

Abgabefeld	Chemie	Pharma	Raumfahrt
✓	✓	✓	✓
Planer	Betreiber	Forschung	Manager
✓	✓	✓	✓



Auch in der industriellen Gaserzeugung können thermoakustische Instabilitäten entstehen und die Anlagensicherheit gefährden

Bild: foto la.com

GEFÄHRLICHE RESONANZ

Thermoakustik in Rohrleitungen Die Wärmezufuhr zum Beispiel eines Wärmeübertragers kann in einer Rohrleitung eine Gassäulenschwingung erzeugen und durch den phasenverschobenen Energie-Eintrag eine Art thermoakustische Instabilität entstehen. Stimmen akustische und mechanische Resonanzfrequenz überein, kann das zu kritischen Anlagenschwingungen führen. Aus einer Pulsationsstudie lassen sich Maßnahmen ableiten, um diese Gefährdung zu vermeiden oder zu reduzieren.

Schwingungen an gasführenden Rohrleitungen lassen sich häufig von außen optisch oder auch akustisch erkennen. Zu einer Gefährdung hinsichtlich der Anlagensicherheit kommt es in der Regel jedoch erst dann, wenn die Frequenz der Gassäulenschwingung und der strukturellen Rohrleitungseigenfrequenz übereinstimmen. Das Phänomen der akustischen Resonanz ist länger bekannt.

Unklar war bisher, warum in Abhängigkeit der Gaserwärmung durch den Wärmetauscher erhöhte Druckpulsationen auftreten. Dies konnte jetzt auf eine thermoakustische Instabilität zurückgeführt werden. Dabei tritt durch die lokale Wärmezufuhr im Wärmetauscher eine Druckschwankung auf, die sich durch die Reflexionen im weiterführenden Rohrleitungssystem, zum Beispiel am Druckregler, zu einer akustischen Resonanz aufbauen kann. Um diese Phänomene beziehungsweise deren Folgen zu vermeiden, lassen sich Maßnahmen wie zusätzliche Rohrleitungsabstützungen oder Pulsations-Dämpferplatten einsetzen.

können sich durch ungünstige Überlagerung von einfallenden und reflektierten Wellen akustische Resonanzen ausbilden. Die mit der akustischen Resonanz verbundenen Druck- und Volumenschwankungen führen an Rohrleitungsbögen und Querschnittsänderungen zu Wechsellasten, die als Schwingungsanregung auf die Rohrleitungsstruktur wirken. Der sich einstellende Verlauf der Druck- und Geschwindigkeitsschwankung ist dabei abhängig von der geometrischen Rohrleitungslänge zwischen den Reflexionsstellen sowie den akustischen Randbedingungen.

Autoren

Dr.-Ing. Johann Lenz (Bild),
Kötter Consulting Engineers
Prof. Dr.-Ing. Andreas Brümmner,
TU Dortmund, FG Fluidtechnik



Akustische Grundlagen

Akustische Wellen werden in Rohrleitungen beispielsweise an Einbauten oder Querschnittsprüngen reflektiert. Es

Rohrleitungsschwingungen in der Praxis auf den Grund gehen

In einer Gasdruckregelstation (GDRM) führte Kötter Consulting Engineers wegen auffälliger Rohrleitungsschwingun-

gen eine messtechnische Untersuchung durch. Dabei wurde deutlich, dass die Rohrleitungsschwingungen mit den Druckpulsationen korrelieren. Die gemessene dominante Schwingungsfrequenz beträgt 18 Hz. Die zeitgleich an verschiedenen Orten erfassten Druckschwankungen verlaufen genau gegenphasig. Die mit dieser akustischen Resonanz verbundenen Druck- und Volumenstromschwankungen führen an Rohrleitungsbögen und Querschnittsänderungen zu Wechsellasten, die als Schwingungsanregung auf die Rohrleitungsstruktur wirken. Mit steigender Vorlauftemperatur des Wärmetauschers – bei ansonsten unveränderten Anlagenbedingungen – werden die Druckschwankungen und damit auch die Rohrleitungsschwingungen stärker. Darüber hinaus zeigt sich, dass für den Rohrleitungsabschnitt im Bereich der Druckmesspunkte bei 19 Hz eine strukturmechanische Eigenfrequenz liegt. Dadurch werden die bei 18 Hz durch die akustische Resonanz angeregten Rohrleitungsschwingungen entsprechend weiter verstärkt.

Schwingungsanregung durch Wärmeübertrager

Aus der Energietechnik ist bekannt, dass Verbrennungsvorgänge auf unterschied-

liche Weise mit akustischen Phänomenen in Wechselwirkung treten. Bei solchen Verbrennungsschwingungen kann es zur Rückkopplung zwischen Wärmeübertragung und Systemakustik kommen. Als hinreichendes Kriterium für das Auftreten einer thermoakustischen Instabilität gilt die Kopplung zwischen der instationären Wärmemengenschwankung und der akustischen Druckschwankung. Den Zusammenhang beschreibt das Rayleigh-Integral oder der Rayleigh-Index R . Dabei ist die Wärmemengenschwankung q' proportional der akustischen Geschwindigkeitsschwankung v mit einem Phasenverzug. Je nach Vorzeichen des Rayleigh-Index kommt es zu einer Anfächung oder zu einer Dämpfung der Gassäulenschwingung und damit der akustischen Resonanz.

Übertragen auf eine GDRM-Station in der Praxis bestätigt sich, dass der Ort der möglichen Anfächung einer thermoakustischen Instabilität und die tatsächliche Einbauposition des Wärmetauschers durchaus übereinstimmen können. In der untersuchten Anlage war diese geometrische Übereinstimmung gegeben.

Mögliche Minderungsmaßnahmen

Prinzipiell bestehen verschiedene Möglichkeiten, das Auftreten von thermoakustischen Instabilitäten zu reduzieren

ENTSCHEIDER-FACTS

Für Betreiber und Planer

- In Verbindung mit Wärmequellen, die Druckschwankungen erzeugen, können sich in Rohrleitungen thermoakustische Resonanzen aufbauen.
- Unter ungünstigen Randbedingungen kann das zu kritischen Anlagenschwingungen führen.
- Beim Neubau von Anlagen kann im Rahmen einer Pulsationsstudie durch gezielte Positionierung der Wärmequelle, z. B. Wärmetauscher, das Anfachen der selbsterregten Schwingungen von vornherein unterbunden werden.
- Bestehende Anlagen lassen sich nach einer Pulsationsstudie mit geeigneten strukturmechanischen oder akustischen Maßnahmen ausrüsten.

oder zu vermeiden. Bei Neuanlagen kann durch gezielte Positionierung der Wärmetauscher im Rahmen einer Pulsationsstudie unter Berücksichtigung des jetzigen Kenntnisstandes das Anfachen selbsterregter Schwingungen direkt unterbunden werden. Alternativ können Positionen zum gezielten Einsatz von Dämpfungsgliedern im Gasstrom (zum Beispiel Pulsations-Dämpferplatten) berechnet und für den praktischen Einsatz ausgelegt werden.

Bei bestehenden Anlagen wird empfohlen, dort, wo im Laufe eines Jahres sehr unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich des Volumenstromes und Differenzdruckes vorherrschen, eine theoretische Überprüfung möglicher Anfachungsmöglichkeiten von thermoakustischen Instabilitäten durchführen zu lassen. Werden bei dieser Pulsationsstudie mögliche Anzeichen für das Auftreten von selbsterregten Schwingungen festgestellt, sollte eine messtechnische Erfassung der Akustik und der Strukturdynamik für ausgesuchte Betriebspunkte durchgeführt werden. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse können dann strukturmechanische Maßnahmen wie zusätzliche Rohrleitungsabstützungen oder akustische Maßnahmen wie Pulsations-Dämpferplatten eingesetzt werden. ■

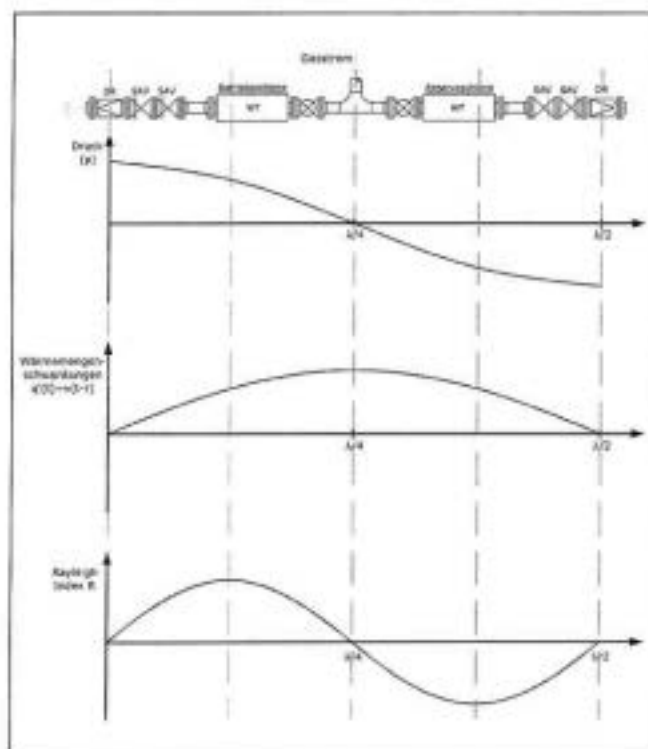


Bild: Kötter Consulting Engineers

Qualitative Darstellung der akustischen Druckschwankung p , der Wärmemengenschwankung q' in Abhängigkeit der Position der Wärmequelle und des Rayleigh-Index R für die Bedingung in einer GDRM-Station

KONTAKT www.chemietechnik.de

Weitere Infos

CT 619