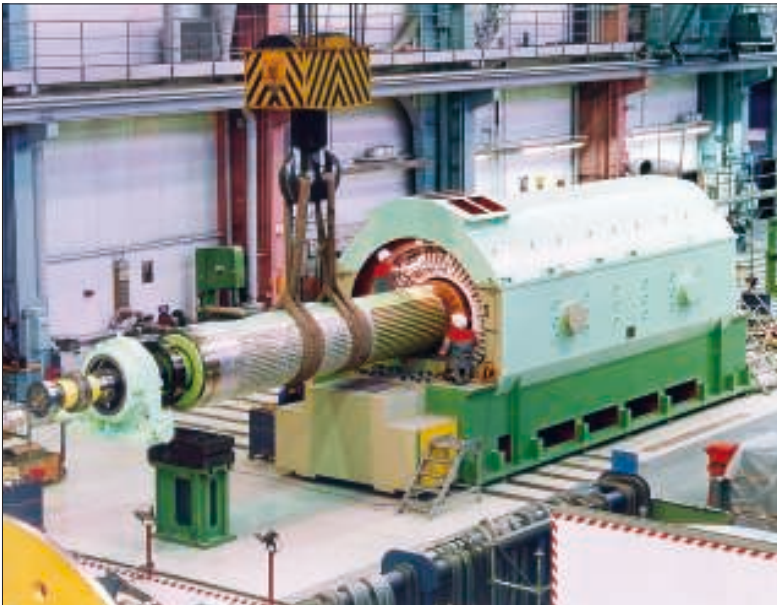


# Immer schön kühl bleiben

Strom kommt bekanntlich aus der Steckdose, erzeugt wird er aber mit Generatoren aus Wasserkraft, fossilen Energieträgern, Kernkraft oder mit anderen nichtfossilen Methoden. Damit möglichst viel der eingesetzten Energie auch in Strom und nicht in Abwärme umgewandelt wird, ist eine gut durchdachte und effiziente Ventilation und Kühlung der Maschinen unumgänglich. Alstom, führender Anbieter von Energieerzeugungslösungen, setzt bei der Entwicklung der umfangreichen Kühlsysteme hochmoderne CFD-Berechnungs- und Simulationsprogramme ein. Die CFD-Lösung Flowmaster ist seit Jahren fester Bestandteil dieses Szenarios.



**Bild 1**

Einfahren des Rotors in einen luftgekühlten TO-PAIR Generator mit einer Leistung von 300 MVA. Die Kühlluft wird durch wassergekühlte Wärmetauscher rückgekühlt. Diese werden in die im unteren Gehäuseeteil erkennbaren vier Öffnungen eingebaut

Kunden verlangen heute Wirkungsgrade jenseits von deutlich mehr als 98 Prozent. Verfügbarkeiten von nahezu 100 Prozent sind längst die Regel.

## Alstom – Global Player im Energiemarkt

Einer der führenden Anbieter für umfassende Energieerzeugungslösungen ist die Alstom. Weltweit hat das Unternehmen, das nahezu 70 000 Mitarbeiter in 70 Ländern beschäftigt, 25 Prozent der Energiekapazität installiert. Neben den Bereichen Power Turbo-Systems, Power Service und Power Environment bietet der Konzern im Sektor Transport auch ganzheitliche Güter- und Personentransportlösungen.

Alstom, die 2000 die Kraftwerkssparte von ABB übernahm, entwickelt, baut, installiert, modernisiert und wartet Kraftwerke auf der ganzen Welt und verfügt über eine umfangreiche Erfahrung in Systemintegration und Projektmanagement. Geliefert werden nicht nur alle Komponenten für ein Kraftwerk, sondern auch komplette Kraftwerksanlagen und die entsprechenden Dienstleistungen.

Die Energie-Sektoren von Alstom werden weltweit von der Schweiz aus geführt. Vorwiegend an den Standorten Baden und Birr sind rund 4000 Mitarbeitende beschäftigt. Geboten wird im Kraftwerksbereich ein komplettes Angebot an Systemen, Komponenten und Serviceleistungen, von Design

### Autor

Ulrich Feldhaus  
Freier Journalist

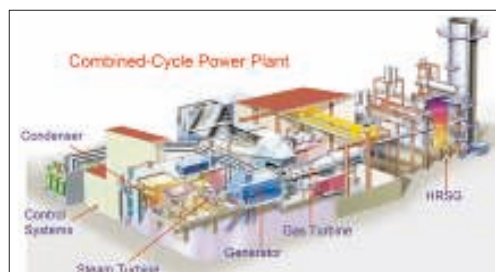
Lennart Diestel-Feddersen  
Development Engineer Ventilation & Cooling  
Alstom (Switzerland) Ltd.  
5242 CH-Birr

Kontakt:  
Flowmaster GmbH  
Kreuzgärten 2 / Weiherwiese  
65510 Idstein  
Tel.: 0 61 26/99 70-0  
E-Mail:  
karen.mueller@flowmaster.com  
www.flowmaster.de

Gleichgültig, welcher Energieträger genutzt wird, die Umwandlung in elektrischen Strom geschieht mit Generatoren unterschiedlichster Bauart. Turbogeneratoren, die üblicherweise von Gas- oder Dampfturbinen angetrieben werden, erreichen heute eine Leistung von bis zu 1500 Megawatt; gängige Größenordnungen für Gaskombianlagen liegen

im Bereich von 300–425 Megawatt.

Standzeiten von mehr als 20 Jahren sind für Generatoren nichts Außergewöhnliches. Dass Generatoren ihren Dienst weitestgehend unbemerkt verrichten, liegt durchaus in der Absicht von Herstellern und Betreibern. Sie haben zu funktionieren, und das problemlos, effizient und lange.



**Bild 2**

Einwellen-Kombi-Anlage mit Generator zwischen Dampf- und Gasturbine

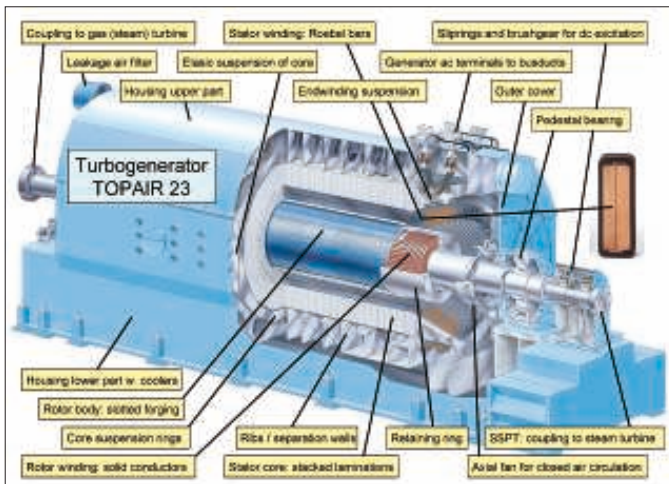


Bild 3

Komponenten der luftgekühlten Generatorreihe TOPAIR, die den Leistungsbereich von 150 MVA bis 300 MVA abdeckt

und Fertigung bis hin zu Inbetriebnahme und langfristiger Wartung.

Teil der Entwicklungsmannschaft in Birr ist auch die Berechnungsgruppe Ventilation and Cooling unter der Leitung von Dr.-Ing. Armin Schleussinger. Die Gruppe befasst sich mit den strömungsmechanischen Aufgabenstellungen bei der Entwicklung und kundenspezifischen Anpassung von Generatoren, was sowohl die Untersuchung der Strömungsverhältnisse im Generator als auch die Planung und Berechnung der notwendigen Kühlsysteme beinhaltet.

## So groß, und doch kein Platz

Die von Generatoren erreichten Wirkungsgrade sind bemerkenswert. Wasserstoffgekühlte Generatoren erreichen um 99 Prozent, luftgekühlte Generatoren liegen geringfügig tiefer. Die den Wirkungsgrad bestimmenden Verluste bei luftgekühlten Generatoren sind je etwa zur Hälfte elektrische Verluste sowie die für die Kühlung der Maschine aufzubringende Leistung. Im Wesentlichen sind das die Antriebsleistung der Ventilatoren sowie die Oberflächenreibung und Strömungsverluste des Rotors.

Erst die absolute Größe zeigt, dass es sich lohnt, auch über Prozentpunkte nachzudenken. Bei einem 400 Megawatt-Generator sind das immerhin ca. 4 Megawatt – genug, um eine stattliche Reihe von Eigenheimen

zu versorgen.

Um die für die Kühlung erforderliche Leistung möglichst gering zu halten und die für die jeweils geforderte Isolationsklasse B, F oder H zulässigen Temperaturen nicht zu überschreiten, kommen unterschiedliche Kühlkonzepte für Rotor und Stator zum Einsatz. So wird je nach Leistungsklasse und Einsatzgebiet unterschieden zwischen Generatoren mit Luft-, Wasserstoff- oder Wasserkühlung. Dass es dabei nicht genügt, für eine bessere Ventilation und Kühlung einfach größere Pumpen und Kühler zu installieren, wird deutlich, wenn man sich vor Augen führt, mit welchen Problemen die Entwickler zu kämpfen haben.

Auch wenn die Generatoren leicht eine Länge von zehn Metern und mehr erreichen – Platz ist im Inneren Mangelware. Bei luftgekühlten Generatoren etwa wird das Luftvolumen – immerhin einige Kubikmeter – ca. zehnmal pro Sekunde umgewälzt. Oberflächengeschwindigkeiten von bis zu 200 m/s sorgen im Luftspalt zwischen Stator und Rotor im wahrsten Sinne für turbulente Verhältnisse und beeinflussen auch die Kühlung nachhaltig.

Anders als bei Turbinen, bei denen die strömungstechnische Optimierung im Vordergrund steht, stehen bei der Auslegung elektrischer Maschinen mechanische, elektrische und fertigungstechnische Aspekte an erster Stelle, was das Leben der Strömungs-

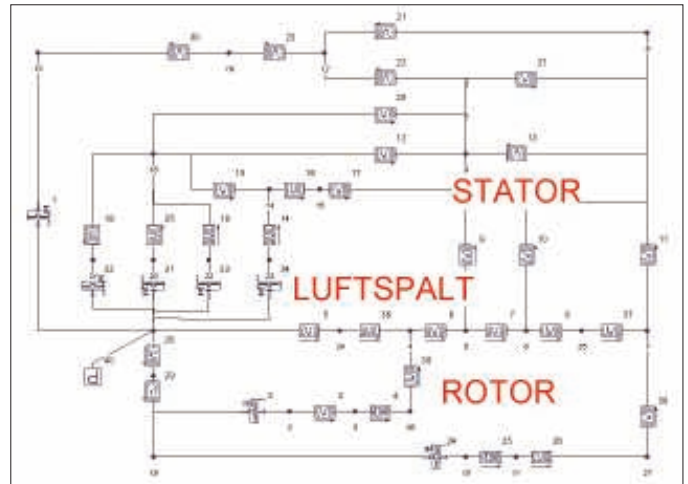


Bild 4

Typisches Kühlgasströmungsnetz eines Turbogenerators mit ECM-Elementen.

Aufgrund der Symmetrie ist häufig die Modellierung einer Maschinenhälfte ausreichend

experten nicht gerade vereinfacht. Ventilation und Kühlung müssen also notgedrungen mit den baulichen Gegebenheiten leben und den bestmöglichen Kompromiss suchen.

## Nichts geht mehr ohne Simulation

Längst verlässt man sich bei Alstom dabei nicht mehr ausschließlich auf die Erfahrung. Schon seit Jahren bedient man sich hoch entwickelter Berechnungs- und Simulationsprogramme. Sie bieten den Vorteil, dass man auch in frühen Entwicklungsphasen und ohne aufwändige Versuche unterschiedliche Varianten schnell und kostengünstig untersuchen und die unter den gegebenen Bedingungen optimale Lösung findet.

Während die für die Ventilation verantwortlichen Strömungseffekte im Generatorgehäuse mit dem 3D CFD-Programm „Ansys CFX“ simuliert werden, setzt man bei Alstom für die Simulation und Berechnung des Kühlkreislaufes unterschiedliche Programme ein. Für Berechnung und Anpassung der im Lieferprogramm verfügbaren Generatoren werden komplexe hausinterne Programme genutzt; in der Entwicklungsphase hingegen setzt man seit einigen Jahren das 1D CFD-Programm „Flowmaster“ des gleichnamigen britischen Anbieters ein.

Man könnte vermuten, dass eine solche Zweiteilung eines ähnlichen Aufgabenbereiches zu Pro-

blemen führt bei der Datenkompatibilität, Vergleichbarkeit der Ergebnisse etc. Eine Befürchtung, die Dr. Schleussinger nicht teilt: „Beide Programme haben ganz spezifische Vorteile, die wir gezielt nutzen. Während Flowmaster eine optimale Entwicklungsumgebung bietet, die eine schnelle und einfache Modellgenerierung und -modifikation unterstützt, ist unser hausinternes Programm optimal in unseren Workflow integriert und verkürzt die Bearbeitungszeiten signifikant. Durch die Möglichkeit von Flowmaster, mit sogenannten ECMs (External Component Models) Berechnungsnetze aus unserem eigenen System zu übertragen, haben wir die für uns notwendige Durchlässigkeit zwischen Entwicklung und Projektierung realisiert.“

## Maßgeschneiderte Lösungen für unterschiedliche Aufgabenschwerpunkte

Um zu verstehen, was hinter dieser Äußerung steckt, muss man sich etwas näher mit den Arbeitsabläufen vertraut machen. Auch wenn die unterschiedlichen Generatoren prinzipiell baugleich sind, müssen sie an ihre spezifischen Einsatzbedingungen angepasst werden. Ein Generator am Polarkreis erfordert auf Grund der niedrigeren Umgebungstemperaturen eine andere Dimensionierung des Kühlkreislaufes als eine Maschine gleichen Typs in Ägypten.



Bild 5

Wasserstoff-gekühlter Generator TOPGAS mit einer Leistung von 500 MVA

Für jeden im Lieferprogramm geführten Generatortyp gibt es deshalb ein Berechnungsmodell, das sogenannte Standardnetz, mit dessen Hilfe die Berechnung der kundenspezifischen Generatoren erfolgt. Dieses Netz setzt sich zusammen aus den einzelnen Komponenten und Subsystemen des Kühlsystems und ist relativ grob. Bereiche, deren physikalisches Gesamtverhalten zwar berücksichtigt werden muss, nicht aber deren detaillierter Aufbau, werden zu Subsystemen zusammengefasst. Das in den Workflow der elektrischen Berechnung eingebundene, von Alstom entwickelte, Berechnungsprogramm ist optimal abgestimmt auf die internen Arbeitsabläufe. Gesteuert wird die Berechnung über alphanumerische Eingabe der notwendigen Berechnungsparameter.

Für die schnelle Projektbearbeitung ist diese nach vorgegebenem Schema ablaufende Verfahrensweise bestens geeignet, nicht jedoch für die Auslegung von Systemen. Hier kommt es nicht nur auf die detaillierte Berücksichtigung aller Komponenten an, sondern auch auf eine möglichst komforta-

ble Handhabung, um Modifikationen schnell durchführen zu können. Flowmaster bietet beides. Die graphische Oberfläche erlaubt eine intuitive Bedienung, bei der vorgegebene oder selbst definierte Komponenten frei platziert werden können. Die so aufgebauten Netzwerke ermöglichen vielfältige Simulations- und Auswertungsmöglichkeiten, wovon bei Alstom schwerpunktmäßig die stationäre Berechnung der Volumenströme genutzt wird. Die thermische Berechnung, bislang nur nachgeordnet, soll allerdings intensiviert werden. Laut Lennart Diestel-Feddersen, Entwicklungsingenieur bei Alstom, kann durch Flowmaster die Bearbeitungszeit um 50 Prozent gegenüber hauseigenen Programmen reduziert werden.

### Durchgängigkeit der Daten durch ECMs

Um Doppelarbeit zu vermeiden, ist die Überführung der hier entwickelten Entwicklungsnetze in weiter nutzbare Standardnetze für Alstom eine zentrale Forderung. Realisiert wird sie mit den sogenannten External Components

Models (ECM). Dahinter verbergen sich C- oder Fortran-Subroutinen, die das Verhalten von Komponenten beschreiben, und die in externen Programmen weiter genutzt werden können. Im Falle von Alstom wurde die in den eigenen Programmen genutzte Beschreibung der Strömungselemente zugrunde gelegt. In der Praxis muss in einem ersten Schritt das sehr detaillierte Flowmaster-Netz auf das in den Standardnetzen übliche Niveau „entfeinert“ werden. Ersatzmodelle geben dabei das Verhalten der in ihnen zusammengefassten Komponenten wieder. Aus ursprünglich mehreren hundert Komponenten werden so einige Dutzend.

### Warum eigentlich 1D CFD-Programme?

1D-Systeme arbeiten mit schematisierten Modellen von Leitungssystemen, in denen das Verhalten einzelner Komponenten wie z. B. Pumpen, Ventile, Rohrleitungen etc., entweder über die zugrundeliegenden physikalischen Gleichungen oder über vorgegebene Parameterkennfelder beschrieben wird. Dabei können die Berechnungsparameter in Form von Kenndaten und -feldern von Herstellern geliefert oder in eigenen Berechnungen und Versuchen ermittelt werden. Der Vorteil dieses Verfahrens ist seine Unabhängigkeit von CAD-Daten, der schnelle und einfache Aufbau auch umfangreicher Modelle, sowie äußerst kurze Berechnungszeiten in der Größenordnung weniger Minuten. In einer sehr frühen Prozessphase können so auch komplexe Leitungssysteme inkl. steuerungs- und regelungstechnischer Vorgänge konzipiert und variiert werden.

Seit vielen Jahren führend im Bereich der 1D-Simulation ist das Programm Flowmaster. Neben der ausgereiften und universell einsetzbaren Software ist für diesen Erfolg vor allem der enge Kontakt zu Kunden, Lieferanten und Forschungseinrichtungen verantwortlich, wodurch der verfügbare Stamm an Komponentendaten kontinuierlich ausgebaut und verfeinert wurde. In über 20 Jahren wurde Flowmaster so zu einer Lösung entwickelt, mit der führende Unternehmen, u. a. aus der Automobil-, Luftfahrt-, Schiffbau- und Prozessindustrie sowie dem Energiesektor, ihre hochkomplexen Aufgabenstellungen lösen.

### Fazit und Zukunftsperspektiven

Auch wenn mit den hauseigenen Programmen geeignete Berechnungswerkzeuge vorhanden sind und genutzt werden, ist man sich einig, dass Flowmaster einen wesentlichen Teil dazu beiträgt, die Entwicklung und Anpassung von Generatoren in kürzester möglicher Zeit abzuwickeln. Aber Zufriedenheit bedeutet nicht, dass keine Erwartungen und Zukunftspläne existieren. So will man zukünftig verstärkt auch thermische Berechnungen durchführen, erste Aktivitäten in Form von Diplomarbeiten laufen bereits. Ebenso steht die Integration der 1D- und 3D-Simulation auf der Liste. Eine Möglichkeit, die heute bereits für eine Reihe von CFD-Codes besteht, und auf das eingesetzte Ansys CFX ausgedehnt werden soll. Gespannt wartet man auf die Vorstellung des von Flowmaster angekündigten Gas Turbine-Paketes, um den Einsatz der dann erweiterten Möglichkeiten in der Entwicklung zu prüfen.