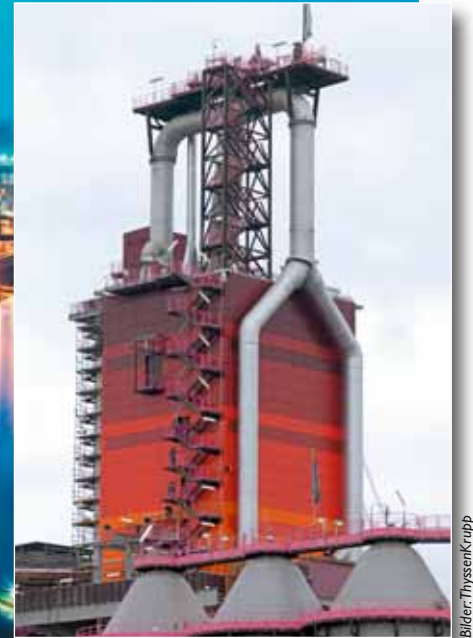


Selbstversorger

Durch Nutzung der Kuppelgase deckt ThyssenKrupp Stahl den Energiebedarf für Anlagen und Maschinen aus eigenen Prozessgasen. 1D-CFD-Lösungen von Flowmaster sind ein unerlässliches Auslegungs- und Anpassungswerkzeug dafür.

Von ULRICH FELDHAUS



Bilder: ThyssenKrupp

Zwölf Millionen Tonnen Roheisen und elf Millionen Tonnen Stahl werden jährlich im Duisburger Stahlwerk der ThyssenKrupp AG (TKS) produziert. Damit ist der Standort, der sich auf einer Fläche von zirka 9 Quadratkilometern ausbreitet, eines der größten integrierten Hüttenwerke der Welt. Sein Gesamtenergieumsatz beträgt immerhin etwa 1,5 Prozent des Primärenergiebedarfs der gesamten Bundesrepublik. In Steinkohle gerechnet entspricht das ungefähr 6,5 Millionen Tonnen im Jahr – die dafür benötigten Lkw würden eine zirka 7 000 km lange Kolonne bilden.

Etliche Kilometer an Rohrleitungen durchziehen das Anlagenareal und sind nicht nur für außen stehende Betrachter äußerst verwirrend, sondern stellen auch für die dort tätigen Mitarbeiter bei Planung, Betrieb und Wartung eine erhebliche Herausforderung dar. Längst vertraut man dabei nicht mehr allein auf Erfahrung und Intuition, sondern setzt verstärkt auf die thermohydraulische Systemsimulation, für die seit Beginn dieses Jahrtausends das Programm Flowmaster des gleichnamigen Anbieters mit Sitz im britischen Northants eingesetzt wird.

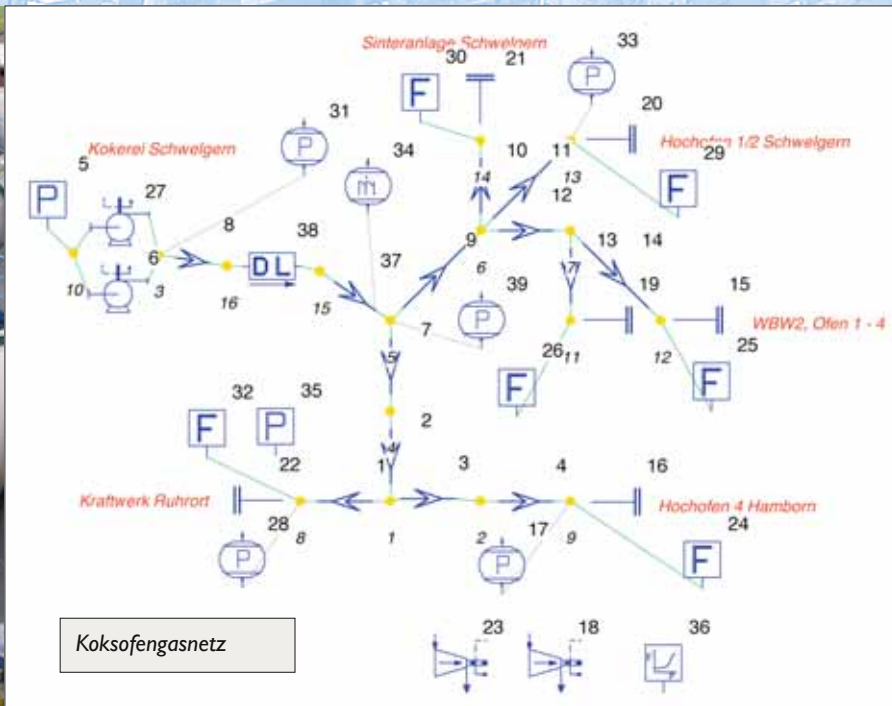
Das Werk der TKS in Duisburg gilt

heute energietechnisch betrachtet als ein hochoptimierter Standort. In der Praxis bedeutet das, dass – abgesehen vom kohle- beziehungsweise koksbasierenden Hochofen-Prozess – der Energiebedarf für die Anlagen und Maschinen fast ausschließlich durch Nutzung der bei der Eisen- und Stahlherzeugung entstehenden Kuppelgase (Hochofengas, Koksofengas, Konvertergas) gedeckt wird. Diese auch als Brenngase bezeichneten „Abfallprodukte“ werden genutzt, um weiterführende Prozesse wie die Weiterverarbeitung in Warmbandwerken, zu versorgen. An zwei Standorten arbeiten Kraftwerke mit einer elektrischen Leistung von rund 700 MW. So ist man bei der Stromversorgung nahezu autark und speist fallweise noch Strom in das öffentliche Netz ein. Aber nicht nur die Brenngase müssen transportiert werden. Darüber hinaus werden auch Leitungsnetze für Erdgas, Sauerstoff, Argon und Stickstoff sowie für Druckluft, Kühlwasser und Dampf betrieben. Und um die Vielfalt der Leitungen komplett zu machen, kommen noch hunderte von Metern an Rohrleitungen für Entstaubungsanlagen für hütten-technische Prozessanlagen hinzu.

Die Mehrzahl der Leitungssysteme für die Prozessgase operiert mit einem niedrigen Überdruck im Bereich von zirka 200 mbar. Bei den enormen Mengen, die täglich transportiert werden müssen – allein etwa 50 Millionen m³ Hochofengas – sind optimale Strömungsverhältnisse mit möglichst geringen Druckverlusten eine Grundvoraussetzung für die Maximierung der Anlagenleistung und die Minimierung der Verluste.

Ohne Simulation geht es nicht

Einer, der trotz des Leitungsgewirrs nicht den Überblick verliert, ist Hans Peter Domels, Leiter des Teams „Mess- und Verfahrenstechnik“. Es ist am Standort Duisburg dem Direktionsbereich „Energie/Anlagenwirtschaft“ zugeordnet. Sein 25-köpfiges Team ist neben der Auslegung der verfahrenstechnischen Prozesse auch zuständig für die dafür notwendigen Optimierungen. Die damit verbundenen Aufgaben reichen von der Auslegung bis hin zu Sicherheitsbetrachtungen und Umweltschutzaspekten von Leitungssystemen. Auch ist zu prüfen, ob die Betriebszustände noch der Auslegung entsprechen, ob neue Verbraucher angeschlossen werden können, und welche Rück-



wirkungen neue Verbraucher auf das Leitungsnetz haben.

Die Systemsimulation ist inzwischen für die Bearbeitung dieser Aufgaben unverzichtbar geworden. Das Spektrum der mit Flowmaster durchgeführten Simulationen ist dabei so vielfältig wie die an den Anlagen ablaufenden Prozesse. Sie umfasst stationäre und instationäre Berechnungen mit gasförmigen und flüssigen Medien. Ein wesentlicher Vorteil des Systems ist, dass auch die Regelungstechnik der unterschiedlichen Komponenten wie etwa der Pumpen berücksichtigt werden kann, was insbesondere bei instationären Prozessen eine nochmals genauere Modellierung erlaubt.

Seit Einführung des Systems im Jahr 2000 hat man den Großteil des Leitungsnetzes in Flowmaster abgebildet, so dass schnell auf die unterschiedlichen Anforderungen reagiert werden kann. Die meisten der im Modell verwendeten Komponenten konnten dabei der umfangreichen Flowmaster-Komponentendatenbank entnommen werden. Einige Komponenten jedoch, etwa Gasbehälter, die als isobare Speicher Volumenströme vergleichmäßigen, sind in dieser Form in der Bibliothek nicht enthalten. Sie wurden vom Systemanbieter oder auch in Eigenregie erstellt. Um die entsprechenden Charakteristika abzubilden, griff man auf Messungen zurück oder auf technische Daten der entsprechenden Hersteller. Durch die optimale Dimensionierung von Rohrdurchmessern und Arbeitsmaschinen auf der Basis von Flow-

master-Simulationen lässt sich die Energieeffizienz teilweise erheblich verbessern, weshalb diese Art der Simulation bei TKS entsprechend intensiv genutzt wird. Typisches Beispiel ist ein Netz für Prozessgase mit zwei Einspeisern mit Gebläsen für den Transport. Durch die Simulation der möglichen Betriebszustände kann man zuverlässig Arbeitspunkte ermitteln, die sich bei bestimmten Mengenbelastungen der beiden Einspeisestellen einstellen. Außerdem lässt sich feststellen, welche maximale Druckerhöhung die Gebläse jeweils haben dürfen, um sich nicht gegenseitig abzurücken. Auf Basis dieser Ergebnisse können die Arbeitsmaschinen, beispielsweise durch eine Antriebsregelung, optimal auf die herrschenden Betriebsbedingungen ausgelegt werden. Neben dem Gasbe-

reich werden solche Berechnungen auch für Flüssigkeiten durchgeführt, wo Kreisläufe und Förderpumpen dimensioniert werden müssen.

Ein Hüttenwerk dieser Größenordnung ist ständigen Veränderungen unterworfen, die nicht direkt prozessbedingt sind und sich auch nicht unbedingt durch Fehlfunktionen erklären lassen. Anforderungen ändern sich, etwa bezüglich der Umweltschutzbestimmungen und -maßnahmen oder durch Hinzufügen oder Ersetzen von Verbrauchern oder Komponenten, was das Betriebsverhalten sowohl des Leitungsnetzes als auch anderer Verbraucher nachhaltig beeinflussen kann.

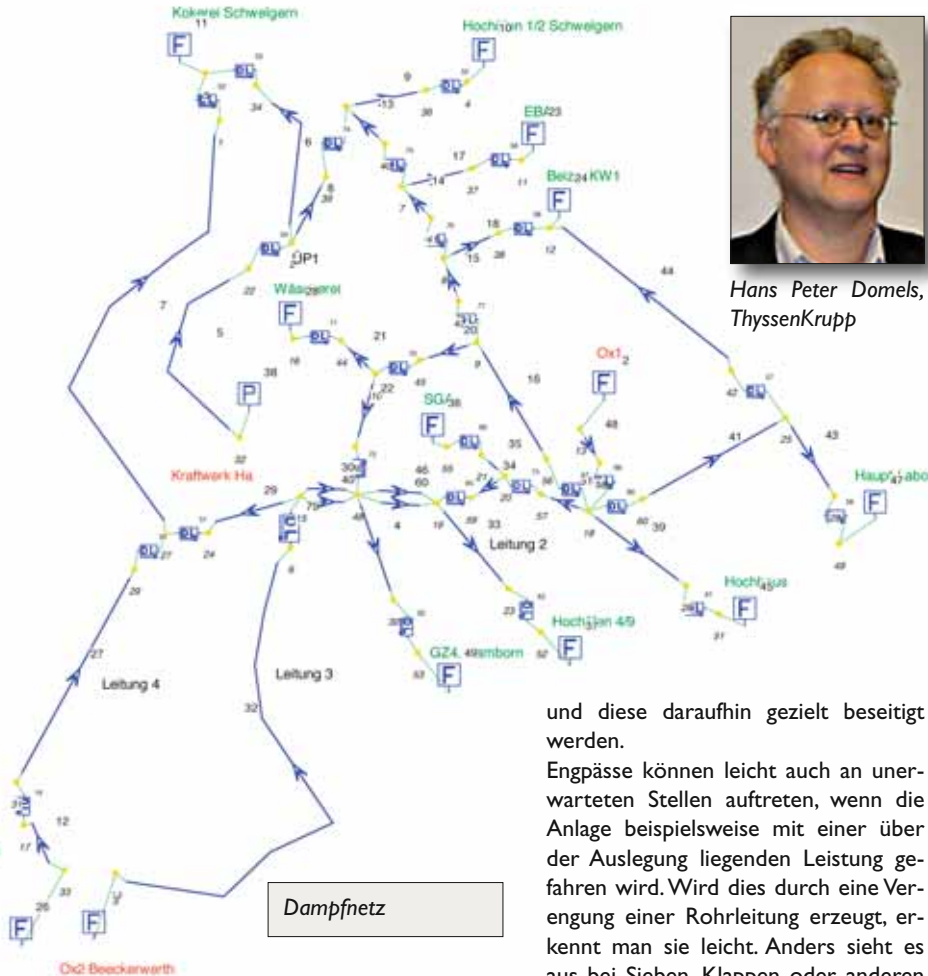
All das erfordert eine sorgfältige Überprüfung: ob die geplanten Betriebsbedingungen noch gewährleistet sind, ob noch Verbraucher angeschlossen wer-

Das Programm Flowmaster des gleichnamigen Anbieters ist eine Lösung für die thermo-hydraulische Systemsimulation, mit der strömungsmechanische und thermische Effekte in Rohrleitungssystemen untersucht werden können. Neben dem Anlagenbau wird das 1D-CFD-Tool in unter anderem in der Automobil- und Flugzeugindustrie, im Turbinenbau und bei Energieversorgungsunternehmen eingesetzt.

Im Gegensatz zu 3D-CFD-Lösungen, die ein auf CAD-Daten basierendes detailliertes 3D-Berechnungsmodell benötigen, wird bei Flowmaster mit schematisierten Modellen von Leitungssystemen gearbeitet. Das Verhalten einzelner Komponenten (Pumpen, Ventile oder Rohrleitungen) wird über physikalische Gleichungen oder über Kennfelder beschrieben.

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.

www.flowmaster.com



Hans Peter Domels,
ThyssenKrupp

„Simulation die Engpässe zu lokalisieren. Darüber hinaus kann man auf Basis der Messdaten bestehender Anlagen die Simulation kalibrieren oder aber Simulationsergebnisse verifizieren.“

Der Umweltschutz nimmt bei ThyssenKrupp traditionell einen hohen Stellenwert ein. Diesem Engagement ist es mit zu verdanken, dass das Ruhrgebiet längst nicht mehr unter einer dunklen Wolke liegt. Ganz wesentlich dazu beigetragen haben effizient arbeitende Entstaubungsanlagen. Aus technischer Sicht stellen sie eine besondere Problematik dar, weil in einer Vielzahl von Anlagen auch der Umgang mit Feststoffen unvermeidlich ist, wie beispielsweise in der Sinteranlage oder im Oxygenstahlwerk. Domels sagt: „Es gilt sicherzustellen, dass die ursprünglich für eine ‚gute‘ Leistung des Stahlwerks dimensionierten Anlagen den inzwischen gestiegenen Anforderungen weiterhin gerecht werden. Eines der Hauptprobleme dabei sind Ablagerungen in den Rohrleitungen. Die in Sinteranlagen abgesaugten und transportierten Stäube sind durch den Eisengehalt relativ schwer, weshalb die Stäube mit angemessen hohen Geschwindigkeiten transportiert werden müssen. Wenn die Strömungsgeschwindigkeit zu hoch ist, tritt verstärkt Abraasion auf, während sich bei einer zu niedrigen Geschwindigkeiten Ablagerungen schon in der Rohrleitung bilden und nicht im Abscheider, wo der Staub eigentlich ausgefiltert werden soll.“

Fazit

Die Systemsimulation mit Flowmaster ist bei ThyssenKrupp Stahl in Duisburg fest etabliert. Die Überprüfung der auf Basis von Simulationen vorgenommenen Einstellungen zeigt, dass der eingeschlagene Weg richtig ist. Und auch mit der Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation ist man inzwischen sehr zufrieden, weil das Netz in den letzten Jahren entsprechend detailliert aufgebaut worden ist. Hans Peter Domels kann dies auch in konkreten Zahlen ausdrücken: „Einsparpotenziale im teilweise sechststelligen Bereich sind bei unseren Anlagen eine durchaus realistische Größenordnung. Allerdings darf nicht vernachlässigt werden, dass damit fallweise auch hohe Investitionen notwendig sind, so dass unter dem Strich ein deutlich niedrigerer Betrag herauskommt. Der Aufwand für die Simulationsrechnungen ist allerdings allemal gerechtfertigt.“

und diese daraufhin gezielt beseitigt werden.

Engpässe können leicht auch an unerwarteten Stellen auftreten, wenn die Anlage beispielsweise mit einer über der Auslegung liegenden Leistung gefahren wird. Wird dies durch eine Verengung einer Rohrleitung erzeugt, erkennt man sie leicht. Anders sieht es aus bei Sieben, Klappen oder anderen Einbauarmaturen. Mit einer Detailsimulation lässt sich herausfinden, wo das Nadelöhr liegt und wo sich Druckverluste eingestellt haben, die das normale Maß übersteigen. Der Vergleich des berechneten Druckverlusts mit den Auslegungsdaten gibt schnell Auskunft, welche Komponente Probleme bereitet.

Hier kommen auch verfahrenstechnische Messungen ins Spiel. Hans Peter Domels sagt dazu: „Um gezielt Bottle-necks im Leitungssystem aufzuspüren, ist neben der Simulation häufig zusätzliche Messtechnik notwendig. Wir führen in den Anlagen intensiv Messungen durch, um die theoretischen Werte mit den realen Messwerten zu überprüfen. Dabei gehen wir deutlich über das hinaus, was typischerweise an betrieblicher Messtechnik vorhanden ist, bei der vielleicht der Netzdruck und einige Drücke in der Anlage gemessen und überwacht werden. Denn wie sich der Druck auf der Rohrstrecke entwickelt, vom Netz bis hin zum letzten Verbraucher, wird dabei nicht überwacht. Hier sind wir gefordert. Wir machen zusätzliche Messungen, erstellen Druckverlustprofile und versuchen, durch eine Kombination aus Messtechnik und Si-

den können und welche Rückwirkungen neue Verbraucher auf das Leitungssystem haben. Da es sich bei den Leitungssystemen um gekoppelte hydraulische Systeme handelt, können lokale, relativ geringfügige Änderungen schnell zu gravierenden, auch ungünstigen Veränderungen des Gesamtsystems führen. In einfachen Systemen lassen sich solche Einflüsse noch analytisch berechnen, in komplexen Leitungssystemen dagegen gelingt dies nicht mehr. Mit der Simulation hingegen lassen sich beliebig komplexe Netze modellieren und simulieren. Grenzen setzt lediglich der für Modellierung und Berechnung notwendige Aufwand.

Typische Aufgabenstellungen für die Simulationsexperten sind das Auffinden von Störungen, beispielsweise durch Ablagerung von Verunreinigungen, oder die Identifikation von Engpässen. Denn selbst wenn in der Anlage ein Druckabfall registriert wird, ist nicht bekannt, wo in dem möglicherweise einige hundert Meter langen Leitungsstrang sich die Störung genau befindet. In der Simulation kann durch Vorgabe der aktuellen Systemparameter der Ort für mögliche Störquellen schnell ermittelt