

## 4.3 Gefahrstellen

Gefahrstellen, die wichtigsten und häufigsten mechanischen Gefahren, entstehen durch bestimmte Konfigurationen geführter Gegenstände, die sich aufgrund gespeicherter kinetischer Energie oder von außen zugeführter Antriebsenergie in festgelegten Bahnen bewegen und dabei Menschen gefährden können. Aus Gefahren ergeben sich Gefährdungen, wenn energiebehafte Bewegungen, die zur Erfüllung technologischer Funktion herangezogen werden, sich nicht, wie eigentlich vorgesehen, auf den Arbeitsgegenstand, sondern ungewollt auf den Menschen auswirken. So betrachtet, ist ein Unfall an einer Gefahrstelle ein ungeplantes, unkontrolliertes Einwirken mechanischer Energie auf den Menschen. Die Möglichkeit dazu besteht vor allem dann, wenn sich Gefahrstellen im Arbeitsbereich einer Maschine befinden und Personen sie unmittelbar erreichen können.

### 4.3.1 Grundtypen von Gefahrstellen

Zu Unfällen kommt es beim räumlichen und zeitlichen Zusammentreffen von Personen mit gefahrbringenden Bewegungen der Gefahrstellen. Aufgrund der auf den Körper einwirkenden Kräfte, der höheren Festigkeitswerte und des geringen Verformungsvermögens der bewegten Maschinenteile kommt es beim Zusammentreffen mindestens zu einer der nachfolgenden Wirkungen auf den Körper:

- Abdrängen oder Wegschieben
- elastischen oder plastischen Verformungen
- Eindringen von Gegenständen.

Ob und wie diese äußeren Belastungen Personen letztlich beanspruchen oder gar gefährden, hängt im starken Maße von der Wirkrichtung und Größe der Kräfte ab.

Bewegte Teile, die den Körper tangieren und deren Kräfte entlang der Oberfläche des Körpers wirken, verursachen meistens keine tiefe Wunden. Verletzungen sind meist weniger ernsthaft, es sei denn, es handelt sich um großflächige Verletzungen oder um Einwirkungen größerer Kräfte. Sie können zu Ablederungen führen, Gliedmaßen ausreißen oder gar Menschen mitreißen.

Quer bzw. senkrecht zur Körperoberfläche wirkende Kräfte können nicht nur die Oberfläche sichtbar schädigen, sondern auch innere Organe in Mitleidenschaft ziehen. Hohe Flächenpressungen führen zu Quetschwunden, hohe Normalkräfte zu Knochenbrüchen oder zu Verletzungen innerer Organe.

Beliebig zur Körperoberfläche ausgerichtete Kräfte oder Drehmomente, führen zu besonders schweren und komplizierten Verletzungen, von schweren Quetschungen bis zum Abdrehen von Körperteilen.

Neben kinematischen Parametern bewegter Teile bestimmt noch die geometrische Form ihrer Wirkfläche die Ausprägung der Gefahrstellen. Hier wird unterschieden zwischen punkt- und linienförmigen Berührungen bzw. ebenen und gekrümmten flächigen Berührungen.

Das Wirkprinzip, die Wirkrichtung zum Körper und die geometrische Form der Wirkfläche bewegter Gegenstände charakterisieren neun Grundtypen mechanischer Gefahrstellen: Stoßstellen, Quetschstellen, Scherstellen, Schneidstellen, Stichstellen, Reibstellen, Fangstellen, Einzugstellen und Auflaufstellen. Zu Gefahrstellen werden auch unter hohem Druck austretende Flüssigkeiten gezählt. Diese Grundtypen mechanischer Gefahrstellen sind im Bild 4.3-1 zusammengestellt und die sie charakterisierenden Größen und Parameter aufgelistet. Die nächsten Abschnitte gehen auf sie näher ein.

**Gefährdungsparameter.** Gefährdungsparameter bzw. deren Ausprägung charakterisieren und kennzeichnen einerseits Gefahrstellen und deren Wirkung, beeinflussen andererseits den Verletzungsmechanismus. Sie lassen sich in zwei Gruppen unterteilen, in gegenstand- und menschbezogene Kenngrößen.

Zu den gegenstandbezogenen Kenngrößen gehören die Makrogeometrie der Gegenstände, wie z. B. ihre Form und Größe, Mikrogeometrie ihrer Wirkfläche, wie z. B. ihre Oberflächenrauigkeit, Kinematik gefahrbringender Bewegungen, wie z. B. ihre Richtung und Geschwindigkeit, dynamische Parameter, wie z. B. die Größe der Kraft und das Energieniveau sowie Werkstoffparameter, wie z. B. Nachgiebigkeit (Verformungsvermögen) und Härte der Wirkflächen oder Reibungsbeiwerte usw.











Gefahrstellen								
Wirkung	Wirkrichtung	Wirkfläche	Grundtypen	Beispiele	Gefährdung durch	Gefährdungsparameter	typische Verletzungen	
1	2	3	Nr.	4	5	6	7	
Wegschieben	Verformen	Punkt	1	<b>Stoßstellen</b> 	Maschinenschlitten, umlaufende Handkurbeln	Stumpfe Teile die sich senkrecht zum Körper bewegen und ihn stoßen oder schlagen können.	Geschwindigkeit der Wirkbewegung, Stoßweg, Einwirkzeit, Form- und Größe der Wirkfläche, Größe der Kraft	Prellungen, Quetschungen, Quetschwunden, geschlossene Wunden, innere Verletzungen, Knochenbrüche
		ebene Fläche	2	<b>Quetschstellen</b> 	Presswerkzeuge, Kipphebel, Abkant-, Verform- und Tiefziehwerkzeuge, Teile von Spritzgießformen, Pressbalken	Teile die sich gegeneinander oder gegen feste Teile so bewegen, dass ihr kleinster Abstand geringer ist als der Platzbedarf des Körpers oder seiner Teile.	Geschwindigkeit der Wirkbewegung, Endabstand, Einwirkzeit, Form, Größe und Platzbedarf der Wirkfläche, Größe der Kraft	Prellungen, Quetschungen, Platzwunden, geschlossene Wunden, Zerreißen, Knochenbrüche
Trennen	quer zum Körper	Linie	3	<b>Scherstellen</b> 	Stanzwerkzeuge, Speichenräder, Scheren, Hebelmechanismen, Zerkleinerungs- und Transportschnecken	Teile die sich so eng gegeneinander oder an anderen Teilen vorbeibewegen, dass Körperteile zwischen Kanten der Teile fixiert und gesichert werden.	Geschwindigkeit der Wirkbewegung, Scherweg, Einwirkzeit, Form- und Größe der Wirkfläche, Größe der Kraft, Scherwinkel	Quetschungen, Amputationen
			4	<b>Schneidstellen</b> 	scharfe Kanten, Schneidwerkzeuge, Sägen, Bandmesser, Messerwalzen, Kreismesser, Papierbahnen	Teile, deren Geometrie es erlaubt, Körperteile entlang einer Linie zu trennen oder Körperoberflächen z.B. durch Schaben zerstören können.	Geschwindigkeit der Relativbewegung, Schneidweg, Einwirkzeit, Winkel, Rundung und Länge der Schneide	Hiebwunden, Schnittwunden, Amputationen
		Punkt	5	<b>Stichstellen</b> 	Nadeln, Heftklammern	Feststehende oder bewegte spitze Gegenstände, die die Haut durchstoßen und in den Körper eindringen können.	Geschwindigkeit der Relativbewegung, Stichweg, Einwirkzeit, Winkel, Rundung und Länge der Spitze	Stichwunden, penetrierende Wunden
Verformen	längs zum Körper	gekrümmte Fläche	6	<b>Reibstellen</b> 	raue Oberflächen, Schleifwerkzeuge	Feststehende oder bewegte Teile, deren Oberfläche sich für den Körper wie Schneiden mit undefinierter Schneidengeometrie auswirken.	Geschwindigkeit der Relativbewegung, Größe der Normalkraft, Oberflächenrauigkeit, Reibungsbeiwert, Mikrogeometrie der Schleifkörner	Hautabschürfungen, Schürfwunden, Risswunden, Ablederungen, Verbrennungen
			7	<b>Fangstellen</b> 	Wellenenden, glatte Wellen, Wellen mit Passfedern, Keilen, Stellschrauben, Kupplungen, rotierende Werkzeuge, Hand- und Stellräder	Rotierende Teile, die reibschlüssig (Seilreibung) oder formschlüssig (Haare, Kleidungsstücke oder Körperteile mitreißen können.	Drehzahl, Umfangsgeschwindigkeit, Wellenradius, Reibungsbeiwert, Oberflächenrauigkeit, und -zustand (trocken, nass, verölt). Breite der Wirkfläche, Vorsprünge	Skalpierungen, Ablederungen, innere Verletzungen, Knochenbrüche, Ausreißen von Körperteilen
Verformen	beliebige Richtung zum Körper	ebene Fläche	8	<b>Einzugstellen</b> 	Reibgetriebe, Zahnradgetriebe, Zerkleinerungswalzen, Teig-Ausrollwalzen, Farb- und Feuchtwalzen, Druckzylinder, Kalandrier	Teile, die sich so gegeneinander oder gegen feste Teile bewegen, dass ein Einzugsspalt entsteht, in dem Körperteile zuerst erfasst und dann gequetscht werden.	Walzenradien, Reibungsbeiwert, Oberflächenrauigkeit und -zustand (trocken, nass, verölt), Abstand der Oberflächen, Spaltbreite, Öffnungswinkel	Ablederungen, Quetschungen, Zerreißen, Knochenbrüche, Verbrennungen
			9	<b>Aufaufstellen</b> 	Riementreibe, Kettentreibe, Transportbänder	Einzugsspalt zwischen festen, rotierenden und flexiblen, auflaufenden Teilen, in dem Körperteile zuerst erfasst, dann gequetscht und mitgerissen werden.	Walzenradius, Reibungsbeiwert, Oberflächenrauigkeit und -profil (Nuten), Öffnungswinkel, Profil und Nachgiebigkeit des Hüllteiles, Umschlingungswinkel	Quetschungen, Knochenbrüche, Amputationen, Abdrehen von Körperteilen
Trennen		Punkt	10	<b>Hochdruckflüssigkeitsstrahl</b> 	undichte Flanschverbindungen, perforierte Schläuche, Düsen für die Hochdruckwasserbearbeitung	Flüssigkeitsstrahl, dessen Staudruck die Haut durchstoßen, Medien in den Körper injizieren und/oder das Gewebe zerstören kann.	Strahldurchmesser, Streuung des Strahls, Staudruck, Dichte, Temperatur und chemische Zusammensetzung des Mediums	Pfählungen, Injektionen, penetrierende Wunden, Amputationen

Bild 4.3-1 Grundtypen mechanischer Gefahrstellen

So einleuchtend einzelne Gefährdungsparameter und deren Auswirkungen sowohl auf die Gefahrstelle selbst als auch auf den Verlauf einer Verletzung sind, gibt es zur Zeit im allgemein zugänglichen Schrifttum relativ wenig Veröffentlichungen, die sich systematisch mit der Problematik der Gefährdungsgrößen oder mit Grenzwerten mechanischer Beanspruchungen der Menschen in Gefahrstellen so auseinandersetzen, dass die gewonnenen Ergebnisse unmittelbar in das Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte einfließen könnten. Grenzwerte für die mechanischen Gefährdungen liegen selten als Zahlenwerte, meistens nur als verbale Erläuterungen vor.

Das grundlegende Problem liegt wohl in der breiten interindividuellen und intraindividuellen Streuung körperlicher Eigenschaften der Menschen. Anders als bei technischen Werkstoffen können für Menschen und deren Körperteile keine konstanten Werte für viskoelastische Eigenschaften des Gewebes angenommen werden.

Die am toten Gewebe (*in vitro*) ermittelten Messwerte gelten nicht ohne Weiteres für den lebenden Organismus (*in vivo*). Mechanische Eigenschaften gleicher Gewebearten hängen stark von den Körperregionen ab.

Im Schrifttum sind Arbeiten, die sich unter gerichtsmedizinischen Aspekten mit den Entstehumständen und mit dem Verlauf von Schnitt- und Stichverletzungen beschäftigen, relativ häufig vertreten. Veröffentlichte Ergebnisse sind jedoch nur unter sorgfältiger Berücksichtigung aller Randbedingungen, sofern sie überhaupt angegeben sind, auf den Verletzungsmechanismus in Gefahrstellen anwendbar.

Die Arbeiten [4.25, 4.26] beschäftigen sich mit Einflussfaktoren auf den Wickelvorgang an glatten Wellen, die Monographie [4.27] setzt sich sehr ausführlich und ergiebig mit Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhängen auseinander, die beim Walzen metallischer Werkstoffe von Bedeutung sind. Einige Ergebnisse stimmen gut mit den Erfahrungen aus Unfällen an Einzugsstellen überein, sofern die Unterschiede zwischen metallischen Werkstoffen und dem menschlichen Gewebe berücksichtigt werden.

Die wichtigsten Ergebnisse beider Veröffentlichungen sind in den Bildern 4.3-2 und 4.3-3 zusammengefasst.


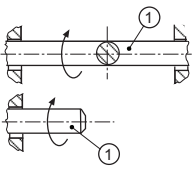
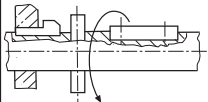
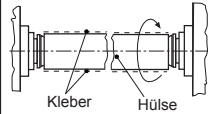
		<b>Gefährdungsparameter an Fangstellen</b>
1	Nr.	2
<p><b>Reibschluss</b></p> 	1	<p>Um einen Wickelvorgang zwischen glatten Wellen und trockenen Stoffen entstehen zu lassen, muss ein Umschlingungswinkel von mindestens 180° gebildet werden.</p> <p>Der Reibwert zwischen polierten Wellen und Stoffteilen ist größer als der Reibwert zwischen geschruppten Wellen und Stoffteilen.</p> <p>Bei sonst gleichen Bedingungen ist die Gefahr des Aufwickelns bei dicken Wellen größer als bei dünnen Wellen.</p> <p>Die Zirkulationsströmung allein und damit die Wellendrehzahl ist für den Beginn des Wickelvorgangs ohne Bedeutung.</p> <p>Ist eine Querströmung vorhanden, bildet sich durch die Überlagerung der Zirkulationsströmung ein gefährlicher Unterdruck auf einer Wellenseite.</p> <p>Unterkühlte Wellen begünstigen den Wickelvorgang.</p> <p>Wenige Wassertropfen genügen, um die auf das umschlingende Stoffteil wirkende Kraft auf den 30-fachen Wert ansteigen zu lassen.</p> <p>Haare werden besonders effektiv aufgewickelt, wenn der Lockendurchmesser etwa gleich dem Wellendurchmesser ist.</p>
<p><b>Formschluss</b></p> 	2	<p>Aus der Kontur hervorstehende Teile, wie z.B. Schraubenköpfe, Keile, Schmierbuchsen usw. verursachen schwere Verletzungen.</p>
<p><b>Stoffschluss</b></p>  <p style="text-align: center;">Kleber      Hülse</p>	3	<p>Besondere Gefahren entstehen, wenn auf Hülsen Kontaktkleber mit kurzer offener Zeit aufgetragen werden. Kleber binden durch die von der Rotation verursachte Luftströmung schneller als vom Hersteller angegeben ab und entwickeln früher die volle Klebekraft. Stoffteile oder Haare werden sofort erfasst.</p>

Bild 4.3-2 Gefährdungsparameter an Fangstellen [4.25]

### 4.3.2 Verletzungen an Gefahrstellen

**Verletzungsarten.** Die Unfallchirurgie, z. B. [4.28], bezeichnet als Wunden alle durch äußere Gewaltwirkungen verursachten Unterbrechungen des Gewebezusammenhangs an der Körperoberfläche oder im Körperinneren, begleitet von geöffneten Lymphspalten und Blutgefäßen. Mechanische Wunden werden dort unterteilt in geschlossene Wunden (geschlossene Knochenbrüche, Luxationen der Gelenke), oberflächliche Wunden (Hautverletzungen, welche die Lederhaut nicht durchtrennen), perforierende Wunden (hautdurchtrennende Wunden) und komplizierte Wunden. Komplizierte Wunden entstehen als Folge mehrschichtiger Verletzungen und betreffen sowohl

Er subsumiert eine Reihe von Verhaltensweisen. Der Gesetzgeber geht davon aus, dass Konstrukteure sicherheitsgerechtes Verhalten späterer Maschinenbenutzer sowohl positiv als auch negativ beeinflussen können. Dieser Aspekt kann bei Unfällen und deren juristischen Aufarbeitung von erheblicher Bedeutung sein.

### 4.7 Risikobeurteilung im Überblick

Dank des bereits erreichten hohen Sicherheitsniveaus ist die Anzahl der Maschinenunfälle, von denen Konstrukteure erfahren, relativ gering. Deshalb fällt es vielen schwer, die von ihren Maschinen ausgehenden Gefährdungen bzw. Risiken retrospektiv statistisch so zu erfassen und so auszuwerten, dass sie aus den Erkenntnissen allgemeingültige Schlüsse ziehen können. Dessen ungeachtet, müssen sie ihrer gesetzlichen Pflicht nachkommen, Risiken, die mit ihren Maschinen verbunden sind, zu beurteilen.

Juristisch betrachtet, beginnt das Herstellen einer richtlinienkonformen Maschine bereits während ihrer Planungs- und Konstruktionsphase. Die Maschinenrichtlinie verpflichtet Hersteller, für jede Maschine eine Risikobeurteilung vorzunehmen, aus deren Ergebnissen angemessene Sicherheitsmaßnahmen herzuleiten und umzusetzen und dies alles zu dokumentieren. Hilfreich und zielführend haben sich in der Praxis systematische Vorgehensweisen bewährt, die den formalen Aufwand in vernünftigen Grenzen halten.

Auch hier ist die Bedeutung der Begriffe Gefahr – Gefährdung – Risiko sorgfältig zu unterscheiden:

*Gefahr* ist die Quelle eines möglichen Schadens aufgrund ihres stofflichen oder energetischen Potentials körperschädigenden Niveaus.

*Gefährdung* ist eine Situation, die entsteht, wenn Menschen mit der Gefahr räumlich und zeitlich zusammentreffen.

*Risiko* ist die kalkulierte Prognose eines möglichen Schadens, der sich aus den Konsequenzen ergibt, wenn sich Gefährdungen auf Menschen auswirken, Bild 4.7-1.

Risiken zu bewerten und zu beurteilen ist viel komplizierter als Gefahren und Gefährdungen zu erkennen. Denn das Denken in Risiken berücksichtigt die Wirkung von Unsicherheiten für das Erreichen von Sicherheitszielen, die sich Konstruk-

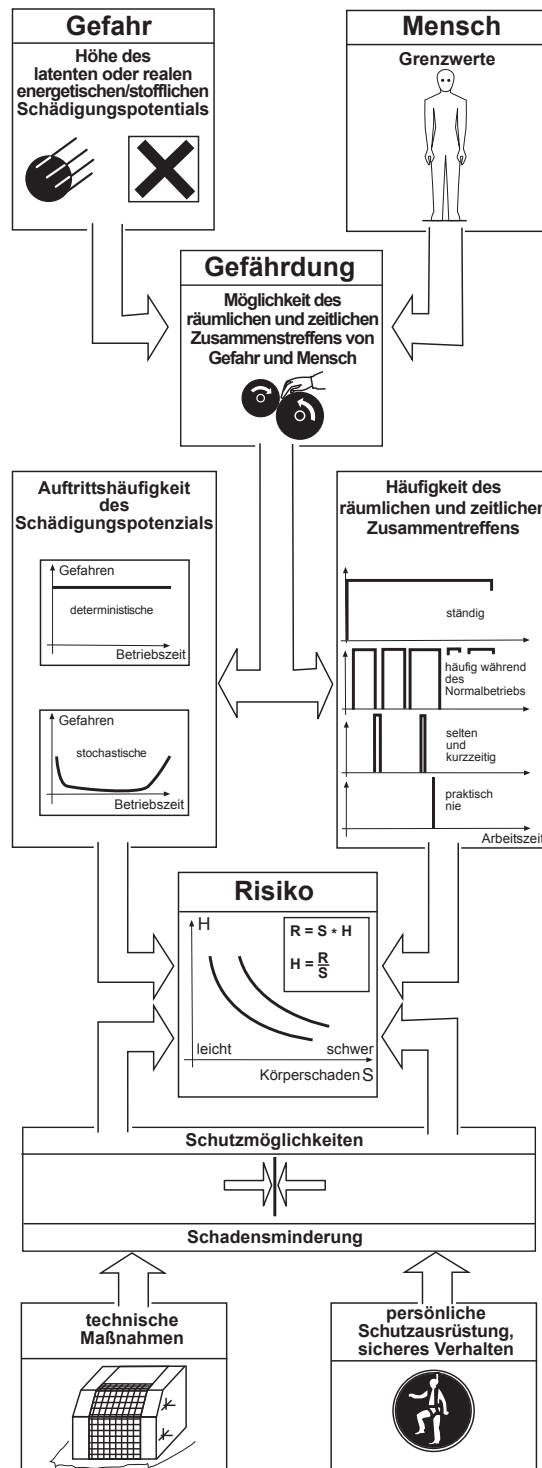


Bild 4.7-1 Zusammenhang zwischen Gefahr, Gefährdung und Risiko

teure gestellt haben. Das sind einerseits die körperliche Unversehrtheit der späteren Maschinenbenutzer (realisiert durch umgesetzte Sicherheitsmaßnahmen), andererseits die eigene Rechtssicherheit vor juristischen Folgen im Falle eines Unfalls (realisiert durch Dokumentieren der Sicherheitsmaßnahmen).

Deshalb müssen Konstrukteure Gefährdungen und die mit ihnen verbundenen Risiken, wie andere Konstruktionsmängel auch, vorausschauend schon in ihren Entwürfen, Technischen Zeichnungen oder CAD-Datensätzen und CAD-Simulationen entdecken, erkennen, beheben und dies in kurzen Sätzen für Juristen verständlich und nachvollziehbar dokumentieren. Im Bild 4.7-2 ist der Ablauf der ganzen Prozedur in einem stilisierten Block-Schaltbild dargestellt, im Bild 4.7-3 ist sie in einem Vademecum verbal zusammengefasst.

Risiken zu bewerten und zu beurteilen ist viel komplizierter, als Gefahren zu erkennen. Zum Durchführen von Risikobeurteilungen gehören fundierte Sachkenntnisse der realen Probleme, Erfahrung aus dem Unfallgeschehen, Phantasie zur Vorhersage zukünftiger Ereignisse aber auch Disziplin fürs konsequente Abarbeiten der einzelnen Schritte: Disziplin mag zwar anfangs lästig sein, wirkt sich aber sowohl für das Procedere als auch für das Ergebnis segensreich aus!

Systematische Auflistungen von Gefahren, Gefährdungen, der mit ihnen verbundenen Risiken und der sie aufhebenden technischen Maßnahmen sind nicht nur als Nachweis für das Einhalten akzeptierter Restrisiken wichtig, sondern auch für das Erstellen von Betriebsanleitungen notwendig und auch eine Grundvoraussetzung für das Aufstellen interner und externer Dokumentationen. Systematisches Suchen und konsequentes Erkennen aller stochastischen und deterministischen Gefahren ist nur ein, wenn auch wesentlicher Teil aller Gefährdungsanalysen und Risikobeurteilungen.

Risikobeurteilung ist eine Abfolge logischer Schritte, um Gefährdungen systematisch zu suchen, sie zu erkennen, ihre Konsequenzen zu prüfen und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten und schädigende Auswirkungen abzuschätzen und abzuwägen.

Die mit Gefährdungen verbundenen Risiken, die sich aus den während der zu erfüllenden Arbeitsaufgabe notwendigen Tätigkeit ergeben, müssen in Unfallszenarien vorausgedacht, visualisiert und anschließend bewertet bzw. beurteilt werden, um

geeignete Sicherheitsmaßnahmen auszuwählen, die sowohl im Einklang mit dem Stand der Sicherheitstechnik stehen als auch technische, ergonomische und wirtschaftliche Anforderungen erfüllen.

Gefährdungsanalysen und Risikobeurteilungen sind entwicklungs- und konstruktionsbegleitende Prozesse. Sie müssen während des Konstruierens mehrmals in zwei Ebenen erfolgen: einmal in der Zeitebene der Lebensphasen der Maschine und dort jeweils in der funktionellen Ebene der einzelnen Systeme der Maschine. In jeder Lebensphase gibt es in jedem System der Maschine typische Situationen und Tätigkeiten, in denen es zu spezifischen Gefährdungen kommt.

Pragmatisch und lebensnah betrachtet, ist es aus der Sicht der Praxis sinnvoll, nicht schon vor Beginn des Konstruktionsprozesses sondern frühestens während des Konzipierens (sobald die Funktionsstruktur erstellt worden ist und geeignete Lösungsprinzipien gesucht werden) intensiv mit Risikobeurteilungen zu beginnen. Funktionsstrukturen sind die ideale Grundlage zur Fehleranalyse, indem sie anstatt der zu erfüllenden Teilfunktionen der einzelnen Blöcke durch Negation entsprechendes Ausfallverhalten und dessen Auswirkung offenbaren und zugleich aufzeigen, welche Funktionen Menschen im Arbeitssystem übernehmen.

Spätestens in der Entwurfsphase, also zum Zeitpunkt der ersten animierten CAD-Simulationen der Maschine oder deren wesentlichen Baugruppen müssen Risikobeurteilungen angestellt werden. Denn jetzt sind Gefahrstellen samt deren gefährbringenden Bewegungen „dreidimensional“ sichtbar. Werden in dieser Phase des Konstruktionsprozesses digitale Modelle des menschlichen Körpers eingesetzt, um alle Tätigkeiten, die in den jeweiligen Lebensphasen der Maschinen notwendig sind, darzustellen, fallen gefährliche Situationen und viele ergonomischen Unzulänglichkeiten besonders auf. Mit diesem zeitgemäßen und inzwischen in der Konstruktionspraxis üblichen Werkzeug können z.B. bei einer Risikobeurteilung, die im Team durchgeführt wird, konstruktive Aspekte auch „Nicht-Konstrukteuren“ anschaulich dargestellt werden bzw. Gedanken und Ideen aller Beteiligten schnell visualisiert und integriert werden [4.74].

Häufig wird immer noch der Fehler gemacht, Risikobeurteilungen erst an fertigen Maschinen durchzuführen. Das ist eindeutig zu spät. Jetzt do-

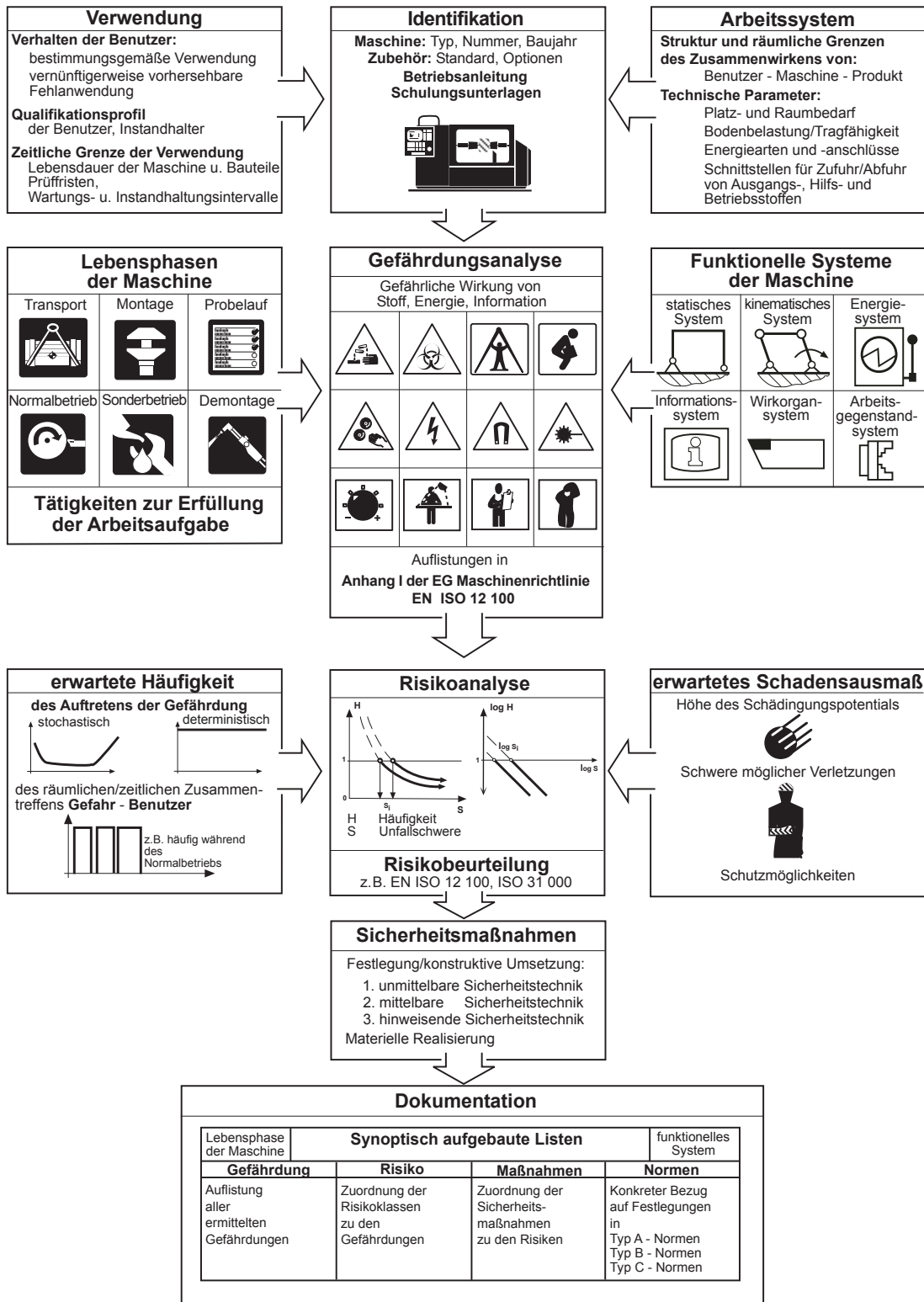


Bild 4.7-2 Risikobeurteilung auf einen Blick

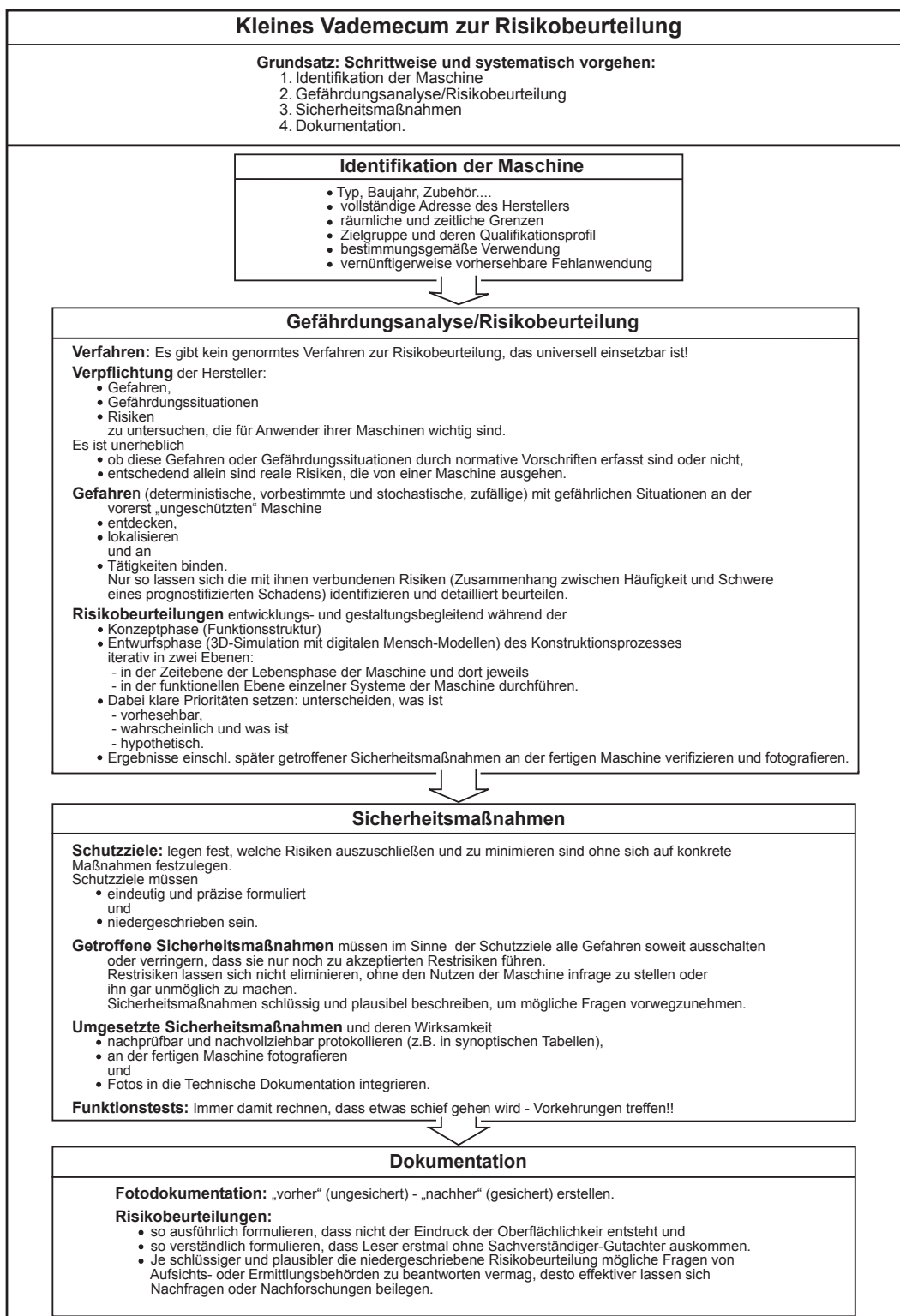


Bild 4.7-3 Leitfaden zur Risikobeurteilung

kumentiert die Risikobeurteilung nur noch die gemachten und realisierten Konstruktionsfehler. Zu diesem Zeitpunkt gibt es erfahrungsgemäß kaum noch preisgünstige und wirkungsvolle Verbesserungsmöglichkeiten.

Beim Beurteilen von Risiken ist es immer ratsam, realistisch zu bleiben und zu unterscheiden, welche Ereignisse *vorhersehbar*, welche *wahrscheinlich* und welche *hypothetisch* sind – und dabei klare Prioritäten zu setzen: Denn wer alle vorausgedachten Ereignisse mit der gleichen, weil höchsten Dringlichkeit zu vermeiden versucht, erzeugt am Ende nur ein aktionistisches „Rauschen“, das die wirklichen Risiken überdeckt.

Die erwartete Schwere möglicher Verletzungen ist die entscheidende Variable bei der Risikobeurteilung. Gefährdungen dürfen nur aufgrund minimaler Folgen und nicht wegen minimaler Eintrittswahrscheinlichkeit vernachlässigt werden. Denn beim Abschätzen erwarteter Eintrittswahrscheinlichkeiten möglicher Unfälle müssen zwei Aspekte berücksichtigt werden:

1. Eintrittswahrscheinlichkeit als Grenzwert der relativen Häufigkeit eines zufälligen Ereignisses nach unendlich vielen „Läufen“ ist ein mathematisches Konstrukt. Es wird immer Abweichungen des realen Verlaufs von dieser idealen Projektion geben, da sich „Unendlichkeit“ nicht realisieren lässt, [4.75].
2. Die durch Lebenserfahrung gewonnene Erkenntnis der Betriebspraktiker: Sobald die Konzeption einer Maschine oder eines Prozesses einen Unfall zulässt, ist es nur eine Frage der Zeit, wann er passiert.

Mit anderen Worten: Wer das Denken in Risiken vorgibt, muss auch akzeptieren, dass sich Risiken verwirklichen. So betrachtet, impliziert die Akzeptanz des Begriffs (Rest-)Risiko, dass Unfälle möglich sind und dass mit ihnen, redlich betrachtet, auch gerechnet werden muss. Und dann sollen alle (auch Aufsichtsbehörden, Berufsgenossenschaften und Juristen) bitte nicht so überrascht tun und entsetzt sein, wenn sie passiert sind!

Wie schwer dabei Verletzungen sein werden, hängt zwar primär von technischen Gegebenheiten und vom Verhalten der Gefährdeten ab. Auch wenn Zufall und viele weitere Unwägbarkeiten eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen, gilt nach heuti-

gem Verständnis der Normen und Richtlinien eine Maschine als unzureichend konstruiert, wenn das vernünftigerweise vorhersehbare Fehlverhalten der Benutzer unberücksichtigt bleibt.

Tiefe des Verfahrens, Formalismus und Dokumentationsaufwand der Risikobeurteilung sollen im Einklang mit der Höhe der Risiken für die Maschinenarbeiter und somit auch für den Hersteller stehen. Es ist daher sinnvoll, Risiken mit den Zielen abzugleichen und umgekehrt. Oft ist es nicht erforderlich, nach einer hohen „absoluten“ Genauigkeit zu streben, sondern die relativen Änderungen (vorher – nachher) der Risiken zu dokumentieren.

An ein- und derselben Maschine können je nach Lebensphase und den mit ihnen verbundenen Tätigkeiten durchaus unterschiedlich hohe Risiken ermittelt werden. Wenn mehrere Gefährdungen oder Verletzungsszenarien unterschiedliche Verletzungsschweren oder unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten ergeben, sollte für alle Gefährdungen die komplette Risikobeurteilung mit dem gleichen Verfahren durchgeführt werden, damit die jeweiligen Ergebnisse vergleichbar bleiben.

Sind mit einer Maschine unterschiedliche Risiken verbunden, tritt wahrscheinlich eines davon ein. Die Gesamtwahrscheinlichkeit einer Verletzung ist daher höher. Das bedeutet aber nicht zwangsläufig auch ein höheres Gesamtrisiko. Denn Risiken sind keine punktuellen sondern spektrale Phänomene. Sie lassen sich daher nicht einfach addieren oder kumulieren.

Das höchste Risiko, das für den Umgang mit einer Maschine ermittelt wurde, ist in der Regel entscheidend. Denn Maßnahmen, die das höchste Risiko wirksam reduzieren, verwirklichen auch ein hohes Sicherheitsniveau. In Einzelfällen ist es durchaus angezeigt, auch niedrigeren Risiken besondere Bedeutung beizumessen. So wird sichergestellt, dass alle Risiken verringert werden können.

Bei rein monetären Bewertungen ist Vorsicht geboten: Wenn es zu spät ist, erkennt jeder den Wert der Sicherheit, der meist weit über deren (Entstehungs-)Preis liegt. Denn ein erlittener (finanzieller oder moralischer) Verlust wandelt sich unverzüglich in langandauerndes Wissen um – leider zu spät für den Maschinenhersteller!

Die auf den Ergebnissen der Risikobeurteilung basierenden Sicherheitsmaßnahmen haben die Aufgabe, Schäden für Menschen, Umwelt und Sachwerte zu vermeiden bzw. zu begrenzen, d. h.



vorhandene technische Risiken zu gesellschaftlich akzeptierten Restrisiken zu minimieren. Mit anderen Worten: Hersteller müssen

- mit vertretbarem Aufwand
- alle vorhersehbaren Risiken
- nach bestem Wissen und Gewissen abdecken.

Entscheidend ist es daher, vorab Maschinen so zu konstruieren, und Prozesse und Arbeitsbedingungen so zu gestalten, dass die vorausgedachten Unfallsituationen möglichst unwahrscheinlich werden. Die dazu notwendigen sicherheitsgerichteten Konstruktionsmaßnahmen zielen in zwei Richtungen:

1. Eine zeitgemäße Maschine zu konstruieren und dabei ihre technologische Funktionalität und ihre sicherheitsbezogene Zuverlässigkeit zu verwirklichen [4.76] und
2. das dreistufige System aufeinander abgestimmter und ineinander greifender sicherheitsbezogener Gestaltungs- und Konstruktionsmaßnahmen umzusetzen, um an Maschinen die Sicherheitstechnik im engeren Sinne zu verwirklichen [4.77].

Mit diesen wichtigsten Aspekten des Konstruierens sicherheitsgerechter Produkte und Maschinen beschäftigen sich ausführlich die zwei nachfolgenden Kapitel.