



Bild: pixelio.de

Berechnungsprogramme für Kreisprozesse im Kraftwerk

Fit für zukünftige Herausforderungen?

Nicht erst seit der Reaktorkatastrophe von Fukushima gibt es Bewegung in der Kraftwerkslandschaft. Untersuchungen zum Klimawandel haben dazu geführt, dass erneuerbare Energien, CCS (carbon capture and storage) und IGCC (integrated gasification combined cycle) in den Fokus gerückt sind. Auch die Fahrweise konventioneller Kraftwerke wird vom Einsatz der erneuerbaren Energien beeinflusst. Am Anfang jeder Kraftwerksplanung steht eine Kreisprozessberechnung. Sie ist sowohl für die Planung als auch für die Simulation des Betriebsverhaltens bestehender Kraftwerke unverzichtbar. Neben der klassischen Berechnung des Wasser-Dampf-Kreislaufs bieten manche Programme inzwischen auch Module zur Berechnung von thermischen Meerwasserentsalzungsanlagen oder so-

KRAFTWERKSPLANUNG | Kraftwerke unterliegen dem Wandel der Zeit. Neben Wirtschaftlichkeit sind heute auch CO₂-Ausstoß sowie die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien ein wichtiges Thema. Jede Neu-, Aus- und Umbauplanung eines Kraftwerks erfordert zunächst eine Kreisprozessberechnung. Bereits seit Jahren gibt es dafür auf dem Markt eine Fülle von Programmen. Fichtner hat das firmeneigene Kreisprozess-Berechnungsprogramm KPRO nach neuesten Standards weiterentwickelt. Modularer Aufbau und geschlossenes Berechnungsverfahren machen es möglich, Kraftwerke nach heutigen Erfordernissen zu planen.

Autorin

Dr.-Ing. Ursula Haller, Jahrgang 1956, Studium der Physik an der Universität Stuttgart, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart. Promotion am Institut für Kernenergie und Energiesysteme der Universität Stuttgart. Seit 1986 bei der Firma Fichtner zunächst im Bereich Softwareentwicklung für Kreisprozess-Berechnung und Einsatzoptimierung, ab 2000 als Projektleiterin im Bereich Kraftwerke & Entsalzung.

larthermischer Anlagen an. Das eingesetzte Berechnungsverfahren, spezielle Module sowie vorkonfigurierte Schaltungen beeinflussen die Leistungsfähigkeit und den Komfort der Berechnungsprogramme wesentlich.

Berechnungsverfahren und Programmphilosophie

Bereits im Jahr 2000 hatte sich die Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber (VGB) dazu entschlossen, 13 kommerziell angebotene Programmpakete zur thermodynamischen Pro-

zessrechnung testen zu lassen [1]. Anhand eines Kriterienkatalogs wurde als Referenzfall eine GuD-Anlage mit Zweidruckabhitzekeessel und Fernwärmeauskopplung mit den unterschiedlichen Programmen durchgespielt. Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale der Untersuchung sind auch angesichts heutiger Anforderungen ausschlaggebende Kriterien bei der Wahl des richtigen Berechnungsprogramms.

Bei der eigentlichen Berechnung können zwei Verfahren unterschieden werden: die sequentielle Methode und das geschlossene Verfahren. Die sequentiell-

le Methode arbeitet die zur Berechnung notwendigen Gleichungen nacheinander ab. Das geschlossene Verfahren löst das System von nichtlinearen Gleichungen mit Hilfe eines numerischen Verfahrens simultan. Auch eine Kombination beider Methoden ist möglich. Die Vor- und Nachteile dieser Systeme wurden in der Vergangenheit bereits ausführlich diskutiert [2; 3].

Argumente wie Rechenzeit und Hauptspeicherbedarf spielen aufgrund der rasanten Entwicklung im Hardwarebereich heute keine Rolle mehr. Deshalb besteht der Unterschied zwischen den Verfahren nur noch im Bereich „Fehlertoleranz“ und „Abbildung der Regelungstechnik“. Während sequentielle Verfahren relativ fehlertolerant sind, bereiten bei geschlossenen Verfahren vor allem zu viele Vorgaben Probleme. Diese führen zu einem überbestimmten Gleichungssystem, das nicht mehr lösbar ist. Die Frage, welche Vorgaben nun „zu viel“ sind, lässt sich nicht automatisch von einem Programm, sondern nur von einem in Kraftwerkstechnik versierten Benutzer beantworten. Durch die Möglichkeiten, regelungstechnische Vorgaben einfach zu berechnen, bieten sie aber entscheidende Vorteile.

Die Programmphilosophie ist ein weiterer Punkt, in dem sich Programme grundsätzlich unterscheiden. Auf der einen Seite gibt es Programme, bei denen das Wärmeschaltbild, also die Topologie des Prozesses, vom Benutzer auf der Basis von Kraftwerkskomponenten und den verbindenden Rohrleitungen erstellt wird. Auf der anderen Seite werden Programme vertrieben, die auf vorgefertigte Wärmeschaltbilder setzen. Auf Basis weniger Vorgaben wie beispielsweise elektrischer Leistung oder Art der Kühlung (Kühlturm, Durchflusskühlung, Luftkondensator, ...) wird ein Wärmeschaltbild ausgewählt. Dieses ist bereits mit Eingabedaten versehen, so dass eine Berechnung sofort möglich ist. Änderungen an der Topologie sind hier naturgemäß nicht vorgesehen und auch bei den Eingabedaten nur eingeschränkt möglich. Gehen die Anforderungen über die „Konfektionslösungen“ hinaus, ist zumeist ein Übergang zu einer komponentenbasierten Lösung möglich. Da die Schaltung dann jedoch entsprechend angepasst werden muss, treten die gleichen Probleme wie bei einer direkt aus den Einzelkomponenten aufgebauten Schaltung auf. Alle für die Regelung wichtigen Komponenten werden benötigt, und die Eingabedaten müssen

stimmen. Dazu sind entsprechende Kenntnisse der Kraftwerkstechnik und entsprechende Erfahrungen bei der Kreisprozessberechnung notwendig. Konfektionslösungen sind aus diesem Grund bei Nachrüstungen nur umständlich einsetzbar.

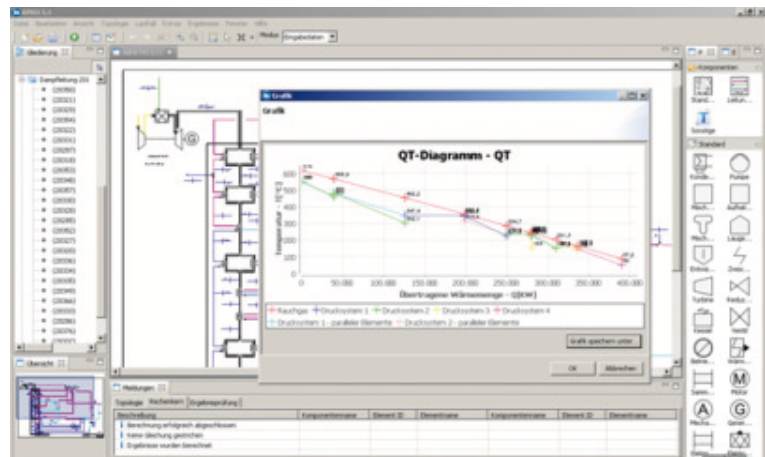
Neue Erzeugungstechnologien rücken in den Fokus

Neben konventionellen Kraftwerksblöcken und GuD-Kraftwerken können mit moderner Berechnungssoftware auch Kraftwerke mit Dampfauskopplung für thermische Meerwasserentsalzungsanlagen, solarthermische Kraftwerke, Kohlevergasungsprozesse, Brennstoffzellen und Blockheizkraftwerke nachgebildet werden. Hier gibt es zum Beispiel die Möglichkeit, bei thermischen Meerwasserentsalzungsanlagen die einzelnen Stufen einer MSF (multi stage flash) nachzubilden oder bei vorkonfigurierten Programmen auf Black-box-Module zurückzugreifen. Die zur Entsalzung einer bestimmten Wassermenge benötigte Dampfmenge sowie die umlaufende Wassermenge kann dann in Abhängigkeit von der Performance Ratio bestimmt werden.

Soll allerdings das Kraftwerk ausgelegt und sein Betriebsverhalten in verschiedenen Lastpunkten berechnet werden, ist der Mehrwert eines Entsalzungsmoduls eher gering, da für die eigentliche Kreisprozess-Berechnung nur die benötigte Dampfmenge und die Rücklauftemperatur des Kondensats interessant sind. Die auszukoppelnde Dampfmenge kann direkt aus der Performance Ratio und der benötigten Wassermenge berechnet werden.

Wichtig zur Berechnung der Lastpunkte einer bei dieser Aufgabenstel-

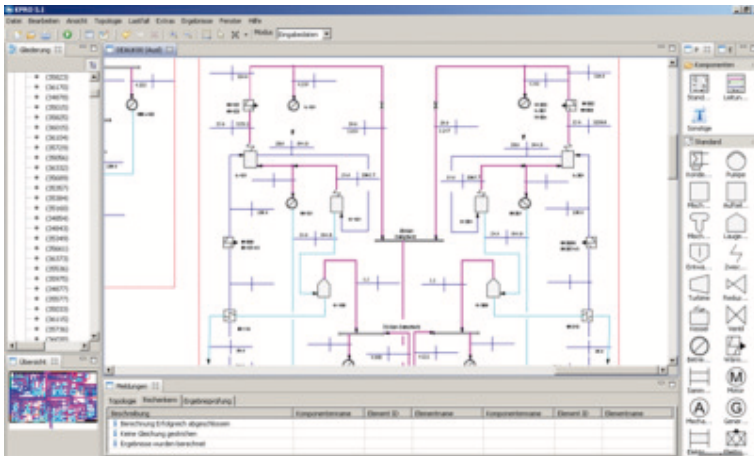
Die moderne Oberfläche von KPRO ermöglicht ergonomisches Arbeiten. Bei Schaltungen mit Abhitze-kesseln steht selbstverständlich ein QT-Diagramm zur Verfügung.



lung häufig eingesetzten GuD-Anlage ist eine einfache Möglichkeit, bei vorgegebener Dampfauskopplung eine bestimmte elektrische Leistung erzielen zu können. Dazu ist die automatische Berechnung von Gasturbineenteillasten, Bypass-Mengen oder Dampferzeugung mit Hilfskesseln notwendig. Dies ist am einfachsten mit einem geschlossenen Berechnungsverfahren möglich.

Auch die nachträgliche Entfernung von CO₂ aus dem Abgas reduziert sich aus Kraftwerkssicht auf eine Dampfauskopplung, eine Kondensat-Rückführung sowie einen zusätzlichen Stromverbrauch. Diese Angaben genügen, um die Nachrüstung eines bestehenden Kraftwerks berechnen zu können. Vorgefertigte Module sind deshalb nicht notwendig.

Bei der Nachbildung von solarthermischen Anlagen verhält es sich ähnlich. Zunächst muss es möglich sein, den Thermoöl-Kreislauf zur Dampferzeugung nachzubilden. Die Berechnung der Solarkollektoren beruht auf Herstellerangaben und ist von der eigentlichen Kreisprozess-Berechnung zur Auslegung des Wasser-Dampf-Kreislaufs vollständig entkoppelt. Die zumeist angebotene Möglichkeit einer Jahressimulation erfolgt mit Hilfe von Excel. Dazu wird die Kreisprozessberechnung von Excel aus mit den meteorologischen Daten auf Stundenbasis angestoßen und somit eine quasistationäre Berechnung auf Stundenbasis durchgeführt. Dies ist



Neben Kraftwerksblöcken zur reinen Stromerzeugung können mit KPRO Sammelschienenkraftwerke der Industrie zur Strom- und Dampfversorgung berechnet werden.

mit derselben Genauigkeit aber auch mit einem externen Tool zu erreichen.

KPRO – über 30 Jahre alt und doch jung geblieben

Das im Bereich der Kraftwerkstechnik tätige Ingenieurbüro Fichtner verfügt seit mehr als 30 Jahren über ein eigenes,

zunächst nur intern verwendetes Kreisprozess-Berechnungsprogramm namens KPRO. 1986 wurde dieses zunächst mit einem sequentiellen Verfahren arbeitende Programm auf ein geschlossenes Verfahren umgestellt. 1990 wurde eine grafische Benutzeroberfläche entwickelt. Seit diesem Zeitpunkt wird das Programm nicht mehr nur intern verwen-

det, sondern auch extern vertrieben. Eine Umstellung auf Windows erfolgte 1996. Seit 1997 steht eine NT-Version mit der neuen Wasserdampfmaschine IAPWS-IF97 zur Verfügung. Über die Jahre ist eine Schaltungsdatenbank mit mehr als 3 000 Topologien entstanden.

Das Programm verfügt über eine flexible Komponentenbibliothek und kann durch sein geschlossenes Verfahren regelungstechnische Eingriffe einfach nachbilden. Damit erfüllt es alle Voraussetzungen, die von einem User an ein solches Programm gestellt werden. Sowohl konventionelle Kohlekraftwerke

Sonderdrucke – ein werbewirksames Marketing- und PR-Instrument

Ist in einer unserer Fachzeitschriften ein Beitrag von Ihrem Unternehmen erschienen? Dann nutzen Sie doch die Möglichkeit, von diesem Beitrag einen attraktiven Sonderdruck erstellen zu lassen.



- Sonderdrucke werden individuell nach Ihren Wünschen gestaltet
- Ihr Logo und Ihre Kontaktdaten können eingefügt werden
- Fremdanzeigen und Fremdtex te werden entfernt
- Sonderdrucke sind kostengünstig und lassen sich vielseitig einsetzen (z. B. auf Ihrem Messestand, für Kunden und Mitarbeiter etc.)

Profitieren Sie vom Imagetransfer und dem hohen Renommee unserer Fachzeitschriften. Gerne unterbreiten wir Ihnen ein unverbindliches Angebot.

Informieren Sie sich jetzt: Kornelia Grund
Telefon: 0211/6103-369, Fax: 0211/6103-300
E-Mail: grund@springer-vdi-verlag.de

als auch GuD-Kraftwerke lassen sich problemlos auslegen und das Verhalten in unterschiedlichen Lastpunkten berechnen. Auch Gasturbinenteillasten, die sich bei wärmegeführter Fahrweise eines Kraftwerks ergeben, können basierend auf Gasturbinenkennlinien durch das verwendete geschlossene Verfahren einfach und ohne Iterationsschleifen berechnet werden.

Aus- und Umbauplanungen bei Industriekraftwerken erfordern parallel eine Teillastrechnung der bestehenden Anlage sowie eine Auslegungsrechnung neuer Komponenten wie zum Beispiel Turbinen und Wärmeaustauscher. Dies ist mit KPRO jederzeit problemlos möglich. Referenzdaten, die für Teillastrechnungen bzw. für die Berechnung des Verhaltens bestehender Anlagen notwendig sind, können nicht nur aus einer Auslegungsrechnung übernommen, sondern jederzeit direkt eingegeben werden. Referenzdaten werden sowohl aus Herstellerangaben als auch aus Messwerten gewonnen

Eine graphische Benutzeroberfläche, die über zehn Jahre alt ist, entspricht im „Look and Feel“ natürlich nicht mehr den heutigen Anforderungen. Außerdem werden die bei der Programmerstellung verwendeten Softwaretools nicht mehr gewartet. Ein Umstieg auf ein neues Betriebssystem ist deshalb sehr schwierig. Da eine neue Benutzeroberfläche nur mit erheblichem finanziellem Aufwand zu realisieren ist, wurde eine intensive Untersuchung der auf dem Markt erhältlichen Programme durchgeführt.

Große Bandbreite an Aufgabenstellungen

Da die Kunden eines Ingenieurbüros keine „Konfektionsware“, sondern maßgeschneiderte Lösungen erwarten, bieten Programme mit vorgefertigten Schaltungen, so nützlich sie sonst auch sein mögen, keinen Mehrwert. Auch Default-Werte bei Wirkungsgraden, Grädigkeiten und Kurven sind hier wenig nützlich, da sie für jeden Fall angepasst werden müssen. Die Bandbreite der Aufgabenstellung vom USC-Kohlekraftwerk über den GuD-Prozess bis zur Aus- und Umbauplanung von Industriekraftwerken ist weit. Aus diesem Grund ist auch heute das geschlossene Berechnungsverfahren mit seinen unerreichten Möglichkeiten der Parametervorgabe das beste Werkzeug, um für diese Aufgaben gerüstet zu sein. Nicht zu unterschätzen ist der Vorteil der engen Verzahnung von Softwareentwicklung und Anwendung unter einem Dach. Die Anregungen und Wünsche der Anwender können sofort in das Programm einfließen.

Aus den bereits genannten Gründen hat sich Fichtner entschieden, für KPRO eine neue Benutzeroberfläche zu entwickeln, die den bewährten und erprobten Rechenkern mit einem neuen Benutzerkonzept verbindet. KPRO 5.0 entspricht somit modernsten Anforderungen an ein Berechnungswerkzeug. Dies ermöglicht es nun auch, im Rahmen von Projekten aufgebaute Kraftwerksschaltungen zusammen mit dem Programm an den Kunden weiterzugeben, so dass dieser sein Kraftwerk „auf dem Schreibtisch“ hat und Fahrweisen und Optionen direkt selbst simulieren und bewerten kann.

Flexibilität ist das A und O

Die Notwendigkeit, nicht nur unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten optimale Kraftwerke zu planen, sondern auch einen möglichst geringen CO₂-Ausstoß zu erreichen, stellt hohe Anforderungen an die zur Planung notwendigen Berechnungen. Die für Kraftwerksauslegung eingesetzten Kreisprozess-

Berechnungsprogramme müssen daher sehr flexibel sein, wenn sie das gesamte Spektrum der Kraftwerke abdecken sollen. Diese Notwendigkeit hat bei Fichtner zu der Entscheidung geführt, trotz einer großen Anzahl auf dem Markt erhältlicher Programme das firmeneigene Kreisprozess-Berechnungsprogramm KPRO nach neuesten Standards weiterzuentwickeln. Modularer Aufbau und geschlossenes Berechnungsverfahren bieten auch für die Zukunft die Gewähr, zukunftsweisende Kraftwerke flexibel, sicher und schnell planen zu können.

Literatur

- [1] Giglmayr, I.; Pogoreutz, M.; Nixdorf, M.: Vergleich von Software zur thermodynamischen Prozessrechnung. VGB Forschungsvorhaben Nr. 177, März 2000-
- [2] Janicka, J.: Berechnungsverfahren für Kraftwerksprozesse. BWK 42 (1990) Nr. 9, S. 505–513.
- [3] Haller, U.: Kreisprozess-Berechnung: Anwenderfreundlich durch graphische Benutzeroberfläche und modernes Berechnungsverfahren. BWK 43 (1991) Nr. 7/8, S. 360–363.

B+K Bittner+Krull

Softwaresysteme GmbH

Besuchen Sie uns
auf der E-world
in Halle 3, Stand 3-537

Die Nase im Wind.

Neue Energien

Neue Prozesse

Intelligente Lösungen

Für den effizienten Netz- und Messstellenbetrieb

Bittner+Krull
Softwaresysteme GmbH
München • info@bittner-krull.de
www.bittner-krull.de • Tel. 089/458595-0

SAP® Certified
Powered by SAP NetWeaver®
Argos Connector 10.1
ist zertifiziert für SAP NetWeaver