

Baumusterprüfung von Druckentlastungselementen im Modellmaßstab

Die BGN hat eine Methode entwickelt, Baumusterprüfungen bei Druckentlastungselementen sehr großer Dimension durchzuführen. Dadurch ist es nun auch für solche Druckentlastungselemente möglich, den vom Gesetzgeber geforderten experimentellen Nachweis der Funktionstüchtigkeit zu erbringen. Dies erhöht die Sicherheit bei bereits bestehenden Anlagen und eröffnet neue Möglichkeiten für Konstrukteure neuer Anlagen.

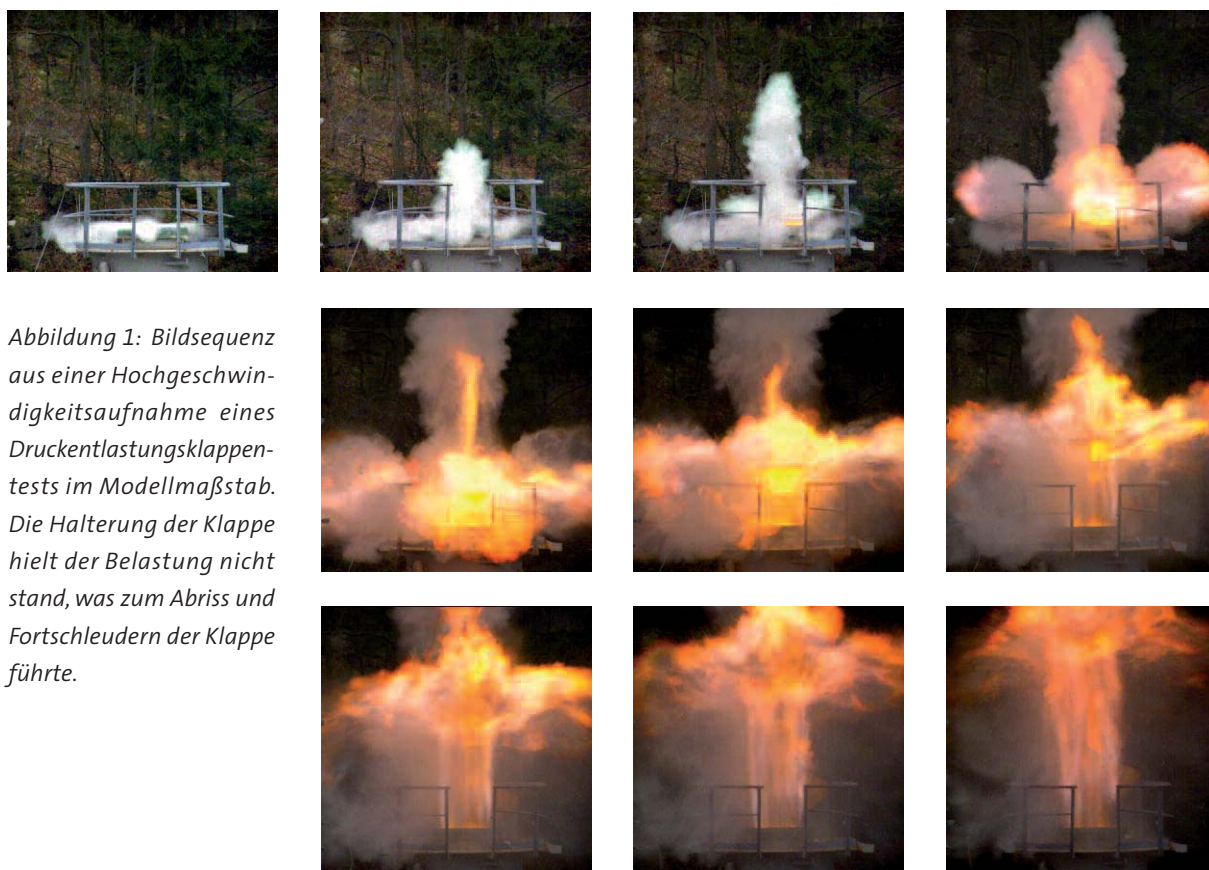


Abbildung 1: Bildsequenz aus einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme eines Druckentlastungsklappen-tests im Modellmaßstab. Die Halterung der Klappe hielt der Belastung nicht stand, was zum Abriss und Fortschleudern der Klappe führte.

In der Nahrungsmittelindustrie gehört die Verarbeitung brennbarer Stäube zum täglichen Geschäft. Aufgrund ihrer Brennbarkeit besteht deshalb an Anlagen Explosionsgefahr, wo diese Stäube aufgewirbelt und gleichzeitig Zündquellen nicht ausgeschlossen werden können und wo Luft oder Sauerstoff vorhanden ist. Deshalb müssen an sol-

chen Anlagen Explosionsschutzmaßnahmen ergriffen werden.

Eine mögliche Methode ist dabei der konstruktive Explosionsschutz, der beispielsweise durch die Verwendung sogenannter Druckentlastungselemente umgesetzt werden kann. Dabei wird in die Außenwand des zu schützenden Behälters oder Ge-

bäudes eine Sollbruchfläche integriert, die bei Überschreiten eines definierten Innendruckwertes freigegeben wird. Diese Sollbruchflächen werden durch Druckentlastungsklappen oder Berstscheiben, zusammenfassend Druckentlastungselemente genannt, realisiert.

Das Problem: zu groß für das Experiment

Druckentlastungselemente müssen das Baumusterprüfverfahren durchlaufen, bevor sie als Explosionsschutzeinrichtungen in konkreten Anwendungsfällen zugelassen werden (gemäß ATEX 94/9/EG-Richtlinie). Die eigentliche Baumusterprüfung muss experimentell durchgeführt werden, zum Beispiel auf dem Versuchsfeld der BGN in Kappelrodeck.

In letzter Zeit stand die BGN vermehrt vor dem Problem, Druckentlastungselemente prüfen zu wollen, aber nicht zu können, weil die Elemente von so großer Dimension waren, dass eine experimentelle Prüfung auf dem Versuchsfeld in Kappelrodeck mit den dortigen Mitteln unmöglich war. Die Verwendung kleinerer Druckentlastungselemente an den Anlagen war in der Regel ebenfalls nicht möglich aufgrund der dortigen baulichen Gegebenheiten.

Die geforderten Baumusterprüfungen können auf dem Versuchsfeld der BGN in Kappelrodeck durchgeführt werden

Die Lösungsmethode: das Modell

Verschiedene Forschungsgebiete unterscheiden sich oft stark durch die bearbeiteten Themen, zuweilen haben aber alle mit dem gleichen Problem zu tun: Zu große Dimension, um experimentell arbeiten zu können. In solchen Fällen verlegt man sich auf Experimente im Modellmaßstab.

Bei der Verkleinerung der realen Verhältnisse in den Modellmaßstab ist es wichtig, dass die Vorgänge in der Natur im Modell physikalisch richtig wie-

dergegeben werden. Andernfalls ist es nicht möglich, die Ergebnisse aus den Modellversuchen auf die realen Verhältnisse zu übertragen.

Damit die Vorgänge im Modell richtig wiedergegeben werden, ist eine Ähnlichkeit zwischen Modell und Natur notwendig. Diese Ähnlichkeit erfordert zuerst einmal geometrische Ähnlichkeit. Darüber hinaus müssen die beiden Systeme – Modell und Natur – aber auch dynamisch ähnlich sein.

Das Modell muss geometrisch, aber auch dynamisch der Natur ähnlich sein.

Verkleinern, aber wie?

Damit ein Modell dynamisch ähnlich zu den realen Verhältnissen ist, muss zunächst geometrische Ähnlichkeit herrschen. Das bedeutet, dass alle Längen um den Verkleinerungsfaktor q geschrumpft werden müssen. Wenn Längen um q schrumpfen, dann müssen Flächen um q^2 und Volumina um q^3 verkleinert werden.

Geometrische Ähnlichkeit alleine ist aber nicht hinreichend, um dynamische Ähnlichkeit zu erreichen. Um diese zu erzielen, muss gewährleistet sein, dass alle Kräfte im richtigen Maßstab verkleinert werden bzw. die Kräfteverhältnisse zueinander nicht verändert werden.

Statische und dynamische Kräfte müssen sich beim Verkleinern mit dem Faktor q^2 verändern. Eine Ausnahme ist die Gravitationskraft, welche mit q^3 schrumpft. Wenn die Kräfte mit q^2 bzw. q^3 schrumpfen, dann verändern sich auch die Zeitspannen, die physikalische Vorgänge im Modell benötigen. Im Modell laufen die physikalischen Vorgänge q -mal schneller ab als unter realen Verhältnissen.

Andere mechanische Größen wie Druck, Spannung oder Geschwindigkeit ändern sich bei der Transformation in den Modellmaßstab. In der nachfolgenden Tabelle sind die Umrechnungsfaktoren für verschiedene relevante physikalische Größen zusammengefasst

Größe	Länge	Fläche	Volumen	Geschwindigkeit	Beschleunigung	Kraft
Faktor	q	q^2	q^3	1	q^{-1}	q^2

Größe	Gravitationskraft	Druck	Druckanstiegsgeschw.	Spannung	Temperatur	Zeit
Faktor	q^3	1	q^{-1}	1	1	q

Tabelle 1: Physikalische Größen und zugehörige Umrechnungsfaktoren, die bei einer Verkleinerung in den Modellmaßstab angewandt werden müssen, damit dynamische Ähnlichkeit zwischen Modell und Realität herrscht.

Erste Erfahrungen liegen vor

Im Jahr 2008 wurden zwei Baumusterprüfungen von Druckentlastungsklappen im Modellmaßstab auf dem Versuchsgelände Kappelrodeck durchgeführt. In beiden Prüfungen wurde festgestellt, dass die vorgesehene Klappenkonstruktion nicht funktionierte, ja sogar gefährlich war und zur Zerstörung der Anlagen im Explosionsfall geführt hätte.

Dies war eine sehr wichtige Erkenntnis, da in länger zurückliegenden Zeiten ähnliche Konstruktionen mangels besseren Wissens gelegentlich ohne Baumusterprüfung zugelassen wurden.

Mit den bei den Prüfungen gewonnenen Messdaten wurden theoretische Modellrechnungen durchgeführt, um zu verifizieren,

Erste Baumusterprüfungen am Modell zeigen: Explosionsgefahr wäre groß gewesen. Weitere Experimente folgen.

ob dynamische Ähnlichkeit bei den Modellversuchen gegeben war. Dies lässt sich relativ einfach prüfen, indem man die Zeitspannen miteinander vergleicht, die die Vorgänge im großen und kleinen Maßstab benötigen.

Wenn sich – zumindest annähernd – der Faktor q ergibt, kann dynamische Ähnlichkeit angenommen werden. Um ganz sicher zu gehen, dass tatsächlich dynamische Ähnlichkeit bei Baumusterprüfungen von Druckentlastungselementen vorherrscht, werden derzeit einschlägige Experimente auf dem Versuchsfeld der BGN in Kappelrodeck durchgeführt.

Bei positivem Ausgang der Experimente ist dann neben dem schon erfolgreich erbrachten theoretischen Nachweis auch experimentell bewiesen, dass diese neue Art der Baumusterprüfung uneingeschränkt zulässig ist.