

# Nachhaltigkeitsstrategien für keramikbasierte Leistungselektronik

Interview mit Dr. Lars Rebenklau, Dr. Ulrike Langklotz und Dr. Anja Gerbeth

## Warum ist nachhaltige Leistungselektronik überhaupt ein Thema für Keramiker?

**L. Rebenklau:** Durch die zunehmende Elektrifizierung zentraler Bereiche der Technik, etwa in Mobilität und Industrie, steigt der Bedarf an Leistungselektronik. Keramik spielt dabei eine wichtige Rolle, da sie die Robustheit von Schaltungsträgern und Packages, etwa bei hohen Temperaturen und rauen Bedingungen, sicherstellt. Auch moderne Konzepte wie Wide Bandgap-Halbleiter setzen stark auf keramische Verdrahtungsträger. Gleichzeitig müssen wir technische Lösungen für rechtliche Vorgaben erarbeiten, wie die EU-Ökodesign-Richtlinie, und wir müssen für die Keramik Antworten auf die sogenannten R-Strategien finden. Keramik erhält dabei keine Sonderbehandlung gegenüber konkurrierenden Werkstoffklassen.

## Was sind die R-Strategien, und wie werden sie mit Keramik umgesetzt?

**L. Rebenklau:** Die neun R-Strategien sind ein Konzept aus der Kreislaufwirtschaft, wie wertvolle Ressourcen eingespart werden können. Bekannt sind zum Beispiel »Reuse« und »Recycle«, die für alle keramischen und auch andere in Elektronik genutzten Werkstoffe eine Herausforderung darstellen.

**U. Langklotz:** Weniger bekannt, aber genauso wichtig sind Strategien wie »Rethink«, »Repair«, »Refurbish« und »Remanufacture« – hier können wir mit modernen Lösungen aus dem Fraunhofer IKTS keramische Elektronik-Packages bereits von Anfang an so gestalten, dass man sie besser reparieren, wiederaufarbeiten oder umnutzen kann.

## Sind dies nicht eher abstrakte Konzepte?

**L. Rebenklau:** Absolut nicht! Die Reparatur leiterplattenbasierter Elektronik sowie deren Nachnutzung ist bereits heute ein Thema in der industriellen Energie- und Antriebstechnik. Ebenso wie die Nachnutzung von Geräten oder die gesetzlich vorgeschriebene Vorhaltung von Ersatzteilen über viele Jahre. Die Industrie benötigt Lösungen für ein »Repair« oder »Remanufacture«, vor allem aber für ein generelles »Rethink«.

**U. Langklotz:** Schauen wir einmal konkret auf »Rethink«: Gemäß der Ökodesign-Richtlinie müssen wir uns bei jedem Produkt nicht nur fragen: »Was ist drin?«, sondern auch: »Kann ich es reparieren?« oder: »Kann ich die Nutzungsdauer möglichst lang gestalten?«. Als Keramiker finden wir in jedem Fall Lösungen, um die Verlässlichkeit und Lebensdauer zu erhöhen. Dies können etwa neue Dünnschichten als Schutz gegen korrosive Angriffe sein. Gleichzeitig erschweren solche Lösungen aber natürlich die Zugänglichkeit, Demontage und saubere stoffliche Trennung von Einzelkomponenten im Falle der Reparatur oder am Lebensende der Komponente. Es sind also widersprüchliche Anforderungen, die smarte Lösungen erfordern.

## Gibt es weitere Ansätze, wie man Leistungselektronik »neu denkt«?

**U. Langklotz:** Ja. Neben smarten Werkstoffkombinationen können wir auch das leistungselektronische System selbst »intelligent« machen. Wir denken da an das Einbringen von Sensoren, die eine Zustandsüberwachung des Packages ermöglichen. Dies eröffnet neue Optionen für Preventive Maintenance-Konzepte. Alternativ kann im Service- oder Reparaturfall die Integrität und Zuverlässigkeit des Systems ermittelt werden, so dass eine evidenzbasierte und damit zielgenauere Entscheidung über Reparatur oder Austausch möglich wird.

## Wie funktioniert das genau?

**U. Langklotz:** Nehmen wir das Beispiel Vergussmassen als Schutz von Elektronik vor Umwelteinflüssen. Diese müssen sehr fest haften, und sind somit prinzipbedingt im Servicefall schwer entfernbar. Versagt die Grenzfläche zwischen Vergussmasse und Keramik, was unter Umständen schon durch kleine Fehler während der Fertigung geschieht, kann beispielsweise Wasser eindringen. Es kommt zu Korrosion der Metallkomponenten und die Elektronik versagt. Am IKTS haben wir eine einfache Lösung entwickelt, mit der wir aufgedruckte Leiterbahnen auf der Oberfläche der Keramik nutzen, um eine elektrochemische Impedanzmessung an der Grenzfläche zwischen Vergussmasse und Elektronik durchzuführen. Ist die Grenzfläche intakt, hält die Impedanz bestimmte Zielwerte ein. Damit kann man sehr einfach feststellen, ob die Integrität der Vergussmasse noch gegeben oder Korrosion aufgetreten ist. Diese einfache und zerstörungsfreie Diagnose verhindert den präventiven Austausch »auf Verdacht« und vereinfacht die Fehlersuche und damit auch die Reparaturfähigkeit.

## Welche Lösungen bietet das Fraunhofer IKTS, wenn wirklich repariert werden muss?

**L. Rebenklau:** Wir denken dabei zuerst an werkstoffliche Lösungen. Keramische Leistungsmodule waren bisher so gestaltet, dass sie nicht repariert werden konnten. Wir ändern das, indem wir neue Schichtsysteme entwickeln, die die einfa-

che Separation von Schaltungsträger und Halbleiter ermöglichen – also lösbare Verbindungen. Darüber hinaus arbeiten wir an konkreten Reparaturtechniken, die den Wechsel von Bauelementen ermöglichen sollen. Diese Techniken müssen perspektivisch standardisiert und zertifiziert werden und können so der Industrie die Gewähr für die erneute jahrelange Zuverlässigkeit im Einsatz geben.

### Wie geht es weiter, wenn die Elektronik nicht mehr repariert werden kann?

**A. Gerbeth:** Wenn nicht mehr repariert werden kann, muss ein werkstoffliches Recycling erfolgen – natürlich so vollständig wie möglich. Leistungselektronische Packages sind durch ihr Design hoch verdichtete, sehr stabile Produkte, die eine Vielzahl wertvoller Komponenten auf engstem Raum enthalten. Das »Rethink« beim Design der Leistungselektronik ist eine wesentliche Voraussetzung für die Optimierung des Recyclingprozesses. Denn das Design legt die Grundlage für eine leichtere materialelektive Vortrennung der Einzelkomponenten. Auch beim Recycling selbst nutzen wir die gesamte Bandbreite der Erfahrungen im IKTS. Mit der elektrohydraulischen Separation können wir sehr energieeffizient Materialverbunde, wie keramische Packages, aufbrechen und sortenrein in metallische und keramische Partikel auftrennen. Über hydrometallurgische und elektrochemische Aufreinigungsverfahren gewinnen wir die Metalle sehr effizient zurück. Das IKTS nutzt diese Verfahren seit Jahren im Batterierecycling und bei Ressourcentechnologien. Da gibt es starke Synergien.

### Für das Fraunhofer IKTS sind diese Themen also gar nicht neu?

**L. Rebenklau:** Das IKTS ist in vielen dieser Themen seit Jahrzehnten aktiv, sie werden mit dem Fokus nachhaltige Leistungselektronik aber neu kombiniert. Keramik für die Elektronik ist seit geraumer Zeit ein IKTS-Arbeitsgebiet von der Werkstoffentwicklung über die Dickschichttechnik bis zur Aufbau- und Verbindungstechnik. Neu hinzu kommen elektrochemische Ansätze, etwa in der integrierten Sensorik oder der galvanischen Erzeugung von Schutz- und Funktionsschichten sowie im Verständnis von Korrosionsprozessen.

### Gibt es externe Partner, mit denen das IKTS kooperiert?

**L. Rebenklau:** Besonders zu nennen sind hier die TU Dresden und die TU Bergakademie Freiberg mit ihren traditionell exzellenten Kompetenzen bei Aufbereitungs- und Recyclingprozessen. Hinzu kommen Industriepartner. Besonders engagiert bei nachhaltiger Leistungselektronik sind derzeit eine Reihe von Automobilzulieferern, die den Übergang zur Elektromobilität bewältigen müssen und neue Geschäftsmöglichkeiten suchen.



*Dr. Anja Gerbeth, Dr. Lars Rebenklau und Dr. Ulrike Langklotz im Gespräch mit Prof. Michael Stelter.*

Wir sind mit unseren Partnern im IGF-Verbundprojekt »GANZ-Leistungselektronik« aktiv, in dem wir einen holistischen Ansatz für nachhaltige Leistungselektronik verfolgen: von neuen Schutz- und Funktionsschichten über integrierte Selbstüberwachung, Reparaturkonzepte bis hin zu effizienten Zerlege- und Wiedergewinnungstechnologien für kritische Rohstoffe. Die Lösungen sind dabei insbesondere auf die Bedarfe von KMU zugeschnitten.

### Wie soll der Transfer aus diesen Projekten erfolgen?

**L. Rebenklau:** Wir gehen hier zwei Wege. Auf der einen Seite entwickeln wir Designkonzepte und Verfahren, die als Standard für die ganze Branche eingeführt werden sollen. Das können bestimmte Schichtsysteme sein, die dann standardisierte Füge- und Lötprozesse erfordern, oder bestimmte Reparaturprotokolle für aufgearbeitete Systeme. Auf der anderen Seite gehen wir direkt ins Gespräch mit den Anwendern. Wir entwickeln gemeinsam Lösungen und Geräte, die beispielsweise bei unabhängigen Reparaturdienstleistern für Leistungselektronik eingesetzt werden können, oder die als Sensorbauteil in die Packages integriert werden können.

**A. Gerbeth:** Auf der Werkstoffseite bieten wir vor allem Beratungsdienstleistungen an, etwa wenn Recycling-Anbieter ihre Prozesse selektiver und energieeffizienter machen wollen. Hier haben wir sehr gute verfahrenstechnische Ansätze und Technikkums-Hardware, die den Kunden die Übernahme und Skalierung der Recyclingprozesse erleichtert.