

Von A bis Z durchgerechnet

Berechnung von Anlagenkomponenten aus einer Hand: ein Praxisbeispiel

In Anlagenstrukturen findet sich häufig eine Vielzahl von Komponenten, die eine exakte Auslegung und Berechnung erfordern. CONVAL ist ein Softwarepaket, das den Betreibern und Planern von Anlagen an dieser Stelle die Arbeit erleichtern soll. Ein Beispiel aus der Praxis verdeutlicht die Einsatzmöglichkeiten.

ANDREAS VOGT

Eine Crackanlage soll mit Naphtha/LDF (liquid distilled fuel) versorgt werden. Selbst in dieser so einfach erscheinenden Aufgabenstellung sind schnell mehr als zehn Elemente enthalten, die ausgelegt oder berechnet werden müssen (siehe Bild 1). Eine Pumpe versorgt den Cracker aus dem 1450 m entfernt liegenden Tanklager mit 300 m³ LDF. Die verbindende Rohrleitung läuft über eine Rohrbrücke und kann bei einer Betriebsstörung durch ein Schnellschlussventil abgesperrt werden. Zum Schutz der Pumpen schreibt der Hersteller eine Mindestabgabemenge vor, welche ein Wirkdruckgeber ermittelt. Die Rohrleitung muss in Bezug auf Druckverluste optimiert werden. Hierfür sind Wandstärke und Kompensation sowie die Festpunktbelastungen zu bestimmen. Ein Sicherheitsventil schützt die Leitung gegen Thermalexpansion. Vor Eintritt in den Spaltöfen soll das LDF mittels Rohrbündelwärmetauscher auf 80 °C vorgewärmt werden. Anforderung der Crackanlage: Der Systemdruck im Eingang der Cracköfen darf 11 bar (absolut) nicht unterschreiten.

Dimensionierung der Rohrleitung

Um die richtige Pumpe und deren Antrieb einzusetzen, ist zunächst die Rohrleitung zu dimensionieren und das Re-

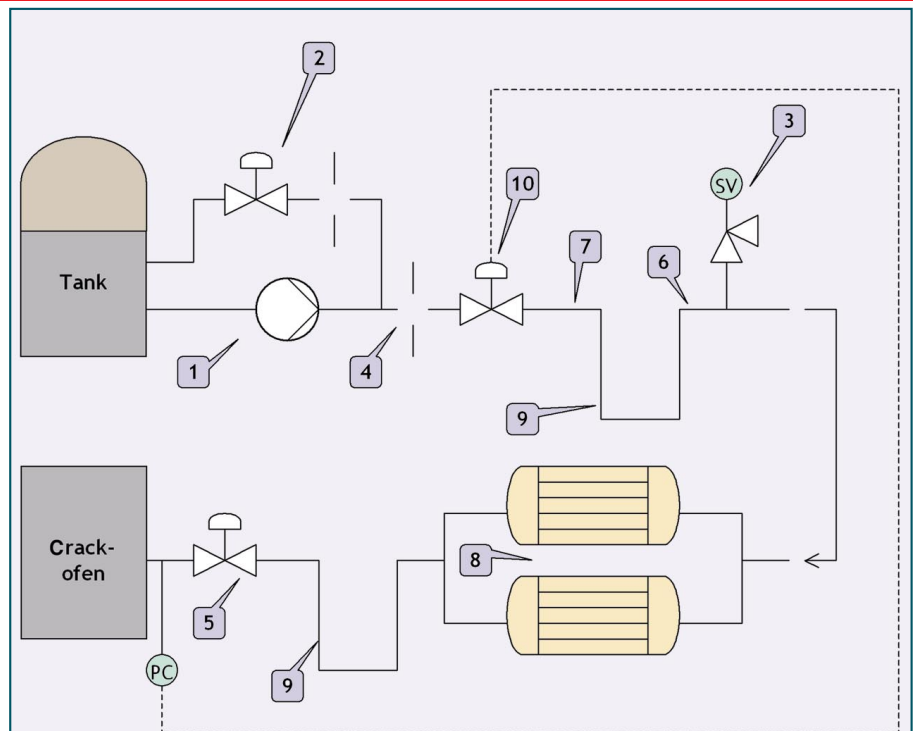


Bild 1: Vereinfachtes Schema der Crackanlage. Berechnet werden:

- (1) Pumpenmotorleistung, (2) Mindestmengenregelung, (3) Sicherheitsventil,
- (4) Messblende, (5) Schnellschlussventil, (6) Rohrwanddicke, (7) Rohrdurchmesser,
- (8) Wärmetauscher, (9) Kompensation und Festpunktbelastungen,
- (10) Druckregelung

Mehr als nur Berechnung

Das Anlagenbeispiel wurde mit CONVAL 5.0 berechnet und optimiert. Über die Berechnung und Optimierung hinaus ist das Softwarepaket in der Lage, die verwendeten und gewonnenen Daten mit CAE-Systemen, z.B. comos pt, oder anderen Anwendungen wie Access oder Excel auszutauschen. Es stellt alle Fähigkeiten zur Verfügung, um sich nahtlos in moderne IT-Umgebungen zu integrieren und lässt damit auch Aspekte wie Qualitätssicherung und Dokumentation nicht außer acht.

gelventil zur Druckhaltung auszuwählen. In die erste Berechnung soll mit einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von 1,5 m/s eingestiegen werden. Durch einfache Änderung der Nenn-durchmesser der Rohrleitung erhält man die Druckverluste und die daraus resultierende Verlustleistung (Tabelle). Aus wirtschaftlichen Erwägungen wird die Rohrleitung mit einem Durchmesser von 250 mm bei einem Druckverlust von 3,2 bar gewählt.

In die Berechnung und Optimierung des Stellventils wird mit einem praxis-nahen Wert $p_1 - p_2 = 2$ bar eingestiegen, und die Software ermittelt schnell die richtige Armatur.

Der Autor ist Geschäftsführer der F.I.R.S.T. GmbH, Wermelskirchen.

Der Auswahl der Pumpe steht damit nichts mehr im Weg. Die Berechnungen ergeben:

- 10,0 bar geforderter Vordruck am Crackofen,
- 3,2 bar Druckverlust der Leitung,
- 2,0 bar Druckverlust Regelventil,
- 3,0 bar Druckverlust Wärmetauscher,
- 0,2 bar bleibender Druckverlust an der Messblende.

Daraus resultiert ein erforderlicher Pumpendruck im Arbeitspunkt von 18,4 bar. Gewählt wird eine Pumpe mit einem Betriebspunkt von 350 m³ bei 19,3 bar. Der Hersteller dieser Chemienormpumpe fordert einen Mindestmengenförderstrom von 25% der Förderleistung als Pumpenschutz; das entspricht in diesem Beispiel 75 m³/h. Die Realisierung könnte über eine Lochscheibe erfolgen – eine zwar nicht elegante, aber einfache und funktionstüchtige Lösung. In Anbetracht der errechneten Verlustleistung von 44 kW, bezogen auf 8700 Betriebsstunden pro Jahr, verbietet sie sich jedoch. Außerdem würde ein Schalleistungspegel von 98 dB(A) Schallreduzierungsmaßnahmen erfordern. Infolgedessen wird ein Mindestmengenregelventil gewählt. Die Abgabemenge wird durch einen Wirkdruckgeber ermittelt.

Eine Eckblende wird den Anforderungen gerecht. Die Berechnung zeigt, dass sich der bleibende Druckverlust von 104 mbar in erträglichen Grenzen hält.

Eine weitere Anforderung ist die Vorwärmung des LDF über Rohrbündelwärmetauscher von 20 auf 80 °C. Als Heizmittel steht Quenchöl in ausreichender Menge zur Verfügung. Wie sieht solch ein Wärmetauscher aus? Welcher Durchmesser bei welcher Rohrbündellänge ist zu wählen, passt die Geometrie, wie lässt sich diese ändern und mit welchen Auswirkungen? Die Berechnung liefert alle nötigen Grunddaten ohne großen Aufwand (Bild 2).

Berechnung der Kompensation

Bisher sind für die Funktion des Systems zwar die Parameter bestimmt. Um die Anlage sicher betreiben zu können, fehlen jedoch noch wesentliche Komponenten: Auf einer vorhandenen Rohrbücke ist alle 100 m je ein Kompensationsbogen vorgesehen. Die Mindestausladlänge des Kompensationsbogens so-

Rohraussendurchmesser (20°C)	Da	25,0	mm
Rohrwandstärke (20°C)	s	2,0	mm
Anzahl der Gänge	nG	Zweigängig	
Eingabe	uR,nR...	nR	
Strömungsgeschwindigkeit	uR	0,2406	m/s
Anzahl der Rohre pro Gang	nR	500	-
Rohrbündellänge	l	4.766,0	mm
Minimaler Manteldurchmesser	D	910,89	mm

Bilder: F.I.R.S.T.

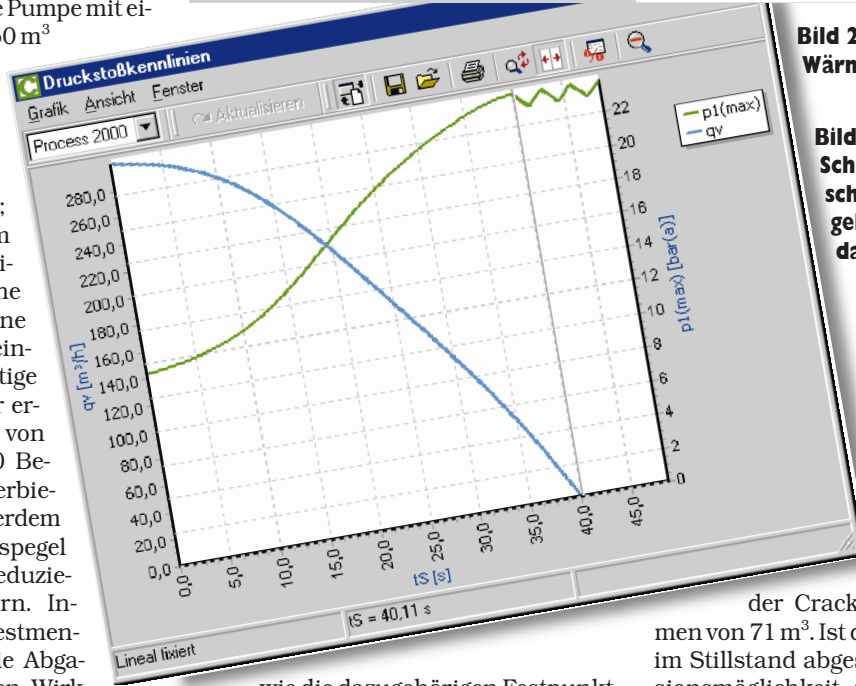


Bild 2: Berechnung des Wärmetauschers

Bild 3: Berechnung der Schließzeit des Schnellschlussventils: Das Ergebnis wird grafisch dargestellt.

wie die dazugehörigen Festpunktbelastungen müssen geprüft bzw. berechnet werden. Dazu muss die Rohrwanddicke bestimmt werden. Zu beachten ist, dass vor dem Vorwärmer mit einer Temperaturdifferenz von 40 °C (leere Leitung unter Sonneneinstrahlung) und nach diesem mit einer Temperaturdifferenz von mindestens 80 °C gerechnet werden sollte. Der Rohrdurchmesser DN 250 wurde bereits bei der Bestimmung des Druckverlustes festgelegt. Ergebnis: Die Rohrleitung muss eine Mindestwanddicke von 5,82 mm haben. Im Beispiel wird ein DIN-Rohr mit 7,1 mm gewählt. Dann müssen die Mindestausladlängen der Kompensationsbögen 2 m bei 60 °C bzw. 2,9 m bei 100 °C betragen. Die Montagetemperatur wurde mit 20 °C berücksichtigt.

Druckverlust für verschiedene Rohrdurchmesser

Innendurchmesser	200 mm	250 mm	300 mm
Gesamtdruckverlust	15,7 bar	3,2 bar	1,8 bar
Verlustleistung	61 kW	26,6 kW	15,3 kW

Die Rohrleitung bis zum Schnellschlussventil (SSV) am Ende der Versorgungsleitung bzw. im Eingang der Crackanlage hat ein Volumen von 71 m³. Ist die Leitung gefüllt und im Stillstand abgesperrt – ohne Expansionsmöglichkeit zum Tank zurück – würde sich im Rohrleitungssystem und den eingebundenen Wärmeaustauschern ein unzulässig hoher Druck aufbauen und die schwächste Anlagenkomponente zerstören. Abhilfe schafft hier ein Sicherheitsventil. Die erforderliche Abblaseleistung wird mit 950 kg/h bestimmt.

Alle Vorgaben, die bisher ermittelt wurden, gehen schließlich in die Berechnung des SSV ein. Bei Betriebsstörungen soll möglichst schnell und unter Berücksichtigung des auftretenden Druckstoßes die Crackanlage vom Rohrsystem getrennt werden. Es gilt, die Schließzeit des SSV zu optimieren. Einerseits darf kein Druckstoß größer 25 bar entstehen (max. Druck der Wärmeaustauscher), andererseits soll das Ventil schnell geschlossen sein. Der Druckverlust soll möglichst klein gehalten werden. Diese Optimierung erfolgt unter Berücksichtigung der Regelcharakteristik des SSV. Alle erforderlichen Stoffdaten werden dabei ebenfalls von der Software berechnet. Es ergibt sich eine Schließzeit von 40,11 s (Bild 3).

Weitere Informationen zu diesem Beitrag erhalten Sie über die Kennziffer **326**