

Mit Silikon die Spannung unter Kontrolle

Das Unternehmen Pfisterer aus dem schwäbischen Winterbach (bei Schorndorf) hat sich auf Kontaktelemente und Systeme im Bereich von Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetzen spezialisiert und bietet individuelle Gesamtlösungen für Versorgungssysteme an. Das 1921 gegründete Familienunternehmen befindet sich auch heute noch vollständig in Familienbesitz. Diese Unabhängigkeit ist der Firmenleitung wichtig, denn sie gewährleistet, dass die Produkte und Lösungen von Pfisterer ohne Einschränkungen auf die Anforderungen der Kunden abgestimmt werden können. In Entwicklung und Konstruktion setzt das Unternehmen dabei sehr erfolgreich auf hyper- und viskoelastische Simulationen.



Bild 1

Pfisterer bietet Lösungen für eine Vielzahl von Anwendungen in der Mittel- und Hochspannungstechnik bis 300 kV

Autor

Gerhard Friederici
Marketing, Cadfem

Kontakt:
Cadfem GmbH
Marktplatz 2
85567 Grafing b. München
Tel.: 0 80 92/70 05-0
Fax: 0 80 92/70 05-77
E-Mail: info@cadfem.de
www.cadfem.de

Das Angebot an Kabelverbindungen und -endverschlüssen umfasst Lösungen für eine Vielzahl von Anwendungen in der Mittel- und Hochspannungstechnik bis 300 kV. Allen gemeinsam ist die Verwendung von Silikon als Isoliermedium, da dieses hervorragende Eigenschaften besitzt, unter anderem wasser- und schmutzabstoßend, wartungsfrei und schlagfest ist. Außerdem splittert es im Schadensfall nicht, und es fliegen keine gefährlich scharfen Teile durch die Gegend. Deshalb bietet sich Silikon als ideales Material an und ist insbesondere bei Freiluftanwendungen her-

kömmlichen Materialien wie Porzellan überlegen.

„Überall dort, wo die elektrische Spannung auf kurzer Strecke gehalten werden muss, kommen bei uns Gießharz oder Silikon zum Einsatz“, erläutert Dipl.-Ing. Wolfgang Hutt, der in der Entwicklung und Konstruktion bei Pfisterer Kontaktsysteme für strukturmehchanische Simulationen zuständig ist. Während Gießharz meistens anlagenseitig Verwendung findet, wird Silikon eher kabelseitig eingesetzt. Die elastischen Eigenschaften des Silikons ermöglichen es nämlich, z.B. Durchmesser-schwankungen und Unebenheiten der Kabelisolation auszugleichen.

Teilentladungen vermeiden

Luftspalte im elektrischen Feld führen zu sogenannten Teilentladungen, die letztlich zu einem Versagen der Bauteile führen können, und müssen deshalb in der Hochspannungstechnik vermieden werden. Außerdem muss an Grenzflächen, die im elektrischen Feld liegen, ein ausreichend großer Anpressdruck herrschen, damit es nicht zu einem Durchschlag kommt. „Neben den Isolationsaufgaben übernimmt das Silikon eine Federfunktion. Durch Fremd- und Eigenfederung wird damit auch bei extremen Temperaturbedingungen sichergestellt, dass sich trotz unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten kein Luftspalt bildet und es zu keiner unzulässigen Reduktion des Anpressdrucks an den Grenzflächen kommt“, berichtet Dr.-Ing. Michael Zerrer, Leiter der Entwicklung des Anschlusssystems Connex. „Dieses ist schnell nachvollziehbar, wenn berücksichtigt wird, dass Silikon eine um ein Vielfaches höhere Durchschlagsfestigkeit als Luft besitzt.“ Um hier immer auf der sicheren Seite zu sein, setzt Pfisterer in Winterbach seit Anfang des Jahres 2011 die Simulationssoftware Ansys Mechanical ein, mit der unter anderem das physikalische Verhalten des Silikons berechnet wird.

Nachdem erste Schritte mit einem externen Berechnungsdienstleister gegangen worden waren, war den Verantwortlichen

von Pfisterer schnell klar, dass hier umfangreiches internes Know-how aufzubauen ist, damit auch langfristig ein effizienter Silikonereinsatz abgesichert werden kann. Beispielsweise reichen bei der Untersuchung der Materialdaten einfache uniaxiale Zugversuche nicht aus, um daraus ein vielseitig einsetzbares Berechnungsmodell abzuleiten.

Erfassung von Materialdaten

Mit Unterstützung der Cadfem GmbH – dem Ansys Competence Center FEM – wurde Schritt für Schritt das Know-how im Simulationsbereich allgemein und beim Einsatz von Silikon im Speziellen ausgebaut. Dazu nutzte Wolfgang Hutt unter anderem das Anwendertreffen von Cadfem mit seinen vielfältigen Vorträgen und Kompaktseminaren. Dort konnte er mit anderen Anwendern und den Spezialisten von Ansys und Cadfem informative Diskussionen führen. Außerdem lernte er dort im Ausstellungsbereich die Firma DatapointLabs kennen, die sich auf die Erfassung von Materialdaten spezialisiert hat.

„Da uns klar war, dass wir mehr Materialdaten brauchten, haben wir die für uns relevanten Silikonarten von DatapointLabs komplett vermessen lassen“, erklärt Dr. Zerrer. Die Messungen wurden sowohl bei uniaxialer als auch biaxialer Belastung und bei Scherung durchgeführt. Außerdem wurden die Kompressibilität sowie das viskoelastische Verhalten untersucht, und das alles bei unterschiedlichen Temperaturen zwischen -25 und +125 Grad Celsius. Das viskoelastische Verhalten spielt für die Pfisterer-Inge-

nieure im gesamten Temperaturbereich eine wichtige Rolle, da das Silikon neben der Isolierung gleichzeitig ja auch die Aufgabe als mechanische Feder übernimmt, und dies über einen Zeitraum von 40 Jahren gewährleistet sein muss.

„Um möglichst konkret auf die bei uns erforderlichen Berechnungen vorbereitet zu sein, beauftragten wir Cadfem mit der Durchführung einer Individualschulung, die sowohl den Themenbereich der hyperelastischen als auch der viskoelastischen Simulationen abdeckte“, berichtet Wolfgang Hutt, „so dass wir in kompakter Form die für uns relevanten Informationen erhielten. Dabei wurde vor allem ein grundlegendes Verständnis für die Anwendung vermittelt und nicht nur beschrieben, wie die Software bedient wird. Für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle wurde erklärt, welche Effekte auftreten können, und wie wir beispielsweise eine optimale Konvergenz erzielen können.“

Fertigungsprozess effizienter gestalten

Pfisterer fertigt Silikon-Elemente überwiegend aus LSR (Liquid Silicone Rubber), in einigen Spezialfällen wird auch RTV-Silikon (Raum-Temperatur-Vernetzend) eingesetzt. So wurde bei einer Sammelschienenkupplung für Spannungen bis 42 kV, mit der Schaltanlagenelemente sehr einfach und effizient miteinander verbunden werden können, bisher RTV-Silikon verwendet. Um den Fertigungsprozess effizienter zu gestalten, war eine Umstellung auf LSR-Material notwendig geworden, denn damit kann der Au-



Bild 2

Das Silikonbauteil für eine Sammelschienenkupplung besitzt als Isoliermedium hervorragende Eigenschaften

tomatisierungsgrad erhöht werden, so dass schneller größere Stückzahlen herstellbar sind. Auch bei dieser Umstellung wurde für die Auslegung und Optimierung des neuen LSR-Bauteils die Ansys Software eingesetzt.

Grundsätzlich gilt für den Einsatz der Simulation, egal ob elektrisch oder mechanisch, dass dadurch das Verhalten eines einzelnen Bauteils und sein Wirken in einer Baugruppe besser verständlich werden. Folglich lassen sich bessere Produkte entwickeln, Materialien effizienter einsetzen und gleichzeitig Kosten sparen. Diesbezüglich betont Dr. Zerrer: „Durch die Simulationserfahrungen ist bei uns eine andere Art zu konstruieren entstanden, ein verändertes Herangehen schon bei den ersten Konzeptentwürfen, das heißt, schon bevor die ersten Simulationen gestartet werden. Denn die Simulationserfahrungen aus den Vorgängerprojekten mit Lerneffekten aus einer Vielzahl von Iterationsschleifen sind bei Produktmodifikationen und auch bei Neuentwicklungen präsent, so dass wir nicht immer wieder bei null anfangen müssen.“

Optimierung durch Simulationen

Bei der Auslegung des neuen LSR-Bauteils erfolgte nicht nur eine Anpassung an das veränderte Material, sondern auf Grundlage der Simulationen mit Ansys eine grundsätzliche Optimierung, bei der auch der Einfluss der Viskoelastizität berechnet wurde. Darauf basierend wurde eine Vierfach-LSR-Form konstruiert, wobei das neue Teil auch unter Fertigungsgesichtspunkten einer Optimierung unterzogen wurde, beispielsweise bezüglich der Entformbarkeit. Erst danach entstand der erste reale Prototyp, an dem nur noch geringfügige Änderungen notwendig waren. Dazu erläutert Wolfgang Hutt ein praktisches Detail: „Der Druck an der Grenzfläche Silikon zu Gießharz muss nicht nur ausreichend groß, sondern über die Länge der Fuge möglichst homogen sein, was über den großen Temperaturbereich, für den die Kupplung verwendet wird, nicht einfach zu realisieren ist. Außerdem ergeben sich bei der Simulation Nichtlinearitäten. Neben den nichtlinearen Materialeigenschaften des Silikons, treten große Verformungen auf. Durch diese und die um bis zu einem Faktor von 20 unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten innerhalb der Baugruppe ändert sich wiederum der Kontaktstatus der Öfteren der Kontaktstatus, wodurch sich auch die Steifigkeit des Gesamtsystems ändert. Ein solches mehrfach nichtlineares Simulationsmodell zur Konvergenz zu bringen, ist nicht immer trivial und erfordert ein gutes

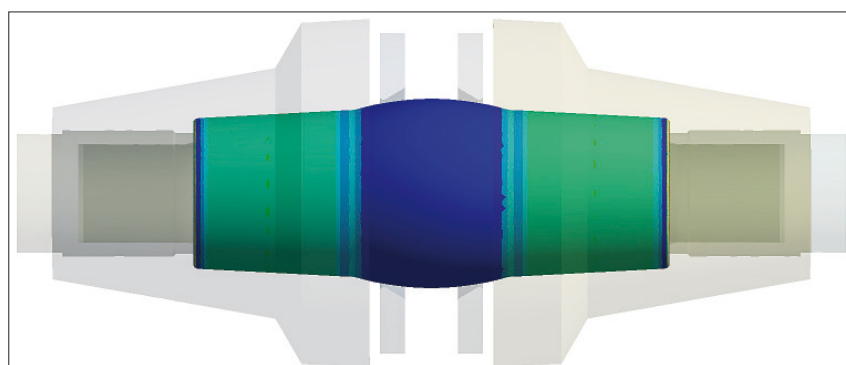


Bild 3

Durch die Simulation kann eine gleichmäßige Druckverteilung an der Grenzfläche zwischen Silikon und Gießharz erzielt werden

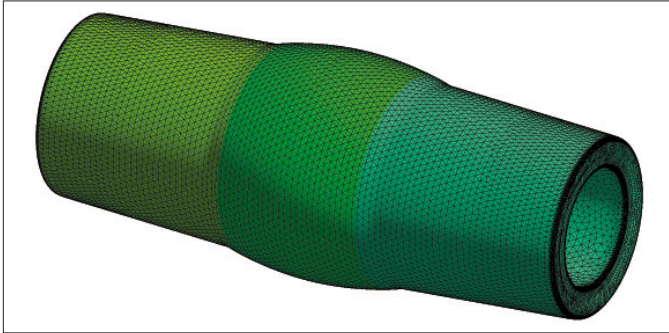


Bild 4

Das Isolierteil wurde mit dem Elementtyp 285, der speziell für hyperelastische Materialien gedacht ist, vernetzt



Bild 5

Links ist die unverformte Geometrie zu sehen und rechts kommen die Verformungen gut zur Geltung

Verständnis des grundsätzlichen Verhaltens.“

Da Elastomere hyperelastische Materialeigenschaften und damit keinen konstanten E-Modul haben, ändern sich die Kennwerte in Abhängigkeit von der Verformung. Folglich muss die Simulation Schritt für Schritt erfolgen, und die Materialeigenschaften müssen entsprechend den Dehnungen bei jedem Schritt angepasst werden. Dabei werden die hyperelastischen Materialien durch ein mathemati-

sches Näherungsmodell beschrieben. Dafür kommen verschiedene Ansätze in Frage. „Nach Absprache mit den Spezialisten von Cadfem haben wir uns für das Materialmodell von Ogden in der dritten Ordnung entschieden, das unter anderem den viskoelastischen Effekt gut abbildet“, erklärt Wolfgang Hutt. „Dazu wurden sämtliche Daten aus den Zug-, Druck- und Schubversuchen in Ansys eingelesen und für ein kombiniertes Curve-Fitting genutzt. Mir gefällt

das Materialmodell von Ogden sehr gut, da es überdies ein gutes Konvergenzverhalten aufweist. Wenn sich das Silikon beispielsweise durch große Kräfte an etwas anschmiegt, kann ich mit der Reibung und den Dämpfungsfaktoren sowie der Kontaktsteifigkeit spielen und damit das Repertoire der Ansys Software diesbezüglich voll ausschöpfen.“

Weniger Prototypen notwendig

Durch diese umfassenden Simulationsmöglichkeiten können immer wieder neue Designalternativen untersucht werden. Jedoch sind dafür keine arbeits- und kostenaufwändigen realen Prototypen notwendig, sondern nur virtuelle Prototypen, die sich schnell und einfach, z.B. anhand von Parametern, modifizieren lassen. Auf diese Weise konnte mit der Simulation das neue LSR-Bauteil Schritt für Schritt optimiert werden, bevor das Werkzeug konstruiert und gefertigt wurde.

Wolfgang Hutt formuliert zusammenfassend: „Jetzt – mit den Erfahrungen, die wir in den letzten zwei Jahren gesammelt haben

– können wir sagen: Der Hauptnutzen der Simulation liegt für uns darin, dass wir das Verständnis für das physikalische Verhalten unserer Materialien und Produkte erheblich erhöhen konnten. Wir können die Problemstellungen exakter definieren, wissen besser, wie die Systeme reagieren, erkennen die Schwachstellen und minimieren sie. Und wir wissen, wie wir die Materialien am effizientesten einsetzen können.“

Dazu ergänzt Dr. Zerrer: „Gleichzeitig konnten wir die Prozesse in der Entwicklung deutlich beschleunigen, weil die Iterationsschleifen mit Hilfe der Simulation viel schneller durchlaufen werden können als in früherer Zeiten, in denen viel mehr reale Prototypen notwendig waren, und wir mehr externe Dienstleister einbinden oder auf universitäre Einrichtungen zurückgreifen mussten. Außerdem sind wir immer öfter in der Lage, unsere Simulationsmodelle nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ zu beurteilen, so dass wir konkretere Zielvorgaben definieren und erreichen können.“

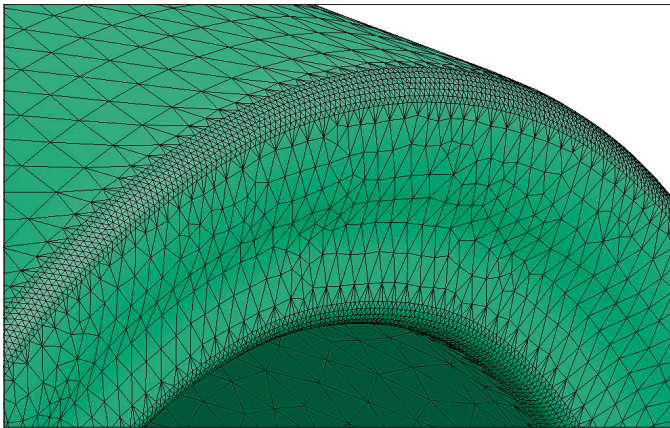


Bild 6

Vor allem die Radien wurden fein vernetzt – zum einen, um das Modell zur Konvergenz zu bringen, zum anderen um die Wirklichkeit ausreichend genau abzubilden