

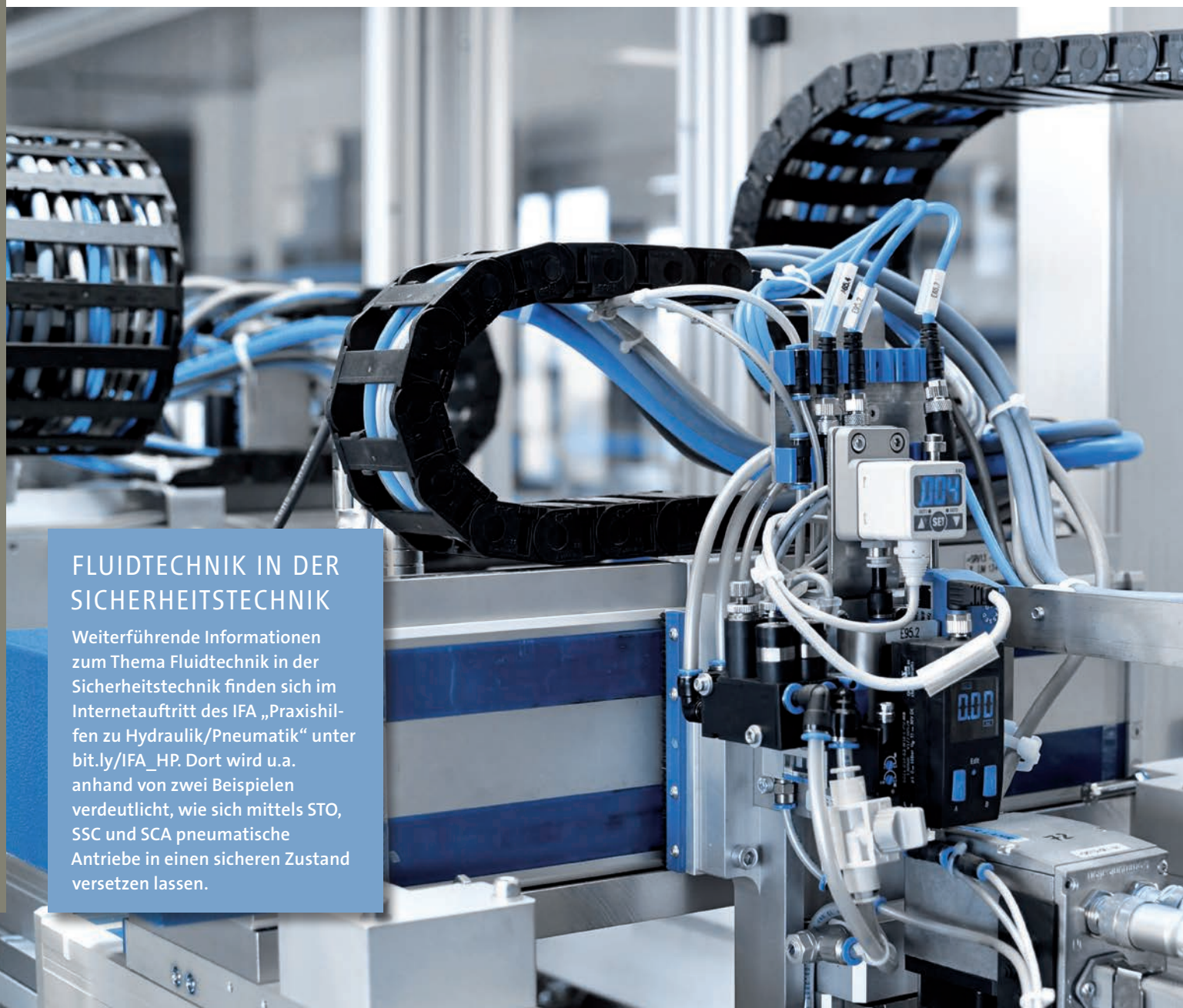
# SICHERHEITSFUNKTIONEN IN PNEUMATISCHER ANTRIEBSTECHNIK

Auch pneumatische Antriebe von Maschinen dürfen nicht durch unerwartete Bewegungen zu Gefährdungen von Personen führen. Sind dazu steuerungstechnische Maßnahmen erforderlich, bieten sich für die pneumatische Antriebstechnik Sicherheitsfunktionen an. Dieser Artikel geht auf die Realisierung solcher Sicherheitsfunktionen ein.

**Autoren:** Dipl.-Ing. Jürgen Uppenkamp und Dipl.-Ing. Thomas Bömer, beide IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin

## FLUIDTECHNIK IN DER SICHERHEITSTECHNIK

Weiterführende Informationen zum Thema Fluidtechnik in der Sicherheitstechnik finden sich im Internetauftritt des IFA „Praxishilfen zu Hydraulik/Pneumatik“ unter [bit.ly/IFA\\_HP](http://bit.ly/IFA_HP). Dort wird u.a. anhand von zwei Beispielen verdeutlicht, wie sich mittels STO, SSC und SCA pneumatische Antriebe in einen sicheren Zustand versetzen lassen.



## POINTIERT

SICHERHEITSFUNKTIONEN SOLLEN GEFÄHRDUNG DES BEDIENERS VERMEIDEN

ETABLIERTE FUNKTIONEN AUS DER ELEKTRIK BISLANG NICHT IN PNEUMATIK ÜBERSETZT

EINHEITSBLATT VDMA 24584 TRANSFERIERT IDEEN AUS DER ELEKTRIK IN DIE PNEUMATIK

ANWENDUNG DES EINHEITSBLATTS KANN SOGAR POSITIV FÜR ARBEITSSCHUTZ SEIN

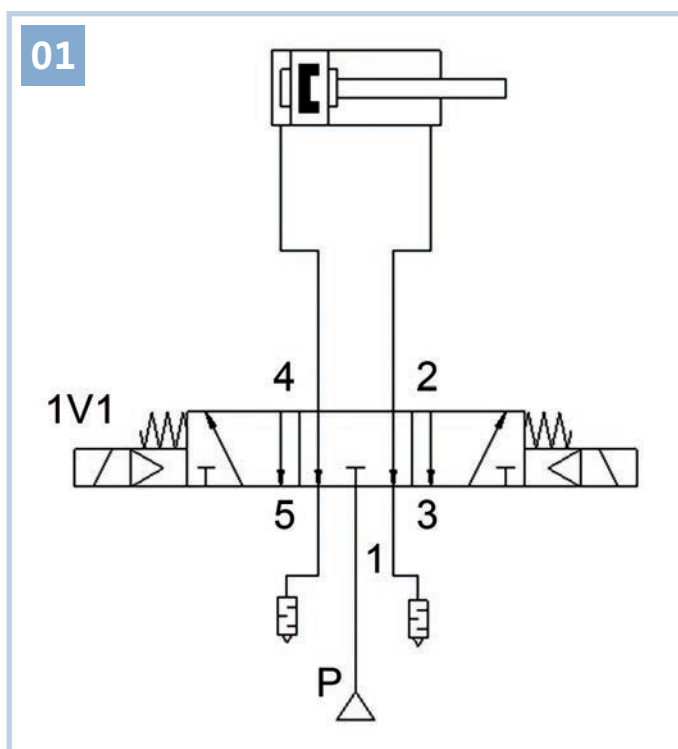
Die DIN EN ISO 12100 [1] versteht unter einer Sicherheitsfunktion eine Funktion, deren Ausfall zu einer unmittelbaren Erhöhung des Risikos führt, wodurch sich eine höhere Wahrscheinlichkeit der Gefährdung des Maschinenbedieners ergeben kann. Sicherheitsfunktionen elektrischer Antriebssteuerungen, die in der DIN EN 61800-5-2 [2] definiert sind, haben sich am Markt erfolgreich etabliert und können als Stand der Technik angesehen werden. Häufig werden dem Maschinenhersteller diese Sicherheitsfunktionen wie beispielsweise STO (sicher abgeschaltetes Moment) oder SS1 (sicherer Stopp 1) bereits von einem Antriebshersteller mit einem Performance Level PL und einer Kategorie nach DIN EN ISO 13849-1 [3] angeboten.

Eine „Übersetzung“ auf pneumatische Antriebe war bisher nicht erfolgt, so dass Hersteller und Anwender nicht den Vorteil einer „gemeinsamen Sprache“ nutzen konnten. Die in der DIN EN 61800-5-2 definierten Sicherheitsfunktionen können als Teil-Sicherheitsfunktionen verstanden werden, welche der Maschinenhersteller oder Konstrukteur in die maschinenspezifischen Sicherheitsfunktionen integrieren kann.

### TYPISCHE SICHERHEITSFUNKTIONEN AN EINER MASCHINE

Typische Sicherheitsfunktionen sind zum Beispiel der Schutz vor unerwartetem Anlauf eines Antriebs aus der Ruhelage bei geöffneter Schutztür (nachfolgend SF1 benannt) oder das Anhalten einer gefahrbringenden Bewegung bei Eingriff in ein Lichtgitter (nachfolgend SF2 benannt).

In der Pneumatik ist es in der Regel aufwendiger, die aus der elektrischen Antriebstechnik bekannten Sicherheitsfunktionen, einfach umzusetzen. Mit Herstellern von Pneumatik-Bauteilen und unter Mitwirkung des IFA (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung) wurde im Arbeitskreis AK FuSi im Fachverband



**01** Beispiel einer einkanaligen elektro-pneumatischen Steuerung für den STO

Fluidtechnik im VDMA, ein Einheitsblatt erarbeitet, das die Ideen aus der Elektrik in die Pneumatik transferiert. Unter dem Titel VDMA 24584 „Sicherheitsfunktionen geregelter und nicht geregelter (fluid-)mechanischer Systeme“ ist dieses Einheitsblatt [4] seit 2016 verfügbar. Darin sind unter anderem Sicherheitsfunktionen, die auch aus der DIN EN 61800-5-2 bekannt sind, für die Pneumatik beschrieben.

### EIGENSCHAFTEN VON SICHERHEITSFUNKTIONEN

Die beschriebenen Sicherheitsfunktionen lassen sich in aktive und passive Teil-Sicherheitsfunktionen einteilen. Beispielsweise wirken aktive Sicherheitsfunktionen auf den Antrieb in Form von Kraft, Geschwindigkeit, Lage oder Beschleunigung durch das Zu- oder Abschalten (Bereitstellen) von Druck oder Durchfluss (Energie). Ein Ventil kann die Energie für einen Antrieb zuschalten, entlüften oder einsperren. Eine passive Sicherheitsfunktion dient der Überwachung von Größen wie Druck, Durchfluss oder Position des Antriebs auf Einhaltung von Grenzwerten. Die DIN EN 61800-5-2 unterscheidet hier Stoppfunktionen und Überwachungsfunktionen.

Typischerweise setzt sich eine Sicherheitsfunktion, wie in den Normen der funktionalen Sicherheit definiert, aus den Bestandteilen Sensorik (Erfassen auslösender Ereignisse), Logik (Auswertung der Eingangssignale mit Verknüpfung und Erzeugung von Ausgangssignalen, sowie ggf. Funktionen zur Fehlererkennung) und Aktorik (Leistungssteuerelemente zum Schalten des gefahrbringenden Antriebs) zusammen. Die Logik kann rein pneumatisch oder als elektrische Ablaufsteuerung realisiert sein. Als Aktor dienen elektrisch oder pneumatisch gesteuerte Ventile.

### LEISTUNGSELEMENTE

Die pneumatischen Leistungselemente, wie Motoren oder Zylinder zählen in der Regel nicht zum sicherheitsbezogenen Teil einer Steuerung (SRP/CS) zur Ausführung von Sicherheitsfunktionen. Eine Sicherheitsfunktion endet nach [3], Anmerkung 1 zur Definition 3.1.1 an den Ausgängen der Leistungssteuerelemente. Umfasst die Anwendung jedoch Achsen, die mit externen Kräften beaufschlagt sind, so müssen diese Leistungselemente sicherheitstechnisch betrachtet und ggf. ertüchtigt werden (siehe DGUV-Information Nr. 50: „Fluidtechnische Leistungselemente – Hydraulische u. pneumatische Motoren und Zylinder“ des Fachbereichs Holz und Metall).

### REALISIERUNG VON SICHERHEITSFUNKTIONEN

Pneumatische Steuerungen zur Realisierung von Sicherheitsfunktionen sind im Gegensatz zu integrierten elektrischen Antriebssteuerungen meist diskret aus einzelnen Ventilen aufgebaut. Abhängig von den Kategorie-Anforderungen nach DIN EN ISO 13849-1 sind fehlererkennen-

de Maßnahmen nötig. Die zur Fehlererkennung nötigen Maßnahmen und Abläufe müssen häufig eigenständig erarbeitet und durch die Logik (Hardware inklusive Software) umgesetzt werden.

**BESCHREIBUNG UND AUSWAHL VON TEIL-SICHERHEITSFUNKTIONEN**

Eine Möglichkeit zur Realisierung der beiden vorgenannten Sicherheitsfunktionen SF1 und SF2 ist der STO (Safe Torque Off). Der STO beschreibt die Teil-Sicherheitsfunktion „sicher abgeschaltetes Moment“ für den Leistungsantrieb. Bei einem elektrischen Antrieb (Motor), wird der STO über die Wegnahme der elektrischen Energie zum Motor eingeleitet. Für den Schutz vor unerwartetem Anlauf ist das in der Regel einfach umzusetzen. Soll der STO auch zum Anhalten einer Bewegung genutzt werden, muss u.a. der Nachlaufweg bis zum Stopp der Bewegung im Rahmen der erforderlichen Risikobeurteilung berücksichtigt werden. Ist dieser Nachlaufweg zu groß, bieten sich alternative Teil-Sicherheitsfunktionen wie SS1 oder SS2 an. Diese sind aber in der pneumatischen Steuerungstechnik wenig verbreitet. Zum schnellen Anhalten bietet sich in der Pneumatik die Teil-Sicherheitsfunktion SSC (Safe Stopping and Closing) an.

Beispielhaft stellt **Tabelle 01** die mögliche Realisierung einzelner Teil-Sicherheitsfunktionen der DIN EN 61800-5-2 sowie der entsprechenden pneumatischen Teil-Sicherheitsfunktion aus dem Einheitsblatt dar.

In der pneumatischen Antriebstechnik sind häufiger lineare als rotatorische Bewegungen zu finden. Bei einem horizontal eingebauten Antrieb, auf den keine externen Kräfte wirken ist der STO geeignet, um den Schutz vor dem unerwarteten Anlauf oder das Anhalten einer Bewegung sicherzustellen. Üblicherweise werden bei einem STO beide Kolbenräume des Leistungsantriebs entlüftet, damit kein Moment bzw. keine Kraft mehr auf den Antrieb wirkt.

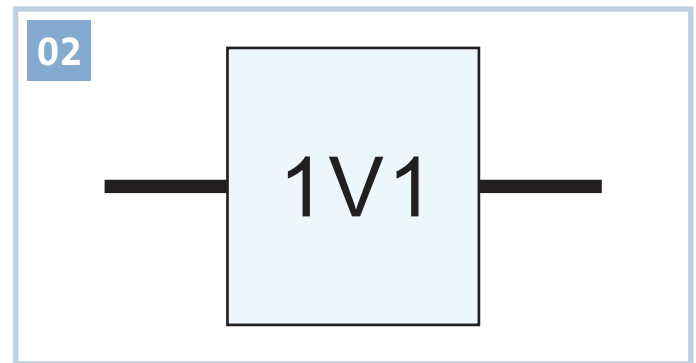
Bei einem vertikal oder schräg verwendeten Zylinder wirken dagegen immer externe Kräfte. Diese Kräfte resultieren aus dem Gewicht der Kolbenstange und einer Last, die an der Kolbenstange angreift. Wird der STO während der Bewegung durch Entlüften beider Kolbenräume

eingeleitet, stoppt die Bewegung des Kolbens aufgrund der externen Kräfte erst in der Endlage des Antriebs. Dies könnte also zu Gefährdungen des Bedieners führen und ist daher in vielen Anwendungsfällen nicht geeignet. Für schwerkraftbelastete Achsen bietet sich typischerweise die Teil-Sicherheitsfunktion SSC (Safe Stopping and Closing) an.

Befindet sich der Zylinder zum Zeitpunkt der Anforderung der Sicherheitsfunktion „Schutz vor unerwartetem Anlauf“ bereits in der unteren Endlage, kann ein STO diese Sicherheitsfunktion umsetzen. Dazu ist es nötig, die Zylinderposition sicher zu erkennen, was die Überwachungsfunktion SCA (Safe Cam), die auch als sichere Positionsüberwachung verstanden werden kann, beschreibt.

**BEISPIEL EINER EINKANALIGEN ELEKTRO-PNEUMATISCHEN STEUERUNG FÜR DEN STO**

Deutlich wird die Anwendung der Teil-Sicherheitsfunktion STO für die Sicherheitsfunktionen SF1 und SF2 im folgenden Beispiel, dargestellt in **Bild 01**. Es wird hier angenommen, dass keine externen Kräfte auf den horizontal bewegten Zylinder wirken. Das federzentrierte 5/3-Wegeventil 1V1 mit entlüfteter Mittelstel-



**02** Sicherheitsbezogenes Blockdiagramm für das Beispiel nach Bild 01

Teil-Sicherheitsfunktion	Kurzbezeichnung	Mögliche Realisierung nach	
		DIN EN 61800-5-2	VDMA Einheitsblatt 24584
Sicher abgeschaltetes Moment	STO	Energiewegnahme zum Leistungsantrieb (Motor)	Entlüften der Kolbenräume des Leistungsantriebes (Zylinder)
Sicherer Stopp 1	SS1	Initiieren der Bremsung durch Impulsmuster und Überwachen der Bremsrampe mittels Winkel- oder Wegmesssystem gefolgt von STO (in der zweiten Ausgabe der Norm mit SS1-r bezeichnet)	Ausführung der Bremsung beispielsweise durch Druckänderung im Leistungsantrieb über Ventile, gefolgt durch STO
Sicherer Stopp 2	SS2	Initiieren der Bremsung durch Impulsmuster und Überwachen der Bremsrampe mittels Winkel- oder Wegmesssystem, gefolgt von SOS, wenn die Motordrehzahl unter einen festgelegten Grenzwert fällt (in der zweiten Ausgabe der Norm mit SS2-r bezeichnet)	Ausführung der Bremsung beispielsweise durch Druckänderung im Leistungsantrieb über Proportionalventile, gefolgt durch SOS. Beibehaltung der Lage unter Einwirkung extern wirkender Kräfte auf den Leistungsantrieb.
Sicheres Anhalten und Absperren	SSC	---	Durch Einsperren von Luft in den Kolbenräumen des Leistungsantriebes (Antriebszylinder) ohne Lageüberwachung und Lageregelung
Sicherer Betriebshalt	SOS	Überwachung und Beibehaltung der Lage unter Einwirkung extern wirkender Kräfte auf den Leistungsantrieb	Überwachung und Beibehaltung der Lage unter Einwirkung extern wirkender Kräfte auf den Leistungsantrieb
Sichere Positionsüberwachung	SCA	Überwachung, ob die Motorwelle innerhalb eines festgelegten Bereichs liegt	Sichere Stellungsüberwachung am Leistungsantrieb (Zylinder) mit definierter Reaktion bei Verlassen der Position

**Tabelle 01** Vergleich ausgewählter elektrischer und pneumatischer Teil-Sicherheitsfunktionen für die Antriebstechnik

Betriebssituation	Fehlerannahme	Auswirkung
Stillstand	Schalten von Ruhe- in Arbeitsstellung des Ventils	Ein Kolbenraum wird belüftet und der andere bleibt entlüftet, woraus eine gefahrbringende Bewegung des Zylinders folgen kann
	Interne Leckage unter den Anschlüssen (1 nach 2 oder 4)	Reduzierter Druckaufbau an Anschluss 2 oder 4, woraus eine gefahrbringende Bewegung folgen kann
Anhalten	Nicht Zurückschalten von 1V1 in die Mittelstellung	Ein Kolbenraum bleibt belüftet und der andere bleibt entlüftet, so dass eine gefahrbringende Bewegung des Zylinders nicht stoppt
	Nicht vollständiges Zurückschalten von 1V1 bzw. Hängenbleiben in gesperrter Zwischenposition	Die Druckluft wird in den Kolbenräumen eingesperrt, wodurch die gefahrbringende Bewegung des Zylinders nicht zwangsläufig stoppt

**Tabelle 02** Fehlerannahmen und Auswirkungen für das Beispiel nach Bild 01

lung wird funktional zum Verfahren des Zylinders, sowie zur Ausführung des STO genutzt. Mit Wegnahme der Ansteuerung sind beide Kolbenräume über die Anschlüsse 2 und 4 von 1V1 entlüftet.

Einige Fehler bzw. Ausfälle und deren Auswirkung auf den Antrieb sind in **Tabelle 02** beschrieben. Betrachtet sind der Stillstand, in dem das Ventil ohne Ansteuerung in Ausgangsschaltstellung verbleiben soll und das Anhalten aus der Bewegung, in der das Ventil von angesteuerter Arbeitsstellung mit Wegnahme der Ansteuerung in Ruhestellung schalten soll. Das sicherheitsbezogene Blockdiagramm besteht in diesem einfachen Beispiel nur aus der pneumatischen Antriebssteuerung in Kategorie 1 nach DIN EN ISO 13849-1, siehe **Bild 02**.

## KONSTRUKTIVE MERKMALE UND AUSFALLWAHRSCHEINLICHKEIT

Um den Anforderungen der DIN EN ISO 13849-1 an die Kategorie 1 gerecht zu werden, bedarf es der Einhaltung der grundlegenden und bewährten Sicherheitsprinzipien der DIN EN ISO 13849-2 [5]. Insbesondere sind hier die ausreichend positive Überdeckung, die Federzentrierung und die Verwendung dauerfester Federn zu nennen. Außerdem muss es sich bei dem Ventil um ein für die Anwendung sicherheitstechnisch bewährtes Bauteil handeln. Die im Blockdiagramm nicht dargestellte elektrische Ansteuerung des Ventils muss ebenfalls den Anforderungen an die Kategorie entsprechen. Fehlererkennende Maßnahmen sind für die Kategorie 1 nicht vorgesehen. Demnach kann ein Fehler zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen. Die für eine Sicherheits-

funktion erforderliche Berechnung der Wahrscheinlichkeit gefahrbringender Ausfälle pro Stunde ( $PFH_D$ ) kann unter Verwendung der Software SISTEMA erfolgen, die das IFA zur Unterstützung der Anwendung der DIN EN ISO 13849 bereitstellt.

Der Artikel zeigt, dass die im VDMA Einheitsblatt dargestellten Teil-Sicherheitsfunktionen, die in der elektrischen Antriebstechnik schon weit verbreitet sind, nun auch für die pneumatische Antriebstechnik beschrieben sind. Es ist zu erwarten, dass die Anwendung des Einheitsblatts für alle Beteiligten ein Gewinn ist – selbst der Arbeitsschutz kann davon profitieren.

Fotos: Aufmacher fotolia

[www.dguv.de/IFA](http://www.dguv.de/IFA)

### Literatur:

- [1] DIN EN ISO 12100, *Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung*, Berlin, Beuth, 2011-03
- [2] DIN EN 61800-5-2 *Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-2: Anforderungen an die Sicherheit – Funktionale Sicherheit*, Berlin, Beuth, 2017 (angekündigt)
- [3] DIN EN ISO 13849-1, *Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze*, Beuth, Berlin, 2016-06
- [4] VDMA Einheitsblatt 24584 „Sicherheitsfunktionen geregelter und nicht geregelter (fluid-) mechanischer Systeme“, Beuth, Berlin, 2016-08
- [5] DIN EN ISO 13849-2, *Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 2 - Validierung*, Beuth, Berlin, 2013-02