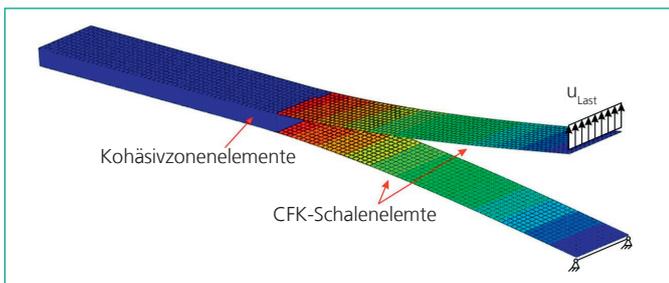


CFK UND KLEBEFÜGUNGEN IN DER FAHRZEUGSIMULATION

Im Leichtbau mit faserverstärkten Kunststoffen (FVK) weisen Klebefügungen gegenüber mechanischen Verbindungsmitteln einige Vorteile auf. Insbesondere werden durch die Klebung keine Fasern durchtrennt. Ein großes Einsatzgebiet ist der Fahrzeugbau. Hier muss das Trag- und Versagensverhalten der Klebefügungen zur Fahrzeugauslegung vorab zuverlässig analysiert werden können. Die für diesen Zweck in der Fahrzeugsimulation eingesetzten Simulationsmethoden (Kohäsivzonen-Ersatzmodelle, Abbildung 1) müssen möglichst genau und effizient sein.



1 Effizientes Modell eines geklebten DCB-Versuchs mit Schalenmodellierung der CFK-Laminat- und Kohäsivzonenmodellierung der Klebschicht.

Komplexe Wechselwirkung von Material- und Strukturparametern

Aufgrund der stark unterschiedlichen und anisotropen Steifigkeiten der verschiedenen Fügepartner liegen in FVK-Klebefügungen komplexe Spannungszustände vor. Die spezifische Versagenslast und das Versagensverhalten der Verbindung werden sowohl durch die Materialeigenschaften des Klebstoffs und der Fügepartner sowie auch durch Struktureigenschaften wie Klebschichtdicke und Substratgeometrie beeinflusst. Je nachdem kann kohäsives Versagen in der Klebschicht, adhäsives Versagen in der Grenzfläche zwischen

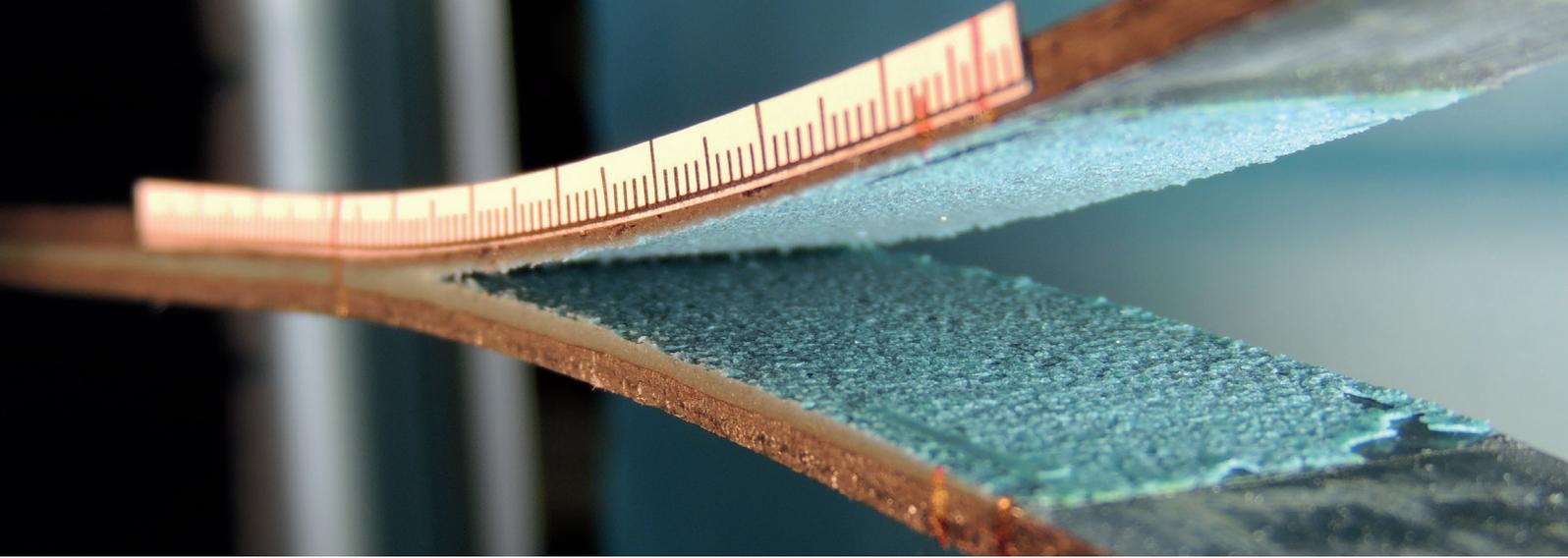
Klebstoff und Laminat, Versagen in der angrenzenden Laminatschicht oder eine Kombination auftreten (Abbildung 2). Jede zu bewertende Paarung der Struktur- und Materialparameter muss daher charakterisiert werden.



2 Gemischte Versagensmechanismen einer geklebten CFK-Probenvorrichtung nach dem DCB-Versuch.

Experimentelle Charakterisierung von Klebefügungen und effiziente virtuelle Parameterermittlung

Eine zuverlässige und systematische Charakterisierung des Trag- und Versagensverhaltens geklebter Fügeverbindungen als Basis für die Fahrzeug- oder Bauteilsimulation erfordert eine abgestimmte experimentelle Versuchsmatrix. So werden am Fraunhofer IWM z.B. die Bruchzähigkeit unterschiedlicher Klebeschichten im Modus I und II im »Double Cantilever Beam« (DCB, Abbildung 3), »End Notch Flexure« (ENF) und Mixed-Mode Versuch bestimmt. Der experimentelle Aufwand kann durch die virtuelle Ermittlung von Kohäsivzonen-Parametern deutlich reduziert werden. Am Fraunhofer IWM wird hierfür ein Homogenisierungsansatz genutzt, der die virtuelle Vorhersage der Kohäsivzonen-Parameter anstelle ihrer experimentellen Bestimmung erlaubt. Die Methodik

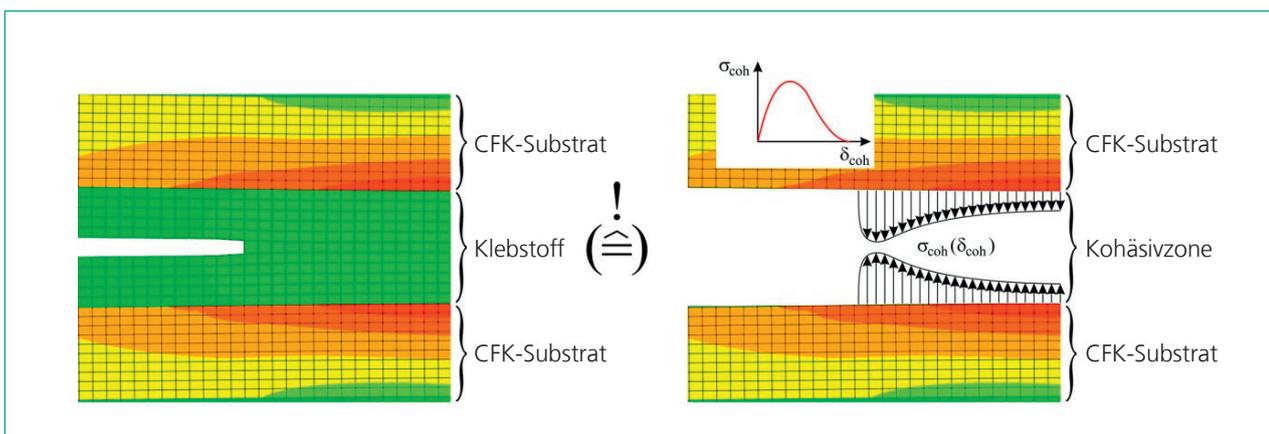


3 Bruchmechanisches Experiment einer geklebten CFK-Probe, die im DCB Test senkrecht zur Klebebene aufgerissen wird.

basiert auf der Simulation des fortschreitenden Versagens der Laminatfugung in einem detaillierten, hochaufgelösten Modell mit kontinuumsmechanischer Modellierung des Schädigungsverhaltens. Die Steifigkeits- und Schädigungsparameter werden aus Zug- und Scher-Versuchen an Klebstoff-Substanzproben abgeleitet. Durch den Homogenisierungsansatz (Abbildung 4) wird das Trag- und Versagensverhalten des detaillierten Modells der Klebefügung auf das effiziente Kohäsivzonenmodell abgebildet. Hierdurch wird eine effiziente Gestaltung und Optimierung von Klebefügungen unter Berücksichtigung sämtlicher mikromechanischer Effekte ohne zusätzlichen experimentellen Aufwand möglich.

Danksagung

Dieses Projekt wurde durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg und die Baden-Württemberg Stiftung GmbH innerhalb des Technologieclusters Baden-Württemberg TC² gefördert.



4 Übertragungsansatz vom kontinuumsmechanischen Detailmodell zum effizienten Kohäsivzonenmodell.