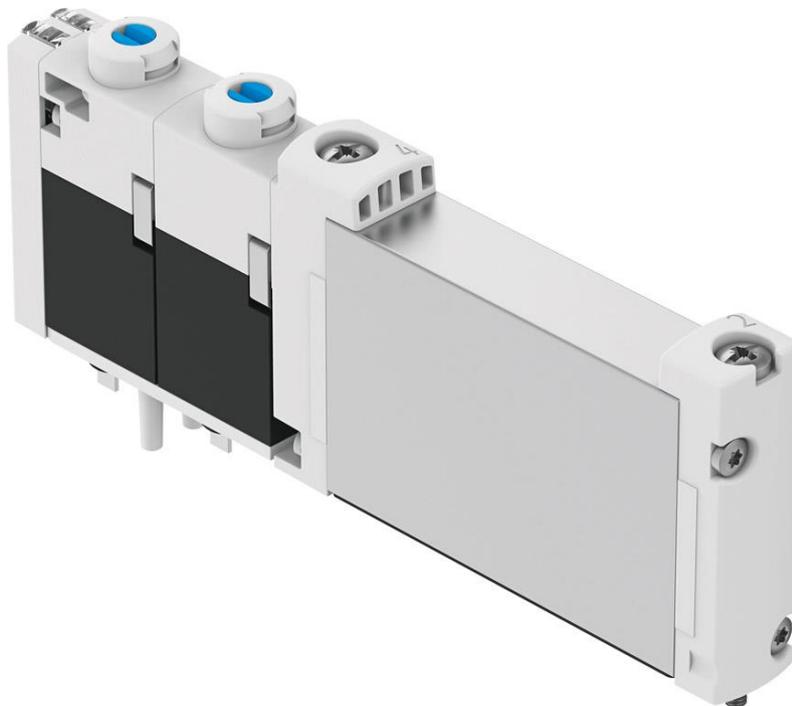


**Schaltung**  
**Sicherheits-Teilfunktion Pneumatik**  
Merkmale von elektrisch betätigten Wegeventilen

100396



**Unser Aufwand – Ihr Vorteil**

Unser Aufwand für die Erstellung dieser Unterlagen  
und Ihr eingesparter Zeitaufwand 16 h  
Für Sie kostenlos.

Titel ..... Sicherheits-Teilfunktionen Pneumatik  
Version ..... 1.10  
Dokumentnummer ..... 100396  
Originalsprache ..... Deutsch  
Autor ..... Festo  
Datum ..... 17.11.2023

## Rechtliche Hinweise

Im Folgenden ist mit „Festo“ die „Festo SE & Co. KG“ bezeichnet.

Dieses Dokument ist unverbindlich. Dieses Dokument stellt einen möglichen Lösungsansatz für einen beispielhaften Einsatzfall dar und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, insbesondere hinsichtlich Konfiguration und Ausstattung sowie jeglicher Eventualitäten für Ihren konkreten Einsatzfall. Dieses Dokument ist keine kundenspezifische Lösung, sondern soll lediglich Hilfestellung bei typischen Aufgabenstellungen bieten.

Die in diesem Dokument genannten Werte sind teilweise Annahmen und Abschätzungen, die eine detaillierte Betrachtung unter Zuhilfenahme der ISO 13849 Teil 1 und 2, IEC 61508, IEC 62061 und/oder IEC 61511 nicht ersetzen.

Die tatsächlich erreichbaren Kennwerte (insbesondere PL, PFH<sub>D</sub>, Kategorie, DC, MTTFD, CCF, SIL, HFT, PFH, PFD) hängen von den eingesetzten Komponenten sowie wie ihren Einsatzbedingungen in der konkreten Applikation ab.

Dieses Dokument enthebt Sie nicht von der Pflicht, eine Risikobeurteilung und eine Validierung Ihrer spezifischen Anwendung vorzunehmen und die Einhaltung sämtlicher Vorgaben, insbesondere der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, selbst sicherzustellen. Sie als Anwender tragen für Ihren konkreten Einsatzfall und für den sachgemäßen Betrieb der beschriebenen Produkte in diesem Zusammenhang selbst die Verantwortung.

Festo lehnt jede Haftung für Schäden ab, die durch die Anwendung von gegebenenfalls falschen bzw. unzureichenden Informationen oder aufgrund fehlender Informationen in diesen Unterlagen entstehen. Dies gilt ebenfalls für Defekte, die durch unsachgemäße Behandlung von Geräten und Baugruppen entstehen. Für Schäden, die durch die Nichteinhaltung der Vorgaben der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG entstehen, wird ebenfalls jede Haftung, mit Ausnahme von Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens Festo, abgelehnt.

Die Informationen dieses Dokuments gelten keinesfalls als Ersatz für die Bedienungsanleitung der jeweiligen Hersteller sowie der Konstruktion und Prüfung der jeweils eigenen Anwendung durch den Benutzer. Die jeweiligen Bedienungsanleitungen der Produkte von Festo sind unter [www.festo.com](http://www.festo.com) zu finden. Der Benutzer dieses Dokuments muss selbst sicherstellen, dass jede Funktion, die hier beschrieben ist, auch in seiner Anwendung ordnungsgemäß funktioniert. Der Benutzer bleibt auch durch das Studium dieses Dokuments sowie durch die Nutzung der darin genannten Angaben allein verantwortlich für die eigene Anwendung.

Im Übrigen gelten die Regelungen bzgl. Haftung aus den Liefer-, Zahlungs- und Softwarenutzungsbedingungen von Festo, welche Sie unter [www.festo.com](http://www.festo.com) finden. Diese lassen wir Ihnen auf Anforderung gerne zukommen.

Dieses Dokument ist nur geeignet für Personen mit ausreichender Fachkompetenz für Maschinensicherheit und funktionaler Sicherheit auf Basis der ISO 12100, ISO 13849, IEC 61508, IEC 62061 und IEC 61511. Zusätzlich sind die folgenden Qualifikationen im Projektteam erforderlich:

- Fachkraft in der Pneumatik
- Fachkraft in der Elektrotechnik
- Fachkraft für die Programmierung von Steuerungen und Sicherheitsschaltgeräten

## Urheberrechtshinweis

Diese Unterlagen sind geistiges Eigentum von Festo, der auch das ausschließliche Urheberrecht daran zusteht. Eine inhaltliche Änderung, die Vervielfältigung oder der Nachdruck dieser Unterlagen sowie deren Weitergabe an Dritte ist nur mit der ausdrücklichen schriftlichen Erlaubnis von Festo gestattet.

Festo behält sich das Recht vor, dieses Dokument vollständig oder teilweise zu ändern. Alle Marken- und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber.

© Festo SE & Co. KG, D – 73734 Esslingen, 2023  
Internet: <http://www.festo.com>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>5</b>
1.1	Ziele dieses Dokuments .....	5
1.2	Allgemeine Hinweise .....	5
<b>2</b>	<b>Elektrisch betätigte Wegeventile .....</b>	<b>6</b>
2.1	Kolbenschieberventil (pneumatisch betätigt).....	6
2.2	Sitzventil (pneumatisch betätigt) .....	7
2.3	Elektrisch, direkt betätigtes Sitzventil .....	8
2.4	Elektrisch betätigtes Wegeventil mit Vorsteuerung.....	9
<b>3</b>	<b>Handhilfsbetätigung.....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Schaltzeiten .....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Diagnosemaßnahmen .....</b>	<b>14</b>
5.1	Schaltzeitüberwachung mit Abfrage Kolbenschieber .....	14
5.2	Schaltzeitüberwachung mit Druckschalter .....	15
5.3	Beispielschaltung für die Diagnose mit Endschalter Antrieb .....	17
<b>6</b>	<b>Längere Stillstandzeiten und Dynamisierung bei Ventilen .....</b>	<b>19</b>
6.1	Ursachen und deren Auswirkungen.....	19
6.2	Empfohlene Schaltfrequenz .....	19
6.3	Empfehlungen zur Anpassung der Schaltfrequenz .....	19
6.4	Dynamisierung sicherheitsbezogen eingesetzter Ventile .....	20
<b>7</b>	<b>Einschaltdauer.....</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>Sicherheitsprinzipien .....</b>	<b>22</b>
8.1	Relevante grundlegende Sicherheitsprinzipien für Ventile .....	22
<b>9</b>	<b>Bewährtes Bauteil .....</b>	<b>24</b>
<b>10</b>	<b>Lebensdauer kennwert <math>B_{10}</math> .....</b>	<b>25</b>
10.1	Abschätzung von $B_{10D}$ -Werten .....	25
<b>11</b>	<b>Konstruktionsmerkmal mechanische Federrückstellung.....</b>	<b>26</b>
<b>12</b>	<b>Konstruktionsmerkmal Rückstellung über pneumatische Feder .....</b>	<b>28</b>
12.1	Zusammenfassung .....	28
12.2	Erklärungen .....	28
<b>13</b>	<b>Überdeckung.....</b>	<b>32</b>
13.1	Kolbenschieberventile.....	32
13.2	Sitzventile.....	33
<b>14</b>	<b>Schwing- und Schockfestigkeit .....</b>	<b>34</b>
14.1	Schwingfestigkeit .....	34
14.2	Schockfestigkeit.....	35
14.3	Schärfegrade .....	35

<b>15</b>	<b>Prüfimpulse .....</b>	<b>36</b>
15.1	Max. negativer Prüfimpuls bei 1 Signal .....	36
15.2	Max. positiver Prüfimpuls bei 0 Signal .....	36
15.3	Alarmmeldungen von Sicherheitssteuerungen bei Ventilinseln .....	37
<b>16</b>	<b>Haltestromabsenkung bei Ventilen .....</b>	<b>39</b>
16.1	Funktionsweise Haltestromabsenkung .....	39
16.2	Verhalten bei bestimmten sicheren Ausgängen .....	39
16.3	Lösungsmöglichkeiten .....	39
<b>17</b>	<b>Verwendete Literatur .....</b>	<b>40</b>
17.1	Zitierte Unterlagen von Festo .....	40
17.2	Normen.....	40
17.3	Für die rechtlichen Hinweise zusätzlich .....	40
<b>18</b>	<b>Informationen über das Dokument.....</b>	<b>41</b>
18.1	Allgemeine Angaben.....	41
18.2	Revisionshistorie .....	41
18.3	Genehmigung/Freigabe des Dokuments .....	41
18.4	Gültigkeitsdauer .....	41

# 1 Allgemeines

## 1.1 Ziele dieses Dokuments

- Dieses Dokument gibt für einige Merkmale von elektrisch betätigten Wegeventilen zusätzliche Hinweise, die in Bezug auf die Umsetzung von funktionaler Sicherheit berücksichtigt werden sollten.

## 1.2 Allgemeine Hinweise

- Die technischen Merkmale von elektrisch betätigten Wegeventilen sind entsprechend dem Datenblatt, Datenblatt Produktzuverlässigkeit, allgemeinen Einsatzbedingungen und einer evtl. vorhandenen Betriebsanleitung immer einzuhalten. Die Angaben in diesen Dokumenten haben Vorrang vor Angaben in dieser Application Note.
- Die angegebenen Schaltungen sind Prinzipschaltungen, die auf Grund der Übersichtlichkeit und Umfang nicht vollständig sein können. Sie sind Empfehlungen, die andere Möglichkeiten nicht ausschließen.

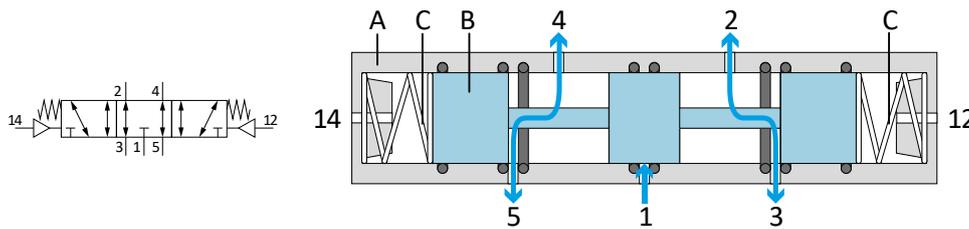
## 2 Elektrisch betätigte Wegeventile

Ein *Wegeventil* wird dazu genutzt, Volumenstrompfade der Druckluft in einem pneumatischen System zu ändern, zu öffnen oder zu sperren. Die Ventile unterscheiden sich hinsichtlich der Bauart ihres Steuerelements, der Anzahl der Schaltstellungen und Durchflusswege sowie in der Art der Betätigung (manuell, mechanisch, pneumatisch oder elektrisch).

Elektrisch betätigte Wegeventile bestehen in der Regel aus einer Hauptstufe, z.B. 2.1 Kolbenschieberventil (pneumatisch betätigt) und einem Vorsteuerventil, z.B. 2.3 Elektrisch, direkt betätigtes Sitzventil.

### 2.1 Kolbenschieberventil (pneumatisch betätigt)

Ist das Merkmal „Kolbenschieber“ angegeben, hat die Hauptstufe des Ventil einen Kolbenschieber im Ventilgehäuse, der die Volumenstrompfade freigibt oder sperrt.



Legende

A	Ventilgehäuse
B	Kolbenschieber
C	mechanische Rückstellfeder
1, 2, 3, 4, 5	Anschlüsse Volumenstrompfade
12, 14	Steueranschlüsse

Abbildung 1 Ventil mit Kolbenschieber (Schaltsymbol und Querschnitt)

Ein Ventil mit Kolbenschieber gibt die Anschlüsse entsprechend der Position des Kolbenschiebers frei oder sperrt diese. In Abbildung 1 gezeigte Ruhestellung ist der Anschluss 1 gesperrt und die Volumenstrompfade 2-3 und 4-5 sind freigegeben. Wird am Anschluss 12 ein Druck angelegt, wird der Kolbenschieber auf den linken Anschlag bewegt. Dann ist der Anschluss 3 gesperrt und die Volumenstrompfade 1-2 und 4-5 freigegeben. Wird hingegen am Anschluss 14 ein Druck angelegt, wird der Kolbenschieber auf den rechten Anschlag bewegt und der Anschluss 5 gesperrt und die Volumenstrompfade 1-4 und 2-3 freigegeben. Liegt an den Steueranschlüssen 12, 14 kein Druck mehr an, bewegt sich der Kolbenschieber wieder in Ruhestellung in der Mitte.

Vorteile bei Kolbenschieber

- Große Durchflüsse sind möglich;
- Vakuumbetrieb der Volumenstrompfade der Hauptanschlüsse 1, 2, 3, 4, 5;
- Druckausgeglichen und deswegen in der Regel geeignet für Reversbetrieb;

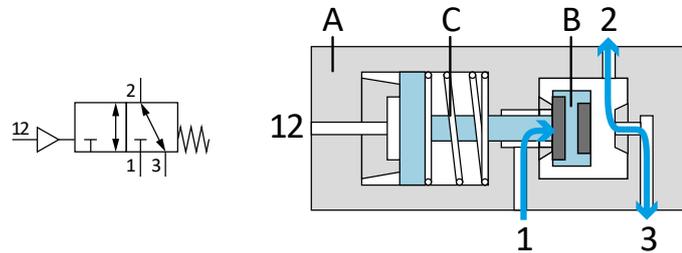
Nachteile

- Längere Hubwege durch die Verwendung eines Kolbenschiebers;
- Steuerkanten überfahren die Dichtstellen;
- Anspruchsvolle Tribologie<sup>1</sup> führt über die Lebensdauer zu einer größeren Leckage wie bei Sitzventilen;
- Nach längeren Stillstandszeiten kommt es auf Grund von Haftungseffekten zumindest zu einer längeren Schaltzeit. Dieser Effekt kann bei Sitzventilen stärker sein wie bei Kolbenschieberventilen.

<sup>1</sup> Die Tribologie ist die Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden, in Relativbewegung befindlichen Oberflächen. Sie befasst sich mit der wissenschaftlichen Beschreibung von Reibung, Schmierung und Verschleiß.

## 2.2 Sitzventil (pneumatisch betätigt)

Bei einem Sitzventil ist das Steuerelement ein Kegel, Kugel oder ein Teller. Dieses Steuerelement sperrt die Volumenstrompfade durch das Ventil durch Verschließen oder Öffnen von Öffnungen.



### Legende

A	Ventilgehäuse
B	Stößel mit Dichtteller
C	mechanische Rückstellfeder
1, 2, 3	Anschlüsse Volumenstrompfade
12	Steueranschluss

Abbildung 2 Sitzventil (Schaltsymbol und Querschnitt)

Ein Ventil mit Sitz gibt die Anschlüsse entsprechend der Position des Steuerelements frei oder sperrt diese. In Abbildung 2 gezeigte Ruhestellung ist der Anschluss 1 gesperrt und der Volumenstrompfad 2-3 ist freigegeben. Wird am Anschluss 12 ein Druck angelegt, wird der Stößel mit Dichtteller auf den rechten Anschlag bewegt. Dann ist der Anschluss 3 gesperrt und der Volumenstrompfad 1-2 freigegeben. Liegt an Anschluss 12 kein Druck mehr an, bewegt sich der Sitz wieder in die Ruhestellung.

Vorteile von Sitzventilen bei Nennbetriebsbedingungen sind

- Leckage über die Lebensdauer sehr gering;
- In der Regel langlebiger und zuverlässiger wie Kolbenschieber;
- Weniger anfällig gegen Verschmutzung.
- Es wird auf die Dichtstelle gefahren und nicht überfahren.
- Lastdruckschließend
- In der Regel mit negativer Überdeckung

Nachteile von Sitzventilen

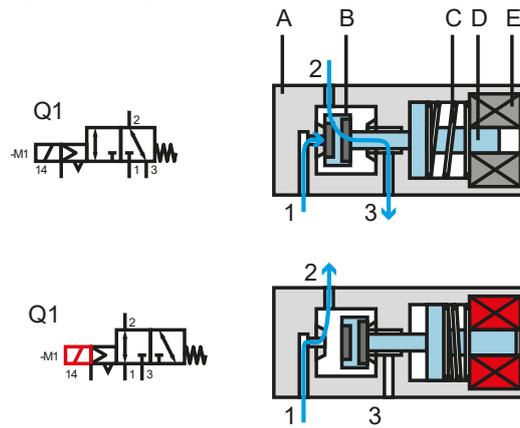
- Das Verhältnis Baugröße zu Durchfluss ist schlechter wie beim Kolbenschieber.
- Der Arbeitsdruck muss von der Feder gehalten werden, so dass diese deutlich kräftiger ausgeführt werden muss wie bei einem Kolbenschieber;
- Bei 5/2-Wegeventilen ist kein Reverse- oder Vakuumbetrieb möglich.

Vor- oder Nachteil hängt vom Anwendungsfall ab

- Es kommt bei negativer Überdeckung während des Schaltvorgangs zu einer Überströmung zwischen den Kanälen.  
Dies kann bei einer Entlüftungsfunktion ein Vorteil sein (beim Hängenbleiben in einer Zwischenposition wird bei einem entlüfteten Anschluss 1 die Entlüftungsfunktion immer ausgeführt).  
Bei einer Stoppfunktion, bei der eingeschlossene Druckluft zum Halten erforderlich ist, ist dies ein Nachteil, da im Fehlerfall immer entlüftet wird).

## 2.3 Elektrisch, direkt betätigtes Sitzventil

Ein elektrisch, direkt betätigtes Sitzventil wird über ein mit elektrischem Strom erzeugtes Magnetfeld betätigt.



Legende

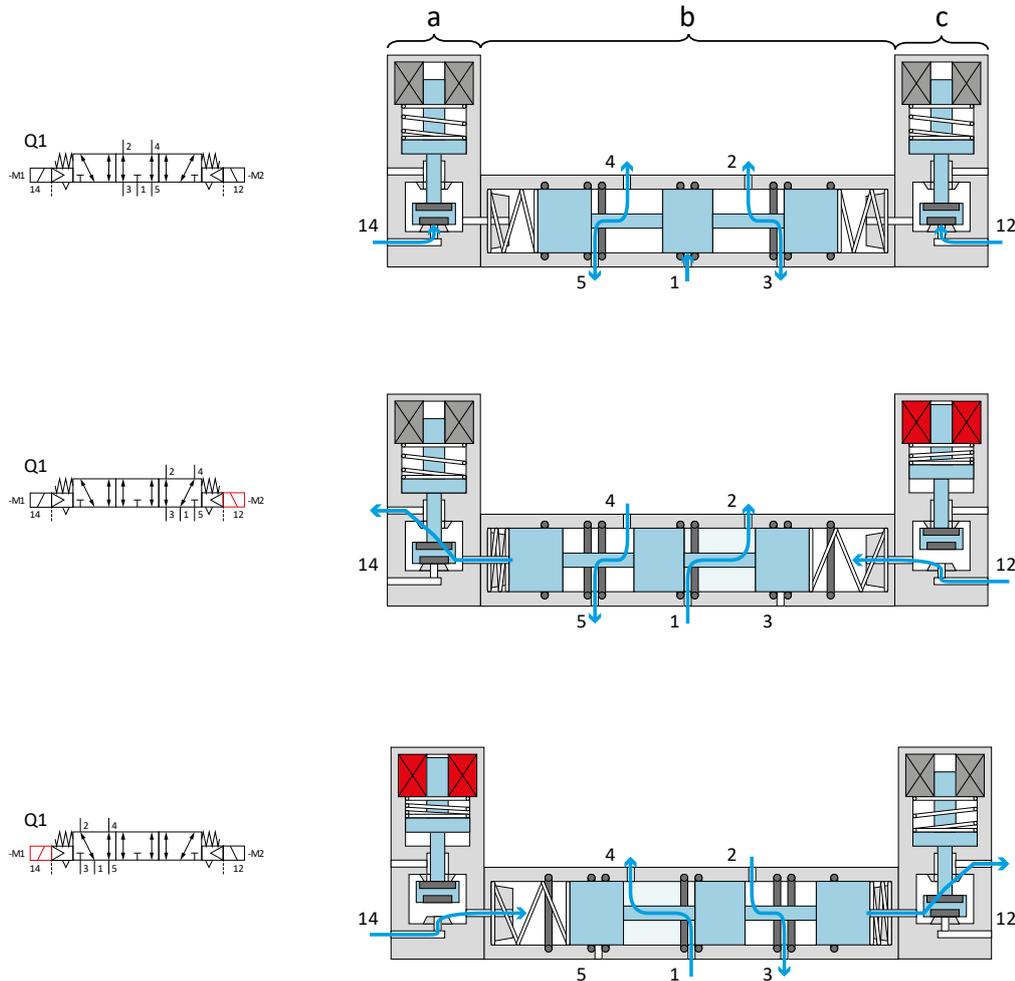
A	Ventilgehäuse
B	Kolben mit Dichttellern
C	mechanische Rückstellfeder
D	Anker
E	Magnetspule
1, 2, 3	Anschlüsse Volumenstrompfade

Abbildung 3 Elektrisch, direkt betätigtes Sitzventil

Ein Ventil mit Sitz gibt die Anschlüsse entsprechend der Position des Steuerelements frei oder sperrt diese. In Abbildung 3 zeigt die obere Querschnittszeichnung das Ventil in Ruhestellung, wobei der Anschluss 1 gesperrt und der Volumenstrompfad 2-3 freigegeben ist. Wird der Ventilmagnet mit einem elektrischen Signal angesteuert, schaltet das Ventil in Schaltstellung und der Teller bewegt sich an den rechten Anschlag. Dann ist der Anschluss 3 gesperrt und der Volumenstrompfad 1-2 freigegeben. Wird der Ventilmagnet nicht mehr mit einem elektrischen Signal angesteuert, geht das Ventil zurück in Ruhestellung.

## 2.4 Elektrisch betätigtes Wegeventil mit Vorsteuerung

Bei elektrisch betätigten Wegeventilen mit Vorsteuerung wird die pneumatisch betätigte Hauptstufe durch ein bzw. zwei elektrisch betätigten Sitzventilen angesteuert.



### Legende

- a Vorsteuerventil 14 (elektrisch betätigtes Sitzventil)
- b Hauptstufe (pneumatisch betätigtes Kolbenschieberventil)
- c Vorsteuerventil 12 (elektrisch betätigtes Sitzventil)
- 1, 2, 3, 4, 5 Anschlüsse Volumenstrompfade der Hauptstufe
- 12, 14 Anschlüsse der Steuerluftversorgung der Vorsteuerventile

Abbildung 4 Elektrisch betätigtes Wegeventil mit Vorsteuerung

Ein 5/3-Wegeventil besteht aus drei Einzelventilen: einer pneumatisch betätigten Hauptstufe und zwei elektrisch betätigten Vorsteuerventilen. Wird keines der elektrisch betätigten Vorsteuerventile betätigt, befinden diese sich in Ruhestellung und die Steuerluftversorgung zur Ansteuerung der Hauptstufe liegt nicht an. Die Hauptstufe sperrt den Anschluss 1 und die Volumenstrompfade 2-3 und 4-5 sind offen. Wird das Vorsteuerventil 12 mit einem elektrischen Signal angesteuert, geht das Vorsteuerventil 12 in Schaltstellung und schaltet die Steuerluft 12 auf die Hauptstufe und diese bewegt sich in die eine Schaltstellung und gibt die Volumenstrompfade 1-2 und 4-5 frei. Wird das Vorsteuerventil 12 nicht und das Vorsteuerventil 14 mit einem elektrischen Signal angesteuert, geht das Vorsteuerventil 14 in Schaltstellung und schaltet die Steuerluft 14 auf die Hauptstufe und diese bewegt sich in die andere Schaltstellung und gibt die Volumenstrompfade 1-4 und 2-3 frei.

### Wichtige Hinweise

- Werden beide Vorsteuerventile gleichzeitig angesteuert ist in der Regel die Schaltstellung der Hauptstufe nicht definiert.
- Bei einer FMEA sind die Vorsteuerventile und Hauptstufe getrennt zu bewerten (siehe dazu auch Fußnote ISO 13849-2, Tabelle B.4)

### 3 Handhilfsbetätigung

Eine Handhilfsbetätigung ist eine manuell zu betätigende Vorrichtung an einem Ventil, bei der die Hauptstufe des Ventils in eine Schaltstellung gebracht werden kann. Werden Ventile mit Handhilfsbetätigung in einer Maschine verwendet, müssen Maschinenhersteller und -betreiber die Anforderungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG und deren harmonisierten Normen beachten.

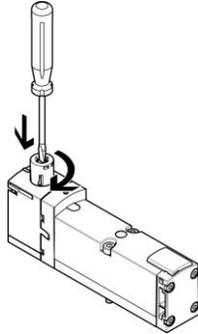


Abbildung 5 Bedienung einer Handhilfsbetätigung

Die Norm ISO 4414 gibt den Stand der Technik bezüglich elektrisch betätigter Ventile in der Pneumatik vor. Darin ist folgendes bezüglich der Hand-Hilfsbetätigung angegeben:

#### 5.4.3.4.2.4 Hand-Hilfsbetätigung

Muss aus **Sicherheits-** [siehe 1.] oder **anderen Gründen** [siehe 2.] ein elektrisch betätigtes Ventil auch während eines Ausfalles der elektrischen Energieversorgung betätigt werden können, ist es mit einer Hand-Hilfsbetätigung zu versehen. Diese muss so beschaffen sein, dass sie nicht **unbeabsichtigt betätigt** [siehe 3.] werden kann, und, wenn nicht anders vereinbart, darf sie **nicht rastend** [siehe 4.] ausgeführt werden.

1. **Sicherheitsgründe** können sein:
  - Ableiten von gespeicherter Energie (ISO 14118)
  - Befreiung und Rettung eingeschlossener Personen (ISO 12100, 6.3.5.3)
2. **Andere Gründe** sind beispielsweise:
  - Für unterwiesene Personen (sofern bei der betreffenden Maschine vorgesehen): Beseitigung von Störungen, Einrichten, Teachen, Umrüsten, Wartung (ISO 12100, 6.2.11.9, 6.2.11.10)
  - Für Fachkräfte: Instandhaltungsarbeiten und Fehlersuche (ISO 12100, 6.2.11.9, 6.2.11.10)
3. Eine **unbeabsichtigte Betätigung** kann verhindert werden durch:
  - Verdeckte Montage, nur zugänglich durch die Verwendung eines Werkzeugs

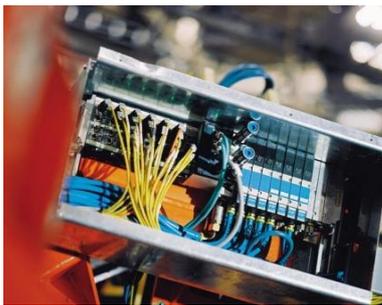


Abbildung 6 Ventilinsel in Gehäuse

Beispiel zeigt eine Ventilinsel in einem Gehäuse, das nur durch das Lösen mehrerer Schrauben zugänglich ist (im Bild wurde die Abdeckung entfernt).

- Montage in einem Bereich, der für Bediener nicht zugänglich ist, z.B. unterhalb eines Tisches, auf der Maschine, jeweils außerhalb des Eingriffsbereichs des Bedieners.
- Montage in einem Schaltschrank



Abbildung 7 Ventilinsel in Schaltschrank

Der Schaltschrank ist mit einem Schlüssel zu öffnen, der nur für autorisiertes Personal zugänglich ist.

- Hand-Hilfsbetätigung nur durch Werkzeug zu betätigen

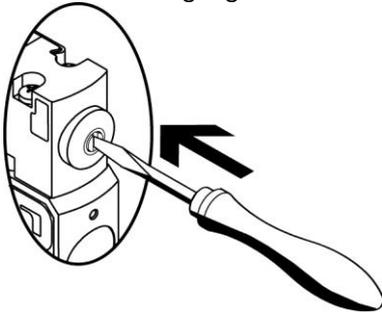


Abbildung 8 Hilfsbetätigung mit Werkzeug

Hand-Hilfsbetätigung lässt sich nur mit einem Werkzeug betätigen, das für die bestimmungsgemäße Verwendung der Maschine im normalen Betrieb nicht erforderlich und verfügbar ist.

- Abdeckung der Hand-Hilfsbetätigung(en)

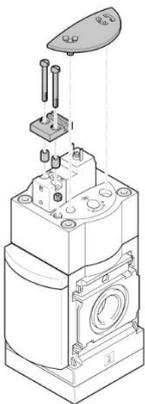


Abbildung 9 Hilfsbetätigung mit Abdeckung

Für bestimmte Ventile sind zusätzliche Abdeckungen verfügbar, die die Hand-Hilfsbetätigung abdecken. Diese zusätzlichen Abdeckungen lassen sich nur mit Werkzeugen lösen bzw. werden zerstört, so dass Manipulationen erkennbar werden.

- Steuerungstechnische Maßnahmen  
Erkennung der Betätigung durch steuerungstechnische Maßnahmen in der Betriebsart Automatik.  
Beispielschaltung: Für einen sicheren Zustand darf das Ventil Q1 seine Schaltstellung nicht verlassen. Dieser sichere Zustand kann durch die Endschalter B1, B2 überwacht werden. Wird eine Handhilfsbetätigung des Ventils Q1 betätigt, kann dies über die Endschalter B1, B2 erkannt werden und als Reaktion die Arbeitsdruckversorgung mit dem Ventil Q2 getrennt und entlüftet werden.

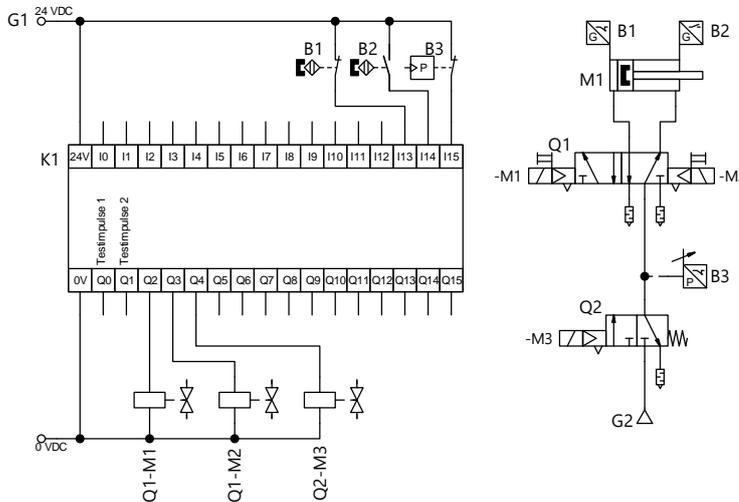


Abbildung 10 Verwendung von steuerungstechnischen Maßnahmen

#### 4. Hand-Hilfsbetätigung tastend oder rastend

Empfohlen wird, die Hand-Hilfsbetätigung bei sicherheitsbezogen eingesetzten Ventilen tastend auszuführen. Wird die Hand-Hilfsbetätigung rastend ausgeführt, kann es vorkommen, dass die Hand-Hilfsbetätigung nicht zurückgesetzt wird und eine Sicherheitsfunktion nicht mehr funktioniert. Dies ist eine unzulässige Möglichkeit zur Manipulation von Sicherheitsfunktionen.

Bei elektrischen Einschaltventilen macht jedoch eine rastende Hand-Hilfsbetätigung Sinn, da bei der Fehlersuche das Instandhaltungspersonal Druck in der pneumatischen Anlage benötigt. Wird das Zurücksetzen dieser Hand-Hilfsbetätigung vergessen, kann dies in der Regel mit einer einfachen Drucküberwachung vor dem Ansteuern des Einschaltventils durch ein Sicherheitsschaltgerät erkannt werden.

#### Hinweis

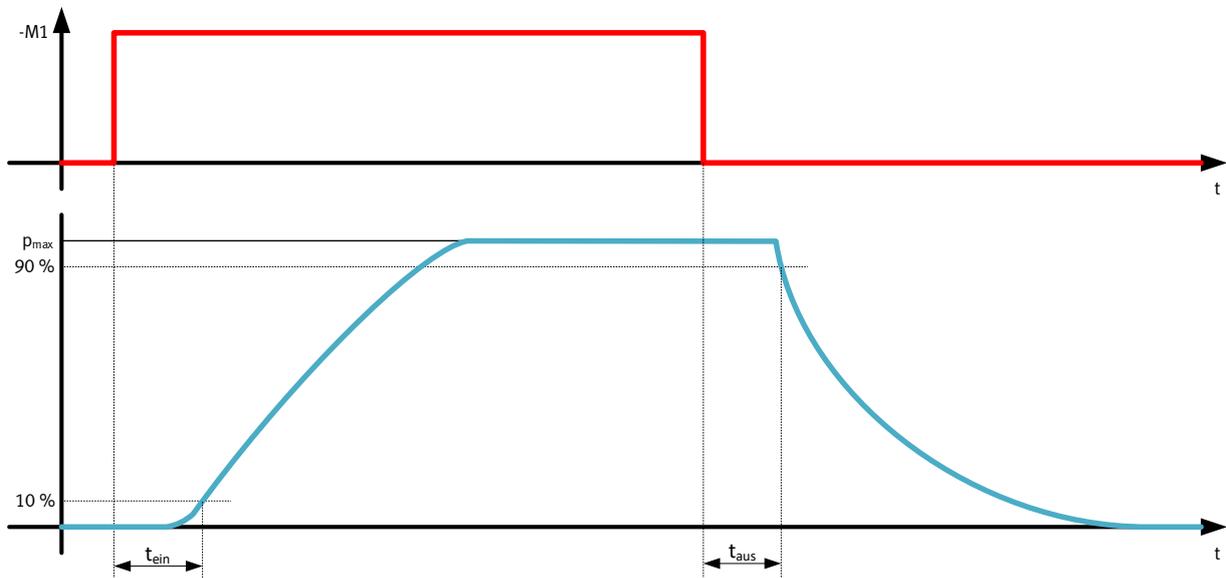
- Rastende Hand-Hilfsbetätigungen bei den Einschaltventilen der MS-SV-Reihe und bei den Druckaufbauventilen der Ventillinseln VTSA-F-CB werden beim ersten elektrischen Betätigen der Einschaltventile automatisch zurückgesetzt.

#### Wichtige Hinweise

- Hand-Hilfsbetätigung sind nicht für regelmäßige Betätigung vorgesehen  
Ausgeschlossen ist die Verwendung der Hand-Hilfsbetätigung im Automatikbetrieb oder für regelmäßige Betätigung. Durch die kleine Betätigungsfläche und Betätigungskräfte erfüllten diese Betätigungselemente der Hand-Hilfsbetätigung die Anforderungen für eine häufige Betätigung nicht.
- Natürlich muss die vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung der Hand-Hilfsbetätigung berücksichtigt werden, d.h. die Manipulationsanreize müssen in einem hinreichenden Maß reduziert werden (ISO 12100, 5.5.3.6). Eine mögliche Fehlanwendung der Hand-Hilfsbetätigung ist die Verwendung im Automatikbetrieb oder die Verwendung durch nicht autorisiertes Personal. Für eine hinreichende Reduzierung können die unter „3 Eine unbeabsichtigte Betätigung kann verhindert werden durch:“ aufgeführten Möglichkeiten verwendet werden.

## 4 Schaltzeiten

Die Schaltzeit eines Ventils wird bei Festo grundsätzlich auf Basis der ISO 12238 ermittelt. Diese Norm gibt vor, dass bei der Änderung des Steuersignals von 0 VDC nach 24 VDC bis 10 % des Versorgungsdrucks als „Schaltzeit ein“ bewertet wird bzw. bei der Änderung des Steuersignals von 24 VDC nach 0 VDC bis 90% des Versorgungsdrucks als „Schaltzeit aus“ bewertet wird.



### Legende

-M1	Ansteuersignal Ventilmagnet
$p_{max}$	Versorgungsdruck des Prüfaufbaus
$t_{ein}$	Schaltzeit ein
$t_{aus}$	Schaltzeit aus

Abbildung 11 Schaltzeiten

### Wichtige Hinweise

- Die Angaben im Datenblatt sind typische Werte einzelner Ventile im Neuzustand des Ventils.
- Bei vielen Ventilen wird sich über die Lebensdauer diese Schaltzeiten verlängern. Wird bei Ventilen als Diagnosemaßnahmen eine Schaltzeitüberwachung durch die Abfrage des Kolbenschiebers vorgesehen, ist dieses Verhalten zu berücksichtigen. Wir empfehlen einen Sicherheitsfaktor von 2...5 zu verwenden.
- Prüfbedingungen für die Schaltzeit: 6 bar  $\pm$ 0,3 bar, Umgebungs- und Mediumtemperatur 23°C  $\pm$ 5°C. [nach FN 952012:2018-07]
- Die Schaltzeiten sind abhängig vom Steuer- und Arbeitsdruckversorgung des Ventils.

## 5 Diagnosemaßnahmen

Die Normen zur funktionalen Sicherheit schreiben Diagnosemaßnahmen zur Erkennung möglicher Fehler vor (bei ISO 13849-1 ab Kategorie 2). Bei Wegeventilen besteht grundsätzlich folgende Möglichkeiten:

1. Schaltzeitüberwachung mit Abfrage Kolbenschieber
2. Schaltzeitüberwachung mit Abfrage Druckschalter
3. Positionierzeitüberwachung mit Endschaltern am Antrieb

### Wichtiger Hinweis

- Diese Diagnosemaßnahmen sind nicht für jede Sicherheits-Teilfunktion geeignet und erreichen unterschiedliche Diagnosedeckungsgrade. In den Application Notes mit den Definitionen der Sicherheits-Teilfunktionen sind die geeigneten Diagnosemaßnahmen angegeben und wie diese in Kategorie 2, 3 und 4 eingesetzt werden können, sind in den Application Notes mit den Schaltungen zu finden.

### 5.1 Schaltzeitüberwachung mit Abfrage Kolbenschieber

#### 5.1.1 Überwachungsfunktion von Ventilen mit Abfrage Kolbenschieber

Ventile mit Abfrage des Kolbenschiebers sollte der eingebaute Endschalter die Ruhestellung der Hauptstufe des Ventils überwachen. Der Schalter ist geschlossen, wenn sich die Hauptstufe in Ruhestellung befindet. Der Schalter wird geöffnet, bevor sich die Volumenstrompfade der Ruhestellung während des Schaltvorgangs ändern. Befindet sich das Ventil in Schaltstellung, bleibt der Schalter geöffnet. Schaltet das Ventil zurück in Ruhestellung, wird der Schalter erst geschlossen, wenn sich die Volumenstrompfade der Ruhestellung nicht mehr ändern.

#### 5.1.2 Beispielschaltung für die Diagnose mit Abfrage Kolbenschieber

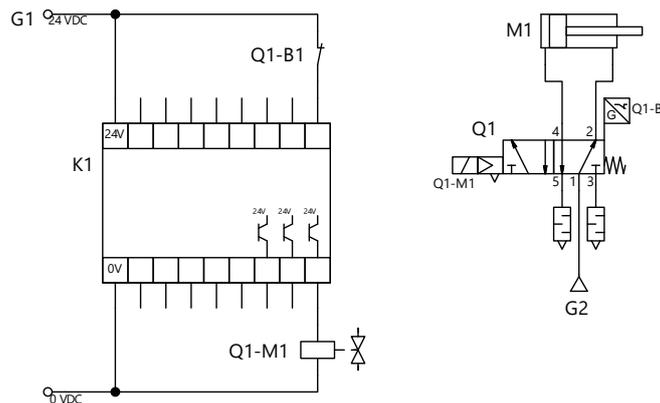
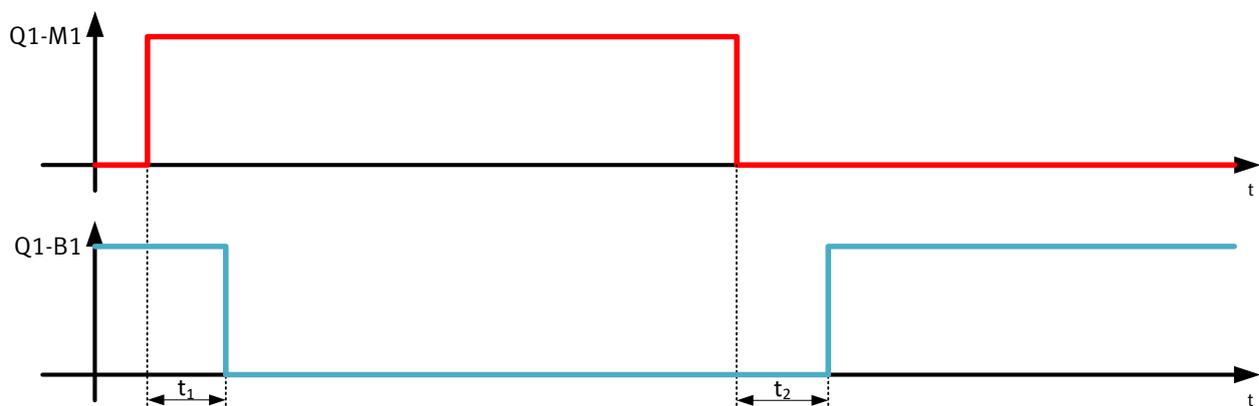


Abbildung 12 Diagnose mit Abfrage Kolbenschieber



#### Legende

-M1 Ansteuersignal Ventilmagnet

-B1 Signal Endschalter Überwachung Kolbenschieber

t Zeit

$t_1$  Zeitverzögerung von Ansteuerung Ventilschalter bis Signalwechsel Endschalter

$t_2$  Zeitverzögerung von der Abschaltung der Ansteuerung Ventilschalter bis Signalwechsel Endschalter

Abbildung 13 Zeitliches Verhalten

## Funktionsweise der Schaltung

- Steuert das Sicherheitsschaltgerät K1 den Ventilmagnet Q1-M1 an, schaltet das Ventil Q1 aus der Ruhestellung in die Schaltstellung.
- Bewegt sich der Kolbenschieber aus der Ruhestellung, wird der Ausgang des Endschalters Q1-B1 geöffnet.
- Die Zeitverzögerung von der Ansteuerung des Ventilmagneten bis zum Öffnen des Ausgangs des Endschalters ist die Zeit, die vom Sicherheitsschaltgerät überwacht wird, um die Teilfunktion Schalten in Schaltstellung des Ventils zu prüfen.
- Steuert das Sicherheitsschaltgerät K1 den Ventilmagneten Q1-M1 nicht mehr an, schaltet das Ventil Q1 aus der Schaltstellung in die Ruhestellung.
- Erreicht der Kolbenschieber die Ruhestellung, wird der Ausgang des Endschalters Q1-B1 geschlossen.
- Die Zeitverzögerung von der Abschaltung des Ventilmagneten bis zum Schließen des Ausgangs des Endschalters ist die Zeit, die vom Sicherheitsschaltgerät überwacht wird, um die Teilfunktion Schalten in Ruhestellung des Ventils zu prüfen.

## Überwachungszeiten

Im Sicherheitsschaltgerät muss die Zeit zur Überwachung des Schaltvorgangs konfiguriert werden. Wird nur eine maximale Schaltzeit konfiguriert, kann als Bewertungsbasis die Angaben der Schaltzeit des Datenblatts verwendet werden. Über die Lebensdauer vieler Ventile steigt die Schaltzeit üblicherweise an, so dass ein Sicherheitsfaktor von 2...5 für diese Einstellung verwendet werden sollte.

Es gibt Sicherheitsschaltgeräte, in denen eine maximale und minimale Schaltzeit konfiguriert werden kann. Die minimale Schaltzeit ist dabei die Zeit ab dem Ansteuersignal bei dem kein Signalwechsel des Ausgangs des Endschalters Q1-B1 erfolgen darf. Diese minimale Schaltzeit sollte auf einen Wert eingestellt werden, der 50 % der Schaltzeit des Datenblatts beträgt.

## Hinweis

- Dieser Wert für die minimale Schaltzeit sollte deutlich unterhalb der typischen Schaltzeit des Datenblatt liegen, um einen hinreichenden Schutz gegenüber Fehlauflösungen durch diese Diagnosemaßnahme zu erreichen.

## 5.2 Schaltzeitüberwachung mit Druckschalter

### 5.2.1 Überwachungsfunktion von Ventilen mit Druckschalter am Ausgang

Mit dem Druckschalter wird am Ausgang der Grenzwert überwacht, der ein Verlassen des sicheren Zustands anzeigt. Normalerweise wird der drucklose Zustand des Ausgangs mit einem Druckschalter mit einem Grenzwert von  $\leq 0,5$  bar überwacht (Empfehlung, ist anwendungsbezogen zu bewerten).

### 5.2.2 Beispielsschaltung für die Diagnose mit Abfrage Druckschalter

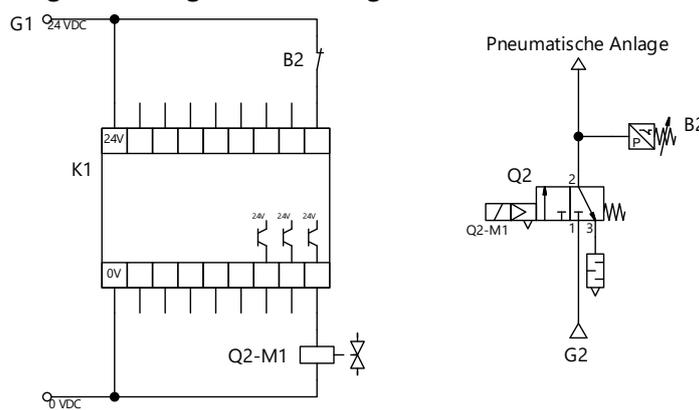
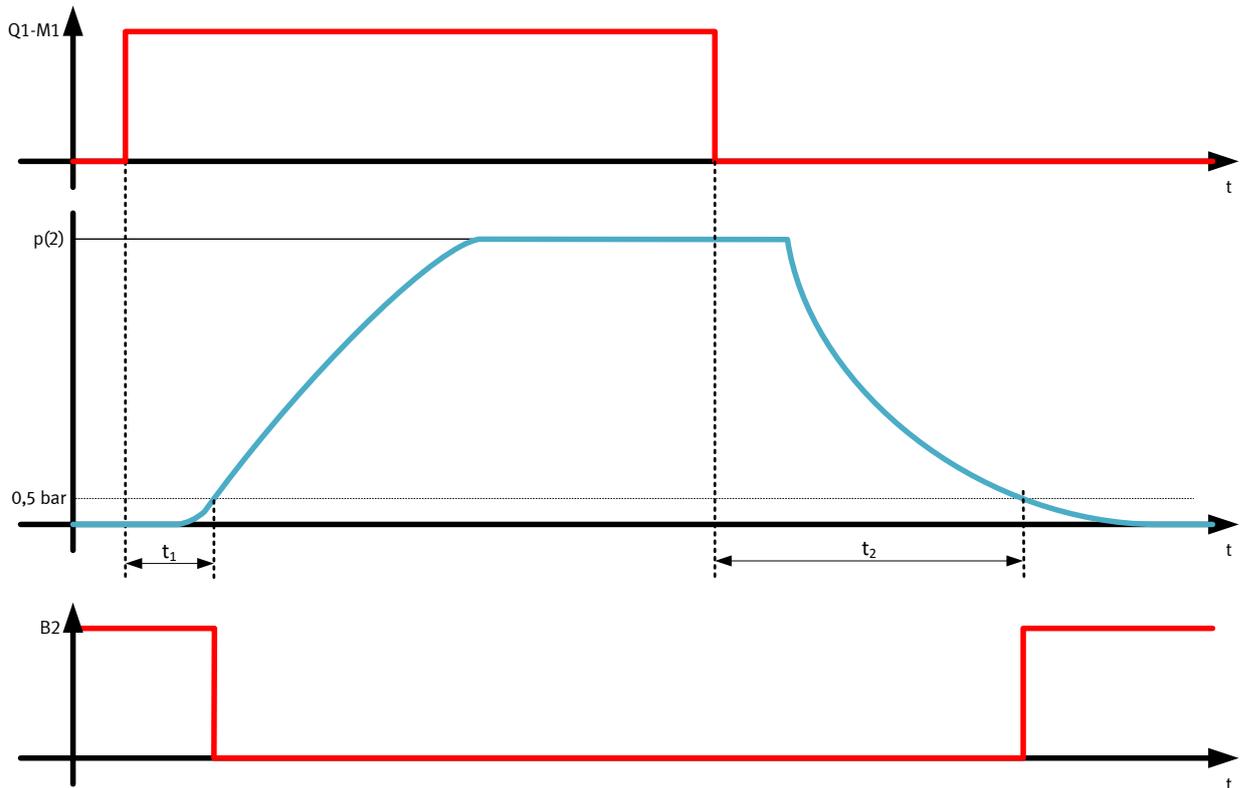


Abbildung 14 Diagnose mit Abfrage Druckschalter



#### Legende

- M1 Ansteuersignal Ventilmagnet
- p(2) Druck am Anschluss 2 von Ventil Q2
- B2 Signal des Drucksensors
- $t_1$  Zeitverzögerung von Ansteuerung Ventilschalter bis Signalwechsel Druckschalter
- $t_2$  Zeitverzögerung von der Abschaltung der Ansteuerung Ventilschalter bis Signalwechsel Druckschalter

Abbildung 15 Schaltzeiten

#### Funktionsweise der Schaltung

- Steuert das Sicherheitsschaltgerät K1 den Ventilmagnet Q2-M1 an, schaltet das Ventil Q2 aus der Ruhestellung in die Schaltstellung.
- Dabei wird der Volumenstrompfad von 1-2 geöffnet und der Anschluss 3 geschlossen, so dass der Druck am Anschluss 2 des Ventils ansteigt. Wird der eingestellte Grenzwert des Druckschalters überschritten, öffnet der Ausgang des Druckschalters B2.
- Die Zeitverzögerung von der Ansteuerung des Ventilmagneten bis zum Öffnen des Ausgangs des Druckschalters ist die Zeit, die vom Sicherheitsschaltgerät überwacht wird, um die Teilfunktion Schalten in Schaltstellung des Ventils zu prüfen.
- Steuert das Sicherheitsschaltgerät K1 den Ventilmagneten Q2-M1 nicht mehr an, schaltet das Ventil Q2 aus der Schaltstellung in die Ruhestellung.
- Erreicht der Kolbenschieber die Ruhestellung, wird der Volumenstrompfad 2-3 geöffnet und der Anschluss 1 geschlossen, so dass der Druck am Anschluss 2 des Ventils abgeleitet wird. Wird der eingestellte Grenzwert des Druckschalters unterschritten, schließt der Ausgang des Druckschalters B2.
- Die Zeitverzögerung von der Abschaltung des Ventilmagneten bis zum Schließen des Ausgangs des Druckschalters ist die Zeit, die vom Sicherheitsschaltgerät überwacht wird, um die Teilfunktion Schalten in Ruhestellung des Ventils zu prüfen.

#### Überwachungszeiten

Im Sicherheitsschaltgerät muss die Zeit zur Überwachung des Schaltvorgangs konfiguriert werden. Bei der Überwachung mit einem Druckschalter hängen diese Zeiten von der Anwendung ab. Da beim Schalten von der Ruhestellung in die Schaltstellung auf einen niedrigen Druck überwacht wird, kann diese Einschaltzeit in der Größenordnung der Schaltzeit des Ventils liegen. Über die Lebensdauer vieler Ventile steigt die Schaltzeit üblicherweise an, so dass ein Sicherheitsfaktor von 2...5 für diese Einstellung verwendet werden sollte.



## Funktionsweise der Schaltung

- Steuert das Sicherheitsschaltgerät K1 den Ventilmagnet Q3-M1 an, schaltet das Ventil Q3 aus der Ruhestellung in die entsprechende Schaltstellung.
- Dabei werden die Volumenstrompfade von 1-4 und 2-3 geöffnet und der Anschluss 5 geschlossen, so dass die linke Kammer des pneumatischen Antriebs mit Druck beaufschlagt wird und die rechte Kammer entlüftet. Damit fährt der pneumatische Antrieb aus.
- Das Sicherheitsschaltgerät überwacht die Zeit von der Ansteuerung des Ventilmagneten Q3-M1 bis zum Verlassen der eingefahrenen Stellung des pneumatischen Antriebs, d.h. der Endschalter B3 wird nicht mehr betätigt. Zusätzlich überwacht das Sicherheitsschaltgerät die Zeit von der Ansteuerung des Ventilmagneten Q3-M1 bis die ausgefahrene Stellung des pneumatischen Antriebs erreicht ist, d.h. der Endschalter B4 wird betätigt (Überwachung der Positionierzeit).
- Steuert das Sicherheitsschaltgerät K1 den Ventilmagneten Q3-M1 nicht mehr an, dafür den Ventilmagneten Q3-M2, schaltet das Ventil Q3 in die andere Schaltstellung.
- Dabei werden die Volumenstrompfade von 1-2 und 4-5 geöffnet und der Anschluss 3 geschlossen, so dass die rechte Kammer des pneumatischen Antriebs mit Druck beaufschlagt wird und die linke Kammer entlüftet. Damit fährt der pneumatische Antrieb ein.
- Das Sicherheitsschaltgerät überwacht die Zeit von der Ansteuerung des Ventilmagneten Q3-M2 bis zum Verlassen der ausgefahrenen Stellen des pneumatischen Antriebs, d.h. der Endschalter B4 wird nicht mehr betätigt. Zusätzlich überwacht das Sicherheitsschaltgerät die Zeit von der Ansteuerung des Ventilmagneten Q3-M2 bis die eingefahrene Stellung des pneumatischen Antriebs erreicht ist, d.h. der Endschalter B3 wird betätigt (Überwachung der Positionierzeit).
- Werden die beiden Ventilmagnete Q3-M1, Q3-M2 nicht mehr angesteuert, schaltet das Ventil Q3 in die Ruhestellung. Wirken keine Kräfte auf den Kolben, bleibt die letzte Stellung des pneumatischen Antriebs erhalten.

## Überwachungszeiten

Im Sicherheitsschaltgerät muss die Zeit zur Überwachung des Positioniervorgangs konfiguriert werden. Bei der Überwachung mit Endschaltern sind diese Zeiten immer anwendungsbezogen zu ermitteln.

### Hinweis

Zu beachten ist, dass die Schaltzeit des Ventils im Vergleich zur Positionierzeit des pneumatischen Antriebs in der Regel sehr kurz ist. Es kommt vor, dass eine Fehlfunktion des Ventils erst nach Ablauf der überwachten Positionierzeit erkannt wird. Dies darf zu keiner Gefährdung in der Anwendung führen.

### 5.3.3 Überprüfung der Sicherheits-Teilfunktionen und Diagnose im Wartungszyklus der Maschine

Im Rahmen des Arbeitsschutzes sind die Sicherheitsfunktionen einer Maschine regelmäßig zu prüfen. Hintergrund ist, dass die Diagnosemaßnahmen normalerweise nicht alle möglichen Fehler aufdecken können. Deswegen sollten mit externen Messgeräten die Kennlinien der sicherheitsrelevanten Parameter vor oder bei der Inbetriebnahme aufgenommen und dokumentiert werden. Das Ziel ist, dass Fehler aufgedeckt werden, die mit der vorhandenen Diagnosemaßnahmen nicht erkannt werden können.

Dies sind bei Wegeventilen für Antriebe zumindest die Ansteuersignale, Bewegungskennlinien, Signale der Sensoren, Drücke an den Ausgängen der Ventile, Leckage.

## 6 Längere Stillstandzeiten und Dynamisierung bei Ventilen

Bei Maschinen mit pneumatischen bzw. elektropneumatischen Ventilen, die über Wochen oder Monate nicht ein- oder ausgeschaltet werden, verlängert sich die Ein- und Ausschaltzeit der Ventile.

### 6.1 Ursachen und deren Auswirkungen

Bei einem längeren Stillstand der beweglichen Teile des Ventils in einer Schaltstellung (aus- oder eingeschaltet), kann es zu einer temporären Veränderung des tribologischen<sup>2</sup> Systems kommen. Diese Veränderung des Schaltverhaltens des Ventils äußert sich durch einen bemerkbaren Anstieg der Schaltzeit (oder des Schaltdrucks) bei den ersten Schaltvorgängen.

Die möglichen Ursachen für die Veränderung des Schaltverhaltens sind z.B. der Stick-Slip-Effekt, größere Haftwirkung der leicht ausgetrockneten Schmierstoffe, das Setzverhalten der Dichtungen, usw.

Dies sind normale Ursachen, die allen bewegten Bauteilen gemeinsam ist. Vollständig vermeiden lassen sich diese nicht, sie können nur durch das Vermeiden der negativen Einflüsse reduziert werden.

Negative Einflüsse auf das Schaltverhalten nach einem Stillstand können folgende Einflussfaktoren haben (nicht vollständige Liste, im Grenzbereich innerhalb der angegebenen technischen Daten des Produkts):

- Niedriger Steuerdruck
- Ölhaltige Luft
- Extrem niedrige oder hohe Umgebungstemperaturen
- Extrem niedrige oder hohe Medientemperaturen
- Niedrige und hohe relative Luftfeuchtigkeit
- Umgebungen mit hoher Belastung durch Staub und Schmutz

Liegen derartige Einflussfaktoren vor, sollte die Funktion des Ventils geprüft werden. In der Praxis lässt sich dies am einfachsten dadurch bewerkstelligen, dass die Maschine nach dem Einschalten mehrere Leerzyklen fährt, evtl. bei einem etwas höheren Steuerdruck (ohne den maximal zulässigen Druck zu überschreiten). In der Regel wird sich nach mehreren Schaltvorgängen das erwartete Schaltverhalten wiederherstellen.

Zusätzlich können die Auswirkungen der oben genannten Effekte reduziert werden, wenn die Einsatzbedingungen in der Anwendung möglichst nahe an den Nennbetriebsbedingungen liegen:

- Steuerdruck  $\geq 6$  bar,
- Umgebungstemperatur  $23^{\circ}\text{C}$ ,
- Temperatur der Druckluft  $23^{\circ}\text{C}$ ,
- Druckluftqualität nach Datenblatt des Ventils,
- Taupunkt Druckluft  $< 7^{\circ}\text{C}$ ,
- ungeölte Luft.

### 6.2 Empfohlene Schaltfrequenz

Wir empfehlen, dass alle Ventile mindestens einmal pro Woche geschaltet werden sollten. Sie sollten dabei einmal in alle Schalt- und Ruhestellungen geschaltet werden (vollständiger Schaltzyklus).

Ausgenommen davon sind alle Ventile, die für den Low-Demand-Mode nach IEC 61508 geeignet sind oder wo in der Betriebsanleitung Vorgaben zur Zwangsdynamisierung gemacht werden.

### 6.3 Empfehlungen zur Anpassung der Schaltfrequenz

Wird in der Fabrikautomation bei sicherheitsbezogenen Anwendungen von Standardventilen eine Schaltfrequenz von einmal pro Woche unterschritten, z.B. bei Lagerung / Transport einer Maschine, Betriebsferien oder im normalen Betrieb, sollte vor der Verwendung das Schaltverhalten des Ventils überprüft werden, z.B. durch einen Funktionstest beim Einschalten der Maschine. Bei sicherheitsbezogenen Anwendungen nach ISO 13849-1 kann dieser Funktionstest durch eine manuelle Sicherheitsanforderung, z.B. Öffnen der Schutztür oder Betätigen des Not-Halt-Schalters, durchgeführt werden.

Unter Umständen kann die Empfehlung von der Betätigung einmal pro Woche an das beobachtete Verhalten der Maschine angepasst werden.

- Zeigt sich eine negative Veränderung sollte die Betätigungsfrequenz erhöht werden. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass sich bei vielen Ventilen die Reibung über die Lebensdauer erhöht und zu den Hauptausfallursachen (neben Leckage, Funktionsfehler, Erhöhung des Schaltdrucks) nach ISO 19973-2 gehört.

---

<sup>2</sup> Die Tribologie ist die Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden, in Relativbewegung befindlichen Oberflächen. Sie befasst sich mit der wissenschaftlichen Beschreibung von Reibung, Schmierung und Verschleiß.

- Es kann sich allerdings auch zeigen, dass die Betätigungsfrequenz auf einen größeren Zeitraum verlängert werden kann. Zu Bedenken ist hier, dass die Ventile der Fabrikautomation für eine regelmäßige Betätigung ausgelegt sind.

Bei Sicherheitsbauteilen sind die Vorgaben der Bedienungsanleitung zur Schaltfrequenz immer einzuhalten. Eine Verlängerung ist nicht zulässig.

#### **6.4 Dynamisierung sicherheitsbezogen eingesetzter Ventile**

Bei sicherheitsbezogen eingesetzten Ventilen<sup>3</sup> ist nach ISO 13849 ab Kategorie 2 eine Überwachung notwendig, um den erforderlichen Diagnosedeckungsgrad zu erreichen. Diese Überwachung erfordert eine Dynamisierung, um statische Ausfälle<sup>4</sup> durch einen dynamischen Test<sup>5</sup> erkennen zu können. Die dabei möglichen statischen Ausfälle sind in der ISO 13849-2 in Tabelle B.3, z.B. mit den Fehlern „Veränderung der Schaltzeiten“ und „Nicht-schalten ... oder nicht vollständiges Schalten ...“ genannt.

Bei sicherheitsbezogenen Anwendungen nach Kategorie 1 sollten die Empfehlungen eingehalten werden. Ab Kategorie 2 ist die Schaltfrequenz durch den Testzyklus des verwendeten Sicherheitsschaltgeräts festgelegt bzw. die Testung erfolgt automatisch bei jedem sicherheitsbezogenem Schalten.

---

<sup>3</sup> Bei Sicherheitsbauteilen wird in der Regel in der Betriebsanleitung eine Mindestschaltfrequenz vorgegeben.

<sup>4</sup> Statische Ausfälle sind alle Ausfälle, die bei Nichtbetätigung des Ventils auftreten können und nur durch ein Umschalten des Ventils (einem dynamischen Test) erkannt werden.

<sup>5</sup> Ein dynamischer Test kann bei Ventilen ein Funktionstest sein, bei dem das Ventil aus dem aktuellen Schaltzustand in einen anderen Schaltzustand gebracht wird und über direkte Überwachung (Kolbenstellungsabfrage) oder indirekte Überwachung (z.B. Drucksensor, Endschalter am Zylinder) die Funktion überprüft wird. Weitere Möglichkeiten sind in der DIN EN ISO 13849-1 genannt.

## 7 Einschaltdauer

Die Einschaltdauer [nach VDE 0580, 3.6.1.1] ist die Zeit zwischen dem Ein- und Ausschalten des Steuersignals. Hierbei lassen sich bei Ventilmagneten drei Betriebsarten unterscheiden

1. Dauerbetrieb (S1) [nach VDE 0580, 3.10.1]  
Beim Dauerbetrieb ist die Einschaltdauer so lang, dass die Beharrungstemperatur erreicht wird.
2. Kurzzeitbetrieb (S2) [nach VDE 0580, 3.10.2]  
Beim Kurzzeitbetrieb ist die Einschaltdauer so kurz, dass die Beharrungstemperatur nicht erreicht wird und die Schaltpause so lang ist, dass sich der Ventilmagnet auf eine Temperatur abkühlt, die weniger als 2 K von der Umgebungstemperatur abweicht.
3. Aussetzbetrieb (S3) [nach VDE 0580, 3.10.3]  
Beim Aussetzbetrieb wechseln sich die Einschaltdauer und Schaltpause in regelmäßiger Folge ab, wobei die Pausen so kurz sind, dass sich der Ventilmagnet nicht auf die Umgebungstemperatur abkühlt.

Die Einschaltdauer ist ein Kennwert, der für die Auslegung der Isolierung für die Spule des Ventilmagneten wichtig ist. Üblicherweise werden die Beharrungstemperaturen in 10 bis 30 Minuten erreicht. Die Einschaltdauer von elektrisch betätigten Ventilen bzw. von den Magnetspulen sind im Datenblatt angegeben.

### Wichtige Hinweise

Die Einschaltdauer wird **unzulässigerweise** mit den Betriebsarten nach IEC 61508, 3.5.16, in Verbindung gebracht.

Die Betriebsart nach IEC 61508 beschreibt die Art der Verwendung einer Sicherheitsfunktion.

- Betriebsart mit niedriger Anforderungsrate (low-demand mode)  
Die Sicherheitsfunktion wird nur auf Anforderung ausgeführt, um die gefährliche Maschinenfunktion in einen festgelegten sicheren Zustand zu überführen. Dabei beträgt die Häufigkeit der Anforderung nicht mehr als einmal pro Jahr.
- Betriebsart mit hoher Anforderungsrate (high-demand mode)  
Die Sicherheitsfunktion wird nur auf Anforderung ausgeführt, um die gefährliche Maschinenfunktion in einen festgelegten sicheren Zustand zu überführen. Dabei beträgt die Häufigkeit der Anforderung mehr als einmal pro Jahr.
- Betriebsart mit kontinuierlicher Anforderung (continuous mode)  
Die Sicherheitsfunktion hält die gefährliche Maschinenfunktion in einem sicheren Zustand als Teil des normalen Betriebs.

Diese Kennwerte sind für die Ermittlung der Zuverlässigkeit der Ausführung einer Sicherheitsfunktion erforderlich.



### Achtung

Bei allen Betriebsarten, mit Ausnahme der Betriebsart mit hoher Anforderungsrate (high-demand mode), sind Ventile nur mit einer ausdrücklichen Bestätigung der Betriebsart, z.B. Low-Demand-Mode, im Datenblatt Produktzuverlässigkeit für diese Betriebsart geeignet. Ansonsten müssen die Ventile dynamisiert, d.h. die Ventile müssen regelmäßig geschaltet werden. Hintergründe und mögliche Maßnahmen dazu sind im Abschnitt „6 Längere Stillstandzeiten und Dynamisierung bei Ventilen“ angegeben.



### Achtung

Aus der Einschaltdauer lässt sich nicht ableiten, ob das Ventil für die Betriebsart mit niedriger, hoher oder kontinuierlicher Anforderungsrate (Continuous Mode) nach IEC 61508-4 geeignet ist.

## 8 Sicherheitsprinzipien

Die **Sicherheitsprinzipien** der ISO 13849-2 sind zu beachtende Konstruktionsmerkmale für mechanische, pneumatische und elektrische Systeme, um eine hinreichende Zuverlässigkeit einer Sicherheitsschaltung zu gewährleisten und systematische Fehler zu beherrschen.

Die **grundlegenden Sicherheitsprinzipien** entsprechen der guten ingenieurmäßigen Praxis für mechanische, pneumatische und elektrische Systeme in allen funktionalen Schaltungen in einer Maschine oder Anlage. Auf Basis der ISO 13849 können diesen funktionalen Schaltungen auch ein Performance Level a oder b zugewiesen werden und werden dann zu Sicherheitsschaltungen.

Die **bewährten Sicherheitsprinzipien** sind weitergehende Konstruktionsmerkmale, um bei Sicherheitsschaltungen ab PL c die Zuverlässigkeit im Vergleich zu funktionalen Schaltungen zu erhöhen.

### Wichtig

Die in der ISO 13849-2 aufgeführten Sicherheitsprinzipien beziehen sich auf Systeme. In den Grenzen einer Komponente, Baugruppe oder Bauteils in einem solchen System können nie alle dieser Sicherheitsprinzipien zutreffen.

### 8.1 Relevante grundlegende Sicherheitsprinzipien für Ventile

In den Grenzen von Wegeventilen können folgende grundlegenden Sicherheitsprinzipien relevant sein. Die Einhaltung der relevanten grundlegenden Sicherheitsprinzipien werden pauschal im Datenblatt Produktzuverlässigkeit des Ventils bestätigt. In der Regel sind folgende Sicherheitsprinzipien bewertet:

#### Mechanisches System

- Anwendung geeigneter Werkstoffe und angemessener Herstellungsverfahren
- ordnungsgemäße Dimensionierung und Formgebung
- geeignete Auswahl, Kombination, Anordnungen, Zusammenbau und Einbau der Bauteile/des Systems
- Anwendung des Prinzips der Energietrennung  
Bei dem Prinzip der Energietrennung (oder Ruhestromprinzip) wird gefordert, dass wenn die elektrischen und/oder pneumatischen Steuersignale, z.B. 12, 14, oder der Arbeitsdruck, z.B. von 1, unterbrochen und entlüftet wird, die Hauptstufe ihren sicheren Zustand einnimmt. Bei monostabilen Ventilen kann dies die Ruhestellung sein bzw. bei bistabilen Ventilen die letzte Schaltstellung.  
In den Grenzen des Ventils wird nur bewertet, ob ein sicherer Zustand möglich ist. Da die Bewertung dieses sicheren Zustands nur mit bekanntem sicheren Zustand der Anwendung möglich ist, sind vom Anwender immer zusätzlich die anwendungsbezogenen Gesichtspunkte zu bewerten.
- geeignete Befestigung
- Schutz gegen unerwarteten Anlauf  
In den Grenzen der Sicherheitsprinzipien wird der „Schutz gegen unerwarteten Anlauf“ üblicherweise durch die „Anwendung des Prinzips der Energietrennung“ oder „gesicherte Position“ umgesetzt.
- geeignete Schmierung
- geeigneter Schutz gegen Eindringen von Flüssigkeiten und Staub

#### Pneumatisches System

- Anwendung geeigneter Werkstoffe und Herstellungsverfahren
- Richtige Dimensionierung und Formgebung
- Geeignete Auswahl, Kombination, Anordnung, Zusammenbau und Einbau der Bauteile/des Systems
- Anwendung des Prinzips der Energietrennung  
Siehe Angaben im Abschnitt „Mechanisches System“
- geeignete Befestigung
- Schutz gegen unerwarteten Anlauf  
Siehe Angaben im Abschnitt „Mechanisches System“

#### Elektrisches System

- Anwendung geeigneter Werkstoffe und Herstellungsverfahren
- richtige Dimensionierung und Formgebung
- Geeignete(r) Auswahl, Kombination, Anordnungen, Zusammenbau und Einbau der Bauteile/des Systems
- Anwendung des Prinzips der Energietrennung  
Siehe Angaben im Abschnitt „Mechanisches System“
- Unterdrückung von Spannungsspitzen  
Nur bei elektrisch betätigten Ventilen anwendbar. Bei Ventilen mit Haltestromabsenkung wird dieses Sicherheitsprinzip eingehalten. Ist eine andere Maßnahme zur Begrenzung des Spannungsimpulses beim Abschalten des Ventilmagnets integriert (Freilaufdiode, Varistor, RC-Glied), ist dies in den technischen Merkmalen des Ventils angegeben. Fehlt diese Angabe sind zusätzliche Maßnahmen vom Anwender vorzusehen, siehe dazu auch die „Allgemeinen Einsatzbedingungen, Abschnitt Funkenlöschung“.
- Schutz gegen unerwarteten Anlauf

Siehe Angaben im Abschnitt „Mechanisches System“

### 8.1.1 Relevante bewährte Sicherheitsprinzipien für Ventile

In den Grenzen von Wegeventilen können folgende bewährten Sicherheitsprinzipien relevant sein. Die Einhaltung der relevanten bewährten Sicherheitsprinzipien werden pauschal im Datenblatt Produktzuverlässigkeit des Ventils bestätigt. In der Regel sind folgende Sicherheitsprinzipien bewertet:

#### Mechanisches System

- Anwendung sorgfältig ausgewählter Werkstoffe und Herstellungsverfahren
- Überdimensionierung/Sicherheitsfaktor
- Gesicherte Position  
Nur anwendbar bei Ventilen mit mechanischer oder pneumatischer Feder oder bei Ventilen mit einer Raste. Hinweis: Bei bistabilen Ventilen ohne Raste kann der Fehlerausschluss „selbsttätige Veränderung der Hauptstufe ohne Eingangssignal“ des Herstellers eine höherwertige Alternative zu diesem Sicherheitsprinzip sein.
- erhöhte AUS-Kraft  
Nur anwendbar bei Ventilen mit mechanischer oder pneumatischer Feder oder bei Ventilen mit einer Raste.
- Sorgfältige(r) Auswahl, Kombination, Anordnung, Zusammenbau und Einbau von Bauteilen/Systemen für die jeweilige Anwendung
- sorgfältige Auswahl der Befestigungsart für die jeweilige Anwendung
- Anwendung bewährter Federn  
Nur anwendbar bei Ventilen mit mechanischer oder pneumatischer Feder

#### Pneumatisches System

- Überdimensionierung/Sicherheitsfaktor
- Gesicherte Position  
Siehe Angaben im Abschnitt „Mechanisches System“
- erhöhte AUS-Kraft  
Siehe Angaben im Abschnitt „Mechanisches System“
- durch den Lastdruck schließendes Ventil  
Nur zutreffend, wenn in den Konstruktionsmerkmalen des Datenblatts oder Datenblatt Produktzuverlässigkeit explizit aufgeführt.
- Anwendung bewährter Federn  
Ist das Ventil in seinem Datenblatt Produktzuverlässigkeit als „bewährt nach ISO 13849-1“ klassifiziert, sind auch die enthaltenen Federn bewährt.
- ausreichend große positive Überdeckung  
Ist bei den Merkmalen die „positive Überdeckung“ angegeben, ist dieses Merkmal konstruktiv vorhanden. Nur wenn ein Fehlerausschluss „Versagen der positiven Überdeckung“ angegeben ist, ist die Anforderung „ausreichend“ erfüllt.
- ausreichend große negative Überdeckung (Sicherheitsprinzip von Festo ergänzt)  
Ist bei den Merkmalen die „negative Überdeckung“ angegeben, ist dieses Merkmal konstruktiv vorhanden. Nur wenn ein Fehlerausschluss „Versagen der negativen Überdeckung“ angegeben ist, ist die Anforderung „ausreichend“ erfüllt.

#### Elektrisches System

- Abstände zwischen elektrischen Leitern
- Überdimensionierung

## 9 Bewährtes Bauteil

Die Bestätigung, dass ein Ventil ein „bewährtes Bauteil nach ISO 13849-1“ ist, ist das Ergebnis der Bewertung des Komponentenherstellers, ob dieses Ventil für die Anwendung in Sicherheitsschaltungen geeignet ist und dafür eine ausreichende Zuverlässigkeit erreicht.

### Wichtig

Diese Bestätigung muss vom Anwender immer geprüft werden, ob für seine bestimmte Anwendung das Ventil auch als „bewährt“ klassifiziert werden kann.

Die Klassifizierung „bewährtes Bauteil“ für eine bestimmte Anwendung ist vom Anwender zunächst zu verneinen, wenn

- Merkmale des Ventils nicht eingehalten werden können, z.B. Druckspitzen, zu hohe oder zu niedrige Temperaturen;
- Materialbeeinflussende Substanzen in der Nähe des Ventils, z.B. Lösungsmittel, die Dichtungen und Kunststoffe angreifen können;
- Starke Verschmutzung durch Staub und andere Substanzen, die in pneumatische Komponenten eindringen und Fehlfunktionen verursachen können, z.B. feine Staupartikel.
- usw.

Bei diesen Beispielen können zusätzliche Maßnahmen die Klassifizierung „bewährtes Bauteil“ wieder erlauben, diese sind jedoch immer anwendungsbezogen zu bewerten.

Beispiel:

Bewährtes Bauteil <sup>1)</sup>	ja
---------------------------------	----

1) Das Produkt ist ein bewährtes Bauteil für eine sicherheitsbezogene Anwendung nach ISO 13849-1. Ob das Produkt für eine konkrete Anwendung geeignet ist, muss durch den Anwender überprüft und bestätigt werden.

### Zusätzliche Hinweise

Damit bei Festo ein neu entwickeltes Produkt als „bewährt nach ISO 13849-1“ klassifiziert wird, sind folgende Punkte zu erfüllen

- Entwicklungsprozess ist eingehalten
- Entwicklung bestätigt auf Basis von Checklisten die grundlegenden und bewährten Sicherheitsprinzipien.
- Technische Merkmale des Produkts wurden durch Versuche geprüft und freigegeben
- Durch einen Lebensdauerversuch wurde der  $B_{10}$ -Wert ermittelt und durch Experten bewertet
- Bewährtheit wird bestätigt durch
  - die Zuverlässigkeit wurde durch FMEDA ermittelt, d.h. Nachweis der Bewährtheit auf Basis von Ausfallraten aus Datenbanken und durch Experten bewertet
  - durch Auswertung von Marktrückläufen bestätigt (nur bei Produkten, die bereits lange am Markt sind).
  - Grundlegende und bewährte Sicherheitsprinzipien UND Nachweis der technischen Merkmale durch Versuch

„Bewährtes Bauteil“ bezieht sich auf bewährte Bauteile für sicherheitsbezogene Anwendungen nach ISO 13849-1.



### Achtung

Daraus lässt sich nicht ableiten, dass Ventile die Anforderungen für betriebsbewährte Elemente nach IEC 61508-2, 7.4.10 erfüllen.

Bei Festo wird dies über das Datenblatt Produktzuverlässigkeit bestätigt.

## 10 Lebensdauerkennwert B<sub>10</sub>

Die Zuverlässigkeit von Ventilen wird mit dem Lebensdauerkennwert B<sub>10</sub> angegeben. Dies ist ein üblicherweise durch Versuche statistisch ermittelter Wert, der die Anzahl der Zyklen angibt, bis 10 % der geprüften Ventile ausgefallen sind.

Die Ermittlung des Lebensdauerkennwerts erfolgt auf der Basis der Normen

- ISO 19973-1 - Pneumatik - Bewertung der Zuverlässigkeit von Bauteilen durch Prüfung - Teil 1: Allgemeine Verfahren
- ISO 19973-2 - Pneumatik - Bewertung der Zuverlässigkeit von Bauteilen durch Prüfung - Teil 2: Ventile

Die auf Basis von ISO 19973 ermittelten Lebensdauerkennwerte beziehen sich immer auf die Standardbedingungen:

Prüfdruck	6,3 bar ± 0,3 bar
Umgebungstemperatur	23°C ± 10°C
Mediumtemperatur	23°C ± 10°C
Filter	5 µm
Taupunkt	+7°C
Zusätzliche Schmierung	keine

Weichen die Einsatzbedingungen in einer bestimmten Anwendung davon ab, sollte vom Anwender bewertet werden, ob eine Anpassung des B<sub>10</sub>-Werts erforderlich ist. Die möglichen Einflüsse durch Druck, Temperatur, materialbeeinflussende Substanzen, Betätigungen, usw. sind so vielfältig, dass keine allgemeingültige Angaben von Festo gemacht werden können.

Beispiel:

Lebensdauerkennwert B <sub>10</sub> <sup>2)</sup>	10 Mio. SP
---	------------

2) Die Ermittlung der Lebensdauerkennwerte erfolgt grundsätzlich auf Basis der ISO 19973: „Pneumatik - Bewertung der Zuverlässigkeit von Bauteilen durch Prüfung“.

### 10.1 Abschätzung von B<sub>10D</sub>-Werten

Die ISO 13849-1, Anhang E, gibt B<sub>10D</sub>-Werte für verschiedene Bauteile als gute ingenieurmäßige Praxis an. Die Anwendung dieser Werte kann bei verschiedenen pneumatischen Bauteilen zu erheblichen Abweichungen führen, z.B. bei Einschaltventilen. Bei fehlenden B<sub>10</sub>-Werten sollte deswegen immer beim Hersteller nachgefragt werden.

Mit dem B<sub>10</sub>-Wert kann mit der unten stehenden Formel ein B<sub>10D</sub>-Wert abgeschätzt werden.

$$B_{10D} = \frac{1}{RDF} \cdot B_{10} = \frac{1}{0,5} \cdot 10.000.000 = 20.000.000$$

Die Abkürzung RDF steht für den „Anteil gefährlicher Ausfälle“ (engl. ratio of dangerous failures). Für pneumatische und elektromechanische Komponenten kann nach ISO 13849-1, Tabelle C.1, Anmerkung 1, ein RDF mit 50% angenommen werden, sofern keine anderen Angaben vorliegen.

#### Hinweise

- Es gibt Bauteile, bei denen ein RDF von 50% nicht angenommen werden darf, z.B. Feststelleinheiten und Haltebremsen. Bei diesen Produkten führen die meisten möglichen Fehler zu einem gefährlichen Ausfall, so dass ein RDF von 100% angenommen werden sollte.
- Festo stellt die B<sub>10</sub>-Werte für die Evaluierung von Schaltungen als VDMA-Bibliothek zur Verfügung [↗ Link](#).

## 11 Konstruktionsmerkmal mechanische Federrückstellung

Die Norm ISO 13849-2 gibt in der Tabelle A.5 an, dass für Schraubendruckfedern verschiedene Fehlerausschlüsse möglich sind, wenn bewährte Federn und sorgfältig ausgewählte Befestigungsarten eingesetzt werden. Können diese Fehlerausschlüsse angenommen werden, ist immer eine Federkraft vorhanden und es besteht die Möglichkeit, eine hohe Zuverlässigkeit mit einkanaligen Schaltungen zu erreichen.

Dazu muss zuerst einmal festgestellt werden, was die Norm ISO 13849-2 unter Schraubendruckfedern versteht. Dazu macht die Tabelle A.2 unter „Anwendung bewährten Federn“ folgende Angaben:

Bewährte Schraubendruckfedern dürfen auch gestaltet werden durch:

- Anwendung sorgfältig ausgewählter Werkstoffe, Herstellungsverfahren (z. B. vor Anwendung vorgegebenes statisches und dynamisches Setzen) und Behandlungsverfahren (z. B. Walzen und Kugelstrahlen);
- ausreichende Führung der Feder; und
- einen Abstand zwischen den Windungen bei unbelasteter Feder, der kleiner als der Draht-durchmesser ist; und
- eine ausreichende Kraft nach einem Bruch oder nach mehreren Brüchen wird aufrechterhalten (d. h. Bruch/Brüche führen nicht zu einem gefährlichen Zustand).

Die ISO 13849-2 meint damit eine Schraubendruckfeder, wie sie im Bild links dargestellt ist. Dies darf auf keinen Fall mit der Feder rechts verwechselt werden, die üblicherweise auch eine Schraubendruckfeder ist, jedoch nicht im Sinne des Fehlerausschlusses der ISO 13849-2.

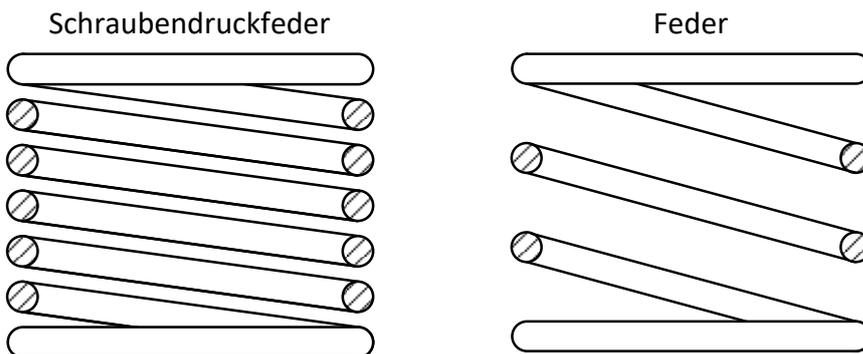


Abbildung 18 Schraubendruckfeder und Federn

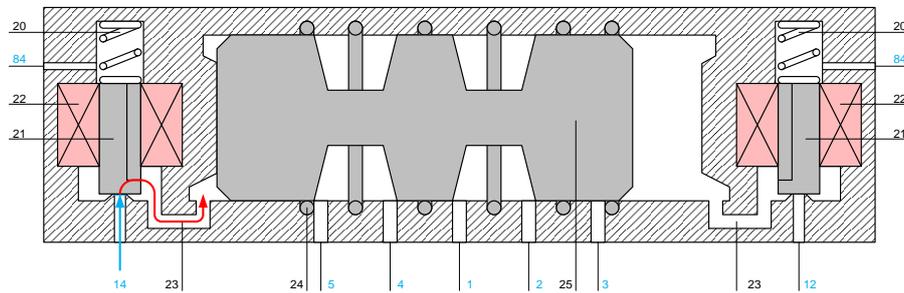
Das wesentliche Merkmal ist, dass der Windungsabstand bei unbelasteter Feder kleiner ist als der Drahtdurchmesser. Damit führt ein evtl. auftretender Drahtbruch in der Regel nur zu einer minimalen Reduzierung der Federkraft. Mit dieser Begründung wird auch die Grundlage für diesen Fehlerausschluss nachvollziehbar.

**Die Federn in pneumatischen Ventilen und pneumatischen Antrieben erfüllen dieses wesentliche Merkmal nicht. Die in der Pneumatik üblichen Federn sind zylinderförmige oder kegelförmige Schraubenfedern, deren Windungsabstand erheblich größer ist wie der Drahtdurchmesser. Ein Fehlerausschluss nach DIN EN ISO 13849-2, Tabelle A.5, ist deswegen für pneumatische Ventile und pneumatische Antriebe nicht anwendbar.**

### Hinweise

- In der Tabelle A.2 sind auch die Vorgaben für „bewährte Federn“ genannt. Für Schraubendruckfedern, bei denen Fehlerausschlüsse nach Tabelle A.5 angenommen werden sollen, sind diese Vorgaben nicht anwendbar.
- Der Einsatz eines Fehlerausschlusses „Federbruch“ bei vorgesteuerten Pneumatikventilen ist äußerst bedenklich. Alle uns bekannten Vorsteuerventile in der Pneumatik sind Sitzventile. Bricht dort eine Feder, reduziert sich die Federkraft erheblich und die Kraft durch den anliegenden Steuerdruck wird das Vorsteuerventil öffnen und die Hauptstufe des Ventils schalten. Damit ist eine gefährliche Bewegung eines angeschlossenen pneumatischen Antriebs möglich.

Das untenstehende Bild zeigt eine Prinzipskizze eines bistabilen 5/2-Wegeventils. Bricht die Feder des linken Vorsteuerventils (20), öffnet der Steuerdruck am Anschluss 14 das Vorsteuerventil und der Kolbenschieber der Hauptstufe wird in die andere Schaltstellung bewegt. Ein angeschlossener pneumatischer Antrieb wird sich in die entgegengesetzte Endlage bewegen.



Legende

- 1, 2, 3, 4, 5 Hauptanschlüsse
- 12, 14 Steueranschlüsse
- 20 Federn der Vorsteuerventile
- 21 Anker des Vorsteuerventils
- 22 Spule, unbestromt
- 23 Steuersignal zur Betätigung der Hauptstufe
- 24 Dichtungen, weichdichtend
- 25 Kolbenschieber der Hauptstufe
- 84 Entlüftung des Steuersignals der Hauptstufe

Abbildung 19 5/2-Wegeventil, bistabil

## 12 Konstruktionsmerkmal Rückstellung über pneumatische Feder

### 12.1 Zusammenfassung

- Eine pneumatische Feder ist einer mechanischen Feder mindestens als gleichwertig anzusehen, wenn die Druckluftversorgung der pneumatischen Feder gewährleistet ist.
- Die überwiegenden Ausfallarten von mechanischen Federn sind zufällig (probabilistische Ausfälle). Die Luftfeder fällt eher aufgrund von systematischen Fehlern aus, die mit einer FMEA bewertet werden.
- Wird die Druckluftversorgung der pneumatischen Feder zusammen mit dem Arbeitsdruck oder Steuerdruck unterbrochen und entlüftet, gibt es beim Wiederanlauf ein Restrisiko, bis die pneumatische Feder ab einem Druck von ca. 1 bar wirkt.

### 12.2 Erklärungen

Für die Verwendung von pneumatischen Federn in Ventilen müssen die Anforderungen der ISO 13849 ermittelt werden und mit den Merkmalen von pneumatischen Federn verglichen werden. Die Anforderungen sind in den folgenden Sicherheitsprinzipien beschrieben:

- Gesicherte Position
- Anwendung bewährter Federn
- Sichere Schaltstellung
- Erhöhte AUS-Kraft

#### Anforderung 1: gesicherte Position

Die Norm ISO 13849-2 gibt in der Tabelle B.2 folgende Anforderungen vor:

„Das bewegliche Element des Bauteils wird mechanisch in einer der möglichen Positionen gehalten (Reibung allein ist nicht ausreichend). Um die Position zu verändern, ist das Aufbringen von Kraft notwendig.“

Hier ist zuerst die Definition des Begriffs „mechanisch“ notwendig. Nach „Physik für Ingenieure“ von Ekbert Hering ist „die Mechanik der Teil der Physik, der sich mit der Zusammensetzung und dem Gleichgewicht von Kräften, die auf einen ruhenden Körper wirken (Statik), mit Bewegungsvorgängen (Kinematik) und den Kräften als Ursache der Bewegung (Dynamik) befasst.“ Im Zusammenhang mit der funktionalen Sicherheit bedeutet dies, dass die Ruhestellung mit einer vorhandenen Kraft gehalten werden muss.

Die Erfüllung der Anforderungen einer sicheren Position hängt vom Aufbringen der Kraft durch eine pneumatische Feder auf den Kolbenschieber ab. Die Krafterzeugung der pneumatischen Feder hängt von der Art der Druckluftversorgung der Luftfeder und von den Betriebszuständen ab.

- **Pneumatische Feder mit Versorgung von Anschluss 1 (Arbeitsdruck)**

Bei Ventilen mit interner Versorgung der pneumatischen Feder von Anschluss 1 (Arbeitsdruck) ergibt sich in der Regel folgendes Verhalten, wenn mit dem Ventil Q2 der Druckluftversorgung unterbrochen und entlüftet wird:

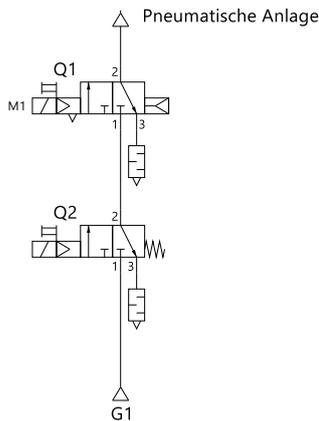
Ventil Q1 ist angesteuert und in Schaltstellung: Bei einer langsamen Entlüftung des Anschlusses 1 wird die nachfolgende pneumatische Anlage entlüftet. Wird der minimale Steuerdruck deutlich unterschritten, weist die Luftfeder in der Regel eine größere Kraftwirkung auf wie die Steuerluft durch das Vorsteuerventil, so dass der Kolbenschieber der Hauptstufe in Ruhestellung geschaltet wird.

Bei einer sehr schnellen Entlüftung des Anschlusses 1 wird die nachfolgende pneumatische Anlage und der Steuerdruck im Ventil so schnell entlüftet, dass die Hauptstufe des Ventils Q1 in der Schaltstellung oder einer Zwischenstellung hängen bleiben kann. In diesem Fall ist die sichere Position nicht gewährleistet. In den meisten Anwendungen wird keine Entlüftung möglich sein, die kürzer ist wie die Schaltzeit des Ventils. Um dies zu prüfen, empfehlen wir eine kurze Prüfung mit einem Drucksensor am Anschluss 2 des Ventils Q1:

Ventil Q2 wird eingeschaltet, Ventil Q1 wird eingeschaltet, am Anschluss 2 liegt Druck an. Ventil Q2 wird ausgeschaltet, Ventil Q1 wird ausgeschaltet. Wird jetzt Q2 eingeschaltet und es erfolgt keine Anzeige eines Drucks an Anschluss 2 des Ventils Q1, ist auch hier eine gesicherte Position gegeben.

#### Hinweis

Durch Vibrationen und Stöße sich die Hauptstufe des Ventils verschieben. Wird dann über ein Druckaufbauventil eingeschaltet, kann es zu einem Druckaufbau an Anschluss 2 kommen, bis die Luftfeder wirkt.



Wird der **Worst Case** betrachtet, d.h. Ventil ist in Schaltstellung wenn die Druckluft an Anschluss 1 eingeschaltet ist, beginnt die pneumatische Feder ab einem Druck von ca. 1 bar (konstruktionsabhängig) zu wirken und schaltet das Ventil in Ruhestellung. Bei der Verwendung eines Druckaufbauventil kann es zu einem Druckaufbau an Anschluss 2 kommen, die normalerweise in der Größenordnung der Schaltzeit des Ventils liegt. In Abhängigkeit der Ventilgröße, Schläuchen und Antrieben muss bewertet werden, ob es zu einer Bewegung kommen kann. Bei Standardantrieben liegt der minimal erforderliche Betriebsdruck bei 1...2 bar, so dass es in fast allen Anwendungsfällen wahrscheinlich zu keiner gefährlichen Bewegung kommen kann.

**Mögliche Maßnahme zur Einhaltung des Sicherheitsprinzips „sichere Position“:**

*Bei Einzelventilen bzw. die zwei Ventile Q1, Q2 sind in unterschiedlichen Spannungszonen:* Die Ventile sind zeitversetzt zu schalten, d.h. beim Einschaltvorgang muss immer zuerst das Ventil Q2 angesteuert werden, damit an Anschluss 1 des Ventils Q1 ein Arbeitsdruck anliegt und dann darf das Ventil Q1 angesteuert werden. Beim Ausschaltvorgang sollte immer zuerst das Ventil Q1 ausgeschaltet werden, damit das Ventil von der pneumatischen Feder in Ruhestellung geschaltet wird bevor das Ventil Q2 ausgeschaltet wird. Damit kann das Sicherheitsprinzip „sicherer Position“ eingehalten werden.

*Bei Ventillinseln mit Lastspannungsabschaltung und die zwei Ventile Q1, Q2 sind in der gleichen Spannungszone:* Es ist zu prüfen, ob es im Worst-Case (siehe oben) zu einer Bewegung eines Antriebs oder sonstigen Gefährdung kommen kann. Es ist anwendungsabhängig zu bewerten, mit welchen Maßnahmen das evtl. vorhandene Risiko hinreichend reduziert werden kann.

- **Pneumatische Feder mit Versorgung von Anschluss 12/14 (Steuerdruck)**

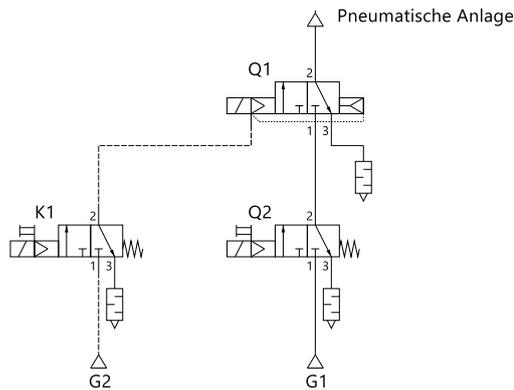
Weist das Ventil eine pneumatische Feder auf, die von einem der Anschlüsse 12 oder 14 versorgt wird, kann der Arbeitsdruck an Anschluss 1 unterbrochen und entlüftet werden und die Luftfeder bleibt funktionsfähig.

Ventil Q1 ist angesteuert und in Schaltstellung: Bei einer langsamen Entlüftung des Anschlusses 12 wird die Steuerluft für das Vorsteuerventil und die Luftfeder entlüftet. Wird der minimale Steuerdruck deutlich unterschritten, weist die Luftfeder in der Regel eine größere Kraftwirkung auf wie die Steuerluft durch das Vorsteuerventil, so dass der Kolbenschieber der Hauptstufe in Ruhestellung geschaltet wird. Bei einer sehr schnellen Entlüftung des Anschlusses 12 wird die Steuerluft so schnell entlüftet, dass die Hauptstufe des Ventils Q1 in der Schaltstellung oder einer Zwischenstellung hängen bleiben kann. In diesem Fall ist die sichere Position nicht gewährleistet.

**Mögliche Maßnahme zur Einhaltung des Sicherheitsprinzips „sichere Position“:**

*Bei Einzelventilen bzw. die zwei Ventile Q1, Q2 sind in unterschiedlichen Spannungszonen:* Die Ventile sind zeitversetzt zu schalten, d.h. zuerst muss die elektrische Ansteuerung des Ventils Q1 ausgeschaltet werden, damit dieses Ventil in Ruhestellung schaltet bevor mit dem Ventil K1 die Steuerluftversorgung unterbrochen und entlüftet wird.

*Bei Ventillinseln mit Lastspannungsabschaltung und die zwei Ventile K1, Q2 sind in der gleichen Spannungszone:* Es ist zu prüfen, ob es im Worst-Case (siehe oben) zu einer Bewegung eines Antriebs oder sonstigen Gefährdung kommen kann. Es ist anwendungsabhängig zu bewerten, mit welchen Maßnahmen das evtl. vorhandene Risiko hinreichend reduziert werden kann.



## Anforderung 2: Anwendung bewährter Federn

Eine bewährte Feder erfordert nach ISO 13849-2 [3], Tabelle A.2:

- „Anwendung sorgfältig ausgewählter Werkstoffe, Herstellungsverfahren (z. B. vor Anwendung vorgenommene statisches und dynamisches Setzen) und Behandlungsverfahren (z. B. Walzen und Kugelstrahlen);“  
Bei einer Luftfeder entsprechen die sorgfältig ausgewählten Werkstoffe der aufbereiteten Druckluft. Die mindestens erforderliche Druckluftqualität ist im Datenblatt des Ventils unter „Betriebsmedium“ angegeben und kann durch eine geeignete Wartungseinheit gewährleistet werden.  
Das sorgfältig ausgewählte Herstellungsverfahren ist das tribologische System der Ventile. Der Nachweis ist der durch Lebensdauerversuche ermittelte Lebensdauerwert  $B_{10}$ . Dieser ist im Datenblatt Produktzuverlässigkeit angegeben.
- Ausreichende Führung der Feder  
Bei einer Luftfeder ist der Kolbenschieber sauber geführt und die Luftsäule kann durch das Führungsrohr nicht ausbrechen.
- Ausreichender Sicherheitsfaktor bei Dauerbeanspruchung (d. h. mit hoher Wahrscheinlichkeit tritt kein Bruch auf)  
Die Dauerfestigkeit ist bei Luft gegeben, da keine Verformung oder Brechen durch elastische oder unelastische Beanspruchungen auftreten kann. Einem Bruch kann bei einer Luftfeder mit der Leckage gleichgesetzt werden. Tritt eine Leckage auf, wird diese durch die Druckluftversorgung ausgeglichen.

Das hier beschriebene Verhalten ist gegenüber einem mechanischen Bauteil ein Vorteil. Werden mechanische Federn bewährt ausgelegt, z.B. nach EN 13906-1 [4], kann nicht davon ausgegangen werden, dass die mechanische Feder nicht bricht. Ein Federbruch kann dazu führen, dass die Ruhestellung nicht mehr eingenommen wird und die gefährliche Schaltstellung des Ventils beibehalten wird.

Eine Luftfeder kann damit einer bewährten mechanischen Feder mindestens als gleichwertig betrachtet werden.

## Anforderung 3: Sichere Schaltstellung

Die sichere Schaltstellung eines Ventils ist in der ISO 4414, 5.4.6.9 definiert:

„Jeder Antrieb, der bei Ausfall der Steuerung seine Stellung beizubehalten oder eine bestimmte Sicherheitsstellung einzunehmen hat, muss durch ein Ventil gesteuert werden, das eine definierte Schaltstellung beibehält oder einnimmt (z.B. durch Federvorspannung oder ein vergleichbares physikalisches Prinzip)

Anmerkung: Um die sichere Schaltstellung zu verlassen, ist Druck oder Kraft erforderlich; siehe ISO 13849-2, Tabelle B.2“

Dass die Luftfeder mindestens einer mechanischen Feder gleichwertig ist, ist durch den Nachweis der Anforderung 2 (siehe oben) erfüllt. Das heißt, die sichere Schaltstellung (Ruhestellung) wird eingenommen, solange der Mindestbetriebsdruck nicht unterschritten wird.

## Anforderung 4: erhöhte AUS-Kraft

Die erhöhte AUS-Kraft erfordert nach ISO 13849-2 [2], Tabelle B.2:

„Eine Lösung kann sein, dass das Flächenverhältnis für die Bewegung eines Ventilschiebers in die sichere Position (AUS-Stellung) gegenüber dem Flächenverhältnis für die Bewegung des Ventilschiebers in die EIN-Stellung wesentlich größer ist (ein Sicherheitsfaktor).“

Die erhöhte AUS-Kraft, d.h. dass die sichere Ruhestellung verlassen wird, wird durch die Anwendung der Luftfeder gewährleistet, da die zusätzliche Kraft der Luftfeder überwunden werden muss.

## Empfohlene Maßnahmen

- Damit der Mindestbetriebsdruck für Ventile mit Luftfeder gewährleistet ist, sollte dieser überwacht werden. Dies kann als Teil des bewährten Sicherheitsprinzips „geeigneter Bereich für die Betriebsbedingungen“ [3, Tabelle B.2] betrachtet werden. Umsetzen lässt sich diese Drucküberwachung mit einem Druckschalter mit

Schließer, dessen Druckeinstellung auf einen Wert über dem Minimaldruck der Ventile mit Luftfeder eingeschaltet wird. Fällt der Druck im Betrieb unter diesen Schaltzeitpunkt wird mit dem elektrischen Einschaltventil der Wartungseinheit die Druckluftzufuhr zur pneumatischen Anlage abgeschaltet.

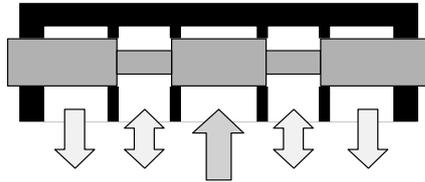
- Bei den meisten pneumatischen Antrieben ist ein höherer Mindestdruck für eine Bewegung erforderlich wie für die Aktivierung Luftfeder. Ist dies der Fall kann unter den üblichen Betriebsbedingungen keine gefährliche Bewegung erzeugt werden. Hierzu sind die technischen Daten des pneumatischen Antriebs und des verwendeten Ventils zu vergleichen.
- Wird vom Ventil eine Düse versorgt, kann es an der Düse zu einem Austritt eines Volumenstroms kommen. Dies hängt allerdings von den konkreten Bedingungen in der Anwendung ab und ist deswegen immer anwendungsbezogen zu bewerten.
- Können die oben genannten Maßnahmen nicht umgesetzt oder bewertet werden, sollte die Druckbeaufschlagung der pneumatischen Anlage nur mit aktivierten Schutzmaßnahmen, z.B. geschlossene Schutztüren, erfolgen.
- Zu berücksichtigen: Treten im ausgeschalteten Zustand des Ventils hohe Schwing-/Schockwerte auf, kann sich die Hauptstufe verschieben. Dadurch kann es beim Einschalten mit einem Druckaufbauventil zu einem kurzen Druckaufbau an 2 kommen.

## 13 Überdeckung

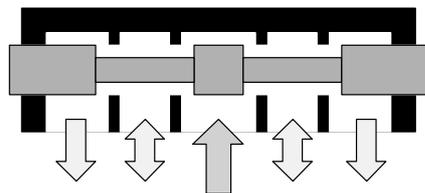
### 13.1 Kolbenschieberventile

Eine Überdeckung bezeichnet bei Kolbenschieberventilen den Abstand in Längsrichtung zwischen den feststehenden und beweglichen Steuerkanten.

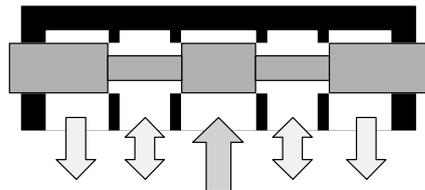
- Bei einer **positiven Überdeckung** werden die Volumenstrompfade der Schaltstellungen des Ventils während des Schaltvorgangs gesperrt. Ein Volumenstrompfad wird gesperrt bevor der andere Volumenstrompfad geöffnet wird.



- Bei einer **negativen Überdeckung** bleibt der Volumenstrompfad der einen Schaltstellung zumindest teilweise geöffnet bis der Volumenstrompfad der anderen Schaltstellung zumindest teilweise geöffnet wird.



- Bei einer **unbestimmten Überdeckung** ist durch Herstellungstoleranzen die Art der Überdeckung nicht eindeutig bestimmbar.



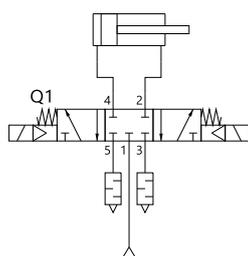
Bei dem Einsatz von Kolbenschieberventilen in der funktionalen Sicherheit muss auch das Fehlverhalten der Ventile betrachtet werden. In der ISO 13849-2, Tabelle B.3, wird folgender Fehler aufgeführt:

Nicht vollständiges Schalten (Hängenbleiben in einer beliebigen Zwischenstellung)

Die Überdeckung hat bei diesem Fehler wesentlichen Einfluss auf die Fehlerauswirkungen und deren Anwendungsmöglichkeit:

- Fehlerauswirkung und Anwendung von Ventilen mit positiver Überdeckung  
Bleibt ein Ventil mit positiver Überdeckung in der geschlossenen Zwischenstellung hängen, sind die Volumenstrompfade durch das Ventil geschlossen. Das hat zur Folge:
  - Druckluft kann in der nachfolgenden pneumatischen Anlage bzw. einem nachfolgenden pneumatischen Antrieb eingeschlossen werden;
  - Die Zufuhr von Druckluft wird unterbrochen;
  - Eine Entlüftung der nachfolgenden pneumatischen Anlage bzw. des pneumatischen Antriebs ist nicht möglich;

Anwendung: Dies ist ein wünschenswertes Merkmal bei Ventilen, die Druckluft in einem nachfolgenden pneumatischen Antrieb einschließen sollen.

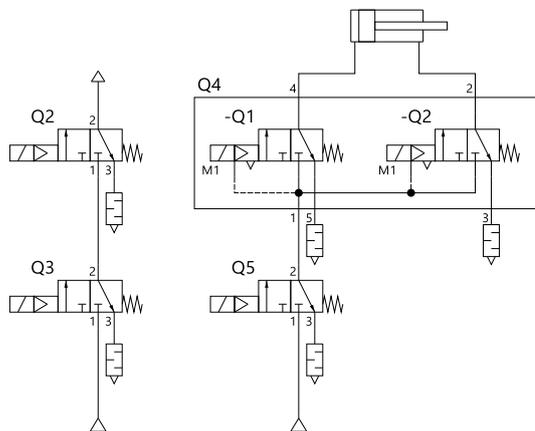


Beispiel

Es soll die Sicherheits-Teilfunktion „sicheres Anhalten und Absperren (SSC)“ umgesetzt werden. Dann ist zu empfehlen ein Ventil mit dem Merkmal „positive Überdeckung“ zu verwenden. Damit kann dann auch das bewährte Sicherheitsprinzip „ausreichend große positive Überdeckung in Schieberventilen“ nach ISO 13849-2, Tabelle B.2, umgesetzt werden.

- Fehlerauswirkung und Anwendung von Ventilen mit negativer Überdeckung  
Bleibt ein Ventil mit negativer Überdeckung in einer Zwischenstellung hängen, bleibt mindestens ein Volumenstrompfad geöffnet. Das hat zur Folge:
  - Druckluft wird über den Anschluss 3 (bzw. 5) entlüftet werden;
  - Die Zufuhr von Druckluft wird nicht unterbrochen
  - Wird der Anschluss 1 des Arbeitsventils (in den Beispielen Q2 und Q4) entlüftet, ist die Entlüftung durch die Anschlüsse 3 (bzw. 5) oder 1 gewährleistet

Anwendung: Bei Ventilen, die beim entlüfteten Anschluss 1 eine Entlüftung der nachfolgenden pneumatischen Anlage bzw. Antriebs gewährleisten sollen, ist dies eine einzuhaltende Anforderung.



Beispiel 1:

Soll durch eine Reihenschaltung von zwei 3/2-Wegeventilen eine 2-kanalige Entlüftung gewährleistet werden, wenn das Arbeitsventil Q2 eine negative Überdeckung aufweist. Werden beide Ventile Q2 und Q3 nicht mehr angesteuert, schalten diese in Ruhestellung. In dem Fehlerfall „nicht vollständiges Schalten“ kann das Entlüften über den Anschluss 3 oder über den Anschluss 1 des Ventils Q2 gewährleistet werden, sofern dieses eine negative Überdeckung aufweist.

- Fehlerauswirkung und Anwendung von Ventilen mit Nullüberdeckung oder unbestimmter Überdeckung  
Bleibt ein Ventil mit Nullüberdeckung oder unbestimmter Überdeckung in einer Zwischenstellung hängen, ist nicht vorbestimmt, ob die Volumenstrompfade geöffnet oder geschlossen sind. Das hat zur Folge:
  - Es ist nicht bekannt, ob Druckluft in der nachfolgenden pneumatischen Anlage eingeschlossen oder entlüftet wird;
  - Es ist nicht bekannt, ob die Druckluftzufuhr unterbrochen wird;

In Anwendungen, bei denen Druck, Geschwindigkeit, Volumenstrom, usw. geregelt werden soll, ist dies ein gewünschtes Merkmal des Arbeitsventils. Es wird empfohlen Sicherheits-Teilfunktionen durch externe Ventile umzusetzen.

## 13.2 Sitzventile

### Negative Überdeckung bei Sitzventilen

Die meisten Sitzventile haben auf Grund ihrer Konstruktion eine negative Überdeckung. Allerdings gibt es auch Sitzventile mit einer Null-Überdeckung oder unbestimmten Überdeckung. Deswegen muss bei Sitzventilen immer überprüft werden, ob das Merkmal „negative Überdeckung“ angegeben ist.

## 14 Schwing- und Schockfestigkeit

Ventile sind während ihrer Gebrauchsdauer Vibrationen und Stöße ausgesetzt. Es muss darauf geachtet werden, dass während Lagerung, Transport, Montage, Einsatz und Instandhaltung diese Werte nicht überschritten werden.

Die Schwing- und Schockfestigkeit wird bei Festo auf Grundlage der folgenden Normen geprüft:

- DIN EN 60068-2-6:2008-10 - Umgebungseinflüsse - Teil 2-6: Prüfverfahren - Prüfung Fc: Schwingen (sinusförmig) (IEC 60068-2-6:2007); Deutsche Fassung EN 60068-2-6:2008
- DIN EN 60068-2-27:2010-02 - Umgebungseinflüsse - Teil 2-27: Prüfverfahren - Prüfung Ea und Leitfa-den: Schocken (IEC 60068-2-27:2008); Deutsche Fassung EN 60068-2-27:2009

### 14.1 Schwingfestigkeit

Die Angaben zur Schwingfestigkeit teilen sich in zwei Bereiche auf.

Im niedrigen Frequenzbereich ist der Schwingweg  $s$  konstant, so dass mit steigender Frequenz die Beschleunigung  $a$  größer wird. Beim Schärfegrad 1 sind bei Festo die Angaben  $f=10..58$  Hz mit einem Schwingweg von 3,5 mm üblich.

Im mittleren Frequenzbereich ist die Beschleunigung  $a$  konstant, so dass mit steigender Frequenz der Schwingweg  $s$  kleiner wird. Beim Schärfegrad 1 sind die Angaben 58...150 Hz mit einer Beschleunigung von  $20 \text{ m/s}^2$  üblich.

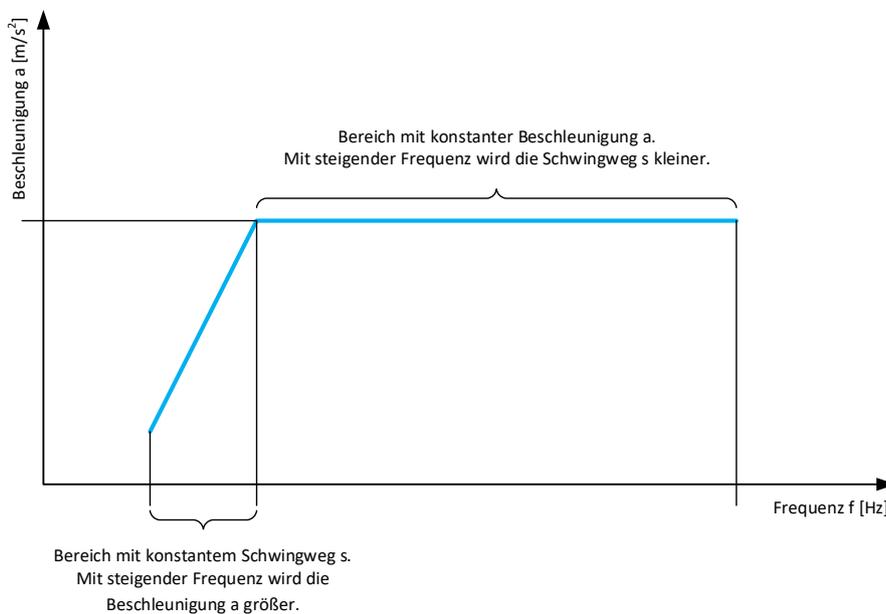


Abbildung 20 Frequenzbereiche und Beschleunigung zur Prüfung der Schwingfestigkeit

## 14.2 Schockfestigkeit

Die Angaben zur Schockfestigkeit definieren einen sinusförmigen Stöße mit einer bestimmten Spitzenbeschleunigung  $a$  bei einer bestimmten Schockdauer  $t$ . Bei der Prüfung wird ein Prüfling fünfmal mit diesem Stoß im Abstand von 0,5 bis 1 s belastet.

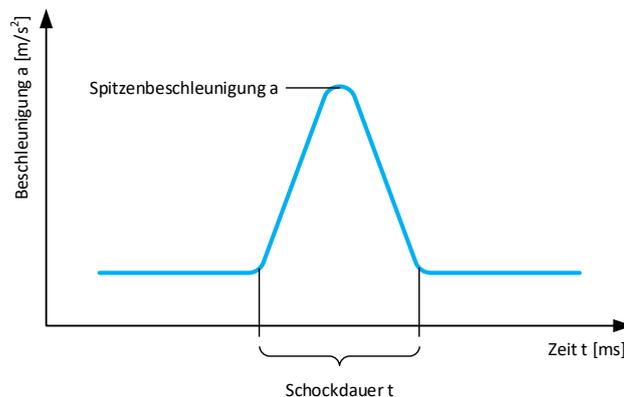


Abbildung 21 Sinusförmige Stöße zur Prüfung der Schockfestigkeit

## 14.3 Schärfegrade

Bei Festo sind folgende Schärfegrade für die Schwing- und Stoßfestigkeit üblich. Diese Angaben sind durch Versuche geprüft.

Prüfung	Beschreibung	Schwingungen			Schocken	
		f [Hz]	s [mm]	a [m/s <sup>2</sup> ]	a [m/s <sup>2</sup> ]	t [ms]
Transportprüfung		2...9 10...150	3,5 -	- 10		
Einsatzprüfung Schärfegrad 1	Geräte, die in Maschinen mit geringeren Schwingungen (z.B. in Laboren, frei aufgestellte Schaltschränke) eingebaut werden.	10...58 58...150	0,15 -	- 20	150	11
Einsatzprüfung Schärfegrad 2	Geräte, die direkt an Maschinen mit Schwingungen (z.B. Montageautomaten, Handlings- und Transportanlagen) angebaut werden (z.B. Ventilinseln)	10...60 60...150	0,35 -	- 50	300	11
Einsatzprüfung Schärfegrad 3	Geräte, die direkt in Maschinen mit großen Schwingungen (z.B. Handlingsanlagen für Pressen) angebaut werden (z.B. Sensoren und Sensorhalter)	10...61 61...2000	1 -	- 150	100	11



### Achtung

Werden die Angabe der Schwing- und Schockfestigkeit bei Wegeventilen überschritten, kann es zu Fehlern und Beschädigungen kommen.

Werden die Kennwerte überschritten kann es zu einer Bewegung des Kolbenschiebers der Hauptstufe des Ventils oder des Ankers im Vorsteuerventil kommen. Es sind allerdings auch Beschädigungen möglich, z.B. können sich bei elektrischen und elektronischen Bauteilen im Ventil diese lösen und zu einem Ausfall führen.

# 15 Prüfpulse

## 15.1 Max. negativer Prüfpuls bei 1 Signal

Die sicheren elektronischen Ausgänge von Sicherheitsschaltgeräten verwenden negative Prüfpulse (Low-Testimpulse, Abschalttest, Dunkeltest), um seine Abschaltfunktion zu prüfen. Diese Prüfpulse dienen auch für die Erkennung von Kurz- und Querschlässen.

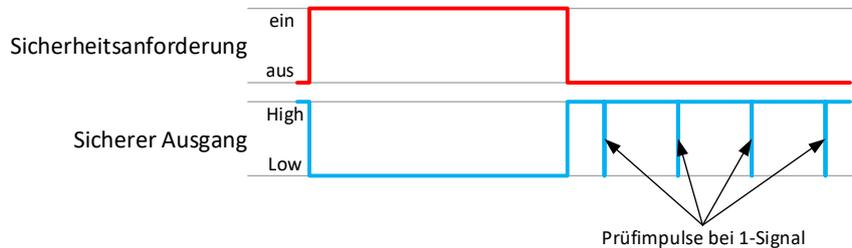


Abbildung 22 Negativer Prüfpuls bei 1 Signal

Sicherheitsschaltgeräte verwenden bei eingeschalteten sicheren Ausgängen Prüfpulse (sofern nicht deaktiviert). Die Zeit bei dem Merkmal „*max. negativer Prüfpuls bei 1 Signal\**“ gibt **bei Ventilen** an, wie lange diese Prüfpulse sein dürfen, ohne dass es zum Schalten des Ventils bzw. Vorsteuerventils kommt.

Beispiel:

Max. negativer Prüfpuls bei 1 Signal	900 µs
--------------------------------------	--------

Sind die negativen Prüfpulse länger wie 900 µs kann es zum Schalten des Vorsteuerventils bzw. Ventils kommen.



### Achtung

Sollte es bei den Prüfpulsen zum Schalten des Ventils kommen, ist dies wie ein normales Schalten zu bewerten und die Lebensdauer des Ventils wird erheblich reduziert. Es ist mit dem vorzeitigen Ausfall der ausgeführten Sicherheits-Teilfunktion zu rechnen.

Der maximal zulässige negative Prüfpuls ist im Datenblatt Produktzuverlässigkeit angegeben.

## 15.2 Max. positiver Prüfpuls bei 0 Signal

Die sicheren elektronischen Ausgänge von Sicherheitsschaltgeräten verwenden positive Prüfpulse (High-Testimpulse, Helltest), um seine Einschaltfunktion zu prüfen. Diese Prüfpulse dienen auch für die Erkennung von Kurz- und Querschlässen.

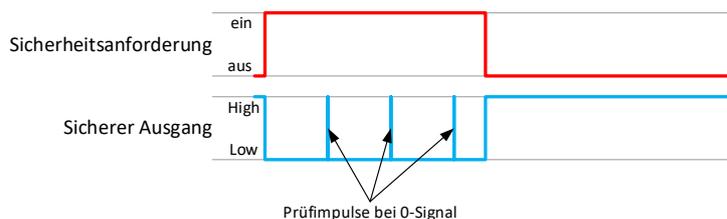


Abbildung 23 Positiver Prüfpuls bei 0-Signal

Es gibt einige Sicherheitsschaltgeräte, die bei ausgeschalteten sicheren Ausgängen Prüfpulse verwenden (sofern nicht deaktiviert). Die Zeit bei dem Merkmal „*max. positiver Prüfpuls bei 0 Signal\**“ gibt an, wie lange diese Prüfpulse sein dürfen, ohne dass es zum Schalten des Vorsteuerventils bzw. Ventils kommt.

Beispiel:

Max. positiver Prüfpuls bei 0 Signal	900 µs
--------------------------------------	--------

Sind die positiver Prüfpulse länger wie 900 µs kann es zum Schalten des Vorsteuerventils bzw. Ventils kommen.



### Achtung

Sollte es bei den Prüfpulsen zum Schalten des Ventils kommen, ist dies wie ein normales Schalten zu bewerten und die Lebensdauer des Ventils wird erheblich reduziert. Es ist mit einem vorzeitigen Ausfall des Ventils zu rechnen.

Das Merkmal „*max. positiver Prüfpuls bei 0 Signal\**“ ist im Datenblatt Produktzuverlässigkeit angegeben.

### 15.3 Alarmmeldungen von Sicherheitssteuerungen bei Ventilinseln

Bei der Verwendung von Ventilinseln kann es durch die Kurz- und Querschlusserkennung der sicheren Ausgangsmodule von Sicherheitssteuerungen (hier am Beispiel der ET200-SP) zu verschiedenen Alarmmeldungen kommen.

1. Diagnosealarm „Ausgang mit L+ kurzgeschlossen“ (Fehlercode 261D)
2. Diagnosealarm „Ausgang mit M kurzgeschlossen“ (Fehlercode 262D)

Diese Alarmmeldungen können dazu führen, dass ein Betrieb nicht möglich ist.

#### Hinweis

- Folgende Angaben beruhen auf dem Gerätehandbuch des ET 200SP Digitalausgabemoduls F-DQ 4x24VDC/2A PM HF [1].

#### 15.3.1 Fehlerbeschreibung

Innerhalb einer nicht näher definierbaren Zeit nach dem Einschalten einer Ventilinsel wird durch den Dunkeltest ein Kurzschluss (Querschluss) erkannt.

Im Gerätehandbuch des ET 200SP Digitalausgabemoduls F-DQ 4x24VDC/2A PM HF, werden zu den Diagnosealarmen „Ausgang mit L+/M kurzgeschlossen“ folgende Informationen angegeben (Gerätehandbuch ET-200SP, Tabelle 6-6, Seite 39)

Tabelle 1 Diagnosemeldungen ET-200SP

Diagnosemeldung	Fehlercode	Bedeutung	Abhilfe
Ausgang mit L+ kurzgeschlossen	261D	Kurzschluss nach L+ kann bedeuten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Ausgangsleitung ist mit L+ kurzgeschlossen</li> <li>• Die kapazitive Last ist zu hoch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korrigieren Sie die Prozessverdrahtung.</li> <li>• Erhöhen Sie die Testzeiten (Dunkel-, Hell-, Einschalttest).</li> </ul>
Ausgang mit M kurzgeschlossen	262D	Kurzschluss nach M kann bedeuten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Ausgangsleitung ist mit M kurzgeschlossen.</li> <li>• Das Ausgangssignal ist nach Erde kurzgeschlossen.</li> <li>• Es liegt ein Kurzschluss zwischen zwei Ausgangskanälen vor.</li> <li>• Die kapazitive Last ist zu hoch.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korrigieren Sie die Prozessverdrahtung.</li> <li>• Erhöhen Sie die Testzeiten (Dunkel-, Hell-, Einschalttest).</li> </ul>

#### 15.3.2 Erklärung

Im Abschnitt „B.1 Schalten von kapazitiven Lasten“ des Gerätehandbuchs ist angegeben, dass Lasten mit Kapazitäten zum Erkennen eines Kurzschlusses führen können. Der Grund ist, dass während der parametrisierten Rücklesezzeit die Kapazitäten nicht hinreichend entladen werden.

Die in den Ventilinseln vorhandenen Kapazitäten sind Maßnahmen für die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und müssen auf Grund der harmonisierten Normen für die EMV-Richtlinie 2014/30/EU verwendet werden und lassen sich deswegen nicht verkleinern.

Wird während des Dunkeltests kein Ventil angesteuert, wird die vorhandene Kapazität nicht schnell genug entladen. Zusätzlich können während des Dunkeltests eine unterschiedliche Anzahl der Ventile auf der Ventilinsel geschaltet sein. Dies ergibt für den sicheren Ausgang eine dynamische Last, die ebenfalls Auswirkungen auf den Dunkeltest haben kann.

#### 15.3.3 Lösung – 1. Stufe: Rücklesezzeit Dunkeltest erhöhen

Nach der Empfehlung des Abschnitts „Rücklesezzeit Dunkeltest einstellen“ (Seite 21) soll ein höherer Wert für die maximale Rücklesezzeit Dunkeltest eingestellt werden. Wird dieser Wert zu groß gewählt, schalten die Ventile der angeschlossenen Ventilinsel aus und wieder ein. Dieses Aus- und Einschalten ist in der Regel als „klappern“ hörbar. Diese Schaltvorgänge führen zu Verschleiß und müssen bei der Berechnung des MTTF<sub>D</sub>-Werts berücksichtigt werden und führen damit zu einer massiven Einschränkung des T<sub>10D</sub>-Werts und damit auch der Gebrauchsdauer der Ventile.

Als erste Stufe der möglichen Lösungen, sollte versucht werden, die „Rücklesezzeit Dunkeltest“ zu erhöhen. Kann die maximale Rücklesezzeit für den Dunkeltest nicht erhöht werden, kann es immer wieder zu einem sporadischen Fehler „Ausgang mit L+ kurzgeschlossen“ kommen.

Lässt sich der Diagnosealarm mit der Erhöhung der „Rücklezeit Dunkeltest“ nicht beseitigen, ist eine Änderung der Verdrahtung (siehe Lösung – 2. Stufe) bzw. der verwendeten Module erforderlich (siehe Lösung – 4. Stufe).

Achten sie unbedingt auf die max. zulässige Dunkelzeit der verbauten Ventile. Diese Information finden Sie im Datenblatt Produktzuverlässigkeit der Ventile und wird dort „max. negativer Prüfimpuls bei 1 Signal“ genannt.

#### **15.3.4 Lösung – 2. Stufe: Jede Ventilinsel getrennt über einen sicheren Ausgang abschalten**

Kommt es direkt beim Zuschalten des sicheren Ausgangs zu einer Fehlermeldung, ist möglicherweise der Einschaltstrom zu hoch. Dies kann auftreten, wenn Sie mehrere Ventilinseln parallel mit einem sicheren Ausgang abschalten. Dann sollte versucht werden, jede Ventilinsel separat über einen sicheren Ausgang abzuschalten. Dies kann eine Lösung sein, wenn Sie die „Rücklezeit Dunkeltest“ anschließend erhöhen können. Ob diese Änderung die Lösung ist, können wir jedoch durch die oben beschriebene dynamische Änderung der Last nicht garantieren.

Achten sie unbedingt auf die max. zulässige Dunkelzeit der verbauten Ventile. Diese Information finden Sie im Datenblatt Produktzuverlässigkeit der Ventile und wird dort „max. negativer Prüfimpuls bei 1 Signal“ genannt.

#### **15.3.5 Lösung – 3. Stufe: Laststrom mit Widerstand erhöhen**

Im Anhang „B.1 Schalten von kapazitiven Lasten“, Abschnitt „Abhilfe beim Erkennen eines Kurzschlusses“ ist folgendes Vorgehen beschrieben:

1. Bestimmen sie den Laststrom und die Kapazität der Last.
2. Bestimmen Sie den Arbeitspunkt im obigen Bild (Anmerkung: Bild enthält Kennlinien für das Schalten von kapazitiven Lasten in Abhängigkeit von der parametrisierten Dunkel- und Helltestzeit.)
3. Wenn der Arbeitspunkt oberhalb der Kurve liegt, dann müssen Sie durch Parallelschalten eines Widerstandes den Laststrom so weit erhöhen, dass der neue Arbeitspunkt unterhalb der Kurve liegt.

Dies kann eine mögliche Lösung sein, wenn immer nur einzelne Ventile geschaltet und kurze Anschlussleitungen verwendet werden. In der Regel ist allerdings nicht vorhersehbar, wie viele Ventile während des Dunkeltests eingeschaltet sind. Deswegen dürfte für die meisten Anwendungen diese Lösung nicht verwendbar sein.

Achten Sie unbedingt auf die max. zulässige Dunkelzeit der verbauten Ventile. Diese Information finden Sie im Datenblatt Produktzuverlässigkeit der Ventile und wird dort „max. negativer Prüfimpuls bei 1 Signal“ genannt.

#### **15.3.6 Lösung – 4. Stufe: Hardware ändern**

Wenn Sie den Diagnosealarm mit den zwei vorherigen Lösungsstufen nicht beseitigen können, müssen Sie die Hardware ändern. Dazu haben Sie folgende Möglichkeiten:

1. Verwendung des dezentralen Peripheriesystems Siemens ET 200S.
2. Verwendung des fehlersicheren Powermodul Siemens F-PM-E 24 V DC / 8 A PPM (Art.-Nr. 6ES7 136-6PA00-0BC0) anstelle des fehlersicheren digitalen Ausgangsmoduls Siemens F-DQ 4x24 V DC / 2 A PM High Feature (Art.-Nr. 6ES7 136-6DB00-0CA0).
3. **Verwendung einer Ventilinsel mit direkter Integration von PROFIsafe, d.h. mit CPX und PROFIsafe-Abschaltmodul CPX-FVDA-P2 (Teile-Nr. 1971599) von Festo.**

Wir sind uns nur bei der Verwendung einer Ventilinsel mit Profisafe-Abschaltmodul CPX-FVDA-P2 sicher, dass die erforderliche Kurz- und Querschlusserkennung einwandfrei in der Anwendung funktioniert.

## 16 Haltestromabsenkung bei Ventilen

Viele Ventile von Festo weisen eine Haltestromabsenkung auf. Diese Haltestromabsenkung kann bei bestimmten sicheren Ausgängen dazu führen, dass ein Ventil nicht mehr ausgeschaltet werden kann.

### 16.1 Funktionsweise Haltestromabsenkung

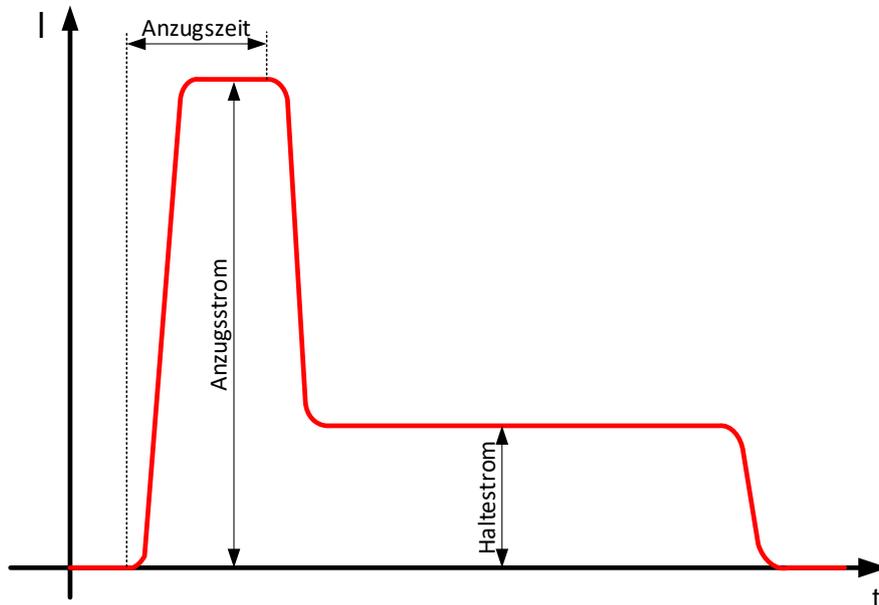


Abbildung 24 Funktionsweise Haltestromabsenkung

Für die Ansteuerung eines Ventilmagnets wird bei der Haltestromabsenkung die Spule zuerst mit dem Nennstrom beaufschlagt. Hat sich in der Spule ein hinreichend starkes Magnetfeld aufgebaut, wird der Stößel aus der Ruhestellung in die Schaltstellung bewegt. Diese Bewegung des Stößels findet während der Anzugszeit des Ventilmagnets statt.

Zum Halten des Stößels in der Schaltstellung wird nicht mehr so viel Energie benötigt, so dass der Strom durch die Spule auf den Haltestrom abgesenkt werden kann.

### 16.2 Verhalten bei bestimmten sicheren Ausgängen

Es gibt sichere Ausgänge, die nicht nur im eingeschalteten Zustand Strom durch die Last fließen lassen, sondern auch im ausgeschalteten Zustand. Im ausgeschalteten Zustand wird ein kleiner Strom (bis zu 10 mA) durch die Last am sicheren Ausgang getrieben. Dies kann für eine Erkennung von Kurz-, Querschlässen und Unterbrechungen verwendet werden.

Das Problem bei einigen Ventilen ist, dass der Haltestrom kleiner ist wie der Strom, den diese Art von sicheren Ausgängen durch die Last treiben. Das hat zur Folge, dass das Ventil nicht mehr ausgeschaltet werden kann.

### 16.3 Lösungsmöglichkeiten

Wir empfehlen die Verwendung von Ausgängen, die im ausgeschalteten Zustand keinen Strom durch die Last treiben. Ist eine Änderung des sicheren Ausgangs nicht möglich, müssen Ventile ohne Haltestromabsenkung verwendet werden.

## 17 Verwendete Literatur

### 17.1 Zitierte Unterlagen von Festo

- [1] Allgemeine Einsatzbedingungen, Stand 2022/11
- [2] FN 942012:2018-07 - Funktions- und Lebensdauerprüfung - Ventile – Langzeit
- [3] CPX-Terminal Ausgangsmodul CPX-FVDA-P2, Beschreibung (8022606 de 1209NH [8022612])

### 17.2 Normen

- [4] DIN ISO 12238:2005-12 - Fluidtechnik - Pneumatikwegeventile - Schaltzeitmessung (ISO 12238:2001)
- [5] DIN EN ISO 4414:2011-04 - Fluidtechnik - Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Pneumatikanlagen und deren Bauteile (ISO 4414:2010); Deutsche Fassung EN ISO 4414:2010
- [6] ISO 5598:2020-01 - Fluidtechnik – Vokabular
- [7] DIN EN ISO 12100:2011-03 Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12100:2010
- [8] DIN EN ISO 14118:2018-07 - Sicherheit von Maschinen - Vermeidung von unerwartetem Anlauf (ISO 14118:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14118:2018
- [9] VDMA 24584:2022-06 - Sicherheitsfunktionen geregelter und nicht geregelter (fluid-) mechanischer Systeme.
- [10] DIN EN ISO 13849-1:2016-06 - Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze (ISO 13849-1:2015); Deutsche Fassung EN ISO 13849-1:2015
- [11] DIN EN ISO 13849-2:2013-02 - Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 2: Validierung (ISO 13849-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 13849-2:2012
- [12] ISO 19973-1:2015-08 - Pneumatik - Bewertung der Zuverlässigkeit von Bauteilen durch Prüfung - Teil 1: Allgemeine Verfahren
- [13] DIN EN 61508-4:2011-02 - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 4: Begriffe und Abkürzungen (IEC 61508-4:2010); Deutsche Fassung EN 61508-4:2010 **Fehler! Unbekannter Name für Dokument-Eigenschaft.**
- [14] Fachbereich AKTUELL FBHM-022 Manipulation von Schutzeinrichtungen Verhindern, Erschweren, Erkennen, Ausgabe 2021.12, abgerufen am 13.09.2017 unter <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/publikationen-nach-fachbereich/holz-und-metall/maschinen-robotik-und-fertigungsautomation/4435/fbhm-022-manipulation-von-schutzeinrichtungen-verhindern-erschweren-erkennen>
- [15] Gerätehandbuch des ET 200SP Digitalausgabemoduls F-DQ 4x24VDC/2A PM HF (6ES7136-6DB00-0CA0), Ausgabe 07/2013, A5E03858036-01

### 17.3 Für die rechtlichen Hinweise zusätzlich

- [16] Maschinenrichtlinie: Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)
- [17] DIN EN 61508:2011-02 - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme (IEC 61508:2010); Deutsche Fassung EN 61508:2010
- [18] DIN EN 61511-1:2019-02 - Funktionale Sicherheit - PLT-Sicherheitseinrichtungen für die Prozessindustrie (IEC 61511:2016); Deutsche Fassung EN 61511-1:2017
- [19] DIN EN IEC 62061:2023-02 - Sicherheit von Maschinen - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener Steuerungssysteme (IEC 62061:2021); Deutsche Fassung EN IEC 62061:2021

## 18 Informationen über das Dokument

### 18.1 Allgemeine Angaben

<b>Projekt</b>	100396
	20230322-001
	Schaltung – Sicherheits-Teilfunktionen Pneumatik Merkmale von elektrisch betätigten Wegeventilen

### 18.2 Revisionshistorie

Vers.	Datum	Bearb.	Kapitel	Beschreibung der Änderung/Auswirkung
1.10	17.11.2023	JKHL	Alle	Erstellung des Dokuments

### 18.3 Genehmigung/Freigabe des Dokuments

Rolle	Unterschrift
Freigabe	

### 18.4 Gültigkeitsdauer

Das Dokument ist bis 17.11.2028 gültig oder bis eines der verwendeten Dokumente aus dem Abschnitt Literatur geändert wird.



### **Haben Sie Fragen zu dieser Application Note?**

Sie können uns gerne Ihre Fragen über das Kontaktformular zukommen lassen.



### **Suchen Sie Safety Application Notes mit Lösungsbeispielen für die wichtigsten Sicherheits-Teilfunktionen in der Pneumatik?**

Im Support Portal erweitern wir regelmäßig unsere Sammlung mit Dokumenten.



### **Wollen Sie sich einen Gesamtüberblick zur Maschinen- und Anlagensicherheit verschaffen?**

In unserem Leitfaden haben wir Informationen zur Maschinensicherheit und funktionalen Sicherheit zusammengestellt.

Leitfaden herunterladen.



### **Benötigen Sie weitere Unterstützung?**

Wir bieten auch Dienstleistungen für Maschinensicherheit an

- Risikobeurteilung
- Sicherheitskonzept
- Schaltungsentwicklung
- Verifizierung / Validierung

Angebot können Sie gerne über das Kontaktformular einholen.



### **Benötigen Sie Schulungen oder eine Weiterbildung?**

Bei Festo Didactic finden Sie Schulungen zur Maschinensicherheit, zur Funktionalen Sicherheit und zum Thema CE-Kennzeichnung.

Angebot für Schulung oder Workshop anfragen.

