

# Alterungseffekte im Zeitraffertest

Legt man ein Stück Glas in die Sonne, so wird es sich in 100 Jahren nicht verändern. Legt man einen Metallwürfel in die Sonne, so rostet er allenfalls oberflächlich. Bei einem Würfel aus Kunststoff oder auch bei Klebungen ist es anders. Ihre Veränderungen lassen sich durch Zeitraffertests bei relativ kurzen Prüfzeiten zuverlässig und schnell ermitteln.

Prof. Dr.-Ing. Henning Gleich, Dr. Hartwig Lohse

Ein der Witterung ausgesetzter Kunststoff verfärbt sich und wird spröde, seine mechanischen Eigenschaften verändern sich. Im Rahmen der durch die DIN 2304-1 /1/ für alle Klebungen mit der Hauptfunktion einer Lastübertragung geforderten Nachweisführung, dass, "...das konstruierte (geklebte) Bauteil die Anforderungen in allen Lebenszyklen über die beabsichtigte Gebrauchsdauer erfüllt..." müssen also in der Entwicklungsphase von geklebten Kunststoffteilen die Alterungseffekte der Füge­teile, des verwendeten Klebstoffs und sich ggf. aus deren Kombination ergebende weitere Effekte berücksichtigt werden. Vor dem Hintergrund der einerseits erwarteten, teilweise sehr langen Lebensdauern und der andererseits immer wichtiger werdenden Verkürzung von Entwicklungszeiten kommt dem auch in der aktuellen Roadmap Kleben (*Bild 1*) des Gemeinschaftsausschusses Klebtechnik (GAK) /2/ als wichtiges Forschungs- und Entwicklungsziel genannten Ziel, die Zuverlässigkeit von Klebungen zu erhöhen und durch prognosesichere Zeitraffertests unter Betriebsbeanspruchungen zu validieren, eine hohe Bedeutung zu.

## Die Idee der Zeitraffertests

Die Motivation für die Durchführung von Zeitraffertests liegt in der Tatsache begründet, dass Klebverbindungen altern.

Dies geschieht u. a. durch die Einwirkung von

- mechanischen Belastungen,
- Sonnenlicht,
- Wärme,
- Wasser,
- Sauerstoff und
- sonstiger flüssiger, gasförmiger oder fester Stoffe

sowohl auf den Klebstoff als auch auf die Füge­teile.

Diese Alterung äußert sich, je nach Art und Zeitdauer der Einwirkung, nicht nur in sichtbaren Effekten, wie Aufquellen, Rissbildung, Versprödung oder Verfärbung, sondern auch in einer Veränderung der mechanischen Eigenschaften und einem Nachlassen der Adhäsion zwischen Klebstoff und Füge­teiloberflächen. Auch Wechselwirkungen zwischen den Füge­teilen und dem Klebstoff sowie Veränderungen und Alterungseffekte der Füge­teile selbst müssen berücksichtigt werden. Alles in allem verändert sich das Last­trage­vermögen der Klebung meist zum Nachteil. Genau diese Veränderungen gilt es durch geeignete Zeitraffertests bei möglichst kurzen Prüfzeiten zuverlässig zu ermitteln.

Die Philosophie der Zeitraffertests ist es, die unter realen Gebrauchsbedingungen über die erwartete Lebensdauer verteilt einwirkenden Belastungen zu verschärfen und zeitlich zu komprimieren. Es wer-

den entweder reale Bauteile oder standardisierte Prüfkörper (z. B. Zugscherproben gemäß DIN EN 1465 /3/) unter festgelegten Bedingungen ausgelagert und anschließend zerstörend geprüft. Das Ergebnis hinsichtlich Festigkeit und Versagensart (gemäß DIN EN ISO 10365 /4/) wird dann mit den ohne Auslagerung erzielten Werten verglichen und beurteilt. Bei der Festlegung der Auslagerungsbedingungen hilft die Tatsache, dass die bei der Klebstoffalterung ablaufenden Vorgänge wie alle chemischen und biologischen Reaktionen durch eine Erhöhung der Temperatur beschleunigt werden. Eine Faustformel besagt, dass eine Erhöhung der Prüf­temperatur um 10 K eine chemische Reaktion um den Faktor 2 bis 4 beschleunigt. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass das sinnvolle Ausmaß der Beschleunigung begrenzt ist. Eine höhere Temperatur kann neben der Beschleunigung von Alterungsreaktionen auch den Ablauf von Reaktionen ermöglichen, die aufgrund ihrer Aktivierungsenergien unter den normalen Betriebsbedingungen des zu prüfenden Bauteils prinzipiell nicht ablaufen. Bei der zeitlichen Komprimierung werden die Zeiträume, in denen das Bauteil unkritischen Bedingungen (z. B. normalen Raumbedingungen) ausgesetzt ist, zugunsten von kritischen (z. B. erhöhter Temperatur, Medieneinfluss, mechanischer Belastung) ersetzt. Der dadurch

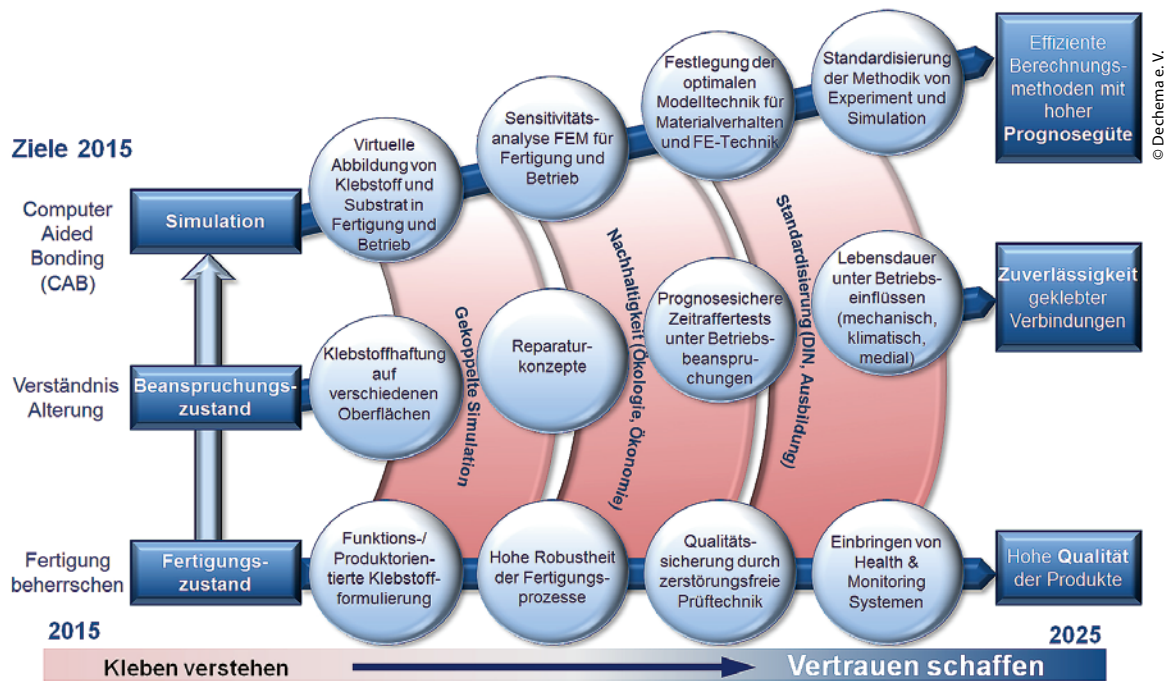


Bild 1 > Roadmap Kleben /2/

bedingte Wegfall von „Erholungsphasen“ hat ohne Frage einen Einfluss und muss berücksichtigt werden.

### Exemplarische Tests

Der Begriff „Zeitraffertest“ umfasst Prüfungen, bei denen die Auswirkung

- einer mechanischen Belastung,
- einer klimatischen Belastung,
- einer Belastung durch Medien (z. B. Feuchte, Chemikalien)

• oder einer Kombination der drei erstgenannten Belastungen auf eine Klebung simuliert wird. Ziel ist es, mit möglichst kurzen Prüfzeiten Hinweise auf die Langzeitbeständigkeit einer Klebung unter Realbedingungen zu erhalten. Der Einfluss von mechanischen Belastung kann, in Abhängigkeit von der Art der Belastung, für statische Lasten z. B. im Zeitstandversuch (DIN EN 15336 /5/) und für dynamische Lasten im Dauerschwingversuch (DIN EN ISO 9664 /6/),

auch als Wöhler-Versuch bekannt, ermittelt werden.

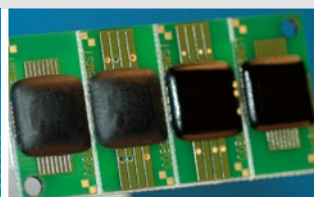
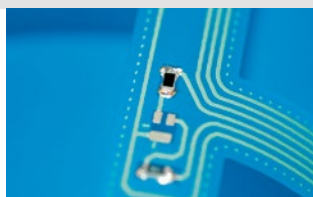
Eine Beschreibung von Labor-Alterungsbedingungen, unter denen Klebverbindungen verschiedenartigen Umweltbedingungen – klimatisch oder chemisch – ausgesetzt werden, um die Wirkungen dieser Einflüsse auf bestimmte Eigenschaften zu erfassen, gibt z. B. die DIN EN ISO 9142 /7/.

Im einfachsten Fall werden zur Ermittlung der Temperaturbeständigkeit geklebte Prüfkörper in Umluftöfen bei erhöhter

**hönle**group

**Hönle**

**Panacol**

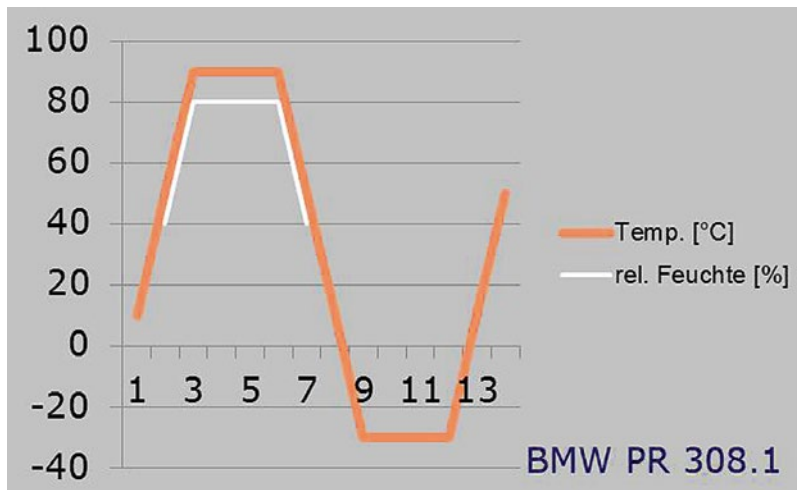


## Innovative Klebtechnologie für die Elektronikfertigung

- **Elektrisch und thermisch leitende Klebstoffe** von Panacol überzeugen durch optimale Leitfähigkeit, sind Jet- und Siebdruck geeignet, härten thermisch oder im Snap-Cure-Verfahren.
- **UV-reaktive Klebstoffe und Vergussmassen** sind ideal für Anwendungen wie Conformal Coatings, Glob Tops und Beschichtungen. Perfekt darauf abgestimmte Hönle UV-/UV-LED-Systeme gewährleisten die sekundschnelle Aushärtung.

[www.panacol.de](http://www.panacol.de)





© Klebtechnik Dr. Hartwig Lohse e.K.



© Fraunhofer IFAM

**Bild 2** > Klimawechseltest gemäß BMW PR 308.1 (Die Anzahl der zu durchlaufenden Prüfungen hängt vom Anwendungsbereich ab.) /12/

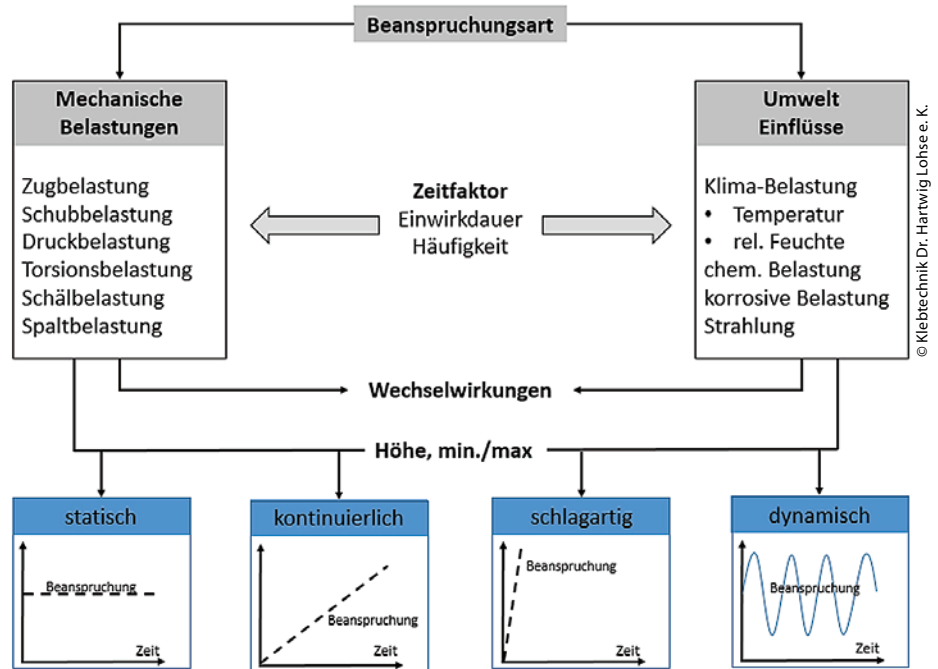
**Bild 3** > Geklebte Kaffeekanne nach Kochtest bei 140 °C / 3 bar

oder definiert ansteigender Temperatur unter Belastung gelagert, die Zeit bis zum Versagen der Klebverbindung ermittelt und das Versagensbild anschließend bewertet. Es werden aber auch Prüfkörper bei Prüfzeiten von bis zu mehreren 1000 Stunden bei erhöhter Temperatur ausgelagert und nach einer anschließenden Rekonditionierung im Vergleich zu ungealterten Prüfkörpern zerstörend geprüft. In einfachen Versuchen können ohne langwierige Ofenlagerung mittels TGA (Thermogravimetrie, Thermogravimetrie Analysis) oder DSC (Dynamische Differenzkalorimetrie, Differential Scanning Calorimetry) erste Erkenntnisse über das thermische Verhalten von Klebstoffen gewonnen werden. So gibt die TGA Hinweise darauf, bei welcher Temperatur Zersetzungsprozesse beginnen und die DSC gibt Hinweise auf u. a. Phasenumwandlungen und die Glasübergangstemperatur  $T_g$ , bei der sich bekanntlich die mechanischen Eigenschaften, aber auch das Wärmeausdehnungsverhalten signifikant ändern. Beides liefert wertvolle Hinweise für die Klebstoffauswahl. Die Methode der OIT (Oxidations-Induktions-Zeit/Temperatur), d. h. die Durchführung von DSC-Messungen unter definierter Sauerstoffatmosphäre, bietet die Möglichkeit einer schnellen Ermittlung der Temperaturstabilität von Kleb- und Dichtstoffen. In dem IGF-Pro-

jekt VaTherm /8/ und /9/ konnte gezeigt werden, dass bei reaktiven Klebstoffen die Wirksamkeit verschiedener Stabilisatoren verglichen werden kann und eine Berechnung der Langzeitbeständigkeit bei höheren Gebrauchstemperaturen möglich ist. Die Versuchsparameter müssen jedoch jeweils an die Basischemie der Klebstoffe angepasst und in Korrelation zu Ergebnissen aus Ofenlagerungen erstellt werden. Es muss ebenfalls berücksichtigt werden, dass alle diese Methoden zwar Hinweise zum Langzeitverhalten des Klebstoff-Bulks bei erhöhter Temperatur, aber nicht bezüglich seiner Adhäsion zu einem Fügeteil liefern. Da es derzeit noch keine zerstörungsfreie Prüfmethode für Klebverbindungen gibt, die sicher und reproduzierbar Aussagen zur Haftung zwischen Klebschicht und Fügeteil liefert, sind zur Ermittlung der Langzeitbeständigkeit einer Klebverbindung zerstörende Prüfungen an entsprechend belasteten, d. h. gealterten Klebverbindungen erforderlich. Während in der Vergangenheit vornehmlich statische Tests (z. B. der sogenannte Schwitzwassertest gemäß DIN EN ISO 6270-2 (Auslagerung bei 40°C und 100 % rel. Feuchte) /10/) zum Einsatz kamen, sind es heute vermehrt sogenannte Klimawechselprüfungen, bei denen die Prüfkörper periodisch wechselnden Bedingungen

ausgesetzt werden. Beispiele sind der in der DIN EN ISO 11997-1 /11/ als Zyklus B beschriebene VDA-Wechseltest (ehemals VDA 321-415), bei dem die Prüflinge nacheinander einer 24-stündigen Salzsprühnebelprüfung, einer 4-tägigen Kondenswasser-Klimawechselprüfung mit einer 2-tägigen Erholungsphase ausgesetzt werden und der von der BMW AG entwickelte Test gemäß BMW PR 308.1 /12/ (Bild 2). Bei reinen Kunststoff-Kunststoff-Verbindungen ist eine Salzsprühbelastung in der Regel unkritisch, anders sieht es bei Kunststoff-Metall-Klebungen aus. Hier kann die korrosive Wirkung des Salznebels die Klebstoffhaftung zum Metall negativ beeinflussen. Um die Testbedingungen erfüllen zu können, erfordern diese Klimawechselprüfungen den Einsatz spezieller Klimaprüfschränke. Deutlich geringer ist der apparative Aufwand bei Zeitrafferuntersuchungen mit dem Kataplasmatetest, wie er z. B. in der DIN EN ISO 13523-27 /13/ oder der DIN 55657 /14/ beschrieben wird. Bei diesem Test werden Prüfkörper (meist Zugscherprüfkörper gemäß DIN EN 1465 /3/) in Baumwolle eingewickelt und so zusammen mit einer bestimmten Menge demineralisiertem Wasser in einen dicht schließenden Kunststoff-Beutel gegeben. Nach Verschließen der Beutel werden diese für eine festgelegte Zeit (meist 7, 14 oder

Bild 4 > Beanspruchungsarten



21 Tage) bei 70°C gelagert. Die Prüfkörper werden entweder nach Entnahme aus dem Beutel und Abkühlen auf Raumtemperatur zerstörend geprüft oder aber unmittelbar nach Ofen-Entnahme des Beutels in eine Tiefkühltruhe mit -20°C gegeben, dort 2 Stunden belassen und nach weiteren 2 Stunden Rekonditionierung bei Raumtemperatur geprüft.

Im Gegensatz zu den langsamen Aufheiz- bzw. Abkühlraten des BMW PR 308.1 werden bei sogenannten Themoschock-Prüfungen (z. B. gem. DIN EN 60068-2-14) /15/ wesentlich höhere Aufheiz- und Abkühlraten realisiert, indem die Prüfkörper zwischen zwei Prüfkammern mit unterschiedlichen Temperaturen wechseln. Die untere und obere Temperatur (z. B. -40 / +120 °C) sowie die Überführungsdauer von der einen in die andere Kammer (z. B. 2 - 3 min, 20 - 30 s oder < 10 s) hängen von den schärfsten im Einsatzfall zu erwartenden Temperaturwechselbedingungen ab. Die Verweildauer bei der oberen bzw. unteren Temperatur muss in Abhängigkeit von der Wärmekapazität der Prüfkörper so gewählt werden, dass jeweils vor dem erneuten Wechsel in die andere Kammer der Prüfkörper sich im Temperaturgleichgewicht mit der aktuellen Kammer befindet. Derartige Prüfungen eignen sich für Tests z. B. an elektrotechnischen Kfz-Bauteilen, die zum Schutz vor

Feuchtigkeit entweder mit einem Polymer vergossen oder in einem verklebten Gehäuse untergebracht, aber an spritzwasserexponierter Stelle im Motorraum montiert sind. Untersucht wird damit u. a. die Beständigkeit der Klebverbindung gegenüber mechanischen Belastungen, verursacht durch das unterschiedliche Wärmeausdehnungsverhalten der gefügten Werkstoffe.

Soll der Einfluss der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Fügeteilwerkstoffe oder auch zwischen Klebstoff und Fügeteil auf die Klebung untersucht werden, geben an kleinen standardisierten Prüfkörpern durchgeführte Zeitraffertests nur ungenügend die an großen Realbauteilen auftretenden Kräfte wieder. Die Dimensionen der realen Bauteile muss also berücksichtigt werden. Neben den beschriebenen Prüfnormen gibt es eine Vielzahl weiterer Normen. Dazu zählen solche, die nationale, europäische oder internationale Gültigkeit besitzen, aber auch solche, die von Anwendern gezielt für ihren Anwendungsbereich entwickelt wurden. Hierbei handelt es sich teilweise um Methoden mit nur geringfügig voneinander abweichenden Prüfbedingungen. Diese wurden in der Vergangenheit von den jeweiligen Anwendern unabhängig voneinander entwickelt und die erhaltenen Ergebnisse kon-

tinuierlich mit dem Verhalten von real gealterten Teilen verglichen. Über die Zeit entstanden somit umfangreiche Datensätze, die eine gute Grundlage für die Beurteilung der Langzeitbeständigkeit von geklebten Bauteilen mit einem ähnlichen Aufbau und Einsatzgebiet darstellen. Eine Harmonisierung der verschiedenen, wenn auch z. T. nur geringfügig unterschiedlichen Testbedingungen wäre wünschenswert, würde aber den Wert dieser Datensätze und die umfassende Weiternutzung des oft über Jahrzehnte erarbeiteten Prüfungswissens infrage stellen.

### Grenzen der Zeitraffertests

Allen genannten Methoden ist gemeinsam, dass die erzielten Ergebnisse nicht ohne Weiteres Aussagen zur Beständigkeit von Klebverbindungen unter Praxisbedingungen erlauben. Gründe hierfür liegen z. B. darin, dass

- eine unmittelbare Beziehung zwischen Prüfergebnissen und Realbelastungen nicht gegeben ist, da die Belastungen im Gegensatz zum Realfall verschärft sind und zum anderen zeitlich komprimiert erfolgen;
- die auf ungealterte Prüfkörper bezogene Angabe von prozentualen Restfestigkeiten nach einer bestimmten Alterung zwar die Gesamtänderung der Verbundfestigkeit nach einer bestimmten Zeit wie-



## Klebtechnisches Wissen von vielen bündeln

### Serie „Kunststoffe erfolgreich kleben“ auch als Buch

Mit der Serie „Kunststoffe erfolgreich kleben“ rücken Experten aus Industrie und Wissenschaft die Leistungsfähigkeit der Klebtechnik beim Fügen von Kunststoffen mit Kunststoffen oder anderen Werkstoffen in den Mittelunkt des Leserinteresses. Nach einführenden Beiträgen über Kunststoffe, Grundlagen der Klebstoffe und Klebtechnik werden alle für das erfolgreiche Kleben von Kunststoffen wichtigen Aspekte behandelt. Zahlreiche Best Practice Beispiele aus verschiedensten Industriebranchen beleuchten die anwendungstechnischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Klebtechnik beim Fügen von Kunststoffen.

Auf der Basis der Serienbeiträge entsteht im Hintergrund ein umfangreiches Fachbuch. Es bündelt das im Rahmen der Serie dargestellte Wissen von mehr als 50 Autoren und bietet dem Leser / der Leserin anwendungsnahe Hilfestellung bei der erfolgreichen Lösung von Klebaufgaben in der Herstellung von innovativen Kunststoffprodukten.

Weitere Infos zum Buchprojekt: [marlene.doobe@springer.com](mailto:marlene.doobe@springer.com)

dergeben, jedoch wegen der nicht gegebenen Linearität des Festigkeitsabfalls keine Aussagen über den zeitlichen Verlauf machen. So kann bereits nach kurzer Zeit ein deutlicher Festigkeitsverlust eintreten, der sich aber asymptotisch einem Grenzwert nähert – oder aber die Festigkeit bleibt zunächst unverändert, um dann innerhalb kürzester Zeit deutlich abzufallen;

- bei der Verwendung von standardisierten Prüfkörpern wie z. B. dem Zugscherprüfkörper darauf zu achten ist, dass die Bedingungen des Zeitraffertests keinen im Vergleich zum realen Bauteil verstärkten Effekt auf die Eigenfestigkeit des Füge-teils haben. So kommt es bei der Prüfung von mittels 2K-PUR- oder 2K-Epoxidklebstoffen hergestellten SMC-Klebverbindungen (SMC: Sheet Moulded Compound, d. h. Glasfaser- und Füllstoff enthaltendes Polyesterharz) im Zugscherversuch in der Regel zu einer Delamination im Füge-teil wobei die erreichte Festigkeit mit ca. 5 - 6 MPa deutlich unter dem Festigkeitsniveau des eingesetzten Klebstoffs (je nach Klebstoff ca. 10 - 25 MPa) liegt. Nach Alterung findet man meist, ebenfalls bei Füge-teildelamination einen z. T. deutlichen von den Bedingungen des Zeitraffertests abhängigen Festigkeitsabfall. Dieser kann, da nicht der Klebstoff, sondern das Füge-teil versagt, nicht auf eine Alterung der Klebung zurückgeführt werden. Vielmehr wurde das Füge-teil geschwächt. Die Ursache liegt darin, dass über die bei der Herstellung der Prüfkörper entstandenen Schnittkanten Feuchtigkeit wesentlich leichter in das SMC eindringen kann. Die Schnittkanten sollten also vor der Auslagerung versiegelt werden.

- es ein grundlegender Unterschied ist, ob die mit den Zeitraffertests simulierten Bedingungen auf mechanisch unbelastete oder belastete Klebungen einwirken. Mechanische Belastungen führen zu einer Verformung der Füge-teile und der Klebschicht, was wiederum ein verändertes, meist beschleunigtes Diffusionsverhalten von Medien, z. B. von Wassermolekülen in die Kleb- und Grenzschicht zur Folge hat. Sicherlich sind Prüfbedingungen, bei denen Prüfkörper sowohl klimatisch als auch chemisch und mechanisch belastet werden, denkbar und werden auch angewendet. Diese sind jedoch in der Regel mit einem sehr hohen apparativen Aufwand verbunden, sodass die pro Zeiteinheit zu prüfende Anzahl an Prüfkörpern stark eingeschränkt ist. Aus diesem Grund fordert die bereits erwähnte DIN 2304-1 /1/, dass die Prüfbedingungen bezüglich der Wirkung auf die Klebverbindung eine ausreichend ähnliche Wirkung wie die in der Realität auftretenden Bedingungen haben müssen.

### Festlegung von Bedingungen für Zeitraffertests

Ziel eines Zeitraffertests ist es, wie bereits dargelegt, die unter realen Bedingungen während der verschiedenen Lebenszyklen auf ein Bauteil einwirkenden Belastungen unter Berücksichtigung der Gesamtlebensdauer zu simulieren und am Ende des Tests eine „gut/schlecht-Aussage“ zu erhalten. Es gilt also, die Bedingungen so scharf wie nötig, aber auch nicht unnötig scharf zu wählen – „kaputt prüfen kann man alles“. Es kann jedoch auch sinnvoll sein, bewusst übertrieben scharfe Bedingungen zu wäh-

len. Dann sollte man jedoch akzeptieren, dass ein Versagen des Bauteils unter den extremen Prüfbedingungen keinesfalls bedeutet, dass das Bauteil unter Realbedingungen die spezifizierten Anforderungen nicht erfüllt. Für den umgekehrten Fall, dass das Bauteil den übertrieben scharfen Zeitraffertest besteht, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass auch die Realbedingungen erfüllt werden.

So hat man z. B. bei der Entwicklung einer Glaskanne für eine Kaffeemaschine mit angeklebtem Griff aus ABS die Klebung zur Prüfung der Heißwasserbeständigkeit eine Woche lang bei 140°C/3 bar im Druckkochtopf geprüft und zur Simulation der Temperaturschockbeständigkeit die mittels kochenden Wassers auf nahezu 100°C aufgeheizte Kanne in flüssigen Stickstoff (-196 °C) getaucht. Die Tatsache, dass die Klebung beide Prüfungen ohne Schäden überstand (Bild 3), hat die positiven Ergebnisse der anderen durchgeführten Zeitraffertests bestätigt, das Vertrauen in die Klebung gestärkt und stark zur weiteren Beruhigung der Entscheidungsträger beim Hausgerätehersteller beigetragen.

Bei der Auswahl der Methoden für beschleunigte Alterungsprüfungen sollten zunächst die während des Lebenszyklus des Produkts real auftretenden Belastungen hinsichtlich ihrer

- Art,
- Höhe,
- Häufigkeit des Auftretens und
- jeweiligen Einwirkdauer

analysiert und zusammengestellt werden (Bild 4), um dann unter Berücksichtigung der erwarteten Lebensdauer die Bedingungen und die Dauer eines oder mehrerer Zeitraffertests festzulegen. Sicherlich ist es vorteilhaft, möglichst auf solche Tests zurückzugreifen, für die aufgrund einer langjährigen Erfahrung schon eine breite Datenbasis bestehender Versuchsergebnisse in Korrelation zu Langzeiterfahrungen aus dem realen Betrieb ähnlicher Produkte zur Verfügung steht.

Bei völlig neuen Bauteilkonstruktionen steht der Entwickler jedoch vor einer fast nicht lösbaren Aufgabe, wenn er bereits in der Entwicklungsphase zuverlässige Ergebnisse zum Nachweis der Belastbarkeit des geklebten Verbundes und somit zur Lebensdauerprognose abgeben soll. Sicherlich kann eine grobe Abschätzung anhand von bewusst unter stark verschärften Bedingungen durchgeführten Zeitraffertests an Prüfkörpern oder besser an Bauteilen Hinweise auf das Verhalten un-

ter Realbedingungen geben. Je nach Qualität der Informationen über die real auftretenden Beanspruchungen und die über zerstörende Prüfungen nach Zeitraffertests ermittelte Belastbarkeit muss dann, wie auch in der DIN 2304-1 /1/ gefordert, ein Sicherheitsfaktor festgelegt werden.

## Fazit

Allgemein sollte man, insbesondere wenn keine Erfahrungen hinsichtlich der Korrelation von Ergebnissen einer beschleunigten Alterungsprüfung mit denen nach Realalterung vorliegen, die Aussagekraft eines „nicht-Bestehens“ von Zeitraffertests hinterfragen. Es kann auch sinnvoll sein, die Bedingungen des Zeitraffertests zu überdenken oder sogar weiter zu verschärfen, auch wenn damit eine Verlängerung der Prüfdauer verbunden ist. Dies kann zwar – wie oben erläutert – dazu führen, dass eine Klebung aufgrund zu scharfer Bedingungen verworfen wird und neu entwickelt werden muss. Auf der anderen Seite erhöht diese Vorgehensweise die Sicherheit, dass die Klebung tatsächlich allen real auftretenden Belastungen über die erwartete Lebensdauer standhält und es nicht zu einem vorzeitigen Versagen kommt. Aus einer Korrelation der Ergebnisse der bei der Produktentwicklung durchgeführten Zeitraffertests mit unter Realbedingungen gealterten Teilen können wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden. Ihre Nutzung für nachfolgende ähnlich aufgebaute und ähnlichen Belastungen ausgesetzte Produkte ermöglicht dann möglicherweise, eine eventuell überdimensionierte Klebverbindung im Sinne von Kostenreduzierung und Leichtbau abzuspecken. //

## Literaturhinweise

- / 1 / DIN 2304-1:2016-2 Klebtechnik – „Qualitätsanforderungen an Klebprozesse - Teil 1: Prozesskette Kleben“- Beuth Verlag
- / 2 / Roadmap Klebtechnik – Dem Kleben Vertrauen schenken – Herausgegeben vom Gemeinschaftsausschuss Klebtechnik (GAK) April 2016
- / 3 / DIN EN 1465:2009 - Klebstoffe - Bestimmung der Zugscherfestigkeit von Überlappungsklebungen – Beuth Verlag
- / 4 / DIN EN ISO 10365:1995 - Klebstoffe - Bezeichnung der wichtigsten Bruchbilder – Beuth Verlag
- / 5 / DIN EN 15336:2007 - Klebstoffe - Bestimmung der Zeit bis zum Bruch geklebter Fügeverbindungen unter statischer Belastung – Beuth Verlag

- / 6 / DIN EN ISO 9664:1995 - Klebstoffe - Verfahren zur Prüfung der Ermüdungseigenschaften von Strukturklebungen bei Zugscherbeanspruchung – Beuth Verlag
- / 7 / DIN EN ISO 9142 - Klebstoffe - Auswahlrichtlinien für Labor-Alterungsbedingungen zur Prüfung von Klebverbindungen – Beuth Verlag
- / 8 / IGF-Vorhaben 17.712N der Dechema: Validierung der Aussagekraft von OIT-Messungen hinsichtlich der thermo-oxidativen Beständigkeit von reaktiven Klebstoffsystemen – Etablierung einer kostengünstigen Methode zur schnellen Optimierung von Klebstoffformulierungen – Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs) der TU Braunschweig - Abschlussbericht 28.05.2015
- / 9 / E. Stammen, F. Bunzel, K. Dilger Beständigkeit von Klebstoffen schnell einschätzen, Adhäsion, Ausgabe 7-8/2016, S. 28ff
- / 10 / DIN EN ISO 6270-2:2005 - Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit - Teil 2: Verfahren zur Beanspruchung von Proben in Kondenswasserklimaten – Beuth Verlag
- / 11 / DIN EN ISO 11997-1:2006 - Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Beständigkeit bei zyklischen Korrosionsbedingungen - Teil 1: Nass (Salzsprühnebel)/trocken/Feuchte – Beuth Verlag
- / 12 / BMW PR 308.1 Hausnorm der BMW Group
- / 13 / DIN EN ISO 13523-27:2009 - Bandbeschichtete Metalle - Prüfverfahren - Teil 27: Beständigkeit gegen feuchte Verpackung (Katalplasma-Test) – Beuth Verlag
- / 14 / DIN 55657:2016 - Beschichtungsstoffe - Prüfverfahren zur Beurteilung der Haftfestigkeit von elastischen Klebstoffen auf Beschichtungen durch Prüfen der Schälhaftung, Schälfestigkeit und Zugscherfestigkeit mit zusätzlicher Beanspruchung durch Kondenswasserprüfung oder Kataplasmalagerung – Beuth Verlag
- / 15 / DIN EN 60068-2:1995 - Umweltprüfungen – Teil 2: Prüfungen – Prüfung N: Temperaturwechsel – Beuth Verlag

## Die Autoren

### Prof. Dr.-Ing. Henning Gleich

(henning.gleich@inpro.de) leitet bei der inpro - Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH in Berlin den Bereich Füge- und Werkstofftechnik.

### Dr. Hartwig Lohse

(hlohse@hdyg.de) unterstützt mit seinem Beratungsunternehmen Klebtechnik Dr. Hartwig Lohse e. K. Anwender bei der Lösung von klebtechnischen Fragestellungen.



## Moderne Applikationen für neue Technologien

Wir fertigen **Präzisions-Dosiersysteme** für den **Klebstoff- und Dichtmittel-auftrag**, zum Abdichten, Vergießen, Einkapseln und Ausformen nach höchsten Qualitätsvorgaben, um Ihre Produktionsprozesse und Produktqualität zu verbessern.

Welcher Applikations-Herausforderung Sie auch immer gegenüberstehen, Nordson hat jahrzehntelange Anwendungserfahrung, um Ihnen die richtige Lösung anbieten zu können.

ics.eu@nordson.com  
www.nordson.com/nse