

Patrick Gehlen

# Funktionale Sicherheit

von Maschinen und Anlagen

Umsetzung der europäischen  
Maschinenrichtlinie in der Praxis

**SIEMENS**



2. Auflage

Patrick Gehlen Funktionale Sicherheit von  
Maschinen und Anlagen



# Funktionale Sicherheit von Maschinen und Anlagen

Umsetzung der europäischen  
Maschinenrichtlinie in der Praxis

von Patrick Gehlen

2. überarbeitete Auflage, 2010

Publicis Publishing

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in  
der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten  
sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Autor und Verlag haben alle Texte in diesem Buch mit großer Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Eine Haftung des Verlags oder des Autors, gleich aus welchem Rechtsgrund, ist ausgeschlossen. Die in diesem Buch wiedergegebenen Bezeichnungen können Warenzeichen sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen kann.

[www.publicis.de/books](http://www.publicis.de/books)

**ISBN 978-3-89578-366-1**

2. Auflage, 2010

Herausgeber: Siemens Aktiengesellschaft, Berlin und München

Verlag: Publicis Publishing, Erlangen

© 2010 by Publicis KommunikationsAgentur GmbH, GWA, Erlangen

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Bearbeitungen sonstiger Art sowie für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Dies gilt auch für die Entnahme von einzelnen Abbildungen und bei auszugsweiser Verwendung von Texten.

Printed in Germany

---

## Vorwort

Die Produktivität und die Sicherheit der Maschinen sind heute Hauptmerkmale im Blickpunkt der Betreiber. Diese beiden Parameter stehen jedoch nicht im Widerspruch zueinander, sondern helfen, Folgekosten durch Unfälle zu vermeiden. Das wichtigste Gut unserer Gesellschaft stellt jeder einzelne Mensch dar.

Die Komplexität heutiger Maschinen und Anlagen zwingt zu einem hohen Standardisierungsgrad. Ein wesentliches Element der Maschinensicherheit ist die Konzeption von sicheren Steuerungsabläufen.

Die „Gestaltungsleitsätze von Steuerungen“ werden normativ zum einen in der IEC 62061 und zum anderen in der ISO 13849-1 (als Nachfolgenorm der EN 954-1) behandelt. Diese beiden Normen stellen die Anwendernormen der Sicherheits-Grundnorm IEC 61508 dar, in der die „Funktionale Sicherheit“ bezüglich sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer und programmierbarer elektronischer Systeme bereits 1999 grundsätzlich festgelegt wurde.

Diese Normen dienen somit ausschließlich dem Nachweis der Erfüllung der gesetzlich geforderten „grundlegenden Sicherheitsanforderungen“ der neuen Maschinenrichtlinie 2006/42/EG durch die sogenannte „Vermutungswirkung“. Leider haben die neuen quantifizierbaren Lösungsansätze beider Normen sowie die Überarbeitung der Maschinenrichtlinie große Bedenken und Unverständnis bei den Anwendern hervorgerufen.

Es ist der Eindruck entstanden, dass bisherige Lösungen nicht mehr die Ansprüche dieser Normen erfüllen und der Nachweis der CE-Konformität grundlegend innbetrieblich zu einem erhöhten Aufwand führt. Dieses Paradox gilt es aufzulösen: Anhand von praktischen Beispielen soll dem Anwender die pragmatische Handhabung der Normen erläutert werden und damit diese Bedenken ausgeräumt werden.

Vereinfacht lässt sich zusammenfassen: Wer heute die grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Maschinenrichtlinie und somit auch die Anforderungen der Normen bereits erfüllt, der wird auch morgen ohne größeren Aufwand dieses Ziel erreichen.

Mit diesem Buch soll den Herstellern und Errichtern von Maschinen bzw. von maschinellen Anlagen eine Hilfestellung zur Gestaltung der Maschinensicherheit gegeben werden. Dabei ist es entscheidend, den gesamten Prozess, beginnend mit der Konstruktion bis hin zur Umsetzung, stets zu berücksichtigen.

Es lässt sich leider heute feststellen, dass dieser Prozess bereits mit der Risikobeurteilung nicht pragmatisch gelebt wird und somit der Wunsch der Maschinenrichtlinie nach mehr Sicherheit und einem gleichwertigen, freien Warenaustausch innerhalb der Europäischen Gemeinschaft durch die Hersteller und Errichter von Maschinen bzw. von maschinellen Anlagen nicht erfüllt wird.

Heute, in einem sich so rasant entwickelndem Umfeld, kommt folgendem Zitat eine noch höhere Bedeutung zu:

*Das Verhüten von Unfällen darf nicht als Vorschrift des Gesetzes aufgefasst werden, sondern als ein Gebot menschlicher Verpflichtung und wirtschaftlicher Vernunft!*

(Werner von Siemens im Jahr 1880)

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die an der 2. Auflage durch kritische und herausfordernde Anmerkungen wesentlich zur weiteren Verbesserung beigetragen haben. Insbesondere waren dies Bernard Mysliwiec, Lutz Teschke, Heinz Schöpf, Gregor Stein, Jürgen Strässer, Siegfried Rudnik, Werner Varro und Katrin Oesterreich.

Ebenso wichtig sind die zahlreichen Kundengespräche, die mir geholfen haben, noch pragmatischere Lösungen aufzuzeigen. Es ist nicht immer leicht, als Mitglied verschiedener Normungsgremien die Sprache des Anwenders zu treffen und ein so spannendes Thema lebhaft und verständlich zu vermitteln.

Hier liegt die eigentliche Herausforderung dieses Nachschlagewerkes und ich hoffe – zumindest teilweise – dem Anspruch des Lesers gerecht zu werden.

Nürnberg, April 2010  
Patrick Gehlen

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	15
<b>1 Die europäische Gesetzgebung</b> .....	17
1.1 Das technische Regelwerk in Europa .....	18
1.2 Die Maschinenrichtlinie .....	20
1.2.1 Rechtsgrundlage der aktuellen Maschinenrichtlinie 2006/42/EG .....	20
1.2.2 Verfügung und Umsetzung .....	20
1.2.3 Grundlegende Anforderungen .....	22
1.2.4 Definition einer Maschine .....	22
1.2.5 Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforde- rungen bei Konzipierung und Bau von Maschinen .....	25
1.3 Juristische Forderungen .....	30
1.4 Maschinen, die nicht unter die Maschinenrichtlinie fallen .....	31
1.5 Gefährliche und weniger gefährliche Maschinen nach Anhang IV .....	33
1.6 Prüf- und Bescheinigungsverfahren .....	35
1.6.1 EG-Baumusterprüfung nach Anhang IX .....	37
1.7 EG-Konformitätserklärung .....	38
1.7.1 EG-Konformitätserklärung nach Anhang VII .....	41
1.7.2 Relevante Inhalte .....	43
1.8 Sprachen (Anleitungen) .....	46
1.9 Der Entwurf einer Maschine .....	46
1.9.1 Forderungen nach Anhang I .....	46
1.9.2 Gefährdungen .....	51
1.10 Technische Dokumentation .....	55
1.10.1 Allgemeines .....	55
1.10.2 Inhalt .....	56
1.10.3 Montageanleitung und Einbauerklärung bei unvollständigen Maschinen .....	56
1.10.4 Musterdarstellung einer Einbauerklärung .....	57
1.11 Betriebsanleitung .....	58
1.12 Die CE-Kennzeichnung .....	58
1.12.1 Grundsätzliche Vorgehensweise .....	59



1.12.2	Hochrüsten/Modernisieren einer Maschine	60
1.12.3	Fallunterscheidung zu Modernisierungsmaßnahmen	61
1.12.4	Praktisches Vorgehen	64
1.13	Übersicht zur Anwendung der Maschinenrichtlinie	65
1.14	Überarbeitung der Maschinenrichtlinie 98/37/EG	65
1.14.1	Gründe für die Überarbeitung	67
1.14.2	Die Konformitätsbewertung	68
1.14.3	Anforderungen an das Inverkehrbringen von unvollständigen Maschinen	70
1.15	Abgrenzung zur Niederspannungsrichtlinie	71
1.16	Wichtige Adressen	73
<b>2</b>	<b>Die Sicherheitsgrundnormen</b>	<b>77</b>
2.1	Klassifizierung	79
2.1.1	Risikoanalyse und Risikobeurteilung	83
2.2	EN ISO 12100 – Grundbegriffe, Allgemeines	84
2.2.1	Gefährdung	84
2.2.2	Strategie zur Risikominderung	86
2.2.3	Risikoeinschätzung	90
2.2.4	Risikobeurteilung	91
2.2.5	Maßnahmen zur Risikominderung	91
2.2.6	Lebensphasen einer Maschine	91
2.3	EN ISO 14121 – Risikobeurteilung	92
2.3.1	Die Gefahr	92
2.3.2	Die Risikoelemente	93
2.3.3	Iterativer Prozess	96
2.3.4	Restrisiko	97
2.3.5	Bestimmung notwendiger Maßnahmen zur Risikominderung	98
2.3.6	Risikominderung	99
2.3.7	Validierung	102
2.3.8	Beispiele zur Dokumentation	103
2.4	Risikomindernde Maßnahmen	105
2.4.1	Überblick der grundlegenden Schutzmaßnahmen	105
2.4.2	Schutzmaßnahmen für Betriebsarten gemäß der VDI 2854	106
2.4.3	Trennende Schutzeinrichtung	106
2.4.4	Berührungswirkende Schutzeinrichtung	111
2.4.5	Berührungslos wirkende Schutzeinrichtung (BWS)	111
2.4.6	Ortsgebundene Schutzeinrichtungen	115
2.4.7	Farbkodierung von Drucktastern	116

2.4.8	Farbkodierung von Leuchtmeldern und Warnleuchten . . . .	118
2.4.9	Not-Halt-Befehlsgeräte . . . . .	119
2.4.10	Sicherheitsgerichtete Auswertung („Steuerung“) . . . . .	120
2.5	Elektrische Sicherheit nach EN 60204-1 . . . . .	124
2.5.1	Allgemeines . . . . .	124
2.5.2	Steuerstromkreise und Steuerfunktionen (Abschnitt 9) . . .	125
2.5.3	Stopp-Kategorien (Abschnitt 9) . . . . .	126
2.5.4	Not-Aus ist nicht Not-Halt . . . . .	127
2.5.5	Geräte für Not-Aus (Abschnitt 10) . . . . .	129
2.5.6	Geräte für Not-Halt (Abschnitt 10) . . . . .	130
2.5.7	Geräte zur Freigabesteuerung (Abschnitt 10) . . . . .	131
2.5.8	Aufhebung von Sicherheitsfunktionen bzw. Schutzmaßnahmen (Abschnitt 9) . . . . .	131
2.5.9	Checkliste nach EN 60204-1 . . . . .	132
<b>3</b>	<b>Die ISO 13849-1 . . . . .</b>	<b>136</b>
3.1	Zielsetzung . . . . .	137
3.2	Anwendungsbereich . . . . .	138
3.3	Gestaltungsverfahren der Maschine . . . . .	139
3.4	Bestimmung des Performance Level ( <i>PL</i> ) . . . . .	141
3.4.1	Erforderlicher Performance Level $PL_r$ und neuer Risikograf	141
3.4.2	Gestaltung einer Sicherheitsfunktion . . . . .	142
3.4.3	Performance Level <i>PL</i> . . . . .	143
3.4.4	Mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall ( $MTTF_d$ ) . . .	144
3.4.5	Diagnosedeckungsgrad ( <i>DC</i> ) . . . . .	145
3.4.6	Vereinfachte Abschätzung des erreichbaren <i>PL</i> . . . . .	149
3.4.7	Normative Einschränkung . . . . .	152
3.5	Eigenschaften der Sicherheitsfunktionen . . . . .	153
3.6	Vorgesehene Architekturen . . . . .	154
3.7	Kategorien nach ISO 13849-1 . . . . .	155
3.7.1	Kategorie B nach ISO 13849-1 . . . . .	156
3.7.2	Kategorie 1 nach ISO 13849-1 . . . . .	157
3.7.3	Kategorie 2 nach ISO 13849-1 . . . . .	159
3.7.4	Kategorie 3 nach ISO 13849-1 . . . . .	162
3.7.5	Kategorie 4 nach ISO 13849-1 . . . . .	164
3.8	Zusammenfassung der Kategorien nach ISO 13849-1 . . . . .	166
3.9	Berücksichtigung von Fehlern, Fehlerausschluss . . . . .	166
3.10	Dokumentation . . . . .	168
3.11	<i>CCF</i> nach ISO 13849-1 . . . . .	168

3.12	Neues Berechnungsverfahren	169
3.13	Einschätzung des durchschnittlichen $DC$ ( $DC_{avg}$ ) (informativ)	170
3.14	Mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall ( $MTTF_d$ ) (informativ)	171
3.14.1	Das „parts count“ Verfahren nach IEC 61709	171
3.14.2	Die $MTTF_d$ für unterschiedliche Kanäle (informativ)	172
3.15	Der $B10_d$ -Wert für elektromechanische Komponenten (informativ)	172
3.16	Kombination von SRP/CS (normativ)	173
3.17	Validierung nach ISO 13849-2	174
3.17.1	Validierungsverfahren	175
3.17.2	Dokumente	177
3.17.3	Sicherheitsprinzipien für elektrische Systeme	178
3.17.4	Kriterien für Fehlerausschlüsse	181
3.17.5	Analyse und Prüfung	181
3.17.6	Validierung der Performance Level und der Kategorien	184
3.18	Leitfaden für den Entwurf der sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen SRP/CS	186
3.19	Anwendungsbeispiel	188
3.19.1	Spezifikation der Anforderungen der Sicherheitsfunktion [5.1]	188
3.19.2	Die Sicherheitsfunktion in sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen aufteilen [4.4]	189
3.19.3	Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen in einer Kategorie abbilden [6.]	189
3.19.4	Bestimmung des erreichbaren Performance Level [6.]	191
3.19.5	Bestimmung des erreichten Performance Level [4.5]	194
3.20	Berechnungsbeispiele	196
3.20.1	Schutztür-Überwachung mit einem Sicherheitsschaltgerät 3TK28	196
3.20.2	Mehrere Schutzhauben-Überwachungen mit einem Sicherheitsschaltgerät 3TK28	199
3.20.3	Mehrere Schutzhauben-Überwachungen mit dem ASIsafe	202
<b>4</b>	<b>Die IEC 62061</b>	<b>206</b>
4.1	Zielsetzung	208
4.2	Anwendungsbereich	209
4.2.1	Welche Norm ist anzuwenden: ISO 13849-1 oder IEC 62061?	211
4.3	Definitionen und Begriffe	212
4.3.1	Der Begriff Ausfallrate	215

4.4	Plan der funktionalen Sicherheit . . . . .	217
4.5	Spezifikation der Anforderungen für sicherheitsbezogene Steuerungsfunktionen . . . . .	219
4.5.1	Spezifikation der funktionalen Anforderungen für sicherheitsbezogene Steuerungsfunktionen . . . . .	219
4.5.2	Spezifikation der Anforderungen zur Sicherheitsintegrität für sicherheitsbezogene Steuerungsfunktionen . . . . .	220
4.6	Anforderungen an das sicherheitsbezogene elektrische Steuerungssystem (SRECS) . . . . .	221
4.6.1	Anforderungen zum Verhalten bei Erkennen eines Fehlers im SRECS . . . . .	221
4.6.2	Anforderungen zur systematischen Sicherheitsintegrität . . . . .	222
4.7	Entwurf des sicherheitsbezogenen elektrischen Steuerungssystems (SRECS) . . . . .	224
4.7.1	Entwurf der Systemarchitektur . . . . .	225
4.7.2	Entwurf des Teilsystems . . . . .	225
4.7.3	Entwurf des Teilsystem-Elements . . . . .	226
4.7.4	Ein exemplarisches System . . . . .	226
4.7.5	Bestimmung des Sicherheits-Integritätslevels ( <i>SIL</i> ) des SRECS . . . . .	228
4.8	Realisierung von Teilsystemen . . . . .	230
4.8.1	Anforderungen für den Entwurf . . . . .	230
4.8.2	Sicherheitsparameter des Teilsystems . . . . .	231
4.8.3	Auswahl geeigneter Komponenten und Geräte . . . . .	232
4.8.4	Bestimmung der sicherheitsbezogenen Leistungsfähigkeit des Teilsystems . . . . .	232
4.8.5	Strukturelle Einschränkungen der Sicherheitsintegrität der Hardware von Teilsystemen . . . . .	233
4.8.6	Abschätzung des Anteils sicherer Ausfälle ( <i>SFF</i> ) . . . . .	234
4.8.7	Anforderungen zur Wahrscheinlichkeit gefahrbringender zufälliger Hardwareausfälle von Teilsystemen . . . . .	235
4.9	Abschätzung der Wahrscheinlichkeit gefahrbringender zufälliger Hardwareausfälle von Teilsystemen . . . . .	236
4.9.1	Ausfallrate für elektromechanische Komponenten . . . . .	237
4.9.2	Empfehlung für <i>B10</i> -Werte unter Standardbedingungen . . . . .	237
4.9.3	Basis-Teilsystemarchitekturen A bis D . . . . .	238
4.10	Bestimmung erforderlicher Sicherheits-Integritätslevel . . . . .	242
4.10.1	Vorgehensweise der Risikoabschätzung bis zur <i>SIL</i> -Zuordnung . . . . .	243
4.11	Faktor der Ausfälle in Folge gemeinsamer Ursache ( $\beta$ ) . . . . .	244
4.12	Benutzerinformationen des sicherheitsbezogenen elektrischen Steuerungssystems (SRECS) . . . . .	246

4.13	Validierung des SRECS .....	247
4.14	Modifikation .....	248
4.15	Dokumentation eines SRECS .....	249
4.16	Leitfaden für den Entwurf eines SRECS .....	250
4.17	Anwendungsbeispiel .....	252
4.17.1	Spezifikation der Anforderungen der Sicherheitsfunktion [5.2] .....	252
4.17.2	Funktionsblöcke (FB) der Sicherheitsfunktion [6.6.2.1.1] .	253
4.17.3	Architekturentwurf [6.6.2.1.2] .....	253
4.17.4	Spezifizierung der Sicherheitsanforderungen jedes Funktionsblocks [6.6.2.1.6] .....	254
4.17.5	Zuordnung der Funktionsblöcke zu den sicherheitsbezogenen Teilsystemen [6.6.2.1.3 und 6.6.2.1.7] .....	254
4.17.6	Auswahl eines Gerätes für ein Teilsystem [6.7.3] oder Entwurf und Entwicklung der Teilsysteme [6.7.4] .....	255
4.17.7	Bestimmung des erreichten SIL [6.6.3] .....	260
4.18	Berechnungsbeispiele .....	261
4.18.1	Eine Schutztür-Überwachung mit einer SIMATIC S7 .....	261
4.18.2	Mehrere Schutztür-Überwachungen mit einer SIMATIC S7	264
4.18.3	Mehrere Schutztür-Überwachungen mit dem ASIsafe .....	267
<b>5</b>	<b>Häufig gestellte Fragen (FAQ) .....</b>	<b>271</b>
5.1	Verlegen von Leitungen .....	271
5.2	Allgemeine Fragestellungen .....	274
	<i>Zwangsgeführte Kontaktelemente von Hilfsschützen und Spiegelkontakte von Leistungsschützen .....</i>	<i>274</i>
	<i>Dürfen Hilfs- oder Leistungsschütze durch nicht-sicherheitsgerichtete Eingangsbaugruppen (als Rückführkreis) überwacht werden? .....</i>	<i>277</i>
	<i>Wie kann eine Sicherheitsfunktion definiert werden? .....</i>	<i>277</i>
	<i>Muss ein Antrieb (Motor) in einer Sicherheitsfunktion berücksichtigt werden? .....</i>	<i>279</i>
	<i>Wird jedes NOT-HALT-Befehlsgerät in einer eigenen „ergänzenden“ Sicherheitsfunktion bewertet? .....</i>	<i>280</i>
	<i>Wie muss die Ansteuerung der Zuhaltung eines Positionsschalters mit getrenntem Betätiger (Bauart 2) bewertet werden? .....</i>	<i>281</i>
	<i>Ist die Ansteuerung der Zuhaltung eine Sicherheitsfunktion oder ein Merkmal der Betriebsart? .....</i>	<i>282</i>
	<i>Muss ein Zustimmtaster (oder -schalter) als Teil einer Sicherheitsfunktion berücksichtigt werden? .....</i>	<i>284</i>

	<i>Welcher Diagnosedeckungsgrad kann typischerweise für Teilsysteme bzw. SRP/CS mit elektromechanischen Komponenten festgelegt werden und welche Sicherheitsintegrität ist dann erreichbar?</i> .....	286
	<i>Welche Sicherheitsintegrität kann mit einem einzelnen Leistungsschutz erreicht werden?</i> .....	287
	<i>Wie können SIMATIC-S7-„Standard-Ausgangsbaugruppen“, die über die Lastspannung abgeschaltet werden, in einer Sicherheitsfunktion bewertet werden?</i> .....	288
	<i>Wie können SIRIUS-Hilfsschütze oder Koppelrelais in einer Sicherheitsfunktion bewertet werden?</i> .....	291
	<i>Wie kann eine Stern-Dreieck-Schaltung sicherheitsgerichtet bewertet werden?</i> .....	293
5.3	IEC 62061 .....	295
	<i>Warum dürfen auch mit der IEC 62061 „nicht-elektromechanische Komponenten“ wie z. B. Ventile berechnet werden?</i> .....	295
	<i>Wie geht man mit den Kategorien der C-Normen um?</i> .....	296
	<i>Die Berechnungsmethode der IEC 62061 ist „normativ“ (Abschnitt 6.7.8.2), die der ISO 13849-1 dagegen ist „informativ“ (Anhang C).</i> .....	296
	<i>Ist mit einer 1-kanaligen Architektur ein SILCL 1 erreichbar?</i> .....	296
	<i>Warum ist der Anteil sicherer Ausfälle (SFF) gleich Null bei verschleißbehafteten Komponenten ohne Diagnose?</i> .....	298
5.4	ISO 13849-1 .....	301
	<i>Was ist bei der Verwendung von programmierbaren elektronischen Steuerungskomponenten, wie z. B. einer Standard-SPS oder einem Standard-AS-i zu beachten?</i> .....	301
	<i>Wie sind die PFH<sub>D</sub>-Werte im informativen Anhang K, Tabelle K.1 zu verstehen?</i> .....	309
	<i>Kann ein PFH<sub>D</sub>-Wert in einen MTTF<sub>d</sub>-Wert umgerechnet werden?</i> ..	311
	<i>Ist die Kategorie 2 für verschleißbehaftete Komponenten noch anwendbar?</i> .....	312
<b>6</b>	<b>Berechnungsbeispiele – Sicherheitsfunktionen</b> .....	315
6.1	Not-Halt-Abschaltung (Stillsetzen im Notfall) .....	317
6.2	Zugangsüberwachung mit einer trennenden Schutz-einrichtung (Schutztür, Schutzklappen, ...) .....	331
6.3	Zugangsüberwachung mit einer nichttrennenden Schutz-einrichtung (Lichtgitter, Lichtvorhang, Laserscanner, ...) .....	343

<b>7 Mathematische Betrachtungen und Hintergründe</b> . . .	346
7.1 Definitionen der Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen . . . . .	346
7.1.1 Ausfallraten . . . . .	346
7.1.2 Ausfallwahrscheinlichkeit und Markov . . . . .	347
7.2 Einkanalige Architektur . . . . .	349
7.2.1 Annahmen . . . . .	349
7.2.2 Markov-Modell . . . . .	349
7.2.3 Vereinfachte Berechnung des $PFH_D$ nach IEC 62061 . . . . .	351
7.3 Zweikanalige Architektur . . . . .	354
7.3.1 Annahmen . . . . .	354
7.3.2 Markov-Modell . . . . .	354
7.3.3 Vereinfachte Berechnung des $PFH_D$ nach IEC 62061 . . . . .	354
<b>8 Schlussbetrachtung</b> . . . . .	359
<b>Abbildungsverzeichnis</b> . . . . .	367
<b>Quellen</b> . . . . .	371
<b>Glossar</b> . . . . .	374
<b>Fachbegriffe Deutsch – Englisch</b> . . . . .	418
<b>Index</b> . . . . .	429

---

# Einleitung

*Die Umsetzung der europäischen Maschinenrichtlinie liegt sowohl in der Verantwortung der Hersteller von (Sicherheits-) Produkten, der Maschinenhersteller als auch der Betreiber einer Maschine.*

Die Industrie unterwirft sich Normen, die die Sicherheit und somit den Schutz des Menschen zum obersten Gebot haben: Der jeweilige Hersteller oder Betreiber einer Maschine entzieht sich nicht dieser Pflicht mit der Anwendung von Normen. Vielmehr stellen Normen als Grundlage für die Umsetzung der europäischen Maschinenrichtlinie ein Hilfsmittel dar, mit dem die Sicherheit von Maschinen durch Risikominderung zum Nutzen der Menschen erzielt werden kann.

Mit den Anforderungen an die Maschinensicherheit wird den Herstellern und Betreibern von Maschinen oder Anlagen die Möglichkeit gegeben, dass der Schutz des Menschen vor Schäden „geregelt“ oder „normiert“ in die Praxis umgesetzt wird.

Da neue Technologien in der Industrie stets weit vor einer Norm entstehen, geraten Normen zeitlich ins Hintertreffen: Sie halten den „Stand der Technik“ fest, aber können nur bedingt den Technologiewandel vorhersehen.

Die IEC 61508 ist eine Norm, die aufgrund des Einzugs der Elektronik in die Sicherheitstechnik entstand. Eine EN 954-1:1996 (auch ISO 13849-1:1999) wurde zu einem Zeitpunkt verabschiedet als die Sicherheitstechnik vorwiegend mit elektromechanischen Komponenten realisiert wurde. Anschließend wurde diese Technologie mit all diesen Erkenntnissen normiert. Der Technologiewandel bzw. die Innovationen erfordern eine stetige Anpassung und Neubewertung der Normen (z. B. die EN 62061:2005, die seit 2004 als „Stand der Technik“ gilt oder die ISO 13849-1:2005(rev.) als Nachfolgenorm der EN 954-1).

Alle, sowohl Hersteller als auch Betreiber, sollten somit den Wandel der Normen hinsichtlich des Technologiewandels als Vorteil sehen und nicht als ein weiteres Hindernis empfinden. Die Normenlandschaft hat es letztendlich ermöglicht, dass die Anzahl gefährlicher



Unfälle (bis hin zum Tod von Menschen) in der Industrie stets abgenommen hat: Das Arbeiten wird sicherer in einer Zeit, in der die Produktivität der Maschinen stetig zunimmt.

Im Jahr 1995 gab es noch ca. 1,4 Millionen Arbeitsunfälle – davon waren 1.196 tödlich, dagegen waren es im Jahr 2004 nur noch 0,84 Millionen Arbeitsunfälle – davon 645 tödlich (Quelle: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften).

---

# 1 Die europäische Gesetzgebung

*Die Normen, die unter der Maschinenrichtlinie gelistet sind, dienen dem gesetzlichen Schutz des Menschen vor Schäden, also auch dem Arbeitsschutz.*

Am 1. Januar 1995 wurde die EG-Richtlinie für Maschinen mit wenigen Ausnahmen verbindlich. Sie regelt das erstmalige Inverkehrbringen und Inbetriebnehmen von Maschinen im europäischen Wirtschaftsraum (EWR). Die in dem Anhang I der Maschinenrichtlinie festgeschriebenen grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen sind einzuhalten und werden durch europäische Normen konkretisiert (z. B. durch die EN ISO 12100 oder EN 62061).

Der Hersteller (oder sein Bevollmächtigter) einer Maschine muss eine Konformitätserklärung ausstellen und auf der Maschine das *CE-Kennzeichen* anbringen. Zu den Voraussetzungen zählen eine beim Hersteller verfügbare technische Dokumentation und die mitzuliefernde Betriebsanleitung in der bzw. den Sprache(n) des Verwendungslandes.

Die EG-Richtlinien, die die Realisierung von Produkten betreffen, basieren auf Artikel 95 (früher 100a) des EG-Vertrages, der den freien Warenverkehr regelt. Ihnen liegt ein neues, globales Konzept („New Approach“, „Global Approach“) zugrunde:

- EG-Richtlinien enthalten nur allgemeine Sicherheitsziele und legen grundlegende Sicherheitsanforderungen fest.
- Technische Details können von Normungsgremien, die ein entsprechendes Mandat der EG-Kommission haben (CEN, CENELEC), in Normen festgelegt werden. Diese Normen werden im Amtsblatt der EG gelistet und sind dadurch unter einer bestimmten Richtlinie harmonisiert. Bei Erfüllung der harmonisierten Normen gilt die Vermutung, dass die betreffenden Sicherheitsanforderungen der Richtlinien erfüllt sind.

- Die Einhaltung bestimmter Normen ist nicht vom Gesetzgeber vorgeschrieben. Manchmal wird dies in Verträgen zwischen Käufer und Hersteller einer Maschine bzw. Anlage festgelegt. Aber bei Einhaltung bestimmter Normen „darf vermutet werden“, dass die betreffenden Sicherheitsziele der EG-Richtlinien erfüllt sind.
- Durch die EG-Richtlinien soll ein freier Warenverkehr im europäischen Wirtschaftsraum sichergestellt werden.

Nähere Informationen dazu bieten die „basic principles of European legislation“ im Internet: <http://www.newapproach.org/>

## 1.1 Das technische Regelwerk in Europa

Mit der Einheitlichen Europäischen Akte (EEA) wurde 1987 der EWG-Vertrag aus dem Jahre 1957 geändert und die Verwirklichung des europäischen Binnenmarktes zum 31. Dezember 1992 festgeschrieben.

Zur Verwirklichung dieses politischen Ziels werden seitdem verstärkt die Rechts- und Verwaltungsvorschriften in den verschiedensten Bereichen des Wirtschaftslebens angeglichen. Es ist das Ziel, alle technischen Handelshemmnisse abzubauen, die aufgrund unterschiedlicher technischer Forderungen der Mitgliedstaaten für technische Erzeugnisse und deren Benutzung bestehen. Der Rat der Europäischen Gemeinschaft hat dazu eine Reihe von EG-Richtlinien beschlossen, die von den Mitgliedstaaten in nationales Recht umzusetzen sind. Einerseits ist ein lückenloses Richtlinienwerk im gestreckten Zeitrahmen nicht zu verwirklichen und andererseits sind veränderte Bestimmungen nicht von einem auf den anderen Tag durchsetzbar. Deshalb sehen diese Richtlinien Übergangsregelungen vor, in denen die bisherigen nationalen Bestimmungen ebenfalls noch anwendbar sind: Verabschiedung durch das Europäische Parlament, gesetzliche Umsetzung durch die Mitgliedstaaten und Ende der Übergangsfrist.

Maschinen und maschinelle Anlagen fallen in den Geltungsbereich der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, die grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen fordert. Zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen ist die Richtlinie 89/392/EWG des Rates vom 14. Juni 1989 mehrfach in wesentlichen Punkten geändert worden, zuletzt durch die Richtlinie 93/68/

EWG. Daneben sind noch andere, teilweise bereits in nationales Recht überführte EG-Richtlinien zu beachten, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Diese Richtlinien für Konzeption, Bau und Ausrüstung technischer Erzeugnisse wurden auf der Grundlage des Artikel 95 der Einheitlichen Europäischen Akte erlassen, und schließen abweichende und/oder darüber hinausgehende nationale Bestimmungen aus.

Andere Richtlinien (nach Artikel 137, ehemals Artikel 118a der EEA), z. B. zum betrieblichen Arbeitsschutz und zur Nutzung von Maschinen, legen Mindestanforderungen fest, die national durch Regelungen im Schutzniveau erhöht werden können. Diese zusätzlichen Maßnahmen zum verstärkten Schutz der Arbeitsbedingungen dürfen sich nicht auf die Anforderungen an Bau und Ausrüstung auswirken.

Zur Konkretisierung der Anforderungen der Richtlinien nach Artikel 95 beauftragt die EG-Kommission aufgrund ihrer „Neuen Konzeption“ von 1985 das Europäische Komitee für Normung (*Comité Européen de Normalisation*, CEN) mit der Erarbeitung harmonisierter europäischer Normen (EN), die von allen Mitgliedstaaten unverändert als nationale Normen übernommen werden müssen. Entgegenstehende oder davon abweichende nationale Normen sind zurückzuziehen. Die in den europäischen Normen enthaltenen technischen Spezifikationen haben keinen zwingenden (obligatorischen) Charakter. Die nationalen Gremien sind jedoch verpflichtet, bei danach hergestellten Erzeugnissen von deren Übereinstimmung mit den Anforderungen der entsprechenden Richtlinie auszugehen (Vermutungswirkung).

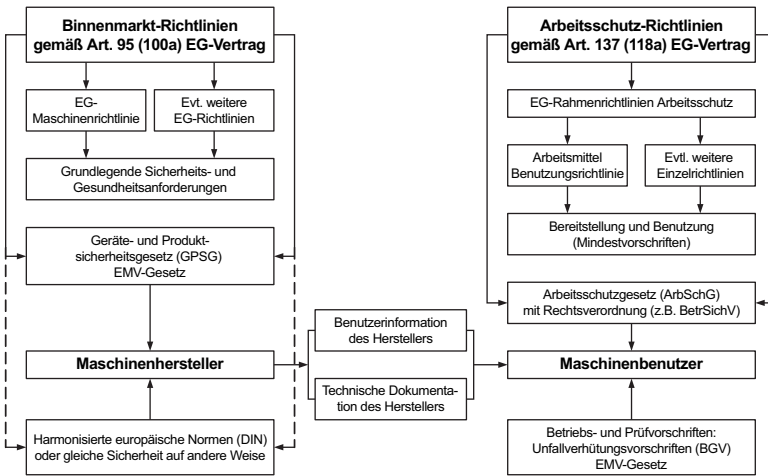
Diesem Normungsauftrag hat sich auch die EFTA (en: European Free Trade Association, Europäische Freihandelsassoziation – heute nur noch Island, Norwegen, die Schweiz und Liechtenstein) angeschlossen, so dass nach Ratifizierung der jeweiligen Normen im EWR ein einheitliches technisches Regelwerk besteht.

## 1.2 Die Maschinenrichtlinie

### 1.2.1 Rechtsgrundlage der aktuellen Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

Die Maschinenrichtlinie 98/37/EG ist überarbeitet worden. Unabhängig von den Änderungen in der Maschinenrichtlinie bettet sich diese in die Binnenmarkt-Richtlinien gemäß Artikel 95 des EG-Vertrags ein.

Bild 1.1 verdeutlicht das Zusammenspiel der Richtlinien aus Sicht des Maschinenherstellers und des Maschinenbenutzers.



**Bild 1.1** Rechtsgrundlagen für sichere Maschinen

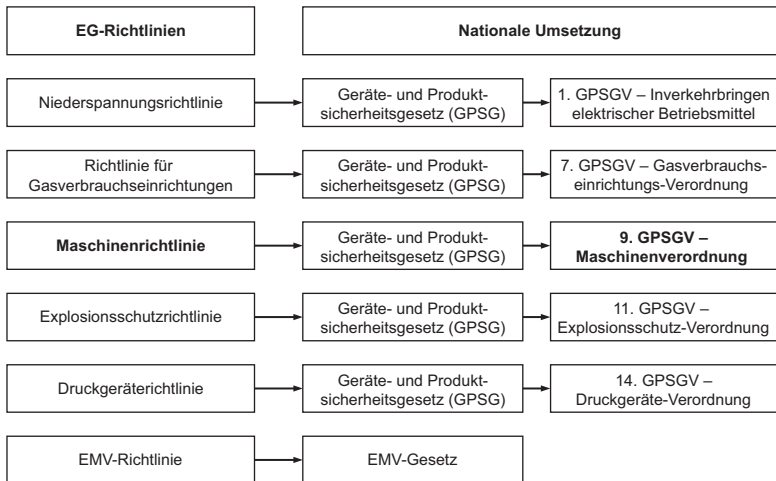
### 1.2.2 Verfügung und Umsetzung

Die Maschinenrichtlinie verlangt von den Mitgliedstaaten der EG, dass nur solche Maschinen und Sicherheitsbauteile in Verkehr gebracht und in Betrieb genommen werden dürfen, die den in Anhang I aufgeführten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen genügen. Die Staaten dürfen das Inverkehrbringen und Inbetriebnehmen nicht verbieten, beschränken oder behindern, wenn der Hersteller oder sein in der EG niedergelassener Bevollmächtigter die Konformität mit den grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie erklärt.

Weitere Schutzklauseln verpflichten zugleich die Staaten: bei drohender Gefahr für die Sicherheit von Personen oder Gütern oder bei Nichterfüllung der Anforderungen zu zweckdienlichen Maßnahmen, einschließlich der Information der übrigen EG-Staaten. Wurde die Maschine oder das Sicherheitsbauteil entsprechend einer europäischen Produktnorm hergestellt, die als sogenannte „Harmonisierte Norm“ im Amtsblatt der EG bezeichnet worden ist, ist jedoch davon auszugehen, dass das Produkt den grundlegenden Anforderungen entspricht (Vermutungswirkung für den Teil, den die Norm anspricht).

Mit der Unterzeichnung des EWR-Vertrages wurden auch die EFTA-Staaten Island und Norwegen in den Geltungsbereich der EG-Richtlinien einbezogen. Die Umsetzung der Maschinenrichtlinie in nationales Recht erfolgt entsprechend den Gesetzgebungsstrukturen der Mitgliedstaaten in ein oder mehreren Gesetzen, Verordnungen o. a. (siehe Bild 1.2)

In Deutschland wurde die Maschinenrichtlinie im Gerätesicherheitsgesetz GSG umgesetzt, in der 9. Verordnung (Maschinenverordnung – 9. GPSGV) und auch in der 3. Verordnung (Maschinenlärminformations-Verordnung – 3. GSGV).



**Bild 1.2** Verfügung und Umsetzung der Maschinenrichtlinie

### 1.2.3 Grundlegende Anforderungen

Die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen des Anhangs I der Maschinenrichtlinie beziehen sich (ausführlich) auf:

- Grundsätze für die Integration der Sicherheit und Handhabung
- Anforderungen an Steuerungen und Befehlseinrichtungen zum Ingangsetzen und Stillsetzen von Maschinen sowie bezüglich einer Störung der Energieversorgung oder des Steuerkreises
- Schutzmaßnahmen gegen mechanische Gefahren (Stabilität, Bruchgefahr, bewegliche Teile)
- Schutzmaßnahmen gegen Gefahren durch elektrische Energie, Brand/Explosion, Strahlung, Emission von Stäuben, Gasen usw.

Der Anhang I enthält ebenso Schutzziele und Anforderungen hinsichtlich der menschengerechten Gestaltung von Maschinen, der Instandhaltung und der Benutzerinformation mit Warnung vor den Restgefahren.

### 1.2.4 Definition einer Maschine

In der Veröffentlichung der Maschinenrichtlinie im „Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 157“ vom 9. Juni 2006 wird eine Maschine wie folgt beschrieben:

„... (2) Im Sinne der Richtlinie ist eine „Maschine“:

- eine mit einem anderen Antriebssystem als der unmittelbar eingesetzten, menschlichen oder tierischen Kraft ausgestattete oder dafür vorgesehene Gesamtheit miteinander verbundener Teile oder Vorrichtungen, von denen mindestens eins bzw. eine beweglich ist und die für eine bestimmte Anwendung zusammengefügt sind;
- eine Gesamtheit im Sinne des am ersten Gedankenstrich Genannten, der lediglich die Teile fehlen, die sie mit ihrem Einsatzort oder mit ihren Energie- und Antriebsquellen verbinden;
- eine einbaufertige Gesamtheit im Sinne des am ersten und zweiten Gedankenstrich Genannten, die erst nach Anbringen auf einem Beförderungsmittel oder Installation in einem Gebäude oder Bauwerk funktionsfähig ist;

- eine Gesamtheit von Maschinen im Sinne des am ersten, zweiten und dritten Gedankenstrich Genannten oder von unvollständigen Maschinen im Sinne des Buchstabens g, die, damit sie zusammenwirken, so angeordnet sind und betätigt werden, dass sie als Gesamtheit funktionieren;
- eine Gesamtheit miteinander verbundener Teile oder Vorrichtungen, von denen mindestens eins bzw. eine beweglich ist und die für Hebevorgänge zusammengefügt sind und deren einzige Antriebsquelle die unmittelbar eingesetzte menschliche Kraft ist; ...

### **Zielsetzung**

Von jeder Maschine als solche darf zu keinem Zeitpunkt eine Gefahr ausgehen, die zu einer Gefährdung von Mensch, Maschine und Umwelt führt. Insbesondere soll der Bediener geschützt werden. Eine Maschine wird somit u. a. durch ein von ihr ausgehendes Risiko bzw. eine Gefahr definiert. In der Regel sind das in der industriellen Umgebung gefährliche Bewegungen wie z. B. die von einem Roboter, einer Presse, einer Kreissäge o. a.

Die Maschinenrichtlinie hilft dem Maschinenhersteller, diese Gefahren aufzudecken und entsprechende Vorkehrungen zu treffen, ehe die Maschine in Verkehr gebracht wird. Diesen Prozess nennt man auch Gefahrenbewertung, die durch eine Risikobeurteilung letztendlich zu den notwendigen Schutzmaßnahmen führt.

Die EN ISO 12100 und die EN ISO 14121 sind Normen, die in der Maschinenrichtlinie bei der Vorgehensweise und bei der Definition der Schutzmaßnahmen von dem Hersteller von Maschinen herangezogen werden können (siehe Kapitel 2).

### **Anwendungsbereich**

Die Maschinenrichtlinie gibt in Absatz (14) einen definierten Anwendungsbereich vor, der wie folgt beschrieben wird:

„... (14) Es sollte den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen genügt werden, damit gewährleistet ist, dass die Maschinen sicher sind; es sollte jedoch eine differenzierte Anwendung dieser Anforderungen erfolgen, um dem Stand der Technik zum Zeitpunkt der Konstruktion sowie den technischen und wirtschaftlichen Erfordernissen Rechnung zu tragen. ...“



## **Bediener einer Maschine**

Der oder die Menschen, die eine Maschine bedienen, sind den möglichen Gefahren zwangsläufig ausgesetzt. Diese Bediener sind vorrangig zu schützen. In der Maschinenrichtlinie steht:

„... Im Sinne dieser Richtlinie gilt als

- a) „Gefährdung“ eine potenzielle Quelle von Verletzungen oder Gesundheitsschäden;
- b) „Gefahrenbereich“ der Bereich in einer Maschine und/oder in ihrem Umkreis, in dem die Sicherheit oder die Gesundheit einer Person gefährdet sind;
- c) „gefährdete Person“ eine Person, die sich ganz oder teilweise in einem Gefahrenbereich befindet;
- d) „Bedienungspersonal“ die Person bzw. Personen, die für Installation, Betrieb, Einrichten, Wartung, Reinigung, Reparatur oder Transport von Maschinen zuständig ist bzw. sind;
- e) „Risiko“ die Kombination aus der Wahrscheinlichkeit und der Schwere einer Verletzung oder eines Gesundheitsschadens, die in einer Gefährdungssituation eintreten können;
- f) „trennende Schutzeinrichtung“ ein Maschinenteil, das Schutz mittels einer physischen Barriere bietet;
- g) „nichttrennende Schutzeinrichtung“ eine Einrichtung ohne trennende Funktion, die allein oder in Verbindung mit einer trennenden Schutzeinrichtung das Risiko vermindert;
- h) „bestimmungsgemäße Verwendung“ die Verwendung einer Maschine entsprechend den Angaben in der Betriebsanleitung;
- i) „vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung“ die Verwendung einer Maschine in einer laut Betriebsanleitung nicht beabsichtigten Weise, die sich jedoch aus leicht absehbarem menschlichen Verhalten ergeben kann. ...“

In den folgenden Abschnitten sollen dieser Gefahrenbereich und die möglichen Gefahren erfasst und eine entsprechende Methodik beschrieben werden, die alle Gefährdungen aus Sicht von Mensch, Maschine und Umwelt identifiziert und gegebenenfalls Maßnahmen zu ihrer Beherrschung bestimmt.

### **1.2.5 Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen bei Konzipierung und Bau von Maschinen**

In der Maschinenrichtlinie, Absätze (19) und (18), heißt es dazu:

„... (19) In Anbetracht der Risiken, die mit dem Betrieb der von dieser Richtlinie erfassten Maschinen verbunden sind, sollten Verfahren festgelegt werden, mit denen die Erfüllung der grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen überprüft werden kann. Diese Verfahren sollten entsprechend dem Gefahrenpotenzial dieser Maschinen gestaltet werden. Für jede Art von Maschinen sollte folglich ein angemessenes Verfahren vorgesehen werden, das dem Beschluss 93/465/EWG des Rates vom 22. Juli 1993 über die in den technischen Harmonisierungsrichtlinien zu verwendenden Module für die verschiedenen Phasen der Konformitätsbewertungsverfahren und die Regeln für das Anbringen und die Verwendung der CE-Konformitätskennzeichnung (2) entspricht, das die Art der für solche Maschinen erforderlichen Prüfung berücksichtigt.

... (18) Diese Richtlinie legt nur allgemein gültige, grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen fest, die durch eine Reihe von spezifischeren Anforderungen für bestimmte Maschinengattungen ergänzt werden. Damit die Hersteller die Übereinstimmung mit diesen grundlegenden Anforderungen leichter nachweisen können und damit die Übereinstimmung überprüft werden kann, sind auf Ebene der Gemeinschaft harmonisierte Normen wünschenswert, deren Gegenstand die Verhütung von Risiken ist, die sich aus der Konstruktion und dem Bau von Maschinen ergeben können. Diese Normen werden von privatrechtlichen Institutionen ausgearbeitet, und ihr nicht rechtsverbindlicher Charakter sollte gewahrt bleiben. ...“

Die Erfüllung der grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen ist demnach für die Sicherheit von Maschinen zwingend notwendig. Diese Anforderungen müssen mit hoher Verantwortung angewandt werden. Dabei versucht die Maschinenrichtlinie bei der Herstellung

- den Stand der Technik sowie
- technische und wirtschaftliche Erfordernisse

zu berücksichtigen.

Im Anhang I der Maschinenrichtlinie findet man dazu detaillierte Angaben. Einige wichtige Passagen werden im Folgenden erwähnt.

## **Ingangsetzen**

Das Ingangsetzen einer Maschine darf nur in folgenden Fällen möglich sein:

- nach einer absichtlichen Betätigung und
- mit einer hierfür vorgesehenen Befehlseinrichtung.

Gemeint sind an dieser Stelle auch:

- das Wieder-Ingangsetzen nach einem Stillstand (dabei ist die Ursache für diesen Stillstand nicht relevant),
- das Wieder-Ingangsetzen nach einem Not-Halt und
- die Änderung eines Betriebszustandes.

Das Wieder-Ingangsetzen oder die Änderung eines Betriebszustandes ist dann zu betrachten, wenn diesem Vorgang Personen nicht völlig gefahrlos ausgesetzt sind. Diese grundlegende Anforderung gilt jedoch nicht für das Wieder-Ingangsetzen oder die Änderung des Betriebszustandes bei der normalen Befehlsabfolge im Automatikbetrieb.

Wenn eine Maschine mehrere Befehlseinrichtungen zum Ingangsetzen hat und das Bedienungspersonal sich deshalb gegenseitig gefährden kann, dann müssen zusätzliche Einrichtungen (z. B. Zustimmungsschalter oder Wahlschalter, die nur jeweils eine Befehlseinrichtung zum Ingangsetzen wirksam werden lassen) vorgesehen werden, damit diese Gefahr ausgeschlossen werden kann.

Das Wieder-Ingangsetzen einer automatischen Anlage im Automatikbetrieb nach einer Abschaltung muss leicht durchführbar sein, nachdem die Sicherheitsbedingungen erfüllt sind.

## **Stillsetzen einer Maschine**

Dieser Begriff ist für den Maschinenhersteller besonders wichtig, weil die Not-Halt-Einrichtungen zum Stillsetzen der Maschine von großer Bedeutung sind (dieser Begriff wird ebenfalls in der IEC 60204-1 erläutert, siehe Abschnitt 2.5.3 in diesem Buch). In der deutschen Fassung der DIN EN 418:1992 ist irrtümlich der Begriff „emergency stop“ aus dem Englischen mit Not-Aus übersetzt worden. Die Nachfolgenorm ISO 13850:2003 hat dies korrigiert und redet nur noch von dem Begriff Not-Halt. Not-Aus ist die deutsche Übersetzung von „emergency switching off“.

## Betriebsarten

Eine Maschine hat in der Regel verschiedene Betriebsarten, die durch eine Bedienung ausdrücklich eingeleitet und sichergestellt werden (siehe auch VDI 2854 oder ISO 11161).

Die Maschinenrichtlinie verlangt, dass die gewählte Steuerungsart allen anderen Steuerfunktionen übergeordnet sein muss, außer der für die Notbefehlseinrichtung. Wurde die Maschine so konzipiert und gebaut, dass mehrere Steuerungsabläufe oder Betriebsarten mit unterschiedlichen Sicherheitsstufen möglich sind (z. B. für Rüsten, Wartung, Inspektion usw.), so muss die Maschine mit einem abschließbaren Betriebsartenwahlschalter versehen sein. Jede Stellung des Wahlschalters muss abschließbar sein und darf nur einer Steuer- oder Betriebsart entsprechen.

Der Wahlschalter kann auch durch andere Wahlmittel ersetzt werden, wenn dadurch bestimmte Gruppen von Bedienungspersonal bestimmte Funktionen der Maschinen ausführen können (z. B. Zugriffscode für bestimmte numerische Steuerfunktionen usw.). Ist bei bestimmten Arbeitsgängen ein Betrieb der Maschine bei aufgehobener Schutzwirkung der Schutzeinrichtungen erforderlich, so müssen der entsprechenden Wahlschalterstellung folgende Steuerungsvorgaben zugeordnet werden:

- Die Automatiksteuerung wird gesperrt.
- Es sind nur Bewegungen möglich, wenn die Befehlseinrichtungen kontinuierlich betätigt werden (Befehlseinrichtungen mit selbsttätiger Rückstellung).
- Gefährliche Bewegungen von Teilen sind nur unter erhöhten Sicherheitsbedingungen möglich (z. B. reduzierte Geschwindigkeit, reduzierte Leistung, Schrittbetrieb oder sonstige geeignete Vorkehrungen). Gefahren, die sich aus Befehlsverkettungen ergeben, werden ausgeschaltet.
- Maschinenbewegungen, die aufgrund einer direkten oder indirekten Einwirkung auf maschineninterne Sensoren eine Gefahr darstellen können, werden gesperrt.
- Vom Betätigungsplatz des Wahlschalters aus müssen sich die jeweils betriebenen Maschinenteile steuern lassen.

## **Störungen**

Fehler der Energieversorgung oder der Steuerstromkreise (z. B. Logikverarbeitung) dürfen nicht zu gefährlichen Situationen führen.

Insbesondere ist Folgendes auszuschließen:

- unbeabsichtigtes Ingangsetzen
- Nichtausführung eines bereits erteilten Befehls zum Stillsetzen
- Herabfallen oder Herausschleudern eines beweglichen Maschinenteils oder eines von der Maschine gehaltenen Werkstücks
- Verhinderung des automatischen oder manuellen Stillsetzens von beweglichen Teilen jeglicher Art
- Ausfall von Schutzeinrichtungen.

## **Schutzmaßnahmen gegen mechanische Gefahren**

Im Anhang I der Maschinenrichtlinie werden explizit mechanische Gefahren aufgelistet, die von einer Maschine ausgehen können. Diese müssen beherrscht werden. Dazu dienen folgende Betrachtungen:

- Stabilität
- Bruchgefahr beim Betrieb
- Gefahren durch herabfallende und herausgeschleuderte Gegenstände
- Gefahren durch Oberflächen, Kanten, Ecken
- Gefahren durch mehrfach kombinierte Maschinen
- Gefahren durch Änderung der Drehzahl der Werkzeuge
- Verhütung von Gefahren durch bewegliche Teile
- Auswahl der Schutzeinrichtungen gegen Gefahren durch bewegliche Teile, an dieser Stelle wird zwischen
  - beweglichen Teilen der Kraftübertragung oder
  - beweglichen Teilen, die am Arbeitsprozess teilnehmen (Wirkbereich) unterschieden.

## **Schutzeinrichtungen**

Es wird hier zwischen *trennenden* und *nicht trennenden* Schutzeinrichtungen unterschieden.

Trennende Schutzeinrichtungen können *feststehend* sein, d. h. diese werden fest an ihrem Platz gehalten und können nur mit einem Werkzeug geöffnet werden (z. B. Schutzzaun, Umhausung, Verdeckung). Oder sie sind *beweglich* (Typ A oder Typ B, z. B. Schutztüre, Klappe, Deckel, siehe auch Abschnitt 2.4.1).

Nicht trennende Schutzeinrichtungen (z. B. Lichtgitter, Zweihandbedienpult) müssen so konzipiert und in die Steuerung der Maschine integriert sein, dass keinerlei Gefahr von beweglichen Teilen ausgehen kann.

### **Sonstige Gefahren**

Folgende weitere Gefahren müssen bei der Konzeption einer Maschine ebenfalls betrachtet werden:

- Gefahren durch elektrische Energie
- Gefahren durch statische Elektrizität
- Gefahren durch nichtelektrische Energie
- Gefahren durch fehlerhafte Montage
- Gefahren durch extreme Temperaturen
- Brandgefahr
- Explosionsgefahr
- Gefahren durch Lärm
- Gefahren durch Vibrationen
- Gefahren durch Strahlung
- Gefahren durch Strahlung von außen
- Gefahren durch Lasereinrichtungen
- Gefahren durch Emission von Stäuben, Gasen usw.
- Gefahr, in einer Maschine eingeschlossen zu sein
- Sturzgefahr.

### **Instandhaltung**

Auch für die Instandhaltung bzw. Wartung der Maschine müssen Maßnahmen für den Bediener ergriffen werden: