

Ultramid[®], Ultradur[®] und Ultraform[®]

Verhalten gegenüber Chemikalien

Weitere Informationen zu den
jeweiligen Produkten:

www.ultramid.de

www.ultradur.de

www.plasticsportal.eu/ultraform

 **BASF**
We create chemistry



GRUNDLAGEN		04-07
KURZZEIT-MEDIENBESTÄNDIGKEIT VON ULTRAMID®, ULTRADUR® UND ULTRAFORM®		08-09
LANGZEIT-MEDIENBESTÄNDIGKEIT VON ULTRAMID®, ULTRADUR® UND ULTRAFORM®		10-45
Aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe	10	
Alkalien	17	
Ethylenglycol	19	
Ester	23	
Aliphatische Alkohole	26	
Wasser und wässrige Lösungen	30	
Mineralsäuren	39	
Organische Säuren	43	
Oxidationsmittel	44	
LITERATURVERZEICHNIS	46	46-47
ÜBERSICHT	48	48-51

Grundlagen

Die folgenden Ausführungen sollen einen Eindruck davon vermitteln, welche Phänomene und Einflussfaktoren bei Thermoplastbauteilen auftreten können, die Chemikalien ausgesetzt sind. Die getroffenen Aussagen sind allgemeiner Natur und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder universelle Gültigkeit. Eine ausreichende Berücksichtigung aller relevanten Faktoren und Würdigung der Auswirkungen ist erst in der konkreten Einzelfallbetrachtung möglich.

Die Folgen einer Einwirkung von Medien auf einen polymeren Werkstoff können von vielen Faktoren abhängen, die eventuell in komplexer Weise wechselwirken. Eine realitätsnahe Erprobung eines Bauteils unter typischen Anwendungsbedingungen liefert daher stets das aussagekräftigste Ergebnis darüber, ob ein Material in einer bestimmten Anwendung geeignet ist oder nicht. Für Laboruntersuchungen werden hingegen häufig einfache Prüfkörper unter wohl definierten und konstanten Bedingungen einem Medium ausgesetzt. Derartige Untersuchungen erlauben einen relativen Vergleich zwischen verschiedenen Materialien und stellen damit eine Grundlage für die Vorauswahl geeigneter Materialkandidaten für eine bestimmte Anwendung dar. Sie können aber eine realitätsnahe Prüfung grundsätzlich nicht ersetzen.

Einfluss der Verarbeitung auf die Medienbeständigkeit

Neben den Umweltbedingungen, denen ein Bauteil während seiner Lebenszeit ausgesetzt ist, können auch alle Produktions- und Verarbeitungsschritte Auswirkungen auf die Qualität eines Bauteils haben. Insbesondere wenn im späteren Gebrauch umweltbedingt mit einer Schädigung des Werkstoffes zu rechnen ist, werden konstruktive Maßnahmen sowie eine schonende und fachgemäße Verarbeitung besonders wichtig. Denn konstruktiv oder qualitativ bedingte Schwachstellen halten in der Regel materialschädigenden Umwelteinflüssen weniger lange stand und begrenzen damit unnötigerweise die maximal erzielbare Lebensdauer.

Umwelteinflüsse

Die Umweltbedingungen für ein Bauteil werden wesentlich durch die physikalischen Faktoren Temperatur und Druck sowie die chemische Natur des umgebenden Mediums definiert. Ein Umgebungsmedium ist grundsätzlich durch seine chemische Zusammensetzung definiert. Gerade technische Fluide bestehen häufig aus ein oder zwei Hauptkomponenten sowie einigen Additiven, die meist in geringer Konzentration vorhanden sind. Es ist möglich, dass es gerade diese Additive sind, die das Schädigungspotential eines Mediums dominieren. Die Übertragbarkeit von Prüfergebnissen, die in einem Medium 1 gewonnen wurden auf ein Medium 2, das nur in den Hauptkomponenten dem ersten entspricht, ist nicht gegeben. Im ungünstigsten Fall können sogar Verunreinigungen, die nicht absichtlich in einem Medium enthalten sind, den Ausschlag geben. Dies gilt besonders dann, wenn diese Verbindungen katalytisch aktiv sind und so zur Beschleunigung von Schädigungsreaktionen führen.

Es ist auch nicht ungewöhnlich, dass in realen Anwendungen oder bei Laborprüfungen nicht nur das Bauteil altert, sondern auch das Umgebungsmedium. Diese Alterung ist durch chemische Reaktionen innerhalb des Mediums bedingt und geht einher mit dem Auftreten chemischer Verbindungen, die zuvor nicht oder nur in geringerer Menge im Medium vorhanden waren. Bezüglich der Auswirkungsmöglichkeiten dieser neuen Verbindungen gilt das zuvor Gesagte.

Medien können auf unterschiedliche Weise auf ein Material/Bauteil einwirken. Im Folgenden sollen die wichtigen Grenzfälle Quellung, Lösung, Reaktion und Spannungsrissbildung kurz erläutert werden.

Quellung

Quellungsmittel sind Medien, die ein Kunststoff in größeren Mengen aufnehmen kann und die dadurch Änderungen der Bauteil- oder Materialeigenschaften bewirken. Ändern können sich dadurch z. B. Bauteilmaße und -gewichte sowie in der Regel auch Materialeigenschaften, z. B. Steifigkeit, Festigkeit und Zähigkeit. Die Aufnahme des Quellungsmittels ist durch eine Sättigungsgrenze limitiert und der Kunststoff verbleibt als Festkörper (diese beiden Faktoren unterscheiden Quellungs- und Lösemittel). Die Quellung ist ein physikalischer Vorgang. Quellungsmittel und Kunststoff bleiben dabei chemisch unverändert, sie liegen lediglich als Mischung vor. Bei teilkristallinen Polymeren findet die Quellung praktisch nur in den amorphen Bereichen statt. Ändern sich die Umgebungsbedingungen in geeigneter Weise, dann kann der gequollene Kunststoff das Quellungsmittel teilweise oder vollständig wieder an die Umgebung abgeben. Diesbezüglich ist die Quellung ein reversibler Vorgang. Der Kunststoff wird nach einmal erfolgter Quellung aber nicht vollständig in seinen ursprünglichen Zustand zurückkehren können. Ursache dafür ist, dass die Quellung normalerweise Relaxations- oder Nachkristallisationsprozesse in der amorphen Phase begünstigt, so dass sich die Gefügestruktur des Kunststoffs leicht ändert. Der Kontakt zu Quellungsmitteln kann tolerierbar sein, wenn die Wirkung des Quellungsmittels die Funktionalität des Bauteils nicht gefährdet.

Die genannten Relaxations- und Nachkristallisationsprozesse können auch temperaturinduziert und ohne Beteiligung eines Mediums ablaufen. Temperaturen oberhalb der Glasübergangstemperatur begünstigen dies besonders. In vielen Anwendungen wird bei teilkristallinen Polymeren wenigstens zeitweise die Glasübergangstemperatur des eingesetzten Kunststoffs zum Teil sogar deutlich überschritten. Dabei ist zu beachten, dass durch Quellung die Glasübergangstemperatur für gewöhnlich herabgesetzt wird. Die dabei auftretenden Temperatureffekte sind also grundsätzlich beherrschbar.

Lösemittel

Lösemittel sind Medien, die bei einer bestimmten Temperatur in der Lage sind, mit einem Kunststoff eine flüssige Lösung zu bilden. Ob ein bestimmtes Medium ein Lösemittel ist oder nicht, hängt stark von der Temperatur ab. Bei teilkristallinen Werkstoffen muss ein Lösemittel befähigt sein, die kristallinen Strukturen des Polymeren aufzubrechen. Dies gelingt in aller Regel umso leichter, je näher man der Schmelztemperatur des Polymeren kommt.

Um ein Polymer zu lösen benötigt man, besonders bei schlechten Lösungsmitteln, größere Mengen Lösemittel und einige Zeit. Der kurzzeitige Kontakt eines Bauteils mit geringen Mengen eines potentiellen Lösemittels kann also tolerierbar sein. Die Folgen sind dann ähnlich zu denen, wie sie im Abschnitt Quellung beschrieben sind. Günstig ist in diesem Zusammenhang auch, wenn das Lösungsmittel flüchtig ist und die benetzte Stelle leicht wieder trocknen kann. Längerer Kontakt zu größeren Mengen Lösemittel ist unbedingt zu vermeiden.

Grundlagen

Reaktion zwischen Umgebungsmedium und Kunststoff

Finden Reaktionen zwischen Umgebungsmedium und Kunststoff statt, darf das Ausmaß der hierdurch hervorgerufenen Materialveränderungen die tolerierbare Grenze nicht überschreiten. Dies ist dann möglich, wenn die chemischen Reaktionen mit so geringer Umsatzrate ablaufen, dass die Funktionalität eines Bauteils auch noch am geplanten Lebensende gegeben ist.

Mittelbar oder unmittelbar führen chemische Reaktionen in der Regel zunächst zu einer Spaltung des polymeren Rückgrats, d. h. die Polymerketten werden kürzer. Je nachdem, wie lange diese Reaktionen ablaufen, kann dies auch zu einem völligen Abbau des Polymers führen. Das Spektrum der Abbauprodukte reicht von kürzerkettigen Polymeren bis hin zu niedermolekularen Verbindungen, die keine Eigenschaften des ursprünglichen Polymers mehr besitzen.

Viele Materialeigenschaften hängen zwar von der Länge der Polymerketten ab, aber die einzelnen Eigenschaften reagieren keinesfalls gleichartig oder gleichzeitig auf Änderungen der Kettenlänge. Eine universell gültige Definition einer Grenze für das Lebensende von Bauteilen ist deswegen nicht möglich.

Ob chemische Reaktionen mit einem Medium eher in einer oberflächennahen Grenzschicht ablaufen oder eher im gesamten Bauteilvolumen, hängt entscheidend davon ab, wie schnell die Reaktionen ablaufen (hier verbraucht sich das reagierende Medium) und wie schnell frisches Medium von außen durch Diffusion nachgeliefert werden kann. Ist die Reaktion schnell im Vergleich zur Nachlieferung, dann bevorzugt dies eine lokale Schädigung, die an der Oberfläche einsetzt und von dort aus ins Innere des Materials vordringen kann. Die Schädigung ist dann diffusionskontrolliert. Ist die Reaktion hingegen langsam im Vergleich zur Nachlieferung, dann kann dies eine Schädigung bedeuten, die gleichförmig im gesamten Bauteilvolumen abläuft.

Einfache chemische Reaktionen laufen schneller, je höher die Temperatur und je höher die Konzentration der Reaktanden (d. h. Kunststoff und Medium) ist. Kunststoffe, die ein bestimmtes Medium praktisch gar nicht oder nur in Spuren aufnehmen, können daher eine relativ hohe Beständigkeit gegenüber diesem Medium aufweisen. Mögliche Schädigungsreaktionen an der Oberfläche werden dadurch aber nicht verhindert.

Spannungsrissbildung

Spannungsrissauslösend sind Medien, die bei einem unter mechanischen Spannungen stehenden Bauteil innerhalb einer relativ kurzen Zeit die Bildung von Rissen auslösen. In der Regel sind die spannungsrissauslösenden Medien von Polymerklasse zu Polymerklasse unterschiedlich. Teilkristalline Polymere sind für Spannungsrissbildung weniger anfällig als amorphe Polymere. Die entstehenden Risse können makroskopische Dimensionen haben und zum Zerschneiden des Bauteils führen.

Die mechanischen Spannungen können von äußeren Kräften bewirkt werden oder aber auf inneren Spannungen beruhen. Diese inneren Spannungen werden vor allem durch die beim Spritzgießen stets unterschiedlichen lokalen Abkühlverläufe verursacht: Randnahe Schichten kühlen schneller ab als randferne. Da schnelleres Abkühlen häufig mit einer geringeren Schwindung einhergeht, können sich Schichten unterschiedlicher Schwindung ausbilden, die gegeneinander verspannt sind (Druckspannung im Randbereich und Zugspannung im Kernbereich).

Die Rissbildung kann ohne oder mit Beteiligung chemischer Reaktionen erfolgen. Die Spannungsrissbildung kann lokal und auch bei Einwirkung von nur sehr geringen Mengen entsprechender Medien auftreten. Der Kontakt zu spannungsrissauslösenden Medien ist deswegen besonders kritisch und sollte vermieden werden. Ist der Kontakt zu einem spannungsrissauslösenden Medium aus bestimmten Grün-

den nicht gänzlich auszuschließen, so ist schon bei der Konstruktion darauf zu achten, dass die Bauteile möglichst spannungsfrei sind. Außerdem empfiehlt sich der Einsatz von speziell modifizierten Werkstoffen, die innerhalb ihrer Polymerklasse möglichst wenig empfindlich für die Spannungsrisssbildung sind.

Viskoelastizität von Kunststoffen

Kunststoffe, insbesondere Thermoplaste, zeigen in der Regel ein für die Anwendung nicht zu vernachlässigendes viskoelastisches Verhalten, d. h. Bauteile, die unter einer äußeren Last (Spannung) stehen, zeigen eine irreversible zeit- und temperaturabhängige plastische Verformung (Kriechen). Abbildung 1 zeigt exemplarisch zwei Kriechkurven für Ultraform® S2320 003. Dieser Werkstoff zeigt an Luft bei einer Temperatur von 80 °C und bei einer äußeren Zugspannung von 9 MPa Gesamtdehnungen (Summe von elastischen und plastischen Dehnungsanteilen) unter 2%. In Kontakt mit Kraftstoff FAM-B (DIN 51604), einem stark quellenden Medium für Ultraform®, nimmt die plastische Verformung trotz niedrigerer Temperatur (60 °C) um ein Mehrfaches zu. Damit einher geht in der Regel ein schnelleres Versagen des Bauteils.

Thermoplastische Werkstoffe mit verstärkenden Füllstoffanteilen (z. B. Glasfasern, Abbildung 2), hohem kristallinen Anteil, hohem Molekulargewicht und einer Glastemperatur oberhalb der Anwendungstemperatur sind weniger kriechempfindlich.

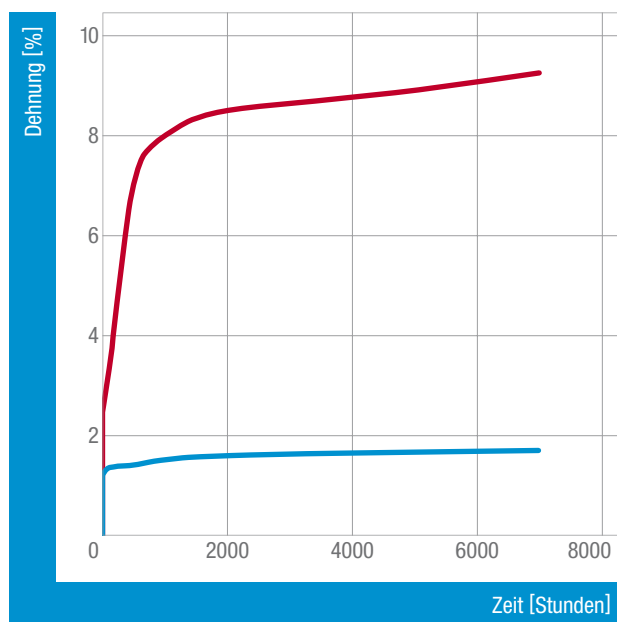


Abb. 1: Zeitstandzugversuch von Ultraform® S2320 003 bei 80 °C an Luft (blaue Kurve) und bei 60 °C in Kraftstoff FAM-B (rote Kurve) bei einer Zugspannung von 9 MPa

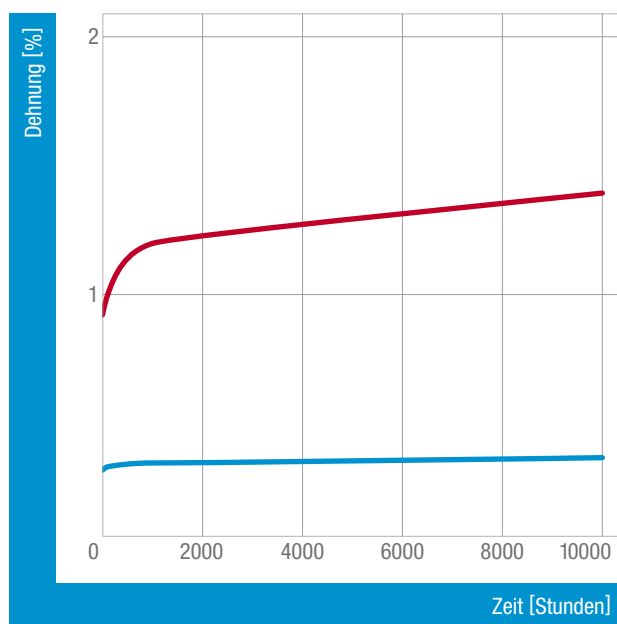


Abb. 2: Zeitstandzugversuch von Ultradur® B4300 G6 sw Q16 15007 bei 60 °C an Luft (blaue Kurve) und in Kraftstoff FAM-B (rote Kurve) bei einer Zugspannung von 15 MPa

Kurzzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Kurzzeit-Medienbeständigkeit wird häufig so verstanden, dass sich Oberfläche und Eigenschaften eines Kunststoffbauteils nicht merklich verändern sollen, wenn es mit einer Chemikalie einmalig für eine bis wenige Stunden bei moderaten Temperaturen in Kontakt kommt. Im Automobil-Motorraum wird damit zum Beispiel das Verschütten kleiner Mengen von Betriebsflüssigkeiten wie Motoröl oder Batterie-säure beim Einfüllen simuliert. Das Bauteil wird nach einer Einwirkzeit auf Veränderungen der Oberfläche wie Verfärbungen und Risse untersucht. Sind solche nicht sichtbar, wird das Material als beständig eingestuft. Die Auswahl der Chemikalien und Randbedingungen unterscheidet sich je nach Einbauort des Kunststoffteils und OEM. Das folgende Beispiel ist typisch für diese Anforderungen.

- Bauteil: Zylinderkopfhabe aus Ultramid[®] A3WG6 sw 564
- Kurzzeit-Kontakt: Benetzen mit einem Tropfen Fluid, Wartezeit 6 Stunden im Normklima, dann Abwischen und Begutachten der Oberfläche
- Typische Kontaktstellen (Abb. 3): Bereich von Rippen, Radien und Einlegeteilen.

Die Testergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Dieses Beispiel zeigt, dass viele Betriebsstoffe von Automobilen (mit Ausnahme von Säuren) für Ultramid[®] im Kurzzeitkontakt unkritisch sind (Abb. 4).

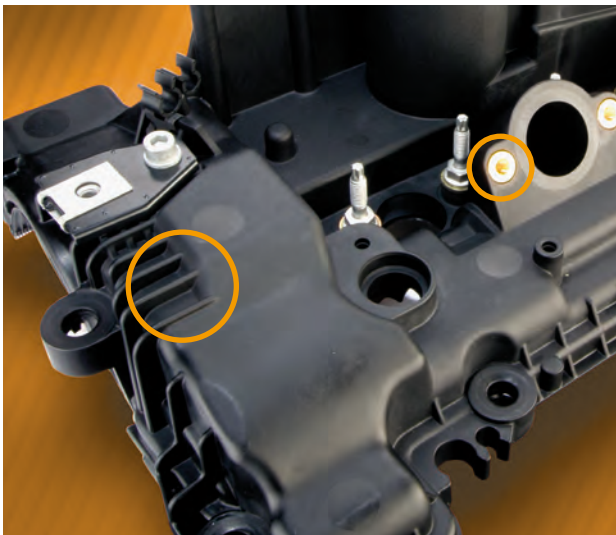


Abb. 3: Typische Kontaktstellen zur Prüfung von Kurzzeit-Medienbeständigkeit



Abb. 4: Sichtbare Oberflächenschäden nach Kurzzeit-Kontakt mit Schwefelsäure (2%)

Tab. 1: Prüfergebnis eines Bauteils aus Ultramid[®] im Kurzzeitkontakt mit verschiedenen Chemikalien

Testflüssigkeit	Prüfergebnis
Kühlmittel Glysantin [®] Protect Plus	Keine Oberflächenschäden sichtbar
Bremsflüssigkeit DOT 4	Keine Oberflächenschäden sichtbar
Scheibenreiniger Sonax [®] AntiFrost & KlarSicht	Keine Oberflächenschäden sichtbar
Schwefelsäure (2%)	Sichtbare Oberflächenschäden (Abb. 4)
Dieselmotorenöl	Keine Oberflächenschäden sichtbar

Ultramid[®], Ultradur[®] und

Zusätzlich finden zur Überprüfung der Kurzzeit-Chemikalienbeständigkeit Spannungsrissbeständigkeits-Tests im Biegestreifenverfahren statt, z. B. analog DIN EN ISO 22088-3. Hierbei werden Zugstäbe auf Radienschablonen aufgespannt, die eine definierte Randfaserdehnung von z. B. 1% oder 2% bewirken. Dann wird der Versuchsaufbau für einige Stunden mit einer Chemikalie benetzt und anschließend visuell auf Risse untersucht, falls kein Versagen durch Bruch aufgetreten ist.

Das folgende Beispiel zeigt ein typisches Ergebnis für die Spannungsrissbeständigkeitsprüfung im Biegestreifenverfahren (Abb. 5).

Materialvergleich: Ultradur[®] B4300 G6 und Ultradur[®] B4330 G6 HR. Die Type B4330 G6 HR ist durch spezielle Additive für besonders anspruchsvolle Umweltbedingungen optimiert, die Type B4300 G6 enthält derartige Additive nicht.

Versuchsdurchführung: Spritzgegossene Prüfkörper werden auf die Biegeschablone aufgespannt und während einer Stunde alle 10 Minuten mit 10%iger Natronlauge bepinselt und gleichzeitig visuell auf Risse untersucht. Nach dieser Stunde bleiben nicht gebrochene Prüfkörper ohne weitere Laugenbenetzung 24 Stunden aufgespannt und werden danach erneut beurteilt. Das Testergebnis ist in Tabelle 2 zusammengefasst.



Abb. 5: Test der Spannungsrissbeständigkeit im Biegestreifenverfahren, analog DIN EN ISO 22088-3; links Ultradur[®] B4300 G6 sw 5110, rechts Ultradur[®] B4330 G6 HR sw 15045

Tab. 2: Ultradur[®] B4330 G6 HR zeigt im Biegestreifentest eine verbesserte Spannungsrissbeständigkeit im Kontakt mit Natronlauge

Produkt	Zeit [Minuten]						Zeit [Stunden]
	10	20	30	40	50	60	24
Ultradur [®] B4330 G6 HR sw 15045	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ultradur [®] B4300 G6 sw 5110	✓	✓	✓	x	x	x	x*

- ✓ keine Spannungsrisse
- x Spannungsrisse sichtbar
- x* alle Proben vor Erreichen der 24 Stunden gebrochen

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Zur Bewertung der Langzeit-Medienbeständigkeit wurden Produkte aus Ultramid[®], Ultradur[®] und Ultraform[®] mindestens mehrere Wochen dem entsprechenden Medium ausgesetzt. Nach der Einwirkzeit wurde der Werkstoff auf Veränderungen hin untersucht. Die Medienlagerung wurde in der Regel wie folgt durchgeführt:

- Verwendung von Normprobekörpern: Schulterstäbe des Typs 1A gemäß ISO 527-2 und/oder Schlagbiegestäbe des Typs 1 gemäß ISO 179-1/-2.
- Normprobekörper werden spritzfrisch, d. h. trocken, eingebaut und vollständig von dem flüssigen Medium umgeben; die Probekörper sind so einzubauen, dass sie weder die Gefäßwand noch sich gegenseitig berühren und keiner äußeren Spannung ausgesetzt sind; in einem Prüfgefäß dürfen nur Proben desselben Werkstoffes gelagert werden.
- Das Lagergefäß – bevorzugt Glas – ist inert gegenüber dem Medium und mit einem Rückflusskühler ausgestattet, über den der atmosphärische Druckausgleich erfolgt; transparente Lagergefäße werden zum Schutz vor intensivem Lichteinfall mit Aluminiumfolie abgedeckt.
- Bei Medientemperaturen oberhalb der Siedetemperatur werden Autoklaven verwendet.
- Die Beheizung der Lagergefäße erfolgt über eine regelbare Heizquelle, die Messung der Medientemperatur vorzugsweise über ein Innenthermometer.
- Die Entnahme von Probekörpern erfolgt bei Raumtemperatur; eventuell anhaftende Medien werden mit einem Tuch abgewischt; die Bestimmung der Eigenschaften erfolgt unmittelbar nach Entnahme.
- Zugeigenschaften werden gemäß ISO 527-1/-2 und Charpy-Schlageigenschaften gemäß ISO 179-1/-2 bei +23°C an mindestens 3, vorzugsweise 5 Probekörpern pro Entnahmetermine bestimmt.

In den folgenden Abbildungen von Kapitel 3 ist der zeitliche Verlauf der Werkstoffeigenschaften für den **Langzeitmedienkontakt** dargestellt. Dementsprechend wurden die Zeiträume zwischen zwei Messpunkten (= Entnahmetermenen) im Vergleich zu Kapitel 2 (Bewertung der Kurzzeitmedienbeständigkeit) deutlich vergrößert. Sofern ein Werkstoff eine starke Eigenschaftsänderung über einen **kurzen Zeitraum** erfährt, können gewisse Abweichungen zwischen dem realen und dem abgebildeten Eigenschaftsverlauf auftreten. Dies gilt insbesondere für die Quellung zu Beginn der Lagerung. Die Qualität der Messkurven zur Bewertung der Langzeitmedienbeständigkeit der Werkstoffe wird hierdurch jedoch nicht beeinträchtigt.

Aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe

Aliphatische Kohlenwasserstoffe sind organische Verbindungen, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen und nicht aromatisch sind. Zu den einfachsten Vertretern gehören die Alkane (z. B. Methan, Ethan, Propan), Cycloalkane (z. B. Cyclopentan, Cyclohexan), Alkene (z. B. Ethylen, Propylen) und Alkine (z. B. Acetylen).

Der Stammvater und einer der wichtigsten Vertreter der aromatischen Kohlenwasserstoffe ist das Benzol. Davon abgeleitet gehören auch Verbindungen, die das Benzolgerüst als Strukturmerkmal besitzen, zu den aromatischen Kohlenwasserstoffen. Wichtige Vertreter dieser Klasse sind die alkylsubstituierten Benzole, z. B. Toluol, die verschiedenen isomeren Formen des Xylols und so genannte polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, z. B. das Naphthalin.

Ultramid[®], Ultradur[®] und

In technischen Anwendungen kommen Ultramid[®], Ultradur[®] und Ultraform[®] häufig mit Gemischen von aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen in Kontakt:

- Kraftstoffe (Otto, Diesel), Fette, Schmierstoffe, Motoröle, nicht wasserbasierte Lacke und Farben
- Erdgas (Hauptkomponente Methan neben Ethan und höheren Alkanen)

Ultramid[®], Ultradur[®] und Ultraform[®] zeigen gegenüber den gängigsten aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen und deren Gemische, die in technischen Anwendungen häufig vorkommen, eine gute Beständigkeit.

Ottokraftstoff

Ultramid[®] ist gut gegen Ottokraftstoff beständig, was in Abbildung 6 exemplarisch für glasfaserverstärktes Ultramid[®] A und B gezeigt ist. Allerdings muss beachtet werden, dass Ethanol- und Methanolanteile im Benzin (Fluid N) zu starker Quellung von Polyamid führen, was für den reinen, aus Erdöl gewonnenen Ottokraftstoff (Fluid C) nicht der Fall ist. Häufig ist daher die Frage nach der Dimensionsstabilität kritischer als die der chemischen Beständigkeit. Es handelt sich bei diesem Beispiel um Referenzkraftstoffe nach DIN ISO 1817, Anhang A:

- Fluid C (Mischung 50% 2,2,4 Trimethylpentan, 50% Toluol)
- Fluid N (Mischung 90% Fluid C, 7% Ethanol, 3% Methanol)

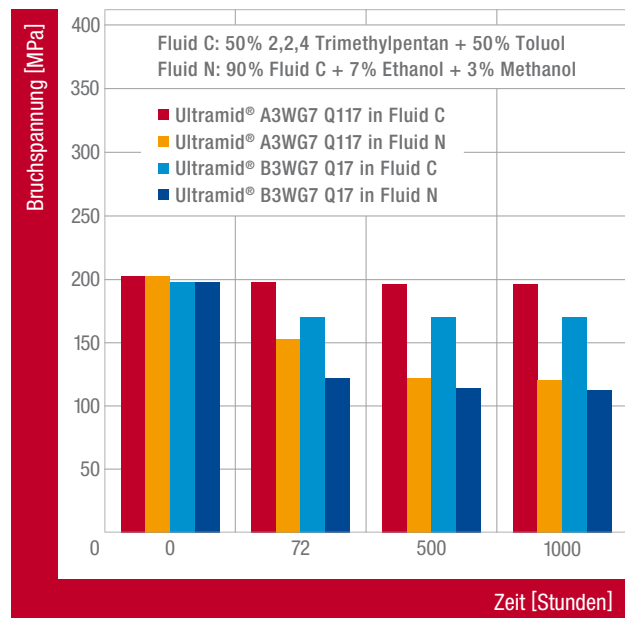
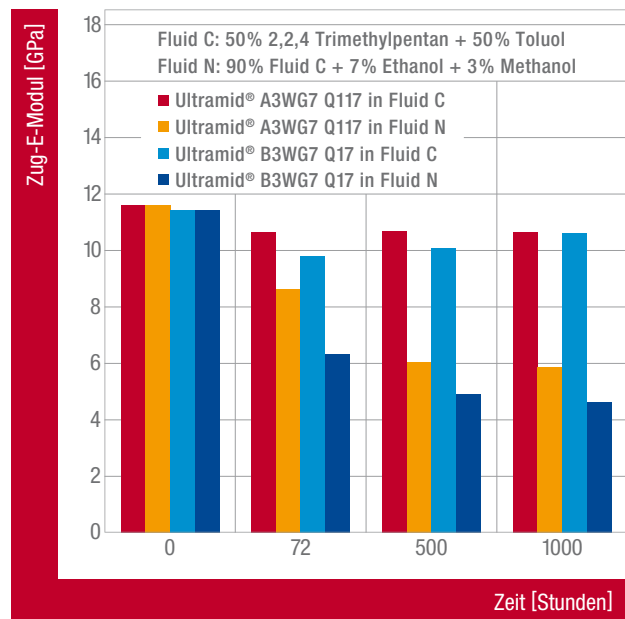


Abb. 6: Beständigkeit von Ultramid[®] A und B gegen Ottokraftstoffe bei 70 °C, Alkohol-Anteile im Benzin führen zu Quellung

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

In Shell V-Power, einem Ottokraftstoff mit hoher Oktanzahl, sind Ultraform[®] S1320 003 und S2320 003 bei 70°C sehr gut beständig. Der E-Modul und die Zugfestigkeit beider Werkstoffe bleiben – nach erfolgter Quellung zu Beginn der Lagerung, die mit einer 2%igen Kraftstoffaufnahme einhergeht – auf konstant hohem Niveau (Abbildung 7).

Ultraform[®] S1320 003 weist im Vergleich zu S2320 003 einen reduzierten Comonomergehalt auf. Daraus resultiert eine erhöhte Kristallinität und somit eine erhöhte Steifigkeit und Festigkeit.

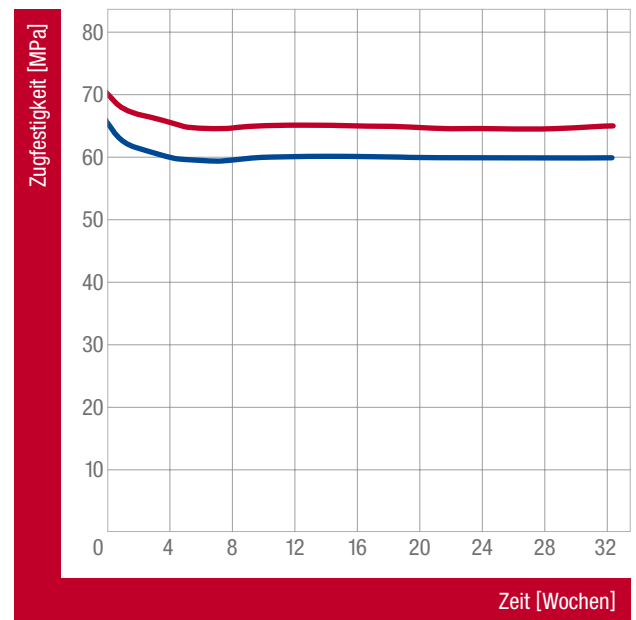
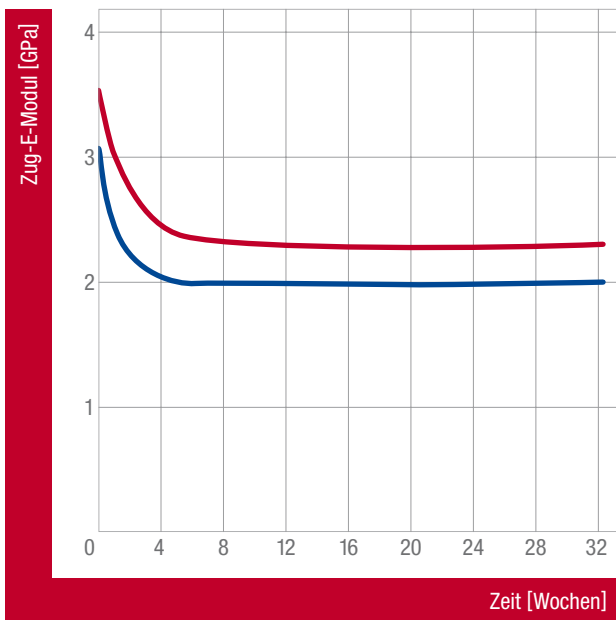


Abb. 7: Lagerung von Ultraform[®] S1320 003 (rote Kurve) und S2320 003 (blaue Kurve) in Shell V-Power bei 70°C

Ultramid[®], Ultradur[®] und

Diesekraftstoff

Abbildung 8 zeigt exemplarisch die Lagerung von Ultraform[®] S1320 0021 in einem Diesekraftstoff bei 100 °C. Ultraform[®] S1320 0021 ist eine speziell gegen heißen Diesel und aggressive Kraftstoffe stabilisierte Type. Die Quellung in dem verwendeten Diesel-Prüfkraftstoff der Firma Haltermann beträgt lediglich ca. 0,8%. Demzufolge sinkt der E-Modul des kraftstoffgesättigten Werkstoffes nur geringfügig ab. Ein Festigkeitsverlust findet hingegen über die komplette Prüf-dauer von 2.000 Stunden de facto nicht statt.

Aufgrund seiner guten Kraftstoffbeständigkeit wird Ultraform[®] seit langer Zeit in der Automobilindustrie erfolgreich für z. B. Tankdeckel, Komponenten von Kraftstofffördermodulen (Abbildung 9) und Tankentlüftungen (Roll-over-Ventile) eingesetzt.

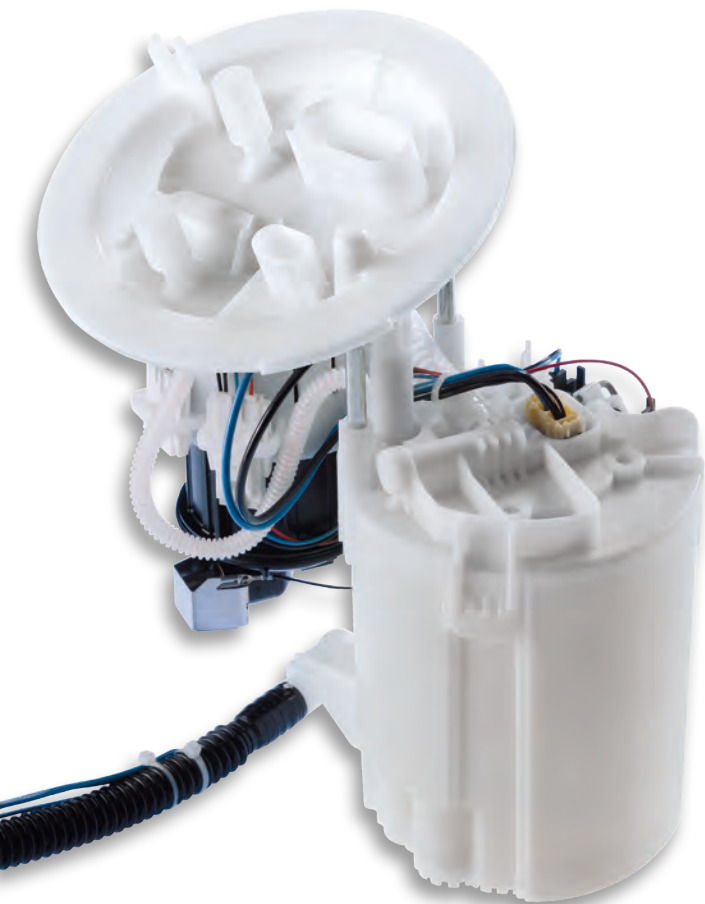


Abb. 9: Kraftstofffördermodul aus Ultraform[®] S2320 003

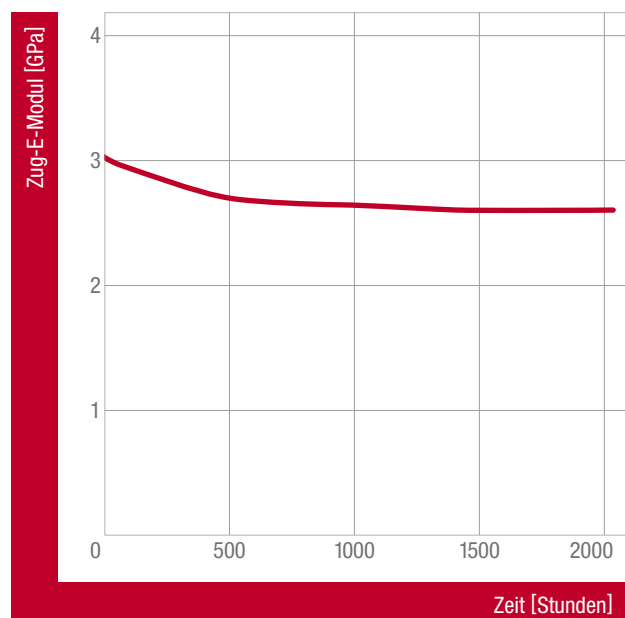
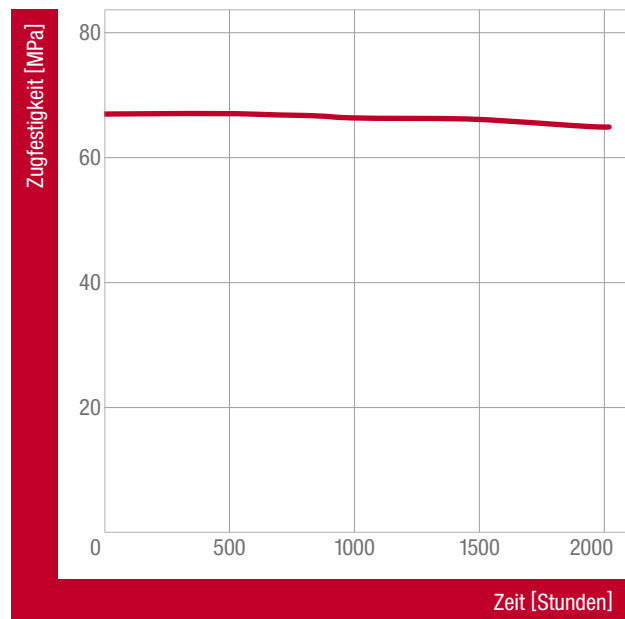


Abb. 8: Lagerung von Ultraform[®] S1320 0021 in Haltermann Diesel CEC RF 90-A-92 bei 100 °C

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

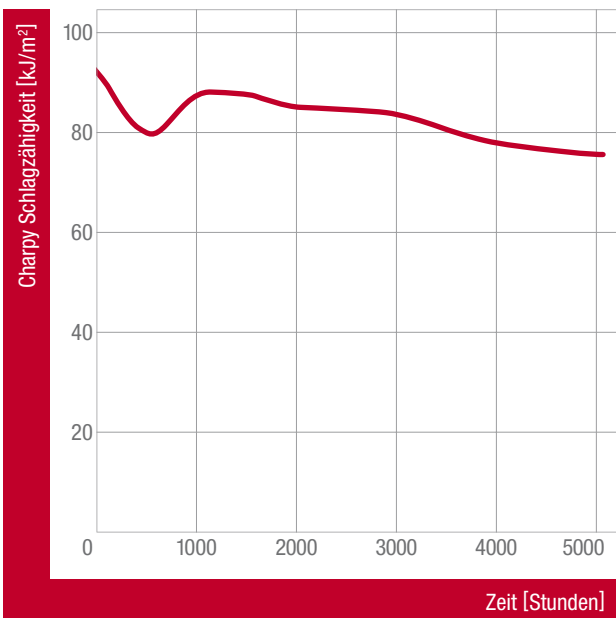
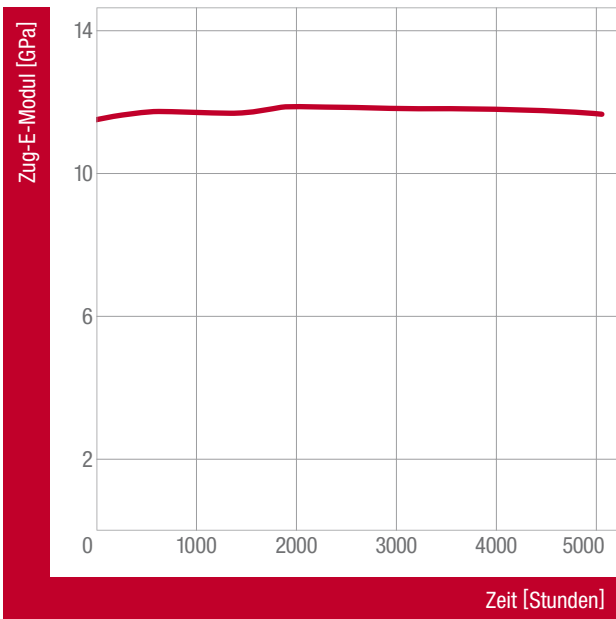


Abb. 10: Lagerung von Ultramid[®] TKR 4355G7 sw 564 in Dieselkraftstoff ASTM D975 2-DS 15 bei 100 °C

Ultramid[®] weist aufgrund seiner polareren Molekülstruktur im Vergleich zu Ultraform[®] in der Regel eine noch bessere Beständigkeit gegenüber unpolaren Dieselkraftstoffen (ohne Biodieselbeimischung) auf. Das teilaromatische Ultramid[®] TKR 4355G7 sw 564 nimmt im gesättigten Zustand weniger als 0,1% des Dieselkraftstoffes auf. E-Modul, Zugfestigkeit und Bruchdehnung bleiben über 5.000 Stunden hinweg praktisch unverändert (Abb. 10). Lediglich die Charpy-Schlagzähigkeit am ungekerbten Prüfstab nimmt geringfügig ab. Ultramid[®] TKR 4355G7 sw 564 kommt z. B. in Kraftstoffdrucksensoren zum Einsatz (Abbildung 11).

Eine vergleichbar gute Beständigkeit gegenüber Diesel haben auch Ultramid[®] A und B. Dies gilt allerdings nur eingeschränkt für Biodiesel, vgl. das Kapitel zu Estern.



Abb. 11: Kraftstoffdrucksensor aus Ultramid[®] TKR 4355 G7 sw 564

Ultramid[®], Ultradur[®] und

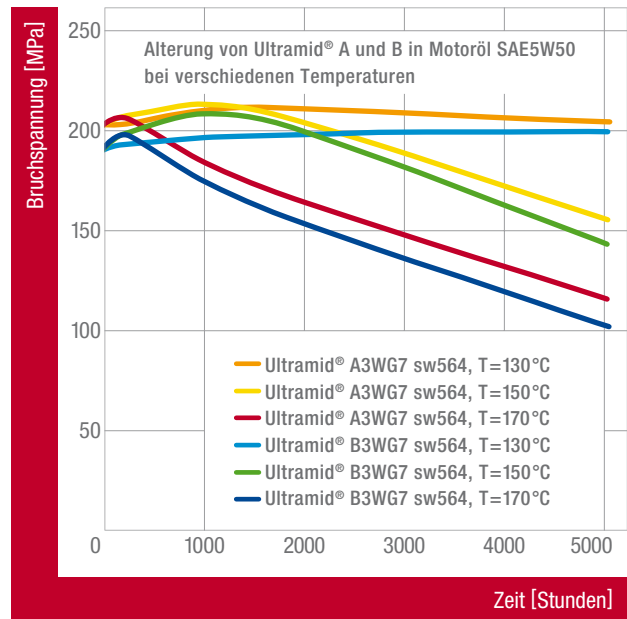
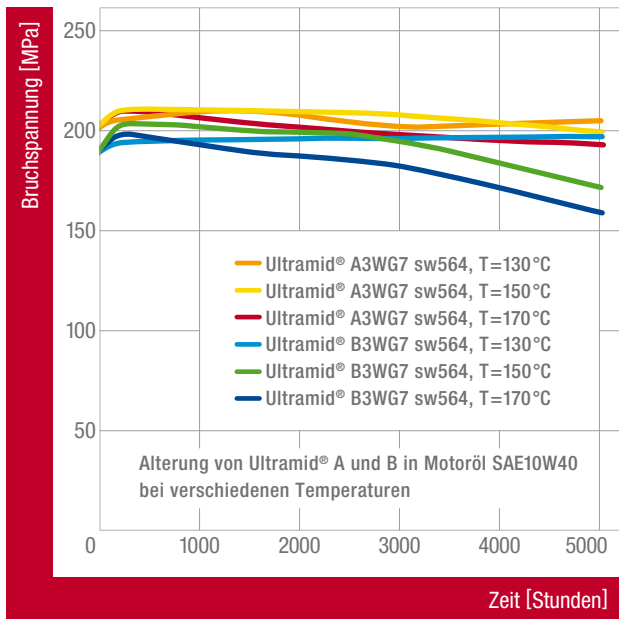


Abb. 12: Beständigkeit von Ultramid[®] A und B gegen verschiedene Motoröle bei hohen Temperaturen; die typische Grenze des Einsatzbereichs von Motoröl liegt bei 150 °C

Motoröl

Ultramid[®] weist im Allgemeinen eine ausgezeichnete Beständigkeit gegenüber heißem Motoröl auf, wie in Abbildung 12 für Ultramid[®] A3WG7 und Ultramid[®] B3WG7 sw 564 am Beispiel einer Lagerung in zwei verschiedenen Ölen bei hohen Temperaturen gezeigt wird. Gelagert wird üblicherweise bei Temperaturen von maximal 150 °C. Daten bei höheren Temperaturen werden eher zur Abschätzung des Verhaltens bei längeren Betriebszeiten verwendet. Bei der typischen Lagertemperatur von 150 °C weist der Werkstoff selbst nach 5.000 Stunden noch über 75 % des anfänglichen Festigkeitsniveaus auf. Die beiden Öle haben einen deutlich unterschiedlichen Einfluss auf das Werkstoffverhalten, was auch hier die Notwendigkeit belegt, im Einzelfall zu prüfen. Der geringfügige Anstieg der Zugfestigkeit zu Beginn der Lagerung ist der Nachkristallisation des Produktes geschuldet. Es muss beachtet werden, dass die Beständigkeit bei so hohen Temperaturen nur von ausreichend wärmostabilisierten Werkstoffen (z. B. den in Abb. 12 und 13 aufgeführten) erreicht werden kann.



Abb. 13: Motorölwanne aus Ultramid[®] A3HG7 Q17

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Fette und Schmierstoffe

Eine Vielzahl technischer Fette und Schmierstoffe basieren auf Mineralöl oder synthetisch hergestellten Kohlenwasserstoffölen, die mittels Metallseifen (z.B. Calciumstearat, Lithiumstearat) verdickt sind. Gegenüber solchen Fetten besitzen Ultradur[®]-, Ultraform[®]- und Ultramid[®]-Typen häufig eine gute Beständigkeit, auch bei erhöhten Temperaturen. In der Regel sind die genauen Zusammensetzungen von derartigen Schmierstoffen dem Anwender nicht bekannt. Daher empfiehlt sich in jedem Falle, eine Prüfung mit den konkret zum Einsatz kommenden Fetten durchzuführen.

Das unverstärkte Ultramid[®] A4H wird seit Jahren erfolgreich im Kontakt mit Schmierfett eingesetzt.

Das Verhalten von Ultradur[®] B4300 G6 sw 5110 bei 100 °C gegenüber Fetten auf Kohlenwasserstoffbasis ist in Abbildung 15 dargestellt.

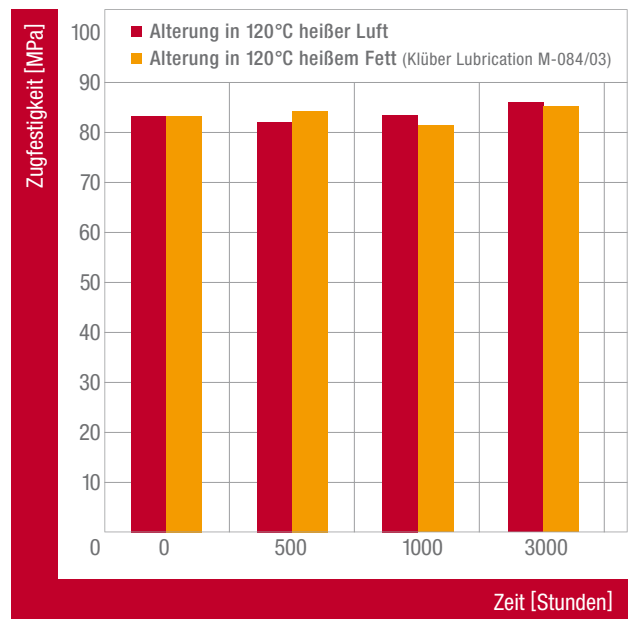


Abb. 14: Beständigkeit von Ultramid[®] A4H gegen Fett bei 120 °C

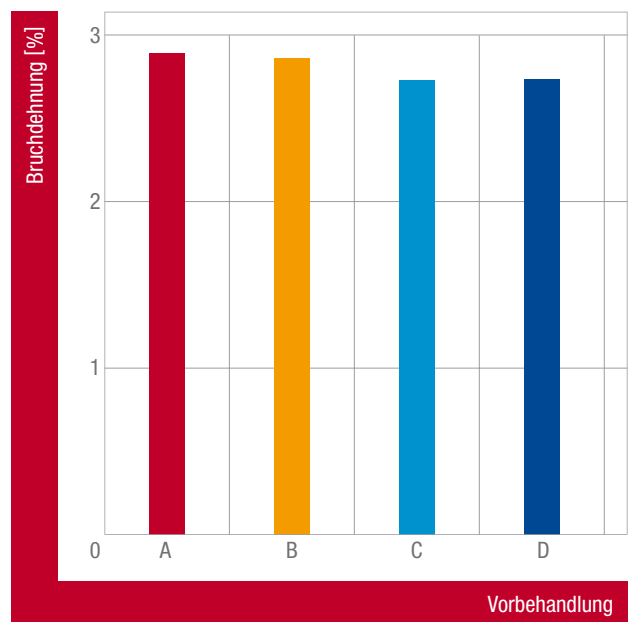
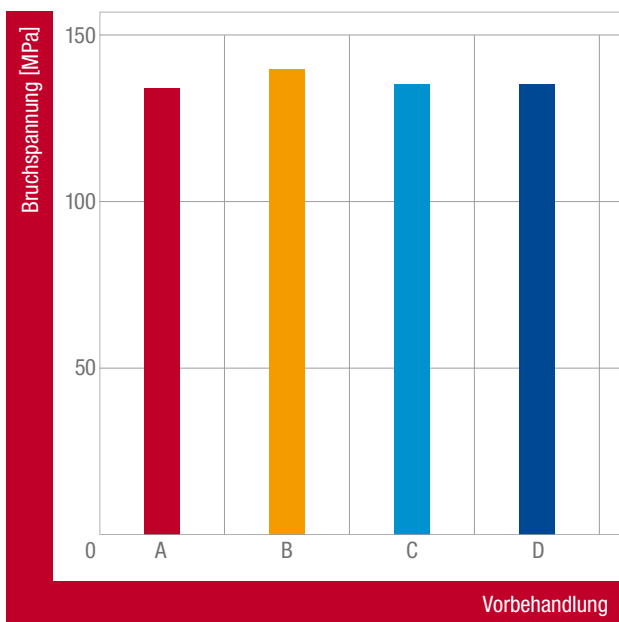


Abb. 15: Mechanische Kennwerte von Ultradur[®] B4300 G6 sw 5110 in Abhängigkeit von der Vorbehandlung

A: Ausgangszustand, spritzfrisch

B: 1.000 Stunden gealtert in 100 °C heißer Luft

C: 1.000 Stunden gealtert in 100 °C heißem Schmierfett (synthetisches Öl, mit Barium-Seife verdickt)

D: 1.000 Stunden gealtert in 100 °C heißem Schmierfett (synthetisches Öl, mit Lithium-Seife verdickt)

Ultramid[®], Ultradur[®] und

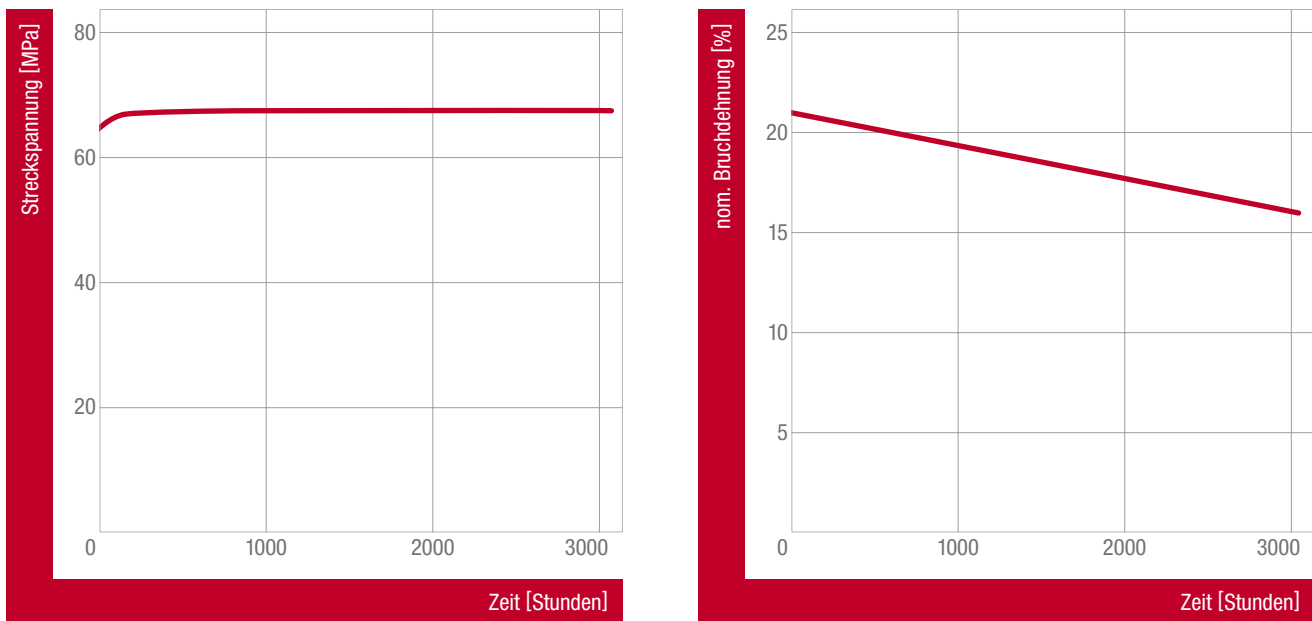


Abb. 16: Beständigkeit von Ultraform[®] N2320 003 sw 120 gegenüber einem Schmierstoff¹ bei 80 °C

Abbildung 16 zeigt exemplarisch die Beständigkeit von Ultraform[®] N2320 003 sw 120 gegenüber einem Kohlenwasserstoff basierten Schmierstoff¹ bei 80 °C.

Alkalien

Alkalien sind Stoffe, die im Kontakt mit Wasser alkalische Lösungen mit entsprechend hohem pH-Wert bilden.

Ultramid[®] ist gegen Alkalien und alkalische Lösungen gut beständig. Es kann beim Kontakt zwar zu einer hydrolytischen Spaltung der Amidgruppen kommen. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist bei Raumtemperatur aber so gering, dass keine nennenswerte Schädigung des Polymers erfolgt.

So zeigt Ultramid[®] A3EG7 in 10%iger wässriger Ammoniaklösung nach Abschluss des Quellvorgangs innerhalb eines Jahres bei 60 °C nur einen moderaten Festigkeitsabfall (Abb. 17).

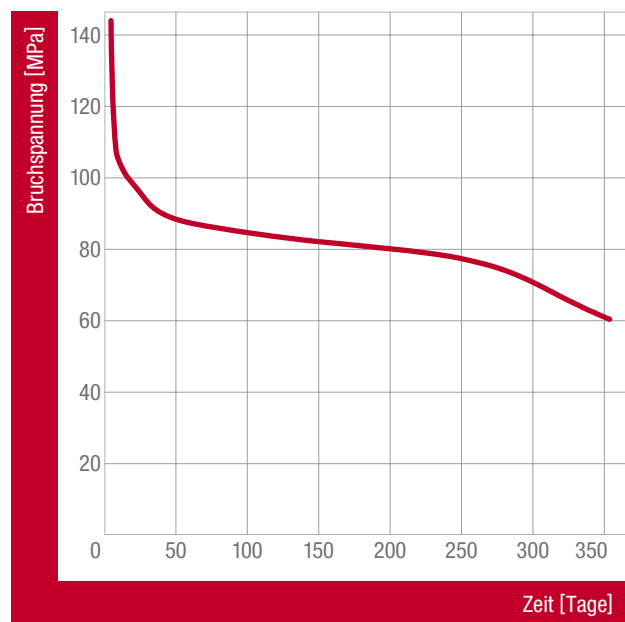


Abb. 17: Lagerung von Ultramid[®] A3EG7 in 10%iger wässriger Ammoniaklösung (pH 13) bei 60 °C

¹ Type 571 der Fa. Innotec Vertriebs GmbH

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Anwendungen, in denen sich Ultramid[®] seit vielen Jahren bewährt hat, sind zum Beispiel:

- Kunststoffdübel in Kontakt mit Beton
- Akkumulatoren-Gehäuse², die mit Kalilauge betrieben werden (Ultramid[®] B)
- SCR-Module³, in denen die Werkstoffe mit wässriger Harnstofflösung in Kontakt kommen (Ultramid[®] A).

Beim Einsatz glasfaserverstärkter Polyamide ist zu beachten, dass der Kontakt mit alkalischen Medien die Glasfasern schädigt und eine Reduktion der mechanischen Eigenschaften zur Folge hat.

Ultraform[®] weist gegenüber alkalischen Medien eine gute Beständigkeit auf. Für glasfaserverstärkte Ultraform[®] Pro-

dukte, z. B. Ultraform[®] N2200 G53 gilt dasselbe wie für glasfaserverstärktes Ultramid[®].

Die Abbildungen 18 und 19 zeigen exemplarisch die Lagerung von Ultraform[®] N2320 003 und Ultraform[®] N2200 G53 in dem alkalischen Medium AdBlue[®], einer ca. 33%igen wässrigen Harnstofflösung, bei 60 °C.

Abbildung 20 zeigt die Zugfestigkeit von Ultradur[®] B4300 G6 unter Einwirkung von wässrigen Natriumhydroxidlösungen (Natronlauge) bei Raumtemperatur. Die Änderung der Zugfestigkeit bzw. die Schädigung des Materials hängt sehr stark vom pH-Wert ab. Während das Material bei pH 10 bis 500 Stunden praktisch keinen Festigkeitsabfall zeigt, setzt dieser bei pH 14 schon nach sehr kurzer Zeit ein; das Material weist nach 200 Stunden nur noch ein Fünftel seiner Ausgangsfestigkeit auf.

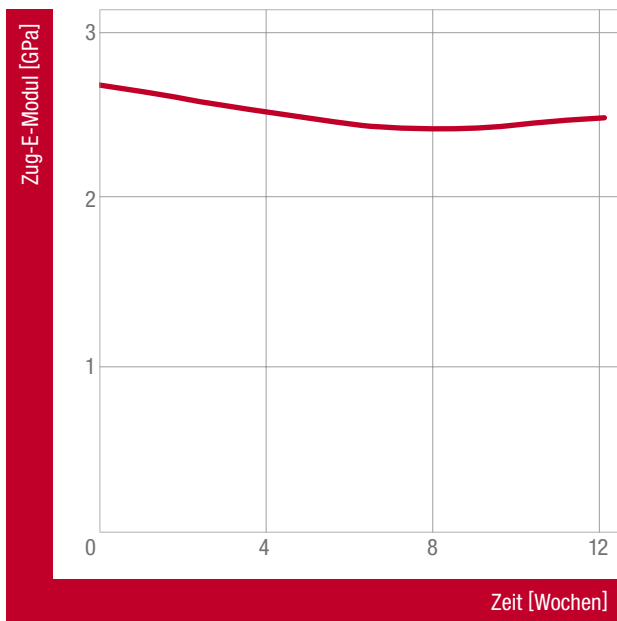
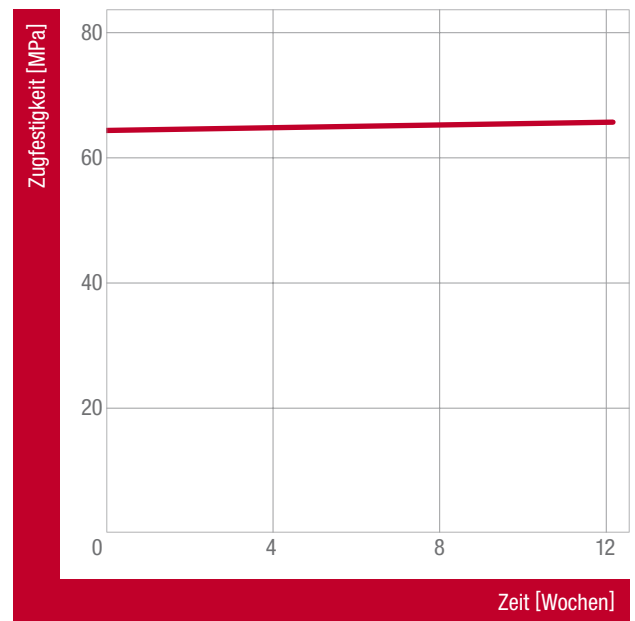


Abb. 18: Lagerung von Ultraform[®] N2320 003 in AdBlue[®] bei 60 °C



² Gerhard W. Becker, Dietrich Braun, Ludwig Bottenbruch, Rudolf Binsack, Kunststoff Handbuch Band 3/4, Technische Thermoplaste-Polyamide, S. 246, Carl Hanser Verlag, 1998

³ Wolfgang Sauerer, Tilman Reiner, Materialien für saubere Dieselmotoren, Kunststoffe, 3/2007, Carl Hanser Verlag

Ultramid[®], Ultradur[®] und

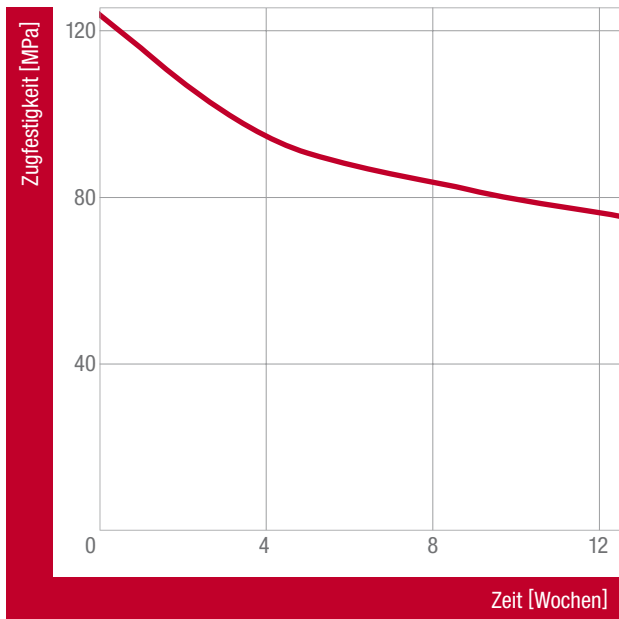


Abb. 19: Lagerung von Ultraform[®] N2200 G53 in AdBlue[®] bei 60 °C

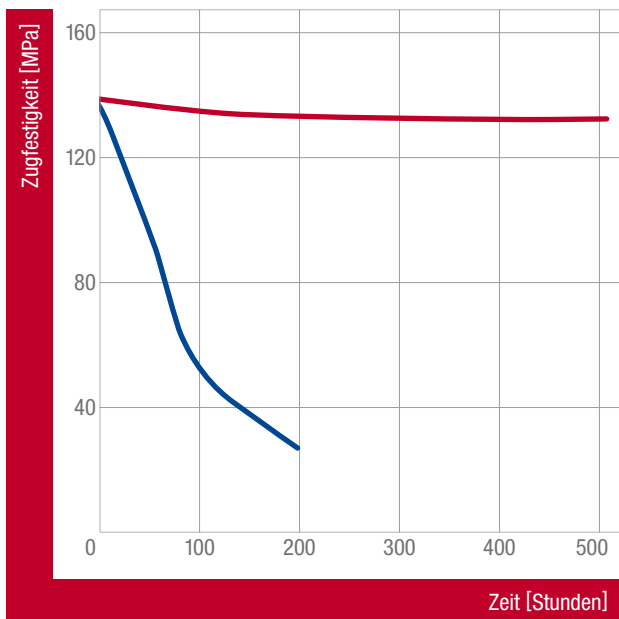


Abb. 20: Lagerung von Ultradur[®] B4300 G6 in Natronlauge unterschiedlicher Konzentration bei 23 °C
rot: 4 ppm NaOH, schwach bis mittel alkalisch, pH 10
blau: 10% NaOH, stark alkalisch, pH 14

Ethylenglycol

Ethylenglycol, auch kurz Glykol genannt, ist vor allem als Frostschutzmittel bekannt. Im Automobil wird es für diesen Zweck dem Kühlwasser zugesetzt (übliches Mischungsverhältnis 50:50). Dadurch kann einerseits Frostschutz bis ca. -40 °C erzielt werden, andererseits ist der Dampfdruck der Mischung niedriger als der von Wasser, so dass Kühlmitteltemperaturen oberhalb von 100 °C bei geringerem Überdruck möglich werden.

Beständigkeit im Kontakt mit Kühlflüssigkeit

Die typische Temperatur im Kühlkreislauf eines Automobil-Verbrennungsmotors liegt bei 85 bis 90 °C mit Spitzen bis zu 115 °C. Typische Prüfspezifikationen der Automobilindustrie sind Szenarien mit Kühlmitteldurchfluss bei 2 bar Überdruck und Temperaturen von 135 °C und 1.500 Stunden Dauer. Diese Bedingungen werden in Labortests durch Prüfung von Zugstäben nach 1.000 bis 3.000 Stunden Lagerung bei 120 bis 135 °C simuliert. Dabei muss beachtet werden, dass die Belastung stark von der Fahrzeugpraxis abweicht (z. B. komplette vs. einseitige Benetzung mit Kühlmittel, konstante vs. zyklisch schwankende Temperaturen).

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Im Kontakt mit Glykol-Wasser-Gemischen quillt Polyamid stark und wird bereits nach kurzer Kontaktzeit (1 bis 2 Tage) durch Quellung weichgemacht. Danach beginnt, stark abhängig von der Temperatur, ein Abbau der Polymerketten, wie schematisch in Abbildung 21 gezeigt. Dieses prinzipielle Verhalten findet sich im Kontakt mit allen kommerziell erhältlichen Kühlmitteln, wobei im Einzelfall die eingesetzte Glykol-Type im vorgegebenen Mischverhältnis mit Wasser geprüft werden muss.

Unter Bedingungen in der Fahrzeugkühlung wird handelsübliches Ultraamid[®] B als nicht ausreichend beständig eingestuft. Dagegen kommt Ultraamid[®] A häufig zum Einsatz, z. B. bei Kühlmittelausgleichsbehältern, Kühlerendkappen und Kühlwasserrohren, wobei ausschließlich hydrolysestabilisierte Produkte mit Kennzeichnung HR (hydrolysis resistant) und HRX verwendet werden. Wie Ultraamid[®] A ist auch Ultraamid[®] T bedingt beständig, während Ultraamid[®] S eine deutlich bessere Beständigkeit aufweist, wie im Vergleich der Produkte in Abbildung 22 zu sehen ist.

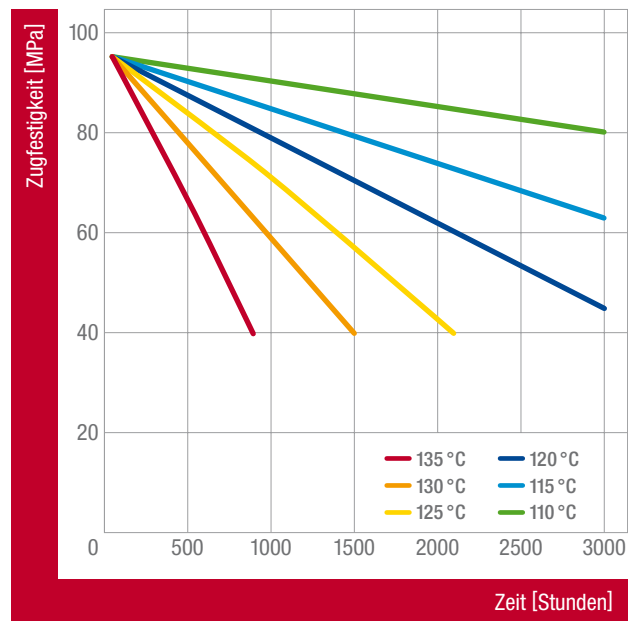


Abb. 21: Beständigkeit von Ultraamid[®] A mit 30% Glasfasern gegen Kühlfliüssigkeit Glykol/ Wasser abhängig von der Lagertemperatur (schematisch): schnelle Weichmachung durch Quellung, deutlicher Verlust der Restfestigkeit bei Lagertemperaturen >120 °C. Zum Vergleich: Zugfestigkeit trocken 190 MPa, bei 1,7% Feuchte 120 MPa, bei 5,5% Feuchte 95 MPa

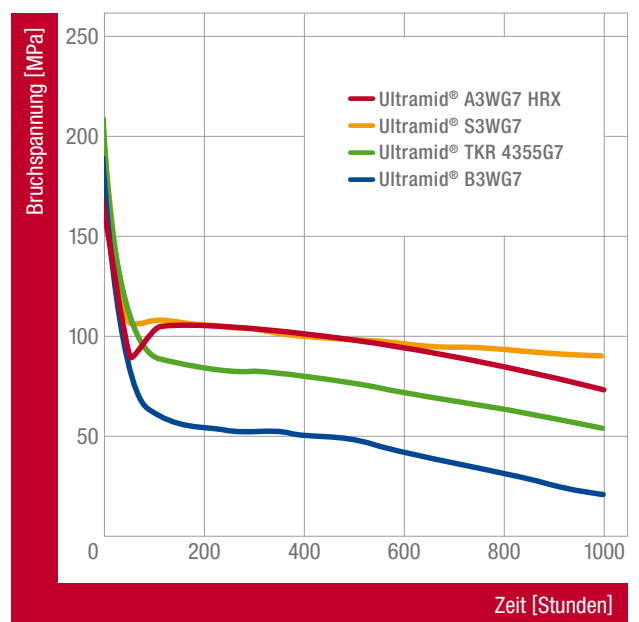
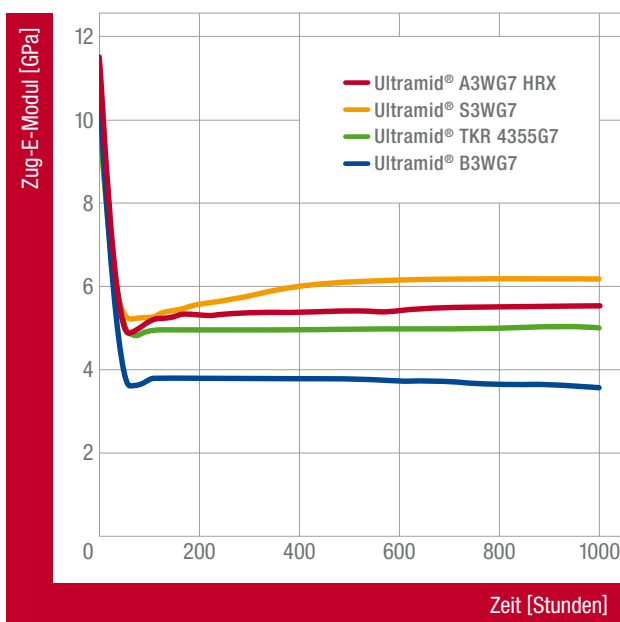


Abb. 22: Vergleich der Beständigkeit von Ultraamid[®] A, B, S und T gegen Kühlfliüssigkeit bei Lagerung in Glycantin[®] G48/Wasser (50/50 Mischung) bei 130 °C

Ultramid[®], Ultradur[®] und

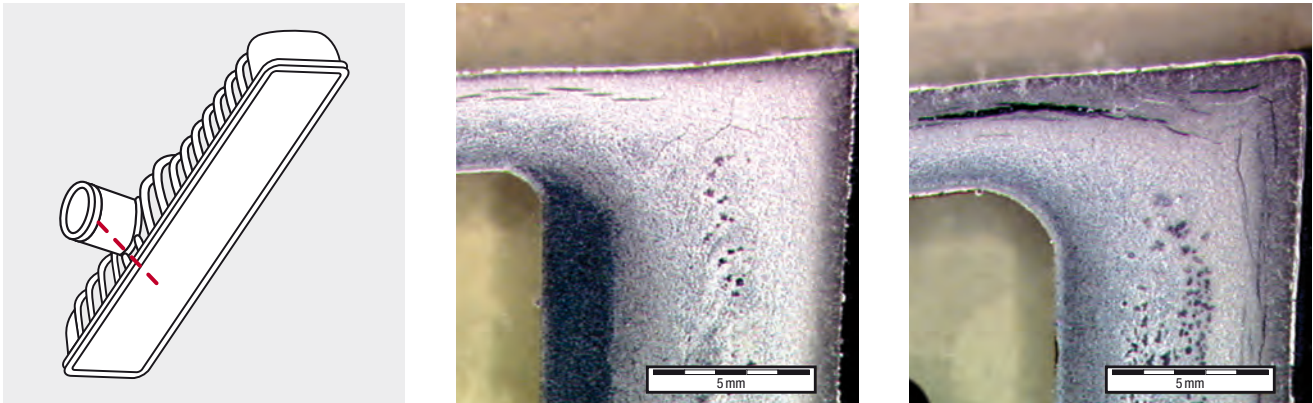


Abb. 23: Schnitt durch den Stutzen einer Kühlerendkappe nach Lebensdauerprüfung, Mitte: Ultramid[®] A3WG6 HRX, rechts: Standard PA66 GF30 HR. Deutlich sichtbare Materialschädigung in Form von Rissen, die nicht zum Bauteilversagen geführt haben.

Zum Teil zeigen sich an gealterten Teilen Risse durch den Kontakt mit Kühlmitteln, wie in Abbildung 23 für Ausschnitte aus Kühlerendkappen gezeigt wird. Daher ist es üblich, Bauteile mit ausreichend großer Wanddicke von ca. 3 mm zu konstruieren, um der reduzierten Restfestigkeit Rechnung zu tragen.

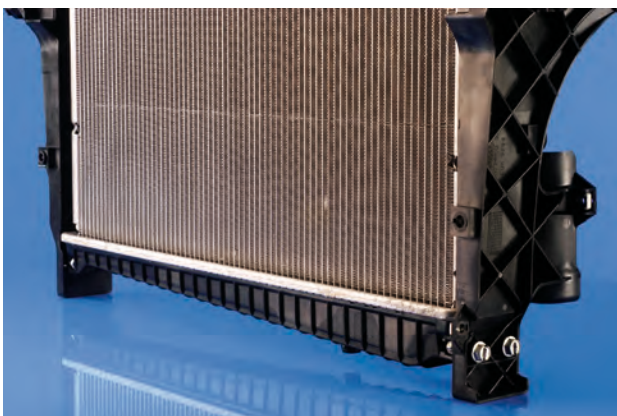


Abb. 24: Endkappen von Fahrzeugkühlern sind eine typische Anwendung für hydrolysebeständige PA66-Typen wie Ultramid[®] A3HG6 HR

In Solarthermie-Systemen kommt zum Teil ebenfalls Glykol als Wärmeleitmedium zum Einsatz. Für druckbeaufschlagte Systeme mit Temperaturen bis 200 °C ist handelsübliches Ultramid[®] kein geeigneter Werkstoff. Für entleernde Drain-back-Systeme mit typischen Temperaturen unterhalb von 90 °C kann Ultramid[®] dagegen abhängig von den Anforderungen an die Dimensionsstabilität als bedingt beständig angenommen werden.

Ultraform[®] ist für Anwendungen im Kühlkreislauf eines Automobil-Verbrennungsmotors nur bedingt einsatzfähig. Temperaturspitzen über 110 °C sind zu vermeiden.

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform®

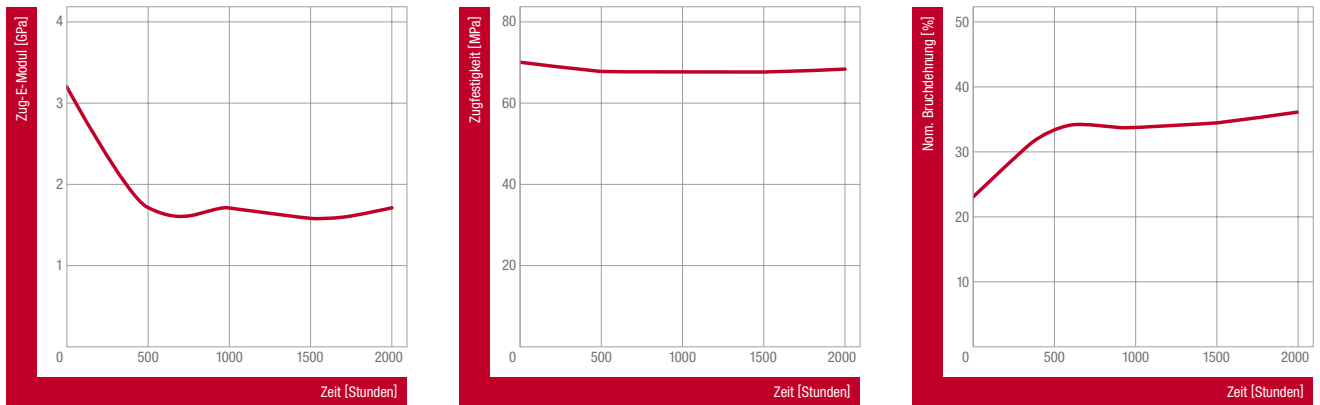


Abb. 25: Lagerung von Ultraform® S1320 003 in Hydraulan® 408 bei 120 °C

Beständigkeit im Kontakt mit Brems- und Hydraulikflüssigkeiten

Derivate des Ethylenglykols, z.B. höhere Homologe (wie Diethylenglykol, Triethylenglykol), und dessen Ether (z.B. Triethylenglykolmonobutylether) kommen in gängigen Bremsflüssigkeiten und auch in speziellen Hydraulikflüssigkeiten zum Einsatz.

Ultraform® und Ultramid® sind gegenüber vielen Brems- und Hydraulikflüssigkeiten, die Glykolderivate enthalten, in der Regel beständig. Abbildung 25 zeigt exemplarisch die Lagerung von Ultraform® S1320 003 in der Bremsflüssigkeit Hydraulan® 408 bei 120°C. Im Gleichgewichtszustand nimmt der Werkstoff ca. 4,5% des Mediums auf. Hydraulan® 408

zeigt somit einen stark weichmachenden Effekt auf Ultraform® S1320 003. Die Zugfestigkeit und die nominelle Bruchdehnung bleiben nach der Quellung jedoch auf konstant hohem Niveau.

Abbildung 26 zeigt Daten für Ultramid® A3HG5 und A3HG7 in der Brems- und Hydraulikflüssigkeit DOT 4 bei typischen Bedingungen, die zur Simulation einer Fahrzeuglebensdauer herangezogen werden. Da Bremsflüssigkeit hygroskopisch⁴ ist, wird der Prüfflüssigkeit Wasser zugesetzt, was zur Quellung des Polyamids führt.

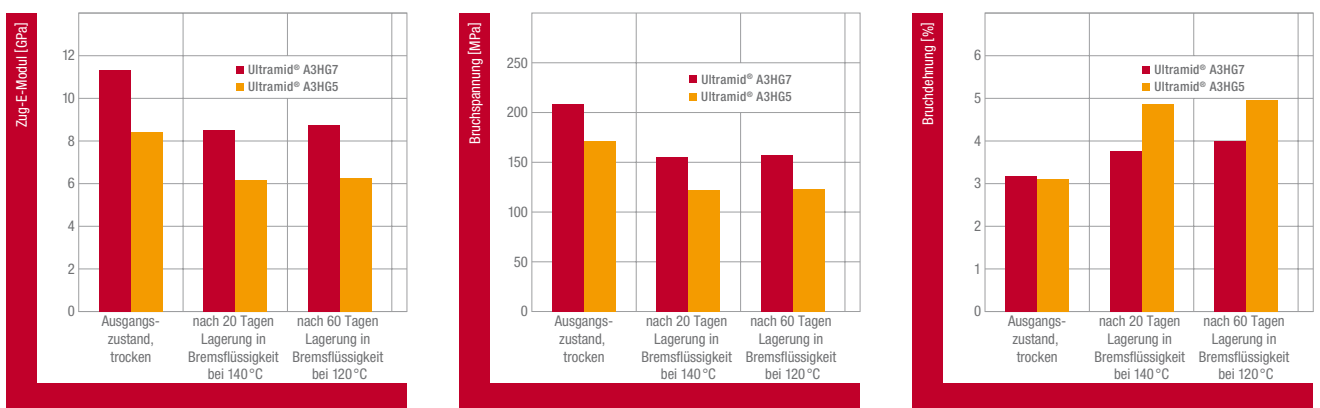


Abb. 26: Lagerung von Ultramid® A3HG5 und A3HG7 in Brems- und Hydraulikflüssigkeit ATE Super DOT 4 + 3% Wasser

⁴ hygroskopisch: nimmt Luftfeuchtigkeit auf und bindet sie

Ultramid[®], Ultradur[®] und

Ester

Ester bilden eine Stoffgruppe organischer Verbindungen, die durch Reaktion eines Alkohols und einer Sauerstoffsäure unter Abspaltung von Wasser gebildet werden. Man unterscheidet Ester auf Basis organischer und anorganischer Säuren. Zu den ersteren zählen z.B. die Carbonsäureester. Sie weisen folgendes gemeinsames Strukturelement auf: R-COO-R'. Sie sind in der Natur in Form von Fetten, Ölen oder auch Duftstoffen weit verbreitet.

Gegenüber Fetten (z. B. Speise-, Schmierfette), Ölen (z. B. Speiseöle, Schmierstoffe, Motoröle) und Tensiden basierend auf Carbonsäureester sind die Ultraplaste Ultraform[®], Ultramid[®] und Ultradur[®] in der Regel gut beständig. Ein erhöhter Gehalt an freien Säuren ist kritisch zu bewerten, da dies zu einer beschleunigten Spaltung der Polymerketten führt. Dies gilt insbesondere bei Estern auf Basis anorganischer Säuren. Sofern die Ester hydrolytisch⁵ oder thermisch instabil sind und eine anhaltende Zersetzung in der Gebrauchsphase kontinuierlich Säure frei setzt, empfiehlt sich eine experimentelle Überprüfung der Ultraplaste auf deren Beständigkeit.

In Kraftstoff führenden Komponenten können Ultraplaste mit Fettsäuremethylester in Kontakt kommen. Fettsäuremethylester stellen den Hauptbestandteil von Biodiesel dar. In Europa gewinnt man diesen meistens durch Umesterung von Rapsöl mit Methanol. In den USA ist die Pflanzenölbasis weitgehend Sojaöl.

Neben dem reinen Biodiesel (B100) wird Biodiesel meist dem mineralöl-basierten, konventionellen Dieselmotorkraftstoff beigemischt. Je nach Biodieselanteil unterscheidet man dann z.B. zwischen B20 (20 % Volumenanteil Biodiesel), B30 oder B50.

⁵ hydrolytisch: spaltet chemische Verbindungen durch Reaktion mit Wasser

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Das gegen heißen Diesel hochstabilisierte Ultraform[®] S1320 0021 zeigt eine ausgezeichnete Beständigkeit gegen reinen Biodiesel (B100 gemäß DIN EN 14214). Bei einer Lagerungstemperatur von 140 °C ist nach 200 Tagen kein Abfall in der Festigkeit und Streckdehnung festzustellen (Abb. 27). Das Produkt nimmt bei 140 °C lediglich 1% Biodiesel auf. Der E-Modul sinkt dabei von ca. 3,0 auf 2,4 GPa ab.

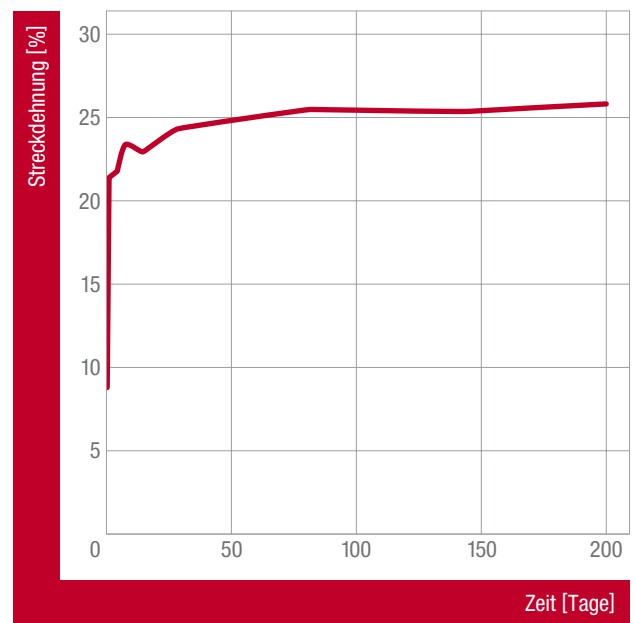
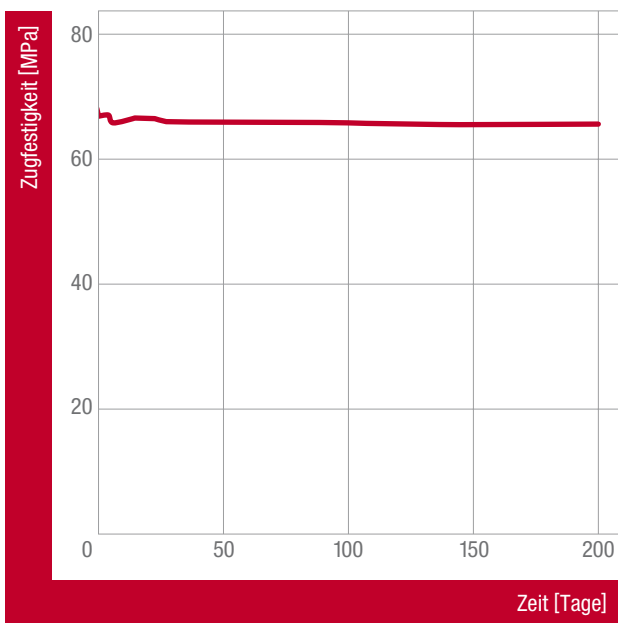


Abb. 27: Lagerung von Ultraform[®] S1320 0021 in Biodiesel (B100 gemäß DIN EN 14214) bei 140 °C.

Ultramid[®], Ultradur[®] und

Handelsübliches Ultramid[®] ist gegenüber Biodiesel nur eingeschränkt beständig. Die Beständigkeit von handelsüblichem Ultramid[®] gegenüber Biodiesel ist stark abhängig von der Herkunft und Zusammensetzung des Biodiesels. In reinem Rapsöl-Methyl-Ester (RME) ist die Beständigkeit gut, siehe Abbildung 28. Bei Biodiesel auf anderer Basis kann die Beständigkeit deutlich schlechter sein. Da die Zusammensetzung von Biodiesel nicht genormt ist, muss jede Type, insbesondere bei exotischer Herkunft, individuell geprüft werden.

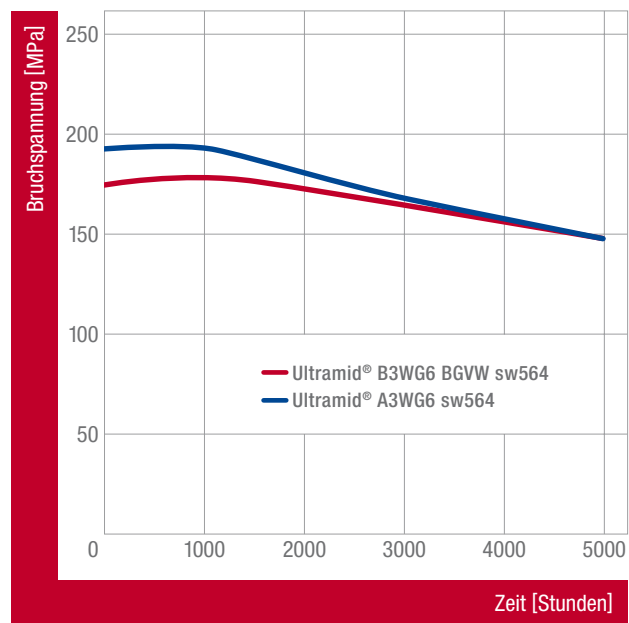
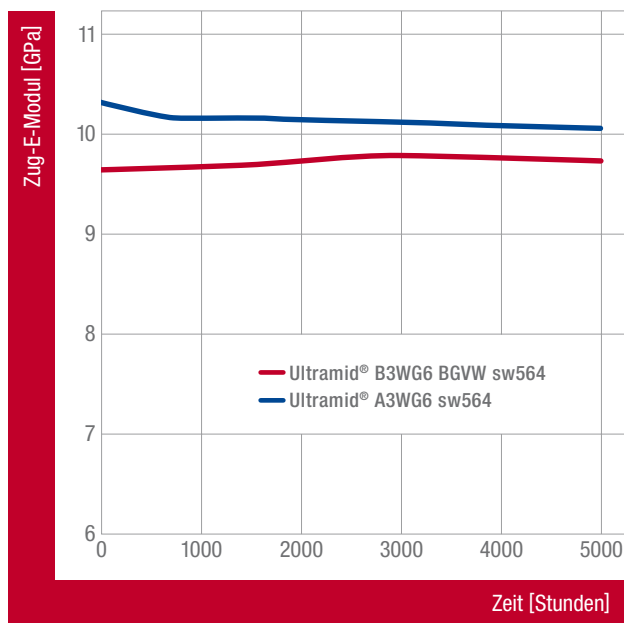


Abb. 28: Beständigkeit von Ultramid[®] A und B gegen Biodiesel (100% RME) bei 140 °C.

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Aliphatische Alkohole

Bei aliphatischen Alkoholen (Alkanole) handelt es sich um meist lineare aliphatische Kohlenwasserstoffe mit einer oder mehreren OH-Gruppen.

Aufgrund ihrer polaren Eigenschaften und geringen Molekülgröße werden kurzkettige aliphatische Alkohole (z. B. Methanol, Ethanol) von Polyamiden in den amorphen Bereichen aufgenommen. Dies hat eine Volumenänderung und Reduktion von Steifigkeit und Festigkeit zur Folge, da kleine Moleküle wie Wasser oder Alkohole eine weichmachende Wirkung auf Polyamide haben.

Dieser Effekt ist bei Ultramid[®] B stärker ausgeprägt als beim höher kristallinen Ultramid[®] A oder beim teilaromatischen Ultramid[®] T.

Wichtige Anwendungen, in denen Polyamide mit Alkoholen in Kontakt kommen, sind das Kraftstoffsystem im Auto, da zahlreichen Kraftstoffen Alkohole beigemischt werden, und Bauteile, die mit alkoholhaltigen Lebensmitteln in Berührung kommen.

Kraftstoffe und ihre chemische Zusammensetzung:

Methanol und Ethanol sind entweder in reiner Form (Brasilien: M100, E100) oder als Bestandteil herkömmlicher Kraftstoffe im Einsatz. Speziell Bioethanol hat in den vergangenen Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Der Anteil schwankt regional und liegt üblicherweise zwischen 5% bzw. 10% (Europa: E5 bzw. E10) und 100% (Brasilien: E100). Die Gemische basierend auf Ottokraftstoffen werden entsprechend dem Anteil des enthaltenen Alkohols bezeichnet. M15 oder E15 sind beispielsweise Kraftstoffe, die 15 Vol-% Methanol bzw. Ethanol enthalten. Darüber hinaus werden zu Prüfzwecken zahlreiche wohl definierte Testflüssigkeiten eingesetzt, um eine Vergleichbarkeit von Testergebnissen zu ermöglichen. Die Nomenklatur zur eindeutigen Bezeichnung der Testkraftstoffe und ihre entsprechende Zusammensetzung wird ausführlich im SAE Standard J1681 beschrieben.

Die Nomenklatur zur eindeutigen Bezeichnung der Testkraftstoffe und ihre entsprechende Zusammensetzung wird ausführlich im SAE Standard J1681 beschrieben.



Abb. 29: Schnellkupplungen für Kraftstoffleitungen hergestellt aus Ultramid[®] T

Ultramid[®], Ultradur[®] und

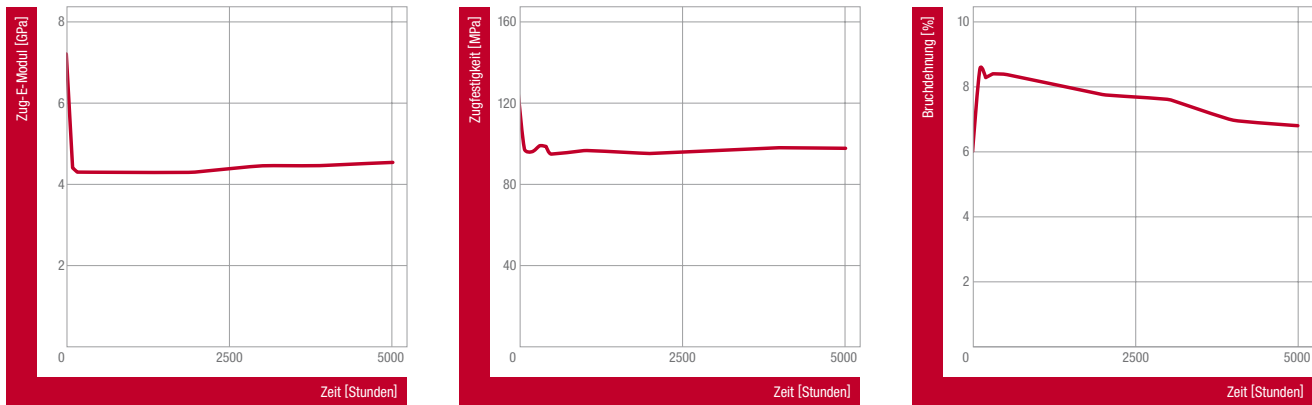


Abb. 30: Lagerung von Ultramid[®] A3WG6 HRX sw 23591 in E50 bei 90 °C (Nullwert = schnell konditioniert gemäß ISO 1110)

Ultramid[®] A3WG6 HRX sw 23591 ist in E50⁶ bei 90 °C bis 5.000 Stunden gut beständig (Abb. 30). Der Werkstoff nimmt im Gleichgewichtszustand ca. 4,5 % E50 auf.

Ultraform[®] eignet sich hervorragend für den Einsatz im Kontakt mit alkoholhaltigen Kraftstoffen, weshalb es seit Jahren in Tankmodulen (Abb. 9) eingesetzt wird.

Abbildung 31 zeigt exemplarisch die Lagerung von Ultraform[®] S1320 003 in CM15A⁷ bei 60 °C. Durch die Quellung mit ca. 3,5 % CM15A nimmt der E-Modul von 3,0 auf ca. 1,8 GPa ab. E-Modul, Zugfestigkeit und die Streckdehnung bleiben dann bis ca. 2.000 Stunden auf konstantem Niveau.

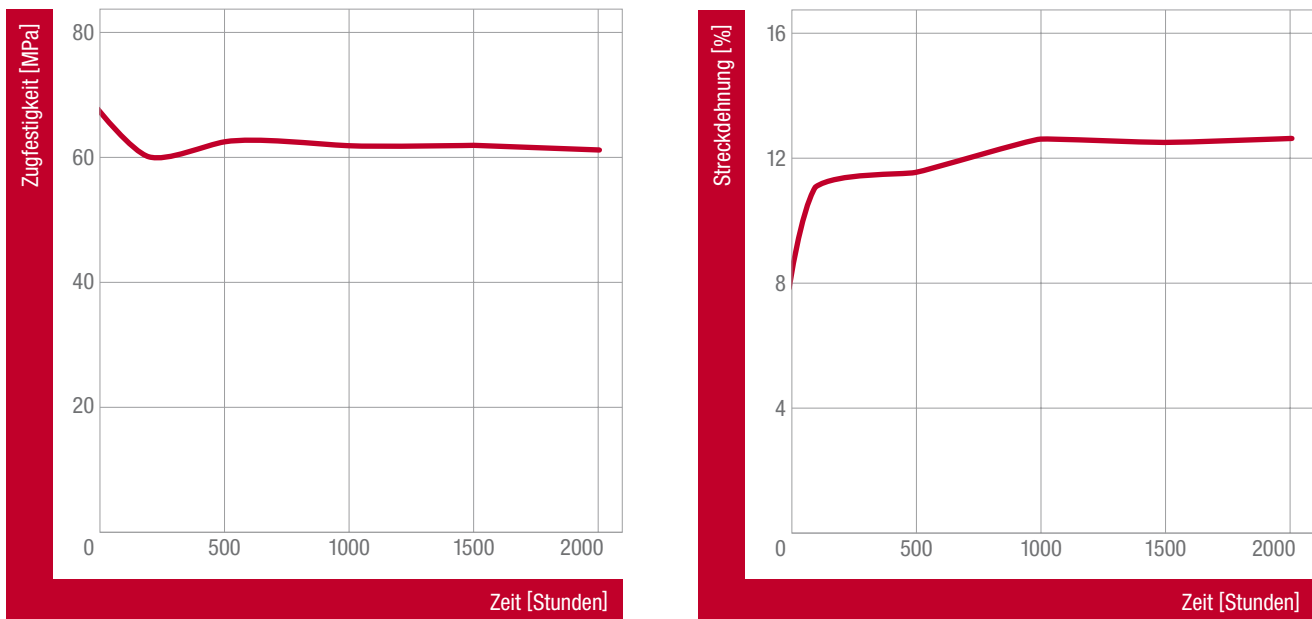


Abb. 31: Lagerung von Ultraform[®] S1320 003 in CM15A bei 60 °C

⁶ E50: 50 % Bioethanol und 50 % Superbenzin Oktanzahl 98

⁷ CM15A: 42,5 % Toluol, 42,5 % Isooctan, 15 % Methanol mit aggressiven Zusatzstoffen

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform®

Ultraform® S1320 003 nimmt in CE85A⁸ bei 65 °C ca. 2,7 % des Mediums auf. E-Modul, Zugfestigkeit und Streckdehnung bleiben nach der Gleichgewichtseinstellung auf konstant hohem Niveau (Abb. 32).

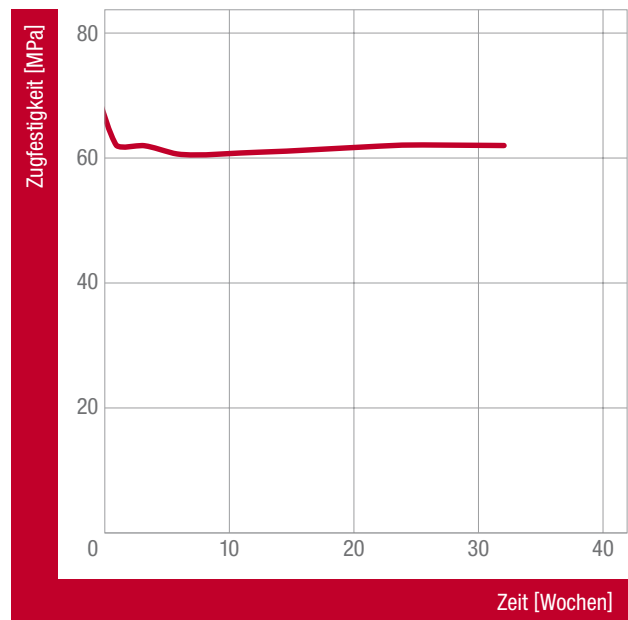
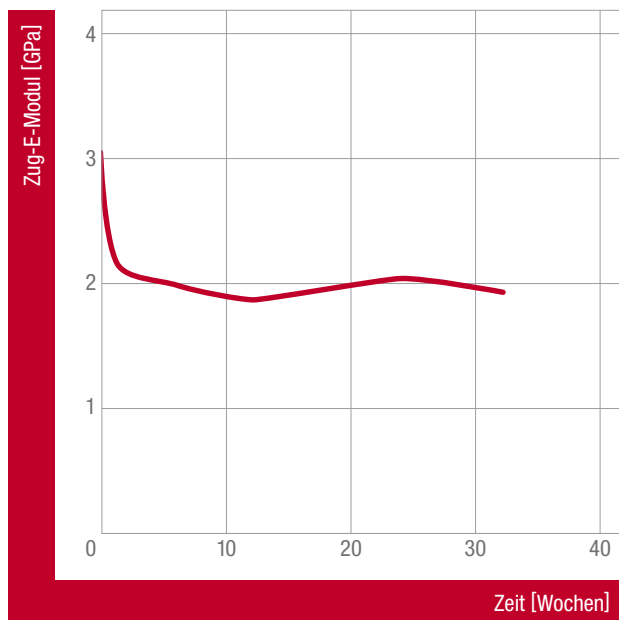


Abb. 32: Lagerung von Ultraform® S1320 003 in CE85A bei 65 °C

Ultradur® ist bedingt beständig gegenüber aliphatischen Alkoholen als Bestandteil von Kraftstoffen. Besonders bei lang andauerndem Kontakt bei hohen Temperaturen muss damit gerechnet werden, dass die alkoholischen Kraftstoffbestandteile zu einem Abbau der Polymerketten führen. Die Abbildungen 33 und 34 zeigen das Verhalten eines glasfaserverstärkten Ultradur® in Kontakt mit alkoholhaltigen Testkraftstoffen. Die alkoholarmen Fluide (CM5⁹, CE10¹⁰) sind toluolreich; die alkoholreichen Fluide (CM85A¹¹ und CE85A¹²) sind dagegen toluolarm. Ultradur® wird oberhalb der Glas-

übergangstemperatur von ca. 60 °C durch Toluol wesentlich stärker gequollen als durch Methanol oder Ethanol. Als Folge dieser unterschiedlichen Quellung sinken Steifigkeit und Festigkeit des Werkstoffs bei Kontakt zu den toluolreichen (alkoholarmen) Fluiden stärker ab. Die irreversible Werkstoffschädigung durch Polymerabbau tritt aber eher bei den alkoholreichen Fluiden auf. Zu erkennen ist dies beispielsweise in Abb. 33 am Abfall der Bruchspannung von 750 auf 1.000 Stunden (blaue Kurve).

⁸ CE85A: 85% Ethanol mit aggressiven Zusatzstoffen, 7,5% Isooctan und 7,5% Toluol

⁹ CM5: 5% Methanol, 47,5% Isooctan und 47,5% Toluol

¹⁰ CE10: 10% Ethanol, 45% Isooctan und 45% Toluol

¹¹ CM85A: 85% Methanol mit aggressiven Zusatzstoffen, 7,5% Isooctan und 7,5% Toluol

¹² CE85A: 85% Ethanol mit aggressiven Zusatzstoffen, 7,5% Isooctan und 7,5% Toluol

Ultramid[®], Ultradur[®] und

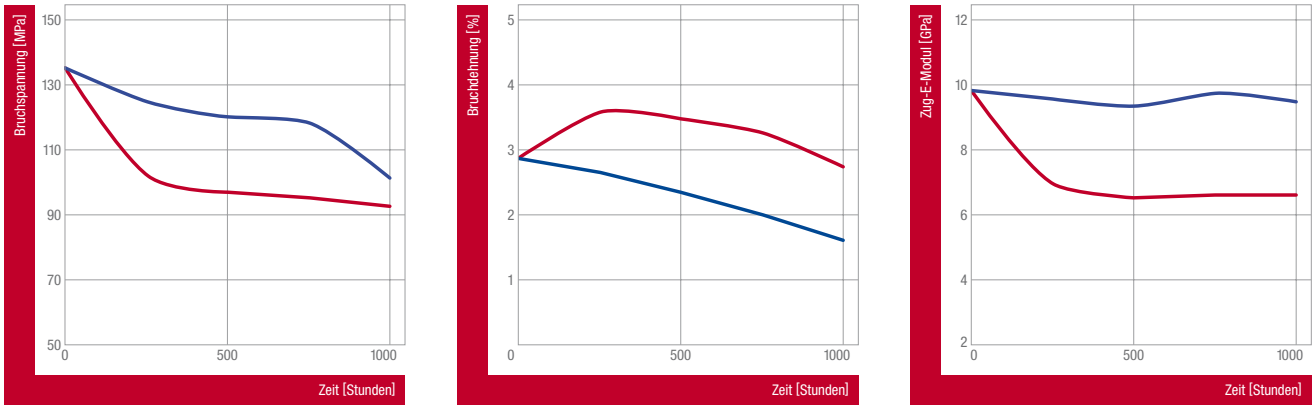


Abb. 33: Lagerung von Ultradur[®] B4300 G6 sw Q16 15007 in Methanol-haltigen Kraftstoffen
 rot: CM5⁹ bei 90 °C
 blau: CM85A¹¹ bei 90 °C

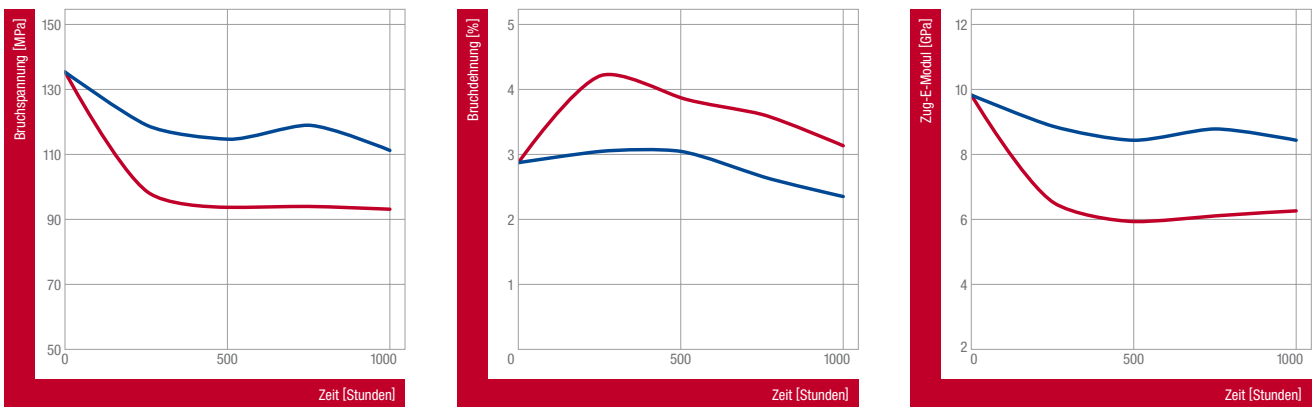


Abb. 34: Lagerung von Ultradur[®] B4300 G6 sw Q16 15007 in Ethanol-haltigen Kraftstoffen
 rot: CE10¹⁰ bei 90 °C
 blau: CE85A¹² bei 90 °C

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Wasser und wässrige Lösungen

Wasser

Der generelle Einfluss von Wasser auf Ultramid[®] in Form von Quellung wird an mehreren Stellen der Publikation beschrieben. Details finden sich auch in der Ultramid[®] Hauptbroschüre und der Broschüre Konditionieren von Fertigteilen aus Ultramid[®]. Wenn Wasser Polyamid quillt, führt das zu einer Herabsetzung der Glasübergangstemperatur. Da das Material bei Temperaturen oberhalb des Glasübergangs erweicht, ändern sich die mechanischen Eigenschaften:

Modul und Festigkeit sinken, die Zähigkeit nimmt zu. Abbildung 35 zeigt diesen Effekt exemplarisch für unverstärktes und glasfaserverstärktes Ultramid[®] A. Mit steigendem Wasseranteil im Polymer sinkt die Glasübergangstemperatur, was zur Reduzierung des E-Moduls oberhalb der entsprechenden Glastemperatur führt.

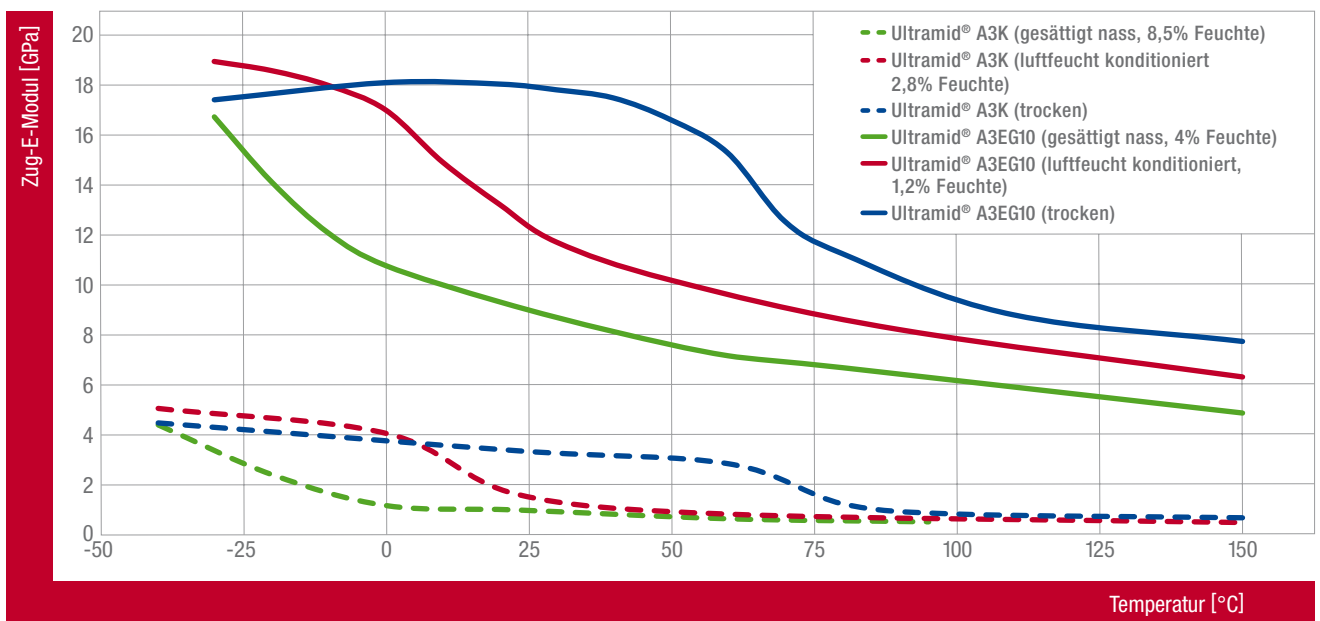


Abb. 35: Zug-E-Modul von Ultramid[®] A3K und A3EG10 als Funktion von Temperatur und Feuchte

Ultramid[®], Ultradur[®] und

Abhängig von den Umgebungsbedingungen (an feuchter Luft bzw. unter Wasser, bei verschiedenen Temperaturen) stellt sich eine Gleichgewichtsfeuchte ein. Wenn sich nach Erreichen dieser Feuchte die mechanischen Eigenschaften nicht weiter ändern, wie in Abbildung 36, liegt kein hydrolytischer Abbau, sondern nur Quellung vor. Bei sehr hohen Temperaturen führt Wasser in Ultramid[®] allerdings zu starkem hydro-

lytischen Abbau: Wenn das Material vor der Verarbeitung im Spritzguss z. B. nicht ausreichend getrocknet ist, führen die Verarbeitungstemperaturen von ca. 280 °C zur Spaltung der Molekülketten.

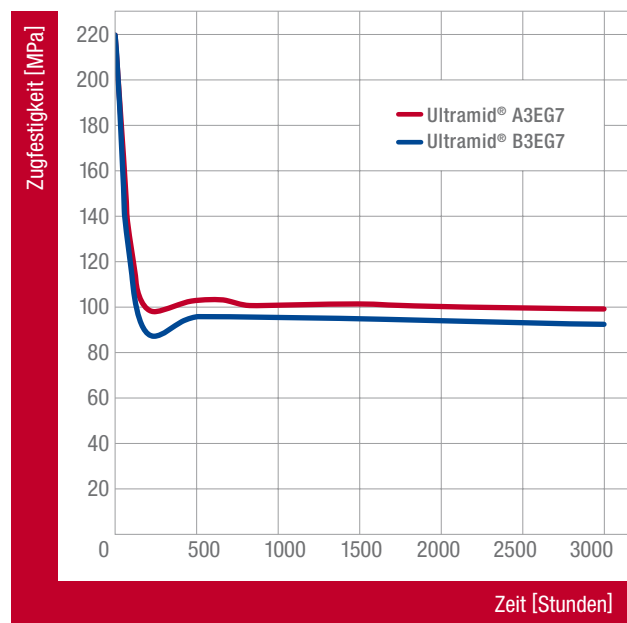
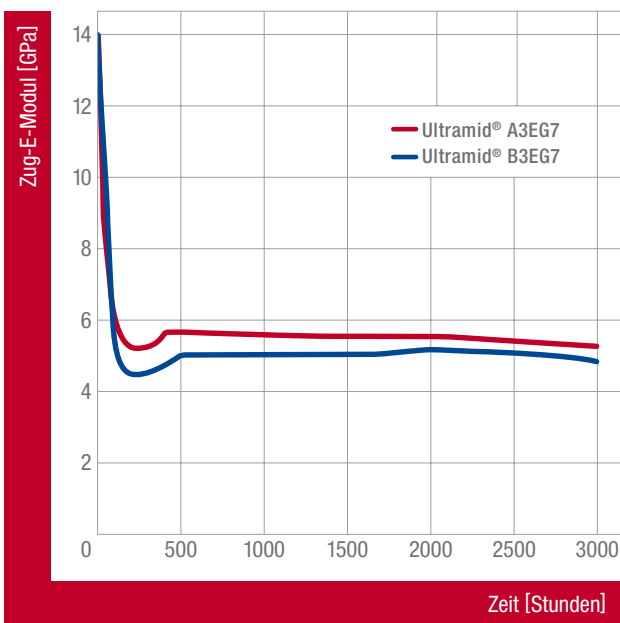


Abb. 36: Lagerung von Ultramid[®] A3EG7 und B3EG7 in vollentsalztem Wasser bei 65 °C und einem Wasserwechsel im wöchentlichen Turnus

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Die hydrolytische Alterung von Ultradur[®] hängt von mehreren Faktoren ab, wobei Temperatur und Feuchtegehalt im Bauteil besonders wichtig sind.

Zugprüfstäbe von 1,6 mm Dicke (nach ASTM D638) aus Ultradur[®] B4520 zeigen auch nach über 300 Tagen Lagerung in 60 °C warmem Wasser noch eine Zugfestigkeit, die praktisch auf dem Ausgangsniveau liegt (Abb. 37). Die Dehnung bei Zugfestigkeit nimmt zu Beginn der Lagerung stark zu, da der Streckpunkt durch die Lagerung von ca. 3,5% auf ca. 11% Dehnung verschoben wird. Probekörper, die länger als 250 Tage gelagert wurden, zeigen keinen Streckpunkt mehr. Das Absinken der Dehnung bei Zugfestigkeit nach 250 Tagen geht mit einem Wechsel von duktilem zu sprödem Bruchverhalten einher.

Bei der hydrolytischen Alterung in feuchter Luft ist die relative Luftfeuchtigkeit eine wichtige Größe, die den Feuchtegehalt im Bauteilinneren bestimmt. Theoretisch werden bei 100% relativer Luftfeuchtigkeit und bei Lagerung in flüssigem

Wasser dieselben Gleichgewichtsgehalte an Feuchtigkeit erreicht.

Abbildung 38 zeigt, dass Zugstäbe (1,6 mm nach ASTM D638) aus Ultradur[®] B4520 auch nach über 120 Tagen bei 70 °C und 62% r. F. noch ein hohes Festigkeitsniveau besitzen. Unter anspruchsvolleren Bedingungen (85 °C/85% r. F.) ist hingegen nach etwa 30 Tagen ein Absinken der Zugfestigkeit zu beobachten.

Ultradur[®], das selbst unter den anspruchsvollen Klimabedingungen einer Lagerung bei 85 °C und 85% r. F. lange Zeit standhält, bietet BASF mit dem Suffix HR (= hydrolysis resistant) an. In Abbildung 39 sind zwei Ultradur[®]-Typen mit je 30% Glasfaserverstärkung gegenüber gestellt. Die HR-Type B4330 G6 HR sw15045 besitzt eine etwas niedrigere Ausgangsfestigkeit. Diese bleibt jedoch über 120 Tage auf hohem Niveau. Die Vergleichstypen B4300 G6 sw Q16 15007 ist hingegen nach 40 Tagen schon deutlich geschädigt.

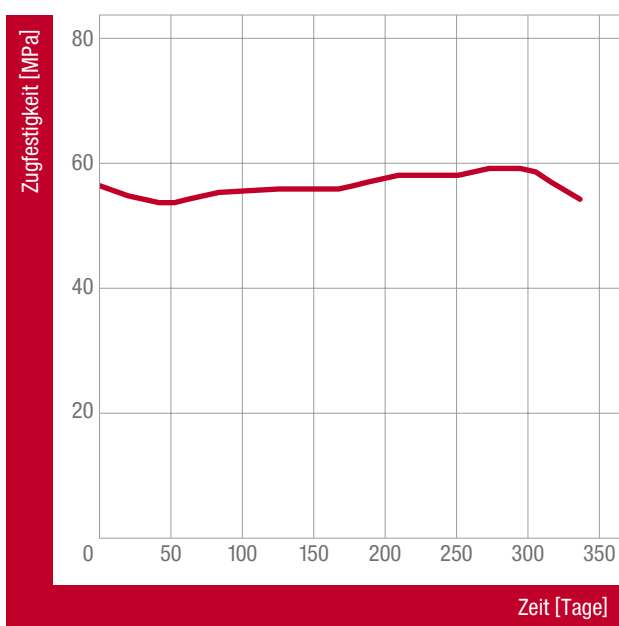
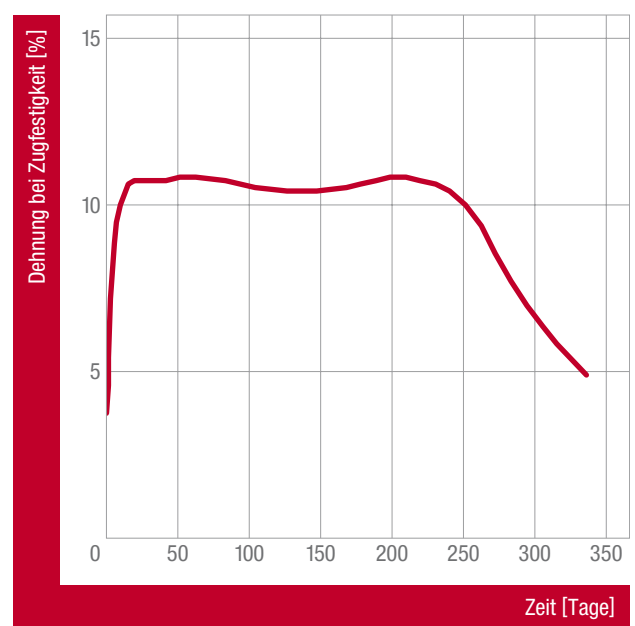


Abb. 37: Lagerung von Ultradur[®] B4520 in 60 °C warmem Wasser



Ultramid[®], Ultradur[®] und

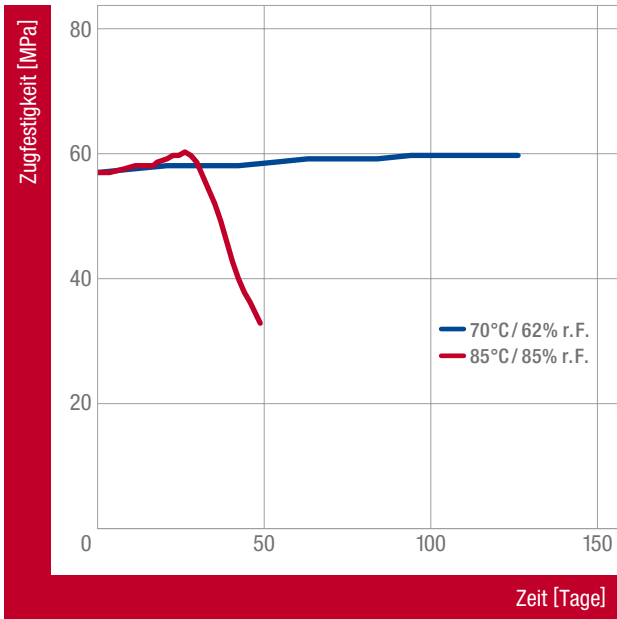


Abb. 38: Zugfestigkeit von Ultramid[®] B4520 unter verschiedenen Klimabedingungen: 70 °C und 62% relative Luftfeuchte bzw. 85 °C und 85% relative Luftfeuchte

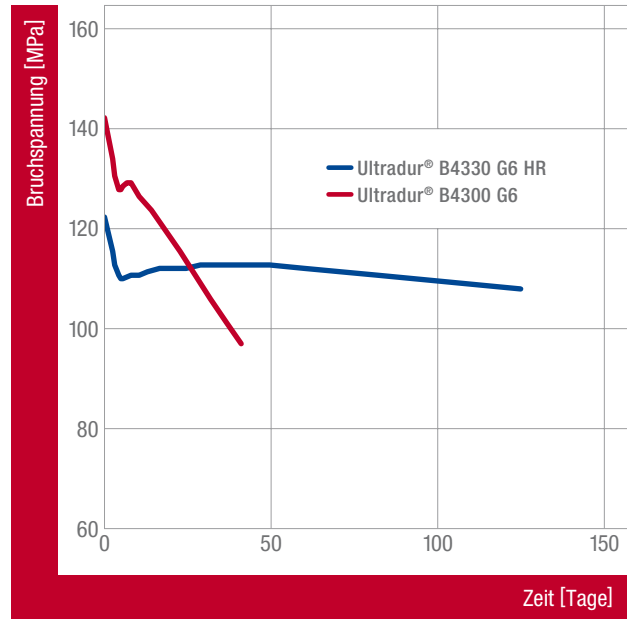


Abb. 39: Bruchspannung von hydrolysestabilisiertem Ultradur[®] B4330 G6 HR und nicht-stabilisiertem B4300 G6 in feucht-heißem Klima (85 °C und 85% relative Luftfeuchte)

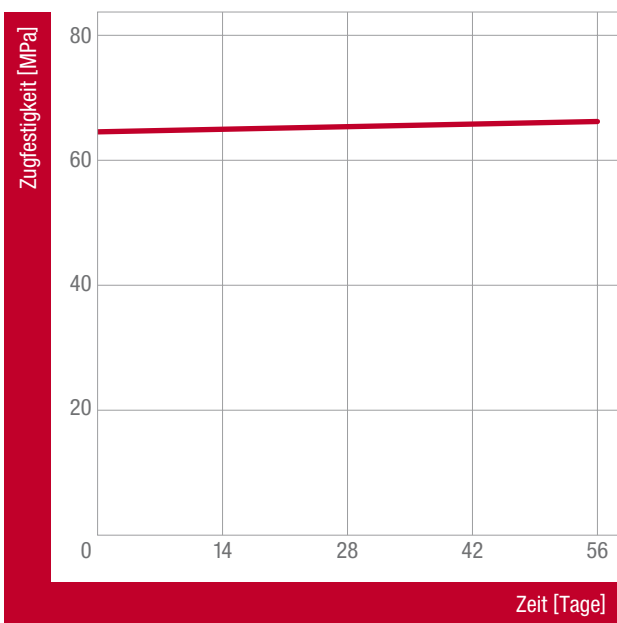
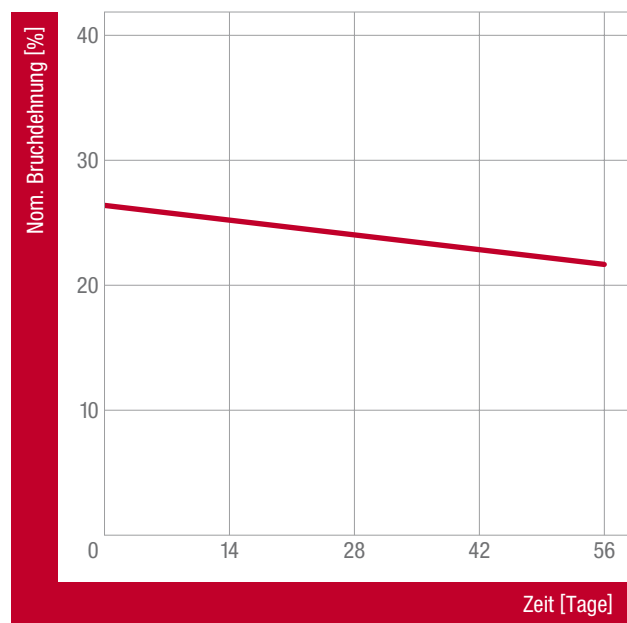


Abb. 40: Lagerung von Ultraform[®] N2320 003 in vollentsalztem Wasser bei 100 °C



Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform®

Unverstärkte Ultraform®-Typen wie die Spritzgusstype Ultraform® N2320 003 weisen eine hervorragende Heißwasserbeständigkeit auf. Bei 100 °C ist nach 56 Tagen Lagerung in vollentsalztem Wasser kein Festigkeitsverlust zu verzeichnen. Lediglich die nominelle Bruchdehnung nimmt geringfügig von ca. 26 % auf etwa 22 % ab. Bedingt durch die Quellung verringert sich der Zug-E-Modul von 2,7 auf ca. 2,3 GPa. Glasfaserverstärkte Produkte wie Ultraform® N2200 G53 erleiden in Heißwasser durch hydrolytischen Angriff der Glasfaser einen Festigkeitsverlust von ca. 50 % in den ersten 500 Stunden.

Die Eignung von technischen Kunststoffen im Trinkwasserbereich wird nicht nur durch die Beständigkeit der Materialien, sondern auch durch verschiedene länderspezifische Vorschriften beeinflusst. Für Europa gibt es keine einheitlichen Testmethoden und Bewertungen für die Zulassung von Materialien im Trinkwasserkontakt, sondern diese sind national geregelt (vgl. z. B. KTW¹³-Leitlinien, ACS¹⁴-Listung,

WRAS¹⁵). Daher muss jedes Material nach den jeweiligen Zulassungsverfahren geprüft werden. In USA muss eine NSF¹⁶-Listung vorliegen.

Einige der Ultramid®- und Ultradur®-Typen sind für den Kontakt mit Trinkwasser in bestimmten Anwendungs- und Temperaturbereichen zugelassen. So findet man z. B. glasfaserverstärktes Ultramid® A in Wasserzählergehäusen, Sanitärinstallationen und Brüheinheiten von Kaffeemaschinen. Ultradur® wird im Trinkwasserbereich, z. B. in Duschbrausen, eingesetzt.

Viele Standardmarken des Ultraform® Sortiments sind für Trinkwasseranwendungen und für den Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen. So findet man unverstärktes Ultraform® in Teilen von Sanitärarmaturen, als Duschkopfeinleger (Abbildung 41) oder auch in Brüheinheiten von Kaffeefullautomaten (Abbildung 42).



Abb. 41: Ultraform® als Duschkopfeinleger



Abb. 42: Ultraform® als Brüheinheit in einer Espresso-Maschine

¹³ KTW: Kontakt mit Trinkwasser (Deutschland)

¹⁴ ACS: Attestation de Conformite Sanitaire (Frankreich)

¹⁵ WRAS: Water Regulations Advisory Scheme (UK)

¹⁶ NSF: National Sanitation Foundation (USA)

Ultramid[®], Ultradur[®] und

Chloriertes Wasser

Zur Desinfektion von Trinkwasser wird meist Chlor als oxidierende Chemikalie zugesetzt. Die erlaubten Chlorkonzentrationen im Trinkwasser sind dabei regional sehr unterschiedlich. So betragen die Obergrenzen in Deutschland und Österreich 0,3 ppm und in der Schweiz 0,1 ppm. In Spanien liegt die maximal zulässige Konzentration bei 1 ppm. In einigen asiatischen Ländern und den USA sind sogar Chlorkonzentrationen bis zu 4 ppm erlaubt.

Herkömmliches Ultraform[®] ist gegenüber chloriertem Trinkwasser bedingt beständig. In Ländern mit geringem freiem Chloranteil (<0,5 ppm) im Trinkwasser ist Ultraform[®] in der Regel ausreichend für sanitäre Anwendungen beständig. Ab einem freien Chloranteil von 0,5 bis ca. 1 ppm ist handelsübliches Ultraform[®] für Warmwasseranwendungen nicht mehr bzw. nur noch eingeschränkt verwendbar, sofern die Kontaktzeit nicht zu lange ist (Abbildung 43). Für stärker chloriertes Trinkwasser kommt handelsübliches Ultraform[®] nur noch für Kaltwasseranwendungen bei Kontaktzeiten unter einem Jahr in Frage.

Im Gegensatz dazu ist Ultramid[®] sehr gut gegen chloriertes Wasser beständig. Selbst bei Chlorkonzentrationen, die die zur Desinfektion von Trinkwasser gängigen Konzentrationen um ein Vielfaches überschreiten, ist im Vergleich zur Lagerung in nicht-chloriertem Wasser keine Abweichung der mechanischen Eigenschaften zu beobachten.

Abbildung 44 zeigt die Zugfestigkeit von Ultramid[®] A3EG7 und Ultramid[®] B3EG6 im Vergleich: Die beiden Kunststoffe wurden in chloriertem Wasser (50 ppm) gelagert.

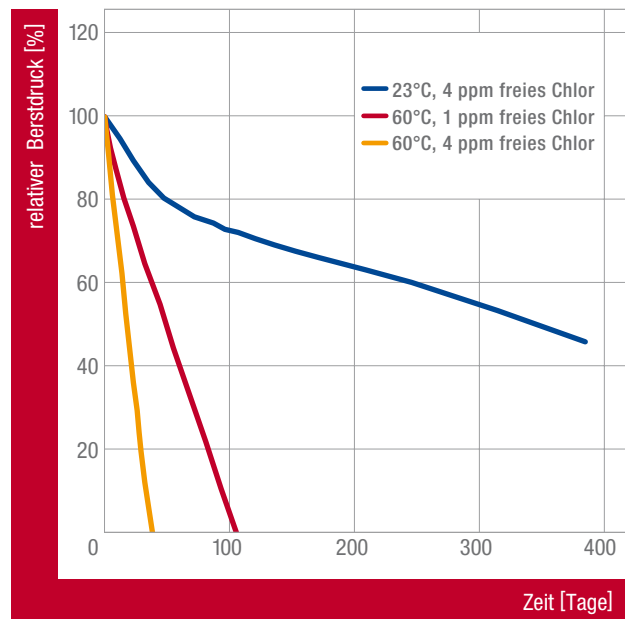


Abb. 43: Beständigkeit von Ultraform[®] N2320 003 gegen chloriertes Trinkwasser

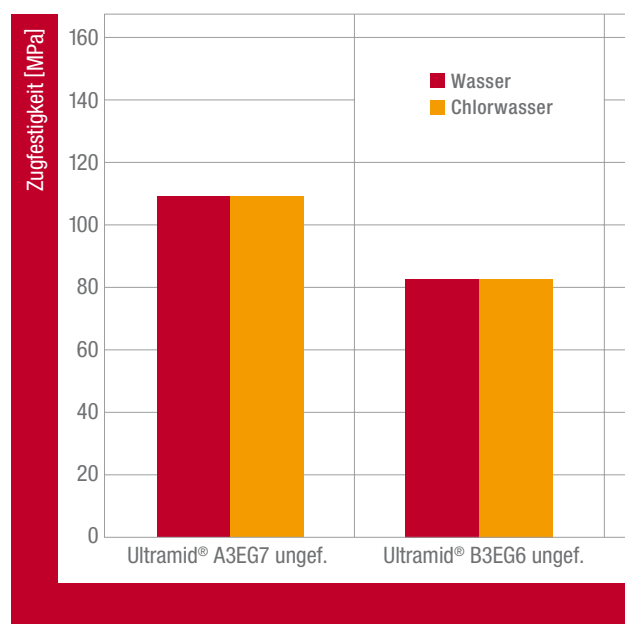


Abb. 44: Zugfestigkeit nach Wasserlagerung von Ultramid[®] A3EG7 und Ultramid[®] B3EG6, die in chloriertem Wasser (50 ppm) 7 Tage bei 65 °C gelagert wurden.

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Wässrige Lösungen von Salzen

Zinkchloridlösung

Kontakt mit Zinkchloridlösung führt bei Bauteilen, in denen Eigenspannungen oder Spannungen aufgrund einer Beanspruchung vorliegen, schon nach kurzer Zeit zu Spannungsrissen bei Ultramid[®] A und B. Die Schädigung kann z. B. beim Kontakt von verzinkten Stahlteilen mit chloridhaltigen Lösungen (z. B. Streusalz) entstehen.

Ultramid[®] S zeigt eine sehr gute Beständigkeit gegen wässrige Zinkchloridlösung. So erfüllt z. B. Ultramid[®] S3WG6 sw 564 die Anforderungen bezüglich der ZnCl₂-Beständigkeit gemäß FMVSS 106¹⁷, wie in Abbildung 45 zu sehen ist.

Ultramid[®] T zeigt eine gute Beständigkeit gegen wässrige Zinkchloridlösung und ist nicht spannungsrissempfindlich gegen dieses Medium (Abbildung 46).

ZnCl₂-Lösung löst bei Ultradur[®] keine Spannungsrisse aus.

Handelsübliche Ultraform[®]-Typen sind gegenüber konzentrierter Zinkchloridlösung nicht beständig.

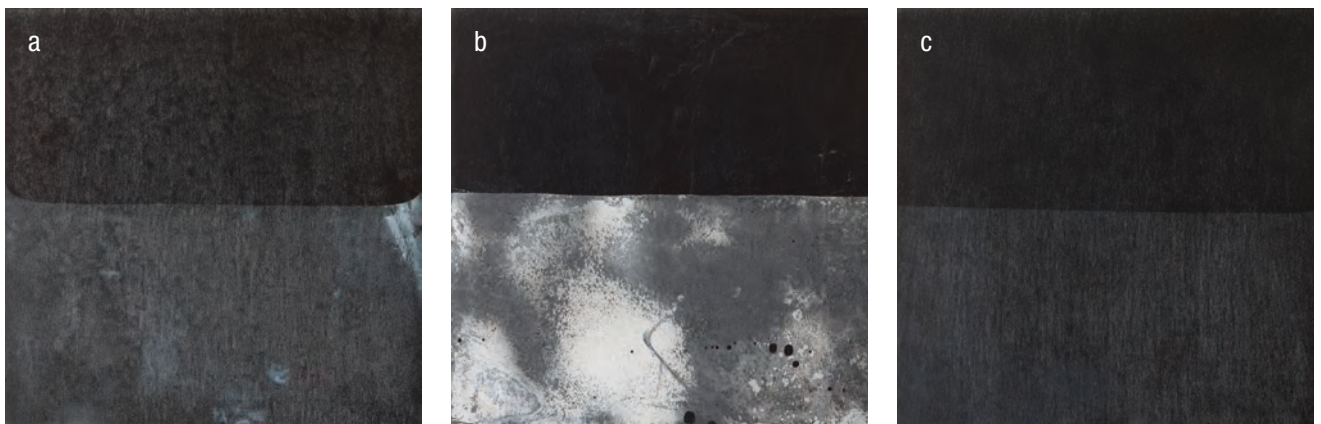


Abb. 45: Oberfläche von Plättchen aus Ultramid[®] A3WG6 HRX sw 23591 (a), B3WG6 sw 564 (b) und S3WG6 sw 564 (c) nach Lagerung (halb eingetaucht) in 50%iger wässriger Zinkchloridlösung für 200 Stunden bei Raumtemperatur

¹⁷ Nach Lagerung in wässriger 50%iger ZnCl₂-Lösung bei 23°C über 200 Stunden dürfen keine Risse auf der Oberfläche sichtbar sein.

Ultramid[®], Ultradur[®] und

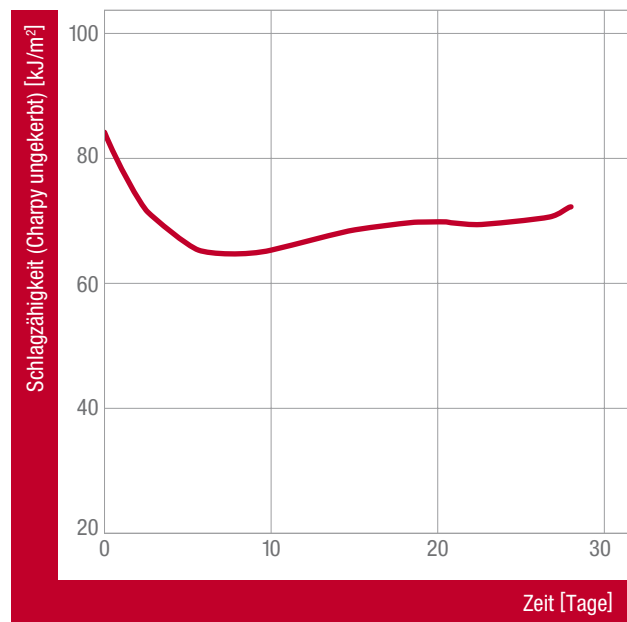
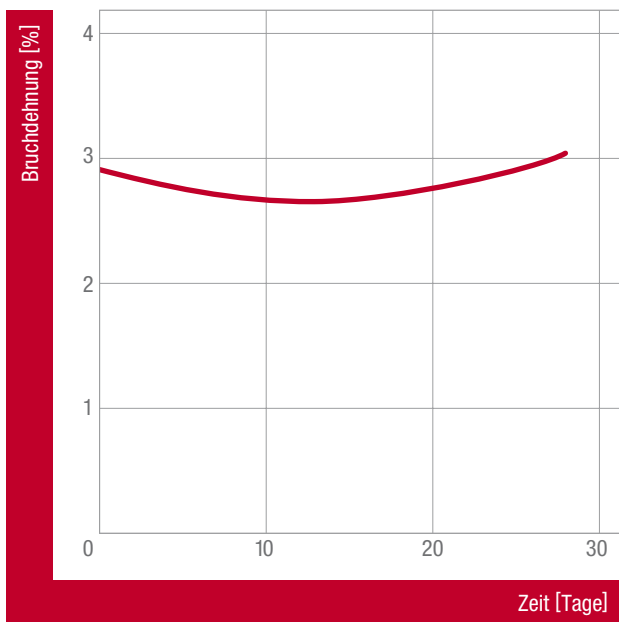
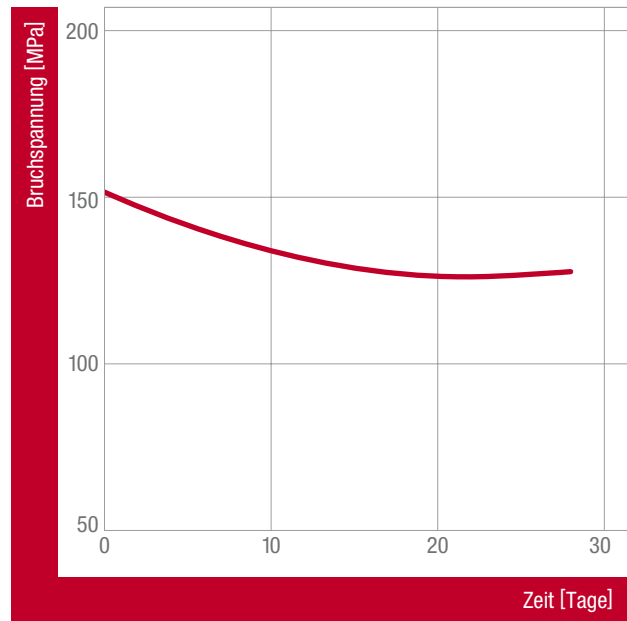
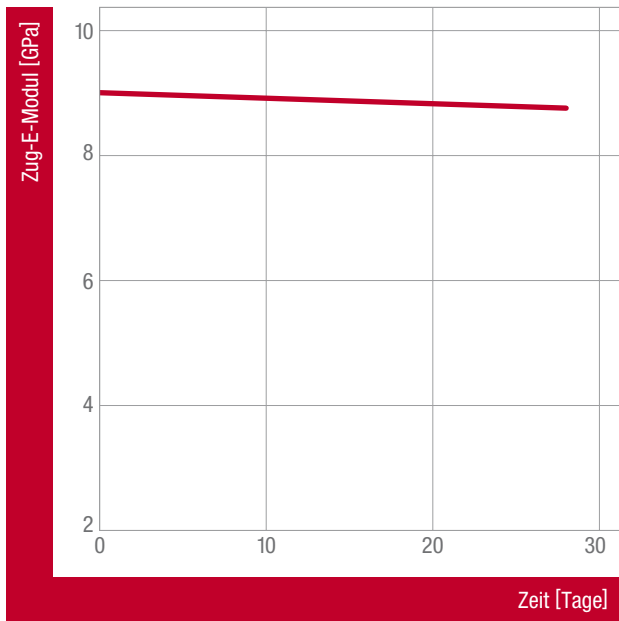


Abb. 46: Lagerung von Ultramid[®] TKR 4357G6 in wässriger, 50%iger Zinkchloridlösung bei 60 °C

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Calciumchloridlösungen

Calciumchlorid wird zum Beispiel in Japan, Russland, aber auch zunehmend in Mitteleuropa als Streusalzkomponente eingesetzt. Ähnlich wie beim Kontakt mit Zinkchloridlösung gilt, dass Ultramid[®] A und B gegenüber Calciumchloridlösungen spannungsrissempfindlich sind, während Ultramid[®] S, T und auch Ultradur[®] eine deutlich geringere Empfindlichkeit aufweisen. Das Beispiel in Abbildung 47 illustriert diese Aussage anhand einer Beständigkeitsprüfung nach einer OEM-Norm. Die Plättchen werden 30 Minuten bei Raumtem-

peratur in einer gesättigten Lösung von Calciumchlorid in einer Mischung aus Wasser und Ethanol gelagert. Es erfolgt im Anschluss eine visuelle Begutachtung. Ultramid[®] A und B zeigen deutliche Veränderungen der Oberfläche, die anderen Werkstoffe nicht.

Fahrzeugbauteile, die Kontakt mit Spritzwasser haben können, sollten grundsätzlich möglichst frei von mechanischen Spannungen sein.

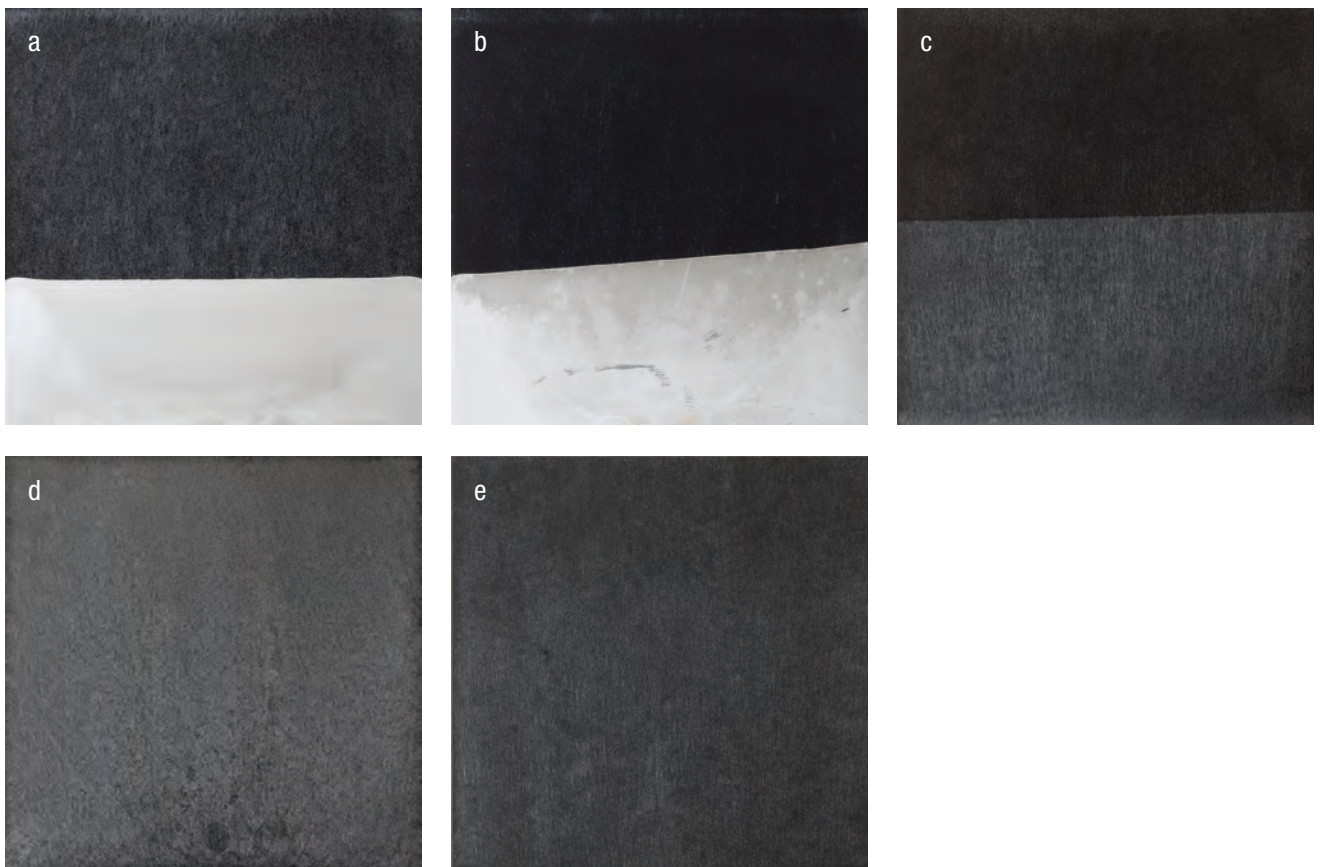


Abb. 47: Oberfläche von Plättchen aus Ultramid[®] A (a), B (b), S (c) und T (d) sowie Ultradur[®] (e) nach Lagerung (halb eingetaucht) in gesättigter Calciumchloridlösung für 30 Minuten bei Raumtemperatur

Ultramid[®], Ultradur[®] und

Mineralsäuren

Unter dem Sammelbegriff Mineralsäuren werden die starken anorganischen Säuren Salzsäure (Chlorwasserstoffsäure, HCl), Schwefelsäure (H₂SO₄), Salpetersäure (HNO₃) und Phosphorsäure (H₃PO₄) zusammengefasst. Mineralsäuren liegen in wässriger Lösung stark dissoziiert vor, d.h. in der Lösung ist die Konzentration der sauren Oxoniumionen (H₃O⁺) in derselben Größenordnung wie die Säurekonzentration.

Ultramid[®] A und B sind bei moderaten Temperaturen gegen verdünnte Säuren resistent. Je nach Einwirkdauer kommt es bei erhöhter Säurekonzentration und höheren Temperaturen zu einer Schädigung des Materials.

Die Abbildungen 48 und 49 zeigen am Beispiel von Ultramid[®] B3WG6 GP die Temperaturabhängigkeit der Beständigkeit von Ultramid[®] gegenüber verdünnten Säuren. Nach 1.000-stündiger Lagerung in einer 0,1 molaren Mischung aus den Mineralsäuren HCl, H₂SO₄, HNO₃ (Mischungsverhältnis 1:1:1, Gesamtsäurekonzentration 0,1 mol/l, pH 1) bei 90 °C beobachtet man einen Abfall der Zugfestigkeit nach Rücktrocknung um etwa 30 %. Die Rücktrocknung der Probekörper ermöglicht, die Materialschädigung unabhängig vom weichmachenden Effekt der Wasserquellung zu untersuchen, da bei Lagerung in verdünnter Säure ein Großteil des Abfalls der Zugfestigkeit durch die Quellung zustande kommt. Bei erhöhter Temperatur (150 °C) ist bereits nach 180 Stunden in der entsprechenden Mischung ein Abfall der Zugfestigkeit um 80 % im rückgetrockneten Zustand zu beobachten, was einem Versagen des Materials gleichkommt.

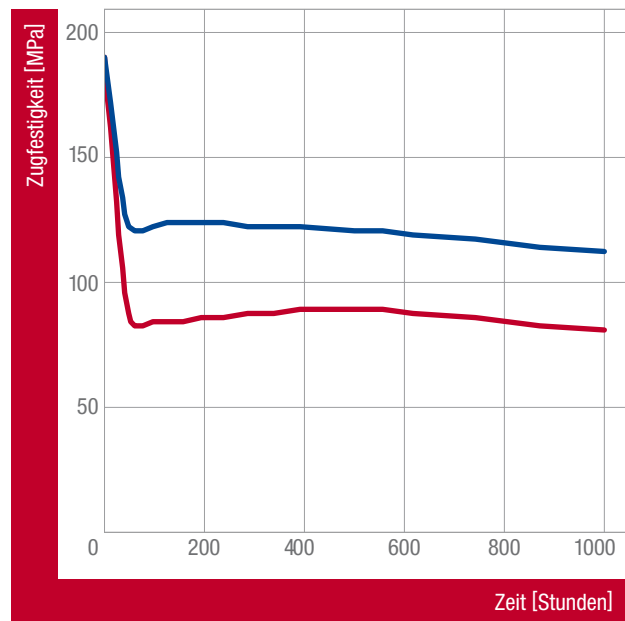


Abb. 48: Zugfestigkeit von Ultramid[®] B3WG6 GP sw 23210 nach Lagerung in einer Mischung aus HCl/H₂SO₄/HNO₃ (pH 1) bei 90 °C
rot: Prüfung direkt nach Lagerung
blau: Prüfung nach Rücktrocknung

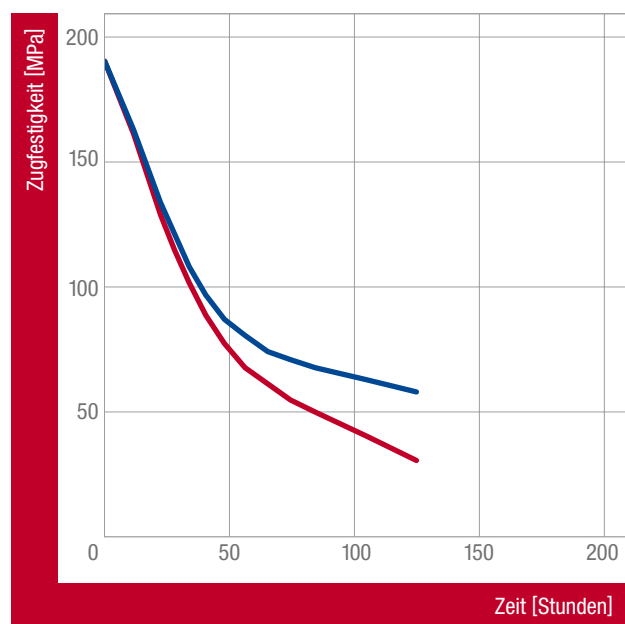


Abb. 49: Zugfestigkeit von Ultramid[®] B3WG6 GP sw 23210 nach Lagerung in einer Mischung aus HCl/H₂SO₄/HNO₃ (pH 1) bei 150 °C
rot: Prüfung direkt nach Lagerung
blau: Prüfung nach Rücktrocknung

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Ultraform[®] ist gegen verdünnte Mineralsäuren bei Raumtemperatur beständig, bei erhöhter Temperatur bzw. bei konzentrierten Säuren ist für Ultraform[®] allerdings schon nach kurzer Einwirkdauer eine erhebliche Schädigung des Materials zu beobachten.

Abbildung 50 zeigt die Streckspannung von Ultraform[®] S1320 003 nach Lagerung in 5%iger Schwefelsäure. Ein Abfall ist über die Zeitspanne von 40 Tagen nicht zu beobachten. Im Gegensatz dazu fällt bei der Lagerung in 20%iger Schwefelsäure bei 50 °C die Zugfestigkeit (Abb. 51) bereits im Zeitraum von 20 Tagen komplett ab.

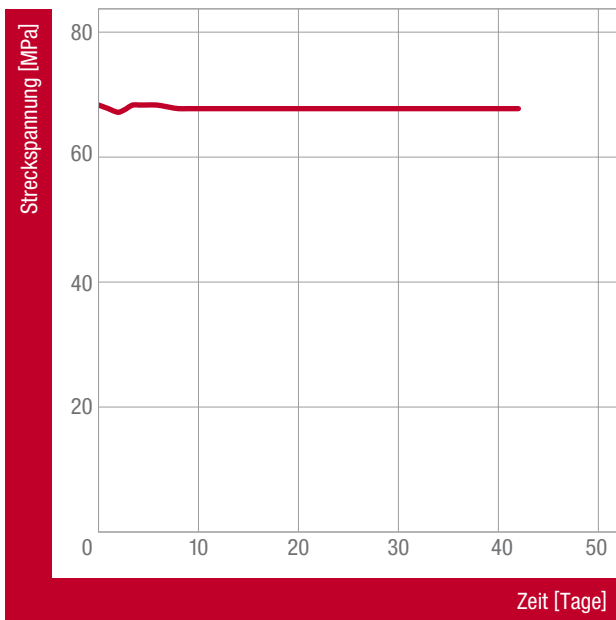


Abb. 50: Streckspannung von Ultraform[®] S1320 003 nach Lagerung in 5%iger Schwefelsäure bei Raumtemperatur

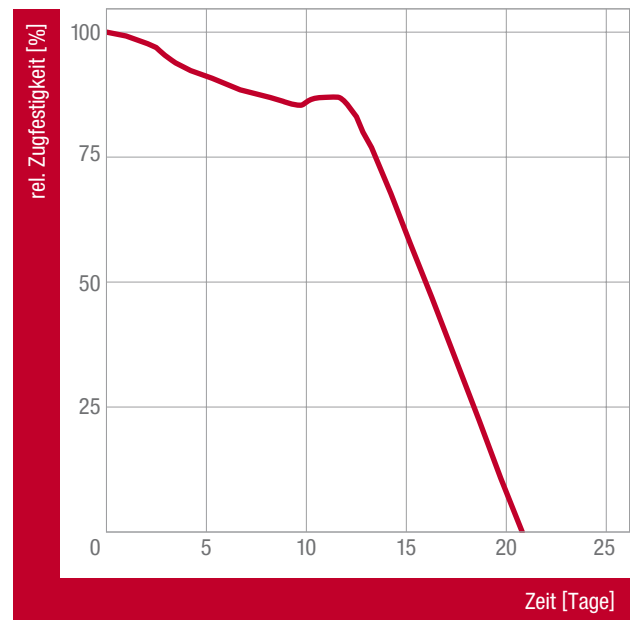


Abb. 51: Relative Zugfestigkeit von Ultraform[®] S1320 003 nach Lagerung in 20%iger Schwefelsäure bei 50 °C

Ultramid[®], Ultradur[®] und

Ultradur[®] ist gegen verdünnte Mineralsäuren bei Raumtemperatur gut beständig. Bei erhöhter Temperatur bzw. beim Kontakt mit konzentrierten Säuren kann es allerdings schon nach kurzer Einwirkzeit zu einer erheblichen Schädigung kommen.

In Abbildung 52 ist als wichtiges anwendungsrelevantes Beispiel die Lagerung von Ultradur[®] B4300 G6 und Ultradur[®] B4330 G6 HR in saurem Testabgas gezeigt. Sowohl Ultradur[®] B4300 G6 als auch Ultradur[®] B4330 G6 HR zeigen unter den gegebenen Bedingungen einen akzeptablen Abfall der Reißfestigkeit. Ultradur[®] B4330 G6 HR weist nach 3.000 Stunden noch eine Bruchspannung von 70% des Ausgangswertes auf.

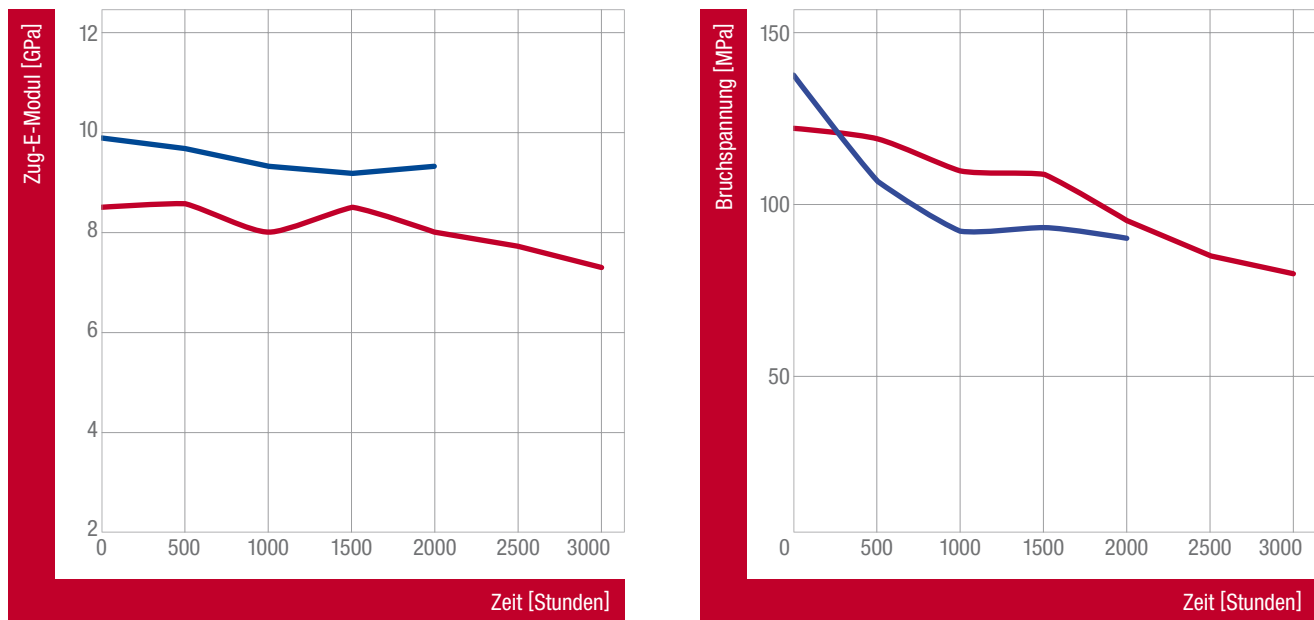


Abb. 52: Lagerung von Ultradur[®] B4300 G6 sw Q16 15007 (blau) und B4330 G6 HR sw15045 (rot) in saurem Testabgas (5000 ppm NO_x, 50 ppm SO₂, je 10 Vol-% O₂, H₂O, CO₂, Rest N₂, pH ca. 1,7); getestet wurde in Prüfzyklen von je 168 Stunden (24 Stunden 80 °C, 48 Stunden 20 °C, 24 Stunden 80 °C, 72 Stunden 20 °C).

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform[®]

Handelsübliche Ultraform[®]- und Ultramid[®]-Typen sind gegenüber nitrosen Gasen und Schwefeldioxid in Gegenwart von Luftfeuchte unbeständig. Trotzdem gibt es Anwendungen, in denen Ultramid[®] im Kontakt mit nitrosen Gasen steht, z. B. in Ladeluftrohren und Saugrohren mit Abgasrückführung. Hier kann es zwar zu einer lokalen Schädigung der Oberfläche kommen. Diese führt aber häufig nicht zum Versagen des Bauteils, weil die Risse nur wenige μm tief sind. Im Einzelfall hängt die Eignung von der Zusammensetzung der Abgase und den lokalen geometrischen Gegebenheiten ab.

Abbildung 53 zeigt die Oberfläche der Innenseite eines Ladeluftrohrs aus Ultramid[®] A3W2G6. Ein Muster dieses Bauteils wurde einer Lebensdauerprüfung auf einem Motorprüfstand unterzogen, ein anderes durch thermische Alterung vorgeschädigt und danach in Anlehnung an VDA 230-214 mit Abgaskondensat belastet. Aufgrund dieser Untersuchung ist davon auszugehen dass vor allem kondensiertes Abgas, das als Pfütze am Boden eines Bauteils steht, die Oberfläche schädigt.

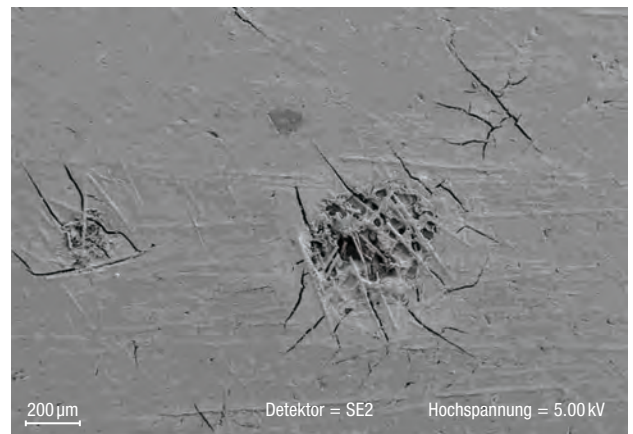
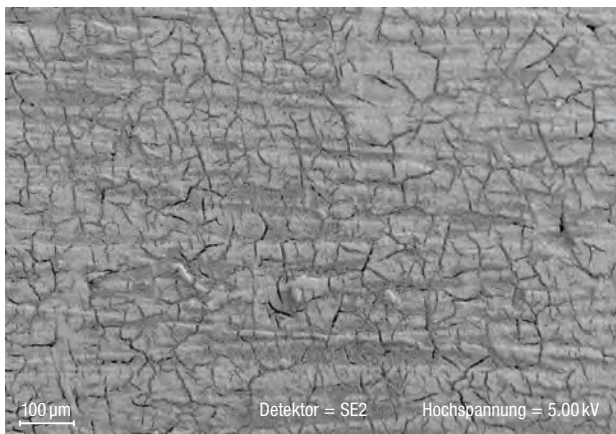


Abb. 53: Oberfläche der Innenseite eines Ladeluftrohrs aus Ultramid[®] A3W2G6. Links: Nach Lebensdauerprüfung auf einem Motorprüfstand zeigen sich Risse von ca. $10\ \mu\text{m}$ Tiefe. Rechts: Das Bauteil wurde 2.000 Stunden bei $140\ ^\circ\text{C}$ gealtert und danach einer Korrosionsprüfung in Anlehnung an VDA 230-214 unterzogen. Dabei kann sich Abgaskondensat an einzelnen Stellen konzentrieren. In diesen Bereichen ist das Material sichtbar geschädigt mit Risstiefen von ca. $100\ \mu\text{m}$.

Ultramid[®], Ultradur[®] und

Organische Säuren

Unter organischen Säuren versteht man solche organischen Verbindungen, die durch Dissoziation Protonen (H⁺) abgeben und dadurch sauer reagieren können. Falls das Lösungsmittel Wasser (H₂O) ist, wird dadurch die Konzentration an Oxonium-Ionen (H₃O⁺) signifikant erhöht und der pH-Wert erniedrigt (pH < 7). Organische Verbindungen, die unter die o. g. allgemeine Definition von organischen Säuren fallen, sind z. B. Carbonsäuren (z. B. Ameisensäure, Essigsäure, Zitronensäure, Benzoesäure etc.), Sulfonsäuren, Phosphonsäuren, Phenole.

Meist wird der Begriff organische Säure mit Carbonsäure bzw. einer schwachen Säure gleichgesetzt. In diesem Kapitel soll unter organische Säure eine schwache Säure verstanden werden. Schwache Säuren sind im Gegensatz zu Mineralsäuren (starke Säuren) in Wasser schwach dissoziiert und senken somit den pH-Wert um mehrere Einheiten weniger als Mineralsäuren. Dies soll anhand des folgenden Beispiels veranschaulicht werden: Eine 0,1 molare (mol/l) wässrige Essigsäurelösung hat bei Raumtemperatur einen pH-Wert von ca. 3; die Essigsäure liegt nur zu ca. 1% dissoziiert vor; eine ebenso konzentrierte Salzsäure hat hingegen einen pH-Wert von ca. 1 (100 mal so sauer) und liegt praktisch zu 100% dissoziiert vor.

Im festen Zustand sind schwache organische Säuren wie z. B. Benzoesäure oder Zitronensäure für Ultramid[®], Ultradur[®] und Ultraform[®] unkritisch. Eine Schädigung findet höchstens an der Oberfläche des Werkstoffs statt und führt in der Regel nicht zum Bauteilversagen.

Liegen hingegen die schwachen organischen Säuren in wässriger Lösung vor, so ergibt sich ein differenziertes Bild hinsichtlich Beständigkeit, je nach Säurekonzentration, Temperatur und Kontaktzeit: So weist z. B. Ultraform[®] S1320 003 in 5%iger wässriger Ameisensäure bei Raumtemperatur eine für viele Anwendungen ausreichende Beständigkeit auf (Abbildung 54).

In 20%iger Ameisensäure bei 50 °C hingegen versagt das gleiche Produkt schon nach relativ kurzer Zeit. In 10%iger Zitronensäure bei 50 °C ist der Werkstoff dagegen bedingt beständig.

Ultramid[®] und Ultradur[®] zeigen gegenüber wässrigen organischen Säuren ein ähnlich differenziertes Verhalten.

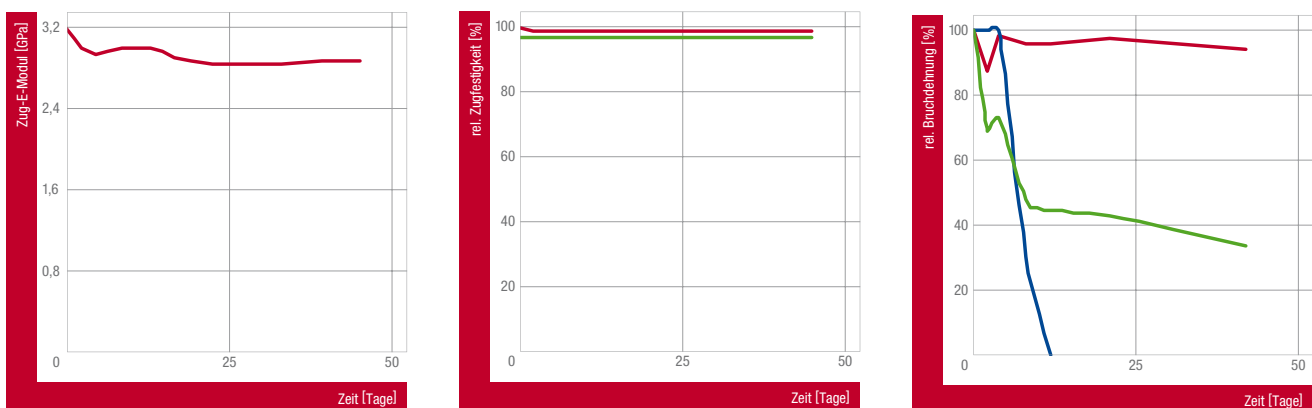


Abb. 54: Lagerung von Ultraform[®] S1320 003 in 5%iger wässriger Ameisensäure bei Raumtemperatur (rot), in 20%iger Ameisensäure bei 50 °C (blau), in 10%iger Zitronensäure bei 50 °C (grün)

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultraform®

Oxidationsmittel

Ganz allgemein sind Oxidationsmittel chemische Verbindungen, die bei chemischen Reaktionen eine höhere Elektronenaffinität besitzen als ihr Reaktionspartner. Im Reaktionsprodukt sind folglich die Bindungselektronen stärker bei dem Reaktionspartner lokalisiert, der aus dem Oxidationsmittel stammt. Der Grenzfall eines vollständigen Elektronenübergangs auf das Oxidationsmittel führt zur Bildung eines Salzes. Ob eine bestimmte Verbindung in einer chemischen Reaktion als Oxidationsmittel auftritt oder als Reduktionsmittel, hängt immer vom Verhältnis der Elektronenaffinitäten der beiden Reaktanden ab. Aufgrund ihrer hohen Elektronenaffinität nehmen z. B. die elementaren Halogene (Fluor, Chlor, Brom, Jod) in den allermeisten Fällen die Rolle des Oxidationsmittels in einer Reaktion ein. Dasselbe gilt für elementaren Sauerstoff, Ozon (O_3) und Peroxide wie Wasserstoffperoxid (H_2O_2).

Im engeren Sinn sind Oxidationsmittel sauerstoffhaltige Verbindungen, die bei einer Reaktion Sauerstoff auf den Reaktionspartner übertragen. Typische Vertreter dieser Stoffklasse sind elementarer Sauerstoff (O_2), Ozon (O_3), Sauerstoffverbindungen der Halogene (z. B. Hypochlorite $-OCl$, Chlorite $-OClO$, Chlorate $-OClO_2$, Perchlorate $-OClO_3$) oder andere sauerstoffreiche Verbindungen, z. B. konzentrierte Salpetersäure, Nitrate, Wasserstoffperoxid oder Kaliumpermanganat. Luftsauerstoff (O_2) selbst weist unter normalen

Bedingungen nur geringe Reaktivität auf. Gasgemische, die einen höheren Sauerstoffanteil als Luft haben, können deutlich schnellere und heftigere Reaktionsabläufe als Luft hervorrufen. Trockene salzartige Oxidationsmittel (z. B. Natriumnitrat, Kaliumpermanganat) können bei Raumtemperatur in Kunststoffbehältern über längere Zeit aufbewahrt werden. Der Kontakt zu sehr reaktiven flüssigen (z. B. elementares Brom) oder gasförmigen (z. B. elementares Chlor) Oxidationsmitteln ist grundsätzlich zu vermeiden.

Handelsübliche Ultraform®-Typen sind gegenüber Oxidationsmitteln wie Ozon oder elementarem Chlor (Halogene), die in Gegenwart von Luft oder Wasser starke Säuren freisetzen, unbeständig. Hier besteht Grund zur Annahme, dass die Abbaureaktion in erheblichem Maße über eine säurekatalysierte Acetalspaltung abläuft.

Findet die Oxidation hingegen unter alkalischen Bedingungen statt, z. B. beim Einsatz einer wässrigen Natriumhypochloritlösung (Natronbleichlauge), so ist Ultraform® deutlich beständiger. So kann z. B. Ultraform® S1320 003 über mehr als 40 Tage in einer 12,5%igen wässrigen Natronbleichlauge bei Raumtemperatur gelagert werden – ohne nennenswerte Einbußen in den mechanischen Eigenschaften (Abbildung 55) und im Gewicht der Prüfstäbe (Abnahme < 1%).

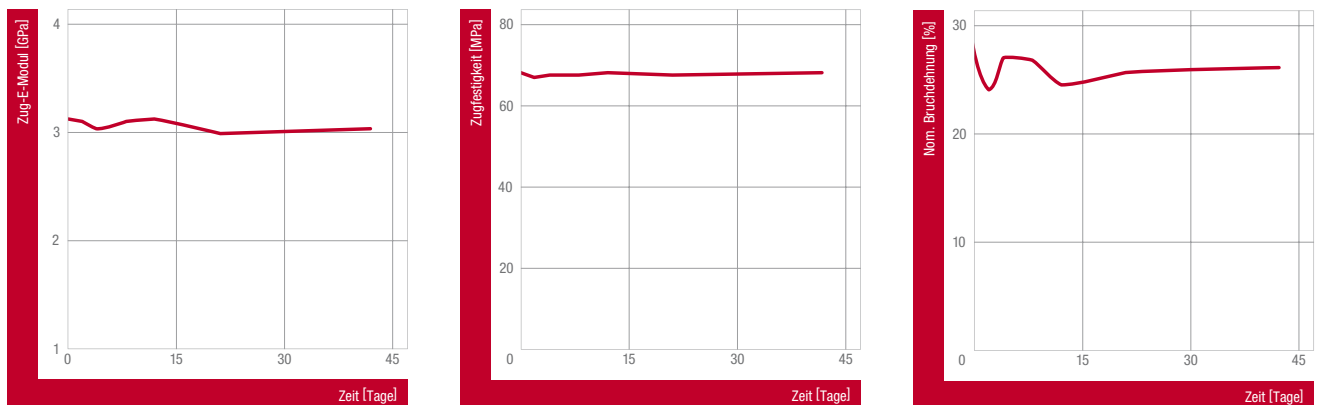


Abb. 55: Lagerung von Ultraform® S1320 003 in 12,5%iger Natronbleichlauge bei Raumtemperatur

Ultramid[®], Ultradur[®] und

Bei 50 °C hingegen erfährt der Probekörper mit den Abmessungen 80x10x4 mm³ schon nach 3 Tagen einen Masseverlust von ca. 30%.

Ultramid[®] TKR 4355 G7 sw 564, das für 72 Stunden bei 38 °C Ozon (2 ppm in Luft) ausgesetzt wurde, zeigt eine leichte Aufhellung in der Farbe (Abbildung 56). Die in Tabelle 3 aufgeführten mechanischen Eigenschaften bleiben jedoch weitgehend erhalten. Eine Konzentration von 2 ppm Ozon entspricht etwa dem 18-fachen des 2008 in der EU festgelegten Alarmschwellenwertes von 240 µg/m³.

Tab. 3: Eigenschaften von Ultramid[®] TKR 4355 G7 sw 564

Eigenschaft	Ausgangswert	nach Ozonkontakt
Zug-E-Modul [GPa]	11,6	11
Bruchspannung [MPa]	195	185
Bruchdehnung [%]	2,7	2,6



Abb. 56: Prüfstäbe aus Ultramid[®] TKR 4355 G7 sw 564 vor und nach Ozoneinwirkung. Die Farbe der Prüfstäbe hat sich durch die Ozoneinwirkung etwas aufgehellt, die Werkstoffeigenschaften bleiben aber weitgehend erhalten.

Literaturverzeichnis

Übersichtswerke

- Gottfried W. Ehrenstein, Sonja Pongratz, Beständigkeit von Kunststoffen, Carl Hanser Verlag, 2007
- Gerhard W. Becker, Dietrich Braun, Ludwig Bottenbruch, Kunststoff Handbuch Band 3/1, Technische Thermoplaste-Polycarbonate, Polyacetale, Polyester, Celluloseester, Carl Hanser Verlag, 1992
- Gerhard W. Becker, Dietrich Braun, Ludwig Bottenbruch, Rudolf Binsack, Kunststoff Handbuch Band 3/4, Technische Thermoplaste – Polyamide, Carl Hanser Verlag, 1998

Prüfnormen

Ermittlung mechanischer Kennwerte

- DIN EN ISO 527-1: Kunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften – Teil 1: Allgemeine Grundsätze
- DIN EN ISO 527-2: Kunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften – Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen
- DIN EN ISO 179-1: Kunststoffe – Bestimmung der Charpy-Schlageigenschaften – Teil 1: Nicht instrumentierte Schlagzähigkeitsprüfung
- DIN EN ISO 179-2: Kunststoffe – Bestimmung der Charpy-Schlageigenschaften – Teil 2: Instrumentierte Schlagzähigkeitsprüfung

Prüfung auf Spannungsrisssbeständigkeit

- DIN EN ISO 22088-3: Kunststoffe – Bestimmung der Beständigkeit gegen umgebungsbedingte Spannungsrisbildung (ESC) – Teil 3: Biegestreifenverfahren

Korrosionsprüfung

- VDA 230-214: Beständigkeit metallischer Werkstoffe gegen Kondensat-Korrosion in abgasführenden Bauteilen – Prüfmethode

Prüfkraftstoffe

- DIN ISO 1817: Elastomere – Bestimmung des Verhaltens gegenüber Flüssigkeiten
- SAE J1681: Gasoline, Alcohol, and Diesel Fuel Surrogates for Material Testing

Konditionieren von Polyamiden

- DIN EN ISO 1110: Kunststoffe – Polyamide – Beschleunigte Konditionierung von Probekörpern

BASF-Broschüren

- Ultramid® Hauptbroschüre, 2010
- Konditionieren von Fertigteilen aus Ultramid®, 2010
- Ultradur® Hauptbroschüre, 2010
- Ultraform® Hauptbroschüre, 2010

Näheres zum Chemikalienverhalten von Ultrason® (PSU, PESU, PPSU) finden Sie in der BASF-Broschüre „Verhalten von Ultrason® gegenüber Chemikalien“, 2010.



Übersicht

Tab. 4: Übersicht über die Medienbeständigkeit von Ultramid[®], Ultradur[®] und Ultraform[®]

	Ultramid [®] A	Beispiele	Ultramid [®] B	Beispiele	Ultramid [®] S
gut beständig: Erfahrungswert aus zahlreichen Anwendungen unter den dort typischen Bedingungen	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	Erdgas, Kraftstoffe (Otto, Diesel), Paraffinöl, Motoröle, technische Fette und Schmierstoffe	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	Erdgas, Kraftstoffe (Otto, Diesel), Paraffinöl, Motoröle, technische Fette und Schmierstoffe	Aliphatische Kohlenwasserstoffe
	Aromatische Kohlenwasserstoffe	Benzol, Toluol	Aromatische Kohlenwasserstoffe	Benzol, Toluol	Aromatische Kohlenwasserstoffe
	Alkalien	Kernseife, Waschlaugen, alkalischer Beton	Alkalien	Kernseife, Waschlaugen, alkalischer Beton	Alkalien
	Ethylenglycol	Brems-, Hydraulikflüssigkeiten			Ethylenglycol
	Ether	THF, Antiklopfmittel für Kraftstoffe (TBME, ETBE)	Ether	THF, Antiklopfmittel für Kraftstoffe (TBME, ETBE)	Ether
	Ester	Fette, Speiseöle, Motoröle, Tenside (z.B. Natriumdodecylsulfat)	Ester	Fette, Speiseöle, Motoröle, Tenside (organischer Phosphorsäureester)	Ester
	Aliphatische Alkohole	< 60 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe (E10, E50, E90)	Aliphatische Alkohole	< 60 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe (E10, E50, E90)	Aliphatische Alkohole
	Wasser & wässrige Lösungen	Trinkwasser, Meerwasser, Getränke	Wasser & wässrige Lösungen	Trinkwasser, Meerwasser, Getränke	Wasser & wässrige Lösungen
	Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoesäure	Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoesäure	Organische Säuren
Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel	
bedingt beständig: Anwendungen bekannt, gründliche Prüfung und Bewertung in jedem Einzelfall erforderlich	Alkalien	Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine	Alkalien	Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine	Alkalien
	Ethylenglycol	Kühlflüssigkeiten			Ethylenglycol
	Ester	Getriebeöle, Biodiesel	Ester	Getriebeöle, Biodiesel	Ester
	Aliphatische Alkohole	> 60 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe	Aliphatische Alkohole	> 60 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe	Aliphatische Alkohole
	Wasser & wässrige Lösungen	gechlortes Trinkwasser	Wasser & wässrige Lösungen	gechlortes Trinkwasser	Wasser & wässrige Lösungen
	Organische Säuren	als wässrige Lösung Essigsäure, Citronensäure, Ameisensäure, Benzoesäure	Organische Säuren	als wässrige Lösung Essigsäure, Citronensäure, Ameisensäure, Benzoesäure	Organische Säuren
	Oxidationsmittel	Spuren von Ozon, Chlor oder nitrosen Gasen	Oxidationsmittel	Spuren von Ozon, Chlor oder nitrosen Gasen	Oxidationsmittel

Kommentar: Verfärbung der Probekörper wird bei der Beurteilung der Beständigkeit nicht betrachtet

Beispiele	Ultramid® T	Beispiele	Ultradur®	Beispiele	Ultraform®	Beispiele
Erdgas, Kraftstoffe (Otto, Diesel), Paraffinöl, Motoröle, technische Fette und Schmierstoffe	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	Erdgas, Kraftstoffe (Otto, Diesel), Paraffinöl, Motoröle, technische Fette und Schmierstoffe	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	Erdgas, Kraftstoffe (Otto, Diesel), Paraffinöl, Motoröle, technische Fette und Schmierstoffe	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	Erdgas, Kraftstoffe (Otto, Diesel), Paraffinöl, Motoröle, technische Fette und Schmierstoffe
Benzol, Toluol	Aromatische Kohlenwasserstoffe	Benzol, Toluol	Aromatische Kohlenwasserstoffe	Benzol, Toluol (bei erhöhten Temperaturen starke Quellung möglich)	Aromatische Kohlenwasserstoffe	Benzol, Toluol
Kernseife, Waschlaugen, alkalischer Beton	Alkalien	Kernseife, Waschlaugen, alkalischer Beton			Alkalien	Kernseife, Waschlaugen, alkalischer Beton
Brems-, Hydraulikflüssigkeiten, Kühflüssigkeiten	Ethylenglycol	Brems-, Hydraulikflüssigkeiten			Ethylenglycol	Brems-, Hydraulikflüssigkeiten
THF, Antiklopfmittel für Kraftstoffe (TBME, ETBE)	Ether	THF, Antiklopfmittel für Kraftstoffe (TBME, ETBE)			Ether	Antiklopfmittel für Kraftstoffe (TBME, ETBE)
Fette, Speiseöle, Motoröle, Tenside (z. B. Natriumdodecylsulfat)	Ester	Fette, Speiseöle, Motoröle, Tenside (z. B. Natriumdodecylsulfat)	Ester	Fette, Speiseöle, Motoröle	Ester	Fette, Speiseöle, Motoröle, Tenside (z. B. Natriumdodecylsulfat), Biodiesel
< 60 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe (E10, E50, E90)	Aliphatische Alkohole	< 60 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe (E10, E50, E90)	Aliphatische Alkohole	< 40 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe (E10, E50, E90)	Aliphatische Alkohole	< 60 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe (E10, E50, E90)
Trinkwasser, Meerwasser, Getränke, Streusalz, Calciumchlorid- und Zinkchloridlösungen	Wasser & wässrige Lösungen	Trinkwasser, Meerwasser, Getränke, Streusalz-, Calciumchlorid- und Zinkchloridlösungen	Wasser & wässrige Lösungen	< 40 °C Trinkwasser, Meerwasser, Getränke, Streusalz-, Calciumchlorid- und Zinkchloridlösungen, feuchtes Klima	Wasser & wässrige Lösungen	Trinkwasser, Meerwasser, Getränke
im festen Zustand Citronensäure, Benzoesäure	Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoesäure	Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoesäure	Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoesäure
Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil
Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine	Alkalien	Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine	Alkalien	schwach alkalische Medien: Harnstofflösung, Natronlauge pH 10	Alkalien	Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine
Kühflüssigkeiten	Ethylenglycol	Kühflüssigkeiten			Ethylenglycol	Kühflüssigkeiten
					Ether	Tetrahydrofuran (THF)
Getriebeöle, Biodiesel	Ester	Getriebeöle, Biodiesel	Ester	Getriebeöle		
> 60 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe	Aliphatische Alkohole	> 60 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe			Aliphatische Alkohole	> 60 °C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frostschutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraftstoffe
gechlortes Trinkwasser	Wasser & wässrige Lösungen	gechlortes Trinkwasser	Wasser & wässrige Lösungen	40-90 °C: feuchtes Klima	Wasser & wässrige Lösungen	gechlortes Trinkwasser, wässrige Lösungen von Zinkchlorid
als wässrige Lösung Essigsäure, Citronensäure, Ameisensäure, Benzoesäure	Organische Säuren	als wässrige Lösung Essigsäure, Citronensäure, Ameisensäure, Benzoesäure			Organische Säuren	als verdünnte wässrige Lösung Essigsäure, Citronensäure, Ameisensäure, Benzoesäure
Spuren von Ozon, Chlor oder nitrosen Gasen	Oxidationsmittel	Spuren von Ozon, Chlor oder nitrosen Gasen				

Übersicht

Tab. 4: Übersicht über die Medienbeständigkeit von Ultramid®, Ultradur® und Ultraform®

	Ultramid® A	Beispiele	Ultramid® B	Beispiele	Ultramid® S
unbeständig					
	Mineralsäuren	konzentrierte Salzsäure, Batteriesäure, Schwefelsäure, Salpetersäure	Mineralsäuren	konzentrierte Salzsäure, Batteriesäure, Schwefelsäure, Salpetersäure	Mineralsäuren
	Oxidationsmittel	Halogene, Oleum, Wasserstoffperoxid, Ozon, Hypochlorit	Oxidationsmittel	Halogene, Oleum, Wasserstoffperoxid, Ozon, Hypochlorit	Oxidationsmittel
Spannungsrisssauslösend	wässrige Lösungen von Calciumchlorid	Streusalz	wässrige Lösungen von Calciumchlorid	Streusalz	
	wässrige Lösungen von Zinkchlorid	Streusalzlösung in Kontakt mit verzinkten Bauteilen	wässrige Lösungen von Zinkchlorid	Streusalzlösung in Kontakt mit verzinkten Bauteilen	
Lösungsmittel		Schwefelsäure konz.		Schwefelsäure konz.	
		Ameisensäure 90%		Ameisensäure 90%	
		Hexafluorisopropanol (HFIP)		Hexafluorisopropanol (HFIP)	

Kommentar: Verfärbung der Probekörper wird bei der Beurteilung der Beständigkeit nicht betrachtet

Beispiele	Ultramid® T	Beispiele	Ultradur®	Beispiele	Ultraform®	Beispiele
			Wasser & wässrige Lösungen	> 90 °C: feuchtes Klima		
			Alkalien	stark alkalische Medien: Natronlauge pH 14 Beton/Betonwasser		
					Schwefeldioxid	
					Nitrose Gase	
konzentrierte Salzsäure, Batteriesäure, Schwefel- säure, Salpetersäure	Mineralsäuren	konzentrierte Salzsäure, Batteriesäure, Schwefel- säure, Salpetersäure	Mineralsäuren	konzentrierte Salzsäure, Batteriesäure, Schwefel- säure, Salpetersäure	Mineralsäuren	konzentrierte Salzsäure, Batteriesäure, Schwefel- säure, Salpetersäure
					Organische Säuren	konzentrierte Lösung Essigsäure, Ameisensäure
Halogene, Oleum, Wasserstoffperoxid, Ozon, Hypochlorit	Oxidationsmittel	Halogene, Oleum, Wasserstoffperoxid, Ozon, Hypochlorit	Oxidationsmittel	Halogene, Oleum, Wasserstoffperoxid, Ozon, Natriumhypochlorit bei erhöhter Temperatur	Oxidationsmittel	Halogene, Oleum, Wasserstoffperoxid, Ozon, Natriumhypochlorit bei erhöhter Temperatur
			Natronlauge	10%ige Lösung		
Schwefelsäure konz.		Schwefelsäure konz.				
Ameisensäure 90%		Ameisensäure 90%				
Hexafluorisopropanol (HFIP)		Hexafluorisopropanol (HFIP)		Hexafluorisopropanol (HFIP)		Hexafluorisopropanol (HFIP)
				Dichlorbenzol/Phenol (50/50)		
						N-Methyl-Pyrrolidon (NMP) bei erhöhter Temperatur
						Dimethylformamid (DMF) bei erhöhter Temperatur

Ausgewählte Produktliteratur:

- Ultramid® – Hauptbroschüre
- Ultramid® – Sortimentsübersicht
- Ultradur® – Hauptbroschüre
- Ultradur® – Sortimentsübersicht
- Ultraform® – Hauptbroschüre
- Ultraform® – Sortimentsübersicht
- Ultramid®, Ultradur® und Ultraform® – Verhalten gegenüber Chemikalien

Zur Beachtung

Die Angaben in dieser Druckschrift basieren auf unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Sie befreien den Verarbeiter wegen der Fülle möglicher Einflüsse bei Verarbeitung und Anwendung unseres Produktes nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen. Eine Garantie bestimmter Eigenschaften oder die Eignung des Produktes für einen konkreten Einsatzzweck kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Alle hierin vorliegenden Beschreibungen, Zeichnungen, Fotografien, Daten, Verhältnisse, Gewichte u. Ä. können sich ohne Vorankündigung ändern und stellen nicht die vertraglich vereinbarte Beschaffenheit des Produktes dar. Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Gesetze und Bestimmungen sind vom Empfänger unseres Produktes in eigener Verantwortung zu beachten. (April 2016)

Besuchen Sie auch unsere Internetseiten:

www.plasticsportal.com (Welt)
www.plasticsportal.eu (Europa)

Die einzelnen Produktauftritte finden Sie unter:

www.plasticsportal.eu/Produktname
z. B. www.plasticsportal.eu/ultramid

Broschürenanforderung:

PM/K, F 204
Fax: +49 621 60-49497

Bei technischen Fragen zu den Produkten
wenden Sie sich bitte an den Ultra-Infopoint:

