



Foto: Fotolia / VRD

Schienenfahrzeuge benötigen eine zuverlässige Bremsanlage. Sie arbeitet in der Regel mit Druckluft, die von Schraubenkompressoren erzeugt wird.

Schienenfahrzeuge ohne Druckluft? Nahezu undenkbar!

■ Schraubenkompressoren ermöglichen zuverlässige Bremsanlagen

Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Rau und Dr.-Ing. Ekkehard Cramer

Schienenfahrzeuge, ganz gleich ob Lokomotiven, Waggons, Regionalzüge, Straßen- oder Untergrundbahnen, benötigen eine zuverlässige Bremsanlage. Sie arbeitet in der Regel mit Druckluft, die von Schraubenkompressoren – seltener von Kolbenkompressoren – erzeugt wird. Diese Druckluft-Erzeuger müssen für die sehr speziellen Einsatzzwecke und Einbaubedingungen in diesen Fahrzeugen maßgeschneidert entwickelt werden.

Druckluft in Schienenfahrzeugen

Druckluft ist ein unkompliziertes Medium, das weltweit in Schienenfahrzeugen zur Versorgung verschiedener Verbraucher – in erster Linie zum Betätigen der Bremsen – eingesetzt wird. Die Druckluft wird durch einen Kompressor erzeugt, der üblicherweise in der Lokomotive oder dem Triebzug installiert ist. Die Druckluft wird aus dem Hauptbehälter über die Hauptbehälterleitung mit Schlauchverbindungen zu den Verbrauchern geführt. Abteil- und Außentüren, WC-Anlagen, Stromabnehmer und Luftfedersysteme arbeiten mit Druckluft. Der den Luftbedarf eines Schienenfahrzeugs bestimmende Verbraucher bleibt aber das Bremssystem. Die

Ansteuerung der Bremsanlagen erfolgt im europäischen Vollbahnbereich hauptsächlich mit elektropneumatischer Unterstützung.

Schraubenkompressoren für die Druckluftherzeugung

Die benötigte Druckluft wird von einem Kolben- oder öleingespritzten Schraubenkompressor erzeugt. Schraubenkompressoren werden wegen ihrer Laufruhe, Zuverlässigkeit, größeren Leistung und besonders platzsparenden, kompakten Bauform bevorzugt. Auch in Rangierlokomotiven erzeugen Schraubenkompressoren die erforderliche Druckluft, weil hier oft sehr lange Züge bewegt und abgebremst werden



Abbildungen: ALWIG Kompressoren

Abb. 1: Druckluftherzeugung im Gestell zur Unterflur-Montage: Gewichtsminimierung und Bauraumnutzung als maßgebliche Entscheidungsfaktoren

müssen. Kolbenkompressoren dagegen werden überwiegend bei geringem Druckluftbedarf, wie z. B. in Regionalzug-Einheiten, eingesetzt. Der Kompressor speist den oder die Hauptluftbehälter in der Lokomotive mit einem Höchstdruck von 8 bis 10 barÜ, während das eigentliche Bremssystem mit weniger als 5 barÜ arbeitet. Vor der Einspeisung in das Fahrzeugnetz wird die Druckluft gefiltert und getrocknet.

Üblich ist die Anforderung an die Luftqualität nach der Qualitätsklasse (2.2.2) nach DIN ISO 8573-1, um

- Kondenswasser im gesamten Bremssystem und damit das Einfrieren aller Anwendungen bei winterlichen Minus-Temperaturen wirksam zu verhindern,
- eine höchstmögliche Funktionssicherheit aller pneumatischen Komponenten zu garantieren.



Abb. 2: Kondensatbehälter aus hochwertigem, flexiblem Kunststoff – geeignet auch für vereistes Kondensat

Die hohe Luftqualität wird durch eine intelligente Anordnung von unterschiedlichen, aufeinander abgestimmten Öl-/Wasserabscheidern, Luftfiltern verschiedener Filterklassen und einer effektiven Lufttrocknung erreicht.

Anforderungen an die Druckluft

Sowohl die Luftverbraucher als auch die Druckluftherzeugungs- und aufbereitungsanlage muss den Anforderungen des Schienenfahrzeugbetriebs entsprechen. Hauptaugenmerk liegt auf der Sicherheit und der Verfügbarkeit der Anlagen. Gerade die hohe Verfügbarkeit sorgt nicht nur im Normalbetrieb für einen reibungslosen Ablauf, sondern hat gerade in Notfallsituationen eine sehr hohe Sicherheitsrelevanz. Durch eine abgestimmte Konzeption von Überwachungs- und Regelungsmechanismen werden diese Anforderungen erfüllt. Besonders durch die Auswahl von qualitativ hochwertigen Komponenten, die unter Realbedingungen geprüft werden, wird ein hohes Maß an Sicherheit realisiert.

Zu den besonderen Bedingungen des Schienenfahrzeugbetriebs zählen das breite Temperaturband der Umgebungsbedingungen von üblicherweise -25 bis $+50$ °C, unter dem eine Luftversorgungsanlage für Schienenfahrzeuge arbeiten muss. Aber auch erhöhte Anforderungen von -40 bis $+60$ °C sind keine Seltenheit. Hier werden durch umfangreiche Klimakammertests die notwendigen Tauglichkeitsnachweise für Einzelkomponenten, aber auch für Gesamtanlagen erbracht.

Eine weitere Anforderung ist die Beständigkeit gegen Schwingungs- und Stoßbelastungen z. B. durch Schienen- und Weichenstöße. Auch hier werden die verwendeten Komponenten auf Versuchsständen nach bahnspezifischen Normen geprüft und die Lebensdauer der Produkte in speziellen Langzeitversuchen simuliert. Die ausgelegte Lebensdauer eines Schienenfahrzeugs und seiner Hauptkomponenten liegt zwischen 30 und 40 Jahren, wobei alle sechs bis acht Jahre eine Generalüberholung der Hauptkomponenten üblich und teilweise auch vorgeschrieben ist.

Ein weiterer wichtiger sicherheitsrelevanter Aspekt ist die Minimierung der Brandgefahr, die von einer Komponente ausgehen kann. Hier ist zum einen die Betriebsüberwachung der Anlage von Bedeutung, aber besonders die generell bestehende Brandlast durch die verwendeten Werkstoffe entscheidend. Entsprechende Nach-



weise der Werkstoffe mit Prüfcertifikaten nach speziellen Bahnnormen sind daher zulassungsrelevant.

Systemlösung zur Druckluftherzeugung

Modular aufgebaute, öleingespritzte Schraubenkompressoren bieten eine Systemlösung zur Druckluftherzeugung und -aufbereitung unter rauen Einsatzbedingungen in Straßen-, Untergrund- und Eisenbahnen, aber auch in Omnibussen und LKWs. Sie können maßgeschneidert an spezielle Kundenanforderungen angepasst werden und eignen sich durch ihren kompakten Aufbau besonders zum Einbau bei engen Platzverhältnissen. Sie können sowohl freistehend geliefert als auch in eine Rahmenkonstruktion aus Stahl oder Aluminium eingebaut, sowohl für die Unterflur- als auch für die Dachmontage konzipiert und optional mit allen erforderlichen Komponenten für Druckluftaufbereitung (z. B. Filter- und Trocknungssysteme) und Steuerung ausgerüstet werden. Als Antriebsarten sind je nach Modell der überwiegend zum Einsatz kommende Direktantrieb über Wechselstrommotor,

der Antrieb über Getriebe, Gelenkwelle oder Keilriemen, der Hydro-Antrieb und der drehzahlgeregelte Antrieb möglich. Realisierbar sind Module mit

- Antriebsleistungen von 4 bis 40 kW,
- Volumenströmen von 500 bis 3.500 l/min,
- Druckstufen von 5 bis 13 bar,
- Anlauf über Stern-Dreieck-Schaltung oder Frequenzumrichter gesteuert

Typische Kundenanforderungen an die Druckluftherzeugung sind neben den langen Standzeiten und der großen Zuverlässigkeit niedrige Wartungskosten, lange Service-Intervalle, geringes Gewicht und vibrations- und geräuscharmer Aufbau. Da die in der modularen Baureihe eingesetzten Verdichterstufen je nach Kundenwunsch für alle technisch möglichen Antriebsarten ausgerüstet werden können, bieten diese Schraubenkompressoren immer maßgeschneiderte Lösungsmöglichkeiten.

Die Module haben eine möglichst kleine Zahl von Schnittstellen, um den Installationsauf-



Abb. 3: Installation in der Diesel-Lok: die hochwertige Druckluftstation auf engstem Bauraum

wand beim Kunden so gering wie möglich zu halten und Fehlerquellen während des Einbaus in das Fahrzeug so weit wie möglich auszuschalten. Deshalb werden möglichst alle notwendigen Komponenten einschließlich Schaltschrank und Drucklufttrockner bereits am Kompressor-Modul angebaut. Außerdem wird das Gesamtkonzept wartungsfreundlich umgesetzt. Das

Modular aufgebaute, öleingespritzte Schraubenkompressoren bieten eine Systemlösung zur Druckluftherzeugung und -aufbereitung unter rauen Einsatzbedingungen in Straßen-, Untergrund- und Eisenbahnen, aber auch in Omnibussen und LKWs.

Leitgerät des Fahrzeugs gibt Auskunft über alle wesentlichen Aggregate an Bord. Dieses System erfasst auch die Betriebsstunden des Schraubenkompressors. Alle Steuerungs- und Überwachungsfunktionen (Ein- und Ausschaltvorgänge, Last-Leerlauf-Steuerung, Nachlaufzeiten, Verdichtertemperatur usw.) werden abgestimmt. Störungen werden durch die Steuerung der Lokomotive erfasst und dem Fahrpersonal mitgeteilt.

Anwendungsbeispiel: Elektrische Lokomotiven für den Rangier- und Güterzugdienst

Ein führender europäischer Hersteller von Schienenfahrzeugen suchte für eine neu entwickelte

elektrische Lokomotiven-Familie für den Rangier- und Güterzugdienst eine Lösung für die Erzeugung der Druckluft. Die Lieferleistung der Druckluftversorgung wurde mit 2.400 l/min bewusst so groß wie sonst nur für große Lokomotiven vorgegeben, um auch das Druckluftsystem eines längeren Zuges innerhalb kürzester Zeit füllen zu können. Außerdem sind die einzelnen Waggons jeweils mit separaten Hilfsluftbehältern mit einem Volumen von z. B. 200 l ausgerüstet. Das gesamte Leitungs- und Behältersystem muss bei einem länger abgestellten Zug vor Fahrtbeginn in möglichst kurzer Zeit zunächst gefüllt werden, wozu bereits ein erheblicher Druckluftbedarf erforderlich ist. Folgende Leistungsparameter waren zwingend einzuhalten:

- Lieferleistung: 2.400 l/min
- Betriebsdruck: 10 bar
- Spannungsversorgung: 400 V/50 Hz
- Umgebungstemperaturen: –25 bis +50 °C
- Trocknung der Druckluft durch einen Zweikammer-Adsorptionstrockner
- Kompakte Bauweise, einfache Installation, niedriger Geräuschpegel, bereits in Schienenfahrzeugen getestet und zertifiziert

Lösungen und Einsatzfälle

Ein kompakt gebautes Kompressor-Modul unter Verwendung von Standardkomponenten wurde entwickelt. Eine erste Musteranlage wurde zunächst bei –20 °C in einer Klimakammer getestet und anschließend bezüglich der Einhaltung des vorgegebenen Gesamtkonzeptes und der Einbaumaße geprüft und genehmigt. Die Basis dieses Moduls besteht aus einem elektrisch angetriebenen, direkt gekoppelten Schraubenkompressor mit Öleinspritzkühlung in besonders kurzer und kompakter Bauform.

Die Kompressor-Anlage wird druckabhängig über den in den Vorratsbehältern gemessenen Druck intermittierend gefahren (Einschaltdruck 8 bar, Ausschaltdruck 10 bar). Die von außen in die Lokomotive eintretende Ansaugluft wird zunächst in einem Vorfilter von Blättern und groben Schmutzpartikeln gereinigt. Durch die Installation in einem dauerhaft sauberen und trockenen Bereich konnte der Kompressor mit einem Standard-Ansaugfilter ausgerüstet werden. Das im Schraubenverdichter zur Schmierung, zur internen Abdichtung der Verdichterstufe und zur Abführung der bei der Verdichtung entstehenden Wärme eingesetzte Öl gibt die



anfallende Wärme über einen luftgekühlten Kühler an die Umgebung ab. Anfallendes Kondensat wird in einem Behälter (hier mit einem Volumen von 70 l) gesammelt, der dank der Elastizität des verwendeten Kunststoffs auch der winterlichen Ausdehnung von gefrorenem Wasser standhält. Eine Niveau-Sonde gibt bei 80%-iger Füllung ein Signal an den Leitstand, damit das restölhaltige Kondensat im Depot abgelassen und vorschriftsmäßig entsorgt wird.

Die anfallende Kondensatmenge beträgt bei einer sommerlichen Umgebungstemperatur von +30 °C, 1 bar Umgebungsdruck, einer relativen Feuchte von 70 %, einem Druck von 10 bar und einem Schraubenkompressor im Dauerbetrieb trotz der angenommenen Extremsituation nur ca. 0,04 kg/h (ca. 40 cm³/h). Demnach würde die Kondensatmenge nach einem 24-Stunden-Dauerbetrieb nur 1,008 Liter betragen. Da der Schraubenkompressor jedoch im intermittierenden und nicht im 24-Stunden-Dauerbetrieb gefahren wird, reduziert sich diese Kondensatmenge erheblich. Deshalb wird eine Entleerung



Abb. 4: Untergebautes TrackAir-Modul

des Kondensatbehälters selbst bei derartigen Extremvorgaben und einem angenommenen 24-Stunden-Dauerbetrieb erst nach mehr als 2 Monaten erforderlich. Durch die niedrigen winterlichen Lufttemperaturen und den damit verbundenen deutlich reduzierten Feuchtigkeitsgehalt der Druckluft vermindert sich die Kondensatmenge sogar auf nur ca. 10 % der oben angegebenen Menge. Deshalb ist theoretisch



tisch während der Wintermonate eine Leerung des Behälters selbst bei Dauerbetrieb nicht erforderlich.

Trockene Druckluft

Das in der Verdichterstufe erzeugte Öl-Luft-Gemisch wird im Ölabscheidebehälter mechanisch in seine Bestandteile Öl und Luft zerlegt. Ein zusätzliches Schwallblech im Ölbehälter verhindert bei der Bewegung der Lokomotive das Aufschaukeln des Öles und sichert einen gleichbleibend konstanten Ölpegel. In einem nachgeordneten Feinabscheider werden dampfförmige Ölbestandteile zurückgehalten. Ein zweigeteilter Öl-Luft-Kühler (Kombikühler) kühlt sowohl die Druckluft als auch das im Ölabscheidebehälter separierte Öl. Dieser Kühler liegt waagrecht unter dem Kompressor-Aggregat. Der auf dem Kühler montierte Ventilator saugt die saubere Kühlluft aus dem Kompressorraum an und drückt sie von oben durch den Kühler und durch den Boden des Lokomotivkastens ins Freie. Diese Richtung des Kühlluftstroms bläst den Kühler kontinuierlich frei und verhindert wirksam das Eindringen von Schmutzpartikeln von unten aus dem Gleisbett in den Kühler.

Nach dem Passieren eines weiteren Zyklonabscheiders und eines doppelstufigen Vorfilters wird die Druckluft mit einem Restölgehalt von nur noch 0,1 bis 0,4 mg/m³ in einem kalt regenerierten Zweikammer-Adsorptionstrockner getrocknet. Dieser Trockner arbeitet nicht – wie in der Industrie üblich – mit einem konstanten, sondern mit einem variablen Drucktaupunkt, einer sog. Taupunkt-Absenkung von 20 bis 25 °C unter die jeweilige Umgebungstemperatur. Dieses System verhindert innerhalb des gesamten



Abb. 5: Auch bei –55 °C eine einwandfreie Druckluftherzeugung; Test in der Klimakammer



Abb. 6: Der langwierige Weg zur IRIS-Zertifizierung: Rüttel- und Vibrationstest

Druckluftnetzes sowohl innerhalb der Lokomotive als auch in den Waggons und im gesamten Leitungssystem das Austreten von freier Feuchtigkeit. Außerdem gestattet der variable Taupunkt gegenüber einem Adsorptionstrockner mit einem ganzjährig konstanten Drucktaupunkt besonders kleine Baumaße. Der Adsorptionstrockner wird durch einen geringen Teilstrom bereits getrockneter Druckluft vollautomatisch regeneriert. Die Standzeit des Trockenmittels beträgt ca. drei bis vier Jahre. Im Gegensatz zu einem in der Industrie eingesetzten stehenden Adsorptionstrockner, der von unten nach oben von der Regenerationsluft durchströmt wird, wurde der Trockner in der realisierten Lösung liegend eingebaut. Ein Stützsieb verhindert die Zerstörung des Trockenmittels durch Eigenreibung aufgrund von Bewegungen und Erschütterungen während der Fahrt der Lokomotive. In geringem Maße trotzdem austretende Trockenmittel-Partikel werden durch einen Nachfilter wirksam aus der Druckluft entfernt.

Die Bauleranzen und die in der Gesamtkonzeption eingesetzten Materialien garantieren auch bei Zulufttemperaturen bis –30 °C einen problemlosen Betrieb der Kompressoranlage. Ergänzende Heizsysteme ermöglichen auch bei sehr niedrigen Außentemperaturen einen störungsfreien Betrieb des Kompressors. Eine schnell wirkende elektrische Zusatzheizung im Ölbehälter garantiert nach einer längeren Stillstandszeit der Lokomotive vor dem Start des Kompressors auch bei winterlichen Extremtemperaturen eine Öltemperatur von –10 bis –5 °C und damit eine ausreichende Viskosität des Öles. Eine Sicherheitsschaltung verhindert den vorzeitigen Start des Kompressors.



Anwendungsbeispiel: Anlagen für Regionaltriebzüge und Metros

Eine weitere Anwendung von Kompressoren im Bahnbereich sind Anlagen für Regionaltriebzüge und Metros. In diesem Bereich wird mit 600 bis 1.500 l/min ein geringeres Druckluftvolumen als bei Lokomotiven benötigt, welche ja ganze Zugverbände mit Druckluft versorgen müssen. Die tägliche Einsatzdauer einer Metro im Betrieb einer modernen Metropole liegt oftmals bei über 20 Stunden. Daher ist die Anforderung an einen störungsfreien Betrieb und damit die Verfügbarkeit der Luftversorgungsanlagen besonders hoch.

Häufige Tunnellein- und -ausfahrten bei gemischtem Über- und Untergrundbetrieb stellen besondere Anforderungen an die thermische Beständigkeit des Gesamtsystems und besonders an die hohe Wirksamkeit der Lufttrocknungsanlagen.

Moderne Regional- und Metrofahrzeuge haben meist eine leichte Wagenkastenstruktur. Daher ist das Gewicht der eingebauten Module möglichst gering zu halten. Eine Metro-Luftversorgungsanlage wiegt inklusive aller Komponenten und der Rahmenstruktur mit Schalldämmung unter 300 kg. Auch werden Anlagen mit möglichst hoher Laufruhe, mit einer geringen Körperschallbelastung der Fahrzeugstruktur und mit geringen Luftschallwerten für den Komfort der Fahrgäste bevorzugt.

Die Luftversorgungsanlagen werden hier üblicherweise im Unterflurbereich der Fahrzeuge eingebaut. Die Einbausituation der Anlage macht eine besondere Auslegung der Rahmenmodule nötig, in denen die Luftversorgungs- und Aufbereitungskomponenten integriert werden. In den beengten Einbaubedingungen ist besonders der Schutz der Komponenten gegen Steinschlag, Verschmutzung und Korrosion wichtig. Außerdem ist der einfache Zugang der Wartungskomponenten wie Filter und Abscheider bei der Konzeptionierung zu beachten, um dem Fahrzeugbetreiber die Wartung so einfach wie möglich zu machen.

Diesen vielfältigen Anforderungen der verschiedenen Fahrzeuggattungen müssen moderne innovative Schraubenkompressoranlagen auch zukünftig gerecht werden.

Autoren:

Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Rau

Dr.-Ing. Ekkehard Cramer

ALMiG Kompressoren GmbH