

Sachgebiet Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation

## Reduzierte Geschwindigkeit bei fluidtechnischen Steuerungen

Stand: 11.10.2019

Die europäische Maschinenrichtlinie [1] und die Gestaltungsleitlinien in der DIN EN ISO 12100 [2] stellen Anforderungen für bestimmte Betriebsarten, wie z. B. das Einrichten, Umrüsten und die Fehlersuche an Maschinen bei geöffneter (abgeschalteter) Schutzeinrichtung.

Darin enthalten ist die Anforderung, den Betrieb nur unter Bedingungen verminderten Risikos zuzulassen (z. B. durch reduzierte Geschwindigkeit). Dazu sind verschiedenste technische Lösungen denkbar.

Diese „Fachbereich AKTUELL“ behandelt einige Beispiele von möglichen hydraulisch oder pneumatisch ausgeführten steuerungstechnischen Lösungen für reduzierte Geschwindigkeit.



Bild 1: Pneumatische Linearachsen

### 1 Anforderungen

Die europäische Maschinenrichtlinie (MRL) und die DIN EN ISO 12100 stellen folgende Anforderungen, wenn Einrichten, Umrüsten, Fehlersuche sowie Reinigungs-/Instandhaltungsarbeiten an Maschinen bei geöffneter (abgeschalteter) Schutzeinrichtung erfolgen müssen:

### Inhalt

1	Anforderungen .....	1
2	Hydraulische Steuerungen .....	2
3	Pneumatische Steuerungen .....	3
4	Integration in Maschinen .....	6
5	Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen .....	6

- alle weiteren Steuerungsarten sind abgeschaltet,
- der Betrieb ist nur durch kontinuierliche Betätigung einer Zustimmungseinrichtung, einer Zweihandschaltung oder einer Steuereinrichtung mit selbsttätiger Rückstellung zugelassen,
- der Betrieb ist nur unter Bedingungen mit vermindertem Risiko (z. B. reduzierte Geschwindigkeit) zugelassen.
- Ferner sind noch weitere Anforderungen der MRL und der DIN EN ISO 12100 an die Steuerung bzw. Steuerungseinheit / Befehlseinrichtung zu erfüllen. Alle Anforderungen gelten unabhängig von der verwendeten Technologie (Elektrik, Elektronik, Hydraulik, Pneumatik).

Die konkreten steuerungstechnischen Anforderungen und ggf. erforderlichen reduzierten Geschwindigkeiten sind den Produktnormen (C-Normen) für die Maschinen oder anderen Regelwerken zu entnehmen. Je nach Gewerbe und Maschinenart (z. B. Kunststoffmaschinen, Pressen, Werkzeugmaschinen) sind verschiedene maximale Werte für die reduzierte Geschwindigkeit von 10 mm/s bis 2 m/min (= 33,33 mm/s) zulässig. Ein Linearantrieb (oder ein rotatorischer Antrieb) sollte aus diesem Grund die geforderte reduzierte Geschwindigkeit (oder Umfangsgeschwindigkeit) für die entsprechende sicherheitstechnische Anforderung einhalten.

Zur Reduzierung des Volumenstroms und somit auch zur Geschwindigkeitsreduzierung eines fluidtechnischen Antriebes sollten Festblenden oder Festdrosseln eingesetzt werden. Beim Strömen des Mediums durch die Querschnittsverengung einer Festblende bzw. Festdrossel reduziert sich die Verfahrgeschwindigkeit des Leistungselementes (z. B. Zylinder). Je nach Querschnitt der Festblende bzw. Festdrossel ist eine bestimmte Geschwindigkeit erreichbar. Bei vertikalen Achsen bzw. Bewegungen sind bei stark unterschiedlichen Lastgewichten auch Veränderungen in der Geschwindigkeit vorhanden. Ferner sind bei unterschiedlichen Zylindergrößen bei gleicher Festblende bzw. Festdrossel Geschwindigkeitsveränderungen zu berücksichtigen.

Insbesondere bei pneumatischen Antrieben sind die physikalischen Eigenschaften (Kompressibilität des Druckmediums) bei der Erfüllung der Anforderung „Vermindertes Risiko“ z. B. durch reduzierte Geschwindigkeit zu berücksichtigen.

## 2 Hydraulische Steuerungen

Im Folgenden werden beispielhaft zwei Schaltungen (siehe Bilder 2 und 3) zur Realisierung einer reduzierten Geschwindigkeit beschrieben. Die gezeigten Steuerungen wurden im Institut für Arbeitsschutz IFA erarbeitet, stellen jedoch keine verpflichtende Vorgabe für Maschinenhersteller dar.

Das tatsächlich erforderliche Sicherheitsniveau einer hydraulischen Steuerung bzw. Steuerungsfunktion muss stets für den konkreten Anwendungsfall ermittelt werden.

In den Bildern 2 und 3 werden beispielhaft zwei prinzipielle Möglichkeiten zur Realisierung hydraulischer Steuerungen mit reduzierter Geschwindigkeit mittels Hydraulikplanskizzen dargestellt. Es ist nur der hydraulische Teil der Steuerung gezeigt.

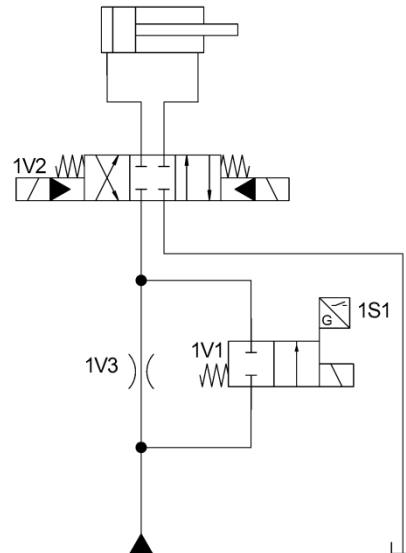
Die Geschwindigkeit wird über die Festblende oder Festdrossel (siehe DIN EN ISO 13849-2 [3], Tabelle C.2) reduziert.

Vorausgesetzt wird bei den folgenden hydraulischen Steuerungen, dass die Anforderungen der Kategorie B und die bewährten Sicherheitsprinzipien eingehalten werden (siehe auch DIN EN ISO 13849-2, Anhang C). Weitere Erläuterungen dazu sind im IFA-Report 2/2017 [4] zu finden.

Der elektrische Teil der Steuerung der Ventile ist nicht dargestellt, muss aber in jedem Fall mit betrachtet werden.

### 2.1 Einkanalige Hydrauliksteuerung

Im Bild 2 ist eine einkanalige hydraulische Steuerung dargestellt, bei der in der Ruhestellung die Festblende 1V3 in Funktion ist, d. h. die Geschwindigkeit ist reduziert.



**Bild 2:** Reduzierte Geschwindigkeit in *einkanaliger* hydraulischer Steuerung (Kategorie 2)

Im Normalbetrieb (mit Arbeitsgeschwindigkeit) ist das Wegeventil 1V1 angesteuert. Mit dem Richtungsventil 1V2 wird die Bewegung des Hydraulikzylinders gesteuert. Für das Unterbrechen der Zylinderbewegung (Steuerspannung aus) schaltet das Richtungsventil 1V2 auf Sperrmittelstellung, d. h. in die sicherheitsgerichtete Schaltstellung und das Wegeventil 1V1 auf reduzierten Volumenstrom (über die Festblende 1V3).

Für den Betrieb mit reduzierter Geschwindigkeit wird das Wegeventil 1V1 nicht angesteuert, sodass der Volumenstrom durch die Festblende 1V3 begrenzt wird. Der Hydraulikzylinder wird durch Schalten des Richtungsventils 1V2 gesteuert.

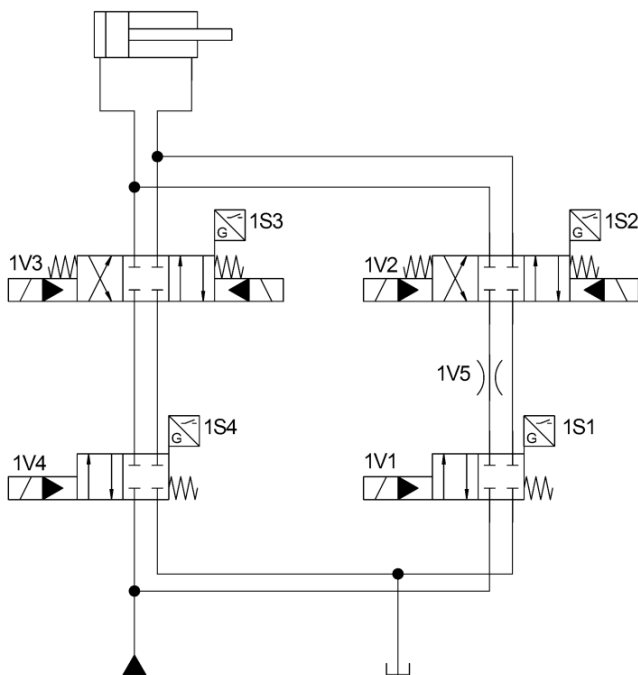
Das Wegeventil 1V1 ist mit einer elektrischen Stellungsüberwachung 1S1 ausgeführt, damit ein Hängenbleiben in der (geöffneten) Schaltstellung (Arbeitsstellung) erkannt wird. Wenn dieser Fehler erkannt wird, darf keine Zylinderbewegung über das Richtungsventil 1V2 eingeleitet werden oder diese muss gestoppt werden (übergeordneter Abschaltpfad). Hierbei sind die Reaktionszeiten und die Nachlaufwege zu berücksichtigen. Die Testung erfolgt unmittelbar bevor und während die Sicherheitsfunktion angefordert wird.

Diese Steuerung entspricht Kategorie 2 und kann bei entsprechender Auswahl und Verknüpfung der

Komponenten (MTTF<sub>d</sub>, DC, CCF) den Performance Level (PL) d nach DIN EN ISO 13849-1 [5] für die Sicherheitsfunktion „Verhinderung des Verlassens der geschwindigkeitsreduzierten Bewegung“ erreichen.

## 2.2 Zweikanalige Hydrauliksteuerung

Im Bild 3 ist eine zweikanalige hydraulische Steuerung dargestellt, mit der eine Umschaltung auf eine reduzierte Geschwindigkeit redundant erfolgt.



**Bild 3:** Reduzierte Geschwindigkeit in zweikanaliger hydraulischer Steuerung (Kategorie 4)

Im Normalbetrieb (mit Arbeitsgeschwindigkeit) wird die Bewegung des Hydraulikzylinders zweikanalig über das Wegeventil 1V4 und das Richtungsventil 1V3 gesteuert.

Für den Betrieb mit reduzierter Geschwindigkeit werden die Ventile 1V3 und 1V4 nicht angesteuert, somit ist eine redundante Abschaltung der Bewegung mit Arbeitsgeschwindigkeit (nicht reduzierte Geschwindigkeit) gewährleistet. Die Steuerung der Bewegung des Hydraulikzylinders mit reduzierter Geschwindigkeit erfolgt zweikanalig über das Wegeventil 1V1 und das Richtungsventil 1V2. Die Volumenstrombegrenzung erfolgt über die Festblende 1V5.

Für das Unterbrechen der Bewegung (Steuer-spannung aus) schalteten alle Wegeventile in die gesperrte Ruhestellung, d. h. in die sicherheitsgerichtete Schaltstellung.

Alle Wegeventile (1V1, 1V2, 1V3 und 1V4) verfügen über eine elektrische Stellungsüberwachung. Dieser hydraulische Teil der Steuerung entspricht Kategorie 4 und kann bei entsprechender Auswahl und Verknüpfung der Komponenten (MTTF<sub>d</sub>, DC, CCF) den Performance Level (PL) e nach DIN EN ISO 13849-1 für die Sicherheitsfunktion „Verhinderung des Verlassens der geschwindigkeitsreduzierten Bewegung“ erreichen.

## 2.3 Weitere Hinweise

Die dargestellten Beispiele in den Bildern 2 und 3 zeigen prinzipielle Möglichkeiten zur Realisierung einer hydraulischen Steuerungsstruktur mit reduzierter Geschwindigkeit.

Bei der konkreten Auslegung einer Maschinensteuerung sind die Einflüsse durch äußere Kraftwirkungen zu berücksichtigen (z.B. Anordnung und Auslegung der Festblende bzw. Festdrossel, Verwendung von leckagefreien Sperrventilen).

Stromregelventile oder regelbare Pumpen erfüllen im Allgemeinen nicht die Anforderung an eine reduzierte Geschwindigkeit.

Ein längerer Betrieb mit reduzierter Geschwindigkeit kann eine Temperaturerhöhung im hydraulischen System zur Folge haben. Diese ist bei der Auslegung bzw. Ausrüstung zu berücksichtigen.

## 3 Pneumatische Steuerungen

In einschlägigen Veröffentlichungen, z. B. IFA-Report 2/2017, sind zahlreiche allgemeine Beispiele für sicherheitsgerichtete pneumatische Steuerungen ohne reduzierte Geschwindigkeit dargestellt. Für die Realisierung einer pneumatischen Steuerung mit reduzierter Geschwindigkeit sind verschiedene Varianten möglich, die in einem Informationsblatt nicht alle behandelt werden können.

Daher werden hier in den Bildern 4 und 5 *beispielhaft* zwei prinzipielle Möglichkeiten zur Realisierung einer pneumatischen Steuerung für schwerkraftbelastete Achsen mit reduzierter Geschwindigkeit betrachtet. Diese Steuerungen wurden im Institut für Arbeitsschutz IFA erarbeitet, stellen jedoch keine verpflichtende Vorgabe für Maschinenhersteller dar.

In den dargestellten Beispielen ist das Reversieren oder das Anhalten der Bewegung als nicht gefahrbringend vorausgesetzt.

Der Energieausfall und die Energiewiederkehr dürfen zu keiner gefahrbringenden Bewegung führen.

Der Pneumatikzylinder wird unter Druck in der oberen Endposition gehalten.

Die Geschwindigkeit wird über eine Festblende oder Festdrossel (siehe DIN EN ISO 13849-2 [3], Tabelle B.2) reduziert.

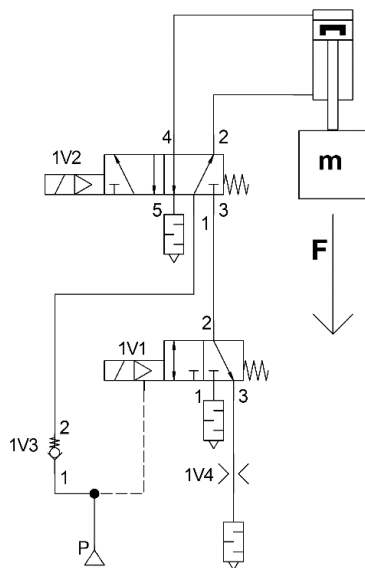
Das tatsächlich erforderliche Sicherheitsniveau einer pneumatischen Steuerung bzw. Steuerungsfunktion muss stets für den konkreten Anwendungsfall ermittelt werden.

Vorausgesetzt wird bei den folgenden pneumatischen Steuerungen, dass die Anforderungen der Kategorie B und die bewährten Sicherheitsprinzipien eingehalten werden (siehe auch DIN EN ISO 13849-2, Anhang B). Weitere Erläuterungen dazu sind im IFA-Report 2/2017 zu finden.

Der elektrische Teil der Steuerung der Ventile ist nicht dargestellt, muss aber in jedem Fall mit betrachtet werden.

### 3.1 Pneumatiksteuerung Beispiel 1

In Bild 4 ist eine einkanalige pneumatische Steuerung dargestellt, bei der sich der Zylinder in der Ruhestellung der Ventile druckluftbeaufschlagt in der oberen Endposition befindet.



**Bild 4:** Pneumatiksteuerung mit reduzierter Geschwindigkeit und zuschaltbarer Arbeitsgeschwindigkeit in Kategorie 1 / PL c

Die Abwärtsbewegung mit Arbeitsgeschwindigkeit erfolgt durch Ansteuerung von 1V2 und des extern vorgesteuerten Ventils 1V1.

Für eine geschwindigkeitsreduzierte Abwärtsbewegung wird nur 1V2 angesteuert, so dass der Volumenstrom abluftseitig durch die Festblende 1V4 begrenzt wird.

Das Rückschlagventil 1V3 verhindert ein Absinken der Last bei einem pneumatischen Energieausfall.

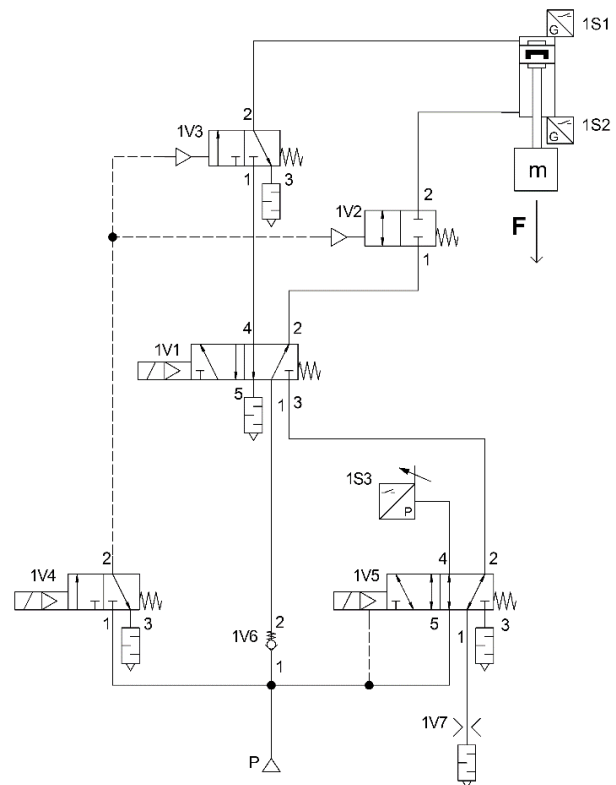
Vorausgesetzt, es handelt sich bei den Ventilen um für diese Anwendung bewährte Bauteile, kann für die Sicherheitsfunktionen

- Verhinderung des Verlassens der geschwindigkeitsreduzierten Bewegung,
- Reversieren oder Anhalten einer Abwärtsbewegung sowie dem
- Schutz vor unerwartetem Anlauf einer Abwärtsbewegung

eine Kategorie 1 realisiert werden, woraus sich für den pneumatischen Teil der Steuerung ein PL c ergeben kann.

### 3.2 Pneumatiksteuerung Beispiel 2

In Bild 5 ist eine pneumatische Steuerung dargestellt, bei der angenommen wird, dass sich der Zylinder in der Ruhestellung der Ventile in der oberen Endposition befindet. Über die Endschalter 1S1 und 1S2 werden die Endlagen des Zylinders angezeigt.



**Bild 5:** Pneumatiksteuerung mit reduzierter Geschwindigkeit und zuschaltbarer Arbeitsgeschwindigkeit in Kategorie 2 / PL d

Die Abwärtsbewegung mit Arbeitsgeschwindigkeit erfolgt über die (elektrische)

- Ansteuerung von Ventil 1V4 (welches die Ventile 1V2 und 1V3 pneumatisch ansteuert,

- Ansteuerung von Ventil 1V1 und
- Ansteuerung des extern vorgesteuerten Ventils 1V5.

Für eine geschwindigkeitsreduzierte Abwärtsbewegung wird 1V4 und das Richtungsventil 1V1 angesteuert, so dass der Volumenstrom abluftseitig über die Festblende 1V7 begrenzt wird.

Im Folgenden wird am oben gezeigten Beispiel 2 die Realisierung einer Kategorie 2-Struktur für die Sicherheitsfunktion

- Verhinderung des Verlassens der geschwindigkeitsreduzierten Bewegung

aufgezeigt.

Bei einer erkannten Unplausibilität von Ansteuerung des Ventils 1V5 und dem Ausgangssignal des Druckschalters 1S3 darf die Abwärtsbewegung durch den übergeordneten Abschaltpfad, bestehend aus 1V2, 1V3 und 1V4 nicht eingeleitet bzw. muss diese gestoppt werden. Ein eventuell auftretender Nachlaufweg ist zu berücksichtigen.

Durch eine solche Realisierung der vorgenannten Sicherheitsfunktion mit Fehlererkennung und übergeordnetem Abschaltpfad kann eine Kategorie 2 mit einem PL d nach DIN EN ISO 13849-1 erreicht werden.

Für die Sicherheitsfunktionen:

- Reversieren oder Anhalten einer Abwärtsbewegung sowie dem
- Schutz vor unerwartetem Anlauf einer Abwärtsbewegung

ergibt sich folgendes:

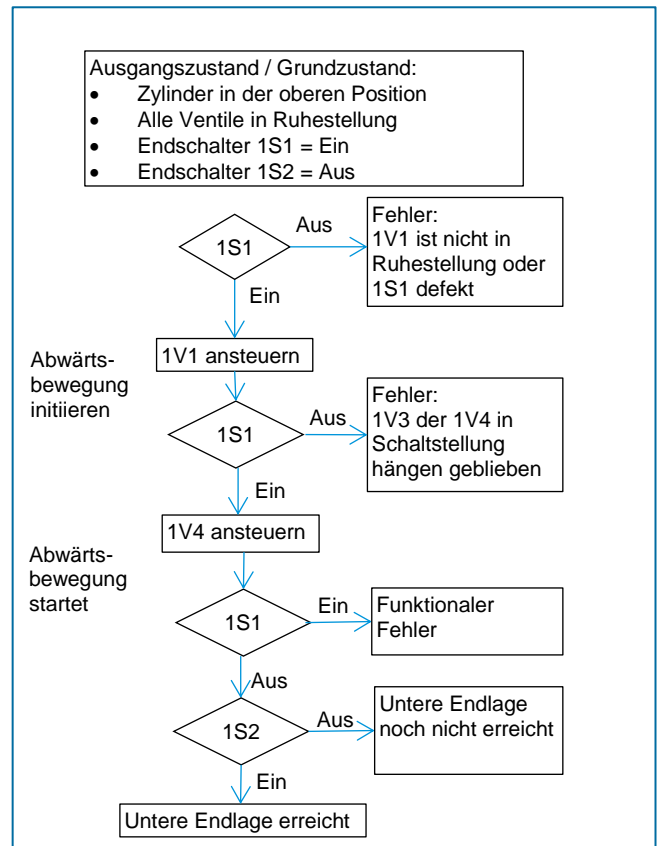
Die Ventile 1V2, 1V3 und 1V4 bilden den ersten Kanal einer zweikanaligen Steuerung in Kategorie 3 nach DIN EN ISO 13849-1. Den zweiten Kanal bildet das Ventil 1V1.

Die folgenden Ablaufdiagramme (Bilder 6 und 7) zeigen eine mögliche Realisierung der Fehlererkennung für die einzelnen Ventile zum Erreichen eines PL d in der Kategorie 3 der vorgenannten Sicherheitsfunktionen.

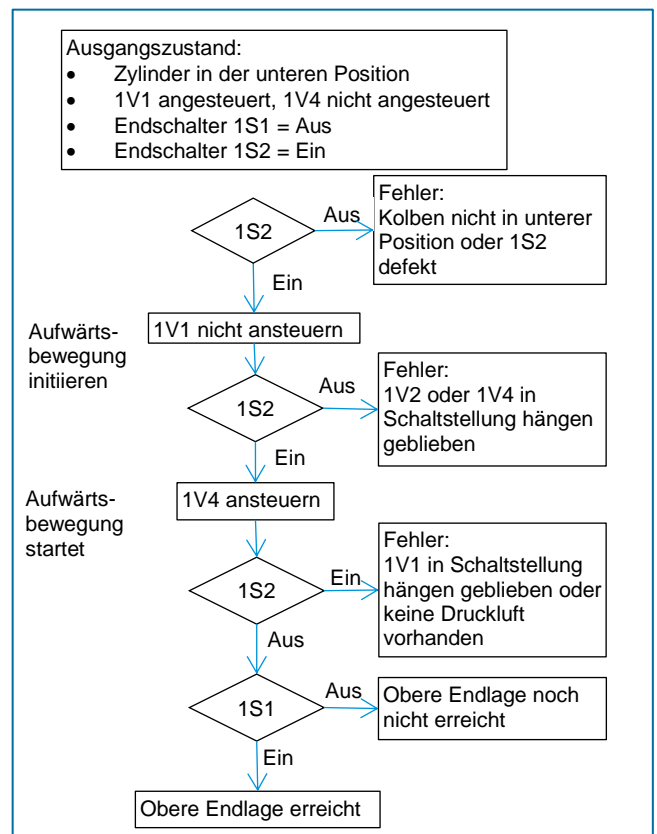
### 3.3 Weitere Hinweise

Bei der konkreten Auslegung einer Maschinensteuerung sind die Einflüsse durch äußere Kraftwirkungen zu berücksichtigen (z.B. Anordnung der Festblende, Verwendung von leckagefreien Sperrventilen).

Finden zusätzliche Halteeinrichtungen Anwendung, ist darauf zu achten, dass diese dann erst gelöst werden, wenn der Zylinder druckluftbeaufschlagt in Position gehalten wird.



**Bild 6:** Ablaufplan der Fehlererkennung bei Abwärtsbewegung in Kategorie 3



**Bild 7:** Ablaufplan der Fehlererkennung bei Aufwärtsbewegung in Kategorie 3

Eine übliche Einstellung der Arbeitsgeschwindigkeit des Zylinders ist in den gezeigten Beispielen nicht dargestellt. Diese wird in der Regel durch Drosselrückschlagventile direkt an den beiden Zylinderanschlüssen realisiert.

## 4 Integration in Maschinen

Aufgrund entsprechender Anfragen von Firmen kann festgestellt werden, dass eine reduzierte Geschwindigkeit z. B. für den Einrichtbetrieb in vielen Fällen (noch) nicht realisiert wird.

Wie die Beispiele in den Abschnitten 2 und 3 zeigen, kann mit geringem steuerungstechnischen Mehraufwand mit handelsüblichen fluidtechnischen Bauteilen eine reduzierte Geschwindigkeit in hydraulischen und pneumatischen Steuerungen für Linearachsen erreicht werden. Dies gilt auch für den Anwendungsfall pneumatisch angetriebener Linearachsen, bei denen die physikalische Gegebenheit (Kompressibilität des Druckmediums) bei der Erfüllung der Anforderungen „Reduzierte Geschwindigkeit“ zu berücksichtigen ist.

Die weiteren Anforderungen zur fluidtechnischen Ausrüstung nach DIN EN ISO 4413 Hydraulik [6] bzw. DIN EN ISO 4414 Pneumatik [7] sind zu beachten.

Die europäische Maschinenrichtlinie, die Gestaltungsleitlinien nach DIN EN ISO 12100, die Anforderungen aus der DIN EN ISO 13849-1 u. -2 und weitere zutreffender Normen müssen in jedem Fall vom Maschinenhersteller beachtet werden.

## 5 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Diese „Fachbereich AKTUELL“ beruht auf dem durch den Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV zusammengeführten Erfahrungswissen auf dem Gebiet der hydraulischen Ausrüstungen von Maschinen und Anlagen.

Diese Informationsschrift wurde unter Einbeziehung des Instituts für Arbeitsschutz (IFA) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) erarbeitet. Es soll insbesondere der Information von Herstellern und Betreibern von Maschinen dienen, die Anforderung „reduzierte Geschwindigkeit“ bei bestimmten Betriebsarten wie z. B. Einrichten, Umrüsten, Fehlersuche in fluidtechnischen Steuerungen zu realisieren.

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

Die Bestimmungen nach einzelnen Gesetzen und Verordnungen bleiben durch diese „Fachbereich AKTUELL“ unberührt. Die Anforderungen der gesetzlichen Vorschriften gelten uneingeschränkt. Um vollständige Informationen zu erhalten, ist es erforderlich, die in Frage kommenden Vorschriftenentexte und aktuellen Normen einzusehen.

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

Diese „Fachbereich AKTUELL“ ersetzt die gleichnamige Fassung, herausgegeben als Ausgabe 12/2018. Aktualisierungen wurden infolge von redaktionellen Anpassungen erforderlich.

Weitere Informationsblätter oder „Fachbereich AKTUELL“ vom Fachbereich Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [8].

### Literatur:

- [1] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen (Maschinen-Richtlinie), Amtsblatt der Europäischen Union, Nr. L 157/24 vom 09.06.2006 mit Berichtigung im Amtsblatt L76/35 vom 16.03.2007.
- [2] DIN EN ISO 12100 Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung, Ausgabe 2011-03, mit Berichtigung vom 2013-08, Beuth-Verlag, Berlin.
- [3] DIN EN ISO 13849-2 Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 2: Validierung, Ausgabe 2013-02, Beuth-Verlag, Berlin.
- [4] IFA-Report 2/2017 Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen – Anwendung der DIN EN ISO 13849, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Sankt Augustin
- [5] DIN EN ISO 13849-1 Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze, Ausgabe 2016-06, Beuth-Verlag, Berlin.
- [6] DIN EN ISO 4413, Fluidtechnik – Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Hydraulikanlagen und deren Bauteile; Ausgabe 2011-04, Beuth Verlag, Berlin.
- [7] DIN EN ISO 4414, Fluidtechnik – Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Pneumatikanlagen und deren Bauteile; Ausgabe 2011-04, Beuth-Verlag, Berlin
- [8] 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 dieser „Fachbereich AKTUELL“ gezeigten Bilder wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Bild 1: Festo AG & Co. KG,  
Ruiter Straße 82  
73734 Esslingen

Bild 2 – 7: Institut für Arbeitsschutz (IFA)  
der Deutschen Gesetzlichen  
Unfallversicherung DGUV  
53757 Sankt Augustin

---

---

**Herausgeber**

Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Tel.: 030 13001-0 (Zentrale)  
Fax: 030 13001-6132  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

Sachgebiet „Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation“  
im Fachbereich „Holz und Metall“  
der DGUV >[www.dguv.de](http://www.dguv.de) Webcode: d544779

An der Erarbeitung dieser „Fachbereich AKTUELL“ FBHM-058 haben mitgewirkt:

- Referat 5.3 Schutz- und Steuereinrichtungen des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV (IFA)