

# Gefahr für Abgasanlagen Joukowski-Stoß kann zu Schäden führen

Eine Abgasanlage muss vielfältigen Belastungen standhalten. Ein sehr schneller gewollter oder ungewollter Regelvorgang ist die Ursache des so genannten Joukowski-Stoßes. Er kann den Schornstein im schlimmsten Fall zerstören. Welche Kräfte wirken hier? Mit welchen Maßnahmen kann vorgebeugt werden? Diesen Fragen geht der folgende Bericht nach.

Joukowski-Stöße werden durch instationäre Strömungen hervorgerufen, die bei allen Regelvorgängen in Rohrleitungen, mehr oder minder stark, auftreten. Instationäre Bedingungen treten immer dann auf, wenn sich die Strömungsgeschwindigkeit mit der Zeit verändert. Von stationären Verhältnissen spricht man, wenn sich die Strömungsverhältnisse (z. B. Durchfluss / Druck) an einem Punkt der Rohrleitung zeitlich nicht ändern.

Ein Druckstoß innerhalb eines Rohrleitungssystems kann gewollt oder ungewollt auftreten. Er kommt häufig bei inkompressiblen (nicht verdichtbaren) Medien vor, gelegentlich aber auch in kompressiblen. Solche Druckstöße können nach der Theorie der Mathematiker Nikolai Joukowski (1847 bis 1921) und Lorenzo Allievi (1856 bis 1942) berechnet werden.

Ein für viele bekanntes praktisches Beispiel des Joukowski-Stoßes abseits der Abgastechnik ist das schlagartige Schließen eines Kugelhahns in einer Wasserleitung. Wasser besitzt ein sehr niedriges Kompressionsmodul. Dabei handelt es sich um eine physikalische Größe aus der Elastizitätslehre. Sie beschreibt, welche allseitige Druckänderung nötig ist, um eine bestimmte Volumenänderung hervorzurufen. Die kinetische Energie des sich im Rohr bewegenden Wassers sorgt für einen starken Druckanstieg vor dem Absperrventil. Das Gegenteil passiert hinter dem Ventil. Es entsteht ein sehr niedriger Druck, welcher bis zur Bildung einer Dampfblase führen

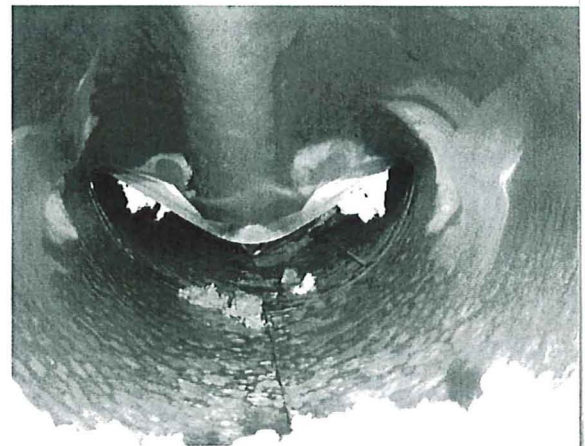
kann, während das Wasser sich weiter bewegt. Irgendwann wird sich die Bewegungsrichtung aufgrund des Druckgefälles umkehren, während die Dampfblase kollabiert. Das Wasser wird hierbei erneut auf die Armatur schlagen. Dabei können Schäden an Leitung und Rohrhalterungen entstehen. Vermeiden lässt sich dies durch ein langsames Öffnen und Schließen des Absperrorgans.

## Auftreten in Abgasanlagen

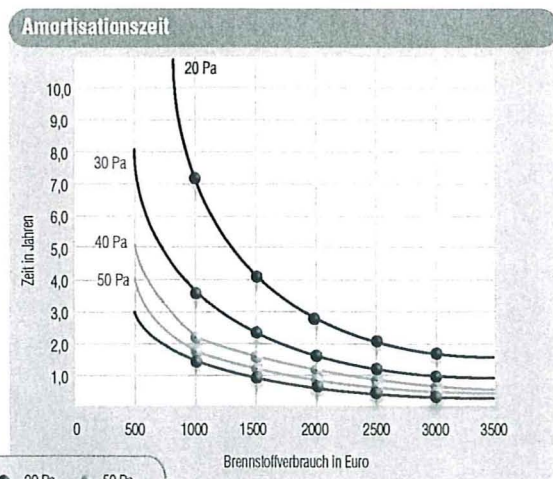
Grundsätzlich tritt der Joukowski-Stoß häufiger bei flüssigen Medien auf, da sie im Vergleich zu Gasen über ein deutlich geringeres Kompressionsmodul verfügen. In Abgasanlagen wurden bislang drei verschiedene Szenarien beobachtet:

1. Der Joukowski-Stoß kann durch eine plötzliche Druck-erhöhung (z. B. Verpuffung) mit anschließender Druck-erniedrigung einhergehen.
2. Der Druckstoß folgt auf eine zu abrupte Abschaltung des Brenners. Ursache könnte z. B. ein technischer Defekt oder auch ein simpler Stromausfall sein.
3. Auch durch extrem schnelles Schließen der Zuluftklappen des Brenners kann der Joukowski-Stoß verursacht werden.

Am häufigsten treten die unter 2. und 3. genannten Vorgänge auf, oft sogar in direkter Kombination. Der Brenner wird binnen eines Augenblicks abgeschaltet, praktisch gleichzeitig schließen sich die Zuluftklappen. Die heiße Abgasanlage sowie die kinetische Energie des im Augenblick zuvor noch strömenden Abgases sorgen dafür, dass das Abgas noch weiter strömen möchte. Über den Kessel wird der Abgasanlage aber kein weiteres Abgasvolumen mehr zugeführt. Dieser Umstand führt dazu, dass das Abgas hinter dem Kessel bzw. in der Schornsteinanlage stark abgebremst wird und an dieser Stelle ein möglicherweise unzulässig großer Unterdruck entsteht. Dieser Unterdruck kann so stark sein, dass die Abgasrohre an dieser Stelle kollabieren und die Abgasanlage beschädigt oder irreparabel zerstört wird.

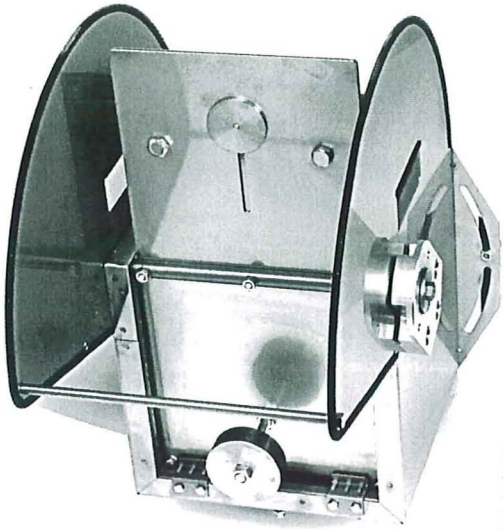


Die Behebung solcher Schäden erfordert in der Regel eine ungeplante (Teil-)Investition in eine Neuanlage. Mögliche Ausfallzeiten können die Kosten erhöhen. (Schadensbilder Joukowski-Stoß)

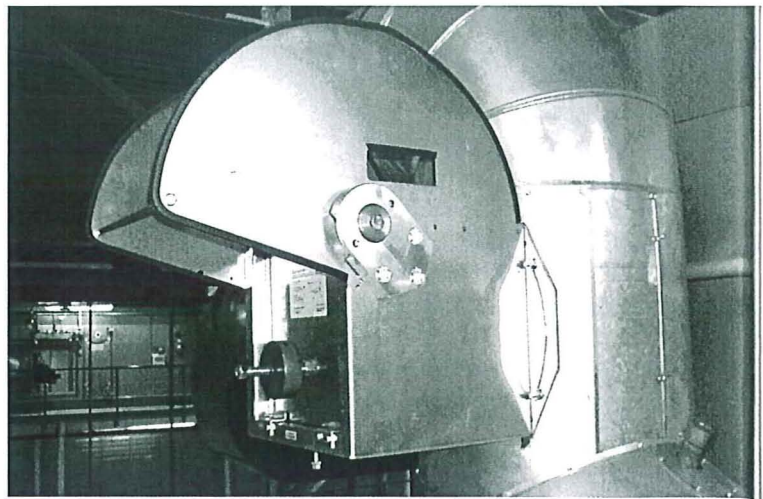


Amortisationszeit von Zugbegrenzern in Abhängigkeit von Brennstoffverbrauch und durchschnittlichem Unterdruck

Amortisationszeiten von Zugbegrenzern in Abhängigkeit vom Schornsteinzug und dem Brennstoffverbrauch.



Für Großanlagen wurde der ZUK 250 SG entwickelt.



Einbaubeispiel für den ZUK 250 SG: Die Anlage hat eine Kesselleistung von ca. 900 kW, der Durchmesser der Verbindungsleitung beträgt 350 mm, die wirksame Schornsteinhöhe etwa 23 Meter. Fotos und Grafiken: Kutzner + Weber, Maisach

Joukowski-Druckstöße in Schornsteinen mit Schamotterohren wurden schon wissenschaftlich untersucht, in Edelstahlrohren bislang nicht. Schäden treten jedoch vornehmlich in der Kombination von Kesseln größerer Leistung, einer Unterdruckabgasanlage mit einem Durchmesser größer als 300 mm, handelsüblichen Wanddicken von 0,4 bis 0,6 mm und einer größeren wirksamen Schornsteinhöhe auf. Je größer diese Parameter sind, desto stärker ist auch die Intensität dieses Effektes. Aber auch bei Abgasanlagen, die gemäß Berechnung im Überdruck betrieben werden, kann ein Druckstoß auftreten.

### Lösung: Nebenluftereinrichtung

Vermeiden lassen sich Schäden dieser Art durch die Verwendung einer geeigneten Nebenluftvorrichtung nach DIN 4795, welche bei schlagartigen Regelvorgängen selbst nicht beschädigt wird – zum Beispiel die schlaggedämpfte Nebenluftvorrichtung ZUK 250 SG des Abgastechnikspezialisten Kutzner + Weber. Dieses Bauteil dient in Großanlagen dem sofortigen Druckausgleich. Die hydraulische Dämpfung bewirkt, dass die Nebenluftvorrichtung – auch Zugbegrenzer genannt – selbst durch extreme Öffnungs- und Schließvorgänge nicht beschädigt wird. Zusätzlich ist in diesem Bauteil eine Überdruckklappe integriert. Sie gewährleistet im Falle einer Verpuffung den sofortigen Druckabbau. Nebenluftvorrichtungen dieser Art sind jedoch nur in Unterdruckabgasanlagen zulässig.

Ein zusätzlicher Vorteil beim Einsatz eines richtig dimensionierten Zugbegrenzers ist der konstante Unterdruck am Feuerstättenstutzen während des normalen Betriebes, der eine gleich bleibende Verbrennungsqualität garantiert. Damit gehen niedrigere Emissionen sowie eine messbare Energieeinsparung einher, sodass sich eine Nebenluftereinrichtung in ein bis drei Heizperioden amortisiert – je nach Nutzungscharakteristik und Anlagenkonstellation. In der Praxis ergeben sich Einsparungen von bis zu 5 %.

Nicht berücksichtigt wurde bei der bisherigen Betrachtung, dass eine Nebenluftereinrichtung das Risiko einer Kesselstörung reduziert. Wird der Kessel zum Beispiel für Prozesswärme genutzt, kann der Produktionsausfall schnell die Kosten des notwendigen Kundendienstes übersteigen. In Wohnanlagen muss im besten Fall mit unzufriedenen Nutzern gerechnet werden.

### Fazit: Sichere und wirtschaftliche Abgasanlage

Mit Hilfe einer langlebigen und robusten Nebenluftereinrichtung lässt sich das Schadensrisiko für die Abgasanlage minimieren und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit erhöhen. Die mechanische Beanspruchung wird begrenzt und Druckschäden durch den Joukowski-Stoß vermieden. Sicherheit und Wirtschaftlichkeit gehen dabei Hand in Hand (Bilder Kutzner&Weber).

#### Definition Druckstoß (Hydraulischer Stoß) (Englisch: pressure surge)

Verdichtungsstoß im Druckmedium (Flüssigkeit oder Luft) durch Freiwerden der kinetischen Energie, wenn der Volumenstrom schlagartig zum Stillstand kommt, z. B. durch Schließen eines Ventils. Die so entstehende Druckwelle (Räumliche Ausbreitung einer Druckänderung) wird an der nächsten Rohrkrümmung reflektiert und läuft zurück. Der größtmögliche Stoß entsteht, wenn die Schließzeit  $t_s$  kleiner ist als die Laufzeit  $t_L$  der Welle (Joukowski-Stoß):

$$\Delta p_1 = \rho a \cdot v$$

Dieser Druckstoß erhöht sich entsprechend, wenn außer der Flüssigkeitssäule noch die kinetische Energie der Masse abgebremst werden muss.