

Gerald Zickert



# Elektrokonstruktion

Gestaltung, Schaltpläne und  
Engineering mit EPLAN



6., aktualisierte Auflage

HANSER





#### **Ihr Plus – digitale Zusatzinhalte!**

Auf unserem Download-Portal finden Sie zu diesem Titel kostenloses Zusatzmaterial. Geben Sie dazu einfach diesen Code ein:

**plus-q8f48-7vzxd**

**[plus.hanser-fachbuch.de](http://plus.hanser-fachbuch.de)**



#### **Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

**[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**



Gerald Zickert

# Elektrokonstruktion

Gestaltung, Schaltpläne und Engineering mit EPLAN

6., aktualisierte Auflage

HANSER

## Der Autor:

Prof. Dr.-Ing. Gerald Zickert

Westfälische Hochschule Zwickau, Fakultät Elektrotechnik



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en, Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor(en, Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, sind vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2022 Carl Hanser Verlag München

Internet: [www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Frank Katzenmayer

Herstellung: Frauke Schafft

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Titelbild: [stock.adobe.com/greenbutterfly](https://stock.adobe.com/greenbutterfly)

Satz: Eberl & Koesel Studio GmbH

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-47380-5

E-Book-ISBN 978-3-446-47406-2

# Vorwort

Das vorliegende Buch entstand im Zusammenhang mit den Vorlesungen *Elektrokonstruktion* im Grundstudium und *Elektroprojektierung* im Hauptstudium des Studienganges Elektrotechnik. Sie werden begleitet durch weitere Lehrveranstaltungen insbesondere zu den Themen Elektroenergietechnik, Steuerungstechnik und elektrische Antriebe.

Die Elektrokonstruktion umfasst die Erarbeitung der notwendigen Unterlagen für Herstellung, Betrieb und Wartung einer elektrischen Einrichtung. Dieser Prozess bringt das Wissen mehrerer Fachgebiete in Zusammenhang und erfordert die Beachtung zahlreicher Restriktionen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die gesetzlichen Grundlagen und Normen, weshalb in dem vorliegenden Buch zahlreiche Verweise auf aktuelle Normen enthalten sind. Die Normen sollen den Konstrukteur nicht mit Formalismen „bevormunden“, sondern sie sollen als Nachschlagewerk oder als Lösungssammlung eine wichtige Informationsquelle darstellen.

Die europäische Normung ist ein sehr dynamischer Prozess, in dessen Ergebnis zahlreiche neue oder geänderte Normen entstanden sind. Oft ist dies mit der Trennung von gewohnten und viele Jahre genutzten Prinzipien verbunden, wie z. B. von dem Schriftfeld aus dem Jahr 1970.

Zu einer der wichtigsten Aufgaben des Elektrokonstruktors gehört es, eine Anlage so zu gestalten, dass von ihr keine Gefährdungen ausgehen und dies auch nachzuweisen. Aus diesem Grund wird ein Überblick über die Problematik von Risikobeurteilung und Risikominderung gegeben. Es ist bereits jetzt erkennbar, dass die Bedeutung dieses Nachweises weiter steigen wird.

Die Elektrokonstruktion mündet in die Anfertigung der Konstruktionsdokumentationen. Vermittelt werden hierzu Grundkenntnisse für die Erarbeitung von Plänen und Listen der Elektrotechnik, wobei großer Wert auf moderne rechnerunterstützte Konstruktionsmethoden (CAD) gelegt wird. Dabei werden sowohl energietechnische als auch steuerungstechnische und elektropneumatische Komponenten berücksichtigt.

In dieser Grundlagenvermittlung ist das Wissen dargestellt, das nötig ist, bevor man EPLAN einsetzt, und es wird anschließend die Anwendung dieses Wissens in EPLAN an Beispielen aus der Praxis erläutert.



Zum Erlernen der Arbeit mit *EPLAN Electric P8* und zur Anfertigung der Beispiele in diesem Buch wird das Programm *EPLAN Education – Version 2.9* eingesetzt.

Eine kostenlose, auf die Ausbildungszeit befristete Version *EPLAN Education* kann zur Erstellung von Labor- und Abschlussarbeiten im Bereich Elektro-, Fluid- und EMSR-Technik von Schülern, Studenten und Auszubildenden bei der Firma *EPLAN GmbH & Co. KG* über [WWW.EPLAN.DE](http://WWW.EPLAN.DE) bezogen werden.

Ein erstes durchgängiges Beispiel zeigt einen „Weg durch EPLAN“ und ermöglicht damit, den Umgang mit diesem Elektro-Engineering-System zu erlernen. Die dabei erworbenen Fähigkeiten können danach an einem weiteren Beispiel geübt und erweitert werden. Zusätzliche Funktionen des Programmsystems können auf dieser Basis selbst erarbeitet oder in weiterführenden Lehrgängen erlernt werden.

Ich danke dem Carl Hanser Verlag und besonders Frau Christina Kubiak und Herrn Frank Katzenmayer für die Anregung zu diesem Buch und für die Betreuung dieses Projektes.

Zwickau, Januar 2022

Gerald Zickert



Für die Erläuterung der Programmbedienung wird folgende Syntax benutzt:

- Menüpunkte mit **Fettschrift**,
- Menüfenster mit <...> ,
- Registerkarten mit /.../ ,
- Tasten (Bildschirm oder Tastatur) mit [...],
- Befehlsfolgen durch → getrennt,
- beispielhafte Einträge *kursiv*.

# Inhalt

|          |                                                   |           |
|----------|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Ablauf und Methoden der Konstruktion</b>       | <b>11</b> |
| 1.1      | Entwurfsprozess                                   | 11        |
| 1.2      | Konstruktion in der Elektrotechnik                | 12        |
| <b>2</b> | <b>Gesetzliche Grundlagen und Normung</b>         | <b>15</b> |
| 2.1      | Produkthaftung                                    | 15        |
| 2.2      | Normung                                           | 16        |
| 2.2.1    | Begriff und Inhalt technischer Normen             | 16        |
| 2.2.2    | Rechtliche Stellung der Normen                    | 17        |
| 2.2.3    | Normungsgremien                                   | 18        |
| 2.3      | Risikobeurteilung und Risikominderung             | 19        |
| 2.3.1    | Risikobeurteilung                                 | 20        |
| 2.3.2    | Risikominderung                                   | 21        |
| <b>3</b> | <b>Gestaltung elektrischer Geräte und Anlagen</b> | <b>36</b> |
| 3.1      | Sicherheitsgerichtete Konstruktion                | 37        |
| 3.1.1    | Grundsätzliche Gestaltungshinweise                | 37        |
| 3.1.2    | Handlungen im Notfall                             | 42        |
| 3.1.3    | Schaltungstechnische Umsetzung                    | 44        |
| 3.2      | Bedien- und Anzeigeelemente                       | 48        |
| 3.3      | Gefäßsysteme und mechanischer Aufbau              | 50        |
| 3.3.1    | Schränke und Gehäuse aus dem 19-Zoll-Aufbausystem | 51        |
| 3.3.2    | Mechanischer Aufbau                               | 56        |
| 3.4      | Wärmeabführung                                    | 61        |
| 3.4.1    | Physikalische Grundlagen                          | 61        |
| 3.4.2    | Schaltschrankklimatisierung                       | 67        |
| <b>4</b> | <b>Konstruktionsunterlagen</b>                    | <b>74</b> |
| 4.1      | Technische Zeichnungen                            | 74        |
| 4.2      | Technische Unterlagen in der Elektrotechnik       | 75        |
| 4.3      | Grundlegende Gestaltungshinweise                  | 79        |
| 4.3.1    | Format und Faltung                                | 79        |
| 4.3.2    | Schriftfeld                                       | 80        |
| 4.3.3    | Linienarten                                       | 81        |
| 4.4      | Schaltzeichen                                     | 83        |
| 4.5      | Beschriftungen                                    | 87        |

|          |                                                         |            |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|
| 4.5.1    | Referenzkennzeichnung .....                             | 87         |
| 4.5.2    | Verweis auf den Darstellungsort .....                   | 94         |
| 4.5.3    | Angaben an Verbindungen .....                           | 96         |
| <b>5</b> | <b>Pläne und Listen der Elektrotechnik .....</b>        | <b>99</b>  |
| 5.1      | Übersichtsschaltplan .....                              | 99         |
| 5.2      | Stromlaufplan .....                                     | 101        |
| 5.2.1    | Anwendung .....                                         | 101        |
| 5.2.2    | Inhaltliche Gestaltung .....                            | 102        |
| 5.2.3    | Verteilte Darstellung .....                             | 105        |
| 5.3      | Verbindungsschaltplan .....                             | 109        |
| 5.3.1    | Geräteverdrahtungsplan und Verbindungsplan .....        | 110        |
| 5.3.2    | Anschlussplan und Klemmenplan .....                     | 113        |
| 5.3.3    | Kabelplan .....                                         | 114        |
| 5.4      | Anordnungsplan .....                                    | 115        |
| 5.5      | Elektropneumatik .....                                  | 117        |
| 5.5.1    | Bauelemente .....                                       | 117        |
| 5.5.2    | Grundsaltungen .....                                    | 120        |
| 5.5.3    | Pläne der Elektropneumatik .....                        | 122        |
| 5.6      | Stückliste .....                                        | 126        |
| <b>6</b> | <b>Rechnerunterstützte Konstruktion und EPLAN .....</b> | <b>130</b> |
| 6.1      | Smart Engineering .....                                 | 130        |
| 6.1.1    | Konzept .....                                           | 130        |
| 6.1.2    | Computer Aided Design (CAD) .....                       | 132        |
| 6.1.3    | CAD in der Elektrotechnik .....                         | 134        |
| 6.2      | Arbeitsweise der Elektro-CAD-Systeme .....              | 135        |
| 6.2.1    | Systemaufbau .....                                      | 135        |
| 6.2.2    | Handlungsablauf .....                                   | 140        |
| 6.2.3    | Angrenzende Systeme und Schnittstellen .....            | 142        |
| 6.3      | Das Programmsystem EPLAN Electric P8 .....              | 146        |
| <b>7</b> | <b>Beispiele mit EPLAN .....</b>                        | <b>151</b> |
| 7.1      | Hubanlage .....                                         | 151        |
| 7.1.1    | Überblick .....                                         | 151        |
| 7.1.2    | Programmstart und Oberfläche .....                      | 155        |
| 7.1.3    | Projekte verwalten .....                                | 157        |
| 7.1.4    | Parametereinstellungen .....                            | 160        |
| 7.1.5    | Strukturkennzeichen vorbereiten .....                   | 162        |
| 7.1.6    | Projektseiten .....                                     | 164        |
| 7.1.7    | Grafische Bearbeitung .....                             | 166        |
| 7.1.8    | Artikelverwaltung .....                                 | 192        |
| 7.1.9    | Projekt prüfen .....                                    | 202        |
| 7.1.10   | Pläne und Listen erstellen (Auswertungen) .....         | 207        |

|       |                                                 |     |
|-------|-------------------------------------------------|-----|
| 7.2   | Transporttisch .....                            | 212 |
| 7.2.1 | Überblick .....                                 | 213 |
| 7.2.2 | Projekt und Projektseiten anlegen .....         | 220 |
| 7.2.3 | Stromlaufpläne projektieren .....               | 222 |
| 7.2.4 | SPS-Übersicht anlegen .....                     | 233 |
| 7.2.5 | Pläne und Listen erstellen (Auswertungen) ..... | 236 |

|          |                       |            |
|----------|-----------------------|------------|
| <b>8</b> | <b>Lösungen .....</b> | <b>237</b> |
|----------|-----------------------|------------|

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| <b>Literatur, Gesetze und Normen .....</b> | <b>247</b> |
|--------------------------------------------|------------|

|                    |            |
|--------------------|------------|
| <b>Index .....</b> | <b>251</b> |
|--------------------|------------|



Ergänzendes Material auf <https://plus.hanser-fachbuch.de>:

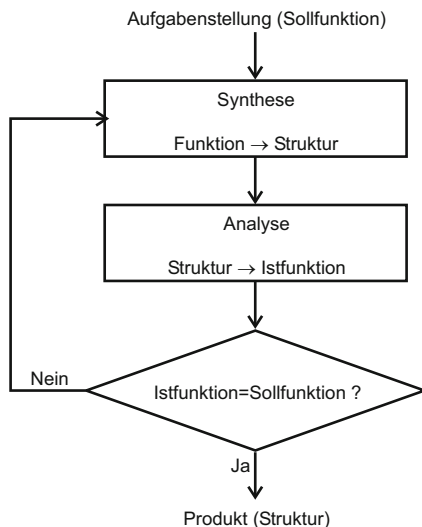
- zwei Projektdaten
- Artikelbibliothek
- Kontrollfragen mit den Antworten



Die *Konstruktion* beinhaltet den Entwurf eines technischen Erzeugnisses, wobei im Mittelpunkt die Anfertigung technischer Zeichnungen zur Dokumentation des Entwurfsergebnisses steht. Ein technisches Erzeugnis kann eine Anlage, eine Maschine oder ein einzelnes Bauteil sein. Die *Elektrokonstruktion* befasst sich mit dem Entwurf eines elektrotechnischen Erzeugnisses – einer elektrischen bzw. elektronischen Anlage oder eines Gerätes.

## ■ 1.1 Entwurfsprozess

Im Zentrum der Konstruktion steht der Entwurfsprozess (Bild 1.1). Dies ist ein zyklischer und sich der Lösung schrittweise nähernder (iterativer) Prozess der Bestimmung und ständigen Detaillierung einer Struktur (Synthese) bei gleichzeitiger Prüfung auf Erfüllung der geforderten Funktion (Analyse).



**Bild 1.1** Entwurfsprozess

Das ist am Beispiel des Softwareentwurfes leicht nachvollziehbar. Basierend auf einer Aufgabenstellung (Sollfunktion) wird ein Programm (Struktur) im ersten Entwurf geschrieben. Das ist die Synthese. Danach folgt ein erster Test des Programms auf Erfüllung der geforderten Funktion. Das ist die Analyse. Meist ist das Programm in diesem Entwurfsstadium noch fehlerhaft, weshalb in der nächsten Iteration weiter an der Struktur gearbeitet wird. Dieser Zyklus wird durchlaufen, bis das Programm fehlerfrei arbeitet.

Die *Synthese* kann auch als Abbildung einer Funktion in eine Struktur verstanden werden. Diese Abbildung ist mehrdeutig, da es für eine Aufgabe meist mehrere Lösungen gibt. Der Entscheidungsspielraum wird jedoch durch Anforderungen des Auftraggebers, durch Vorschriften und Normen sowie durch weitere Randbedingungen eingeschränkt. Die *Analyse* ist die Abbildung einer Struktur in eine Funktion und ist im Allgemeinen eindeutig.

In der Norm VDI 2221 werden der Konstruktionsprozess und die Konstruktionsphasen ausführlich beschrieben. Die *Konstruktionsphasen* lassen sich zu fünf Schwerpunkten zusammenfassen:

- Klären der Aufgabenstellung und Formulieren der Soll-Gesamtfunktion,
- Auflösen der Gesamtfunktion in ein Netz von Teilfunktionen,
- Erarbeitung der Wirkprinzipien für jede Teilfunktion,
- Gestaltung unter Berücksichtigung von Randbedingungen,
- Detaillierung und Erstellung der Dokumentation.

Zu den Randbedingungen gehören neben den Vorschriften und Normen die Umgebungs- und Aufstellungsbedingungen, aber auch wirtschaftliche Gesichtspunkte.

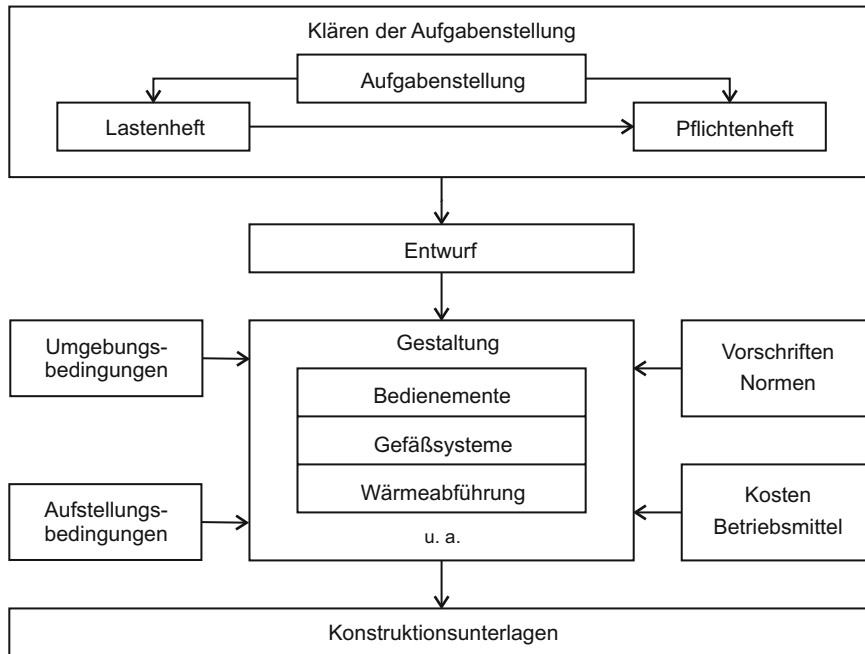
## ■ 1.2 Konstruktion in der Elektrotechnik

Der zunächst allgemein beschriebene Konstruktionsprozess lässt sich auch auf den Bereich der Elektrotechnik/Elektronik anwenden. Es handelt sich ebenfalls um einen mehrschrittigen Prozess der Lösungssuche, welcher mit der Klärung der Aufgabenstellung beginnt und dessen Ziel die detaillierte Dokumentation des konstruierten Gerätes oder der Anlage ist (Bild 1.2).

Die *Elektroprojektierung* ist ein Informationsverarbeitungsprozess, in dem Informationen über industriell hergestellte und katalogisierte Betriebsmittel zu komplexen Informationen über elektrische Anlagen verarbeitet werden. Dieses einmalige und neue Vorhaben, das Projekt, ist durch eine Aufgabenstellung, eine spezifische Ablauforganisation sowie durch zahlreiche Randbedingungen geprägt.

Die *Aufgabenstellung* wird als Ergebnis der Aufgabenklärung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vereinbart. Der Auftraggeber erstellt hierzu das Lastenheft als Ausschreibungsgrundlage mit einer Zusammenstellung aller Anforderungen an das Konstruktionsergebnis. Als Grundlage für die Realisierung erarbeitet der Auftragnehmer nach Auftragserteilung das Pflichtenheft, in dem er die Umsetzung der Forderungen aus der Aufgabenstellung beschreibt. Häufig ist hierzu bereits ein Grobentwurf in Form einer Vorstudie notwendig, da grundlegende Fragen der Realisierung bereits in dieser Phase geklärt werden müssen. Das Lastenheft wird zum Bestandteil des Pflichtenheftes. Angaben zu Inhalt und Gliederung dieser Unterlagen können der VDI/VDE 3694 entnommen werden.

Eine zweckmäßige *Ablauforganisation* unter Nutzung von Methoden des Projektmanagements sichert die planmäßige Bearbeitung des komplexen Arbeitsgebietes, welches Schnittstellen zu zahlreichen Fachgebieten aufweist und vom ständigen technologischen Wandel geprägt ist. Eine besondere Bedeutung haben in diesem Zusammenhang die Terminplanung und die Kostenplanung sowie deren strikte Kontrolle.



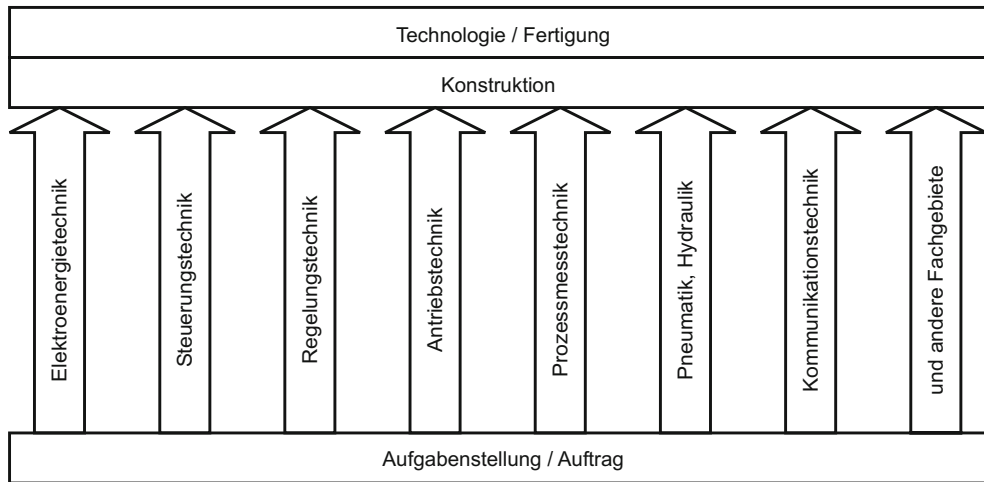
**Bild 1.2** Konstruktionsprozess

*Randbedingungen* aus der Aufgabenstellung schränken den Entscheidungsspielraum des Projektanten bzw. des Konstrukteurs ein. Die wichtigste Forderung ist die Beachtung des anerkannten Standes der Elektrotechnik, auf den zahlreiche Gesetze verweisen. Die Einhaltung von gesetzlichen Vorschriften und von Sicherheitsnormen hilft, Unfälle und Havarien mit hohen Folgekosten zu vermeiden. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls die Betrachtung der Zuverlässigkeit und der Qualität des konstruierten Produktes von großer Bedeutung.

Die *Umgebungs- und Aufstellungsbedingungen* beinhalten neben den Anschlussbedingungen und Platzverhältnissen auch klimatische, mechanische und elektromagnetische Einflüsse sowie die notwendige Überspannungsfestigkeit.

*Wirtschaftliche Gesichtspunkte* werden außer vom Preis auch durch Erfahrungen mit Herstellern und Lieferanten geprägt. So werden in diesem Fall durch den Auftraggeber mittels Freigabelisten einzelne Hersteller oder Produkte vorgeschrieben, für die bereits positive Erfahrungen vorliegen.

Die *Gestaltung* des Gerätes bzw. der Anlage umfasst ein komplexes Tätigkeitsfeld, für das Informationen aus zahlreichen Fachgebieten notwendig sind und gemäß der Aufgabenstellung in Übereinstimmung gebracht werden müssen (Bild 1.3). Die Konstruktion ist ein integratives Arbeitsgebiet, da Wissen in Zusammenhängen anzuwenden ist.



**Bild 1.3** Arbeitsgebiete der Konstruktion

Zur Tätigkeit des Konstrukteurs gehört wesentlich mehr als „nur“ die Anfertigung von technischen Zeichnungen. Dennoch sind Zeichnungen und Pläne ein wichtiges Verständigungsmittel in den technischen Abteilungen eines Unternehmens. Sie dokumentieren das Arbeitsergebnis des Konstrukteurs und sind Grundlage für die anschließende Fertigung des konstruierten Gerätes oder der Anlage.



### Aufgabe 1.1

Nennen Sie die Hauptkomponenten des Konstruktionsprozesses. Welche Restriktionen müssen bei der Konstruktion beachtet werden?

### Aufgabe 1.2

Worin besteht der Unterschied zwischen Lastenheft und Pflichtenheft?

# 2

## Gesetzliche Grundlagen und Normung

Wer sich mit der Konstruktion, der Errichtung oder dem Betrieb elektrischer Anlagen oder Geräten befasst, schafft Gefahrenquellen und ist daher in jedem Einzelfall für die *Einhaltung der anerkannten Regeln der Elektrotechnik* verantwortlich. Der folgende Abschnitt soll darstellen, wie der Konstrukteur dieser Verantwortung gerecht werden kann und welche Bedeutung Normen in diesem Zusammenhang haben.

### ■ 2.1 Produkthaftung

Das seit dem 1.1.1990 geltende Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG) beinhaltet eine eigenständige verschuldungsunabhängige Gefährdungshaftung des Herstellers für fehlerhafte Produkte.

Im § 1 I S. 1 Produkthaftungsgesetz heißt es hierzu:

*„Wird durch den Fehler eines Produktes jemand getötet, sein Körper oder seine Gesundheit verletzt oder eine Sache beschädigt, so ist der Hersteller des Produkts verpflichtet, dem Geschädigten den daraus entstehenden Schaden zu ersetzen.“*

Ein *Konstruktionsfehler* ist im Sinne des Produkthaftungsgesetzes ebenfalls ein Produktfehler, wenn schon bei der Planung des Produkts gegen anerkannte Regeln der Technik verstoßen wurde. Der Fehler liegt dann zeitlich vor der Herstellung und ist für die komplette Produktionsserie typisch. Entsteht ein Schaden, muss der Hersteller in der zivil- oder strafrechtlichen Auseinandersetzung nachweisen, dass der Fehler nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik nicht erkannt werden konnte, also nach den anerkannten Regeln der Technik konstruiert wurde.

Für technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte ist ergänzend das *Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt* (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG) zutreffend. Nach diesem Gesetz darf ein Hersteller von Produkten diese nur in den Verkehr bringen oder ausstellen, wenn sie so beschaffen sind, dass bei bestimmungsgemäßer Verwendung Sicherheit und Gesundheit von Benutzern oder Dritten nicht gefährdet werden. Bei der Beurteilung, ob ein Produkt diesen Anforderungen entspricht, können Normen und andere technische Spezifikationen als anerkannte Regeln der Technik zu Grunde gelegt werden.

Ebenfalls zu beachten sind das *Energiewirtschaftsgesetz* (EnWG), die *Unfallverhütungsvorschriften* der gewerblichen Berufsgenossenschaften und weitere Vorschriften, die ergänzend zum Produkthaftungsgesetz gültig sind.



Es gilt grundsätzlich, dass nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik bzw. der Elektrotechnik konstruiert werden muss und sich diese Regeln aus überbetrieblichen Normen und aus technischen Vorschriften verschiedener Organisationen ergeben.

Andererseits darf (oder muss) von Normen und Regeln abgewichen werden, soweit die gleiche Sicherheit (oder eine bessere Sicherheit) nachweislich auf andere Weise gewährleistet ist. Diese Möglichkeit muss eröffnet werden, da sonst technische Weiterentwicklungen und neue Verfahren blockiert würden. Auch wenn Normen und Spezifikationen regelmäßig aktualisiert werden, könnten dennoch neue Erkenntnisse noch nicht enthalten sein. Der Konstrukteur muss deshalb auch beim Vorhandensein einschlägiger Normen oder Regelwerke prüfen, ob diese noch auf aktuellem Stand sind. Der Konstrukteur kann sich auf derartige Regelwerke auch deshalb nicht immer verlassen, weil sie nur allgemein anerkannte Standards enthalten und nicht auf alle Sonderfälle eingehen können.

Aus diesen Zusammenhängen kann die rechtliche Stellung von Normen abgeleitet werden.

Umfassende Informationen zur Produktsicherheit sind in [KREY17] enthalten.

## ■ 2.2 Normung

Nationale und internationale Normen sind wichtige Informationsquellen für den Konstrukteur. Als Arbeitsgrundlage unterstützen sie den Konstruktionsprozess.

### 2.2.1 Begriff und Inhalt technischer Normen

*Normen* sind ein Mittel zur Ordnung und sind Grundlage für eine sinnvolle Zusammenarbeit, denn in einer Gesellschaft kann nicht jeder nach seinem Belieben handeln. Je größer die Gemeinschaft ist, desto detaillierter müssen die Regeln (Normen) sein, die dieses Zusammenleben ordnen [KLEIN08]. Der Begriff Normung ist in DIN 820-3 definiert:

Normung ist die „... *planmäßige, durch die interessierten Kreise gemeinschaftlich im Konsens durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gegenständen zum Nutzen der Allgemeinheit.*“

Die *Normungsarbeit* erfolgt auf nationaler, regionaler oder internationaler Ebene. Hierzu gehören auch das Anwenden ihrer Ergebnisse und deren laufendes Anpassen an den jeweiligen Stand der Entwicklung. Eine Norm wird von einem Dokument geprägt, das im Wesentlichen im Konsens erstellt und von einer anerkannten Körperschaft angenommen worden ist. Sie legt entsprechende Regeln, Anleitungen oder Kenndaten für Tätigkeiten oder deren Ergebnisse für die allgemeine und wiederkehrende Anwendung fest [KLEIN08].

Die Normung wird ungerechterweise oft als Einschränkung der Gestaltungsfreiheit in der Konstruktion verstanden, obwohl die Anwendung von Normen neben einer größeren Rechtssicherheit weitere entscheidende Vorteile bietet:

### ■ Information

Die Normung bietet Lösungen für wiederkehrende Aufgaben wie die Ermittlung des notwendigen Leiterquerschnittes für eine bestimmte Stromstärke.

### ■ Rationalisierung

Der Einsatz von Normteilen verringert die Typenvielfalt und erlaubt die kostengünstige Herstellung in großen Stückzahlen. Gleichzeitig wird die Lagerhaltung vereinfacht und die Austauschbarkeit, z. B. von Baugruppen aus dem 19-Zoll-Aufbausystem, ermöglicht.

### ■ Ordnung

Vereinheitlichte Darstellungsmittel, z. B. durch Zeichnungsnormen, ermöglichen die Verständigung zwischen unterschiedlichen Fachgebieten. Genormte Mess- und Prüfverfahren machen die Ergebnisse vergleichbar.

### ■ Qualität

Durch genormte Qualitätsanforderungen werden Mindestvorgaben durchgesetzt und Qualitätsangaben einheitlich.

### ■ Sicherheit

Genormte Sicherheitsanforderungen, z. B. für die sicherheitsgerechte Konstruktion, schützen vor Unfällen und Havarien, bieten Lösungen für diese Anforderungen und machen Sicherheitsangaben kompatibel.

## 2.2.2 Rechtliche Stellung der Normen



Die Normen des deutschen Normenwerkes gelten als Empfehlungen, sie sind keine Gesetze, der Gesetzgeber verlangt keinen Erfüllungsnachweis und sie stehen jedermann zur Anwendung frei [DIN 820-1].

Sie sind zwar einerseits Empfehlungen, gelten jedoch andererseits als anerkannte Regeln der Technik. In mehreren Gesetzen wird auf die Einhaltung dieser Regeln verwiesen oder es wird aus einer Rechtsvorschrift die Anwendungspflicht abgeleitet. Normen sind eine wichtige Informationsquelle für einwandfreies technisches Verhalten im Normalfall. Sie sind bei zivil- und strafrechtlichen Auseinandersetzungen geeignet, den Verantwortlichen zu entlasten, da deren Anwendung die Vermutung begründet, dass einwandfreies technisches Verhalten vorliegt [DIN 820-1].

Normen können nicht alle Sonderfälle und alle neuen Erkenntnisse sofort berücksichtigen, weshalb weitere Informationen aus anderen Quellen, z. B. Veröffentlichungen, Fachtagungen oder Messeveranstaltungen, auszuwerten sind. In Sonderfällen sind weiter gehende oder weniger umfangreiche Maßnahmen möglich, sofern die Sicherheit nachweislich erhalten bleibt. Dies erlaubt die Übernahme neuer Verfahren, die im Normenwerk noch nicht enthalten sind.



„Durch das Anwenden von Normen entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln“ [DIN 820-1].

Aus der Verantwortung, die der Konstrukteur einer elektrischen Anlage oder eines Gerätes für die Sicherheit hat, resultiert die Forderung, diese so sicher zu machen, wie es nach dem Stand der Technik, der in Normen beschrieben wird, möglich ist. Die konstruktive Gestaltung einer elektrischen Anlage, z.B. der Elektroausrüstung einer Maschine, muss den Anforderungen des *Europäischen Normenwerkes für die Sicherheit von Maschinen* entsprechen. Diese Normensammlung ist hierarchisch aufgebaut und gliedert sich in folgende Typen:

- **Typ-A-Normen** (Sicherheitsgrundnormen)  
behandeln Grundbegriffe, Gestaltungsleitsätze und allgemeine Aspekte, die auf Maschinen angewandt werden können, z.B. in DIN EN ISO 12100.
- **Typ-B-Normen** (Sicherheitsgruppennormen)  
behandeln einen Sicherheitsaspekt oder eine Art von Schutzeinrichtungen, die für eine ganze Reihe von Maschinen verwendet werden können. Es wurde hier eine weitere Unterteilung vorgenommen in
  - **Typ-B1-Normen** für allgemeine übergeordnete Sicherheitsaspekte  
z.B. sicherheitsrelevante Teile von Steuerungen (DIN EN ISO 13849-1), elektrische Ausrüstung von Maschinen (DIN EN 60204-1) und
  - **Typ-B2-Normen** für spezielle Schutzeinrichtungen  
z.B. Zweihandschaltungen (DIN EN ISO 13851), Lichtschranken (DIN EN 61496-1), Not-Halt-Einrichtungen (DIN EN ISO 13850).
- **Typ-C-Normen** (Fach- oder Produktnormen)  
behandeln detaillierte Sicherheitsanforderungen an eine bestimmte Maschine oder Gruppe von Maschinen, z.B. Bearbeitungszentren (DIN EN ISO 16090-1).

A-Normen richten sich vorzugsweise an die Gestalter von B- und C-Normen. Auch die B-Normen richten sich primär an die Entwickler von C-Normen. Sie können jedoch auch für den Konstrukteur einer Maschine hilfreich sein, wenn keine C-Norm vorliegt.

Grundsätzlich müssen alle Normen des europäischen Normenwerkes für die Sicherheit von Maschinen in die nationale Normung übernommen werden. Für die beispielhaft genannten Normen ist dies bereits erfolgt. Produktnormen können Anforderungen enthalten, die von Grund- oder Gruppennormen abweichen. In diesem Fall hat die Produktnorm die höhere Priorität.

### 2.2.3 Normungsgremien

#### Deutsches Institut für Normung (DIN)

Träger der Normung in Deutschland ist das Deutsche Institut für Normung. Es ist ein eingetragener und als gemeinnützig anerkannter Verein mit Sitz in Berlin. Mitglied können Firmen und Verbände sowie alle an der Normung interessierten Körperschaften, Behörden oder Organisationen werden. Die Arbeitsergebnisse des DIN sind die DIN-Normen.

### Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE)

Historisch bedingt haben sich in Deutschland zwei Organisationen entwickelt, die die Normungsarbeit einerseits auf nichtelektrischen Gebieten (DIN) und andererseits auf dem Gebiet der Elektrotechnik (VDE<sup>1)</sup> ausführen.

Die DKE wurde als gemeinsames Organ des DIN und des VDE gebildet, sie wird juristisch vom VDE getragen und ist gleichzeitig die „elektrotechnische Abteilung“ des DIN. Die Arbeitsergebnisse der DKE sind DIN-Normen. Sie werden zusätzlich als VDE-Bestimmung gekennzeichnet, wenn sie Sicherheitsvorschriften für die Anwendung des elektrischen Stromes enthalten.

### Europäisches Komitee für Normung (CEN)

#### Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC)

Ziel der europäischen Normung ist, bestehende nationale Normen zu harmonisieren und neue regionale Normen zu entwickeln. Die europäischen Normungsgremien sind nicht-staatliche und gemeinnützige Vereinigungen mit Sitz in Brüssel. Die Arbeitsergebnisse sind EN-Normen, die nach unveränderter Übernahme als DIN-EN-Norm geführt werden.

### International Organization for Standardization (ISO)

#### International Electrotechnical Commission (IEC)

ISO und IEC erarbeiten internationale ISO- bzw. IEC-Normen als Empfehlungen, die von den nationalen Normungsgremien der Mitgliedsländer übernommen werden sollen. Deutschland ist Mitglied beider Organisationen. Nach unveränderter Übernahme sind dies die DIN-ISO- oder DIN-IEC-Normen.

## ■ 2.3 Risikobeurteilung und Risikominderung

Aufgrund der Struktur und ihrer Funktion beinhalten Anlagen, Maschinen oder Geräte Risiken. Aufgabe des Konstrukteurs ist es, Gefährdungen durch geeignete Gestaltung und Auswahl von Konstruktionsmerkmalen zu vermeiden. Falls nicht alle Gefährdungen vermieden werden können, sind Schutzeinrichtungen gegen die verbleibenden Gefährdungen zu verwenden. Sollten Schutzeinrichtungen im Einzelfall nicht anwendbar sein, muss das Personal entsprechend unterwiesen sein. Wichtig ist die Reihenfolge der Herangehensweise:



1. Sicher gestalten (inhärent sichere Konstruktion)
2. Sicherheitseinrichtungen vorsehen
3. Personal unterweisen (Benutzerinformationen)

Sicherheitsuntersuchungen gehen davon aus, dass Fehler in sicherheitsrelevanten Anlagenteilen nicht völlig verhindert werden können. Es muss jedoch gesichert sein, dass ein solcher Fehler keine Gefahren verursacht. Deshalb wird betrachtet, ob trotz eines Fehlers

<sup>1)</sup> Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik

die Sicherheit noch gegeben ist, wie groß das Risiko für den Bediener oder die Anlage ist und mit welchen Sicherheitsmaßnahmen das Gefährdungsrisiko auf ein vertretbares Maß reduziert werden kann.

Um die funktionale Sicherheit der Anlage zu gewährleisten, ist es somit notwendig, dass alle sicherheitsrelevanten Teile der Schutz- und Steuereinrichtungen korrekt funktionieren und sich im Fehlerfall so verhalten, dass die Anlage in einem sicheren Zustand bleibt oder in einen sicheren Zustand gebracht wird. Dies wird als *erstfehlersicher* bezeichnet. Je nach Gefährungsgrad müssen unterschiedlich hohe Anforderungen an die Schutzeinrichtungen, deren Überwachung und die Signalverarbeitung gestellt werden. Die Höhe des Gefährungsgrades muss durch eine Risikobeurteilung festgestellt werden.

Dieser Abschnitt soll einen Überblick über den Gesamtprozess von Risikobeurteilung und Risikominderung geben. Ausführlichere Informationen sind in [BÖR21] und [GRÄF07] enthalten.

### 2.3.1 Risikobeurteilung

Die Risikobeurteilung ist eine Folge von Handlungen zur Risikoanalyse und Risikobewertung, die die systematische Untersuchung von Gefährdungen erlaubt. Die DIN EN ISO 12100 beschreibt die zu betrachtenden Risiken und gibt Hinweise zu möglichen Gefährdungen. Sie stellt außerdem den iterativen Prozess zum Erreichen der Sicherheit aus Risikobeurteilung und Risikominderung dar (Bild 2.1).

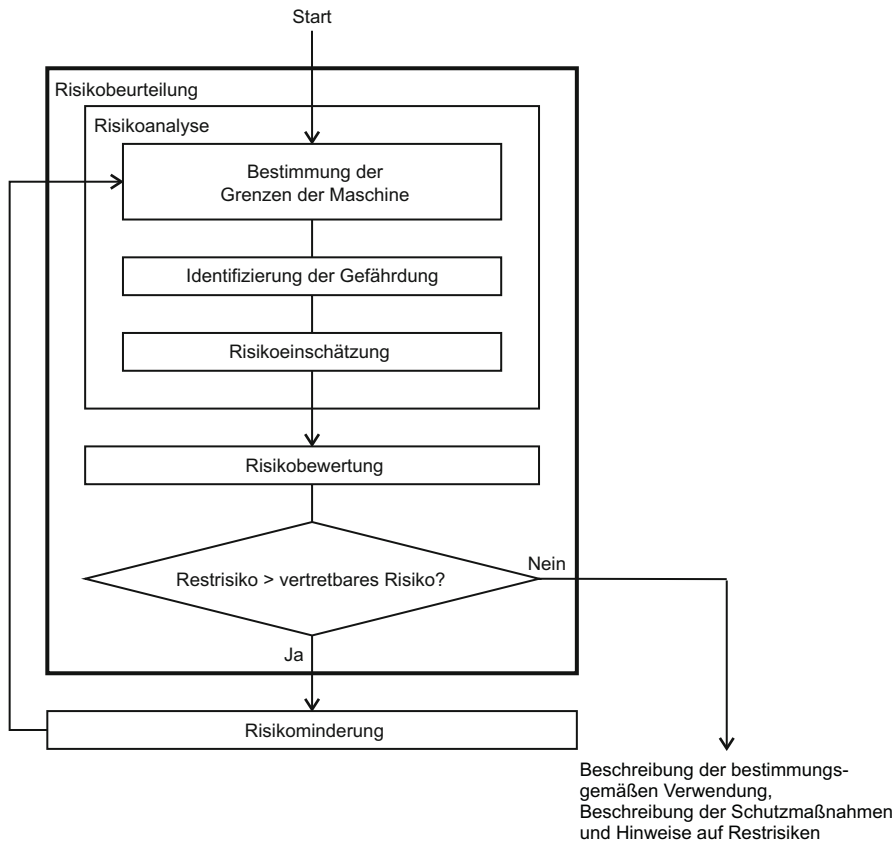
#### Risikoanalyse

Die Risikoanalyse umfasst, bezogen auf die Grenzen der Maschine, die Identifizierung einer möglichen Gefährdung und die Risikoeinschätzung.

Die *Grenzen der Maschine* resultieren aus räumlichen und zeitlichen (Verschleiß-)Grenzen und aus der bestimmungsgemäßen Verwendung, wobei vorhersehbares, willkürliches oder reflexartiges Fehlverhalten in Betracht gezogen werden muss.

Zur *Identifizierung einer Gefährdung* müssen alle Gefahren ermittelt und dokumentiert werden, die im Zusammenhang mit der bestimmungsgemäßen Verwendung der Maschine oder Anlage innerhalb der einzelnen Teilsysteme und an den Schnittstellen zwischen den Systemen auftreten können. Darüber hinaus müssen auch vernünftigerweise vorhersehbare Gefährdungen, Gefährdungssituationen oder Gefährdungsereignisse identifiziert werden, die nicht unmittelbar mit den Aufgaben in Zusammenhang stehen (z. B. Bersten von Hydraulikschläuchen).

Zur *Risikoeinschätzung* werden das Ausmaß des möglichen Schadens und die Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines solchen Schadens untersucht. Diese Wahrscheinlichkeit ist abhängig von Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition, von der Eintrittswahrscheinlichkeit des Gefährdungsereignisses und von der Möglichkeit zur Schadensvermeidung.



**Bild 2.1** Risikobeurteilung

### Risikobewertung

Ergibt sich bei der Risikobewertung, dass das verbleibende Restrisiko größer ist als das größte vertretbare Risiko (Grenzrisiko), muss das Risiko weiter gemindert werden. Gleichfalls ist zu prüfen, ob eine neue Schutzmaßnahme zu neuen Gefährdungen geführt hat.

Ein positives Ergebnis des Risikovergleiches gibt Vertrauen, dass das Risiko hinreichend vermindert wurde. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zusätzliche Maßnahmen auch Zusatzkosten verursachen. Ein minimales Risiko, das natürliche Hintergrundrisiko, wird nicht zu vermeiden sein.

### 2.3.2 Risikominderung

Falls eine Risikominderung (Bild 2.2) notwendig ist, sind unter Beachtung der Hinweise in DIN EN ISO 12100 geeignete Maßnahmen auszuwählen und anzuwenden und die Risikobeurteilung ist zu wiederholen.

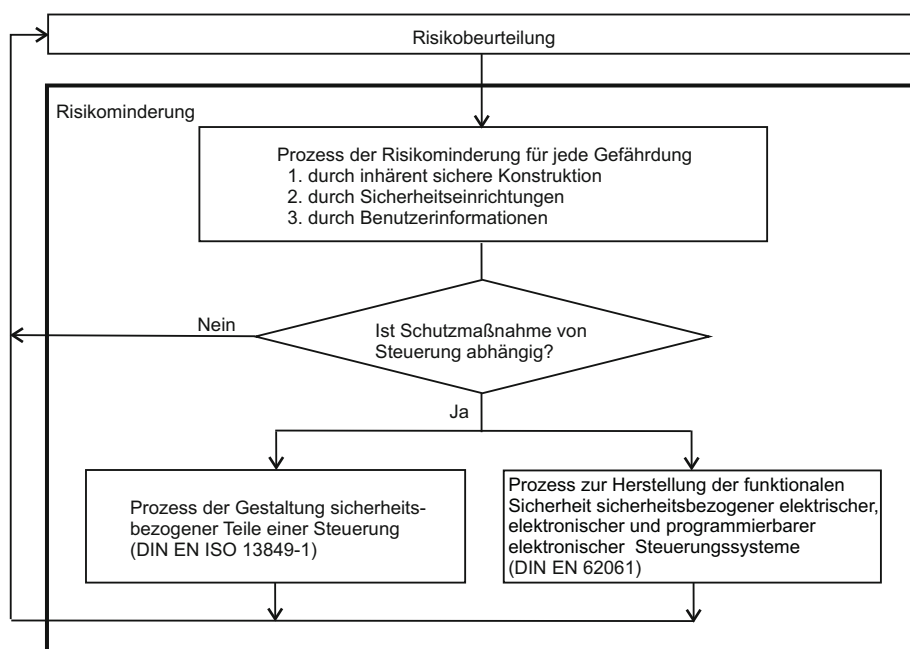
Die zur Minderung des Risikos geeigneten Maßnahmen müssen für alle Gefährdungen und für alle Betriebszustände in nachstehender Prioritätenfolge angewendet werden:

1. konstruktive Maßnahmen (inhärent sichere Konstruktion),
2. technische und ergänzende Schutzmaßnahmen, die das Risiko unter Berücksichtigung der bestimmungsgemäßen Verwendung und der vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendung hinreichend vermindern und für die jeweilige Anwendung geeignet sind (Sicherheitseinrichtungen),
3. Benutzerinformation, die einen Hinweis auf jegliches Restrisiko enthält.

Wird die Risikominderung mit einer *Sicherheitseinrichtung* ausgeführt und ist diese von einer Steuerung abhängig, so kann nach einer von zwei möglichen Methoden vorgegangen werden (Bild 2.2). Grundsätzlich reicht die Anwendung einer der beiden Vorgehensweisen aus.



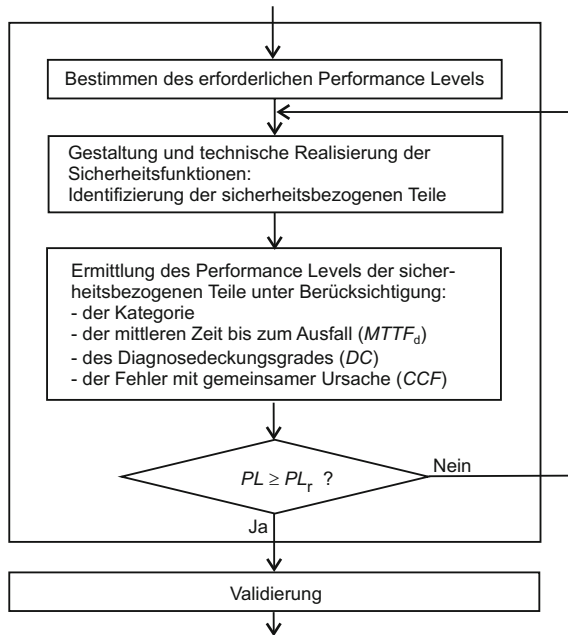
Zahlreiche Hersteller von Betriebsmitteln stellen die Sicherheitskennwerte als Datei in einem nach VDMA 66413 genormten Format bereit. Diese Datei kann zum Beispiel in die Artikeldaten von EPLAN eingelesen werden.



**Bild 2.2** Risikominderung

### Prozess der Gestaltung sicherheitsbezogener Teile einer Steuerung

Diese Methode nach DIN EN ISO 13849-1 [siehe auch BGIA08] ist anwendbar für sicherheitsbezogene Teile einer Steuerung einschließlich elektromechanischer, hydraulischer und pneumatischer Bestandteile, jedoch nur für vorgesehene Architekturen, die im Anhang der Norm angegeben sind (siehe auch Bild 2.6 bis Bild 2.10).



**Bild 2.3** Gestaltung sicherheitsbezogener Teile einer Steuerung

Die Methode beruht auf der Ermittlung eines erforderlichen Performance Levels und dem Vergleich dieses Wertes mit dem Performance Level der Steuerung.



Performance Level der Steuerung ( $PL$ )  $\geq$  erforderlicher Performance Level ( $PL_r$ )

Der *Performance Level* ( $PL$ ) beschreibt die Fähigkeit von sicherheitsbezogenen Teilen einer Steuerung, eine Sicherheitsfunktion unter vorhersehbaren Bedingungen auszuführen und die erwartete Risikominderung zu erfüllen. Der *erforderliche Performance Level* ( $PL_r$ ) ist die Anwendung des Performance Level, um die notwendige Risikominderung für eine Sicherheitsfunktion zu beschreiben.

#### Bestimmen des erforderlichen Performance Levels

Die quantitative Bemessung eines Risikos ist in der Regel schwierig. Ein Risikograph (Bild 2.4) nach DIN EN ISO 13849-1 soll den Entscheidungsprozess unterstützen und bei der Bestimmung des erforderlichen Performance Levels helfen.

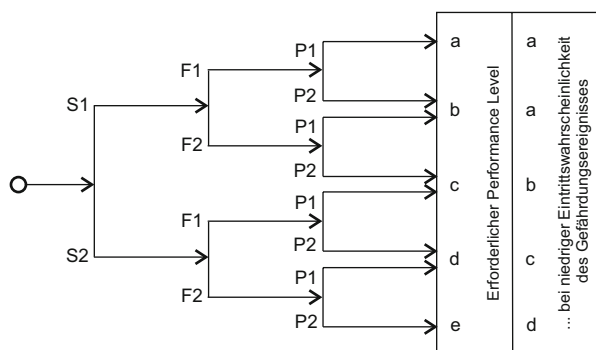


Bild 2.4 Risikograph

Das auf die betrachtete Gefährdung bezogene Risiko beruht auf den Kriterien:

■ **Schwere der Verletzung (S)**

S1 – Leichte, meist reversible Verletzung

S2 – Schwere Verletzung (z.B. Amputation) oder Tod

■ **Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition (F)**

Das Verhältnis zwischen dem Zeitraum der Gefährdungsexposition und der Gesamtbetriebszeit der Anlage ist maßgeblich.

F1 – Gefährdungsexposition selten bis öfter bzw. für kurze Zeit

F2 – Gefährdungsexposition häufig bis dauernd

■ **Möglichkeit der Vermeidung (P)**

Die Entscheidung ist davon abhängig, ob die Gefahr erkennbar ist, wie schnell die Gefährdung eintritt und ob die Bedienung durch Fachpersonal erfolgt.

P1 – Vermeidung unter bestimmten Bedingungen möglich

P2 – Vermeidung nicht möglich

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsereignisses kann aus Zuverlässigkeitsdaten und aus der Unfallgeschichte vergleichbarer Maschinen abgeleitet werden.

Auf der Basis der ermittelten Anforderungen an die Fähigkeit von sicherheitsbezogenen Teilen einer Steuerung, eine Sicherheitsfunktion auszuführen, wird diese im nächsten Schritt gestaltet.

**Gestaltung und technische Realisierung der Sicherheitsfunktionen**

Typische Sicherheitsfunktionen sind z.B. Stoppfunktion, Verhinderung des unerwarteten Anlaufes oder Schutz vor gefährlichen Spannungen. Bei deren Bestimmung müssen unterschiedliche Betriebszustände (Automatik, Einrichten, Tippen) der Maschine und die resultierenden Anforderungen beachtet werden. Im Abschnitt 3.1 werden Hinweise für die Gestaltung von Sicherheitsfunktionen gegeben.