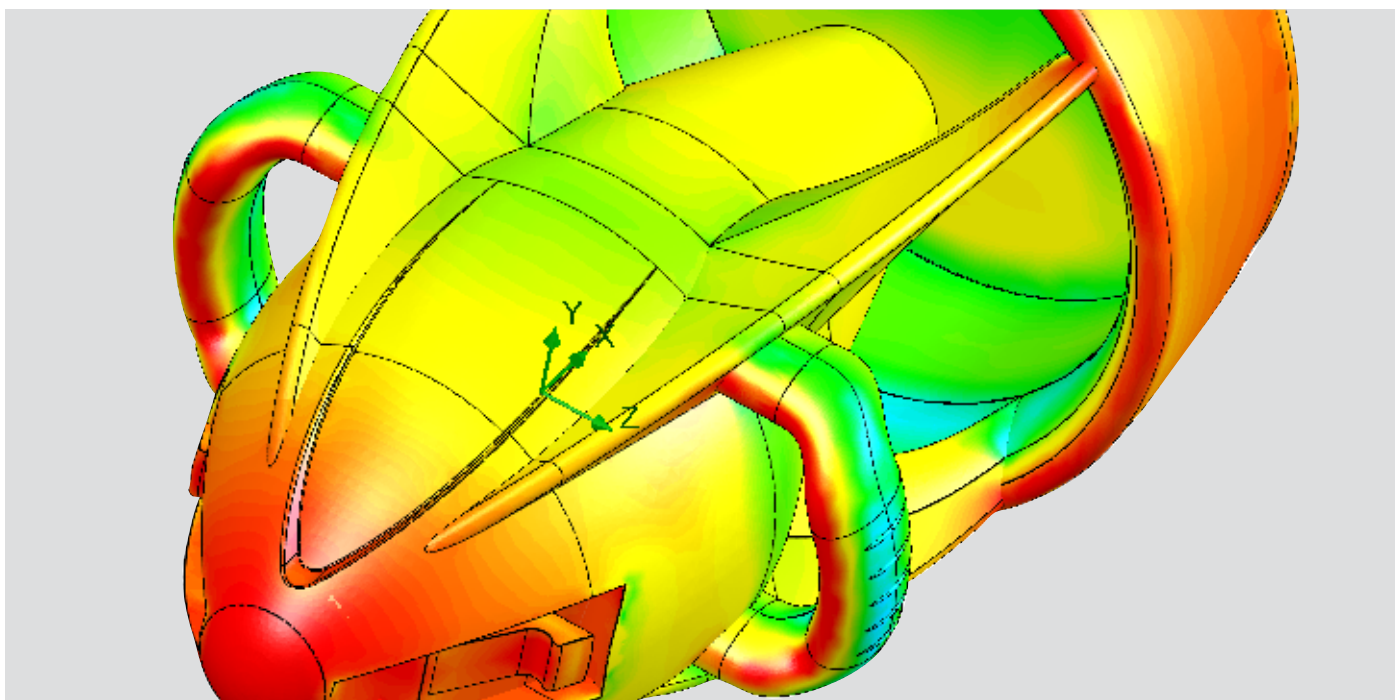

DIE ROLLE VON CFD IN DER KONSTRUKTIONSPRAXIS

Übersicht

In diesem White Paper wird anhand von Beispielen (Kühlkörper, medizinische Absaugvorrichtung, Backofen und industrielles Regelventil) veranschaulicht, wie sich mit SolidWorks® Flow Simulation bei Wärmeübertragungs- und Flüssigkeitsströmungsproblemen optimale Produktkonstruktionen erstellen lassen. SolidWorks Flow Simulation ist ein intelligentes und benutzerfreundliches CFD-Programm (Computational Fluid Dynamics), das SolidWorks Anwender bei ihrer Arbeit unterstützt.



SolidWorks Flow Simulation Ansatz

Konstrukteure haben immer dann mit Wärmeübertragungsproblemen zu kämpfen, wenn sie an elektronischen Produkten arbeiten, die durch Überhitzung leicht beschädigt werden können. Kühlkörper lösen zwar das Überhitzungsproblem, doch wie sieht eine optimale Konstruktion und Platzierung eines Kühlkörpers bei einem bestimmten elektronischen Gerät aus? Und wie kann ein Konstrukteur den für seine Zwecke optimalen und kosteneffizientesten Kühlkörper ohne den Bau vieler kostspieliger Prototypen ermitteln?

Ganz andere Probleme treten bei der Konstruktion einer medizinischen Absaugvorrichtung für eine Anwendung auf, in der bei gegebenem Druckabfall (Saugwirkung) die höchstmögliche Durchflussrate (mit eingeschränkter Rücksaugung innerhalb des Geräts) und ein möglichst gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil am Saugkopf erforderlich sind. Auch hier stellt sich die Frage, wie sich mit minimalem Kosten- und Zeitaufwand die optimale Konstruktion ermitteln lässt.

Die gleichen Prinzipien gelten für Konsumgüter, wie z. B. Backöfen, und industrielle Anlagen, die Regelventile enthalten.

Die oben genannten Beispiele stellen Problembereiche dar, mit denen sich Konstrukteure vieler unterschiedlicher Produkte bei ihrer täglichen Arbeit konfrontiert sehen.

Die CFD-Analyse (Computational Fluid Dynamics) ist ein Simulationswerkzeug, das bei der Lösung solcher Probleme sehr hilfreich sein kann. Häufig sind CFD-Programme jedoch äußerst komplex und schwer zu verwenden – besonders für Konstrukteure, die nur über geringe Spezialkenntnisse auf dem Gebiet der Strömungstechnik verfügen. SolidWorks Flow Simulation stellt allen Anwendern von SolidWorks intelligente und benutzerfreundliche CFD-Werkzeuge bereit.

Konstruktion 1: Kühlkörper für ein externes elektronisches Gerät

Der erste Kühlkörper ist für ein elektronisches Gerät (z. B. eine Überwachungskamera) gedacht, das im Außenbereich eingesetzt wird. Um es vor Witterungseinflüssen zu schützen, muss das Gerät ordnungsgemäß abgedichtet werden. Ohne Lüftung erfolgt der Großteil der Wärmeübertragung jedoch nur über eine Seite des Gehäuses. Mit dem Kühlkörper soll in diesem Fall die Wärme abtransportiert werden. Der Hersteller des Geräts hat sich für einen Standard-Kühlkörper entschieden, dessen Konstruktion nicht geändert werden kann.

Wie kann die Kühlung unter diesen Vorgaben auf kosteneffiziente Art und Weise erhöht werden?

Ausgangspunkt ist ein SolidWorks Modell des Standard-Kühlkörpers (Abbildung 1). Hier lässt sich erkennen, dass aufgrund der Schwerkraft die Wärme vom Gehäuse zu den Rippen des Kühlkörpers geleitet und durch natürliche Konvektion (aufsteigende, leichtere Luft) abgeleitet wird. Um eine „abgeschirmte“ Konstruktion zu testen, platziert der Konstrukteur eine Abdeckung über dem Kühlkörper und muss dann bestimmen, ob dadurch eine so genannte Kaminwirkung eintritt, d. h. ob die Luftzirkulation erhöht und damit das elektronische Gerät effektiver gekühlt wird.

Häufig sind CFD-Programme äußerst komplex und schwer zu verwenden – besonders für Konstrukteure, die nur über geringe Spezialkenntnisse auf dem Gebiet der Strömungstechnik verfügen. SolidWorks Flow Simulation stellt allen SolidWorks Anwendern intelligente und benutzerfreundliche CFD-Werkzeuge bereit.

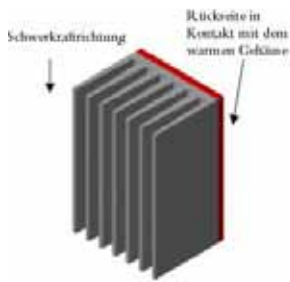


Abbildung 1: Vorgegebener Kühlkörper

Die Fließverhaltensanalyse wird mit dem SolidWorks Flow Simulation Projektassistenten eingerichtet. Mit diesem Assistenten kann der Konstrukteur das zu verwendende Einheitensystem definieren, das zu untersuchende Fluid (in diesem Fall Luft) und die Analyseart (Problem der externen konjugierten Wärmeübertragung) festlegen, die Schwerkraft zur Steuerung der Strömung für die natürliche Konvektion anwenden, die Umgebungstemperatur und Druckbedingungen angeben und die gewünschte Ergebnisauflösung der automatischen Vernetzung auswählen – alles auf einer einzelnen, benutzerfreundlichen Oberfläche.

Die Fließverhaltensanalyse wird mit dem SolidWorks Flow Simulation Projektassistenten eingerichtet.

Im nächsten Schritt wird die SolidWorks Flow Simulation Analysestruktur geöffnet, in der die Wärmeleistungslast auf den Kühlkörper angewendet werden kann. Im dazugehörigen Kontextmenü können außerdem die Last- und Leistungsparameter definiert werden.

Schließlich werden die allgemeinen Zielvorgaben für die Analyse, d. h. die Höchsttemperatur des Kühlkörpers und die maximale Luftgeschwindigkeit, definiert. So können diese Werte während der Berechnung überwacht und im Anschluss an die Analyse in einer Tabelle zusammengefasst werden.



Abbildung 2: Kühlkörper ohne Abdeckung.

Kühlkörper mit Abdeckung.

Um zu bestimmen, ob der Kühlkörper mit oder ohne Abdeckung besser funktioniert, wird eine SolidWorks Flow Simulation CFD-Analyse ausgeführt.

Parameter		Ohne Abdeckung	Mit Abdeckung
Temperatur	(° C)	62,0	55,9

Tabelle 1: Für die einzelnen Konstruktionsversionen berechnete mittlere Temperatur.

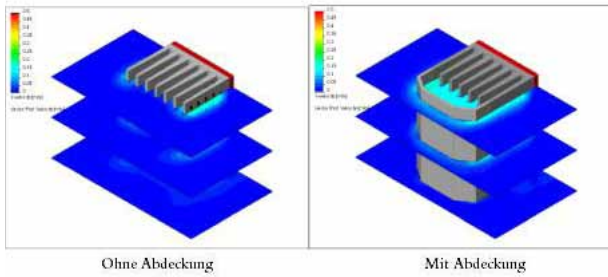


Abbildung 3: Analyseergebnisse mit Geschwindigkeitsprofilen. Hellere Farben weisen auf eine höhere Vertikalgeschwindigkeit hin. Bei der Konstruktion mit Abdeckung ist eine höhere Geschwindigkeit um die Kühlkörperrippen feststellbar.

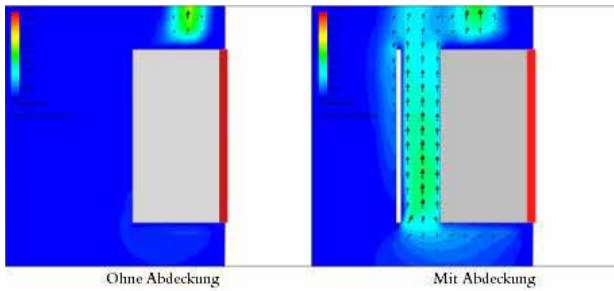


Abbildung 4: Geschwindigkeitsprofile im Vertikalschnitt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Konstruktion mit Abdeckung eine weitaus höhere Geschwindigkeit im Modellinneren aufweist.

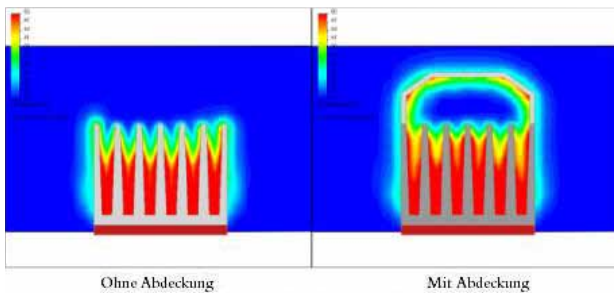


Abbildung 5: Temperaturprofile im Querschnitt. Dieses Ergebnis beweist, dass das Modell mit Abdeckung mehr Wärme an die Luft abgibt.

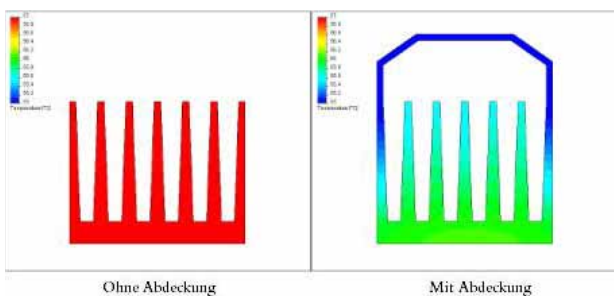


Abbildung 6: Volumentemperaturprofile im Querschnitt. Diese Ergebnisse zeigen, dass das Modell mit Abdeckung weitaus kühler ist – die Temperaturen liegen zwischen 55 und 57°C. Beim Kühlkörper ohne Abdeckung liegen alle Temperaturen über diesem Bereich.

Die SolidWorks Flow Simulation Studien zeigen, dass durch die Abdeckung eines vertikal angebrachten Kühlkörpers eine bedeutend effizientere Kühlung erzielt wird. Beim Vergleich der beiden Konstruktionen ergibt sich eine Senkung der mittleren Temperatur um 10,9 %.

Konstruktion 2: Kühlkörper für den Haupt-Chip in einem Elektronikgehäuse

Mit dem zweiten Kühlkörper soll der Haupt-Chip, der zusammen mit anderen elektronischen Komponenten in einem Elektronikgehäuse installiert ist, geschützt werden. Hier ist die für diesen Zweck am besten geeignete Kühlkörperform zu identifizieren und auszuwählen.

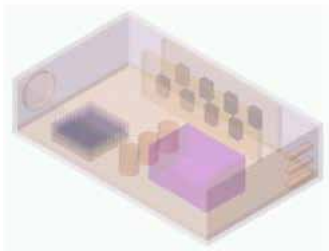


Abbildung 7: Modell des Elektronikgehäuses.

Bei der in Abbildung 7 dargestellten Konstruktion handelt es sich um ein SolidWorks Baugruppenmodell des Elektronikgehäuses einschließlich des Haupt-Kühlkörpers. Ein Lüfter bläst Luft durch den Kühlkörper in die Baugruppe und durch die Ausgangsslitze wieder hinaus, um die erwärmten elektronischen Komponenten durch erzwungene Konvektion zu kühlen. Analysiert werden zwei unterschiedlich geformte handelsübliche Kühlkörper. Mit welcher der beiden Konstruktionen wird die niedrigste Temperatur des Haupt-Chips erzielt?

Mit SolidWorks Flow Simulation kann dies ganz einfach festgestellt werden. Wie bei der vorherigen Analyse wird das Problem der internen konjugierten Wärmeübertragung mit dem Projektassistenten eingerichtet. Zur Definition des Lüfters in dieser Fließverhaltensanalyse kann das geeignete Lüfterprofil aus der technischen Datenbank von SolidWorks Flow Simulation ausgewählt werden.

Anschließend verwendet der Konstrukteur volumetrische Wärmequellen, um die während des Betriebs erwärmten Komponenten darzustellen, und legt die Höchsttemperatur und die mittlere Temperatur des Haupt-Chips und des Kühlkörpers als Zielvorgaben fest. Nach Abschluss der Analyse lässt sich die Temperatur als Oberflächendarstellung auf den elektrischen Komponenten und als Schnittdarstellung durch das Fluid und die Volumenkörper anzeigen. Außerdem können Geschwindigkeitsvektoren erstellt werden, um die Strömungsmuster der Luft, die vom Lüfter über den Kühlkörper und um das gesamte Elektronikgehäuse geblasen wird, einfacher zu visualisieren.

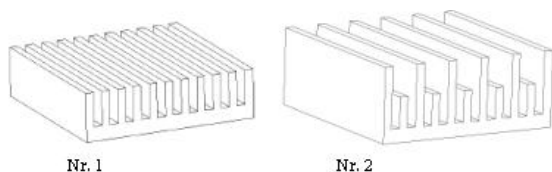


Abbildung 8: Unterschiedliche Kühlkörperformen. SolidWorks Flow Simulation hilft dem Konstrukteur bei der Berechnung der Temperatur des Elektronikgehäuses.

Parameter		Kühlkörper Nr.1	Kühlkörper Nr.2
Haupt-Chip	$t_{\max}$ °F	94,6	80,9
	t_{mit} °F	94,2	80,6
Kühlkörper	$t_{\max}$ °F	94,5	80,8
	t_{mit} °F	94,1	80,4

Tabelle 2: Berechnete Höchsttemperatur und mittlere Temperatur des Haupt-Chips.

Zur Definition des Lüfters in dieser Fließverhaltensanalyse kann das geeignete Lüfterprofil aus der technischen Datenbank von SolidWorks Flow Simulation ausgewählt werden.

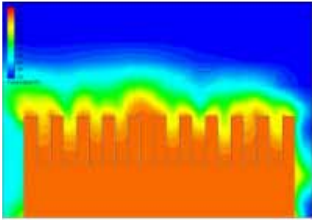


Abbildung 9: Analyseergebnisse im Temperaturprofil (Vorderansicht) für Kühlkörper Nr. 1.
Die Temperaturen liegen laut Farbpalette im Bereich von 50° F bis 100° F.

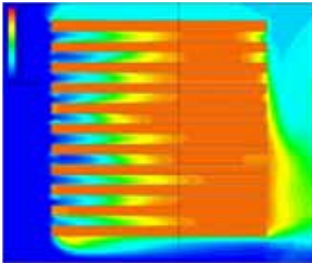


Abbildung 10: Temperaturprofil (Draufsicht) für Kühlkörper Nr. 1.

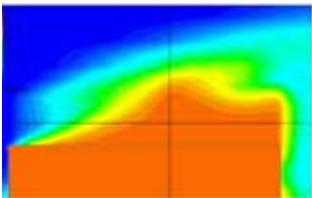


Abbildung 11: Temperaturprofil (Seitenansicht) für Kühlkörper Nr. 1.

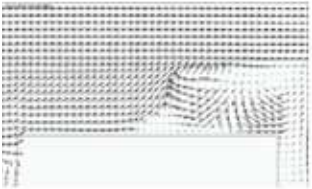


Abbildung 12: Geschwindigkeitsvektoren (Seitenansicht) für Kühlkörper Nr. 1.

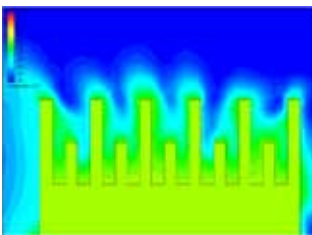


Abbildung 13: Analyseergebnisse im Temperaturprofil (Vorderansicht) für Kühlkörper Nr. 2.

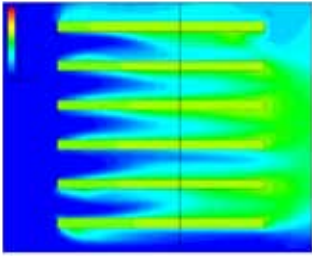


Abbildung 14: Temperaturprofil (Draufsicht) für Kühlkörper Nr. 2.

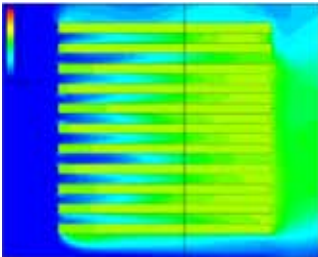


Abbildung 15: Temperaturprofil (Seitenansicht) für Kühlkörper Nr. 2.

Mit der SolidWorks Flow Simulation Analyse sollte bestimmt werden, welche Kühlkörperform sich für einen Haupt-Chip, der zusammen mit anderen elektronischen Komponenten in einem Elektronikgehäuse installiert ist, am besten eignet. Da die Ergebnisse eine Reduzierung der Volumentemperaturen um 17,5 % bei Kühlkörper Nr. 2 ausweisen, ist diese Form besser geeignet.

Konstruktion 3: Sieb für eine medizinische Absaugvorrichtung

Bei dieser Konstruktion muss die für eine medizinische Absaugvorrichtung am besten geeignete Siebform ermittelt werden, damit bei gegebener Saugwirkung die höchstmögliche Durchflussrate (mit begrenzter Rücksaugung innerhalb des Geräts) und ein möglichst gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil am Saugkopf erzielt werden.

In Abbildung 16 ist das SolidWorks Baugruppenmodell der Absaugvorrichtung einschließlich eines Siebs mit dreieckigen Ausschnitten dargestellt. Die Strömungsrichtung ist wie folgt vorgegeben: Über einen konischen Kopf strömt das angesaugte Material durch das Sieb und weiter in den Schlauch. Der Konstrukteur richtet die interne Strömung im Projektassistenten ein und legt die Druckbedingungen an der Ein- und Austrittsöffnung fest. Das Ziel der SolidWorks Flow Simulation Analyse besteht darin, bei einem gegebenen Druckabfall die Durchflussrate für die beiden unterschiedlichen Siebkonstruktionen (Sieb mit dreieckigen Ausschnitten und Sieb mit runden Ausschnitten) zu bestimmen, wenn diese in der Absaugvorrichtung eingebaut sind. In diesem Fall werden neben der berechneten Volumendurchflussrate Durchflussbahnen verwendet, um die Bahnen von repräsentativen Luftmolekülen durch die Vorrichtung darzustellen. Außerdem kann eine Bewegungssimulation der Durchflussbahnen erstellt werden, um Strömungsmuster und Rücksaugbereiche besser zu visualisieren.

Das Ziel der SolidWorks Flow Simulation Analyse besteht darin, bei einem gegebenen Druckabfall die Strömungsgeschwindigkeit für die beiden unterschiedlichen Siebkonstruktionen zu bestimmen.

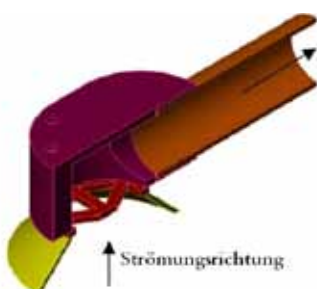


Abbildung 16



Abbildung 17: Die beiden zu untersuchenden Siebformen.

Parameter		Dreieckige Ausschnitte	Runde Ausschnitte
Volumendurchflussrate	cm ³ /min	574,5	619,8

Tabelle 3: Für die jeweilige Siebform berechnete Volumendurchflussrate.

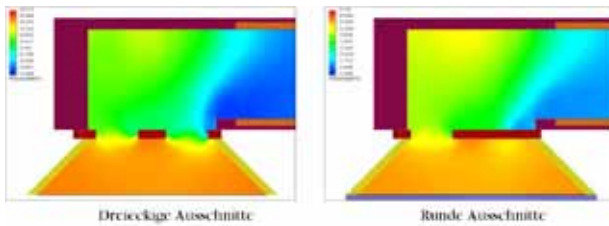


Abbildung 18: Druckprofile der einzelnen Konstruktionen. Beide Konstruktionen weisen ähnliche Druckprofile auf.

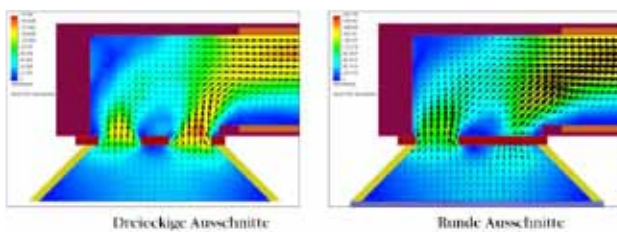


Abbildung 19: Geschwindigkeitsprofile mit Geschwindigkeitsvektoren. Beide Konstruktionen weisen ähnliche Geschwindigkeitsprofile am Saugkopf auf.

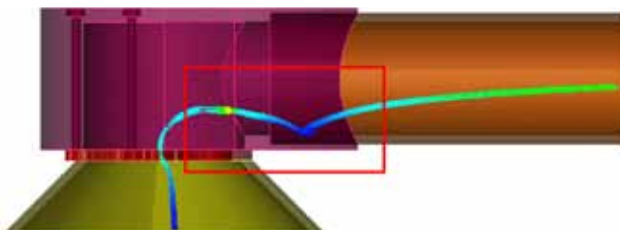


Abbildung 20: Durchflussbahnen mit Rücksaugbereich.

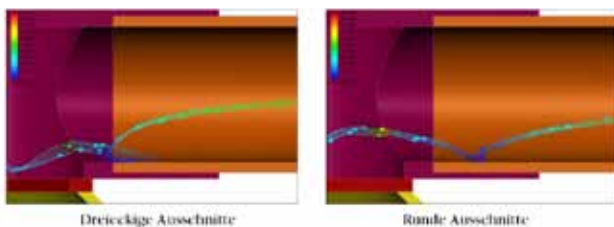


Abbildung 21: Durchflussbahnen in einem Rücksaugbereich. Bei beiden Konstruktionen ist eine gewisse Rücksaugung erkennbar. Der Bereich ist beim Sieb mit den dreieckigen Ausschnitten jedoch größer.

Wie oben erwähnt, bestand der Zweck dieser Analyse darin, die für die medizinische Absaugvorrichtung am besten geeignete Siebform zu bestimmen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Durchflussrate beim Sieb mit den runden Ausschnitten um 7,8 % höher ist. Beide Siebkonstruktionen zeigen ein nahezu identisches Geschwindigkeitsprofil am Saugkopf. Die Konstruktion mit den runden Ausschnitten weist jedoch einen kleineren Rücksaugbereich auf. Dadurch ist diese Konstruktion nach den ursprünglichen Konstruktionskriterien besser geeignet.

Konstruktion 4: Backofen

Bei dieser Backofenkonstruktion untersucht der Konstrukteur mit SolidWorks Flow Simulation das Luftstrommuster und die Temperaturverteilung und optimiert die Konstruktion, um die für ein einheitliches Backergebnis erforderliche gleichmäßige Warmluftzirkulation zu erreichen. Das CFP-Programm ermöglicht die Analyse der Wärmeübertragung durch Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung innerhalb des Ofens.

In Abbildung 20 ist das SolidWorks Modell des Ofens mit drei Backblechen dargestellt, auf denen sich jeweils ein Kuchen befindet. Das Ziel der SolidWorks Flow Simulation Analyse ist die Optimierung der Warmluftströmung durch Untersuchung der natürlichen Konvektion innerhalb des Ofens und Überprüfung der Oberflächenendtemperatur der Backwaren. Dazu heizt der Konstrukteur die Luft im Innern des Ofens von 20° C auf 120° C auf.

Das Ziel der SolidWorks Flow Simulation Analyse besteht darin, zu bestimmen, bei welcher Backblechkonstruktion die Warmluftströmung optimal ist. Dazu wird die natürliche Konvektion im Ofeninnern untersucht.

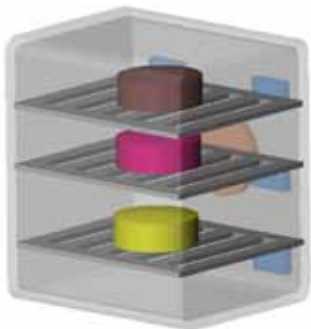


Abbildung 22: SolidWorks Modell des Ofens mit drei Backblechen, auf denen sich jeweils ein Kuchen befindet.

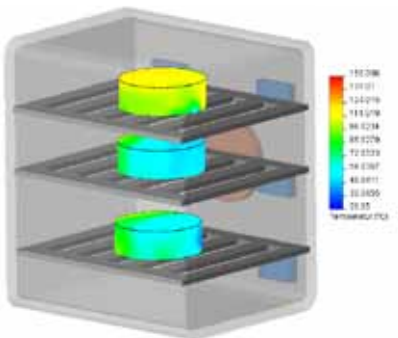


Abbildung 23: Temperatur an der Kuchenoberfläche bei Konstruktion 1.

In Abbildung 21 sind die Oberflächentemperaturergebnisse dargestellt. Diese zeigen eine ungleichmäßige Erwärmung der Backwaren auf den Backblechen. Da warme Luft leichter als kalte Luft ist, steigt die warme Luft nach oben, und die Temperatur in den unteren Bereichen sinkt.

Da warme Luft leichter als kalte Luft ist, steigt die warme Luft nach oben, und die Temperatur in den unteren Bereichen sinkt.

Der Konstrukteur richtet mit dem Assistenten eine Simulation des inneren Luftstroms ein und gibt dazu die Anfangstemperatur im Ofen ein. Er definiert die Geschwindigkeit der Warmluft, die Temperatur an den sechs Einblasöffnungen und die Druckbedingungen am Luftauslass. Die Ergebnisse können anhand einer Darstellung der Temperaturverteilung um die Backwaren visualisiert werden. Zur besseren Anzeige der Luftströmungsverteilung können außerdem in mehreren Bereichen Durchflussbahnen und Geschwindigkeitsprofile dargestellt werden.

Mit SolidWorks Flow Simulation lässt sich darüber hinaus bestimmen, ob die Leistung des Ofens effizienter wird, wenn Luftstrombremsen hinzugefügt werden. Zur Optimierung der Konstruktion hat der Konstrukteur des Weiteren die Möglichkeit, sowohl die ideale Position als auch die Anzahl der Einblasöffnungen zu untersuchen, über die die Warmluft in den Ofen gelangt.

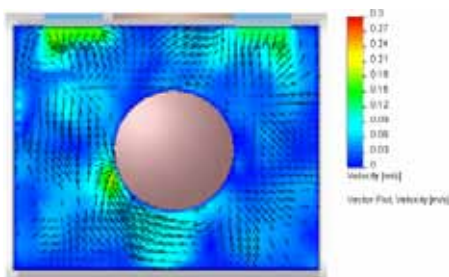


Abbildung 24: Geschwindigkeit und Verteilung der Luft um den Kuchen auf dem oberen Backblech bei Konstruktion 2.

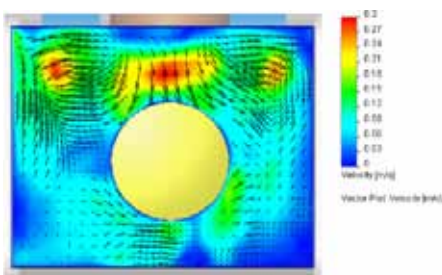


Abbildung 25: Geschwindigkeit und Verteilung der Luft um den Kuchen auf dem unteren Backblech bei Konstruktion 2.

Mit SolidWorks Flow Simulation lässt sich darüber hinaus bestimmen, ob die Leistung des Ofens effizienter wird, wenn Luftstrombremsen hinzugefügt werden.

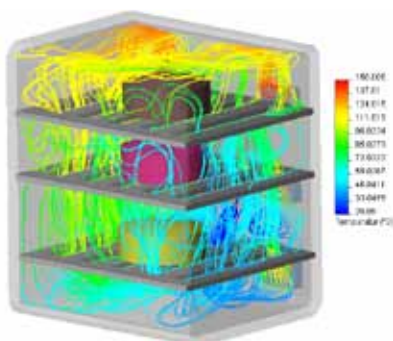


Abbildung 26: Durchflussbahnen im Ofen für das mit fünf Schlitzfenstern versehene Backblech (mit Temperaturwerten).

Konstruktion 5: Regelventil

In diesem Fall muss die Konstruktion eines Regelventils optimiert werden. Der Druckverlust ist auf ein Minimum zu beschränken, und mögliche Kavitationsprobleme sollen im Vorfeld erkannt werden.

Mit einer CFD-Analyse wird die interne Luftströmung durch das Ventil simuliert. Die Analyseergebnisse, die die Strömungsgeschwindigkeit, den Druck und die Durchflussbahnen der Partikel zeigen, liefern detaillierte Informationen zum Strömungsmuster. Mit SolidWorks Flow Simulation lässt sich der Druck an den Öffnungen und im gesamten Modell einfach berechnen. Solch umfangreiche Informationen sind mit physikalischen Tests nicht so einfach zu erhalten, da die Einrichtung von Messinstrumenten zur Erfassung ausreichender Daten über die Vorgänge im Innern des Ventils schwierig ist.

In Abbildung 27 ist das dreidimensionale SolidWorks Modell des Ventils dargestellt. Die Simulation wird mithilfe des SolidWorks Flow Simulation Assistenten eingerichtet. Der Konstrukteur definiert die Geschwindigkeit, mit der die Luft an der Einlassöffnung in das Ventil strömt, und wendet einen statischen Druck an, der dem atmosphärischen Druck am Auslass entspricht.

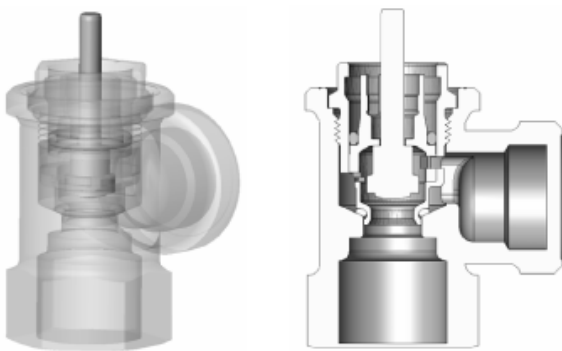


Abbildung 27: Dreidimensionales SolidWorks Modell des Ventils.

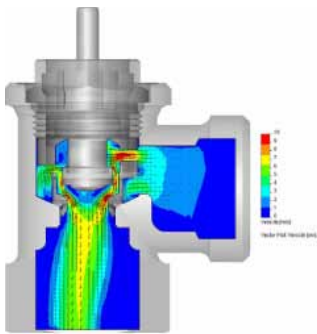


Abbildung 28: Geschwindigkeitsverteilung mit Gradientenvektoren im gesamten Modell.

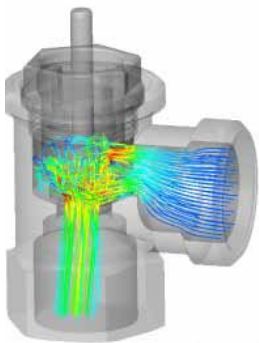


Abbildung 29: Durchflussbahnen und Geschwindigkeit sind bei der Untersuchung des Strömungsmusters hilfreich.

Mit SolidWorks Flow Simulation lässt sich der Druck an den Öffnungen und im gesamten Modell einfach berechnen. Solch umfangreiche Informationen sind mit physikalischen Tests nicht so einfach zu erhalten.

Neben der grafischen Darstellung können in SolidWorks Flow Simulation die Strömungswerte an Punkten, auf Oberflächen und in Volumenkörpern innerhalb des Modells auch tabellarisch angezeigt werden.

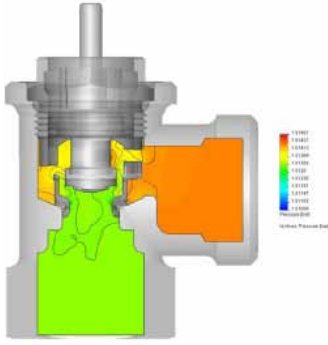


Abbildung 30: Die Darstellung der Druckverteilung mit Isobaren zeigt eine mögliche Kavitation, was sich im Fall dieses Regelventils als unproblematisch herausstellt.

Das Druckergebnis zeigt einen minimalen Druckverlust bei dieser Ventilkonstruktion. Der Bereich mit möglicher Kavitation weist einen negativen Druckwert auf, was eine Kavitation bei diesem Ventil nahezu ausschließt. Neben der grafischen Darstellung können in SolidWorks Flow Simulation die Strömungswerte an Punkten, auf Oberflächen und in Volumenkörpern innerhalb des Modells auch tabellarisch angezeigt werden.

Fazit

Bei der Konstruktion von Kühlkörpern für elektronische Produkte, medizinische Absaugvorrichtungen und Konsumgüter oder industriellen Regelventilen muss der Konstrukteur die optimale Konstruktion ermitteln und gleichzeitig den zusätzlichen Kosten- und Zeitaufwand vermeiden, der durch den Bau zu vieler Prototypen entsteht, um das angestrebte Ziel zu erreichen. Hierbei können CFD-Simulationswerkzeuge sehr hilfreich sein. SolidWorks Flow Simulation ist ein intelligentes und benutzerfreundliches Werkzeug, mit dem mehrere Konstruktionen und Szenarien zur Untersuchung von Wärmeübertragungs- und Flüssigkeitsströmungsproblemen getestet werden können. Dadurch können Sie die Konstruktion optimieren, ohne zu viel Zeit und Geld in den Prozess zu investieren.

Unternehmenssitz
Dassault Systèmes
SolidWorks Corp.
300 Baker Avenue
Concord, MA 01742 USA
Telefon: +1-978-371-5011
E-Mail: info@solidworks.com

Hauptsitz Europa
Telefon: +33-(0)4-13-10-80-20
E-Mail: infoeurope@solidworks.com

Niederlassung Deutschland
Telefon: +49-(0)89-612-956-0
E-Mail: info@solidworks.com

