

Die Auswirkungen von schädigenden Druckluftschwingungen in Druckluftversorgungsanlagen von Schienenfahrzeugen.

Vorzeitiges Komponentenversagen, erhöhter Restölgehalt, verkürzte Wartungsintervalle, Verschlechterung von LCC- Werten.

Auswirkung und Abhilfe

Von Hans Lütte, Lörrach ¹⁾

1. Allgemein

Die Druckluft für Schienenfahrzeuge (S-, U-Bahnen und Lokomotiven) wird durch Kompressoren erzeugt, die ausschließlich nach dem Verdrängerprinzip mit innerer Verdichtung arbeiten. Die Verdichtung der Luft erfolgt trocken, verlustölgeschmiert oder mit Ölumlaufschmierung (Tabelle 1). Die Druckluftversorgungsanlagen (DVA) müssen unter allen Betriebsbedingungen einwandfrei funktionieren und die Wartungsintervalle sicher erreichen. Bei der Komponentenauslegung und Konstruktion der DVA sind einerseits die ungünstigen bauartbedingten Auswirkungen der Kompressoren auf nachgeschaltete Bauteile der DVA bzw. die negativen Auswirkungen der durchströmten Anlagenbauteile selbst auf den Kompressor zu betrachten.

Eine Nichtbeachtung der gegenseitigen Beeinflussung führt zu einer gestörten Funktion von Kompressor und System und damit zu Unzufriedenheit und Reklamationen vom Betreiber.

Durchströmte Anlagenkomponenten einer DVA mit Kolbenkompressoren bestehen aus:

Ansaugfilter, Zwischenkühler, Druckluftkühler und -Trockner.

Kompressoren mit Ölumlaufschmierung (Vielzellen- und Schraubenkompressoren) benötigen zur Darstellung des Ölkreislaufes zusätzliche Komponenten wie Ölvorratsbehälter, Ölkühler, Ölfilter und Filter zur Ölabscheidung aus der Druckluft.

Der folgende Beitrag stellt speziell die Auswirkungen von Druckluftpulsationen und plötzlichen Druckeinbrüchen während der Druckluftherzeugung dar und zeigt dem Konstrukteur bzw. dem Anwender von Druckluftanlagen mögliche Lösungsansätze zur Abhilfe.

2. Bauarten von Kompressoren

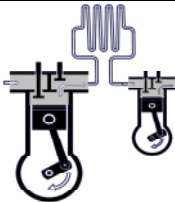
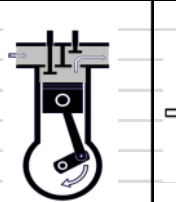
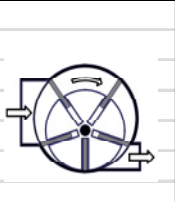
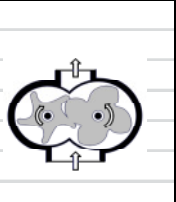
	ölfrei	verlustöl- geschmiert	öllumlauf- geschmiert	öllumlauf- geschmiert
Wertung				
▲ hoch				
► mittel (neutral)				
▼ niedrig				
Merkmale der Kompressorbauarten				
Ansaug- bzw. Ausschubpulsation	▲	▲	▼	▼
Rest Ölgehalt in der Druckluft bei instationärem Betrieb	▼ 1)	▲	▲	▲
Rest Ölgehalt in der Druckluft bei stationärem Betrieb	▼ 1)	► 2)	► 3)	► 3)

Tabelle 1: Bauarten von Kompressoren

1) Bei ölfrei arbeitenden Kolbenkompressoren führt kontaminierte Ansaugluft auch zu Verschleppung von Kohlenwasserstoffen ins Kondensat und Druckluftnetz da hier betriebsbedingt keine Ölabscheider oder Nachfilter verwendet werden. Der vom Gesetzgeber vorgegebene Grenzwert für Kohlenwasserstoffe kann dadurch überschritten werden.

2) Bei verlustölgeschmierten Kolbenkompressoren erhöht sich der Ölverbrauch infolge einer ungünstigen Gasdynamik (Druckschwingungsresonanz). Das Schmieröl wird mit der Druckluft aus dem Verdichtungsraum mitgerissen.

3) Schaltvorgänge von 2-Kammertrockner führen zu schlagartigen Druckabsenkungen von mehreren bar. Die Folge ist ein Mitreißen von Ölpartikeln aus dem Entölelement. Der Restölgehalt in der Druckluft steigt an.

3. Ursachen von Funktionsstörungen und deren Auswirkungen

Der unterschiedliche Einsatz- (heiß, kalt, feucht, staubig, Höhenlage, Qualität der Ansaugluft) und Betriebsbedingungen (Aussetz-, Leerlauf- oder Durchlaufbetrieb) können zu diversen Funktionsstörungen an einer DVA führen. Tabelle 2 zeigt eine Auswahl von Störungen und deren Auswirkungen auf den Betrieb.

Funktionsstörungen innerhalb der DVA	Die Auswirkungen für den Betreiber	Kompressorbauart			
		Kolbenkompressor ölfrei	Kolbenkompressor verlustölgeschmiert	Vielzellenkompressor öllumlaufgeschmiert	Schraubenkompressor öllumlauf geschmiert
- Zerstörung des Druckluftentölelements	- Vorzeitiger Wartung des Entölelements - Kontamination des Druckluftnetzes mit Kompressoröl - Ölkontaminiertes Kondensat - Verkürzte Wartungsintervalle		X	X	X
- Mitreißen von Öl aus dem Druckluftentölelement - Mitreißen vom Öl aus dem Verdichtungsraum des Kolbenkompressors	- Kontamination des Druckluftnetzes mit Kompressoröl - Kosten für Beseitigung der Ölkontamination - Ölkontaminiertes Kondensat - Verkürzte Wartungsintervalle		X	X	X
- Verkleben des Trocknergranulats mit Öl - Akkumulation von Öl in der Trocknerkartusche	- Verschlechterung des Drucktaupunktes - Vorzeitige Wartung der Trocknerkartuschen		X	X	X
- Zerstäubung von Trocknergranulat	- Verschlechterung des Drucktaupunktes in Richtung Umgebungstemperatur - Vorzeitige Wartung der Trocknerkartuschen - Wartung / Austausch von Ventilen - Aufwand für Reinigung	X	X		
- Kondensatausfall innerhalb des Kompressors	- Wasser im Schmieröl führt zu erhöhtem Verschleiß infolge von Mischreibung bzw. Schmierfilmaustritt, mit Folge von Totalausfall des Kompressors - Gefahr der Vereisung innerhalb der DVA		X	X	X
- Materialermüdung, Haarrisse, Undichtigkeiten	- Zu geringer Volumenstrom - Totalausfall der DVA	X	X		

Tabelle 2: Funktionsstörungen und deren Auswirkungen

3.1 Druckpulsationen durch Kolbenkompressoren

Gaswechselvorgänge verursachen während des Ansaugens und Ausschlebens der Hubkolben Druckschwingungen in der Saug- und Druckleitung. Währenddessen im Saugstrom eine Verbesserung der Zylinderfüllung durch die Gasdynamik angestrebt wird, kann diese im Druckbereich sogar zu einer Leistungserhöhung führen.

Diagramm 1 zeigt ein Beispiel für die Pulsation in einer Druckleitung mit einer Amplitude von ca. $\pm 0,8$ bar bei einem gemessenen Endüberdruck von 10 bar.

Die Pulsationsfrequenz ergibt sich bei direktem Antrieb ohne Übersetzung aus der Antriebsdrehzahl [min^{-1}] geteilt durch 60. Bei einem Elektromotor ergibt sich bei einer Drehzahl von 1500 1/min (1800 1/min) eine Pulsfrequenz von 25 Hz (30 Hz). Bei angeflanschten Kompressoren, z.B. am Dieselmotor, ist mit der Motordrehzahl zu rechnen.

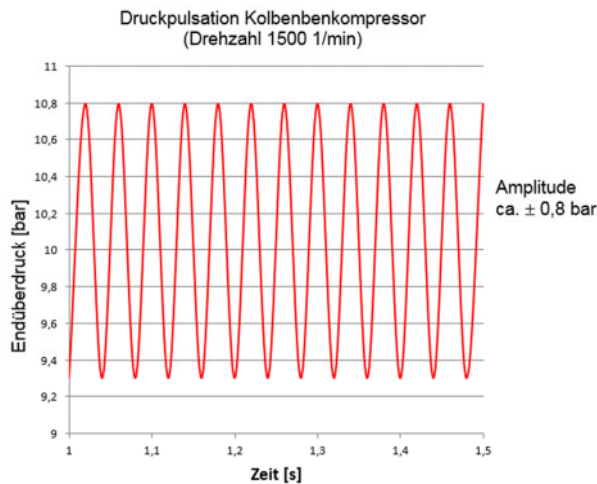


Diagramm 1: Druckpulsation der Druckluft beim Kolbenkompressor

3.1.1 Zerstäubung des Trocknergranulats

Das Luftvolumen zwischen dem Druckanschluss des Kompressors und dem Trockner ist relativ gering, eine Glättung der Pulsation kann hier kaum stattfinden. Die Druckpulsationen gelangen nahezu ungebrems in den Trockner. Das Granulat (Silikagel) in den Trocknerkartuschen wird infolge der vor- und zurücklaufenden Druckwellen in Schwingung versetzt. Die Granulatkörner reiben aneinander. Der daraus resultierende Abrieb gelangt als Pulver mit der Druckluft zu den Verbrauchern, wo es zum Versagen von z.B. Ventilen und Bremszylindern führt.

Die Pulverisierung tritt vorzugsweise an der 1. Kartusche auf, welche sich am nächsten zum Drucklufteintritt befindet. Die Trockner interne Luftführung zur 2. Kartusche führt infolge von Umlenkungen zu einer Reduzierung der Pulsationsenergie. Die Zermürbung des Granulates fällt hier geringer aus.

3.2 Druckeinbrüche durch Schaltvorgänge im Adsorptionstrockner

Die von einem Kompressor angesaugte atmosphärische Luft ist bei Erreichen des Enddrucks nahezu mit 100% Feuchtigkeit gesättigt. Zur Vermeidung des Kondensatausfalls, der Korrosion und Vereisung im Druckluftnetz muss die Druckluft getrocknet werden. Im mobilen Einsatz erfolgt die Drucklufttrocknung üblicherweise durch Ein- oder Zweikammer- Adsorptionstrockner.

Wechsel der Behälterfunktion Trocknen/ Regenerieren sowie der Kondensataustrag über ein Entwässerungsventil verbraucht kurzzeitig hohe Druckluftmengen. Entsprechend den jeweiligen Einsatzbedingungen liegen die Taktzeiten bei ca. 30 Sekunden bis zu einigen Minuten.

Im Start- Stoppbetrieb werden Kompressoren zur Vermeidung einer hohen Startstromaufnahme drucklos gestartet. Die Druckleitung zum Trockner wird hierfür nach dem Kompressor-Stopp über das Öffnen des Entwässerungsventils entlastet.

Kompressoren im Durchlaufbetrieb, z.B. am Dieselmotor angeflanschte Kompressoren, werden zur Energieeinsparung beim Erreichen des Abschaltendrucks druckentlastet. Der Druck nach dem Kompressor wird auch hier durch das Öffnen des Entwässerungsventils abgesenkt.

Kleine Leitungsvolumen führen bei jeder Entlastung zu einer schlagartigen massiven Drucksenke. Diese breitet sich mit Schallgeschwindigkeit in Richtung Kompressor aus. Das nachgeschaltete Druckluftnetz ist durch ein Rückschlagventil am Trocknerausgang vor einem Druckabfall geschützt.

3.2.1 Erhöhter Restölgehalt und Standzeitverkürzung von Luftentölelementen bei ölumlauf geschmierten Kompressoren

Bevor die Druckluft den Kompressor verlässt wird das Kompressoröl durch ein Luftentölelement aus der Druckluft bis auf einige mg pro Kubikmeter entfernt. Die Druckluft ist dann technisch ölfrei. Während die Druckluft die Filterstrecke von der Schmutz- zur Reinseite durchströmt, verbinden sich nach dem Koaleszenz- Prinzip Feintröpfchen zu immer größeren Öltröpfchen. Auf der Reinseite sammeln sich die Öltröpfchen infolge Schwerkraftabscheidung im Filtersumpf und werden in den Ölkreislauf des Kompressors zurückgeschleust.

Das Abscheideprinzip verlangt eine möglichst gleichmäßige Durchströmung der Filterstrecke. Ein schneller Druckeinbruch auf der Reinseite führt zu einer entsprechend schlagartigen Erhöhungen der Druckluftgeschwindigkeit bzw. Druckdifferenz im Filtermedium. Die Öltröpfchen werden dadurch auf der Reinseite explosionsartig aus dem Filtermedium gerissen und in Richtung Trockner transportiert. Der Restölgehalt der Druckluft steigt an.

Die periodisch auftretenden pulsartigen Druckeinbrüche können das Filtermedium bis zum

Aufreißen zermürben und die Lebensdauer reduzieren. Winterbetrieb kann die Zerstörung durch erhöhte Ölviskosität bzw. partiell gefrorenen Entölelemente infolge Kondensatausfall beschleunigen.

3.2.2 Erhöhter Restölgehalt bei Kolbenkompressoren mit Verlustölschmierung

Bei Kolbenkompressoren ist der Schmierölverbrauch für einen stationären Enddruck bzw. für eine langsame Änderung des Enddrucks (z.B. Auffüllvorgang innerhalb des eingestellten Druckbandes) eingestellt. Die in 3.2 beschriebene schlagartige Absenkung des Enddrucks führt jedoch zu einem Mitreißen von Schmieröl direkt aus dem Kompressionsraum. Der Restölgehalt der Druckluft steigt entsprechend an.

3.2.3 Schäden an Lamellenventilen von Kolbenkompressoren

Lamellenventile (Bild 1) steuern den Gaswechsel von Kolbenkompressoren. Das Öffnen und Schließen erfolgt automatisch entsprechend dem Druck im Zylinder. Der Ventilweg wird beim Ansaugen durch einen Anschlag im Zylinder bzw. beim Ausschieben der Luft durch einen Hubfänger begrenzt.

Hub und die Auftreffgeschwindigkeit auf die Fänger dürfen werkstoffbedingte Grenzwerte nicht überschreiten. Bei der Ventilauslegung wird von einem konstanten anliegenden Enddruck ausgegangen.

Infolge der in 3.2 beschriebene schlagartigen Absenkung des Enddrucks wird die Druckdifferenz am Druckventil schlagartig erhöht. Die Folge ist eine deutlich erhöhte Beschleunigung des Lamellenventils. Das Ventil wird dadurch nach außen aufgerissen und trifft mit einer erhöhten Auftreffgeschwindigkeit auf den Fänger. Die Lebensdauer wird vermindert. Bild 2 zeigt ein entsprechendes Schadensbild an einem Lamellenventil.

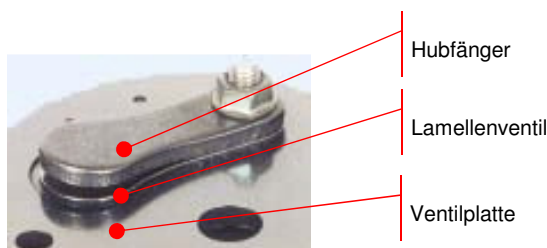


Bild 1: Aufbau Lamellenventil am Auslass

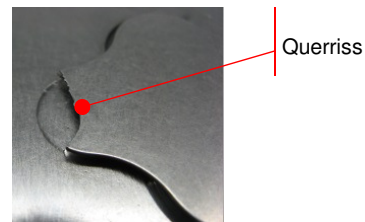


Bild 2: Bruchstelle an einem Lamellenventil

3.2.4 Kontamination des Trocknergranulates

Der in 3.2.1 u. 3.2.2 beschriebene erhöhte Restölgehalt belastet Anlagenteile wie Nachfilter und Trockner und führt zu einer erhöhten Belastung des Trocknerkondensates mit Kohlenwasserstoffen. Beim Durchströmen des Trockners lagert sich das Schmieröl an der porösen Oberfläche des Trocknergranulates ab. Mit kleiner werdender freier Granulatoberfläche sinkt die Fähigkeit der Feuchtigkeitsaufnahme einhergehend mit einer Verschlechterung des Drucktaupunktes. Innerhalb eines Wartungsintervalls können sich so mehrere hundert ml in einer Kartusche ansammeln.

4. Abhilfemaßnahmen

Nach dem Aufzeigen der Ursachen und Auswirkungen von Druckpulsationen und schlagartig auftretenden Druckeinbrüchen auf Kompressoren und Anlagenteile werden Abhilfemaßnahmen vorgestellt.

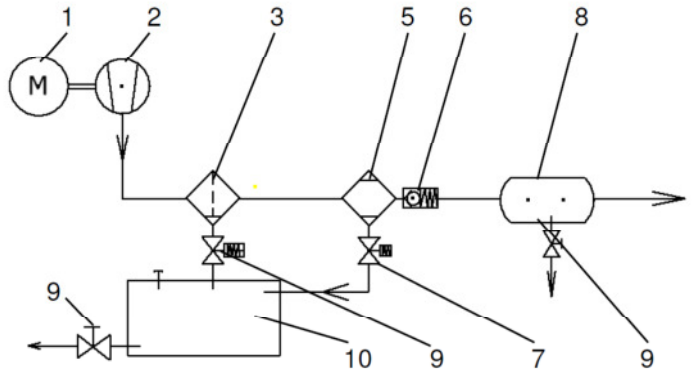
4.1 Abhilfe durch Pufferbehälter und Zusatzfilter.

Schädigende Druckschwingungen verursacht durch Kolbenkompressoren werden in der Praxis durch den Einbau von Zusatzfilter (Schema 1) bzw. Pufferbehälter (Schema 2) zwischen Kompressor und Trockner reduziert. Mit dem Zusatzvolumen unterschiedlicher Größe lässt sich das Schwingungssystem beeinflussen. Durch die Volumenvergrößerung werden die Druckamplituden reduziert und die Resonanzfrequenzen verringert. Der Trockner wird entlastet, das Zerstäuben des Trockenmittels reduziert und die Wartungsintervalle entsprechend verlängert. Drucksinken verursacht durch den Trockner, wird durch Zusatzvolumen gleichfalls reduziert. Die Zusatzeinbauten müssen mit Halterungen, Rohrleitungen und Ventilen in der DVA eingebunden werden und verursachen eine entsprechende Gewichtserhöhung und Platzbedarf. In den Zusatzeinbauten findet eine geringe Abkühlung der Druckluft statt. Ein Teil des in Dampfform vorhandenen Öls und Wassers wird darin in flüssiger Form abgeschieden und zu einem Kondensatbehälter¹⁾ geleitet. Für den Winterbetrieb müssen daher alle Bauteile mit einer

möglichen Wasseransammlung beheizt werden.

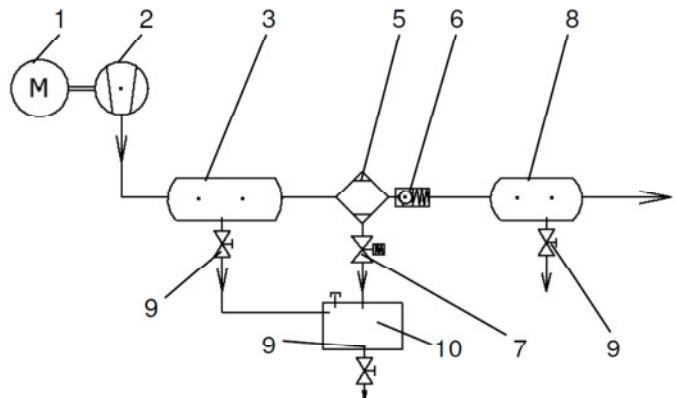
- ¹⁾ In Abhängigkeit des Ölgehalts muss das Kondensat gesammelt und aufwendig entsorgt werden, oder darf direkt in die Umwelt eingeleitet werden. In Deutschland sind Grenzwerte für Kohlenwasserstoffe (KWS) im Kondensat Wasser im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) geregelt:
- Indirekte Einleitung KWS < 20 mg/Liter Wasser
 - Direkte Einleitung KWS < 10 mg/Liter Wasser

- 1 Motor
 2 Kompressor
 3 Zusatzfilter
 5 Adsorptionstrockner
 6 Rückschlagventil
 7 Entwässerungsventil
 8 Druckluftbehälter
 9 Kondensat-Ablass
 10 Kondensatsammelbehälter mit Entlüftung u. Alasshahn
 (Nur bei ölhaltigen Kondensat erforderlich)



Schema 1: Zusatzfilter zwischen Kompressor und Trockner

- 1 Motor
 2 Kompressor
 3 Pufferbehälter
 5 Adsorptionstrockner
 6 Rückschlagventil
 7 Entwässerungsventil
 8 Druckluftbehälter
 9 Kondensat-Ablass
 10 Kondensatsammelbehälter mit Entlüftung u. Alasshahn
 (Nur bei ölhaltigen Kondensat erforderlich)



Schema 2: Pufferbehälter zwischen Kompressor und Trockner

4.2 Abhilfe durch Pulsationsdämpfungsventil (PDV)

Eine unkomplizierte Abhilfe bietet ein rein mechanisch funktionierendes Pulsationsdämpfungsventil (Bild 5).

Ungeachtet der im Trockner auftretenden Drucksituation sorgt der Einbau des PDV in die Druckleitung (Schema 3) für einen stationären Enddruck nach dem Kompressor.

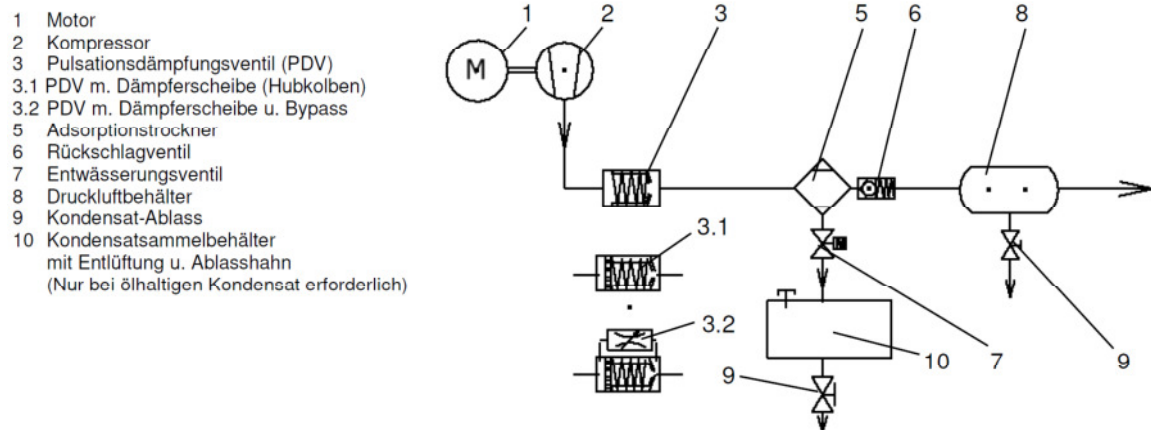
Eine vom Trockner ausgelöste Drucksenke führt zum automatischen Schließen des PDV. Am Kompressor findet nur noch eine unwesentliche Druckabsenkung (Diagramm 2) statt, der Enddruck ist nun stationär. Die vom Kompressor geförderte Druckluft wird bei geschlossenem PDV über eine ventilinterne Drosselbohrung in das Druckluftnetz geleitet. Ist am Trockner wieder genügend Druck aufgebaut öffnet sich das Ventil selbstständig und gibt den vollen Strömungsquerschnitt frei.

Ausschubpulsationen von Kolbenkompressoren werden bei Bedarf mit einem internen Dämpfungselement durch Reflektion und Dissipation geglättet.

Direkt am Dieselmotor angeflanschte Kolbenkompressoren laufen im Dauerbetrieb. Nach Erreichen des oberen Abschaltendrucks muss der Druck nach dem Kompressor zur Energieeinsparung gesenkt werden.

Dazu wird ein Ventil (z.B. Entwässerungsventil am Trockner), zur Atmosphäre geöffnet. Der Überdruck sinkt je nach Öffnungsquerschnitt schlagartig bis auf nahezu Umgebungsdruck. Die weiterhin geförderte Luft wird über das offene Ventil ins Freie abgeblasen (Überströmregelung). Für diesen Fall steht zur Sicherstellung einer langsamen Druckabsenkung zwischen Kompressor und Trockner ein einstellbarer Bypass am PDV zur Verfügung (Schema 3, Pos.3.2). Der Druckverlust des PDV ist vernachlässigbar klein (Diagramm 3).

Zur Gewährleistung einer optimalen Wirksamkeit wird das PDV auf jeden Anwendungsfall speziell abgestimmt.



Schema 3: PDV zwischen Kompressor und Trockner

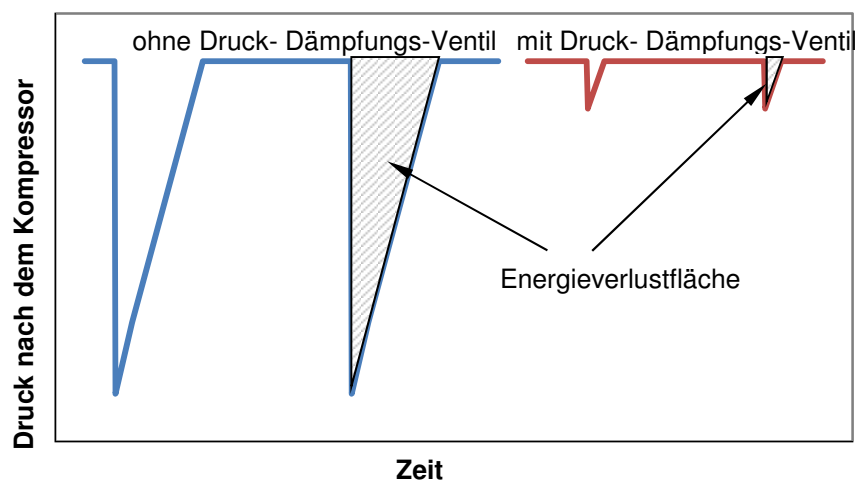


Diagramm 2: Drucksinke mit und ohne PDV

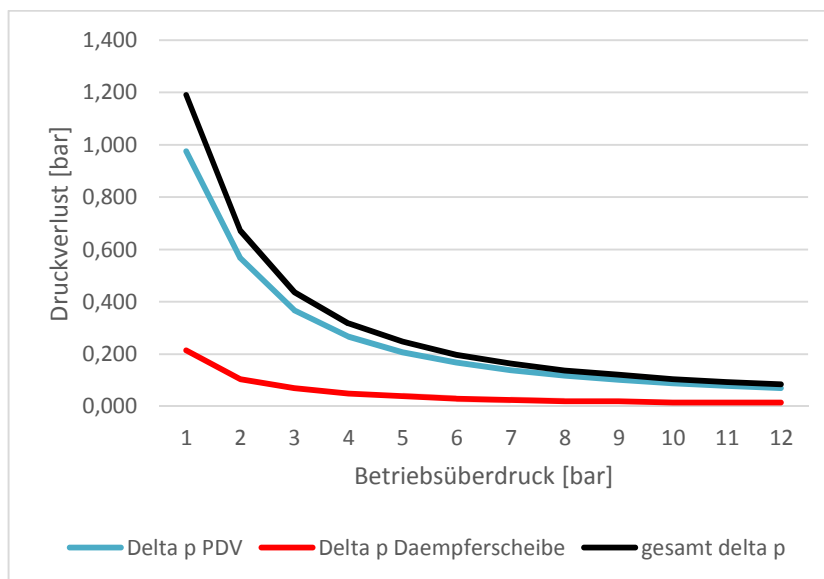


Diagramm 3: Druckverlust PDV im offenen Zustand

Diagramm 4 zeigt den Restölgehalt einer DVA mit ölumlaufgeschlitten Kompressor und Zweikammertrockner im Überdruckbereich von 7 bis 10 bar. Dargestellt ist ein Test mit Mineral- und Synthetiköl, mit und ohne PDV. Der Druck zwischen Kompressor und Trockner wurde 60-mal pro Stunde auf nahezu Atmosphäre schnell entlastet.

Der in 3.2.1 beschriebene Mechanismus, der zu einer Erhöhung des Restölgehaltes führt, soll hier noch einmal verdeutlicht werden. Mit beiden Ölarten konnte der Aerosol- und Wandfluss Anteil mit PDV (Erzeugung eines stationären Enddruckes) deutlich reduziert werden. Der Restölanteil in Form von Ölnebel ist unabhängig von der Pulsation und bleibt daher nahezu gleich. Abhilfe bringt hier die Verwendung eines synthetischen Öls (z.B. Polyalphaolefin), welches einen wesentlich geringeren Verdampfungsverlust aufweist. Weitere Vorteile von Synthetikölen sind die längeren Standzeiten und der größerer Temperatureinsatzbereich (- 40 bis + 140 °C). Vor einer Umstellung von Mineral- auf Synthetiköl ist mit dem Kompressor bzw. dem Hersteller der DVA Rücksprache zu halten. Dichtungswerkstoffe, Farbanstriche und die mit dem Öl benetzten Teile sind auf Beständigkeit zu prüfen.

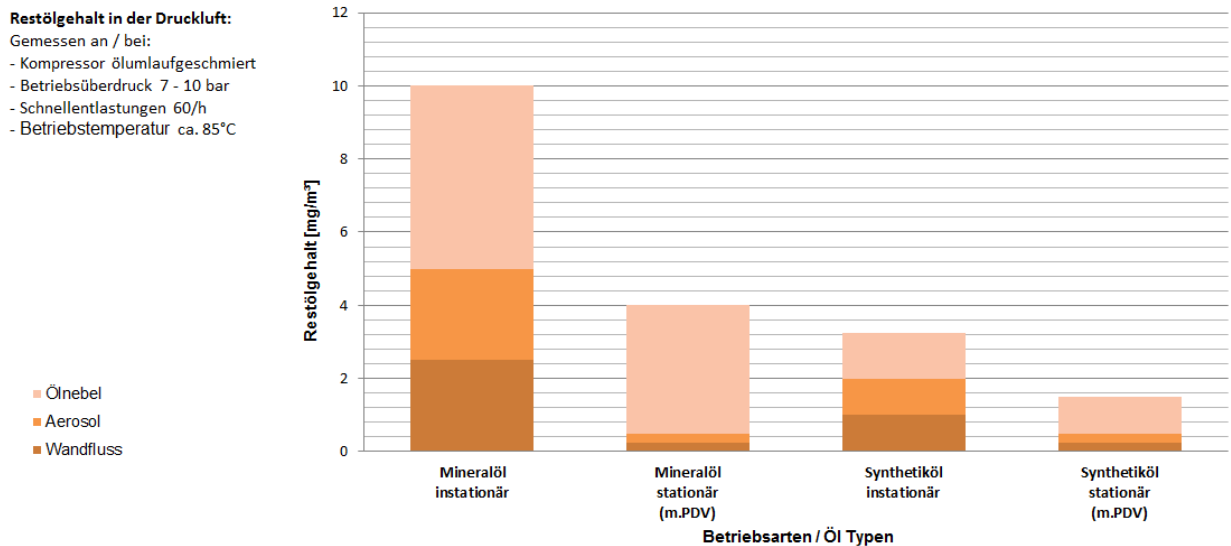


Diagramm 4: Restölgehalt der Druckluft, Vergleich Mineralöl-Synthetiköl, mit PDV bzw. ohne PVD

4.3 Produktinformation zu PDV

4.3.1 Vorteile des PDV:

- Standzeiterhöhung von Entölelementen
- reduzierter Ölverbrauch
- keine Verunreinigung von Trockner und Leitungsnetz durch Kriechöl
- keine Zusatzbelastung des Druckluftkondensats infolge des hohen Ölaustrags
- kein Pulverisieren von Trockenmittel
- längere Standzeit des Trocknungsmittels
- stabiler Drucktaupunkt
- geringere Belastung von Kompressor- und Anlagenbauteilen
- keine ungeplanten Reinigungskosten für das Druckluftnetz
- Wartungsintervalle für den Kompressor werden wieder kalkulierbar
- reduzierte Emulsionsbildung im Kompressor
- geringer Platzbedarf
- einfache Nachrüstung des PDV
- PDV ist kein Wartungsteil, verschleißfrei
- PDV ist korrosionsbeständig, sämtliche Bauteile aus rostfreien Werkstoffen

4.3.2 Einbaulage

Bild 3 zeigt die zulässige Einbaulage des PDV. Zur Vermeidung einer Wasseransammlung muss die weiterführende Leitung mit Gefälle montiert werden. Zur Vermeidung einer Vereisung ist der Einbau in „Wassersäcken“ (Bild 4) generell zu vermeiden!

Sowohl im Betrieb als auch im drucklosen Zustand ist das PDV offen. Ankommendes Kondensat kann immer in Richtung des Gefälles abfließen. Bei waagerechtem Einbau und gefrorenem Kondensat bleibt ein ausreichender Restquerschnitt als Passage für die Druckluft offen.

Eine regelmäßige Prüfung/ Wartung ist nicht erforderlich

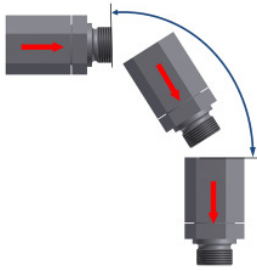


Bild 3: PDV - zulässige Einbaulage

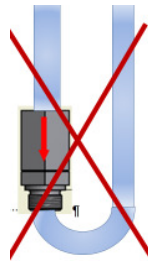


Bild 4: PVD- keine Montage im Wassersack

4.3.3 Verfügbare Größen

Bild 5 zeigt zwei Ausführungen des PDV für einen Volumenstrombereich von 200 bis 1000 l/min. Das Anschlussgewinde von Druckluft Ein- bzw. Austritt ist als Innen- oder Außengewinde variabel lieferbar.

	Ansaugvolumenstrom- Bereich (l/min)		
	200 – 1000	> 1000 – 2500	> 2500 – 4000
Nennweite der Anschlüsse	G 1/2" bzw. M 22x1,5	G 1"	G 1 1/4"



Bild 5: PDV- Beispiel für Ausführungen mit Innen- oder Außengewinde

4.3.4 Einbaubeispiele

Bild 6 und Bild 7 zeigen Einbaubeispiele. Die Montage des PDV soll möglichst nahe an dem Bauteil platziert werden, welches die Störungen auslöst. Dadurch sind die in Strömungsrichtung vor dem PDV liegenden Bauteile vor dem störenden Einfluss des Trockners geschützt.

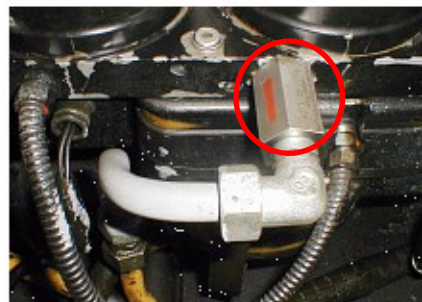


Bild 6: PDV – Einbaubeispiel eines PDV in einer DVA mit Zweikammertrockner in einer Straßenbahn, Ansaugvolumenstrom 600 l/min



Bild 7: PDV – Einbaubeispiel eines PDV in einer DVA mit Zweikammertrockner in einem EMU, Ansaugvolumenstrom 800 l/min

Weitere interessante Fachaufsätze rund um die Druckluftversorgung in Schienenfahrzeugen finden Sie in den Ausgaben der Zeitschrift Verkehr und Technik:
2001/Ausgabe 2 „Pulsierende Druckschwankungen im Druckluftnetz“
2010/Ausgabe 8 „Auswahl und Projektierung von Druckluftherzeugung in Schienenfahrzeugen“

**) Hans Lütte, Konstruktion/Vertrieb von Pulsationsdämpfern und Schwingungstilgern für Straßen und Schienenfahrzeuge.*

Pulsmin Hans Lütte, Seelhofstraße 24, D-79539 Lörrach, Tel.: +49 (0) 7621-169976,

e-mail: info@pulsmin.com,

Internet: www.pulsmin.com