



Leseprobe

Volker Krämer

Praxishandbuch Simulationen in SolidWorks 2010

Strukturanalyse (FEM), Kinematik/Kinetik, Strömungssimulation (CFD)

ISBN: 978-3-446-42165-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42165-3>

sowie im Buchhandel.

oder unter <http://www.icon-info.de>

### 3.4.2.1 Stationäre Wärmeleitung

Wir erläutern die Vorgehensweise am besten an einem Beispiel. Dazu öffnen wir das Bauteil BREMSSCHEIBE.SLDPRT .

Die Datei enthält eine vereinfachte Form einer innen belüfteten, gelochten Bremscheibe für einen Pkw. In unserem Beispiel gehen wir dabei davon aus, dass ein Autofahrer vergessen hat, die Handbremse beim Losfahren zu lösen. In der Folge sorgt die auftretende Reibung zwischen Bremscheibe und Bremsbelag für eine kontinuierliche Aufheizung. Dieser Aufheizung entgegen wirkt eine Abkühlung aufgrund der umgebenden Luft. Nach längerer Fahrzeit mit angenommen konstanter Geschwindigkeit stellt sich in der Bremscheibe eine stationäre Temperaturverteilung ein, die wir im Rahmen der Studie berechnen wollen.

Die Tatsache, dass die Scheibe sich in Wirklichkeit unter dem Bremsbelag dreht und damit umlaufend immer wieder neue Oberflächenelemente der Bremscheibe in den Reibbereich hineingeraten, lässt sich mit Simulation Professional nicht direkt simulieren. Auch hier gilt nämlich, dass sich im Grunde das Bauteil eigentlich gar nicht richtig bewegt. Wir überlegen uns daher einen sogenannten Work-around, gewissermaßen einen Umweg oder ein Ersatzsystem.

Wir gehen gedanklich davon aus, dass die Umdrehung des Rades so schnell erfolgt, dass im Grunde ein umlaufendes Ringsegment auf beiden Seiten der Bremscheibe ständig im Eingriff mit dem Bremsbelag steht und daher ständig aufgeheizt wird. Da die Konvektion im Allgemeinen eh nicht zu den schnellen physikalischen Prozessen gehört, reicht die Zeit eines Umlaufs, in der eine Stelle, die zunächst unter dem Bremsbelag liegt und dann im Freien mit der Luft Wärme austauschen könnte, nicht aus, um diesen Vorgang zur Abkühlung nennenswert nutzen zu können.

Alle anderen Oberflächen der Bremscheibe tauschen hingegen ständig mit der umgebenden Luft Wärme aus.

Das Modellbeispiel ist aus diesem Grunde bereits für diese Aufgabenstellung vorbereitet. Mithilfe des SolidWorks-Trennlinien-Features wurde zum einen ein Ringsegment auf beiden Seiten der Bremscheibe erzeugt. Zum anderen wurde noch für die nachfolgende Studie, bei der wir dasselbe Netz verwenden wollen, der Wirkungsbereich des Bremsbelages schon mal ausgeschnitten.

Wir legen eine neue Studie an, diesmal allerdings vom Typ **THERMISCH**, und benennen sie **STATIONAER**.

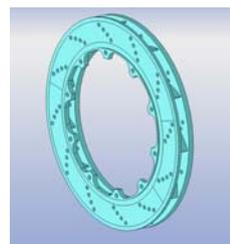
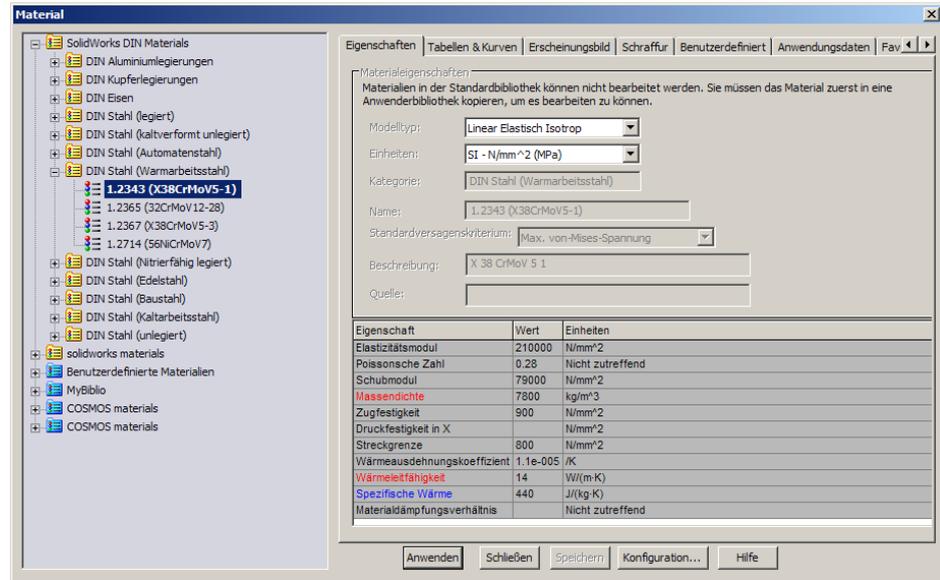


Abb. 3.107  
Material-Editor bei einer  
thermischer Studie



Wir starten das Preprocessing mit der Materialzuweisung. Dazu wählen wir für die Bremsscheibe mit dem Warmarbeitsstahl **1.243 (X38CrMoV5-1)** zur Abwechslung einmal einen Stoff aus der SolidWorks-Bibliothek für DIN-Materialien.

Wie Sie in der Maske (Bild 3.107) sehen, werden diesmal nur die Werte für die thermischen Eigenschaften rot bzw. blau dargestellt. Für eine stationäre thermische Studie werden lediglich Angaben zur Dichte und zum Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten **K** benötigt, deshalb sind diese Werte rot angezeigt. Für eine instationäre, thermische Studie ist jedoch zusätzlich die Angabe der spezifischen Wärme **C** notwendig, deshalb wird dieser als optional erforderliche Wert auch nur in Blau dargestellt.

Man erkennt, dass alle Materialeigenschaften nicht temperaturabhängig definiert sind, da in der Spalte mit den Werten ein einzelner Zahlenwert steht und nicht etwa der Hinweis Temperaturabhängig als Text. Wurde eine Eigenschaft dagegen als temperaturabhängig definiert, findet sich die entsprechende Abhängigkeit im Register TABELLEN&KURVEN.

Als Nächstes führen wir die Vernetzung des Modells durch. Dazu wählen wir eine GLOBALE ELEMENTGRÖÖBE von **8 MM**, die TOLERANZ beträgt wie üblich **50%** dieses Wertes. Diese Einstellungen ergeben ein Finite-Elemente-Netz ohne spektakuläre Besonderheiten mit rund 55.000 Knoten und etwa 28.900 Elementen. Das maximale Seitenverhältnis der Tetraederelemente liegt mit rund 16,5 ebenfalls im grünen Bereich, zumal gerade mal 0,15 % der Elemente ein Seitenverhältnis größer zehn aufweisen.

Ich habe auf Netzsteuerungen im Bereich der Lüfterschaufeln oder Bohrungen bewusst verzichtet, da sie uns für diese Aufgabenstellung nicht so sehr viel bringen würde.

Anschließend machen wir uns an die Definition der beiden Randbedingungen. Wir starten mit der Konvektion und wählen dazu im Kontextmenü WÄRMELASTEN den Befehl **KONVEKTION...**

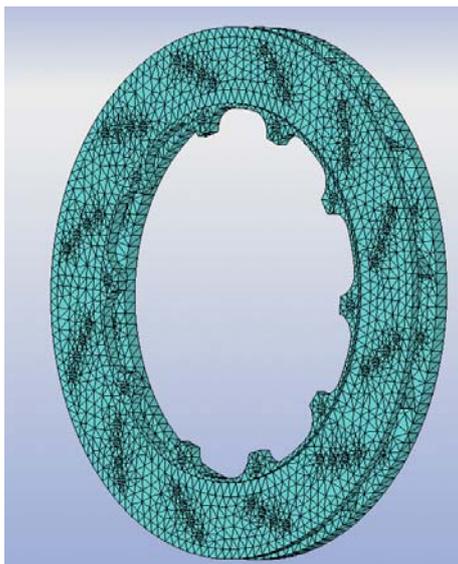


Abb. 3.108  
FE-Netz

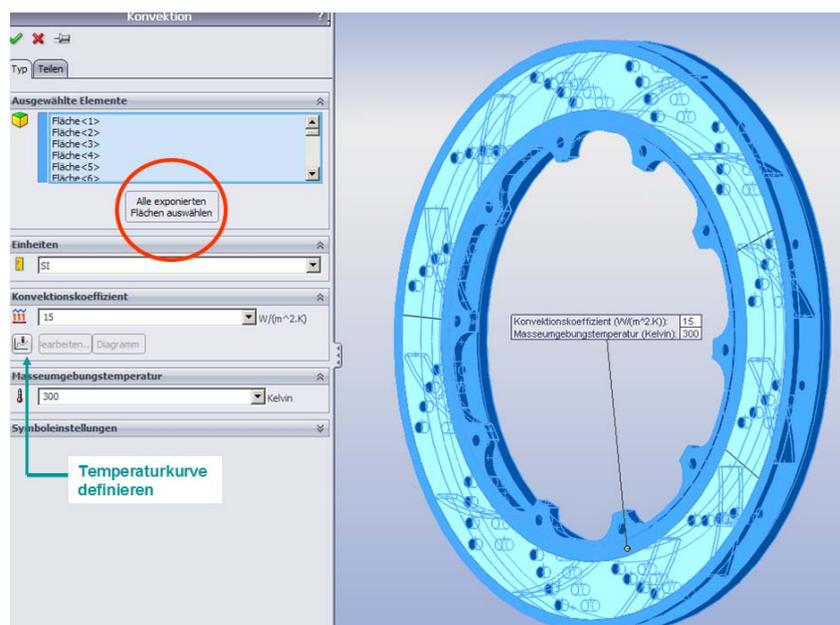


Abb. 3.109  
Konvektion festlegen

In dem Eigenschaften-Manager KONVEKTION stellen wir für den Konvektionskoeffizienten  $15 \text{ W/M}^2\text{K}$  ein, und die Fluidtemperatur setzen wir auf  $300 \text{ K}$ .



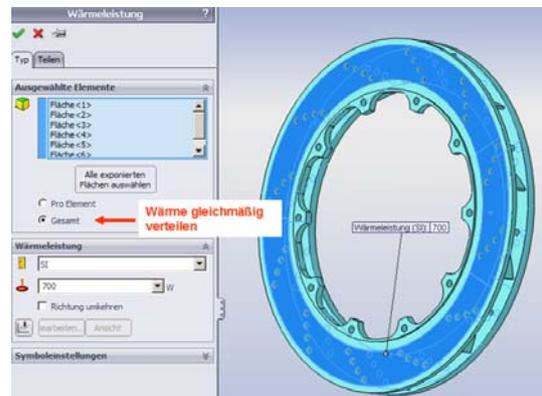
Weist der Konvektionskoeffizient im erwarteten Temperaturbereich einen signifikanten Temperaturgang auf, der mit zu berücksichtigen ist, kann dies hier ebenso festgelegt werden. Dazu aktiviert man die Funktion mit dem Symbolknopf, drückt anschließend **BEARBEITEN...**, um in die Maske Temperaturkurve zu gelangen. Dort lässt sich dann die Abhängigkeit über Wertepaare definieren. Dabei werden aus den Tabellenwerten für die aktuelle Temperatur passende y-Werte interpoliert und diese dann mit dem h-Wert aus dem Property-Manager multipliziert, um so den aktuellen h-Wert zu ermitteln. Die Werte der Temperaturkurve lassen sich etwa für die Verwendung an anderer Stelle auf der Festplatte in einer Funktionskurvendatei **CWCUR** abspeichern. Ebenso gut kann man bereits erstellte Dateien mit Wertepaaren mit dem Befehl **KURVE ABRUFEN** importieren.

Nachdem die erforderlichen Parameter eingegeben sind – wir verwenden keinen temperaturabhängigen h-Wert –, müssten jetzt im Grafikbereich alle Körperoberflächen selektiert werden, für die diese Randbedingung gelten soll.

Das wären alle Schauffeloberflächen, die Mantelflächen aller Bohrungen, der äußere Rahmen der Bremsscheibe etc. Kurzum, man käme aus dem Selektieren nicht mehr raus. Aus diesem Grunde hat uns der Hersteller glücklicherweise eine Hilfe mitgegeben. Wir drücken daher im Property-Manager den Button **ALLE EXPONIERTE FLÄCHEN WÄHLEN**, und es werden automatisch alle Körperoberflächen der Bremsscheibe selektiert und in dem Selektionsfeld aufgelistet. Da jedoch nicht alle Flächen der Konvektion unterworfen werden, müssen wir auf jeder Seite der Bremsscheibe die drei Flächen wieder raus selektieren, die stattdessen eine vorgegebene Heizleistung als Randbedingung erhalten.

Abb. 3.110  
Wärmeleistung definieren

Wenn das so weit geschafft ist, schließen wir den Befehl ab und rufen im Kontextmenü den Befehl **WÄRMELEISTUNG...** auf. Selektieren Sie jetzt im Grafikbereich die eben abgewählten Flächen wieder an und geben als Wärmemenge, die aufzubringen ist, **700 W** ein (Bild 3.110). Beachten Sie dabei unbedingt, dass die Option **GESAMT** im Property-Manager angewählt ist, da ansonsten jede der so gewählten sechs Flächen mit  $700 \text{ W}$  belastet würde.



Danach kann der Rechenlauf gestartet werden. Da es sich hierbei um ein minder komplexes Problem handelt, wird der Solver die Aufgabe trotz der 55.000 Knoten in drei bis fünf Minuten gelöst haben. Schließlich hat jeder Knoten ja auch nur einen Freiheitsgrad.

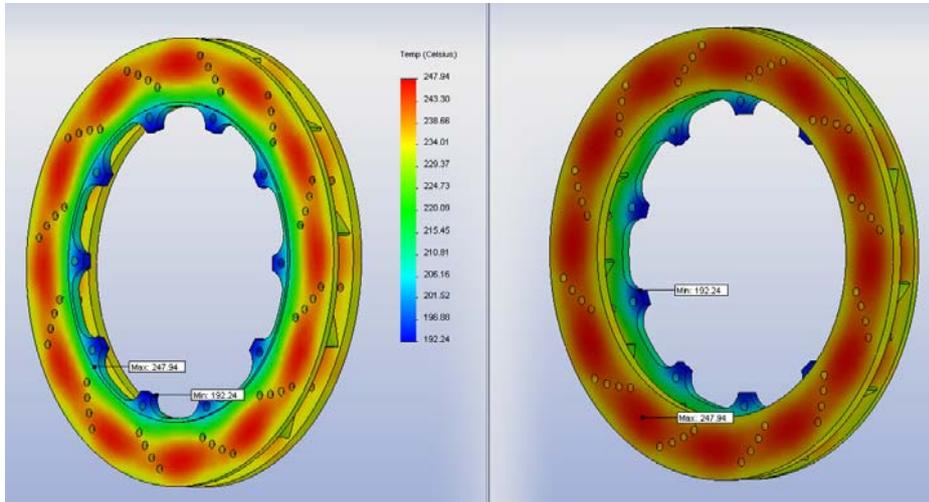


Abb. 3.111  
Temperaturverteilung  
Vorder-/Rückseite

Eine maximale Temperatur von 248 °C ist zumindest aus Sicht einer solchen Bremsscheibe wohl eher noch als handwarm anzusehen. Die bei Sportwagen neuerdings so gern verbauten Keramikscheiben erreichen dabei wohl noch nicht mal ihre volle Wirkung. Trotzdem würde ich jetzt nicht dazu raten, zukünftig mit angezogener Handbremse zu fahren, da die vorgegebenen 700 W nur eine Ausgeburt meiner Fantasie darstellen.

Was in Bild 3.111 sehr schön zu sehen ist. Das Temperaturfeld auf Vorderseite und Rückseite der Bremsscheibe verläuft unterschiedlich. Die Montageplatte liefert zusätzliche Quadratzentimeter, die der konvektiven Abkühlung auf dieser Seite zugute kommen. Ansonsten ist gut zu erkennen, dass die zwölf Rippen zwischen den beiden Scheiben über die Wärmeleitung thermische Energie abziehen und dann im Innern der Bremsscheibe über Konvektion wieder an die Luft abgeben. Dadurch entsteht das umlaufende regelmäßige Muster im Wärmebild. Dieses Bild bestätigt sich, wie der Blick ins Innere der Bremsscheibe am Beispiel des Profilschnitts von Bild 3.112 offenbart.

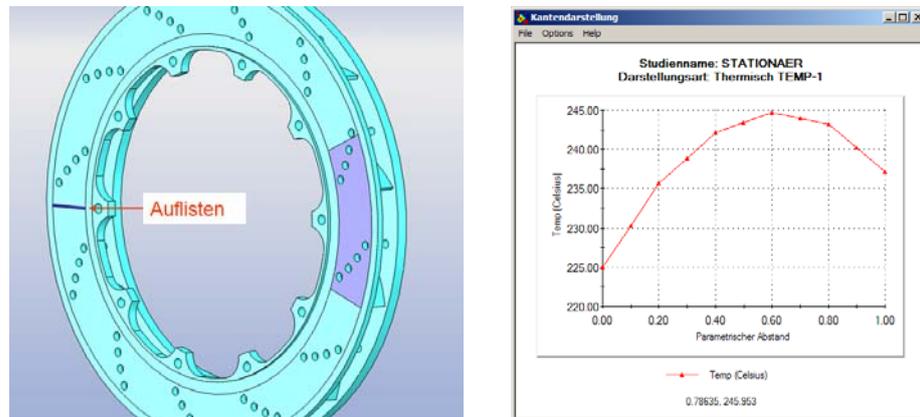
Abb. 3.112  
Temperaturfeld im Innern  
auf wärmerer Seite



Nutzen Sie ruhig auch mal die radial verlaufenden Trennlinien, um sich den Temperaturverlauf auf Vorder- und Rückseite entlang dieser künstlichen Kanten, wie wir es bereits in vorigen Beispielen durchgeführt haben, als x-y-Diagramm anzeigen zu lassen.

Einfach im Kontextmenü des jeweiligen Diagramms den Befehl **AUSWAHL AUFLISTEN..** aufrufen, die gewünschte Kante wählen, den Button **AKTUALISIEREN** drücken und anschließend das **DIAGRAMM** erzeugen. Dabei treten die Abweichungen wesentlich deutlicher zutage.

Abb. 3.112 a, b  
Radialer Temperaturverlauf auf der kühleren Seite



Das Gleiche funktioniert genauso mit den Trennlinien, die das Ringsegment nach oben und unten abgrenzen.