4 Allgemeine Anforderungen

4.1 Allgemeines

Risikobeurteilung notwendig

Die Risiken der Maschine sind entsprechend Anhang I der Maschinenrichtlinie vom Konstrukteur der Maschine zu beurteilen und dieser muss, wenn notwendig, (ergänzende) Schutzmaßnahmen vorsehen.

Nur elektrische Gefährdungen

Aufgrund elektrischer Gefährdungen ist eine Risikobeurteilung entsprechend der DIN EN ISO 12100 [24] durchzuführen. Die möglichen Gefährdungen durch die elektrische Ausrüstung sind entsprechend Anhang I der Maschinenrichtlinie zu prüfen, siehe Tabelle 2.1.

Die Gefährdungen, die von der elektrischen Ausrüstung der Maschine ausgehen können, muss die verantwortliche Elektrofachkraft des Maschinenbauers oder der Lieferant der elektrischen Ausrüstung für eine Maschine beurteilen und, wenn notwendig, hierfür Schutzmaßnahmen vorsehen.

DIN EN 60204-1 (**VDE 0113-1**) enthält ebenfalls Aspekte, die bei einer Risikobeurteilung zu betrachten sind, wie:

- elektrischer Schlag,
- Lichtbogen,
- Auslösung eines Brands,
- Folgen eines Ausfalls oder Fehler in der Steuerung,
- Störung oder Unterbrechung der Stromversorgung,
- Folgen bei Unterbrechung eines Stromkreises,
- Folgen bei elektromagnetischen oder elektrostatischen Einflüssen,
- Folgen bei der Freisetzung von gespeicherter elektrischer Energie,
- Lärm oder Vibration durch die elektrische Ausrüstung,
- heiße Oberflächen.

Manche Anforderungen sind in der Norm nicht konkret festgelegt, also wie eine bestimmte Lösung ausgeführt werden soll, sondern der Fachplaner wird dazu aufgefordert, eine Risikobeurteilung für den speziellen Fall durchzuführen, wie:

5.4	Unterbrechung der Energiezufuhr
6.3	Fehlerschutz beim elektrischen Schlag
9.2.3.3	Stopp-Kategorie
9.2.3.8	Zweihandschaltung
9.2.4.1	Funktionalität der kabellosen Steuerung
9.2.4.2	Wirksamkeit der kabellosen Steuerung
9.2.4.4	Anzeigen der Wirksamkeit der kabellosen Steuerung
9.2.4.8	Rückstellungseinrichtungen für Not-Halt bei kabellosen Steuerungen
9.4.1	Steuerfunktionen
16.2.2	Heiße Oberflächen

Die technische Lösung ist somit abhängig von der speziellen Verwendung der Maschine.

Die elektrische Ausrüstung kann bei der Risikoreduzierung von Gefährdungen, die durch die Maschine entstehen können, behilflich sein. Doch erst einmal ist der Konstrukteur für eine sichere Maschine verantwortlich. Ist eine mechanische inhärente Konstruktion nicht möglich, wird in der Regel eine Verriegelung als technische Schutzmaßnahme benötigt. In solchen Fällen ist vom Konstrukteur der erforderliche Sicherheitslevel (SIL oder PL) der Verriegelung zu ermitteln. Der Fachplaner der elektrischen Ausrüstung (entweder die verantwortliche Elektrofachkraft des Maschinenbauers oder der Lieferant der elektrischen Ausrüstung) kann aus seinem Produktspektrum die notwendige Sensorik, Steuerung und Aktorik auswählen und in Abhängigkeit von der Verwendung die entsprechenden Systeme aussuchen. **Bild 4.1** zeigt die Verantwortlichkeiten bei einer Risikobeurteilung für eine Maschine.

DIN ISO/TR 22100 [25] enthält z. B. Angaben, wie die Anwendung der Norm DIN EN ISO 12100 in Abhängigkeit von der DIN EN ISO 13849-1 ablaufen soll.

Wichtig ist dabei, dass vom Maschinenplaner alle Daten an den Fachplaner der elektrischen Ausrüstung geliefert werden, im Hinblick darauf, unter welchen Bedingungen die beabsichtigte Sicherheitssteuerung mit welchem Sicherheitslevel (SIL/PL) funktionieren soll. Der Fachplaner für die elektrische Ausrüstung ermittelt in der Regel nicht den Sicherheitslevel für eine „nicht elektrische“ Schutzmaßnahme.

Das Niveau der reduzierten Gefahr wird durch die Institutionen, die bei der Planung, Abnahme und dem Betrieb einer Maschine beteiligt sind, festgelegt. Deshalb spricht man auch von einem „von der Gesellschaft akzeptierten Restrisiko“.

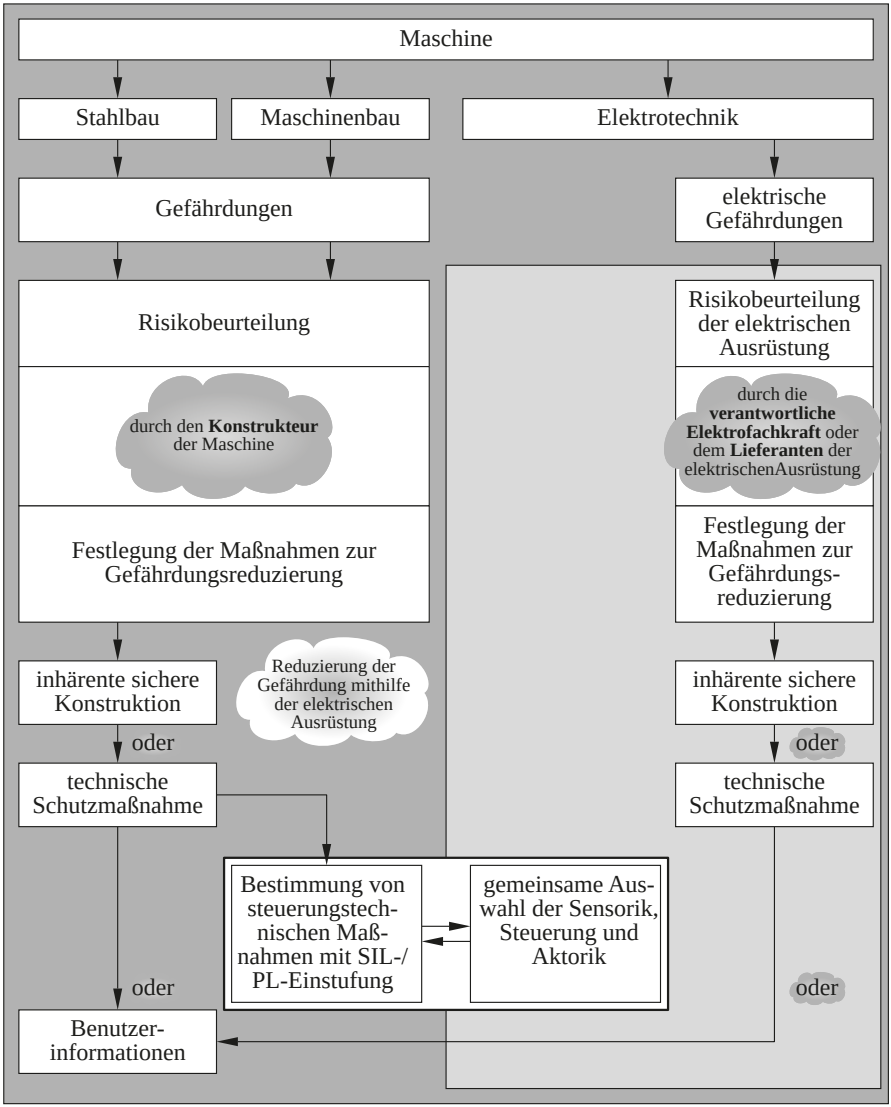

Bild 4.1 Verantwortlichkeiten bei einer Risikobeurteilung einer Maschine

Doch wer ist diese Gesellschaft? Die Gesellschaft, die das Limit des akzeptierten Restrisikos festlegen kann, wird möglicherweise aus den am Herstellungsprozess und der Nutzung einer Maschine beteiligten Institutionen gebildet, wie z. B.:

- Hersteller,
- Sachverständige,
- Technischer Überwachungsverein,
- Berufsgenossenschaften,
- Normungsinstitute,
- Prüfinstitute.

Werden also durch die Risikobeurteilung Gefahren erkannt, die über das „von der Gesellschaft akzeptierte Restrisiko“ hinausgehen, müssen (weitere) Schutzmaßnahmen zur Absenkung von Gefahren vorgesehen werden. Ein 0-Risiko kann eigentlich nicht erreicht werden, somit muss also immer ein bestimmtes Restrisiko einer Gefahr in Kauf genommen werden.

DIN EN ISO 12100 enthält drei Methoden zur Reduzierung einer Gefährdung:

- ***inhärent sichere Konstruktion***
  Schutzmaßnahme, die entweder Gefährdungen beseitigt oder die mit den Gefährdungen verbundenen Risiken vermindert, indem ohne Anwendung von trennenden oder nicht trennenden Schutzeinrichtungen die Konstruktions- oder Betriebseigenschaften der Maschine verändert werden;
  Anmerkung 1: Diese Phase ist die einzige, in der Gefährdungen beseitigt werden können. Dadurch erübrigt sich die Notwendigkeit für zusätzliche Schutzmaßnahmen wie technische Schutzmaßnahmen oder ergänzende Schutzmaßnahmen.
- ***technische Schutzmaßnahme***
  Schutzmaßnahme, bei der Schutzeinrichtungen zur Anwendung kommen, um Personen vor Gefährdungen zu schützen, die durch inhärent sichere Konstruktion nicht in angemessener Weise beseitigt werden können, oder vor Risiken zu schützen, die dadurch nicht ausreichend vermindert werden können;
- ***Benutzerinformation***
  Schutzmaßnahme, die aus Kommunikationselementen besteht (z. B. Texte, Wörter, Zeichen, Signale, Symbole, Diagramme), die einzeln oder gemeinsam verwendet werden, um Informationen an den Benutzer weiterzugeben.
  Anmerkung 2: Angemessene Schutzmaßnahmen für jede Betriebsart und jedes Eingriffsverfahren verringern die Möglichkeit, dass sich Bedienpersonen dazu verleiten lassen, im Fall von technischen Schwierigkeiten gefährliche Eingriffsmethoden anzuwenden.

Bei der Risikobeurteilung sind folgende Aspekte zu betrachten:

- **bestimmungsgemäße Verwendung**

  Bei der Risikobeurteilung sind zuerst die Gefährdungen zu bewerten, die bei der bestimmungsmäßigen Verwendung bestehen oder entstehen können.
- **vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung**

  In einem weiteren Schritt sind auch mögliche Gefährdungen zu betrachten, die durch eine vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung entstehen können. DIN EN ISO 12100 beschreibt diese wie folgt:

  > *Verwendung einer Maschine in einer Weise, die vom Konstrukteur nicht vorgesehen ist, sich jedoch aus dem leicht vorhersehbaren menschlichen Verhalten ergeben kann.*

- **Manipulationsanreize**

  Viele Unfälle mit Maschinen entstehen häufig durch manipulierte Schutzeinrichtungen. Der Wunsch nach Manipulation wird meistens durch nicht akzeptierte Schutzeinrichtungen oder durch unangenehme Bedienung provoziert. Folgende Gründe führen meistens zu einem Manipulationsanreiz [26]:

  – *Bequemlichkeit,*
  – *Erleichterung der Arbeit,*
  – *schnelleres Arbeiten,*
  – *Produktionssteigerung,*
  – *Zeit-/Leistungsdruck,*
  – *schlechte Ergonomie,*
  – *Erleichterung von Betriebsarten,*
  – *Ignoranz/Risikounterschätzung,*
  – *Gefahrenunkenntnis,*
  – *organisatorische Hemmnisse.*

  Damit bei der Planung an den richtigen Stellen die Manipulationsmöglichkeiten verhindert werden, helfen die von der DGUV ausgewerteten Manipulationen. Danach werden folgende Schutzeinrichtungen am häufigsten manipuliert:

- *Positionsschalter,*
- *Verkleidungen,*
- *Zuhaltungen,*
- *Abdeckungen,*
- *Umzäunungen,*
- *Abschirmungen,*
- *Zweihandschaltungen,*
- *Lichtschranken.*

Von der Industrie werden schwer manipulierbare Schutzeinrichtungen angeboten, deren Manipulation nicht einfach ist.

Überprüfung der vorgesehenen Schutzmaßnahme

Ob durch die vorgesehene Schutzmaßnahme das Risiko ausreichend reduziert wurde, muss durch eine Wiederholung der Risikobeurteilung unter Berücksichtigung der bei der ersten Risikobeurteilung ermittelten Schutzmaßnahme für die entsprechende Gefährdung überprüft werden. Ist das Restrisiko durch die Schutzmaßnahme niedrig genug, gilt die vorgesehene Schutzmaßnahme als ausreichend.

4.2 Auswahl der elektrischen Ausrüstung

4.2.1 Allgemeines

Die Auswahl der einzelnen elektrotechnischen Betriebsmittel muss immer unter Berücksichtigung der Einsatzbedingungen am Verwendungsort erfolgen. Im Besonderen sind die Anforderungen an die Einsatzbedingungen aus Abschnitt 4.4 (Physikalische Umgebungs- und Betriebsbedingungen) zu berücksichtigen.

Zusätzlich müssen ggf. weitere Anforderungen, die sich aus der Checkliste des Anhangs B ergeben können, berücksichtigt werden. Alle Betriebsmittel sollten nach den hierfür vorgesehenen Normen hergestellt sein. Der Nachsatz „… *soweit solche existieren* … “ deutet an, dass sicher nicht für jedes Produkt entsprechende Produktnormen auf IEC- oder EN-Ebene vorhanden sind. Dann kann sich der Hersteller selbstverständlich auch an nationalen Normen oder Werksnormen orientieren. Entscheidend ist das positive Ergebnis einer Risikobeurteilung. Auf jeden Fall müssen bei der Implementierung der Komponenten und Betriebsmittel in die elektrische

Ausrüstung der Maschine die Angaben der jeweiligen Produkthersteller für deren bestimmungsgemäßen Gebrauch beachtet werden.

4.2.2 Schaltschrankkombinationen

Die Ausführung von Schaltschränken für Maschinen wird maßgeblich von den Anforderungen der DIN EN 60204-1 (**VDE 0113-1**) bestimmt. Zusätzlich sollten die grundsätzlichen Anforderungen der Normenreihe DIN EN 61439 (**VDE 0660-600**), soweit zutreffend, berücksichtigt werden.

Erwärmungs- und Kurzschlussprüfung bei Unikaten?

Insbesondere die Anforderungen an die Erwärmungs- und Kurzschlussprüfung sind für Einzelanfertigungen (Unikate) problematisch. Da eine Erwärmungsprüfung der Schaltschränke einer einzeln hergestellten Maschine in der Regel vor der Inbetriebnahme nicht durchgeführt werden kann, sollte eine detaillierte Verlustwärmekalkulation von allen im Schaltschrank eingebauten Betriebsmitteln einschließlich deren Gleichzeitigkeit vorgenommen werden. Zur Erfüllung der Anforderungen an eine Kurzschlussprüfung sollten Referenzlösungen von kurzschlussfesten Ausführungen verwendet werden.

Die Normenreihe DIN EN 61439 (**VDE 0660-600**) umfasst folgende Teile, siehe **Tabelle 4.1**:

Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen	
DIN EN IEC 61439-1 (**VDE 0660-600-1**)	Allgemeine Festlegungen
DIN EN IEC 61439-2 (**VDE 0660-600-2**)	Energie-Schaltgerätekombinationen
DIN EN 61439-3 (**VDE 0660-600-3**)	Installationsverteiler für Bedienung durch Laien
DIN EN 61439-4 (**VDE 0660-600-4**)	Besondere Anforderungen an Baustromverteiler
DIN EN 61439-5 (**VDE 0660-600-5**)	Schaltgerätekombinationen in öffentlichen Energieverteilernetzen
DIN EN 61439-6 (**VDE 0660-600-6**)	Schienenverteilersysteme
DIN EN 61439-3 (**VDE 0660-600-7**)	Schaltgerätekombinationen für bestimmte Anwendungen wie Marinas, Campingplätze, Ladestationen für Elektrofahrzeuge

Tabelle 4.1 Liste der Teile der Normenreihe DIN EN 61439 (**VDE 0660-600**)

DIN EN IEC 61439-1 (**VDE 0660-600-1**) [17] enthält generelle Anforderungen an Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen. Alle weiteren Teile der Normenreihe

legen in Abhängigkeit von ihrem Anwendungsbereich abweichende oder ergänzende Anforderungen zu Teil 1 fest. Deshalb ist Teil 1 auch nicht unter der EU-Niederspannungsrichtlinie gelistet.

Insbesondere DIN EN IEC 61439-2 (**VDE 0660-600-2**) [27] legt Anforderungen an den Zusammenbau von Schaltgeräten und Betriebsmitteln fest, wie sie im Allgemeinen bei Maschinen eingesetzt werden.

Da sowohl die DIN EN 60204-1 (**VDE 0113-1**) als auch die DIN EN IEC 61439-2 (**VDE 0660-600-2**) unter der EU-Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG gelistet sind, kann für Schaltschränke, die unter Berücksichtigung dieser Normen hergestellt wurden, die Konformitätserklärung vom Hersteller ausgestellt und das CE-Kennzeichen angebracht werden. Dieses CE-Kennzeichen gilt entsprechend der EU-Maschinenrichtlinie dann jedoch nicht für die Konformität der gesamten Maschine.

4.3 Stromversorgung

Dieser Abschnitt macht Angaben über die Eigenschaften des speisenden Netzes. Im Grundsatz orientiert er sich an der DIN IEC 60038 (**VDE 0175-1**) [28]. Die festgelegten Werte und Toleranzen dienen der Planungssicherheit beider Partner (Hersteller und Betreiber der Maschine). Der Betreiber weiß, dass er eine ordnungsgemäß funktionierende Maschine bekommt, wenn sein Netz diese oder entsprechend vereinbarte Eigenschaften einhält. Der Hersteller kennt im Vorhinein die Netzeigenschaften, auf die er seine Ausrüstung auslegen muss, und braucht nicht mit unerwarteten exotischen Netzverhältnissen zu rechnen, die unter Umständen die ordnungsgemäße Funktion seiner elektrischen Ausrüstung beeinträchtigen.

4.3.1 Allgemeines

Die Formulierung „… *unter den Verhältnissen der Stromversorgung* … “ bezieht sich auf die Netzanschlussstelle der Maschine, also praktisch die Netzseite der Netztrenneinrichtung. Spannungsfälle innerhalb der Installation der Maschine müssen gesondert betrachtet werden.

Die elektrische Ausrüstung muss in den vereinbarten Grenzen fehlerfrei arbeiten können. Es wird unterschieden zwischen einer

- Wechselstromversorgung (Abschnitt 4.3.2) oder einer
- Gleichstromversorgung (Abschnitt 4.3.3) oder einem
- besonderen Stromversorgungssystems (Abschnitt 4.3.4).

Werden beim Ausfüllen des Fragebogens aus Anhang B andere Grenzen mit dem Betreiber vereinbart (entsprechend Abschnitt 4.3.4), so muss dies in konkreten Werten vertraglich festgelegt werden. Dabei können auch besondere Bedingungen des Stromversorgers festgelegt werden, wie z. B. bei einer Bordstromversorgung.

1. Fall: Es wird zwischen den Partnern nichts Besonderes vereinbart.

Dann gelten die in Abschnitt 4.3.2 für Wechselstromversorgungen bzw. in Abschnitt 4.3.3 für Gleichstromversorgungen festgelegten Eigenschaften. Diese Verhältnisse dürften zumindest bei stationärem Einsatz in Netzen mit hoher Leistungsdichte der Normalfall sein. Hier darf mit stabilen Dauerbetriebsspannungen gerechnet werden. Die meisten Maschinen, die in den Geltungsbereich dieser Norm fallen, dürften in Niederspannungsnetzen mit eigener Transformatorenstation oder in der Nähe solcher Stationen zum Einsatz kommen. Mit Umstellern am Transformator kann das Verhältnis der Dauerbetriebsspannung zur Nennspannung optimiert werden. Das ist vor allem von Bedeutung, wenn Spannungsfälle im stationären Betrieb nahe der Grenze von 5 % innerhalb der elektrischen Ausrüstung auftreten.

Bei Serienmaschinen, bei deren Herstellung die Netzverhältnisse am endgültigen Einsatzort noch nicht bekannt sind, wird sich der Maschinenhersteller in jedem Fall an diesen Festlegungen orientieren. Dies sollte dann aber auch in der Produktdokumentation bzw. den Katalogdaten eindeutig dokumentiert werden.

2. Fall: Es liegen von Abschnitt 4.3.2 bzw. Abschnitt 4.3.3 abweichende Bedingungen vor, die eine Abstimmung zwischen Betreiber und Hersteller notwendig machen.

Bei Lieferungen in Regionen mit schwachen Netzen (geringe Leistungsdichte, lange Leitungen) sind größere Schwankungen mit schädlichen Auswirkungen auf die Ausrüstung zu erwarten. Daher der Hinweis auf den Fragebogen in Anhang B, wobei Größe, Häufigkeit und Dauer der Schwankungen zu klären sind. Im Prinzip ist hier der Betreiber in der Pflicht, spätestens bei der Bestellung darauf hinzuweisen, dass seine Netzverhältnisse von der Norm abweichen.

Allerdings hat auch der Hersteller ein erhebliches Interesse daran, die Netzverhältnisse möglichst schon während des Angebotsstadiums zu erfahren. Denn eine Abweichung von der Norm kann zusätzliche Maßnahmen erfordern, insbesondere bei der Dimensionierung von Motoren und Leitungen.

3. Fall: Die Maschine wird nicht an ein vorhandenes Netz angeschlossen, sondern die Energieversorgung ist in die elektrische Ausrüstung der Maschine integriert.

Dies ist häufig bei fahrbaren Maschinen der Fall (siehe hierzu den Kommentar zu Abschnitt 4.3.4). In diesem Fall liegt dann die Verantwortung sowohl für die Stromversorgungsqualität als auch für die ordnungsgemäße Funktion und Anwendung der elektrischen Ausrüstung in einer Hand, nämlich beim Lieferanten der Maschine.

4.3.2 Wechselstromversorgung

Spannung

Die Spannung der Stromversorgung darf innerhalb der Toleranzen von 0,9 bis 1,1 von der Bemessungsspannung abweichen. Innerhalb dieser Spannungstoleranz muss die Maschine fehlerfrei arbeiten.

Frequenz

Die Frequenz der Stromversorgung einer Maschine darf von der Bemessungsfrequenz abweichen, und zwar:

- zwischen 0,99 und 1,01 dauernd und
- zwischen 0,98 und 1,02 kurzzeitig.

Als „kurzzeitig“ kann eine Zeit von mehreren Minuten angesehen werden.

Berücksichtigung der Spannungs- und Frequenztoleranzen bei der Projektierung

Diese Festlegungen sind schon häufig falsch verstanden worden. Sie wurden dahingehend interpretiert, dass jedes Betriebsmittel, das in einer Maschine eingesetzt wird, seine Nenndaten bei den hier angegebenen Randbedingungen garantieren muss. Das ist nicht gemeint. Nicht alle Betriebsmittel garantieren ihre Bemessungsdaten bei den oben genannten Toleranzen. Es handelt sich bei der DIN EN 60204-1 (**VDE 0113-1**) nicht um eine Norm, die Anforderungen an einzelne Betriebsmittel festlegt, sondern um eine Norm für die Anwendung dieser einzelnen Betriebsmittel auf Maschinen. Das Ziel ist, die Funktionsfähigkeit der Maschine sicherzustellen. Deswegen heißt der einleitende Satz in Abschnitt 4.3.1: „*Die elektrische Ausrüstung muss so ausgelegt sein, dass sie … fehlerfrei arbeitet*“, d. h., dass der Planer der elektrischen Ausrüstung für eine Maschine seine Betriebsmittel so aussuchen und dimensionieren muss, dass innerhalb der angegebenen Bedingungen des Netzanschlusses ein fehlerfreies Arbeiten der Maschine garantiert werden kann.

Beispiel:

Bei Drehstrom-Normmotoren werden die Nenndaten üblicherweise nur bis zu einer Unterspannung von 95 % der Bemessungsspannung garantiert, siehe **Bild 4.2**. Der Fachplaner muss einen Antriebsmotor so auswählen, dass er bei den in Abschnitt 4.3.2 angegebenen Spannungs- und Frequenztoleranzen und dem Spannungsfall auf den Leitungen (s. a. Abschnitt 12.5) die benötigte Leistung noch einwandfrei abgeben kann. Gegebenenfalls muss der Motor größer dimensioniert werden, damit bei den auftretenden Unterspannungen ein fehlerfreier Betrieb möglich ist. Sehr häufig ist jedoch ein Motor aufgrund der Baugrößenabstufungen, bezogen auf die tatsächlich erforderlichen Drehmomente und Leistungen, ohnehin schon überdimensioniert. In dem Fall ist es wahrscheinlich nicht notwendig, einen größeren Motor auszuwählen, sinngemäß gilt das Gleiche auch für die vereinbarten Toleranzen der Fälle 2 und 3.

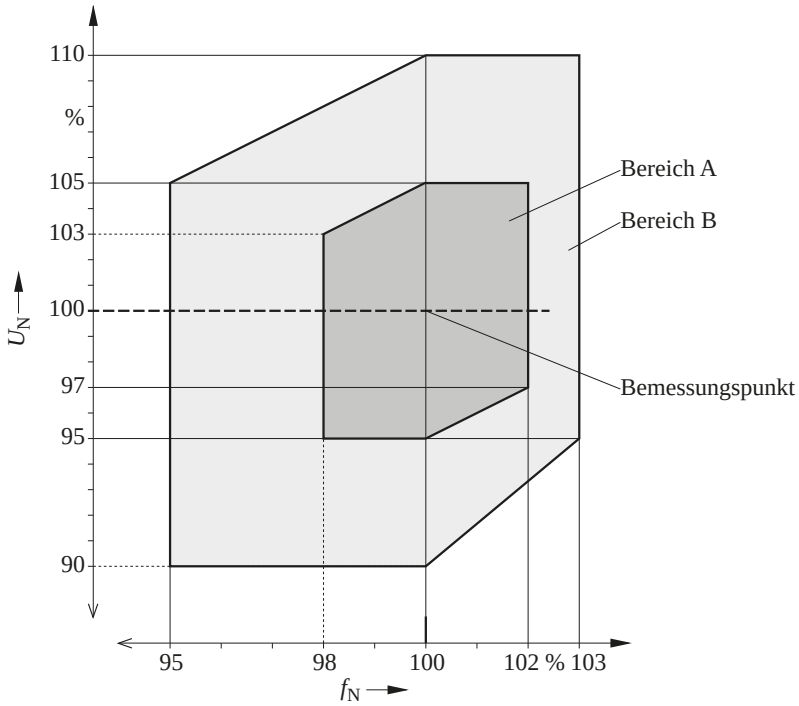

Bild 4.2 Gegenseitige Abhängigkeiten von Spannungs- und Frequenztoleranzen bei Motoren

Die zulässigen Toleranzen sind immer als Kombination von Toleranzen der Spannung und Toleranzen der Frequenz zu betrachten. Insbesondere für Motoren sind die gegenseitigen Abhängigkeiten von Spannungs- und Frequenztoleranzen entsprechend DIN EN 60034-1 (**VDE 0530**) [29] zu beachten.

Bereich A gilt für den Dauerbetrieb und Bereich B für einen kurzen Zeitraum von Wechselstrommotoren. Bei Gleichstrommotoren gelten die Bereiche A und B nur für die Spannungsgrenzen.

Oberschwingungen

Durch den vermehrten Einsatz von Umrichtern in Niederspannungsnetzen sind die Netze der Energieversorger bereits mit Oberschwingungen beaufschlagt. In der Regel wird auf die Installation von Einrichtungen zur Oberschwingungskompensation innerhalb der elektrischen Ausrüstung einer Maschine verzichtet.

Zugelassen ist eine Verzerrung der Sinusform der Spannung der Stromversorgung von 12 % aus der Summe aller Oberschwingungen, und zwar von der zweiten bis zur dreißigsten.

Spannungsunsymmetrie

Die Spannungssymmetrie muss vom Stromversorger sichergestellt werden. Spannungsveränderungen durch Unsymmetrie dürfen die Grenzen der gesamten Spannungstoleranzen nicht ausweiten. Eine Unsymmetrie der Spannung zwischen den Außenleitern des Drehstromsystems darf 2 % nicht überschreiten, siehe **Bild 4.3**.

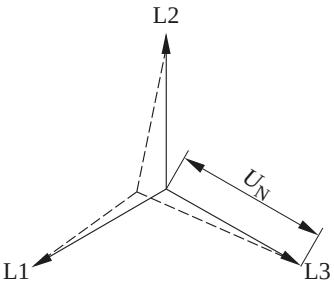

Bild 4.3 Spannungserhöhung/-reduzierung durch Asymmetrie

Spannungsunterbrechung

Eine Spannungsunterbrechung wird innerhalb einer Periode der Wechselspannung betrachtet und darf nicht länger als 3 ms dauern, siehe **Bild 4.4**. Eine weitere Unterbrechung darf der ersten Unterbrechung erst nach 1 s folgen. Das bedeutet, dass bei einer 50-Hz-Spannung erst nach 50 Perioden wieder eine Unterbrechung folgen darf.

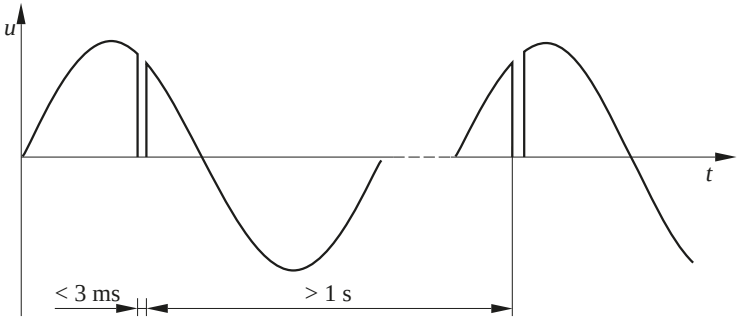

Bild 4.4 Spannungsunterbrechung innerhalb einer Periode

Spannungseinbrüche

Spannungseinbrüche sind erhebliche Abweichungen von den zulässigen Toleranzen der Bemessungsspannung und deshalb wegen ihrer Auswirkungen wie Spannungsunterbrechungen zu betrachten. Doch darf ein Spannungseinbruch von max. 20 % der Bemessungsspannung nur innerhalb einer Periode auftreten. Nach einem Spannungseinbruch darf der nächste Spannungseinbruch erst wieder nach 1 s auftreten, siehe **Bild 4.5**.

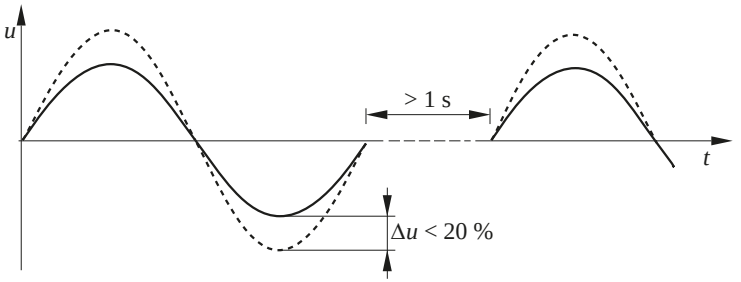

Bild 4.5 Amplitudenabsenkung innerhalb einer Periode