

# Pneumatische Impulsventile

## Einsatz in sicherheitsbezogenen Anwendungen

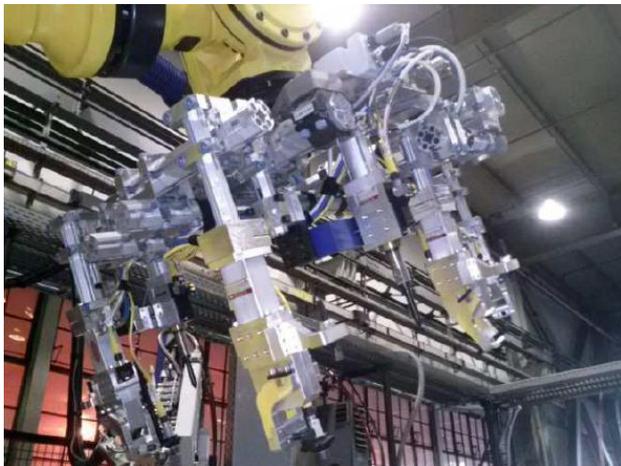
Ausgabe 03/2017

FB HM-076

Aus prozess- und sicherheitstechnischen Gründen ist es in einigen Anwendungen notwendig, dass pneumatische Antriebe bei einer sicherheitsgerichteten Abschaltung oder bei Energieausfall immer in ihrer zuletzt eingenommenen Arbeitsstellung verbleiben.

Dies ist z. B. bei pneumatischen Spannvorrichtungen der Fall, die ein Werkstück festhalten, das sich bei Energieausfall nicht lösen darf. Um diese Anforderung steuerungstechnisch zu realisieren, werden u. a. bistabile Ventile, d. h. sogenannte Impulsventile, eingesetzt.

In dieser DGUV-Information werden Lösungen aufgezeigt, wie man Impulsventile in sicherheitsgerichteten Anwendungen unter Berücksichtigung der DIN EN ISO 13849-1/-2 [1,2] einsetzen kann. Weiterhin wird in dieser Information zwischen der Anwendung von Impulsventilen mit und ohne Raste unterschieden.



**Bild 1:** Pneumatikanwendung

### 1 Sicherheitsprinzipien nach DIN EN ISO 13849-2

Die Norm DIN EN ISO 13849-2 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 2: Validierung“ beschreibt die Möglichkeit, sicherheitsgerichtete Bauteile und Steuerungen unterschiedlicher Technologien (Mechanik, Pneumatik, Hydraulik, Elektrik) durch die Anwendung sogenannter grundlegender und bewährter Sicherheitsprinzipien zu validieren.

Ein wesentliches grundlegendes Sicherheitsprinzip ist die „Anwendung des Prinzips der Energietrennung“ (*Ruhestromprinzip*). Dieses besagt, dass der sichere Zustand durch Freischalten von Energie an allen relevanten Einrichtungen erreicht werden soll. Ebenso dürfen bei einem Energieausfall der Steuerung keine gefahrbringenden

### Inhaltsverzeichnis

- 1 Sicherheitsprinzipien nach DIN EN ISO 13849-2
- 2 Gefährdung durch unerwarteten Anlauf und bei Energieausfall, -trennung und anschließender Energiewiederkehr
- 3 Pneumatische Impulsventile mit Raste
- 4 Pneumatische Impulsventile ohne Raste
- 5 Zusätzlich erforderliche steuerungs-technische Maßnahmen für den Einsatz von Impulsventilen ohne Raste
- 6 Ausblick für den Anwender
- 7 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Bewegungen durch Antriebe auftreten. Das gleiche gilt für den Fall der Energiewiederkehr.

Das Ruhestromprinzip besagt, dass der energielose Zustand auch der sichere Zustand sein soll. Demnach werden Bauteile, die der Steuerung eines gefahrbringenden Antriebes dienen nach dem Ruhestromprinzip gesteuert. Die sicherheitsgerichtete Schaltstellung eines Bauteils muss ohne Ansteuerung beibehalten oder eingenommen werden. Entsprechend der Applikation muss die sicherheitsgerichtete Schaltstellung definiert werden.

Weiterhin ist das bewährte Sicherheitsprinzip „gesicherte Position“ nach Tabelle B.2 der DIN EN ISO 13849-2 anzuwenden. Dies bedeutet, dass das bewegliche Element des Bauteils mechanisch – z. B. mit Hilfe einer mechanischen Feder - in einer der möglichen Positionen gehalten wird, wobei Reibung allein nicht ausreicht. Um die Position zu verändern ist das Aufbringen von Kraft notwendig.

Zum Verlassen der sicherheitsgerichteten Schaltstellung ist das Aufbringen von Energie, z. B. bei monostabilen Ventilen durch Ansteuerung eines Elektromagneten, der gegen die Feder arbeitet, erforderlich. In diesen Fällen muss klar definiert sein, dass es nur *eine* sicherheitsgerichtete Schaltstellung gibt.

Es gibt jedoch Applikationen, in denen die zuletzt eingenommene Schaltstellung die *sicherheitsgerichtete* ist. Hierbei muss die Schaltstellung bei Energieausfall, -trennung und anschließender Energiewiederkehr erhalten bleiben, wobei Reibung alleine nicht ausreichend ist. Ein typischer

Anwendungsfall wären z. B. pneumatisch betriebene Spannvorrichtungen.

Impulsventile können die genannten funktionalen Anforderungen bzgl. *Beibehaltung* der letzten Schaltstellung erfüllen. Jedoch werden bei Anwendung von Impulsventilen ohne mechanische Arretierung (d. h. ohne Raste) die oben genannten *Sicherheitsprinzipien* (d. h. *Ruhestromprinzip und gesicherte Position*) nicht ohne weiteres eingehalten.

Weichgedichtete Impulsventile ohne Raste verfügen in der Regel über eine Haltekraft, die aus der Reibung zwischen Schieberhülse und O-Ringen (Weichdichtungen) resultiert. Diese Haltekraft ist schwer zu bestimmen und kann sich im Laufe der Einsatzzeit verändern. Aus diesem Grund sind Ventile dieser Bauart in sicherheitsgerichteten Anwendungen besonders zu betrachten.

Für den Einsatz von Impulsventilen ohne Raste sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

- es sind zusätzliche technische Maßnahmen zu treffen, wie sie bspw. in Kapitel 5 dieser DGUV-Information beschrieben werden, *oder*
- alternativ zu den technischen Maßnahmen kann der Konstrukteur der pneumatischen Steuerung ggf. auch den Fehlerausschluss nach Abschnitt 7.3 der DIN EN ISO 13849-1 geltend machen.

**Anmerkung:**

Für den Fall, dass der Konstrukteur den Fehlerausschluss geltend machen will, ist folgendes sorgfältig zu beachten:

Ein Fehlerausschluss seitens des Steuerungskonstrukteurs macht es erforderlich, dass der Ventilhersteller dem Anwender für das selbsttätige Verändern der Ausgangsschaltstellung (ohne Eingangssignal) den Fehlerausschluss nach Tabelle B.3 im Anhang B der DIN EN ISO 13849-2 schriftlich formuliert.

Der Ventilhersteller muss die geeigneten Maßnahmen, die den Fehlerausschluss erlauben, hinreichend begründen und darstellen. Diese Maßnahmen sollten während der *gesamten* Lebensdauer des Ventils gelten (siehe Abschnitt 6.2.4 der DIN EN ISO 13849-1).

Der Konstrukteur der Pneumatiksteuerung muss diese ihn betreffenden technischen Maßnahmen zu dem Fehlerausschluss umsetzen und auch alle Maßnahmen und Vorgaben für den Fehlerausschluss in der Benutzerdokumentation (Betriebsanleitung) angeben.

Die Begründung und Umsetzung des Fehlerausschlusses muss auch in der Technischen Dokumentation zur Maschine hinterlegt werden.

*Zusammengefasst* gilt für den Fehlerausschluss:

- Die vom Ventilhersteller getroffenen und geforderten Maßnahmen, die einen Fehlerausschluss erlauben, müssen während der gesamten Lebensdauer des Ventils gelten.
- Der Konstrukteur der Maschine muss diese Vorgaben des Ventilherstellers unbedingt beachten bzw. umsetzen (in der pneumatischen Steuerung und in den Hinweisen in der Betriebsanleitung).
- Der Betreiber der Maschine muss die Vorgaben des Maschinenherstellers zur Aufrechterhaltung des Fehlerausschlusses bzw. der Sicherheit während der Lebensdauer der Maschine einhalten.

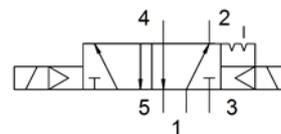
Bei Einsatz von Impulsventilen mit Raste sind die Informationen und Randbedingungen in Kapitel 3 zu beachten.

## 2 Gefährdung durch unerwarteten Anlauf und bei Energieausfall, -trennung und anschließender Energiewiederkehr

Impulsventile, die die Anforderung „gesicherte Position“ nicht erfüllen, können bei Energieausfall oder Energietrennung (z. B. bei Störungsbeseitigung oder im Wartungsfall) durch externe Einflüsse wie Schock- und Vibrationsbeanspruchungen (mechanische Belastungen), durch eine ungünstige Einbaulage (Massekräfte) oder durch innere Strömungskräfte ihre Schaltstellung verlassen. Dies kann bei Energiewiederkehr zu einer Gefährdung durch eine ungewollte Bewegung des Antriebs führen.

## 3 Pneumatische Impulsventile mit Raste

Ähnlich wie in der Hydraulik, gibt es auch in der Pneumatik *metallisch* dichtende Ventile. Diese Ventilart besitzt im Vergleich zu den weichgedichteten Ventilen keine Dichtringe auf dem Ventilschieber. Diese Ventile verfügen aufgrund ihrer Bauart über keinerlei Haltekräfte zwischen Ventilschieber und Schieberhülse. Damit der Ventilschieber seine eingenommene Schaltstellung nicht verlassen kann, verfügen die Ventilschieber bei metallisch dichtenden Impulsventilen in der Regel über mechanische Rasten (siehe auch Bild 2).



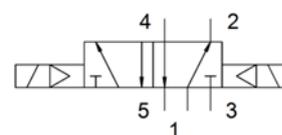
**Bild 2:** Pneumatisches Symbol eines 5/2-Wege-Impulsventils mit Raste

Entsprechend der Definition „sichere Stellung“ nach DIN EN ISO 4414 [3] muss ein Ventil eine definierte sichere Schaltstellung beibehalten oder einnehmen, z. B. durch eine Federvorspannung oder ein vergleichbares physikalisches Prinzip, wie beispielsweise durch eine Raste. Eine Raste wird in der Regel durch eine mechanische Feder oder durch Elemente mit federnder Wirkung, welche z. B. senkrecht zum Ventilschieber eingebaut sind, betätigt. Für dieses mechanische System sind die grundlegenden und bewährten Sicherheitsprinzipien nach DIN EN ISO 13849-2 zu erfüllen.

Beide Schaltstellungen des Ventilschiebers müssen durch Rasten gesichert werden. Damit die sichere Funktion der Rastung gegeben ist, müssen die vom Ventilhersteller in den Technischen Daten angegebenen maximal zulässigen Schwing- und Schockbelastungen des Ventils eingehalten werden. Daher ist die Dokumentation des Ventilherstellers zwingend bei der Anwendung zu beachten.

## 4 Pneumatische Impulsventile ohne Raste

Bei weichgedichteten Ventilen wird die Vorspannung der elastischen Dichtelemente genutzt, um den Ventilschieber in seiner zuletzt eingenommenen Schaltstellung zu halten. Dies widerspricht dem bewährten Sicherheitsprinzip „*gesicherte Position*“ (siehe Abschnitt 1).

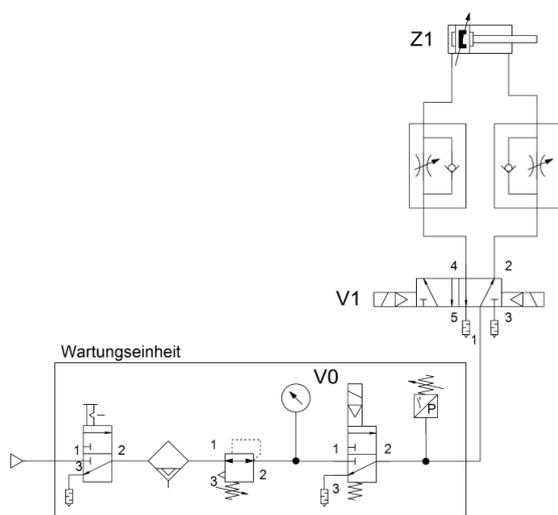


**Bild 3:** Pneumatisches Symbol eines 5/2-Wege-Impulsventils ohne Raste

Über die Lebensdauer des Ventils kann aufgrund chemischer Einflüsse und/ oder durch Verschleiß an den Dichtelementen eine konstante Haltekraft nicht gewährleistet werden. Ein Einsatz derartiger Impulsventile ohne Raste (siehe Bild 3) ist in sicherheitsgerichteten Teilen von Steuerungen daher ohne zusätzliche steuerungstechnische Maßnahmen oder ohne einen begründeten Fehlerausschluss (siehe Kapitel 1 dieser DGUV-Information) nicht zulässig.

Im Bild 4 wird eine rein funktionale einkanaleige Steuerungsstruktur mit einem Impulsventil gezeigt. Die Steuerluftversorgung des Ventils V1 erfolgt intern über Druckluftanschluss 1.

Beim Entlüften der pneumatischen Anlage durch das zur Wartungseinheit zählende Ventil V0 steht der Vorsteuerdruck für eine Beaufschlagung des Hauptschiebers am Impulsventil V1 nicht mehr zur Verfügung. Das Entlüften der pneumatischen Anlage über das Ventil V0 kann dabei mehrere Gründe haben.



**Bild 4:** Rein funktionale elektropneumatische Steuerung mit 5/2-Wege-Impulsventil ohne Raste mit interner Vorsteuerluftversorgung.

So kann die Entlüftung beispielsweise

- durch die Steuerung (prozessbedingt oder bei Not-Halt),
- durch einen Steuerungsfehler oder
- durch einen Energieausfall

erfolgen.

Das Impulsventil V1 ohne Raste aus dem in Bild 4 gezeigten Beispiel erfüllt nicht die grundlegenden und bewährten Sicherheitsprinzipien der DIN EN ISO 13849-2.

Für die Anwendung von Impulsventilen ohne Raste (und ohne Anwendung eines Fehlerausschlusses nach Anmerkung in Kapitel 1) in sicherheitsgerichteten Teilen von Steuerungen sind daher zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

## 5 Zusätzlich erforderliche steuerungstechnische Maßnahmen für den Einsatz von Impulsventilen ohne Raste

Bei Einsatz von Impulsventilen ohne Raste in sicherheitsgerichteten Teilen von Steuerungen ist durch steuerungstechnische Maßnahmen zu gewährleisten, dass während des gesamten Anforderungszeitraums der Sicherheitsfunktion die entsprechende Schaltstellung erhalten bleibt.

Dies kann durch dauerhafte elektrische Ansteuerung des entsprechenden Magneten am extern vorgesteuerten Ventil und ständig anstehender Steuerluft realisiert werden. Damit steht während der gesamten Anforderungszeit der Sicherheitsfunktion vom Prinzip her eine pneumatische Feder zur Verfügung. Diese bewirkt, dass der Ventilschieber in seiner zuletzt eingenommenen Schaltstellung verbleibt. Unter der Voraussetzung, dass elektrische und pneumatische Energie zur Verfügung stehen, sind die Anforderungen bzgl. sicherer Stellung und gesicherter Position (DIN EN ISO 4414 Nr. 5.4.6.9 und DIN EN ISO 13849-2 Tabelle B.2) erfüllt. Jedoch entsprechen diese Maßnahmen nicht dem Ruhestromprinzip, welches besagt, dass der energieelose Zustand der sichere ist.

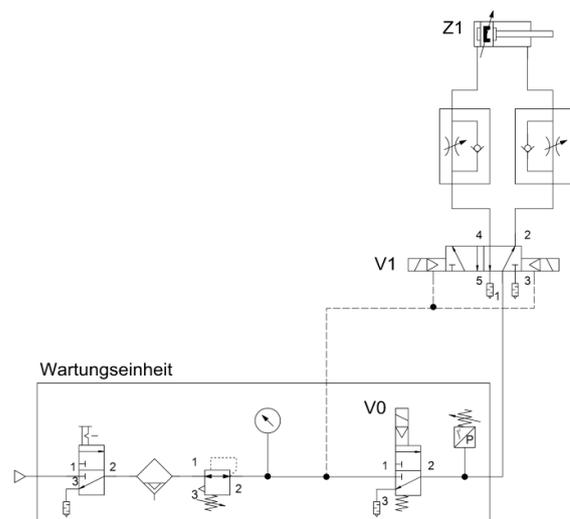
Bei einem elektrischen oder pneumatischen Energieausfall ist trotz der vorgenannten Maßnahmen jedoch nicht gewährleistet, dass das Ventil in der geforderten Schaltstellung verbleibt. Ein Wechsel der Schaltstellung während des Energieausfalls darf zu keiner Gefährdung führen.

### Anmerkung:

Gefährdungen, die von z. B. hochgehaltenen Lasten, schwerkraftbelasteten Achsen oder Spannvorrichtungen bei Energieverlust ausgehen, müssen gesondert betrachtet und abgesichert werden.

Erfolgt während des Energieausfalls ein Schaltstellungswechsel des Ventilschiebers, kann es bei Wiederkehr der Energie zu einer gefahrbringenden Bewegung wie z. B. Richtungsumkehr des Antriebs kommen.

Im Folgenden werden beispielhaft Realisierungsmöglichkeiten von sicherheitsgerichteten elektropneumatischen Steuerungen mit Impulsventilen ohne Raste beschrieben. Diese Steuerungsbeispiele stellen jedoch keine verpflichtende Vorgabe für den Maschinenhersteller dar. Der Maschinen- bzw. Steuerungshersteller muss für seine Applikation eine individuelle Risikoanalyse durchführen. Nur bei Kenntnis des abzudeckenden Risikos und des Typs der zu erfüllenden Sicherheitsfunktion kann entschieden werden, ob die Schaltungsbeispiele für eine spezifische Anwendung geeignet sind.



**Bild 5:** Elektropneumatische Steuerung entsprechend Kategorie 1 mit 5/2-Wege-Impulsventil ohne Raste mit externer Vorsteuerluftversorgung

Die in Bild 5 dargestellte Steuerung kann mit Hilfe der im Folgenden beschriebenen Maßnahmen für z. B. den Schutz vor unerwartetem Anlauf maximal einen Performance-Level PL c in Kategorie 1 entsprechend der DIN EN ISO 13849-1 erreichen. Hier wird ein Impulsventil

V1 (ohne Raste) mit externem Vorsteueranschluss eingesetzt. Die Abzweigung für die Vorsteuerleitung muss vor dem Einschaltventil V0 eingebaut werden. Damit erreicht man eine vom Ventil V0 unabhängige Vorsteuerluftversorgung.

Zum Sichern der Position des Ventilschiebers (Ventil V1) sind eine dauerhafte elektrische Ansteuerung des entsprechenden Magneten am Vorsteuerventil und eine ständig anstehende Steuerluft erforderlich. Im Falle eines Ausfalls von elektrischer oder pneumatischer Energie fällt Ventil V0 ab und entlüftet die pneumatische Anlage. Dies darf zu keiner Gefährdung führen. Die Anmerkung in Kapitel 5 ist zu beachten

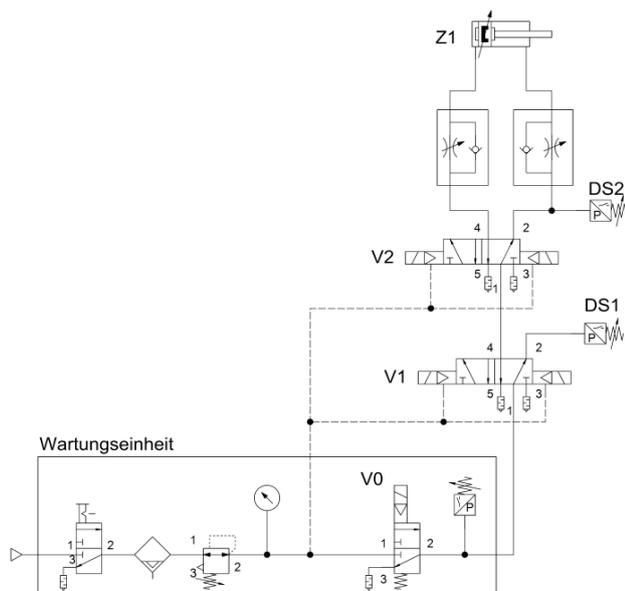
Bevor das Ventil V0 (Bild 5) bei Wiederkehr der Energie eingeschaltet werden darf, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

1. die Vorsteuerluft für das Ventil V1 muss anstehen und
2. der entsprechende Magnet muss elektrische angesteuert sein.

Damit wird erreicht, dass im Falle einer Veränderung der Schaltstellung des Ventilschiebers während des Energieausfalls die ursprüngliche Schaltstellung vor Energieausfall wieder eingenommen wird.

Die in Bild 6 dargestellte Steuerung kann mit Hilfe der im Folgenden beschriebenen Maßnahmen für z. B. den Schutz vor unerwartetem Anlauf in Kategorie 3 mit einem Performance-Level PL d entsprechend der DIN EN ISO 13849-1 erreichen. Hier werden Impulsventile (V1 und V2) mit externen Vorsteueranschlüssen eingesetzt. Die Abzweigung für die Vorsteuerleitung muss vor dem Einschaltventil V0 eingebaut werden. Damit erreicht man eine vom Ventil V0 unabhängige Vorsteuerluftversorgung.

Das Ventil V1 stellt den ersten Kanal dar. Die Fehlererkennung erfolgt über den Druckschalter DS1. Das Ventil V2 stellt den zweiten Kanal dar. Die Fehlererkennung für das Ventil V2 wird zyklisch über einen Plausibilitätscheck zwischen der Ansteuerung der Ventile V1 und V2 sowie dem Signal des Druckschalters DS2 realisiert.



**Bild 6:** Elektropneumatische Steuerung entsprechend Kategorie 3 mit 5/2-Wege-Impulsventilen ohne Raste mit externer Vorsteuerluftversorgung.

Im Falle eines Ausfalls von elektrischer oder pneumatischer Energie fällt das Ventil V0 ab und entlüftet die

pneumatische Anlage. Dies darf zu keiner Gefährdung führen. Die Anmerkung in Kapitel 5 ist zu beachten.

Bevor das Ventil V0 (Bild 6) bei Wiederkehr der Energie eingeschaltet werden darf, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

1. die Vorsteuerluft für die Ventile V1 und V2 muss anstehen und
2. die entsprechenden Magnete an V1 und V2 müssen elektrisch angesteuert sein.

Damit wird erreicht, dass im Falle einer Veränderung der Schaltstellung des Ventilschiebers während des Energieausfalls die ursprünglichen Schaltstellungen vor Energieausfall wieder eingenommen werden.

#### Hinweis:

Die Anforderung der Sicherheitsfunktion „Schutz vor unerwartetem Anlauf“ kann beispielsweise das Eingreifen in ein Lichtgitter oder das Öffnen einer Schutztür sein. Während dieser Zeit muss seitens des Maschinen-/ Steuerungsherstellers dafür Sorge getragen sein, dass die Steuerluftversorgung sowie die elektrische Ansteuerung der Ventile aufrechterhalten bleiben.

## 6 Ausblick für den Anwender

Da der Einsatz von Impulsventilen in vielen Anwendungen erforderlich ist, zeigt diese DGUV-Information beispielhaft Möglichkeiten auf, Impulsventile mit und ohne Raste in sicherheitsgerichteten Teilen von Steuerungen eingesetzt werden können.

Die konstruktiven Besonderheiten in Bezug auf die sicherheitsgerichteten Anforderungen der DIN EN ISO 13849-2 beim Einsatz von Impulsventilen müssen berücksichtigt und gegebenenfalls durch steuerungstechnische Maßnahmen ergänzt werden.

Es kann u. U. ein Fehlerausschluss (siehe Anmerkung im Kapitel 1) in Anspruch genommen werden.

## 7 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Diese DGUV-Information beruht auf dem durch den Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Maschinen, Anlagen und Fertigungsautomation der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV zusammengeführten Erfahrungswissen und Erkenntnissen aus Anwendungen auf dem Gebiet der pneumatischen Ausrüstungen von Maschinen und Anlagen.

Die vorliegende DGUV-Information wurde vom Expertenkreis der Unfallversicherungsträger im Themenfeld Hydraulik und Pneumatik der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung - DGUV unter Einbeziehung des Instituts für Arbeitsschutz - IFA erarbeitet. Es soll insbesondere der Information von Konstrukteuren der Herstellern und von Betreibern bei der Festlegung und beim Einsatz von Impulsventilen in sicherheitsbezogenen Teilen von pneumatischen Steuerungen an Maschinen und Anlagen dienen, die zum Anwendungsbereich der europäischen Maschinenrichtlinie [4] zählen

Die besonderen Bestimmungen für andere Anwendungsfälle (im Bergbau o. ä.) sind zu beachten.

Die Bestimmungen nach einzelnen Gesetzen und Verordnungen bleiben durch diese DGUV-Information unberührt. Die Anforderungen der gesetzlichen Vorschriften gelten uneingeschränkt.

Um vollständige Informationen zu erhalten, ist es erforderlich, alle in Frage kommenden Vorschriftentexte und aktuellen Normen einzusehen.

Der Fachbereich Holz und Metall setzt sich unter anderem zusammen aus Vertretern und Vertreterinnen der Unfallversicherungsträger, staatlichen Stellen, Sozialpartnern, Herstellern und Betreibern.

Diese DGUV-Information ersetzt die gleichnamige Fassung, herausgegeben als Ausgabe 05/2015. Aktualisierungen wurden infolge von redaktionellen Anpassungen erforderlich.

Weitere DGUV-Informationen bzw. Informationsblätter des Fachbereichs Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [5].

Zu den Zielen der DGUV-Information siehe DGUV-Information FB HM-001 „Ziele der DGUV-Information herausgegeben vom Fachbereich Holz und Metall“.

**Literatur:**

- [1] DIN EN ISO 13849-1 Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze, 2016-06, Beuth-Verlag
- [2] DIN EN ISO 13849-2 Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 2: Validierung, 2013-02, Beuth-Verlag
- [3] DIN EN ISO 4414, Fluidtechnik – Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Pneumatikanlagen und deren Bauteile; 2011-04, Beuth Verlag
- [4] Richtlinie 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie) Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 157/24 vom 09.06.2006 mit Berichtigung im Amtsblatt L76/35 vom 16.03.2007.
- [5] Internet: [www.dguv.de/fb-holzundmetall](http://www.dguv.de/fb-holzundmetall) Publikationen oder [www.bghm.de](http://www.bghm.de) Webcode: <626>

**Bildnachweis:**

Die in der DGUV-Information gezeigten Bilder wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Bild 1: SMC Pneumatik GmbH - Boschring 13-15  
63329 Egelsbach

Bilder 2 – 6: Institut für Arbeitsschutz (IFA)  
der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV  
53757 Sankt Augustin

**Herausgeber:**

Fachbereich Holz und Metall der DGUV  
Sachgebiet Maschinen, Anlagen und Fertigungsautomation  
c/o Berufsgenossenschaft Holz und Metall  
Postfach 37 80  
55027 Mainz