



www.guentner.eu

Technical article from
10.12.2017

Authors



Andrea Belloni
EPC/Güntner GmbH & Co. KG



Dr. Andreas Zürner
Forschung/Güntner GmbH &
Co. KG

Güntner GmbH & Co. KG
Hans-Güntner-Straße 2 – 6
82256 FÜRSTENFELDBRUCK
GERMANY

Member of Güntner Group



Effiziente Motorenkühlung bei hohen Außentemperaturen dank numerischer Strömungssimulation

Motorenkühlung bei hohen Außentemperaturen wirksam sicherzustellen erfordert in der Planungsphase mehr Angaben als nur die durchschnittliche Umgebungstemperatur. Besonders kritisch kann eine Auslegung werden, wenn die Außentemperaturen 30 °C nur selten unterschreiten und damit die Abführung der Abwärme zu einer technischen Herausforderung gerät. Durch numerische Strömungssimulationen (engl. Computational Fluid Dynamics) lässt sich die strömungstechnische Interaktion der einzelnen Komponenten mit ihrer unmittelbaren Umgebung anschaulich darstellen, sodass auf diese Weise konstruktive und bauliche Optimierungspotenziale ausgeschöpft werden. So kann bspw. die Anordnung und die Bauform von Containern eines Gasmotorenkraftwerkes standortspezifisch angepasst werden.

Fluidströmungen sind komplex und können in aller Regel analytisch nicht erfasst werden. Mit Hilfe von iterativen Methoden ist es aber dennoch möglich, diese zu berechnen und – nach entsprechender Aufbereitung der Ergebnisse – sichtbar und verständlich zu machen. Computational Fluid Dynamics, kurz CFD, heißt das Tool, das dank heutiger Rechnerleistungen geeignet ist, auch komplizierte Strömungsverhältnisse anhand von mathematischen und physikalischen Modellrechnungen optisch darzustellen. Mit diesem Tool können unter anderem Richtung und Geschwindigkeit von Fluidströmungen, Temperaturverteilungen oder aber auch konjugierte Wärmeübertragung durch Strömungen in zwei- und dreidimensionalen Darstellungen visualisiert werden.

Für Fluide, die entweder durch ein Objekt oder um ein Objekt herum fließen lässt sich mittels CFD die Gesamtheit der relevanten physikalischen Größen auf einmal abbilden. Die für die Wärmeübertragung wichtigen Parameter Konvektion, Strahlung und Wärmeleitung können auch in komplexen oder besonders kleinen oder großen Geometrien, die man nicht einfach für Versuchszwecke nachbauen kann, sichtbar und damit „messbar“ gemacht werden. Dieses Verfahren beschleunigt die Phase der Projektierung enorm, da der Zeitaufwand für eine virtuelle Strömungssimulation um ein Vielfaches geringer ist, als der klassische Weg über „Trial and Error“. Zumal eine Vielzahl von Daten, die eine Strömungssimulation liefert, mit herkömmlichen Mess- und Testverfahren überhaupt nicht zugänglich ist – zumindest bei wirtschaftlich vertretbarem Aufwand.

CFD-Simulation im Gelände

Für die Wärmeübertragung problematische Zonen im Gelände, zum Beispiel ungünstige architektonische oder landschaftliche Gegebenheiten oder auch besonders windanfällige Aufstellungen, können die Leistungsfähigkeit von Luftkühlern stark und meistens negativ beeinflussen. Güntner setzt daher im Außenbereich bei besonders anspruchsvollen Aufgabenstellungen die CFD-Simulation ein, um bereits in der Planungsphase den Einfluss von Gebäuden und anderen Konstruktionen auf Wind und sonstige Luftströmungen zu ermitteln und in einem zweiten Schritt deren Auswirkung auf die Wärmeabfuhr von Wärmeübertragern zu überprüfen.

Sind potenzielle Problemzonen erkannt, wird über gezielte Veränderungen im simulierten Umfeld die Leistung der Rückkühler oder Verflüssiger verbessert, aber auch der Aufstellungsort oder die Geometrie der Güntner Aggregate optimiert. Eine solche CFD-Simulation kann sehr komplex werden, da sie eine Vielzahl von Parametern abdecken muss. Das sind zum Beispiel die Wärmeübertragung, der Druckabfall, Luftströmungen auf engem Raum und die Berechnung von Auftriebs- und Widerstandskräften.

Modellierung, Berechnung und Auswertung

Die CFD-Simulation beginnt üblicherweise mit der Erfassung der Aufgabe bzw. der Problemstellung und der Konstruktion eines dreidimensionalen Modells. Dann werden die geeigneten Rechenmodelle ausgewählt und eine erste Simulation gestartet. Nachdem die Ergebnisse auf Plausibilität geprüft wurden, geht es in die Optimierung, also die gezielte Veränderung bestimmter Größen des dreidimensionalen Modells.

Im Rahmen der Simulation berechnet das CFD-Tool sowohl langsame und schleichende (laminare) als auch turbulente Strömungen. Daneben werden wärmebedingte Auftriebskräfte berücksichtigt. Aber auch nicht isotherme und konjugierte Wärmeübertragung und weitere multiphysikalische Koppelungen wie zum Beispiel die Kondensation und die Luftfeuchtigkeit können miteinander kombiniert werden. Als sichtbares und auswertbares Arbeitsergebnis ermittelt das CFD-Tool beispielsweise den Weg der Strömung und deren entsprechende Wärmeausbreitung und stellt sie grafisch zwei- oder dreidimensional dar.

Bestandsaufnahme als ersten Schritt

In einem bestehenden Gaskraftwerk eines MTU-Motoren-Partners in Myanmar kam es in der Vergangenheit bei hohen Außentemperaturen immer wieder zu Leistungseinbrüchen, da bei großer Hitze die Motorenwärme nicht ausreichend aus dem System „Container-Motor-Umgebungsluft“ abgeführt werden konnte, obwohl rein rechnerisch die Wärmeübertrager-Kapazität mehr als ausreichte. Bei diesem Gasmotoren-Kraftwerk führen Tisch-Flüssigkeitskühler die Wärme aus 100 eingehausten Gas-Generatoren (à 1,8 MW) an die Umgebung ab.

Die Container mit den auf deren Dach aufgestellten Kühlern sind auf dem Grundstück in zwei langen Reihen angeordnet, und zwar senkrecht zur überwiegend vorherrschenden Windrichtung. Die Container haben jeweils einen Schornstein für die Abgase des Motors sowie einen Auslass im Dach, um die Wärme der Motoren aus dem Container abzuführen.

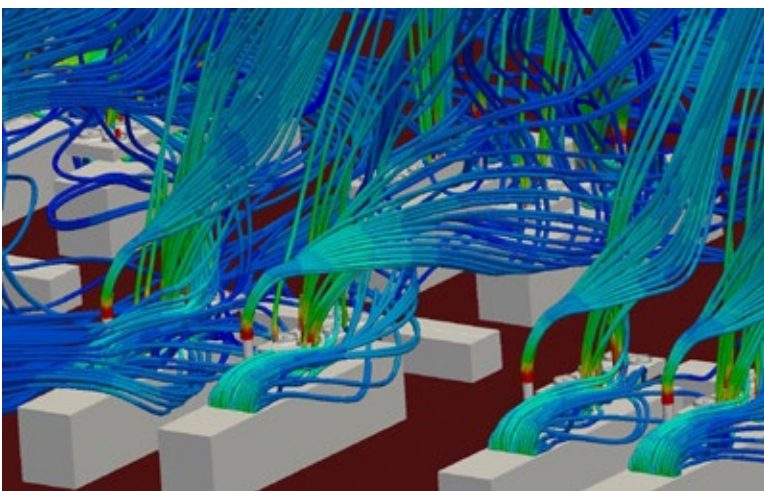


Abbildung 1:

Zur Auslegung der Motorenkühlung sind mehr Angaben erforderlich als nur die durchschnittliche Umgebungstemperatur.

Um das Phänomen des Leistungsabfalles zu verstehen und zu visualisieren, hat Güntner zunächst vor Ort eine genaue Bestandsaufnahme durchgeführt und in einem Feldtest an definierten Messstellen Temperaturen aufgezeichnet. Es ergaben sich für die Lufteintrittstemperaturen unterhalb der Kühler für ein und denselben Messpunkt Veränderungen von bis zu 10 K über die Zeit und bei nebeneinanderliegenden Messpunkten unterhalb eines einzelnen Flüssigkeitskühlers Unterschiede von bis zu 15 K zum gleichen Zeitpunkt. Die durchschnittliche Umgebungstemperatur im Messintervall veränderte sich im Messzeitraum allerdings nur um maximal 6 K. Somit blieb als einzige Erklärung nur das Ansaugen bereits erwärmter Abluft, deren Herkunft mittels numerischer Strömungssimulation ermittelt werden sollte.

Basierend auf den tatsächlichen Gegebenheiten hat Güntner ein CFD-Modell entwickelt, das sowohl die Aufstellungssituation aller 100 Generatoren des Gaskraftwerkes berücksichtigt als auch die Bauform der Container und Luftkühler, die Abgasführung und die Wetterdaten im Messzeitraum. Für jede der rund 36 Millionen Zellen des Modells berechnete die CFD-Software die relevanten Größen wie Druck, Temperatur und Luftgeschwindigkeit. Die Überprüfung der Ergebnisse erfolgte durch einen Vergleich mit den gesammelten Messdaten aus dem Feldtest.

Visualisierung der Bestandsaufnahme

Die erste grafische CFD-Auswertung zeigte, dass die über 60 °C warme Abluft aus den Containern zum Teil von den Ventilatoren des Flüssigkeitskühlers angesaugt wurde, was einen Teil der Leistungseinbußen erklärte. Aber auch die rund 430 °C heißen Motorabgase aus den Kaminen wurden an einigen Stellen von den Ventilatoren angesaugt und erwärmten die Zuluft.

Weiterhin sammelten sich Abgase und Containerabluft im Zentrum der Kraftwerksanlage, was zu einem weiteren starken Anstieg der Zuluft-Temperatur für die innen aufgestellten Flüssigkeitskühler führte. Darüber hinaus heizten die Abgase der außenstehenden Geräte die Zuluft der innenstehenden Geräte zusätzlich auf, was in der Summe zu Leistungseinbrüchen bei fast allen innen aufgestellten Generatoren führte.

Nach diesem Befund sollten weitere Simulationen einerseits Optimierungspotenzial für die bestehende Anlage erschließen und ferner für ähnliche anstehende Projekte die bestmögliche Aufstellung und Konstruktion generieren. Mehrere leistungsstarke Server waren für diese Aufgabe über Wochen mit den entsprechenden Berechnungen ausgelastet und einige hundert Gigabyte an Daten wurden dabei generiert.

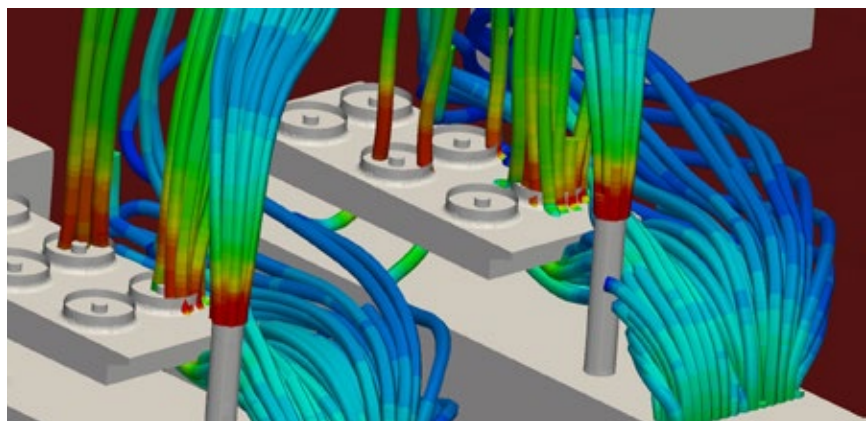


Abbildung 2:

Fehler Nr. 1: Die 60 °C warme Abluft der Container wird teilweise von den Ventilatoren angesaugt.

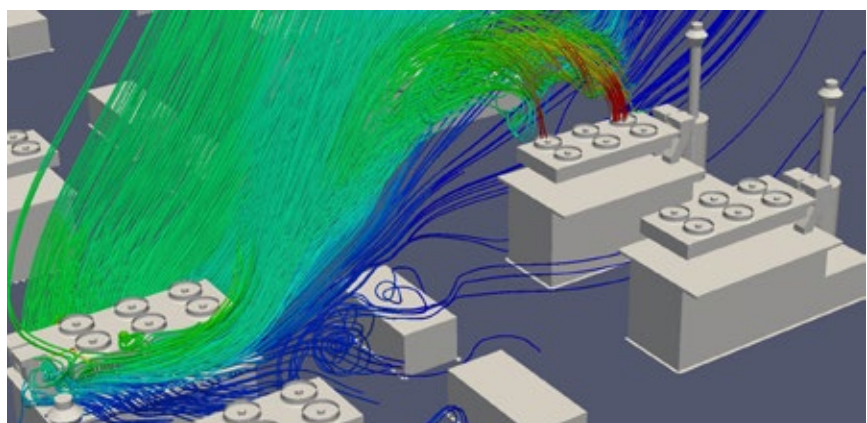


Abbildung 3:

Fehler Nr. 2: Die Abluft windzugewandter Generatoren erwärmt die Zuluft von windabgewandten Einheiten.

Konstruktive Verbesserungen im Bestand – neue Aufstellanordnung für Folgeprojekt

Indem in der Datenbasis der Bestandsaufnahme immer nur jeweils ein Parameter verändert und die jeweiligen Auswirkungen darauf simuliert wurden, konnte mit konstruktiven Veränderungen an den einzelnen Komponenten der Wirkungsgrad des bestehenden Kraftwerks verbessert werden. Zu den Maßnahmen zählten zum Beispiel die Anpassung der Form der Ventilatorhauben und die Anpassung der Abgasführung der Motoren.

Für zukünftige Kraftwerksanlagen wurde darüber hinaus eine Fläche mit den gleichen Abmessungen wie die des Bestandskraftwerks betrachtet. Neben den konstruktiven Verbesserungen, wie sie an der Bestandsanlage vorgenommen wurden, wurde mit Hilfe der CFD-Simulation auch die Anordnung der Generatoren sowie die Bauform der neuen Container optimiert, um zukünftig Luftkurzschlüsse weitestgehend zu vermeiden. Dieses nun schon sehr kundenindividuelle Kraftwerks-Design mit neuer Anordnung der Generatoren wurde in einem letzten Simulationsschritt mit Witterungsdaten nochmals optimiert.

Neue Kraftwerksanlagen mit dem verbesserten Design werden daher auch bei Temperaturspitzen und ungünstigen Windverhältnissen deutlich geringere Spannungsschwankungen aufweisen.

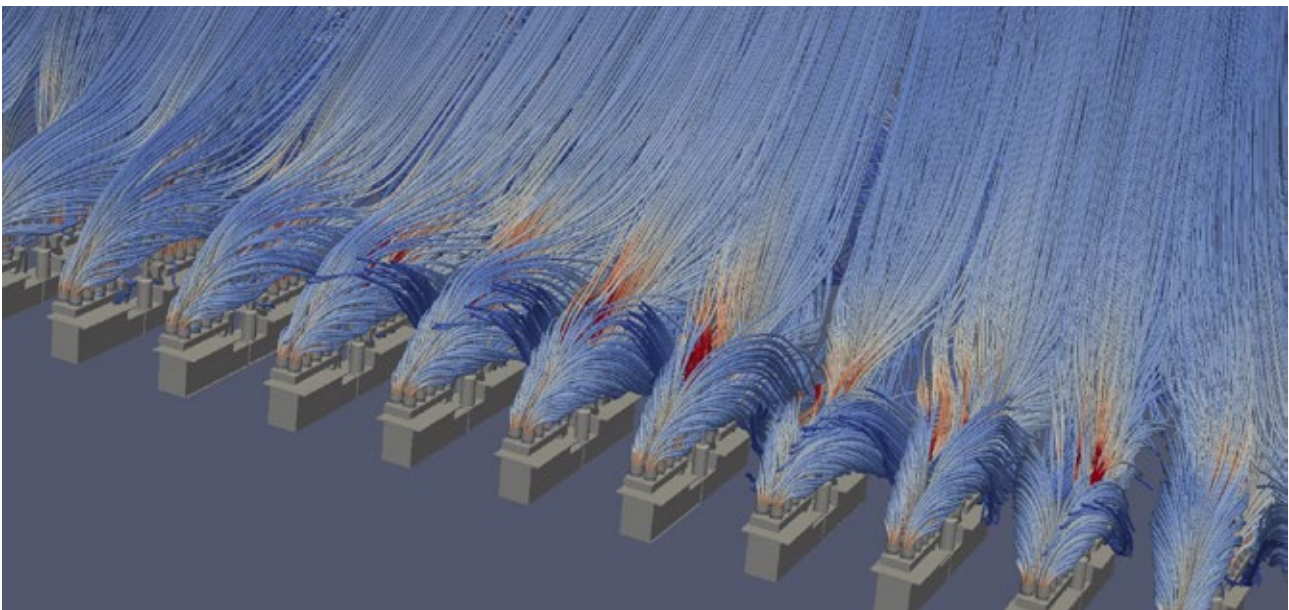


Abbildung 4:
Eine mit Hilfe von CFD optimierte Anordnung und Bauform verhindert Luftkurzschlüsse sehr wirksam und erhöht die Leistungsfähigkeit der Motorenkühlung.