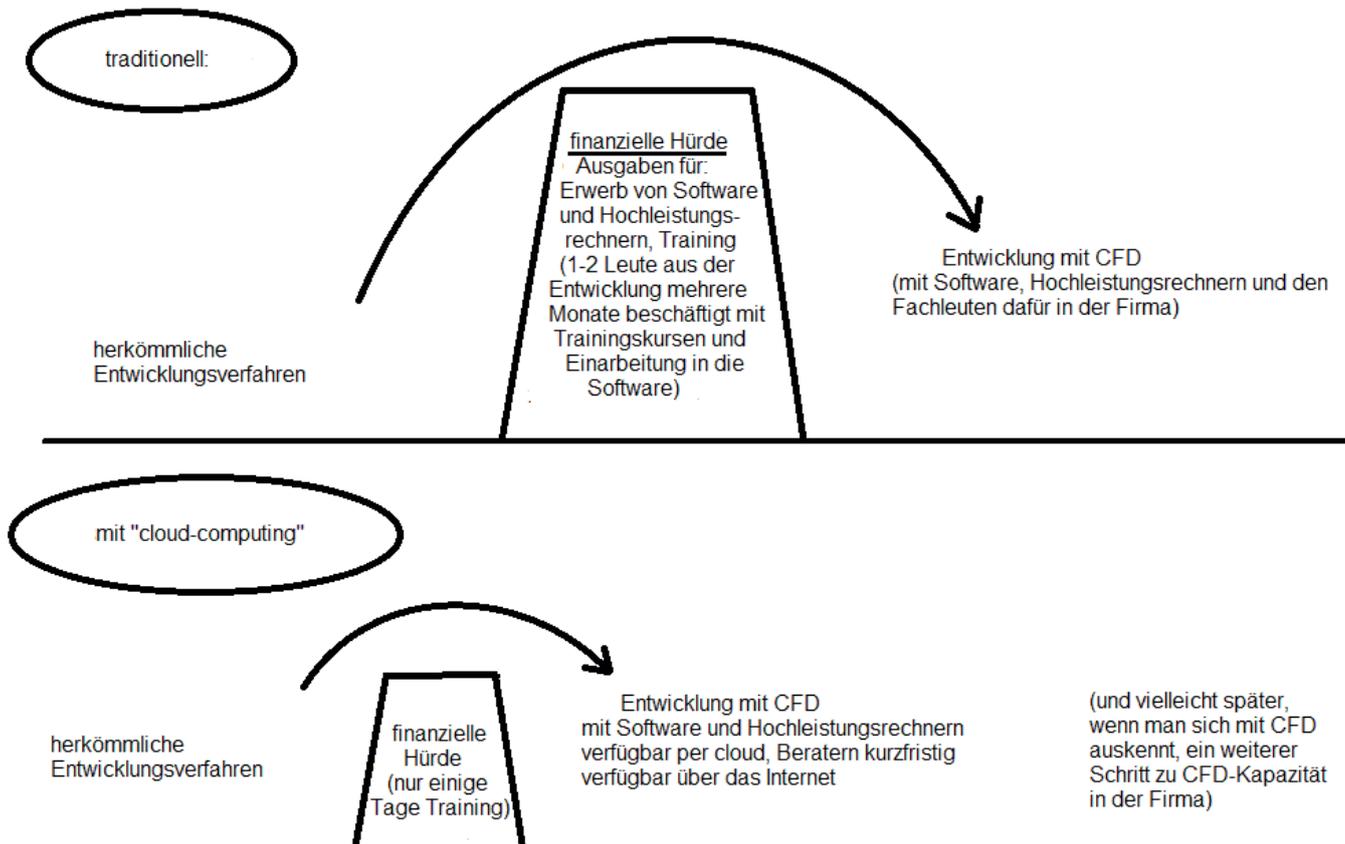


Ein Kompendium zu „cloud computing“ in KMU - praktische Erfahrungen mit „CFD“ (computational fluid dynamics -> Berechnen einer Strömung statt Entwicklung durch Versuch und Irrtum) in einem mittelgroßen Unternehmen



In den letzten Jahren war „cloud computing“ ein Schlagwort in der Industrie. Nur die Nutzung von Computern und Programmen zu bezahlen, anstatt sie zu kaufen, scheint in vielen Fällen eine gute Idee zu sein. In unserem Fall, der Firma BOGE Kompressoren, einem mittelgroßen Hersteller und Entwickler von gewerblichen Kompressoren für Druckluft, haben wir länger über ein eigenes CFD-System nachgedacht.

Die Anwendung ist diese: Die Luft-Strömung in einem Kompressor (bei der Verdichtung) und um ihn herum (als Kühlluft) ist entscheidend für seine Funktion. Die derzeitige Praxis, einige Überschlagsrechnungen zur Dimensionierung und dann viele Versuche zur Entwicklung einer guten Konstruktion durchzuführen könnte durch CFD-Simulationen der Strömung verbessert werden -> so könnte man einen besseren Startpunkt für die Versuche finden. Aber der traditionelle Weg - erst ein CFD-Programm und schnelle PCs kaufen, dann einen oder 2 Entwicklungsingenieure mehrere Monate sich in das CFD einarbeiten lassen und erst danach das CFD nutzen können? Das ist eine hohe (finanzielle) Hürde. Da erhielten wir Informationen über

ein EU-Programm „Cloudflow“, das das „cloud computing“ zum Nutzen der Industrie vorantreiben soll.

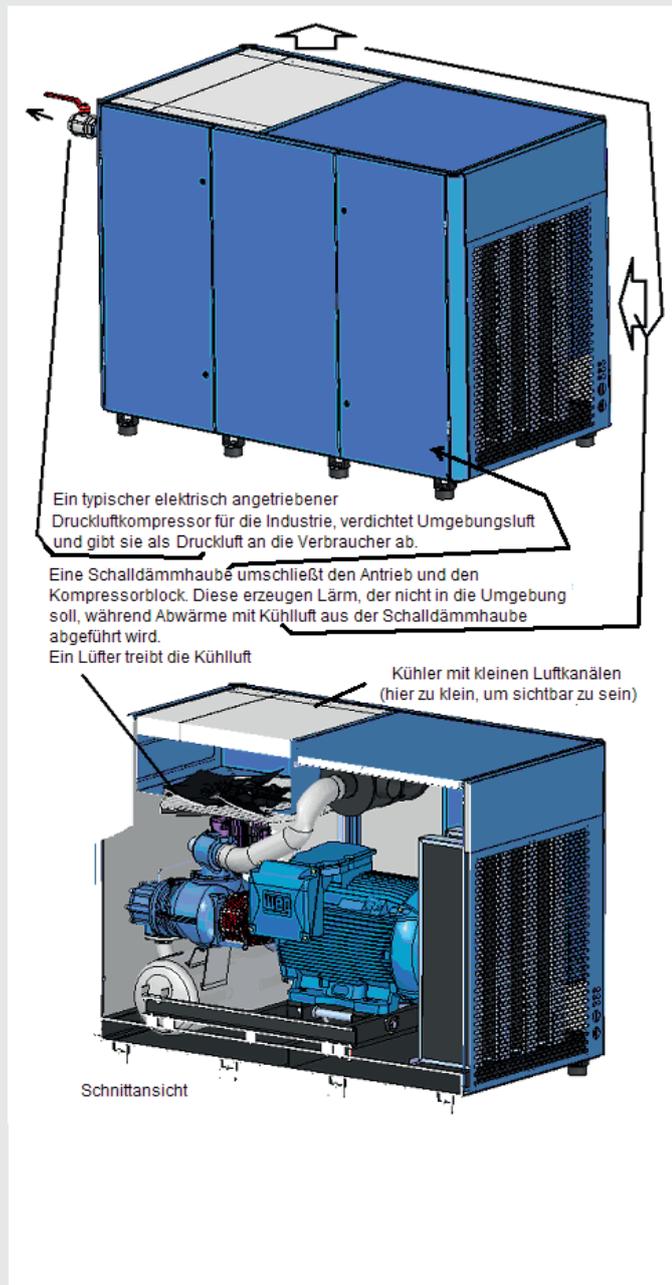
Der Plan war:

Ein Kompressor brauchte eine bessere Schalldämmhaube - ein weitverbreitetes Problem bei der Maschinenentwicklung: die Schalldämmhaube soll den Lärm nicht herauslassen, aber Kühlluft muss die Wärme abführen, wozu Öffnungen in der Schalldämmhaube notwendig sind. Kleine Öffnungen und Kühlluftkanäle mit Umlenkungen sind gut für wenig Lärm, erschweren aber die Kühlluftströmung. Und manchmal gibt es ein Paradoxon: Eine

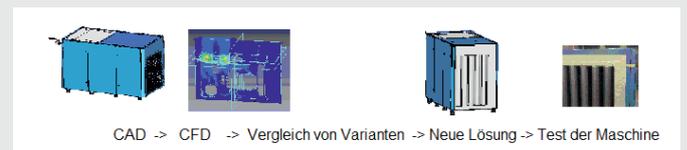
Ein Kompendium zu „cloud computing“ in KMU - praktische Erfahrungen mit „CFD“ (computational fluid dynamics -> Berechnen einer Strömung statt Entwicklung durch Versuch und Irrtum) in einem mittelgroßen Unternehmen

Schalldämmhaube wird mit kleinen Öffnungen entworfen -> für die Kühlluft wird ein kräftiger Lüfter benötigt -> der erzeugt mehr Lärm -> im Ergebnis wird der Lärm gar nicht verringert.

In manchen Fällen umfasst die Schallhauben-Optimierung bei luftgekühlten Kompressoren ein Dutzend Iterationen - man testet, verbessert, testet wieder, verbessert wieder usw. - der Kompressor ist entweder zu laut oder zu heiß. Ein verbessertes Verständnis der Lüftströmung mittels CFD würde helfen, schneller eine gute Lösung zu finden.

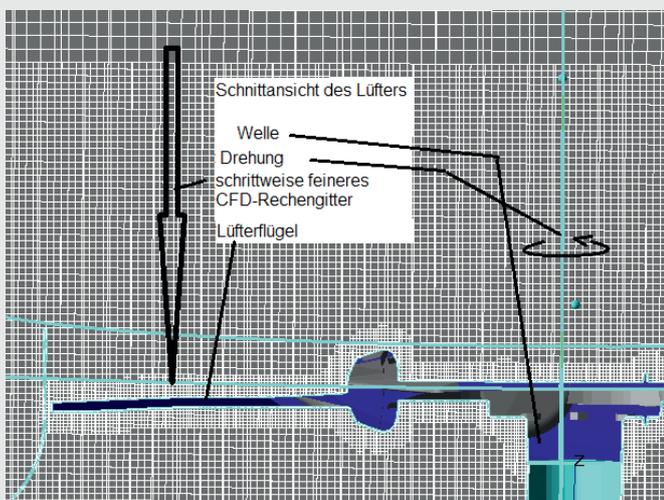


Das CAD-Modell des zu verbessernden Kompressors wird in das CFD-Programm übertragen. Das CFD-Programm und Hochleistungsrechner sind über Cloud-Computing verfügbar. Der CFD-Anbieter und die der Rechnerkapazitätsanbieter wären für Fragen zu Problemen durch das Internet erreichbar, zum Beispiel mittels Videokonferenz. Hochleistungsrechner beschleunigen die Berechnung und machen auch komplexe Aufgaben lösbar. Verschiedene Entwürfe zu der Entwicklungsaufgabe können durch CFD vorab simuliert werden, und am Ende steht ein vor-ausgewählter Entwurf, der im Versuch überprüft wird <- mit weniger Versuchsaufwand und – durch besseren Einblick in die Strömung – wohl auch einem besseren Ergebnis als mit der üblichen Versuch-und-Irrtum Entwicklung.

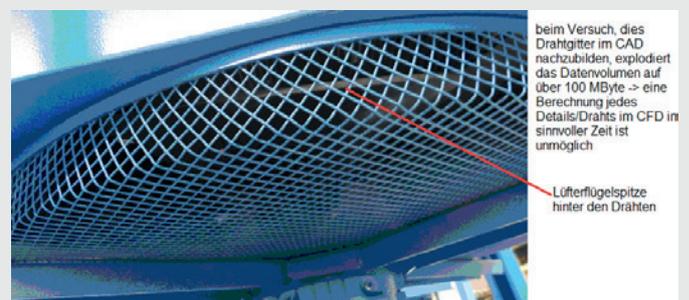


Die Arbeit begann. Und dann tauchten unvorhergesehene Schwierigkeiten auf. Die Übertragung vom CAD zum CFD war schwieriger. Das CAD-Modell umfasst viele Details, zum Beispiel viele Schraubchen in einem 1000+ Teile /3x2x2 m³ Kompressor. Bei einer direkten 100% Übertragung in das CFD-Programm (Flowvision von CAPVIDIA) entstand ein sehr kleinteiliges Modell, zu komplex für eine Lösung. Es ist notwendig, die kleinen und die unwichtigen Teile weg zu lassen und die Schraubenlöcher manuell zu schließen (ein 6 mm-Loch in einem Blech verursacht ein Problem mit der numerischen Stabilität).

Ein Kompendium zu „cloud computing“ in KMU - praktische Erfahrungen mit „CFD“ (computational fluid dynamics -> Berechnen einer Strömung statt Entwicklung durch Versuch und Irrtum) in einem mittelgroßen Unternehmen



Ein wichtiges Ziel der Optimierung ist geringe Lüfterleistung, Um das Drehmoment am Lüfter richtig zu ermitteln ist ein feines CFD-Rechengitter um die Lüfterflügel notwendig, was den Rechenaufwand erhöht. Sehr hilfreich war die Unterstützung durch den CFD-Anbieter mittels Videokonferenzen. Ohne diese Hilfe hätte man Monate an Einarbeitungszeit benötigt, um die Aufgabe bewältigen zu können. So wurde ein Problem mittels E-Mail an den CFD-Anbieter weitergegeben; am nächsten oder übernächsten Tag gab es eine Videokonferenz über Internetverbindung; das Problem wurde 1-2 Stunden besprochen; man kann den Lösungsweg im CFD verfolgen (welche Parameter müssen eingegeben werden, welche Variablen müssen beachtet werden, was muss wie mit der Maus angeklickt werden) und das Problem ist gelöst. Und die Aufzeichnung dieser Videokonferenzen ermöglicht, sich diese Anleitung zur Vertiefung noch einmal anzusehen. Einige wichtige Einzelheiten des CAD-Modells konnten nicht direkt in das CFD-Modell übernommen werden. Ein volles exaktes Modell des Drahtgitters zum Fingerschutz ist zu umfangreich, um es in das CFD-Modell zu übernehmen. Deshalb wurde der Strömungswiderstand des Gitters in einem separaten CFD-Modell (nur mit einem Teil der Drähte und der Luftströmung) bestimmt und das Ergebnis als Strömungswiderstand mit der Formel $\Delta p = k_1 * c^2 + k_2 * c$ (die Koeffizienten k_1 und k_2 als Ergebnis des separaten CFD-Modells) in das komplette CFD-Modell übernommen.

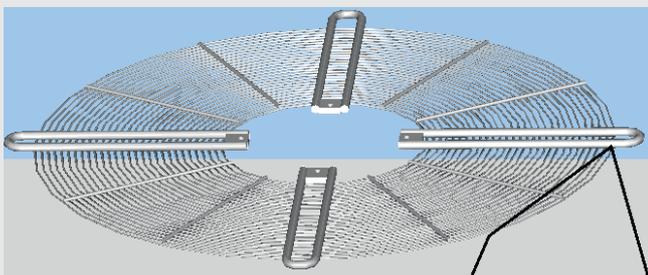


Schließlich wurde das komplette CFD-Modell berechnet. Bei 24 parallel arbeitenden Prozessoren auf dem Hochleistungsrechner waren 10 Tage Rechenzeit notwendig. Dies begrenzte die Anzahl möglicher Schalldämmhauben-Variantenrechnungen.

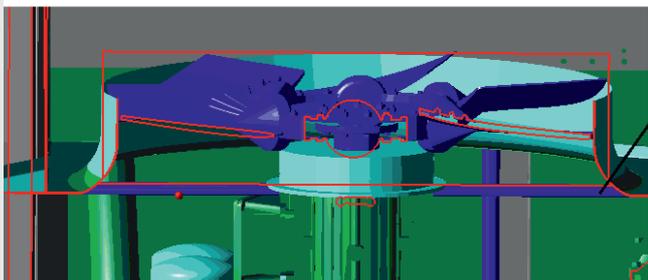
Schlussfolgerungen daraus sind:

Wenn es nicht möglich ist, kleine, unwichtige Teile automatisch aus dem CFD-Modell zu entfernen, ist es oft besser, keine direkte Übertragung „komplettes CAD-Modell -> CFD“ durchzuführen, sondern ein vereinfachtes CAD-Modell (nur für die Luftströmung wichtige Teile, kleine Bohrungen verschlossen) zu schaffen und das in das CFD zu übertragen. Das ermöglicht schnellere CFD-Rechnungen. Die Übertragung von Drahtgittern, Filtern, Lochblechen in je einen Strömungswiderstand sollte von Anfang an einbezogen werden. Aber größere Teile in so einem Gitter, wie Haltearme, Querträger usw. die einen Windschatten erzeugen, durch den sich die Lüfterflügel hindurch bewegen, müssen als separate Teile in das CFD-Modell hinein.

Ein Kompendium zu „cloud computing“ in KMU - praktische Erfahrungen mit „CFD“ (computational fluid dynamics -> Berechnen einer Strömung statt Entwicklung durch Versuch und Irrtum) in einem mittelgroßen Unternehmen



solch ein Drahtgitter nahe dem Lüfter wird im CFD dargestellt als Arme (feste Bauteile) + Strömungswiderstand (als Formel $\Delta p = (0,3421 \cdot (VEL0city)^2 + 0,5508 \cdot abs(VEL0city))$ zur Darstellung der kleinen Drähte)



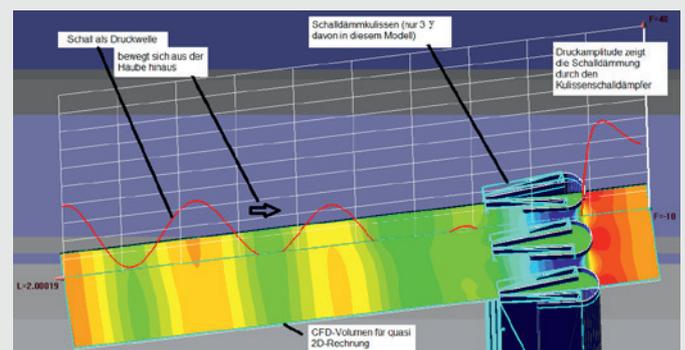
Die Video-Konferenzen über Internet zeigte eine Schwierigkeit: Wie in produzierenden Unternehmen üblich gibt es ein Firmen-LAN, das durch ein scharf eingestelltes Firewall-Programm geschützt wird. Viele Programm für Videokonferenzen, die für Hintertüren bekannt sind, wie Skype, sind blockiert. Und das benutzte Programm „GOTOMEETING“ hat etwa alle 2 Wochen ein Update, worauf jeweils das Firewall-Programm neu konfiguriert werden muss. Ein Videokonferenz-Programm ohne solch häufige Updates (mit Aufzeichnungsfunktion) wäre besser.

Man kann auf die Idee kommen, dass Lärm nichts anderes ist als Druckschwankungen, und die könne man mit den CFD direkt berechnen. Da man dazu die Strömung instationär berechnen müsste und eine CFD-Gittermaschenweite von $< \lambda/10$ - was bedeutet $< 33\text{mm}$ für 1000 Hz einhalten müsste, würde daraus eine Vergrößerung des Rechenaufwandes um einen Faktor > 1000 bedeuten. Dies war schon vorab bekannt und deshalb nicht beabsichtigt. Die Schalldämmung der Schalldämmhaube wird durch die Formel für die Schallabsorption in Kanälen nach Piening berechnet und das erwies sich als etwas grobe, aber brauchbare Methode.

Eine Lüfterschallberechnung nach einer Formel wie der aus VDI 3731 / Regenscheit war beabsichtigt, passte aber nicht zu den experimentellen Ergebnissen. Der Einfluss von Windschatten erzeugenden Bauteilen in der

Zuströmung zu dem Lüfter erwies sich als sehr groß (3-7 dB !). Ein anderes Verfahren, bei dem aus mittels CFD berechneten Druckschwankungen nahe dem Lüfter, FFT (Fast Fourier Transformation) und Höhergewichtung von höheren Frequenzen der Lüfterschall abgeschätzt wird, könnte eine Lösung bringen.

Ein anderes Problem bei der Berechnung von Schalldämmhauben erwies sich als lösbar. Öffnungen in Schalldämmhauben sollten für gute Schalldämmung klein sein, aber das erhöht den Druckverlust im Kühlluftstrom. Kulissenschalldämpfer in solchen Öffnungen schaffen gute Schalldämmung bei mäßigen Druckverlust. Noch bessere Ergebnisse schaffen stromlinienförmige Kulissen. Deren Wirkung bei höheren Schallfrequenzen lässt sich gut abschätzen, aber bei geringen Frequenzen ist eine einfache, schallabsorbierende Oberfläche nicht effektiv. Kulissenschalldämpfer für niedrige Frequenzen arbeiten mit Resonanzräumen, und für die gibt es keine Dimensionierungsformel. Aber wenn man das Problem auf einen schmalen Strömungskanal mit wenigen Kulissen reduzieren kann, kann es als instationäre zweidimensionale Strömung mittels CFD gelöst werden.



Es ist notwendig, vorab die Fähigkeit des CFD-Systems zur Simulation von Schall zu prüfen - viele CFD-Systeme beinhalten eine rechnerische Wegdämpfung von Schwingungen für gute numerische Stabilität. Aber wenn das berücksichtigt wird, kann die Schallminderung in Kulissenschalldämpfern mit Resonanzkammern bei niedrigen Frequenzen (Wellenlänge $\lambda > 0,2 \cdot \text{Kulissenlänge}$) berechnet und optimiert werden.

Messungen an dem optimierten Kompressor wurde durchgeführt und ergaben eine Verringerung der Lüfterleistung (um etwa ein Drittel), zusätzlich eine deutliche Verringerung des Lüfterschalls ($> 5\text{dB}$) und eine kleinere Verringerung der Gesamtschallemission des Kompressors. Wenn man sich des besseren Lüfterwirkungsgrades sicher gewesen wäre und eine Schwäche

BOGE Druckluftsysteme GmbH & Co. KG

Postfach 10 07 13 · 33507 Bielefeld

Otto-Boge-Straße 1–7 · 33739 Bielefeld

Fon +49 5206 601-0 · Fax +49 5206 601-200

info@boge.de · www.boge.de



des Kulissenschalldämpfers bei 500 Hz vorhergesehen worden wäre, hätte die Gesamtschallemission noch geringer ausfallen können. Beim jetzigen Stand kann man die Ergebnisse so zusammen fassen: Bei Verwendung von „Cloud-computing“ können hochentwickelte computerbasierte Entwurfsverfahren von KMU (Kleinen und Mittelgroßen Unternehmen) genutzt werden. Die finanzielle Hürde zu Beginn wird damit überwunden. Vielleicht dient es als gelegentliches Instrument für komplexere Entwicklungsaufgaben, vielleicht zum sich-vertraut-machen mit solchen Verfahren um schließlich das (in diesem Fall CFD-) Programm zu kaufen.

Sicherheitsbelange müssen beachtet werden. In unserem speziellen Fall gab es keine externen „Test-Hacker“ oder ausführliche Untersuchungen durch Sicherheitsexperten -> die Kosten wären höher gewesen als das Budget für dieses Projekt. In diesem Fall war das Kompressormodell schon auf dem Markt – somit der Konkurrenz bekannt – und da die Ergebnisse aufgrund der EU-Förderung sowieso veröffentlicht werden, wäre der Nutzen für einen Hacker minimal.

Im Überblick:

- „Cloud computing“ ist ein guter Weg, um in hochentwickelte Methoden für die Konstruktion einzusteigen, die Hochleistungsrechner benötigen.
- Es ist entscheidend, einen Anbieter zu finden, der bei der Programmbedienung schnell helfen kann.
- Diese Hilfe sollte über eine Videokonferenz mittels Internet verfügbar sein, wobei der eigene Bildschirm für den Helfer sichtbar ist.
- Das Programm für die Videokonferenz sollte sorgfältig gewählt werden. Programme mit Hintertür wie Skype, Lync usw. besser nicht, es sollte nicht allzu häufig Updates geben; eine Aufzeichnungsfunktion ist sinnvoll, mit der Beispiele für die Programmbedienung – vom Problem bis zur Lösung – festgehalten werden
- Arbeiten per Internet auf einem weit entfernten Computer ist kein Problem, so lange wie keine besonders großen Datenmengen übermittelt werden
- Sicherheit muss ernst genommen werden.

Und speziell für CFD:

- Nicht überschätzen, was Hochleistungsrechner können, nicht einfach das komplette CAD-Modell in CFD übertragen; es ist sinnvoll, ein vereinfachtes Modell für die Strömung zu schaffen, nur mit den wichtigen Bauteilen.
- Drahtgitter, Lochblech usw. ist normalerweise durch einen Strömungswiderstand zu ersetzen.
- Für Lüfterlärm ist der Einfluss von Hindernissen in der Luftzuströmung zum Lüfter entscheidend.
- Für die Konstruktion von Schalldämmhauben um luftgekühlte Maschinen und Geräte -eine weit verbreitete Aufgabe- ist CFD hilfreich, um bessere Lösungen zu finden und Versuchsaufwand zu verringern.
- In diesem Fall sollten Lösungen für Kulissenschalldämpfer und Öffnungen in kleinen separaten Modellen gefunden werden.
- Eine CFD-Simulation von Lärm mit niedriger Frequenz -was mit Wand-Schallabsorption kaum berechnet werden kann- ist unter günstigen Umständen möglich: einfaches, kleines CFD-Modell, vorzugsweise in 2D, Wellenlänge $\lambda > 0,1$ der Maschine- / Bauteillänge