

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	Störfähigkeit, 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	Gerätekasse	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	418