

## NUMERISCHE SIMULATION IN DER VERBINDUNGSTECHNIK

# Sicher von hoher Qualität

Überall dort, wo an die Auslegung geklebter Fügestellen hohe Anforderungen gestellt werden, bietet die Simulation wertvolle Hinweise für deren Gestaltung und Bewertung. Sie leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Sicherung einer hohen Produktqualität.

CHRISTOF GEBHARDT

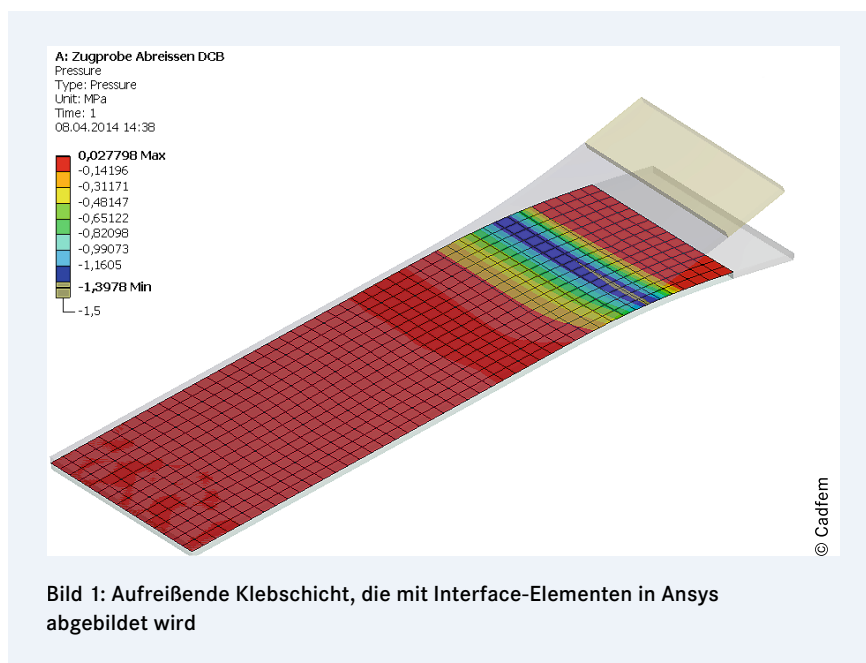
Zentrale Aussagen über Klebverbindungen – unabhängig davon, ob es sich um verklebte Tragstrukturen im Fahrzeugbau, Implantate in der Medizintechnik, Glaselemente oder Holzlaminatträger im Baubereich, Magnete und Schleifringe in Elektromotoren oder Bauelemente in der Elektronik handelt – betreffen deren Festigkeit, um die übertragbaren Lasten zu quantifizieren. Aber auch der Einfluss der Klebverbindung auf die Produkteigenschaften der Baugruppe, z. B. auf den Verzug durch

Schrumpfung des Klebstoffs, müssen untersucht werden, um die Produktqualität zu sichern. Zur Simulation von Klebverbindungen werden zwei Modellierungsansätze genutzt, und zwar Materialmodelle oder Interface-Elemente.

### Nutzung von Materialmodellen

Bei Materialmodellen wird die Klebschicht geometrisch aufgelöst, entsprechend fein vernetzt und mit einem Materialverhalten versehen, das den gewünschten Effekt widerspiegeln kann. Die Finite-Elemente-Software Ansys berücksichtigt die folgenden typischen Eigenschaften:

- *Viskoelastizität:* Dabei tritt neben einer instantanen, also schlagartigen Deformation der Klebschicht eine zeitlich etwas verzögerte Verformung auf.
- *Kriechen:* Hier führen kontinuierlich angreifende Lasten über lange Zeiträume zu einer ansteigenden Deformation, die bis zum Bruch führen kann.
- *Thermische Dehnung:* Hierbei entstehen durch unterschiedliche Aus-



### Mehr zu ANSYS

Die Software ANSYS zur numerischen Simulation in der Produktentwicklung unterstützt sämtliche Arbeitsschritte des CAE-Berechnungsingenieurs und deckt die Anwendungsbereiche Strömungsmechanik, Strukturmechanik, Elektromagnetik, Multiphysik und Systemsimulation sowie Temperaturfelder ab. In folgenden Branchen ist ANSYS besonders verbreitet: Maschinen- und Anlagenbau, Energietechnik, Automobil-, Schiff- und Schienenfahrzeugbau, Luft- und Raumfahrt, Bauwesen, Konsumgüter sowie Medizintechnik. Auch in der Hochschulausbildung und an Forschungseinrichtungen wird ANSYS intensiv genutzt.

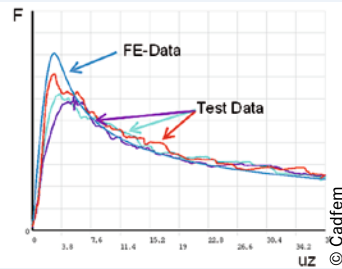


Bild 2: Der Abgleich von realem mit simuliertem Klebstoffversuch

dehnungskoeffizienten und/oder Temperaturen der an der Klebverbindung beteiligten Bauteile thermische Spannungen und Verzug.

Dank der Offenheit von Ansys gelingt es, mittels Programmierung kundenspezifische Erweiterungen zu realisieren und damit erweiterte Anforderungen zu erfüllen. So lässt sich auch das Ermüden berücksichtigen. In diesem Fall führen zyklische Lasten, z. B. durch mechanische oder thermische Zyklen, zu einer Schädigung des Materials. Ebenso kann das Aushärten simuliert werden. Ab dem Übergang vom flüssigen in den festen Zustand – also dem Gelpunkt – werden die Klebschichtelemente mechanisch aktiv. Sie sind zunächst spannungsfrei, mit fortschreitender Aushärtung können jedoch Eigenspannungen auftreten.

### Einsatz von Interface-Elementen

Indem beim Einsatz von Interface-Elementen statt eines Materialmodells die Energie zum Aufreißen einer Klebverbindung als beschreibende Größe genutzt wird, können nahezu beliebige Klebpaarungen simuliert werden, ohne die Klebschicht selbst im Detail abzubilden. Die Parameter für diese Rissfortschrittsenergie rate lassen sich direkt an den Kontakten hinterlegen, die die Klebschicht ersetzen und dadurch die Klebeigenschaft abbilden. Dieser phänomenologische Ansatz kann genutzt werden, um das Strukturverhalten vom

## Ausfallsichere Mischsysteme für anspruchsvolle Anforderungen!

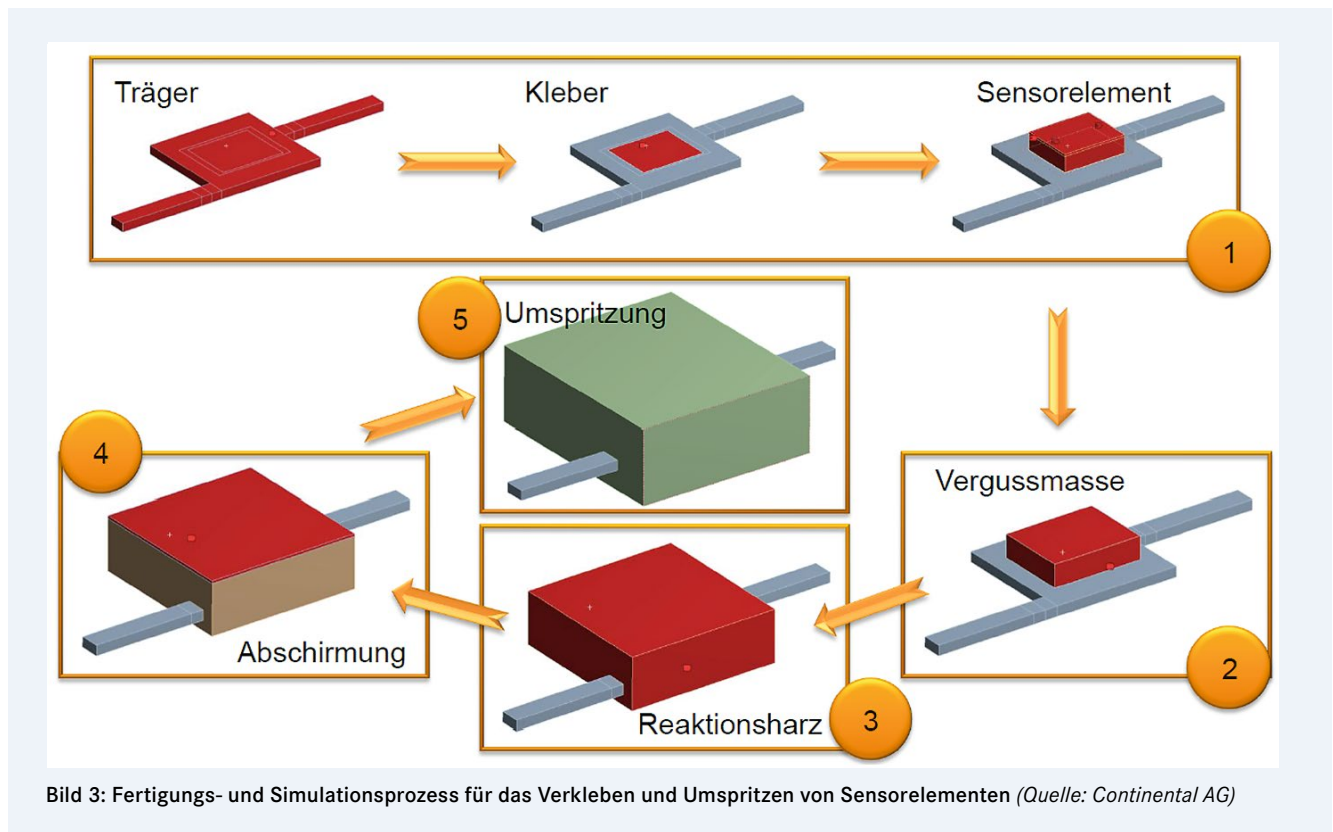
- ✓ Schnelles Einziehen von Feststoffen
- ✓ Intensive Mischphasen
- ✓ Ausfahren des Mischwerkzeuges unter Vakuum
- ✓ Einfache Reinigung

Mal wieder so richtig aufmischen - **fitech ag!**



Überzeugen Sie sich selbst.  
Wir freuen uns auf Ihren  
Besuch!

**EC** European Coatings  
SHOW 2015  
Nürnberg, Germany 21. - 23.04.2015  
Besuchen Sie uns in Halle 6 Stand 418



ersten Versagen bis zum kompletten Abreißen der Klebung zu simulieren. Zyklische Lasten und ein Schließen der Klebverbindung sind damit jedoch nicht abbildbar (Bild 1).

### Messdaten sind unverzichtbar

Für beide Modellierungsansätze sind Messdaten zwingend erforderlich. Sie dienen dazu, die Materialeigenschaften entsprechend den späteren Fertigungs- und Einsatzbedingungen (zum Beispiel Temperatur und Feuchte) zu erfassen. Durch den Abgleich von realem mit simuliertem Klebstoffversuch lassen sich die erforderlichen Materialparameter ermitteln, um belastbare Aussagen in der eigentlichen Produktsimulation zu erzielen (Bild 2).

Die parametrische Durchgängigkeit von Ansys Workbench lässt sich für den Abgleich von Berechnungsergebnissen mit Testergebnissen ideal durch die Software optiSLang zur Sen-

sitivitätsanalyse und Optimierung ergänzen. Das Finden der Materialparameter kann als Optimierungsaufgabe verstanden werden, bei der das Abweichen der Simulationsergebnisse von einer Referenz – das Ergebnis aus dem realen Test – minimiert wird. Dieser Abgleich von Simulationsmodellen mit Versuchsdaten durch Änderung der Modellparameter wird oft als Parameteridentifikation, Model Update oder Reverse Engineering bezeichnet und durch die systematische Vorgehensweise mit optiSLang gegenüber einer manuellen Variation deutlich beschleunigt.

### Anwendungsfall bei Continental

Die Simulation des Verhaltens von Klebverbindungen kann Teil eines umfangreicheren Workflows sein. So untersucht beispielsweise Continental den Einfluss des Verklebens und anschließenden Umspritzens eines Sensors auf dessen mechanische Belastung und nutzt dafür ei-

nen gemeinsam mit Cadfem erarbeiteten Simulationsprozess (Bild 3).

Dabei wird Verzug und Schrumpfung durch das Abarbeiten der einzelnen Fertigungsschritte und des damit einhergehenden Aufheizens und Abkühlens erfasst, auch unter Berücksichtigung der Faserorientierung der kurzfaserverstärkten Ummantelung sowie der Erstarrungstemperatur des Klebstoffs. Ziel dieser Analysen sind Vorhersagen über die Robustheit von Sensorelementen unter Berücksichtigung der Einflüsse des Fertigungsprozesses. ■

### Der Autor

Christof Gebhardt  
(Tel.: +49 (0)8092-7005-0,  
cgebhardt@cadfem.de) ist bei der  
Cadfem GmbH als Business  
Development Manager tätig.



# 100 Jahre Dubbel – und er ist so gut wie nie zuvor

Karl-Heinrich Grote, Jörg Feldhusen (Hrsg.)

**Dubbel**

Taschenbuch für den Maschinenbau

24. Aufl. 2014, LIII, 2083 S. 612 Abb. Geb.

€ (D) 79,99 | € (A) 82,23 | sFr 100,00

ISBN 978-3-642-38890-3

- DAS unverzichtbare Nachschlagewerk für Studium und Beruf
- Umfasst den gesamten Maschinenbau und seine Randgebiete
- Neu in der 24. Auflage: Medizintechnik, MDesign Formelsammlung

Der DUBBEL stellt das erforderliche Basis- und Detailwissen des Maschinenbaus zur Verfügung. Für die Jubiläumsauflage wurden alle Kapitel aktualisiert. Neu hinzugekommen ist die Medizintechnik, die fertigungstechnischen Kapitel wurden stark überarbeitet. Auch erhalten die Leser des Werkes Zugang zur MDesign Formelsammlung. Die ausführliche Darstellung der Mathematik ist als DUBBEL Mathematik separat erhältlich.

Dieses etablierte Referenzwerk mit „Norm-Charakter“ überzeugt durch

- detaillierte Konstruktionszeichnungen
- Tabellen und Diagramme mit quantitativen Angaben
- Berechnungsverfahren
- ein umfangreiches Literaturverzeichnis

Jetzt bestellen: [springer-vieweg.de](http://springer-vieweg.de)