

Lebensdauerprüfung.

Der Trend, immer mehr komplexe Funktionen in einem Kunststoffbauteil zu vereinen, stellt neue Herausforderungen an die Prüfmustererprobung. Zusätzlich zu den für die Einsetzbarkeit erreichten Prüfanforderungen trägt besonders die Definition der Prüfparameter, in enger Zusammenarbeit von Konstruktion, Simulation, Bauteilvalidierung und Werkstoffexperten, dazu

bei, mit größtmöglicher Sicherheit ein Versagen des Bauteils während der geforderten Lebensdauer auszuschließen.



Ölkühlermodul als Beispiel eines Kunststoffbauteils mit hoher Funktionsintegration

(Bilder: TIK)

Mit Vertrauen zur Serienreife

MARCEL OP DE LAAK
TOBIAS BECK
AXEL ZSCHAU

Die Konstruktion von hoch integrierten Kunststoffbauteilen, die mehrere komplexe Funktionen in einem Spritzgussteil vereinen, ist ein Technologietrend, der bereits vor einigen Jahren viele Bereiche des Fahrzeugbaus erfasst hat. Während zu Beginn dieser Entwicklung vor allem mechanisch weniger anspruchsvolle Entwürfe realisiert wurden, nutzen heutige Konzepte das gesamte Leistungsspektrum der verwendeten Polymere aus, um am Bauteil ein

Optimum von Gewichts- und Kosteneinsparung bei gleichzeitiger hoher Betriebssicherheit zu erreichen. Die gestiegenen Anforderungen an Werkstoff und Bauteil gehen jedoch auch mit gestiegenen Anforderungen an die Prüfmustererprobung einher.

Mit dem Ziel, individuelle Mobilität nachhaltig zu gestalten, kooperieren Automobilhersteller und deren Zulieferer, um neuartige Lösungen für Bauteile zu finden, die leichter und kostengünstiger sind, als die bisherigen Serienteile. Dies gelingt durch die konsequente Zusammenführung verschiedener Einzelbauteile in ein integriertes Systembauteil, das verschiedene komplexe Funktionen vereint.

Beispielhaft für diese Entwicklung ist die Zylinderkopfhaube: Nach anfängli-

cher Substitution des ursprünglichen, metallischen Werkstoffs durch Polyamid ohne Funktionszuwachs, wurden sukzessive die Werkstoffpotenziale erschlossen und weitere Bauteile integriert, beginnend bei einfachen Befestigungselementen für Kabelführungen oder Ölnebelabscheidern. Moderne Entwicklungen im Bereich der Zylinderkopfhauben vereinen, neben diesen klassischen Elementen, weitere Baugruppen wie Druckregelventile und Teile des Ansaugtrakts bei gleichzeitiger Herstellung des Gesamtsystems in einer hochautomatisierten Serienfertigung.

Ein Grund dafür, dass trotz jahrelanger Entwicklungserfahrung immer noch Potenziale für Bauteiloptimierungen vorhanden sind, liegt nicht zuletzt an einer kontinuierlichen Weiterentwicklung der

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU111025

verfügbaren Polymerwerkstoffe, den wachsenden Möglichkeiten der computergestützten Bauteilentwicklung und der verstärkten Zusammenarbeit verschiedener Fachabteilungen bei stärkerer Verzahnung der Entwicklungsprozesse. Ein Bereich, der im Rahmen dieses Technologietrends immer mehr in den Vordergrund tritt, ist die Prüfung der Musterteile zur Validierung von Funktion und dauerhafter Betriebssicherheit. Die kritische Betrachtung der Dauer der Erprobungsphasen in der zeitlichen Planung der Bauteilentwicklung ist von besonderer Bedeutung für das fristgerechte Erreichen der Meilensteine für die Serienreife.

Virtuelle Bauteilprüfung am Computer

Mit steigender Leistungsfähigkeit moderner Computersysteme und der Software in der Konstruktion und zur numerischen Simulation von struktur- und strömungsmechanischem Werkstoffverhalten hat die virtuelle Bauteilgestaltung, -auslegung und -prüfung große Fortschritte gemacht und wird in Zukunft

weiter an Bedeutung zunehmen. Diese Fortschritte führen dazu, dass immer mehr Entwicklungsschritte virtuell, d. h. ohne entsprechende Bauteilprüfungen an Prototypen, durchgeführt werden können. Dies spart im Entwicklungsprozess Zeit und reduziert so die Entwicklungskosten erheblich.

Auch wenn die Ergebnisse von Simulationen immer verlässlicher werden, ersetzen diese jedoch nicht die Validierung von Vorserienmustern und Serienteilen. Grund hierfür ist eine Vielzahl von werkstoff- und verarbeitungstechnischen Variablen sowie die Werkstoffalterung, die das Verhalten eines Kunststoffbauteils beeinflussen, ohne dass diese durch Simulationen hinreichend genau abgebildet werden können. So wird beispielsweise das mechanische Verhalten von Polyamiden u. a. durch Feuchtegehalt und Temperatur maßgeblich beeinflusst. Wird beispielsweise ein kühlmitteldurchströmtes Bauteil aus Polyamid in einer heißen Motorumgebung betrieben, stellt sich im Material ein komplexer Zustand ein, der sich durch einen Feuchte- und Temperaturgradienten über der Wanddicke auszeichnet. Zusätzlich ändert sich dieser Zu-

len im Versuch die einzige Möglichkeit, um das Verhalten eines Gesamtsystems, das meist aus Polymerkomponente, Metalleinlegeteilen und Elastomerdichtungen besteht, zu überprüfen. Problematisch bei der Versuchsdurchführung ist jedoch die lange Zeit, die erforderlich ist, um die Lebensdauer nachzustellen und die komplexen Anforderungen an ein Bauteil abzuprüfen. Mit dem Ziel, die Prüfdauer möglichst gering zu halten, werden für hoch integrierte Bauteile nicht alle Einzelfunktionen sequenziell abgeprüft. Die Durchführung einer Kombinationsprüfung mit gleichzeitiger Aufbringung der verschiedenen Belastungen wird immer mehr zum Standard bei der Bauteilprüfung.

Als Beispiel aus der Praxis sei an dieser Stelle ein Ölkühlermodul (**Titelbild**) aus dem Kühlkreislauf eines modernen Pkw angeführt. In diesem Bauteil treffen verschiedene mechanische, thermische und chemische Belastungsarten direkt aufeinander: Zum einen wird der Kunststoff durch heiße Fluide, wie Kühlmittel und Motoröl, beansprucht. Dazu findet durch den Sauerstoff der Umgebungsluft bei hohen Temperaturen eine Oxidation der Außenoberflächen des Bauteils statt. In dieser Einsatzumgebung muss das Bauteil, trotz der anspruchsvollen Randbedingungen, über eine definierte Betriebsdauer dem mechanischen Belastungskollektiv aus statischem Innendruck, zyklischer Druckwechselbelastung, äußeren Kräften und thermischen Spannungen widerstehen. Typisch sind hier Prüfzeiträume von 3000 h unter Extrembelastung, um sicherzustellen, dass das Bauteil auch unter härtesten Einsatzbedingungen dauerhaft seine Funktion erfüllt.

Um diese kombinierten Belastungen in einem einzigen Dauerlauftest abprüfen zu können, ist eine komplexe Versuchsanordnung sowie eine komplexe Steuerung nötig. **Bild 1** zeigt den Aufbau eines solchen Versuchs. Bei einem Versuchsaufbau, in dem alle betriebsrelevanten Lastfälle in einem einzigen Versuchsdurchlauf aufgebracht werden, um so die Prüfdauer zu verkürzen, zeigt sich ein gravierender Nachteil, sobald am Bauteil eine Fehlfunktion oder ein Materialversagen auftritt und die Schadensanalyse beginnt. Die Ermittlung der Ausfallursachen und der für das Bauteil kritischen Belastungskombinationen gestaltet sich auf Grund der hohen Anzahl der Variablen schwierig und erfordert hohes kunststofftechnisches Verständnis. In die Ursachenforschung müssen neben dem Werkstoff selbst

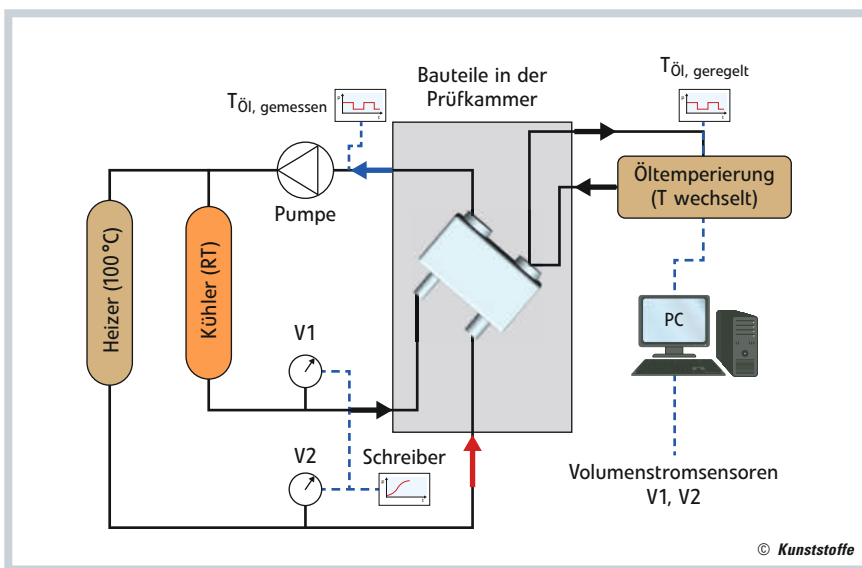


Bild 1. Funktionsschema eines kombinierten Prüfaufbaus

weiter an Bedeutung zunehmen. Die Simulation leistet u. a. wertvolle Dienste, um Einblicke in die komplexen mechanischen Belastungszustände und die resultierenden Verformungen zu erlangen. Nicht zuletzt ermöglichen die Abbildung des nichtlinear viskoelastischen Materialverhaltens sowie die Berücksichtigung der anisotropen, d. h. richtungsabhängigen Werkstoffeigenschaften dabei immer zuverlässigere Aussagen bezüglich der Bauteileigenschaften unter gleichzeitiger mechanischer und thermischer Belas-

stand mit fortschreitender Betriebs- bzw. Prüfdauer. Eine genaue Abbildung dieses Effekts in einer numerischen Simulation ist mit gängigen Methoden nicht möglich und kann messtechnisch kaum erfasst werden, um eventuell vorhandene Simulationsergebnisse zu validieren.

Kunststoffgerechte Prüfung von Musterbauteilen

Nicht zuletzt durch diese Einschränkungen bleibt die Prüfung von Musterbautei-

auch dessen Verarbeitung sowie die genaue Betrachtung der Versuchsparameter im Vergleich zu den in der Bauteilspezifikation geforderten Werten eingeschlossen werden.

Ansätze zur Verkürzung der Prüfdauer

Besonders für Kunststoffteile ist die richtige Auswahl der Prüfparameter wichtig, um vom Versuch auf das Verhalten der Komponenten in der Anwendung im Fahrzeug schließen zu können. Hierbei tritt die Problematik auf, dass die über der Bauteillebensdauer auftretenden Belastungen zeitlich gerafft simuliert

zen, ist die Multiplikation der Prüflasten mit einem Überhöhungsfaktor. Dabei wird angenommen, dass wenige hohe Lasten das Material ähnlich schädigen wie viele kleinere Belastungen. Diese Überhöhung wird für zyklische Lasten meist noch mit einer gesteigerten Frequenz der Lastaufbringung gekoppelt, um die erforderliche Lastspielzahl schnellstmöglich zu erreichen. Alle angesprochenen Methoden zur Zeitraffung finden ihre Grenzen, sobald sich die Antwort des Polymers auf verschiedenen Belastungsarten wegen der nichtlinear-viskoelastischen Materialeigenschaften verändert und den linearen Bereich verlässt (**Bild 2**). Auf Grund dieser nichtlinearen

Effekt kommt hinzu, dass mit zunehmender Anregungsfrequenz eine durch innere Reibung verursachte Erwärmung des Bauteils auftreten kann, die einen maßgeblichen Einfluss auf das Material- und Bauteilverhalten hat. Die Überlagerung dieser beiden Effekte macht die Komplexität des Einflusses der Prüfparameter auf das Bauteilverhalten deutlich und zeigt die Notwendigkeit tiefgehenden kunststofftechnischen Wissens zur praxisrelevanten und realitätsnahen Planung und Durchführung der Bauteilversuche.

Organisatorische Prüfdaueroptimierung

Daneben können durch organisatorische Maßnahmen häufig weitere Potenziale erschlossen werden, die zwar den Versuch selbst nicht beschleunigen, aber dennoch eine Zeitersparnis mit sich bringen. Bevor ein serienmäßiges Erstmusterbauteil die beschriebene Dauererprobung nach OEM (Original Equipment Manufacturer)-Spezifikation durchläuft, werden an Vorserienmustern Einzelprüfungen zur technischen Freigabe durchgeführt, die die kritischen Belastungsfälle abdecken.

Bild 3 zeigt den prinzipiellen Entwicklungsablauf, in dem die Konzipierung von internen und externen Prüfungen

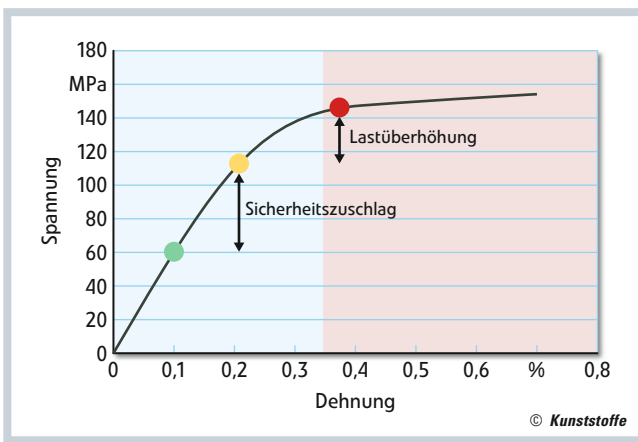


Bild 2. Materialtechnische Grenzen der Prüfdauerverkürzung

werden müssen, um innerhalb einer darstellbaren Prüfdauer zu bleiben. Dazu werden verschiedene Ansätze gewählt, die es erlauben, mit Hilfe eines Prüfzeitraums von einigen Wochen oder Monaten, eine Bauteillebensdauer von zehn Jahren abzubilden.

Eine Möglichkeit, die Prüfdauer zulässig zu verkürzen, stellt das Zeit-Temperatur-Verschiebungsprinzip dar. Diesem liegt die Beobachtung zugrunde, dass bei Polymerwerkstoffen Effekte, die sich bei niedrigen Temperaturen über lange Zeiträume abspielen, bei höheren Temperaturen in ähnlicher Weise schneller von statten gehen. Ein Beispiel hierzu ist das Kriechen unter konstanter mechanischer Last. Dies bedeutet, dass innerhalb gewisser Grenzen die Erhöhung der Prüftemperatur ein zulässiges Instrument zur Prüfdauerverkürzung ist. Hierbei sind jedoch materialspezifische Umwandlungs- und Übergangstemperaturen zu beachten, über die hinweg das Zeit-Temperatur-Verschiebungsprinzip keine Gültigkeit besitzt.

Ein weiterer üblicher Ansatz, der gewählt wird um die Prüfdauer zu verkür-

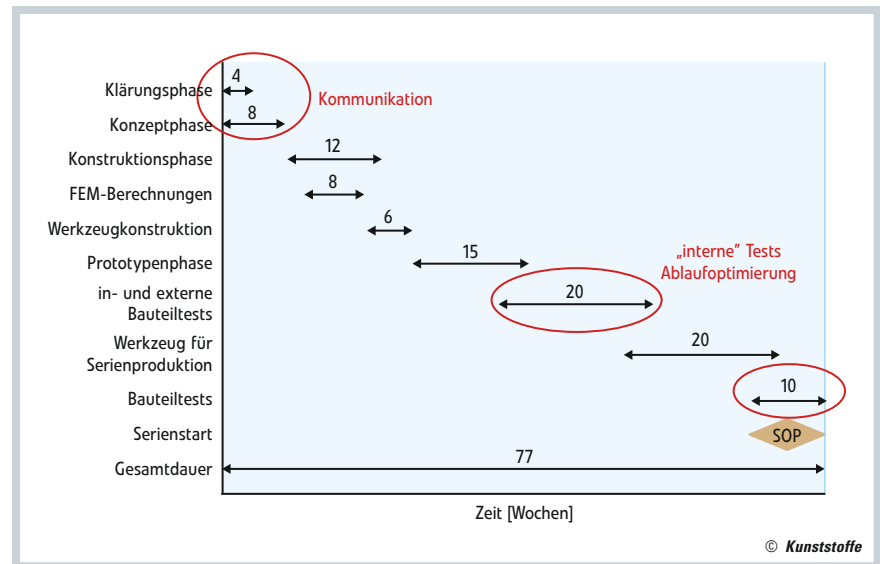


Bild 3. Potenziale für die Entwicklungszeitverkürzung (SOP: Start of Production)

Effekte kann z. B. auch die Zykluszeit der Innendruckbelastung eines Bauteils nicht beliebig verringert werden, ohne maßgeblich das Materialverhalten zu beeinflussen: Ein schlagartig belastetes Polymer verhält sich im Allgemeinen steifer und spröder als ein unter quasistatischer Last geprüfetes Bauteil. Als weiterer

integriert ist. Dabei kann ein Zeitsparpotenzial identifiziert werden, indem vermehrt zumeist eher kurzzeitige Prüfungen intern durchgeführt werden, um die Bauteile auf den nächsthöheren Entwicklungsstand zu bringen, bevor sie für zeitaufwendige Bauteilprüfungen zu externen Institutionen oder an den Kun-

den geschickt werden. Um diese kurzzeitigen und internen Bauteilerprobungen zu identifizieren, empfiehlt sich eine Bauteil-FMEA (Fehler-Möglichkeiten-Einfluss-Analyse). Bei Inhouse-Prüfungen, wie bei der Kooperation mit externen Dienstleistern, zeigt sich immer wieder, dass sich durch eine effiziente Kommunikation und enge Kooperation viele Unstimmigkeiten, und somit ein Zeitverlust, vermeiden lassen. Zu Beginn sollten die Prüfbedingungen mit allen betroffenen Fachabteilungen und externen Dienstleistern geklärt und definiert werden. Schon zu diesem Zeitpunkt sollten verbindliche Zuständigkeiten und entsprechende Termine festgelegt werden. Hierzu zählt u. a. die Beschaffung der zu prüfenden Bauteile, Anbauteile, Vorrichtungen und Prüfmedien. Während der Planungs- und Durchführungsphase der Bauteilerprobung hilft ein regelmäßiger Statusreport allen Beteiligten einen Überblick über den Fortschritt der Versuche zu behalten. So können etwaige Abweichungen vom Zeitplan frühzeitig erkannt werden und gegebenenfalls notwendige Maßnahmen rechtzeitig umgesetzt werden.

Lebensdauer vorhersagen

Im Gegensatz zu Bauteilen aus metallischen Werkstoffen stellt die exakte Vorhersage der Lebensdauer von Kunststoffbauteilen eine komplexe Aufgabe dar. Ein Grund hierfür ist die limitierte Anzahl der für technische Kunststoffcompounds verfügbaren Wöhler-Diagramme, die einen Zusammenhang zwischen auftretender Belastung und zu ertragender Lastspielzahl herstellen. Dies liegt am zuvor dargestellten komplexen, nichtlinearen Materialverhalten und dem im Vergleich

gemäß verschiedener Normen oder Spezifikationen bzw. Lastenheften durchgeführt. Die Normen werden durch Fachausschüsse von nationalen oder internationalen Normungsorganisationen erarbeitet. Besetzt sind diese Ausschüsse mit Experten aus Hochschulen, Prüfinstituten und mit Firmenvertretern [1]. Die Spezifikationen werden im Allgemeinen vom Auftraggeber bzw. Endabnehmer erstellt, in der Automobilbranche beispielsweise durch den OEM. Alle zu er-

i Kontakt

TiK Technologie in Kunststoff GmbH
D-79331 Teningen
TEL +49 7663 914939-0
info@tik-center.com
→ www.tik-center.de

füllenden Anforderungen werden hier durch Spezialisten der jeweiligen Fachabteilungen (z. B. Werkstoff und Komponente) festgelegt.

Obwohl die Prüfungen nach oben genannten Anforderungen über eine Einsetzbarkeit des geprüften Bauteils entscheiden, lassen sie noch keine Aussage über die absolute Lebensdauer der Komponente zu. Um trotzdem mit größtmöglicher Sicherheit ein Versagen des Bauteils während der geforderten Lebensdauer auszuschließen, ist eine enge Zusammenarbeit von Konstruktion, Simulation, Bauteilvalidierung und Werkstoffexperten bei der Definition der Prüfparameter nötig. Heutzutage liegt in den meisten Unternehmen eine strenge Trennung dieser Fachabteilungen vor. Wünschenswert wäre hier, einen definierten, multilateralen Austausch von Informationen und Wissen zwischen den verschiedenen Disziplinen zu schaffen, ohne die Kernkompetenzen der einzelnen Fachbereiche aufzugeben.

Fazit und Ausblick

Innovative Ideen, gesteigerte Leistungsfähigkeit von Computersystemen und Software für die Bauteilentwicklung sowie kontinuierliche Fortschritte in der Entwicklung von kurzfaserverstärkten, polymeren Kunststoffcompounds haben immer neue Anwendungsgebiete für hoch integrierte Kunststoffbauteile erschlossen.

Mit dieser Entwicklung Schritt halten müssen auch die Möglichkeiten zur Bauteilvalidierung, denn nur durch rea-

le, anwendungsnahe Prüfbedingungen unter Berücksichtigung der mechanischen Belastungen und der Materialalterung durch Temperatur und chemische Medien lassen sich Aussagen über die Lebensdauer tätigen, die unter realen Einsatzbedingungen erzielt werden kann.

Zur Auswertung und Interpretation der Versuchsergebnisse sind besondere Kenntnisse der polymeren Werkstoffe, deren Verarbeitung und der Interaktion von Bauteil und Prüfung nötig.

Da eine verkürzte Entwicklungszeit deutliche Kostenvorteile erschließen kann, sollten die Möglichkeiten zur Reduzierung der Dauer einer Bauteilvalidierung konsequent genutzt werden. Die Besonderheiten des Werkstoffs Kunststoff müssen hierbei jedoch Beachtung finden, um verlässliche und aussagekräftige Versuchsergebnisse zu erhalten.

Nicht zuletzt stellen auch die organisatorischen Möglichkeiten durch umsichtiges Projektmanagement ein wichtiges Element zur Reduzierung der Entwicklungs- und Prüfdauer dar. ■

LITERATUR

- 1 www.din.de, Deutsches Institut für Normung e. V., 01.12.2011

DIE AUTOREN

DIPL.-ING MARCEL OP DE LAAK, geb. 1970, ist gesellschaftlicher Geschäftsführer mit dem Schwerpunkt Verfahrenstechnik und Werkzeugbau der TiK-GmbH, Teningen.

DIPL.-ING AXEL ZSCHAU, geb. 1965, ist gesellschaftlicher Geschäftsführer mit dem Schwerpunkt Projektberatung, Bauteilentwicklung und Bauteilprüfung der TiK-GmbH, Teningen.

DIPL.-ING TOBIAS BECK, geb. 1976, ist als Leiter Anwendungstechnik und Bauteilprüfung bei der TiK-GmbH, Teningen, tätig.

SUMMARY

CONFIDENTLY TOWARDS SERIES PRODUCTION MATURITY

LIFECYCLE TESTING. The trend towards combining ever more complex functions in one plastic part is presenting new challenges for specimen testing. In addition to the test demands achieved for the applicability, the definition of the test parameters in close cooperation with engineering, simulation, component validation and materials experts contributes in particular to precluding failure of the component during the demanded service life with the greatest possible reliability.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on

www.kunststoffe-international.com

! Tagung

Die nächste Tagung
Kunststoffe automotive Powertrain
 findet vom 12. – 13. November 2012
 in Stuttgart statt.
→ www.kunststoffe-automotive.de/tagung

zu Metallen deutlich ausgeprägteren Einflussfaktoren wie Frequenz, Temperatur und Medieneinfluss auf das Ermüdungsverhalten.

Um eine sichere Bauteilfunktion während der Lebensdauer zu gewährleisten, werden an den Bauteilen Tests