

# BESSERE ENERGIE-KONSERVEN ENERGY STORAGE IMPROVED

Projekt „Lastwechselfeste Harze für Energiespeicher-Anwendungen“

**Ausgangspunkt des Projektes war ein Schwungrad zur Energiespeicherung aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK). Um die Lebensdauer des verwendeten Laminats zu erhöhen, entwickelte das Institut für Verbundwerkstoffe (IVW) eine anwendungsorientierte Methodik und analysierte zahlreiche Harzmodifikationen. Die Ergebnisse können auf jedes hochbelastete CFK-Bauteil übertragen werden.**

Schwungräder aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen eignen sich insbesondere zur Kurzzeit-Energiespeicherung, zur Netzstabilisierung sowie zur Rückgewinnung von überschüssiger Energie. Um möglichst hohe Speicherkapazitäten zu erzielen, ist der Einsatz eines hochfesten und langlebigen Werkstoffs erforderlich.

## Auf der Suche nach dem optimalen Harz

Begründet durch eine Finite-Elemente-Simulation des Schwungrads basieren die nachfolgend vorgestellten Forschungsergebnisse auf der Hypothese, dass die Ermüdungsfestigkeit der hier eingesetzten CFK-Laminats durch die Matriceigenschaften dominiert wird, insbesondere durch die Bruchdehnung der Matrix. Um diese zu steigern, wurden am Institut für Verbundwerkstoffe zahlreiche Harzmodifikationen untersucht, zum Beispiel eine Zähmodifikation durch partikuläre Füllstoffe oder eine Modifikation des spröden Epoxidharzsystems durch Reduktion der Vernetzungsdichte.

Da das Schwungrad im Nasswickelverfahren hergestellt wird, ist eine niedrige Viskosität des Harzes für eine vollständige Imprägnierung der Fasern erforderlich. Durch die Harzmodifikation durfte sich also die Verarbeitungsviskosität nicht erhöhen.

## Drei Systeme im Test

Zunächst wurden die mechanischen, viskoelastischen und thermischen Eigenschaften der modifizierten Harzsysteme systematisch untersucht. Das Referenzsystem ist ein cycloaliphatisches Epoxidharz, gehärtet mit einem Anhydrid (EP1). Im Rahmen des umfangreichen Materialscreenings wurden drei Systeme mit hoher Bruchdehnung ausgewählt und im Laminat weiterverarbeitet. Das erste System ist ein aromatisches Epoxidharz, das mit Core-Shell-Rubber (CSR) Partikeln modifiziert wurde (EP2). Es zeigte eine deutlich gesteigerte Bruchdeh-

Project “Fatigue resistant resins for energy storage applications”

**The project uses the example of flywheel energy storage applications made of carbon fiber reinforced plastics. However, the results are transferable to any other highly loaded CFRP component. The Institute for Composite Materials developed an application oriented evaluation methodology and analyzed various resin modifications in order to augment the lifetime of carbon fiber reinforced epoxy (CFRP) laminates.**

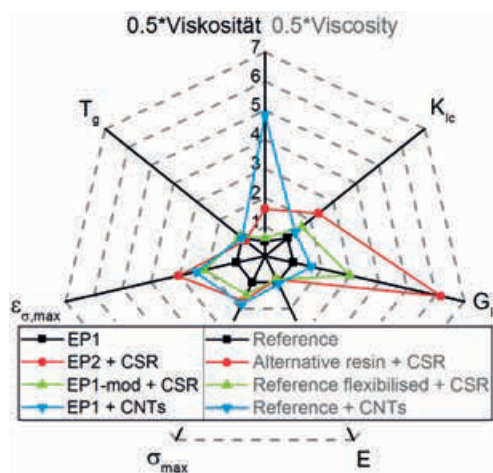
Fly-wheels are employed for short-term energy storage, to stabilize energy grids and for the recovery of surplus energy. For a maximum storage capacity, the use of high performance materials is mandatory with a special focus on a high-level life time.

## Looking for the ultimate resin

Following a finite element stress analysis of the flywheel component, the research presented here is based on the hypothesis, that the fatigue resistance of the considered CFRP laminate is dominated by its matrix behavior, more specifically by the ultimate strain.

Various approaches were pursued to increase the ultimate strain of the matrix system, e.g. making use of additional micromechanical mechanisms introduced into the brittle epoxy system by a particulate or chemical modification.

The flywheel component manufacturing is done by filament winding and requires a low resin viscosity for a proper fiber impregnation. Therefore, a crucial parameter for the workability was also not to increase the viscosity of the resin system by varying its composition.



*Mechanische und thermische Eigenschaften verschiedener Harzsystemen in Bezug auf das Referenzsystem*

*Mechanical and thermal properties of various resin systems relative to reference*

## Three systems put to test

To analyze and verify the workability, the mechanical, viscoelastic and thermal properties of the modified resin systems were systematically examined and characterized. The reference system was an anhydride cured cycloaliphatic epoxy system (EP1). During this extensive modifier screening three systems were identified as the most promising ones, meaning an elevated ultimate strain and still meeting the other requirements. The first system, a core-

nung, was auf Crack-Pinning-Effekte und plastische Verformungen an der Risspitze zurückzuführen ist. Allerdings liegt hier eine geringere Glasübergangstemperatur als beim Referenzmaterial vor.

Beim zweiten System wurde die Vernetzungsdichte des Referenzharzsystems reduziert und ebenfalls CSR-Partikel zugegeben. Dies führte zu einer Verdopplung der Bruchdehnung im Vergleich zum Referenzsystem. Als dritte Variante wurden funktionalisierte Carbon Nanotubes (CNTs) mechanisch mit einem Dreiwalzwerk in das Referenzharz dispergiert. Dies verbesserte sowohl die mechanischen Eigenschaften als auch die Bruchzähigkeit.

## Prüfung und Ergebnisse

Geprüft wurde mit der Split-Disk-Methode auf Ermüdungslasten: Der ringförmige Probekörper ist auf zwei Halbschalen fixiert, die auseinander gezogen werden. Eine eventuell auftretende Steifigkeitsdegradation erfasst ein induktiver Wegaufnehmer.

Es wurden Laminare aus dem Referenzmaterial und den drei modifizierten Harzsystemen auf unterschiedlichen Lastniveaus geprüft. Die Ergebnisse zeigen eine verbesserte Ermüdungsfestigkeit für die Systeme mit CSR-Partikeln. Im Weiteren wird ein Prototyp aus dem vielversprechendsten Matrixsystem EP1-mod + CSR einer Schleuderprüfung unterzogen.

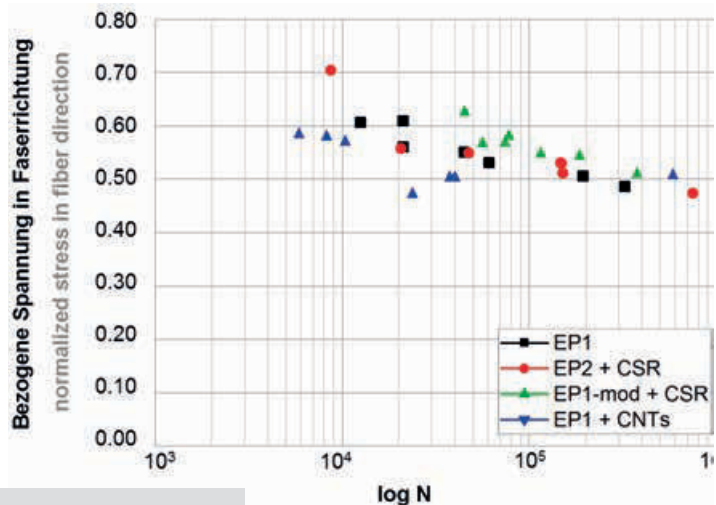
shell rubber (CSR) toughened aromatic epoxy system (EP2), showed a tremendously increased ultimate strain due to crack pinning effects and plastic void growth of the matrix material. However, the glass transition temperature was reduced.

A second approach was the synergistic reduction of the cross-link density into the reference system (EP1-mod) and the introduction of CSR which doubled the ultimate strain with respect to the reference system. Finally, functionalized carbon nanotubes (CNTs) were mechanically dispersed via a three-roll calendar in the reference system, which were found to be beneficial for improving the mechanical properties as well as the fracture toughness.

## Tests and results

Finally it was decided for the split-disk method for testing cyclic loading. The test set-up consists of two disks that are pulled apart. For the monitoring of possible stiffness degradation an additional displacement sensor was used.

Laminates made of the reference matrix and the three modified resins were tested at different stress levels. The results show an improved fatigue resistance for the systems with CSR-particles. In the future, a filament wound prototype made of the most promising system EP1-mod + CSR will be tested in the spin test.



Aufbau zyklische Split-Disk-Prüfung (l.); Ergebnisse der Laminatprobekörper (r.)  
 Test set-up of cyclic split disk-method (l.); test results of filament wound rings (r.)

### Weitere Informationen/Further information:

Dipl.-Ing. Janna Kruppenacker,  
 Bauteilentwicklung/Component Development, Institut für Verbundwerkstoffe (IVW) GmbH, Kaiserslautern,  
 +49 (0) 631 / 20 17-367, janna.kruppenacker@ivw.uni-kl.de, www.ivw.uni-kl.de



Das Projekt "Lastwechselhafte Harze für Energiespeicher-Anwendungen" wird aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Förderkennzeichen: KF2088339RE4) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Es wird durchgeführt mit den Projektpartnern Altpol Kunststoff GmbH, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, EXAKT Advanced Technologies GmbH, Future Carbon GmbH, dem Ingenieurbüro für Leichtbau, Wölfel Engineering GmbH + Co. KG sowie mit Sornetic GmbH als assoziiertem Partner.

The project „Fatigue resistant resins for energy storage applications is funded by the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy on the basis of a decision of the German Bundestag (funding reference: KF2088339RE4). It is realized with the following project partners: Altpol Kunststoff GmbH, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, EXAKT Advanced Technologies GmbH, Future Carbon GmbH, Ingenieurbüro für Leichtbau, Wölfel Engineering GmbH + Co. KG, as well as Sornetic GmbH as associated partner.