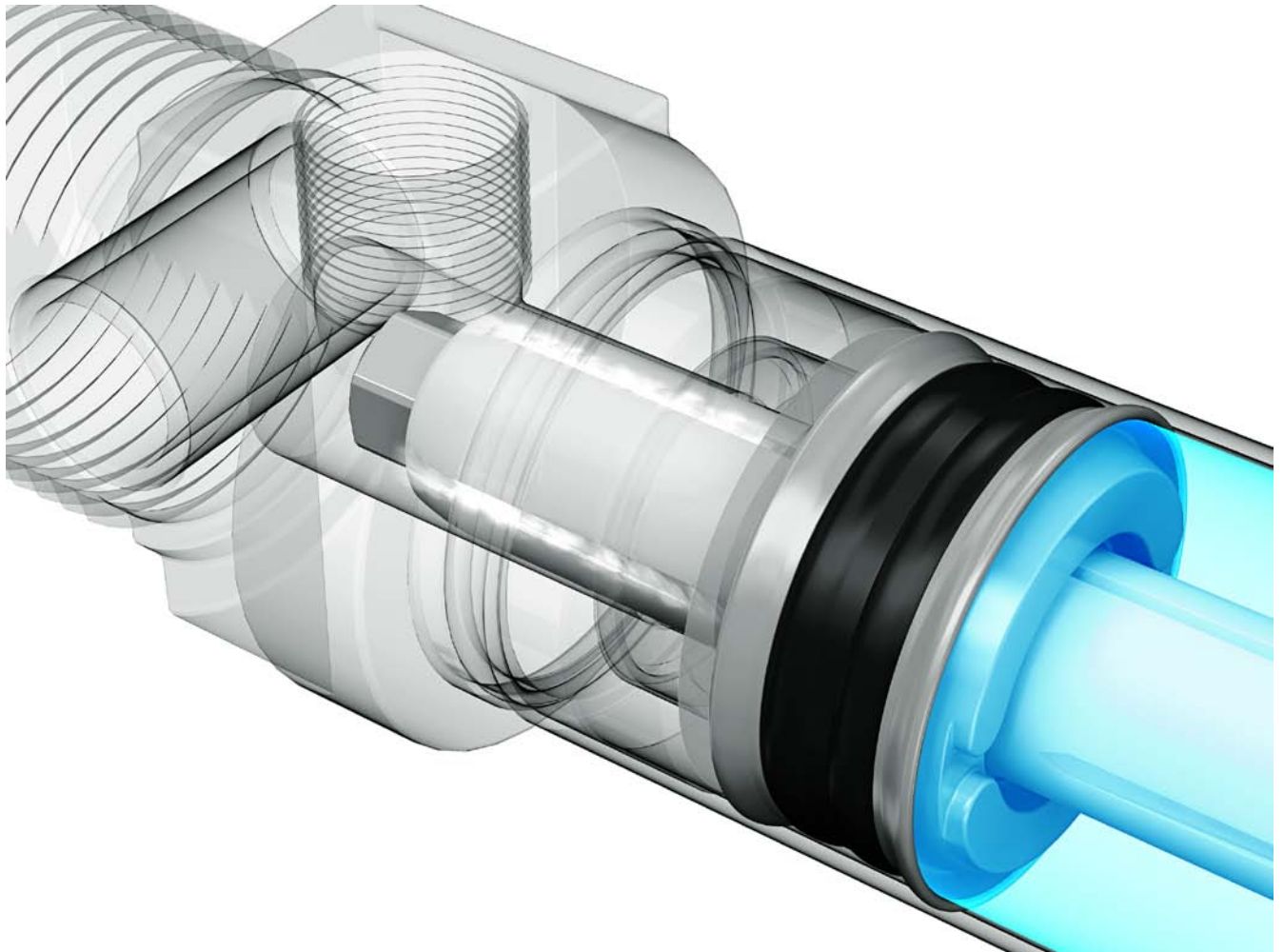


## White Paper

# Mehr Produktivität durch optimal gedämpfte Pneumatikzylinder

**FESTO**



**Mit der richtigen Endlagendämpfung kann man die Wirtschaftlichkeit der gesamten pneumatischen Anlage deutlich steigern. Optimal eingesetzt, lassen sich Taktzeiten erhöhen und ggf. sogar Baugrößen verringern. Aus einem einfachen Grund: Eine gute Endlagendämpfung reduziert Stoßkräfte z.B. bei wechselnden Lasten und starken dynamischen Beanspruchungen – Faktoren, die Verfahrzeit und Geschwindigkeit pneumatischer Zylinderantriebe entscheidend definieren.**

**Dieses White Paper enthält Informationen über:**

- **Nutzen von Endlagendämpfungssystemen** in pneumatischen Antrieben
- **Stand der Technik: Endlagendämpfungstechnologien** für Pneumatikzylinder
- **Verschiedene Dämpfungslösungen im Überblick**
- **Vor- und Nachteile der Dämpfungstechnologien** in einer Tabellenübersicht

## Nutzen von Endlagendämpfungssystemen

Eine wesentliche Ziel in der heutigen industriellen Fertigung ist eine gesteigerte Produktivität bei sinkenden Kosten. Deshalb werden schnellstmögliche Zykluszeiten in der Produktion angestrebt. Für pneumatische Antriebe bedeutet das hohe Verfahrensgeschwindigkeiten und große Energien in der Endlage. Das erfordert Endlagendämpfungen, mit denen sich der Aufprall des Kolbens auf ein Minimum reduzieren lässt, um Verschleiß und Erschütterungen zu minimieren. Letzteres spielt eine entscheidende Rolle, um Ausschuss aufgrund von Vibrationen und Schwingungen der Anlage so gering wie möglich zu halten.

## Stand der Technik

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, pneumatische Antriebe zu dämpfen. Sie unterscheiden sich stark in ihrer Funktionsweise und Leistungsfähigkeit. Folgende wichtige Dämpfungsarten werden unterschieden:

- Mechanische und elastische Dämpfungen.  
Funktionsprinzip: Schraubenfedern oder elastische Puffermaterialien dämpfen den Endlagenaufprall.
- Pneumatische und servopneumatische Dämpfungen.  
Funktionsprinzip: Bremswirkung durch Luftkomprimierung bzw. durch gesteuerte Gegenluft
- Hydraulische Dämpfungssysteme.  
Funktionsprinzip: Bremswirkung wird mithilfe von viskosen Flüssigkeiten wie z.B. Öl erzielt.

Aufgrund ihres Preises und ihrer Dämpfungsleistung haben sich in der Branche der Automatisierungstechnik und im Anlagen- und Maschinenbau insbesondere die Elastomerpuffer und die pneumatischen Dämpfungsarten etabliert. Sie finden in der Praxis die häufigste Verwendung. Für eine gute Dämpfungsleistung ist es wichtig, die für die jeweilige Anwendung am besten geeignete Dämpfungstechnologie zu

wählen. Im Rahmen dieses White Papers liegt der Fokus auf den leistungsfähigsten und preiswertesten Endlagendämpfungstechnologien für pneumatische Zylinderantriebe:

- Elastische Puffer-Dämpfung P
- Einstellbare pneumatische Endlagendämpfung PPV
- Selbsteinstellende pneumatische Endlagendämpfung PPS
- Technologiekombination aus einstellbarer und selbsteinstellender pneumatischer Endlagendämpfung PP1
- Selbsteinstellende pneumatische Endlagendämpfung PPP als Sonderanfertigung
- Servopneumatische Endlagendämpfung Soft Stop

## Elastische Puffer-Dämpfung

Unter elastischen Puffer-Dämpfungen (P-Dämpfungen) versteht man elastische Dämpfungsringe, die als Bestandteil des Zylinderkolbens oder in der Endlage verbaut werden. Sie bestehen aus elastomeren Materialien. P-Dämpfungen reduzieren die Stoßkräfte und die Lautstärke des Kolbenaufpralls in der Zylinderendlage. Die aufnehmbare kinetische Energie ist jedoch nur gering. Deshalb eignet sich die P-Dämpfung insbesondere bei langsamen Arbeitsgeschwindigkeiten, geringen Belastungen oder bei Anwendungen mit kleinen Arbeitshüben.



Innenansicht eines Zylinderantriebs mit P-Dämpfung aus Elastomer

Aufgrund der verschiedenen Härtegrade der Elastomerwerkstoffe gibt es zudem bei den P-Dämpfungen je nach Antriebstyp oder Hersteller unterschiedliche Dämpfungsleistungen. Elastische P-Dämpfungen sind eine einfache, aber zweckmäßige Standardlösung für die Endlagendämpfung in pneumatischen Zylinderantrieben.

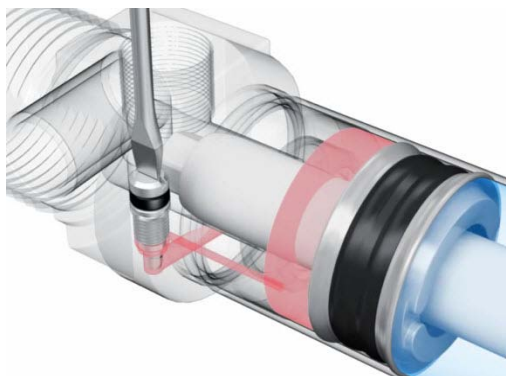


Beispiel für eine elastische Puffer-Dämpfung: Der Kurzhubzylinder ADN von Festo mit P-Dämpfung aus Elastomer

Mehr: [www.festo.com/catalogue/adn](http://www.festo.com/catalogue/adn)

### Einstellbare Luftdämpfung PPV

Bei höherer Dynamik und größeren Massen wird eine zusätzliche Dämpfung benötigt, um Überlastungen der Antriebe bzw. der Anlage zu verhindern. Maschinen- und Anlagenbauer nutzen deshalb oft das einstellbare Luftdämpfungssystem PPV (Pneumatische Pufferung Verstellbar).



Innenansicht eines Zylinderantriebes mit PPV-Dämpfung. Einstellschraube und Luftkompression sind rot markiert.

Die Funktionsweise: Ein Mechanismus schließt bei jedem Arbeitshub ein bestimmtes Luftvolumen in der Endlage ein. Diese Luft wird komprimiert und erzeugt dadurch eine Bremswirkung. Über eine Einstellschraube kann das Luftvolumen gedrosselt entlüftet und damit die Bremswirkung manuell eingestellt werden. Folgende Faktoren wirken sich auf das Dämpfungsverhalten aus und müssen bei der manuellen Justierung von PPV-Endlagendämpfungen berücksichtigt werden: Die bewegte Masse, die Kolbengeschwindigkeit, die Beschleunigung des Kolbens, der Arbeitsdruck sowie die Reibung im Zylinder.

Werden einstellbare Endlagendämpfungen durch erfahrenes Personal auf die jeweilige Applikation einjustiert, kann auch bei Anwendungen mit sehr hoher Energieaufnahme, also Kombinationen von hohen Massen und Geschwindigkeiten, eine optimale Dämpfung erzielt werden. Bei schlechter oder gar keiner Justierung, ist die Dämpfungsqualität zwar immernoch besser als bei Verwendung einer P-Dämpfung, sie bleibt jedoch weit unter dem möglichen Optimum. Um eine dauerhaft optimale Dämpfungsleistung zu erhalten, kann nach einer bestimmten Zyklusanzahl eine Nachjustierung notwendig sein.

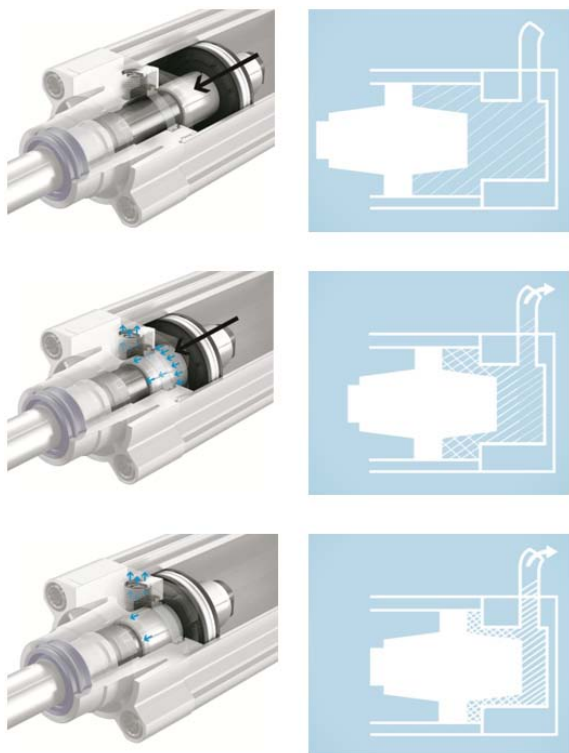


Beispiel einer einstellbaren Endlagendämpfung: Eingebaut im Normzylinder DSBC-PPV von Festo mit PPV-Dämpfung

Mehr: [www.festo.com/dsbc](http://www.festo.com/dsbc)

## Selbsteinstellende Luftdämpfung PPS

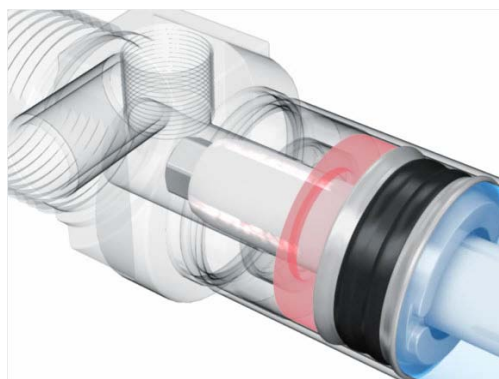
Die selbsteinstellende Luftdämpfung PPS (Pneumatische Pufferung Selbsteinstellend) für pneumatische Zylinderantriebe nutzt ebenfalls die Bremswirkung durch das Komprimieren von Luft. Im Gegensatz zur PPV Dämpfung wird die Abluftdrosselung der komprimierten Luft wegabhängig verändert.



Innenansicht eines Pneumatikzylinders mit selbsteinstellender PPS-Endlagendämpfung beim Einfahren in die Kolbenendposition. Links: Die schwarzen Pfeile zeigen die Bewegungsrichtung des Kolbens, die blauen Pfeile die Luftbewegungen im Zylinder. Rechts: Luftverdichtung und Entlüftungsrichtung (weiße Schraffur und Pfeile)

Das patentierte Funktionsprinzip: Die Abluft entweicht über Entlüftungsnuten im Pufferkolben. Der Querschnitt dieser Entlüftung verändert sich über den Dämpfungshub. Dadurch passt sich die PPS-Endlagendämpfung selbständig auf unterschiedliche Energien an, die durch wechselnde Lasten und Geschwindigkeiten entstehen. Die PPS-Dämpfung reagiert sogar auf Änderungen von Parametern wie Reibung oder Arbeitsdruck und stellt eine optimale Dämpfung ohne manuelle Einstellungen sicher. PPS minimiert die auf die Maschinenkomponenten und Werkstücke wirkenden Beschleunigungskräfte und Vibrationen automatisch. Durch den Wegfall der manuellen Einstellung spart PPS wertvolle Arbeitszeit des Anlagenbetreibers und somit Kosten bei der Installation und Wartung der Antriebe. Positiver

Nebeneffekt: Erhöhte Prozesssicherheit und Schutz vor Fehleinstellungen.



Innenansicht eines Zylinderantriebs mit PPS-Dämpfung: Entlüftungsnuten ersetzen die Einstellschraube im Pufferkolben.

## Vorteile der PPS-Dämpfung

Im Vergleich zu einer nicht oder nur schlecht eingestellten PPV liefert die PPS-Dämpfung immer eine bessere Dämpfungsqualität. In Anwendungen mit sehr hoher Energieaufnahme (extremen Kombinationen aus Geschwindigkeiten und Masse) erreicht sie jedoch ihre Leistungsgrenze. Die Dämpfungleistung bleibt in einem solchen Fall unterhalb der einer gut eingestellten PPV-Endlagendämpfung. Der große Vorteil der PPS gegenüber anderen Endlagendämpfungstechnologien liegt allerdings darin, dass sie für die meisten Geschwindigkeit-Masse-Kombinationen (ca. 80% aller Applikationen in der Industrie) optimale Dämpfungsergebnisse liefert. Sie ist deshalb eine sehr gute Lösung für ein breites Anwendungsspektrum in allen Branchen. Da Schmutzkecken bei der reinigungsfreundlichen PPS vermieden werden (Clean Design), findet die Dämpfung immer häufiger in der Lebensmittelbranche Verwendung.



Selbsteinstellende Luftdämpfung: Der Normzylinder DSBC-PPS von Festo stellt sich automatisch ein und kommt so ohne Einstellschraube aus.

Mehr: [www.festo.com/pps](http://www.festo.com/pps)



### **PP1 – eine Kombination aus PPS und PPV (Sonderanfertigung)**

PP1 ist immer dann empfehlenswert, wenn extreme Schnellfahrten verlangt werden. Diese Kombination vereint die Eigenschaften der einstellbaren Luftdämpfung PPV und der selbsteinstellenden Luftdämpfung PPS. Die PPS wird hier um einen einstellbaren Bypass ergänzt. Dadurch steigert sich die Dämpfungsleistung. Bei geschlossenem Bypass verhält sich die Technologiekombination deshalb wie eine einfache PPS-Luftdämpfung. Ein großer Vorteil dieser Mischform ist die gegenüber einer PPV-Dämpfung wesentlich einfachere manuelle Einstellung. Auch entfällt das Nachjustieren bei PP1 meistens. Diese Endlagendämpfung ist eine relativ neue Entwicklung mit einem sehr hohen Leistungspotential. PP1 ist derzeit nur als Sonderanfertigung erhältlich.

### **Selbsteinstellende Luftdämpfung PPP (Sonderanfertigung)**

Die PPP-Endlagendämpfung (Pneumatische Pufferung Progressiv) ist eine druckabhängige Luftdämpfung, die in ganz speziellen Anwendungsfällen zum Einsatz kommt. Wenn sehr schwierige Bedingungen vorliegen und die bisher genannten Endlagendämpfungen nicht leistungsfähig genug sind, kann man mit PPP eine sehr gute Dämpfung erreichen. Für wechselnde Bedingungen der Masse-Geschwindigkeit-Kombinationen oder sogar Druckschwankungen der Arbeitsluft stellt sie eine optimale Endlagendämpfung sicher. Wie die zuvor beschriebenen pneumatischen Endlagendämpfungen erzielt die PPP ihre Bremswirkung durch das Komprimieren eines eingeschlossenen Luftvolumens. Sie passt sich automatisch wechselnden Belastungen an und bietet ein Leistungsspektrum, das über dem der PPV liegt.

Das patentierte Funktionsprinzip: Mit einem speziell geformten Feder-Kugelsystem wird über die Federkraft der nötige Durchfluss zum Abbau der Energie automatisch reguliert. Der Dämpfungsquerschnitt wird in Abhängigkeit vom Pufferdruck angepasst.

Als Sonderanfertigung wird PPP vom Hersteller auf die individuelle Kundenapplikation abge-

stimmt. Das macht sie zu einer kostenintensiven Endlagendämpfung. Bei der Konstruktion seines Projekts muss der Maschinen- und Anlagenbauer deshalb die entsprechende Entwicklungszeit einplanen.

### **Servopneumatische Luftdämpfung Soft Stop**

Servopneumatische Luftdämpfungen können den Dämpfungsvorgang direkt regeln. Mit einem Wegmesssystem, einem Proportionalventil und einem elektronischen Endlagenregler werden die Endlagen des Pneumatikzylinders elektronisch geregelt angefahren. Dabei wird an bestimmten, vorab definierten Positionen des Verfahrensweges Gegenluft eingespeist, um den Kolben abzubremsen. Über das Proportionalventil variiert der Endlagenregler die Luftmenge. Auf diese Weise kann ein ausgezeichnetes Dämpfungsverhalten erzielt werden. Schwankungen in der Versorgungsluft und dynamische Belastungen werden durch den Endlagenregler automatisch ausgeglichen. Servopneumatik dämpft in den Endlagen sehr effektiv, ist aber wegen der vielen zusätzlichen Komponenten teuer. Sie eignet sich hauptsächlich bei Anwendungen mit sehr hohen Taktzahlen, bei Hüben von mehr als 300 mm und Massen über 10 kg.

## Die geeignete Endlagendämpfungstechnologie

Die Suche nach der geeigneten Endlagendämpfungstechnologie für eine Maschine oder Anlage gestaltet sich oft schwierig – wenn sie überhaupt gestartet wird. Aber sie lohnt sich.

Sehr viele Faktoren spielen dabei eine Rolle. Bewegte Masse, gefahrene Geschwindigkeit, die Kombination von beidem, Zylindergröße und Zylinderlänge sowie horizontale oder vertikale Ausrichtung sind hier wichtig. Zudem erschweren es wechselseitige Abhängigkeiten, die am besten geeignete Endlagendämpfung zu finden.

Es ist deshalb nicht nur eine Frage nach der zu verwendenden Technologielösung, sondern auch eine nach den individuellen Applikationsanforderungen. Die ausgewählte Endlagendämpfungstechnologie sollte die Anforderungen der betrachteten Applikation möglichst gut erfüllen. Es gilt: Die Applikation bestimmt die Lösung. Eine pauschale Lösung gibt es nicht.

Trotz dieser teilweise sehr komplexen Problematik ist es für eine Vielzahl von Industrieanwendungen möglich, eine grobe Empfehlung für eine Endlagendämpfungslösung zu geben. Die selbsteinstellende Endlagendämpfung PPS deckt mit ihrem Leistungsspektrum die Anforderungen der meisten industriellen Anwendungen zuverlässig ab und bietet darüber hinaus gegenüber alternativen Endlagendämpfungen noch finanzielle, zeitliche und branchenspezifische Vorteile wie CleanDesign in der Lebensmittelindustrie.

Jede Dämpfungstechnologie hat ihre Vor- und Nachteile, welche es abzuwiegen gilt. Sowohl für Standardanwendungen als auch für spezielle Anforderungen gibt es eine passende Lösung. Dass letztere eine spezielle Endlagendämpfung benötigen und damit einen gewissen Entwicklungsaufwand erfordern, ist plausibel. Die Suche nach der passenden Lösung kann aber einfacher sein als es scheint: dank der PPS-Dämpfung, die viele Vorteile in sich vereint.

Der PPS-Check sorgt jetzt schnell und einfach für Klarheit. Ab sofort wählen Sie für jede Anwendung die richtige Dämpfung per Smartphone mit PPS-Check:



Zu PPS-Check geht es auch ganz einfach: [www.festo.com/app](http://www.festo.com/app) in Ihren Smartphone-Browser eingeben, dann **PPS-Check** anklicken.

Nachstehende Tabelle soll eine Hilfestellung für die Technologieauswahl geben. Sie fasst die Vor- und Nachteile der hier betrachteten Endlagendämpfungstechnologien in einer Übersicht zusammen. Um der Tatsache gerecht zu werden, dass eine optimale Endlagendämpfung von einer Vielzahl an Faktoren abhängig ist, haben wir die Applikationsempfehlung in der rechten Spalte absichtlich unscharf gehalten. Für die fundierte Auswahl einer geeigneten Lösung bei individuellen und speziellen Applikationen sollte eine professionelle Beratung in Anspruch genommen werden. Dazu ist ein erfahrener Partner in der Automatisierungstechnik gefordert, der höchste Fachkompetenz für die technischen Komponenten und ein tiefes Verständnis über die Prozesse und Anliegen von Anlagen- und Maschinenherstellern besitzt: Erst damit lassen sich mehr Effizienz und höchste Produktivität realisieren.

Autor:

Michael Rau  
Product Development Standard Drives  
Festo AG & Co. KG

Holger Buisson  
Product Management Standard Drives  
Festo AG & Co. KG

Technische Beratung  
Tel: 0711 347-3000  
Fax: 0711 347-2190  
Email: [technikservice@de.festo.com](mailto:technikservice@de.festo.com)

Technologie	Vorteile	Nachteile	Applikationen
<b>P-Dämpfung:</b> <b>Elastische</b> <b>Puffer-Dämpfung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Kosten</li> <li>• Verfügbarkeit bei allen Anbietern (Standardlösung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mäßige Dämpfungseigenschaften</li> <li>• Hohe Betriebslautstärke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geeignet bei kleinen Massen und niedrigen Geschwindigkeiten (Kleine Aufprallenergien)</li> </ul>
<b>PPV:</b> <b>Einstellbare</b> <b>Luftdämpfung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimale Dämpfung für viele Anwendungen</li> <li>• Sehr hohe Energieaufnahme</li> <li>• Geringe Betriebslautstärke</li> <li>• Verfügbarkeit bei vielen Anbietern (Standardlösung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wechselnde Belastungsprofile erfordern manuelle Einstellung (Ein- und Nachjustierung)</li> <li>• Zusätzliche Wartungskosten, Zeit- und Personalaufwand für die Justierung</li> <li>• Gefahr von Fehlfunktionen aufgrund fehlerhafter Einstellung bzw. Manipulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geeignet für viele Kombinationen von Massen und Geschwindigkeiten</li> </ul>
<b>PPS:</b> <b>Selbsteinstellende</b> <b>Luftdämpfung PPS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konstant sehr gute Dämpfungsqualität in der Endlage</li> <li>• Automatische Anpassung an wechselnde Belastungen</li> <li>• Preisgünstiger als PPV</li> <li>• Geringe Betriebslautstärke</li> <li>• Zeit- und Kostenersparnis bei Installation, Betrieb und Wartung</li> <li>• Manipulationsicherheit und Schutz vor Fehlfunktionen</li> <li>• Einfachste synchrone Verwendung mehrerer Zylinderantriebe</li> <li>• Vereinfachte Reinigung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht ausgelegt für spezielle Anwendungen mit z.B. sehr langsamen Hubbewegungen und sehr hohen Massen (Hohe Aufprallenergien)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geeignet für die meisten Kombinationen von Masse und Verfahrgeschwindigkeit (Mittlere Aufprallenergien, circa 80% aller Industrieapplikationen)</li> <li>• Vorteilhaft bei synchroner Anwendung von Zylinderantrieben</li> <li>• Ersetzt unjustierte und schlecht eingestellte PPV-Endlagendämpfungen problemlos und bewirkt eine bessere Dämpfungsleistung</li> <li>• Vorteilhaft bei reinigungsintensiven Anwendungen, z.B. in der Lebensmittelbranche (Clean Design)</li> </ul>

Technologie	Vorteile	Nachteile	Applikationen
<b>PP1: eine Kombination aus PPS und PPV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erweitert das Leistungsspektrum der PPS auf das der PPV</li> <li>• Dämpfung passt sich in gewissen Grenzen automatisch an</li> <li>• Einfache Justierung</li> <li>• Nachjustierung entfällt meistens</li> <li>• Erhöhte Dämpfungsleistung bei geöffnetem Bypass</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine größere Bandbreite in der Selbsteinstellung</li> <li>• Einstellen für maximale Leistungsfähigkeit Voraussetzung</li> <li>• Nur als Sonderanfertigung verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geeignet für spezielle Industrieapplikationen mit hohen Anforderungen an Endlagendämpfung</li> </ul>
<b>PPP: Selbsteinstellende Sonderanfertigung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimale Dämpfung bei hohen Massen und Geschwindigkeiten</li> <li>• Automatische Anpassung an wechselnde Belastungen</li> <li>• Hohe Dynamik- und Systemstabilität</li> <li>• Hohe Stabilität bei Schwankungen des Versorgungsdruckes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preisintensiv</li> <li>• Lange Entwicklungsdauer</li> <li>• Nur als Sonderanfertigung verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geeignet für extremste Anwendungen mit speziellen Anforderungen bezüglich der gefahrenen Masse und Geschwindigkeit an die Antriebe</li> </ul>
<b>Soft Stop: Servopneumatische Luftdämpfung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimale Dämpfungsleistung durch Einstellbarkeit</li> <li>• Selbsteinstellend durch adaptiven Regler</li> <li>• Zwei frei wählbare Mittelpositionen zusätzlich zu den Endlagen</li> <li>• Fahrzeiten und Komponentenwahl einfach über Auswahlsoftware</li> <li>• Ist-Position und detaillierte Systemdiagnose über Feldbus</li> <li>• Schnelle Verfügbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preisintensiv</li> <li>• Hoher Hardwareaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geeignet für Anwendungen mit hohen Taktzahlen, bei Massen über 10 kg und Hüben oberhalb 300 mm</li> </ul>

**Tabelle: Übersicht der betrachteten Endlagendämpfungstechnologien**