.

Weil die konkreten Auswahlkriterien für beide Geräteklassen grundsätzlich identisch sind, wird im Sinne einer vereinfachten Betrachtung, in den folgenden Ausführungen nur noch der Begriff *Feldgerät* verwendet.

5.1.1 Klassifizierung

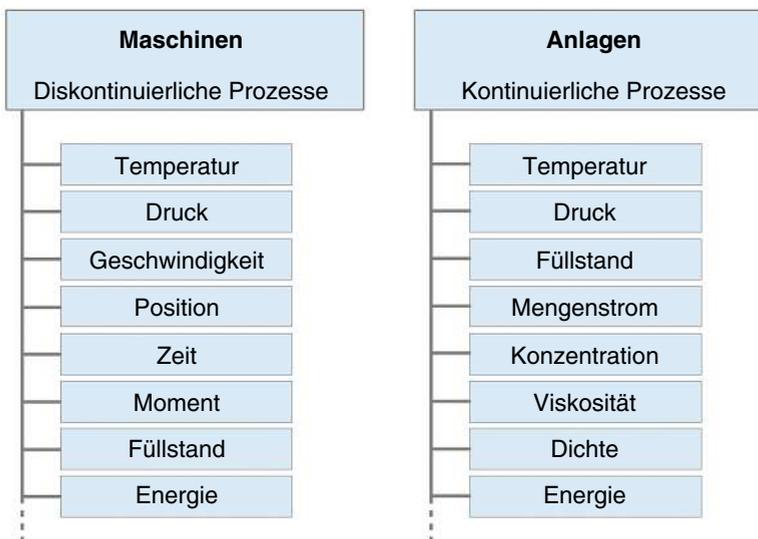


Bild 5.1 Klassifizierung von Feldgeräten nach Prozessgrößen

Feldgeräte können prinzipiell aus drei Perspektiven betrachtet werden. Bild 5.1 zeigt eine Klassifizierung nach *Prozessgrößen*, wobei in dieser Sicht auch noch unterschieden werden kann zwischen diskontinuierlichen und kontinuierlichen Größen, wie sie vornehmlich im Maschinenbau bzw. in der Prozesstechnik vorkommen.

Dagegen zeigt Bild 5.2 die Klassifizierung nach der *technologischen Aufgabe*. Diese Perspektive ist insofern gerechtfertigt, als dass die technologische Aufgabe sowohl die *Art des Feldgerätes* wie auch seine *Eigenschaften* bestimmt. So kann beispielsweise ein Lichtgitter zur Produkterkennung an einer Gepäckförderanlage oder zum Schutz von Personen vor einer Gefährdung dienen, wie sie beispielsweise durch schnelle Roboteraktionen besteht. Im ersten Fall wäre das eine technologische Aufgabe z.B. zum Schalten einer anschließenden Bandweiche. Das Lichtgitter kann dafür im Gegensatz zum zweiten Fall wesentlich einfacher aufgebaut sein und muss über keine Safety-Zertifizierung verfügen.

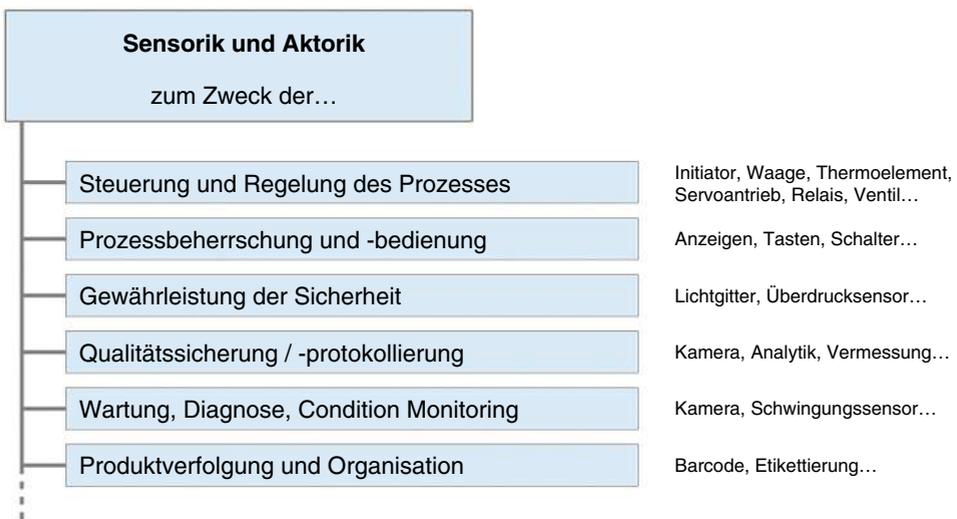


Bild 5.2 Klassifizierung von Feldgeräten nach technologischer Aufgabe

Eine weitere Klassifizierung ergibt sich aus der *Technologie des Feldgerätes* selbst. Aus dieser Perspektive können wir folgende Gruppen unterscheiden:

Passive Feldgeräte

- sind über singuläre Verdrahtung mit den I/O-Komponenten verbunden,
- verfügen i.d.R. über keine elektronischen Bauteile und benötigen keine Hilfsenergie;
- Beispiele für Sensoren: mechanische Schalter, Thermoelemente, Widerstandsthermometer.

Aktive Feldgeräte

- wandeln eine nichtelektrische Prozessgröße in ein elektrisches, digitales oder analoges Standardsignal,
- sind über singuläre Verdrahtung mit den I/O-Komponenten verbunden,
- verfügen über elektronische Bauteile und benötigen Hilfsenergie,
- können je nach Bauart mittels Drehschalter, Drahtbrücken o.Ä. parametrierbar werden und

- verfügen über Statusanzeigen zur einfachen Diagnose;
- Beispiele für Sensoren: Initiatoren, Lichtschranken, Wägezellen, Positionsgeber;
- Beispiele für Aktoren: optische / akustische Signalgeber, Magnetschalter, Relais.

Intelligente Feldgeräte

- wandeln eine nichtelektrische Prozessgröße in einen digitalen Wert,
- sind über serielle Schnittstellen mit den I/O-Komponenten (z.B. IO-Link) oder via Feldbus mit der SPS verbunden und
- verfügen über teils umfangreiche Zusatzfunktionen zur Signalvorverarbeitung und Diagnose;
- Die konkrete Funktionalität kann über Parameter eingestellt werden. Dazu verfügen sie über einen Vorrat an vorgefertigten Funktionen, die direkt im Feldgerät abgearbeitet, jedoch durch den Anwender nicht verändert werden können;
- Beispiele für Sensoren: Kameras, Initiatoren mit dezentraler Entprellung oder hochdynamischer Impulszählung, Signalerfassung mit Zeitstempel, Schwingungssensor mit integrierter Frequenzganganalyse, Ultraschall- oder radargestützte Messgeräte;
- Beispiele für Aktoren: Pneumatikaktoren mit Funktionsüberwachung und vorausschauender Wartung, Frequenzumrichter, Servoverstärker.

5.1.2 Grundsätzlicher Aufbau von Sensoren

Die folgenden Bilder beziehen sich auf die grundsätzlichen Funktionsprinzipien der einzelnen Gerätearten für die *Sensorik*. Den grundsätzlichen Aufbau eines *passiven Feldgerätes* am Beispiel einer Wägezelle zur Gewichts- bzw. Kraftmessung zeigt Bild 5.3.

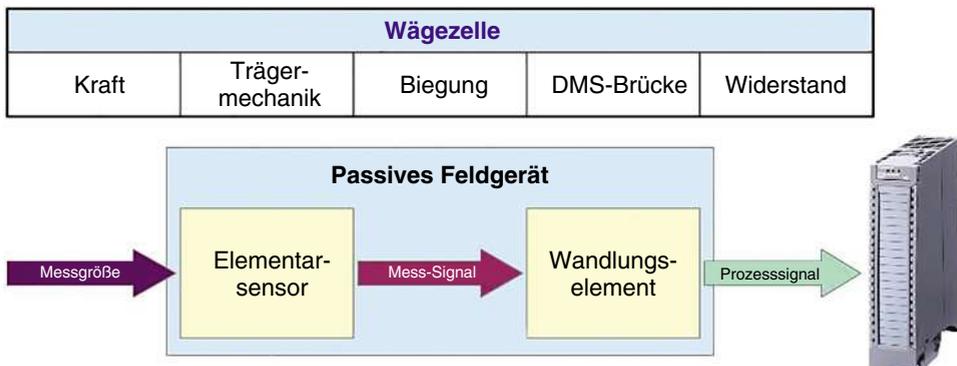


Bild 5.3 Grundsätzlicher Aufbau eines passiven Feldgerätes am Beispiel einer Wägezelle

Dabei wirkt eine dem Gewicht proportionale Kraft als die zu ermittelnde Prozessgröße auf eine Trägermechanik. Dieser *Elementarsensor* reagiert mit einer entsprechenden Biegung, die von den darauf angebrachten Dehnmessstreifen, den *Wandlungselementen*, mit einer Änderung des Widerstandes registriert wird. Das (intelligente) I/O-Modul ist nun in der Lage, diesen Widerstand zu messen, zu normieren und der SPS als Messwert zur Verfügung zu stellen.

Ähnlich aufgebaut sind beispielsweise Temperatursensoren in Form von *Thermoelementen* oder *Widerstandsthermometern*. Beide verfügen nur über den *Elementarsensor* in Form des ei-

gentlichen Thermoelementes bzw. des Widerstandselementes, z.B. ein Platin- oder Nickeldraht bei Pt100-, Pt1000- oder Ni1000-Sensoren bzw. eines PTC- oder NTC-Halbleiters. Auch für diese Signale werden intelligente I/O-Module zur Wandlung und Vorverarbeitung, wie beispielsweise die erforderliche Linearisierung, eingesetzt.

Neben den genannten Vertretern für analoge Prozesswerte können auch Schalter, Taster oder ähnliche Sensoren als passive Feldgeräte bezeichnet werden. Genauso gehören die Meldekontakte von Schützen und Relais in diese Klasse, auch wenn es sich dabei prinzipiell um Schaltgeräte handelt. Bild 5.4 zeigt einige Beispiele passiver Feldgeräte.



Bild 5.4 Passive Feldgeräte: Druckkraft-Wägezelle, Widerstandsthermometer, Drucktaster (von links; nicht maßstäblich) [Quelle: © Siemens AG 2019. Alle Rechte vorbehalten.]

Den prinzipiellen Aufbau von *aktiven Feldgeräten* zeigt Bild 5.5 wieder am Beispiel der Wägezelle. Im Gegensatz zur passiven Ausführung wird in einem Feldgerät dieser Klasse ein 0...10-VDC-Spannungssignal generiert, das die gemessene Kraft linearisiert abbildet. Dazu benötigt das Feldgerät Hilfsenergie (üblicherweise 24 VDC), die über das I/O-Modul oder eine externe Spannungsversorgung eingespeist werden muss.

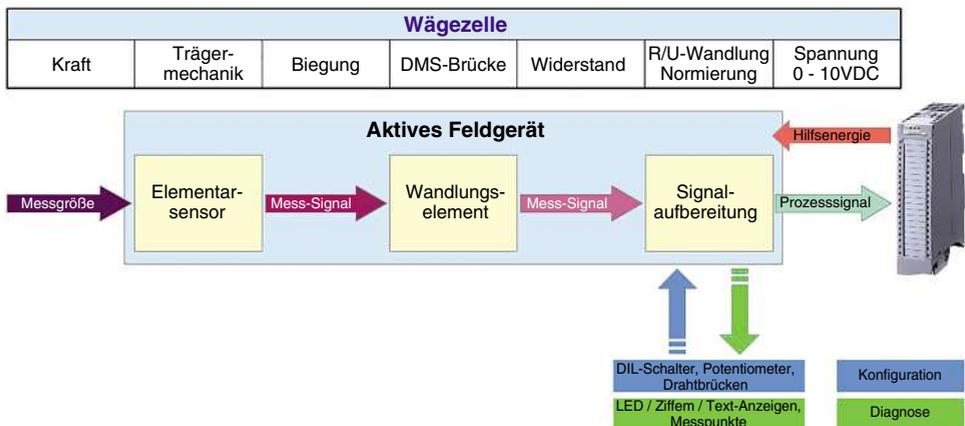


Bild 5.5 Grundsätzlicher Aufbau eines aktiven Feldgerätes am Beispiel einer Wägezelle

Außerdem können beispielsweise verschiedene Messbereiche, Genauigkeiten oder die Art des Ausgabesignals über DIL-Schalter, Potentiometer oder Drahtbrücken (sog. Jumper) ausgewählt werden. Ebenso kann die Funktionsfähigkeit über LEDs oder auch der Messwert mittels Ziffernanzeigen angezeigt werden. Typische Vertreter digitaler aktiver Feldgeräte sind Lichtschranken oder Näherungsinitiatoren, wovon Bild 5.6 einige Beispiele zeigt.



Bild 5.6 Aktive Feldgeräte: Einweg-Lichtschranke, kapazitive und induktive Näherungsschalter (von links)
[Quelle: © Sick AG 2019. Alle Rechte vorbehalten.]

Im Unterschied dazu verfügt ein *intelligentes Feldgerät* (Bild 5.7) über eine weiterführende Signalverarbeitung und ein serielles Interface für die Messwertübertragung. Damit können z.B. im Fall einer reinen Kraftmessung Schwingungen analysiert und für ein Condition Monitoring aufbereitet zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich sind eine über das Anwenderprogramm automatisierte Parametrierung und Diagnose möglich, was z.B. bei der Inbetriebnahme oder im Servicefall zur Vermeidung von Fehlern und zu Zeitersparnis führt.

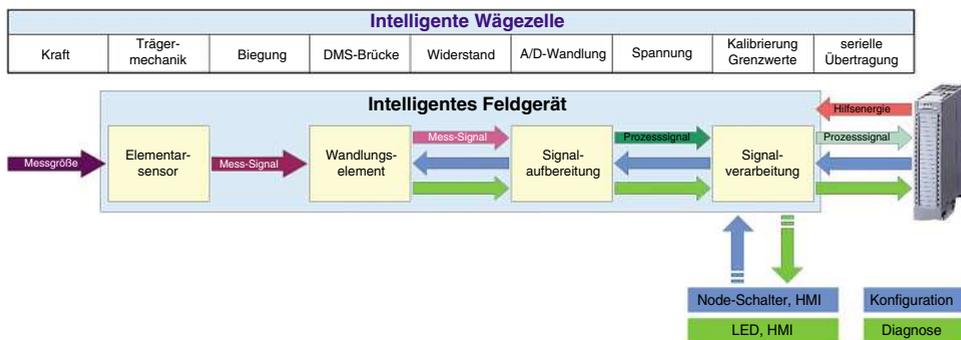


Bild 5.7 Grundsätzlicher Aufbau eines intelligenten Feldgeräts am Beispiel einer Wägezelle

Bild 5.8 zeigt einige Beispiele intelligenter Sensoren. Interessant ist dabei der links im Bild gezeigte, nur 32×20×10 mm große, multifunktionale Condition-Monitoring-Sensor [1]. Dieser erfasst fünf physikalische Größen: Vibration, Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck und Magnetfeld und verarbeitet diese direkt on board, was eine kontinuierliche Zustandsüberwachung und automatisiertes Monitoring von Grenzwerten an kritischen Positionen erlaubt. Über die IO-Link-Schnittstelle können bis zu fünf gemessene oder vorverarbeitete Daten zyklisch übertragen werden. Zusätzlich kann der Sensor durch die integrierten Self-Awareness-Funktionen seinen eigenen Zustand (Temperatur, Betriebsstunden und Startzyklen) erkennen und kommunizieren.

Das Beispiel soll zeigen, über welche Funktionsvielfalt intelligente Feldgeräte verfügen können.



Quelle: © Balluff GmbH 2019

Quelle: © VEGA Grieshaber KG 2019

Quelle: © Sick AG 2020

Bild 5.8 Intelligente Feldgeräte: Condition-Monitoring-Sensor, Radarsensor für Füllstände und Drucksensor für Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten (von links; nicht maßstäblich)

5.1.3 Grundsätzlicher Aufbau von Aktoren

Aktorik hat in der Automatisierungstechnik grundsätzlich immer das Ziel, die Energie des SPS-Ausgangssignals in eine andere Energieform zu wandeln oder diese zu verstärken. So können beispielsweise mit dem digitalen 24-VDC/0,5-A-Ausgang eines I/O-Moduls Relais oder Leistungsschütze geschaltet, Pneumatikventile betätigt oder Signalleuchten aktiviert werden. Diese aktiven Feldgeräte benötigen dafür entweder die Hilfsenergie des I/O-Moduls und/oder eine entsprechende externe Versorgung, was gemäß o.g. Definition auch die Existenz passiver Feldgeräte ausschließt.

Bild 5.9 zeigt den prinzipiellen Aufbau am Beispiel eines Relais. Hierbei wird das Ausgangssignal des I/O-Moduls benutzt, um in der Relaispule ein Magnetfeld zu erzeugen, mit dem eine Schaltwippe betätigt wird und ein oder mehrere Kontaktpaare geschlossen oder geöffnet werden.

Relais				
digitales Signal 230 VAC, 5 A	Schaltkontakt	magnetischer Fluss, Weg	Spule	digitales Signal 24 VDC, 0,5 A

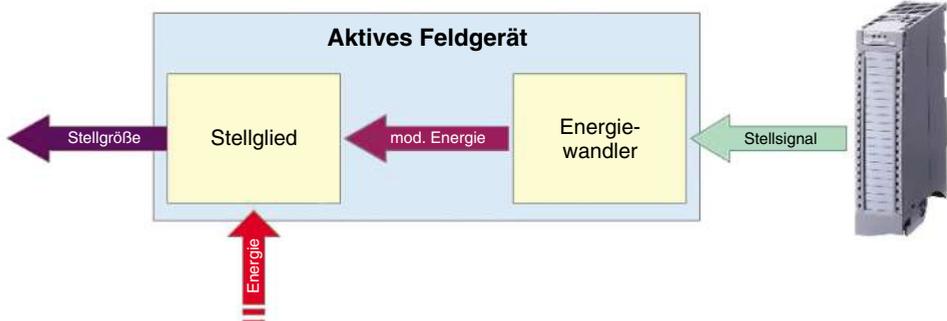


Bild 5.9 Grundsätzlicher Aufbau eines aktiven Feldgerätes am Beispiel eines Relais