

Auf Nummer sicher

Fluid-System-Simulation für die sicherheitstechnische Berechnung von Rohrleitungssystemen

Störfälle in verfahrenstechnischen Anlagen verursachen nicht nur Stillstandszeiten und Kosten, sondern können zu schwerwiegenden Umweltschädigungen und Gefährdungen führen. Sicherheitstechnische Präventivmaßnahmen sind deshalb für Planer und Betreiber unumgänglich. Die Prozess- und Anlagen-Ingenieure bei der Siemens AG setzen bei sicherheitstechnischen Untersuchungen und Berechnungen verstärkt die Computersimulation ein. Die strömungstechnischen und thermischen Verhältnisse in Rohrleitungssystemen werden dabei mit dem 1D-CFD-Programm Flowmaster simuliert.



Ulrich Feldhaus ist freier Autor aus Erkrath mit den Themenschwerpunkten Simulation und PLM.

Frank Westphal ist ausgebildeter Chemieingenieur und für sicherheitstechnische Berechnungen bei der Siemens AG in Frankfurt am Main zuständig. Zusammen mit vier Mitarbeitern sorgt er dafür, dass die von den Anlagenplanern vorgesehenen Sicherheitseinrichtungen auch tatsächlich ihren Zweck erfüllen. Einer der Schwerpunkte ist dabei die Computersimulation strömungsmechanischer und thermischer Effekte in Rohrleitungssystemen.

Von der Berechnung der Reakti-



Abb. 1: Dr.-Ing. Frank Westphal ist bei der Siemens AG in Frankfurt am Main für sicherheitstechnische Berechnungen zuständig

onskräfte auf eine Rohrhalterung bis hin zu Untersuchungen des Schließverhaltens von Sicherheitsventilen reicht das Aufgabengebiet, das nicht nur ein umfassendes Verständnis der strömungsmechanischen Zusammenhänge voraussetzt, sondern auch Kenntnisse in

Anlagenbau und Prozesstechnik verlangt.

Erfahrene Mannschaft unter neuer Flagge

Das aus Chemikern, Verfahrenstechnikern, Ingenieuren und Automatisierern bestehende Team Process & Plant Engineering, entwickelte sich aus der ehemaligen Hoechst AG, ist im Industriepark Höchst beheimatet und seit 2000 ein Teil des Siemens-Konzerns.

Entsprechend hoch ist das Knowhow des Teams, das dafür Sorge zu tragen hat, dass die ablaufenden Prozesse auch industriell beherrschbar sind. Von chemischen Reaktionen und thermischen Trennverfahren bis hin zu Prozesssicherheit und Umweltschutz müssen alle bei Planung und Betrieb auftretenden Eventualitäten berücksichtigt werden.

Prozesssicherheit wird groß geschrieben

Vorbeugende Sicherheitsmaßnahmen sind trotz umsichtigster Planung von Prozessen und Anlagen unverzichtbar und das Arbeitsfeld der Prozess-Sicherheit-Experten in Frankfurt am Main und der darin integrierten Sicherheitstechnischen Berechnung. Die

Aufgabenstellungen der Spezialisten decken alle sicherheitsrelevanten Aspekte der Prozesstechnik und des Anlagenbaues ab, angefangen von der Bestimmung und Bewertung sicherheitstechnischer Kenngrößen und sicherheitstechnischen Berechnungen bis hin zu Sicherheitsbetrachtungen, Auditprojekten und Unfallanalysen.

In den mit allen (sicherheits-)technischen Einrichtungen ausgerüsteten Laboren werden Reaktionen beurteilt, es wird herausgefunden, wie Explosionsgefahren entstehen und wie Explosionen vermieden werden können, oder es Explosionskenngrößen und die thermische Stabilität von Stoffen werden ermittelt.

Man versteht sich als Dienstleister rund um Prozess-Sicherheit, der zwar auch die eigenen Ingenieure von Siemens bei deren Engineering-Projekten unterstützt. Überwiegend werden hier Projekte für externe Unternehmen weltweit abgewickelt – im vergangenen Jahr waren es immerhin fast 1.500.

Sicherheitstechnische Berechnungen

Allzu konservative Annahmen und eine unnötig großzügige Dimensionierung von Bauteilen kann sich ein Anlagenbauer heute nicht mehr erlauben. Denn auch wenn

Sicherheit groß geschrieben wird, müssen die notwendigen Maßnahmen kostengünstig realisierbar sein.

Ganz wesentlich trägt dazu ein zielgerichteter Entwicklungsprozess bei, bei dem so früh wie möglich alle sicherheitsrelevanten Aspekte berücksichtigt werden, denn jede nachträgliche Änderung bedeutet Mehraufwand. Wie auch in anderen Bereichen gilt deshalb in der Sicherheitstechnik der Leitsatz Right the First Time.

Zwar lassen sich viele Aufgabenstellungen versuchstechnisch abbilden. Immer mehr rücken jedoch Berechnungsprogramme in den Vordergrund, mit denen sich physikalische und chemische Abläufe früher, schneller und kostengünstiger simulieren lassen und ohne großen Zusatzaufwand unterschiedliche Konfigurationen untersucht werden können. Hinzu kommt, dass vielfältige Möglichkeiten der Ergebnisauswertung ein tieferes Verständnis der Zusammenhänge fördern und so eine Wissensbasis aufgebaut wird, die bei zukünftigen Projekten genutzt werden kann.

Die Experten, die Sicherheitstechnische Berechnungen bei Siemens durchführen, befassen sich dabei mit unterschiedlichsten Aufgabenstellungen wie:

- Auslegung, Prüfung und Dokumentation von Sicherheitsventilen und Berstscheiben

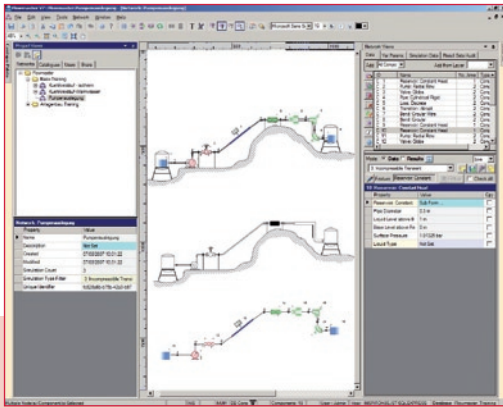


Abb.2: die graphische Oberfläche von Flowmaster kombiniert eine leichte und intuitive Bedienung mit hoher Informationsdichte

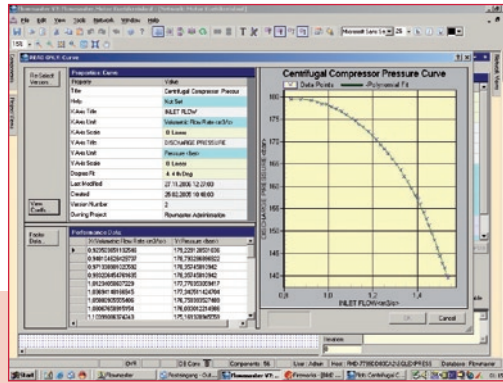


Abb.3: Komponenten-Eigenschaften können in Flowmaster individuell definiert oder modifiziert werden

- Konzipieren und Auslegen von Rückhaltesystemen
- Analyse und Optimierung der dynamischen Vorgänge in Rohrleitungssystemen

Expertise in der Strömungssimulation

Speziell bei der Untersuchung der strömungsmechanischen und thermischen Effekte in Rohrleitungssystemen hat die Simulation ihren Nutzen bewiesen, etwa wenn es um das dynamische Verhalten sicherheitsrelevanter Bauelemente geht. Zwar werden dazu unterschiedlichste Berechnungsprogramme eingesetzt, das „Arbeitspferd“ jedoch ist seit Anfang der 90er Jahren das zur Fluid-System-Simulation CFD-Programm Flowmaster des gleichnamigen Anbieters.

Im Gegensatz zu 3D CFD-Lösungen, die ein auf CAD-Daten basierendes detailliertes 3D-Berechnungsmodell benötigen, wird in sogenannten CFD-Programmen wie Flowmaster mit schematisierten Modellen von Leitungssystemen gearbeitet. Das Verhalten einzelner Komponenten wie z.B. Pumpen, Ventile, Rohrleitungen etc., wird über physikalische Gleichungen oder über Kennfelder beschrieben. Alternativ können die Berechnungsparameter in Form von Kenndaten und -feld-

ern der Hersteller übernommen oder in eigenen Berechnungen und Versuchen ermittelt werden. Siemens hat beispielsweise die vorhandenen Bibliotheken um Sicherheits- und Schnellschlussventile ergänzt.

Durch die einfache Modelldefinition können auch komplexe Rohrleitungsnetze schnell und einfach generiert werden. Äußerst kurze Berechnungszeiten in der Größenordnung weniger Minuten erlauben die Berechnung zahlreicher Varianten und so die ausgereifte Konzeption auch komplexer Leitungssysteme einschließlich steuerungs- und regelungstechnischer Vorgänge in einer sehr frühen Projektphase.

Vielfältige Aufgabenstellungen

Unter dem Oberbegriff „Sicherer Betrieb von Rohrleitungen“ verbirgt sich, von der Simulation stationärer Fluidströmungen bis hin zu instationären Strömungen kompressibler Medien, eine breite Palette von Anwendungen. Neben der Optimierung von Rohrleitungsnetzwerken sind vor allem die Berechnung von Druckstößen sowie die Betrachtung von Störauswirkungen und Beschreibung von Störszenarien (Ausbreitungsberechnungen etc.) das Aufgabengebiet der Berechnungs-Experten.

Druckstöße – auch in der Prozesstechnik ein Problem

Die Absicherung gegen Druckstöße, in der Kraftwerkstechnik oder bei Fernrohrleitungen fester Bestandteil der Auslegung, wird in der Prozessindustrie vielfach unterschätzt. Bei näherer Betrachtung ist jedoch eine Reihe von Schäden mit nicht unerheblichem Sachschaden oder Stoffaustritt genau auf diesen Effekt zurückzuführen.

Während bei kurzen Rohrleitungen und bei mit normaler Geschwindigkeit schließenden Ventilen Druckstöße keine Rolle spielen, sieht es beim schnellen Schließen eines Ventils in einer von Flüssigkeit durchströmten Rohrleitung ganz anders aus.

Vor dem Ventil entsteht durch die Verzögerung der Flüssigkeit ein Druckimpuls, der sich mit der Schallgeschwindigkeit gegen die ursprüngliche Strömungsrichtung ausbreitet. Am Ende der Rohrleitung wird der Impuls reflektiert: An einem „offenen Ende“ (z.B. offener Behälter) kehrt sich das Vorzeichen des Impulses um. Aus einem Druckimpuls wird so ein Unterdruckimpuls, der sich auf seinem Weg zurück zum Ventil mit dem ursprünglichen Druckimpuls überlagert und diesen tilgt. Die maximale Druckstoßhöhe tritt daher nur auf, wenn der Ventilschließvorgang beendet ist, bevor

die tilgende Reflexion des Impulses wieder am Ventil eintrifft.

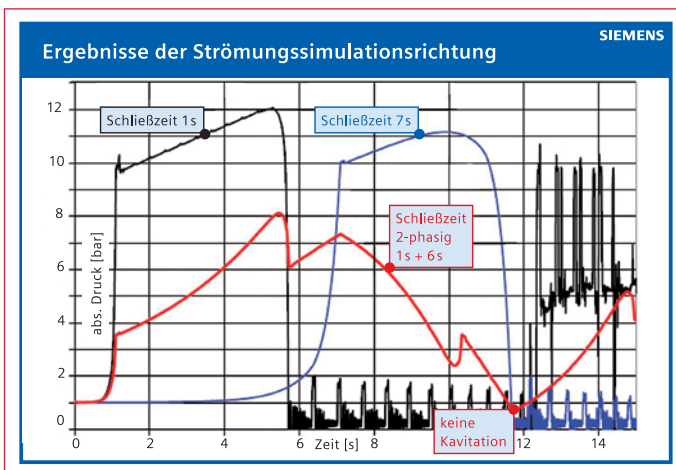
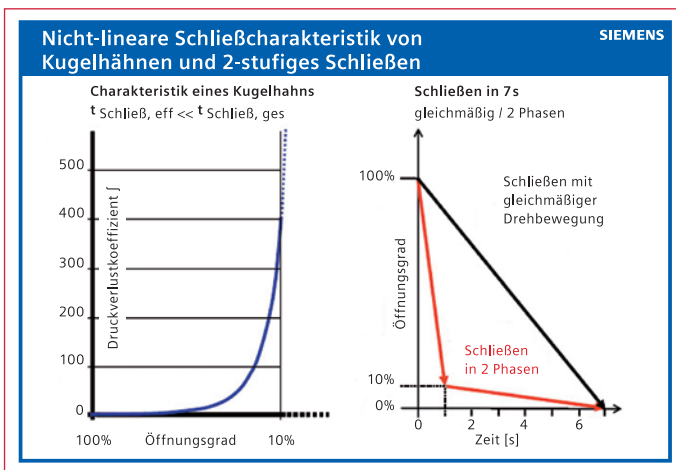
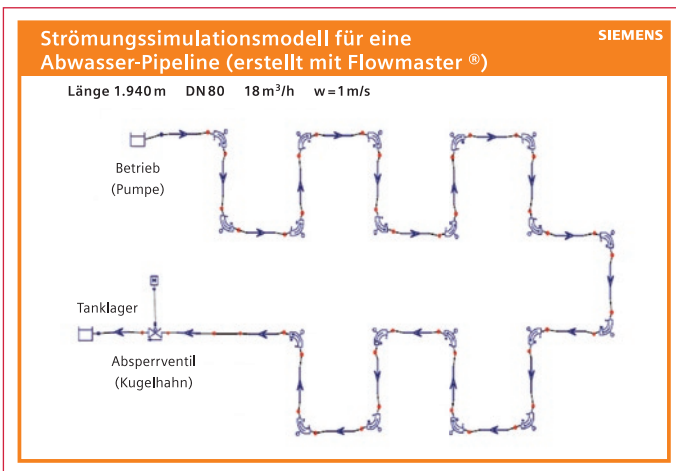
Hinter dem schließenden Ventil entsteht zur gleichen Zeit ein Unterdruckimpuls, der prinzipiell den gleichen Reflexionsvorgang wie der Druckimpuls durchläuft, nur mit umgekehrtem Vorzeichen und umgekehrter Laufrichtung. Allerdings wird der maximal erreichbare Unterdruck durch den Dampfdruck der Flüssigkeit begrenzt: Wird dieser unterschritten, entsteht eine Dampfblase („Kavitation“).

Beispiel für den Einsatz der dynamischen Strömungssimulation

Durch eine knapp zwei Kilometer lange Pipeline mit einem Durchmesser von 80 mm strömt Abwasser mit einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 1 m/s zu einem Tank. Der Druckstoß tritt auf, wenn der Kugelhahn am Ende der Pipeline geschlossen wird. Die Reflexionszeit des Druckimpulses beträgt ca. vier Sekunden. Um den Druckstoß zu vermeiden, wurden drei verschiedene Ventilschließgeschwindigkeiten untersucht.

Bei Schließen innerhalb von einer Sekunde mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit beträgt die berechnete Druckerhöhung durch den Druckstoß zirka 11 bar. Bei einer Schließzeit von sieben Sekunden reduziert sich der Spitzendruck durch die ausgeprägte nicht-lineare Charakteristik von Kugelhähnen nur geringfügig. Der

Das Programm Flowmaster des gleichnamigen englischen Unternehmens ist seit vielen Jahren führend im Bereich der Fluid-System-Simulation. Die Software ist ausgereift und universell einsetzbar. In über 20 Jahren wurde Flowmaster zu einer Lösung entwickelt, mit der führende Unternehmen, u.a. aus der Automobil-, Luftfahrt-, Schiffbau- und Prozessindustrie sowie dem Energiesektor, ihre hochkomplexen Aufgabenstellungen lösen.



eigentliche Druckanstieg findet innerhalb von nur einer Sekunde statt - und ist damit abgeschlossen, bevor die Reflexion des Druckimpulses eintrifft.

Es zeigte sich, dass erst durch ein zweistufiges Schließen der

Spitzendruck deutlich gesenkt werden kann, ohne die Ventilschließzeit in den Minutenbereich zu verlängern. Der Spitzendruck liegt dabei um ca. drei bar niedriger als bei einer gleichförmigen Schließbewegung gleicher Dauer.

Transparenz und einfache Anwendung

Die Akzeptanz eines Werkzeuges hängt neben der Ergebnisgenauigkeit ganz wesentlich von einer guten Integration in den Arbeitsprozess ab, und wie sich die Ergebnisse darstellen und weiter verarbeiten lassen.

Durch die weitgehende Orientierung an Windows-Standards ist die Einarbeitungsphase in Flowmaster äußerst kurz. Eine klar strukturierte Oberfläche ermöglicht eine leichte Modellerstellung, Komponentenauswahl und Parametereingabe, auch für Anwender, die nicht täglich mit dem Programm arbeiten.

Umfangreiche Bibliotheken mit Standardkomponenten gehören zum Lieferumfang und können vom Anwender problemlos erweitert werden. Das Programm bietet eine große Vielfalt an Darstellungsmöglichkeiten, die alle Bedürfnisse der Anwender abdeckt. Ergebnisse können zu Dokumentationszwecken problemlos in Office-Applikationen wie z.B. Word übernommen werden.

Fazit

Laut Frank Westphal sind es neben der Ergebnisgenauigkeit vor allem die einfache Anwendung und die kurzen Berechnungszeiten, die Flowmaster zu einem unverzichtbaren Werkzeug für sicherheitstechnische Berechnungen gemacht haben. Abgesehen von Mehrphasenströmungen, die in der verwendeten Flowmaster-Version noch nicht simuliert werden können, deckt die Lösung nahezu alle Bereiche der Strömungstechnik (und Thermodynamik) ab.

Inzwischen ist mit Flowmaster V7 eine neue Version am Markt, die man gerne implementieren möchte. Auch wenn sich mit der eingesetzten Version alle Aufgabenstellungen lösen lassen, versprechen u.a. eine vollständig überarbeitete Benutzeroberfläche und ein neues Datenbank-Konzept eine weitere Effizienzsteigerung.

Mit der Simulation lassen sich nicht nur aktuelle Aufgaben und Probleme schneller analysieren. Sie bietet darüber hinaus die Basis für ein tieferes Verständnis von Zusammenhängen und den Aufbau einer Wissensbasis, mit der sich zukünftige Aufgaben effizient und zuverlässig bearbeiten lassen, wovon die Kunden als von Siemens profitieren werden.

Das „Process & Plant Engineering“-Team der Siemens AG am Standort Frankfurt am Main bietet Unternehmen aus der Prozessindustrie maßgeschneiderte Lösungen - von der Verfahrensentwicklung über das Engineering und den Anlagenbau einschließlich der Automatisierung bis hin zur schlüsselfertigen Produktionsanlage.

www.siemens.com/sp

Kontakt

Flowmaster GmbH, Idstein
 Tel.: 06126/99700
 Fax: 06126/997055
henning.staufenberg@flowmaster.com
www.flowmaster.com