

Transiente Materialien

Im englischen Sprachgebrauch werden mit dem Begriff *Transient Materials* funktionell vollwertige Werkstoffe und Komponenten mit konstruktiv begrenzter Lebensdauer bezeichnet. Sie können sich unter spezifischen Bedingungen in kontrollierter bzw. präzise determinierter Weise rückstandsarm in ihrer Umgebung auflösen. Im Fokus dieses noch jungen Forschungsgebiets stehen heute vorwiegend transiente elektronische Klein- und Kleinstprodukte. Aber auch darüber hinaus zeichnen sich interessante Anwendungspotenziale von ziviler wie auch militärischer Relevanz ab.

Transiente Materialien bestehen in der Regel aus Verbindungen, die sich verhältnismäßig leicht durch physikalische, chemische oder biologische Einflüsse zersetzen lassen und dabei zu physiologisch bzw. ökologisch unbedenklichen Abbauprodukten zerfallen. Sie unterscheiden sich von herkömmlichen abbaubaren Materialien primär durch den Ablauf der Selbstauflösung. Charakteristisch ist hier insbesondere die kontrollierte Einleitung des dann möglicherweise sehr schnell bzw. sogar abrupt verlaufenden Zersetzungsprozesses. Typischerweise werden hierfür spezielle Auslöser, sogenannte Trigger, genutzt. Einfache und direkte Trigger-Ereignisse stellen beispielsweise die Benetzung mit Wasser oder Säure oder die Erhöhung der Umgebungstemperatur dar. Besondere Bedeutung kommt vor allem der Zersetzung in wässrigen Lösungen zu. In diesem Kontext werden bestimmte Polymerwerkstoffe und Naturstoffe wie Gelatine, Zellulose, Seide oder Chitin, aber auch korrosionsanfällige Metalllegierungen auf der Basis von Magnesium, Zink oder Eisen untersucht. Die Abbaurate einzelner Komponenten kann durch gezielte Materialmodifikationen (Oberflächenbeschaffenheit, Porosität, Additive etc.) beeinflusst und gesteuert werden.

Auch für persistenterere Werkstoffe, wie z. B. Silizium- oder Wolframverbindungen, lassen sich durch innovative Ansätze verhältnismäßig schnelle Zersetzbarkeiten gewährleisten. So kommen im Bereich transienter Elektronik beispielsweise Silizium-Nanomembranen zum Einsatz, die bis zu

20.000mal dünner sind als herkömmliche Silizium-Wafer – eine Dicke, bei der die Reaktionsrate mit Wasser innerhalb weniger Tage zu einer kompletten Auflösung führt. Im Bereich der transienten Elektronik werden damit unter Einsatz verschiedener Verfahren der Dünnschichttechnik elektrische Bauelemente und Leiterbahnen geformt. Auf diese Weise konnten bereits einfache auflösbare Schaltungen mit passiven und aktiven Bauelementen realisiert werden. Auch transiente integrierte Systeme (z. B. Dehnmessler, Temperatursensoren) oder eine wasserlösliche wiederaufladbare Batterie wurden bereits demonstriert. Eine Alternative stellt die Verwendung von speziell behandeltem (getempertem) Glas als Chipsubstrat dar. Das solchermaßen vorgepannte Glas zerfällt auf die Aktivierung eines Triggers hin explosionsartig zu feinem Glasstaub.

Der Entwicklung von transienten Materialien und Komponenten liegen unterschiedliche Interessen zugrunde. Angesichts knapper werdender Rohstoffe und globaler Umweltprobleme spielen Aspekte der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit im zivilen Bereich eine wichtige Rolle. So sollen Geräte mit programmierter Lebensdauer das gezielte Recycling wertvoller Rohstoffe erleichtern und den Eintrag von persistenten Abfällen in die Umwelt verringern. Die Medizintechnik stellt einen anderen wichtigen Anwendungsbereich für transiente Materialien dar. Durch die vorprogrammierte oder gezielt ausgelöste Auflösung von bioresorbierbaren Medizinprodukten – z. B. Nahtmaterial, Gefäßstützen, Sensorimplantaten oder Wirkstoffdepots – können dem Patienten die möglichen Risiken einer chirurgischen Entfernung (Explantation) erspart werden. Im Bereich der zivilen Sicherheitstechnik können durch die Selbstzerstörung eines Datenträgers, beispielsweise in Reaktion auf eine fehlgeschlagene Autorisierungsprüfung, sensible Daten vor unbefugtem Zugriff geschützt werden. Auch eine missbräuchliche Nutzung von Ausweisdokumenten könnte unter Umständen durch eine kontrolliert eingeleitete Zerstörung verhindert werden. Wehrtechni-

sche Einsatzmöglichkeiten für transiente Materialien zeichnen sich vor allem in der Nachrichtengewinnung und Aufklärung, in der Informationssicherheit und in der Wehrmedizin ab. So könnten sich Sensoren und Sensorplattformen (UAV etc.), die sich nach einer vorgegebenen Zeit oder auf ein spezifisches Signal hin ohne rückverfolgbare Spuren selbst zerstören, für verdeckte Operationen als wertvoll erweisen. Im Kontext einer flächendeckenden Ausbringung von Sensorknoten (in Sensornetzen) zeichnen sich außerdem ökologische und ökonomische Vorteile ab, da der kontrolliert eingeleitete Abbau transienter Systeme in der Umwelt aufwendige Bergungen überflüssig macht. Jenseits des Schutzes von digitalen Informationen könnte der Einsatz transienter Materialien auch neue Perspektiven im Bereich der Sicherung von Waffensystemen eröffnen. Durch eine ferngesteuert aktivierte oder infolge von Fremdeinwirkung ausgelöste Selbstzerstörung zentraler Kontrollelemente könnte hier eine unautorisierte Nutzung unterbunden werden.

So könnten Transiente Technologien in Zukunft neuartige und außerordentliche Entwicklungen in vielfältigen Anwendungsbereichen ermöglichen. Eine zentrale Herausforderung ist, die Abbaurate bzw. Lebensdauer transienter Systeme unter Berücksichtigung der relevanten Einflussgrößen optimal auf die anwendungsspezifischen Anforderungen zuzuschneiden. Hierzu sind genaue Kenntnisse über die jeweiligen Reaktionsgeschwindigkeiten der einzelnen Werkstoffe unter verschiedenen Bedingungen erforderlich. Fortgeschrittene transiente Systeme, also funktionelle Verbünde verschiedener auflösbarer Komponenten, befinden sich derzeit in einem experimentellen Stadium. Mit einer fortschreitenden Verbesserung existenter Systeme, der Implementierung von präziseren Triggern, der Erforschung von innovativen Abbaumechanismen und der Entwicklung von serientauglichen Fabrikationsprozessen könnten erste transiente Produkte in fünf bis zehn Jahren die Marktreife erlangen.

Dr. Carsten Heuer
Wolfgang Nätzker