



Ultramid® , Ultradur® und Ultraform®

Verhalten gegenüber Chemikalien



We create chemistry

Ultramid®[®], Ultradur® und Ultraform®

GRUNDLAGEN	4-7
KURZZEIT-MEDIENBESTÄNDIGKEIT VON ULTRAMID®, ULTRADUR® UND ULTRAFORM®	8-9
LANGZEIT-MEDIENBESTÄNDIGKEIT VON ULTRAMID®, ULTRADUR® UND ULTRAFORM®	10-43
Aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe	10
Alkalien	17
Ethylenglycol	19
Ester	23
Aliphatische Alkohole	25
Wasser und wässrige Lösungen	29
Mineralsäuren	38
Organische Säuren	41
Oxidationsmittel	42
ULTRAMID® ADVANCED (PPA) FÜR HERVORRAGENDE CHEMIKALIENBESTÄNDIGKEIT	44-46
LITERATURVERZEICHNIS	47
ÜBERSICHT	48 - 53

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. Bezuglich 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 Spannungsrisbildung 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 Nachkristallisierungsprozesse 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 Nachkristallisierungsprozesse 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 Tempereffekte 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.

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 gleichmäßig 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 Schadungsreaktionen an der Oberfläche werden dadurch aber nicht verhindert.

Spannungsrisbildung

Spannungsrisssauslösend 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 spannungsrisssauslösenden Medien von Polymerklasse zu Polymerklasse unterschiedlich. Teilkristalline Polymere sind für Spannungsrisbildung weniger anfällig als amorphe Polymere. Die entstehenden Risse können makroskopische Dimensionen haben und zum Zerbrechen 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 Spannungsrisbildung kann lokal und auch bei Einwirkung von nur sehr geringen Mengen entsprechender Medien auftreten. Der Kontakt zu spannungsrisssauslösenden Medien ist deswegen besonders kritisch und sollte vermieden werden. Ist der Kontakt zu einem spannungsrisssauslösenden Medium aus bestimmten Gründen 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 Spannungsrisbildung 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. Ein vergleichbar viskoelastisches Verhalten wie in Abb. 1 dargestellt zeigt auch Ultraform® S2320 003 AT.

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

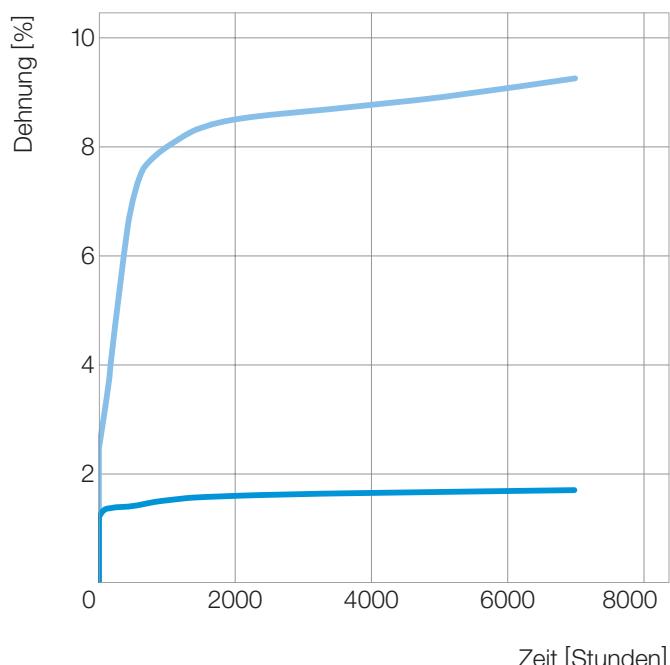


Abb. 1: Zeitstandzugversuch von Ultraform® S2320 003 bei 80°C an Luft (blaue Kurve) und bei 60°C in Kraftstoff FAM-B (hellblaue Kurve) bei einer Zugspannung von 9 MPa

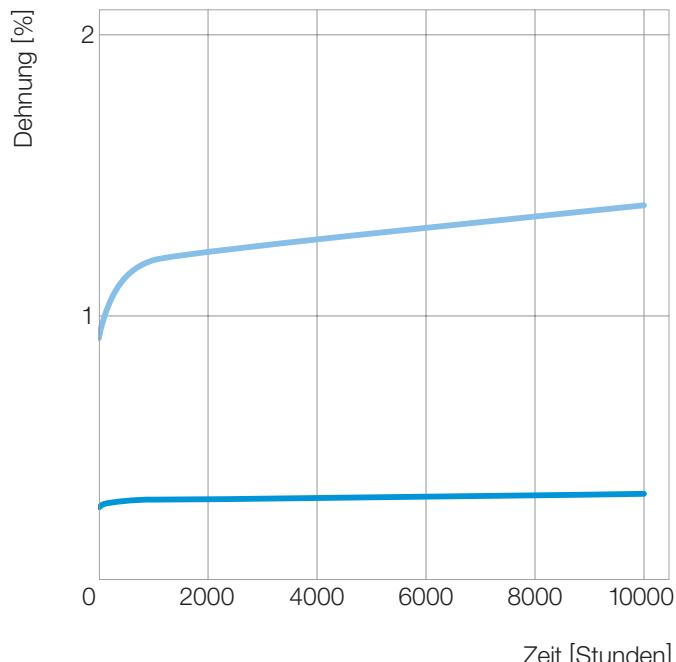


Abb. 2: Zeitstandzugversuch von Ultradur® B4300 G6 sw Q16 15007 bei 60°C an Luft (blaue Kurve) und in Kraftstoff FAM-B (hellblaue Kurve) bei einer Zugspannung von 15 MPa

Kurzzeit-Medienbeständigkeit von Ultramid®, Ultradur® und 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 Batteriesäure 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.

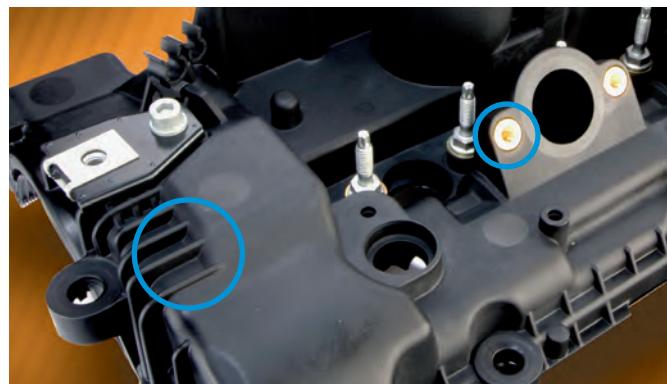


Abb. 3: Typische Kontaktstellen zur Prüfung von Kurzzeit-Medienbeständigkeit

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

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)
Dieselkraftstoff	Keine Oberflächenschäden sichtbar

Tabelle 1: Prüfergebnis eines Bauteils aus Ultramid® im Kurzzeitkontakt mit verschiedenen Chemikalien

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

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

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

✓ keine Spannungsrisse

✗ Spannungsrisse sichtbar

* alle Proben vor Erreichen der 24 Stunden gebrochen

Langzeit-Medienbeständigkeit von Ultramid®, Ultradur® und 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 Entnahmetermin bestimmt.

In den folgenden Abbildungen von Kapitel 3 ist der zeitliche Verlauf der Werkstoffeigenschaften für den Langzeit-Medienkontakt dargestellt. Dementsprechend wurden die Zeiträume zwischen zwei Messpunkten (= Entnahmetermine) 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 Langzeit-Medienbeständigkeit 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 Benzolgrundgerüst 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.

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)

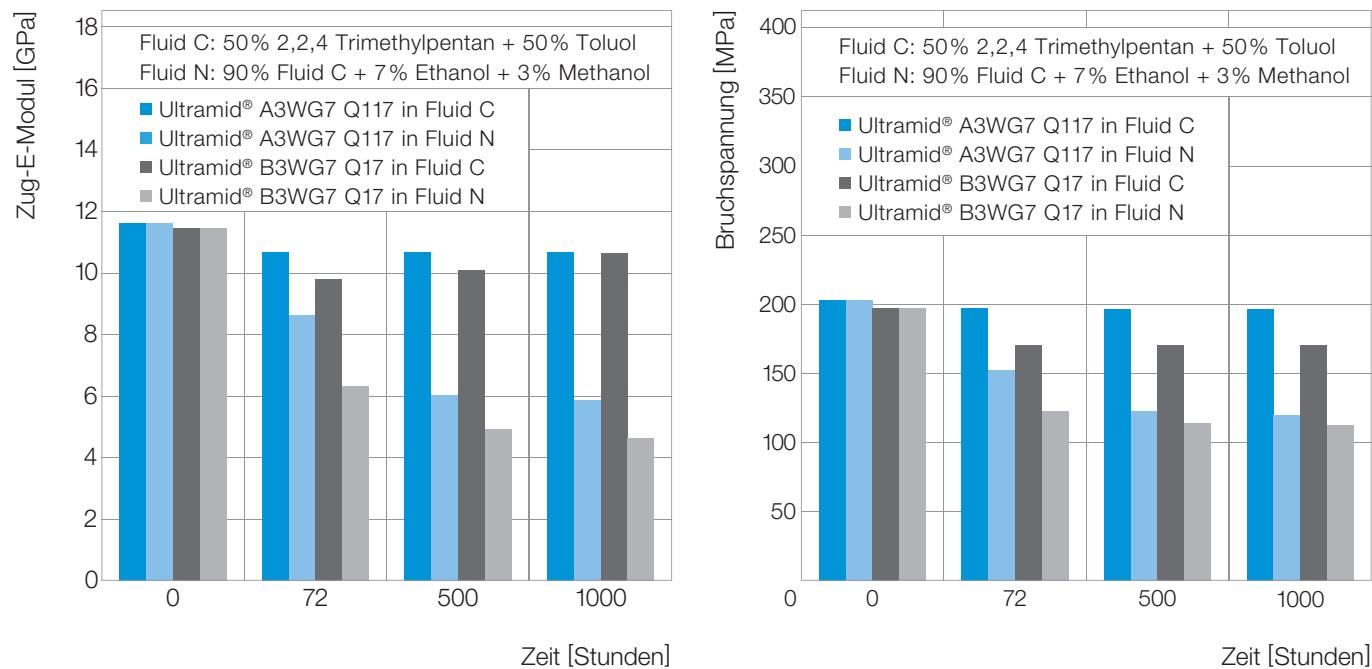


Abb. 6: Beständigkeit von Ultramid® A und B gegen Ottokraftstoffe bei 70°C, Alkohol-Anteile im Benzin führen zu Quellung

In Ottokraftstoff E10 (Sommer, 5-10 Volumenprozent Bioethanol) sind Ultraform® S1320 003 AT und S2320 003 AT bei 65 °C sehr gut beständig. Der E-Modul und die Zugfestigkeit beider Werkstoffe bleiben – nach erfolgter Quellung zu Beginn der Lagerung, die mit einer 2,5 %igen Kraftstoffaufnahme einhergeht – auf konstant hohem Niveau (Abbildung 7).

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

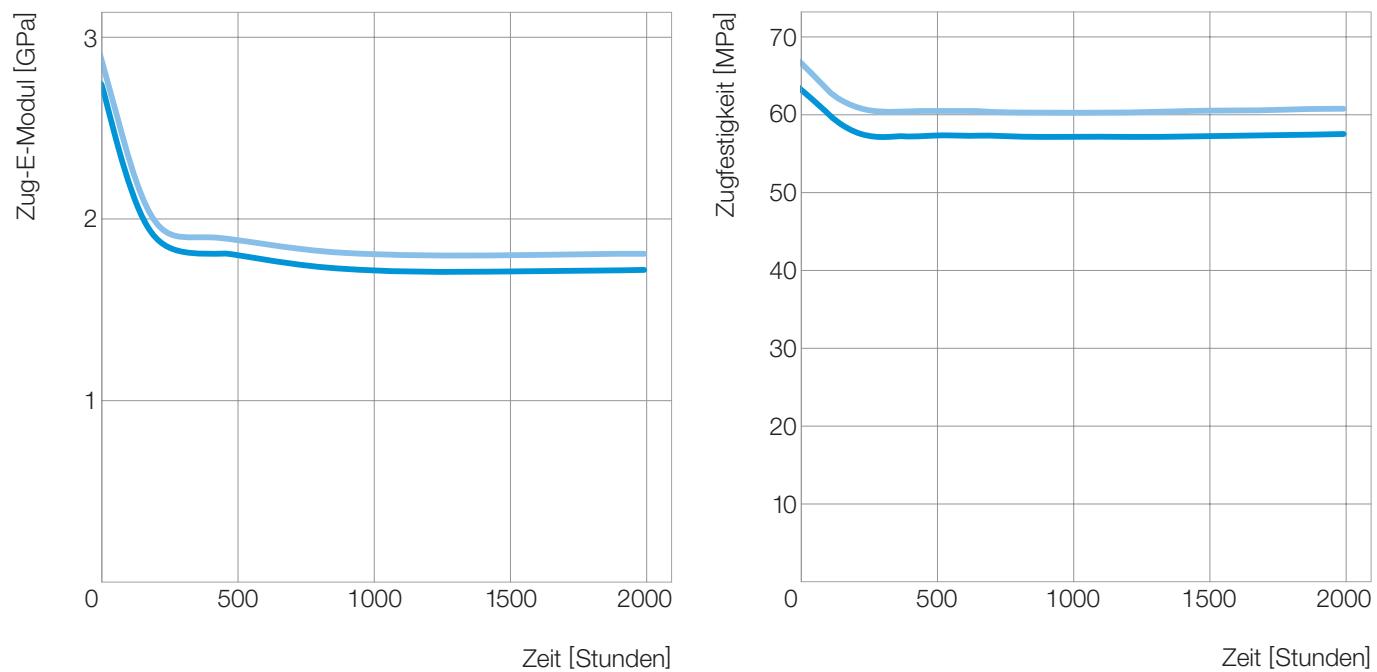


Abb. 7: Lagerung von Ultraform® S1320 003 AT (hellblaue Kurve) und S2320 003 AT (blaue Kurve) in E10 bei 65 °C

Dieselkraftstoff

Abbildung 8 zeigt exemplarisch die Lagerung von Ultraform® S1320 003 AT in einem Dieselkraftstoff bei 100°C. Die Quellung in dem verwendeten Diesel-Prüfkraftstoff der Firma Gage beträgt lediglich ca. 0,8%. Demzufolge sinkt der E-Modul des kraftstoffgesättigten Werkstoffes nur geringfügig ab. Ein Festigkeitsverlust findet hingegen über die komplette Prüfdauer von 84 Tagen 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.

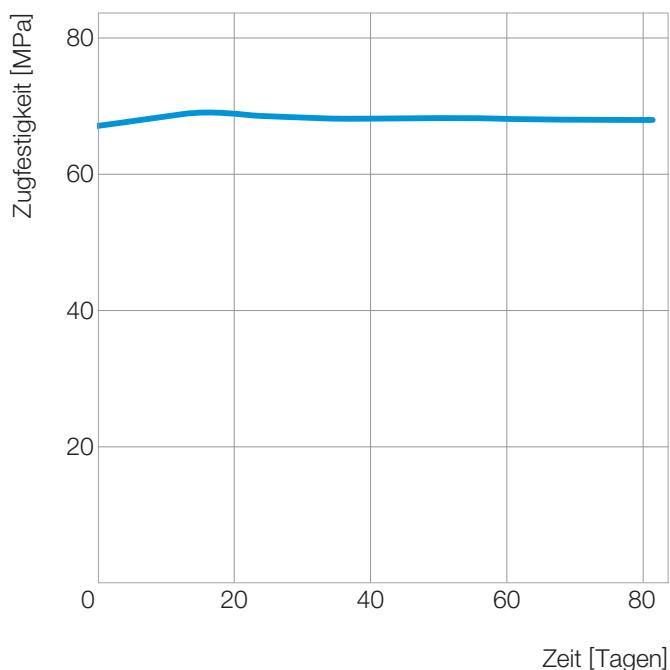
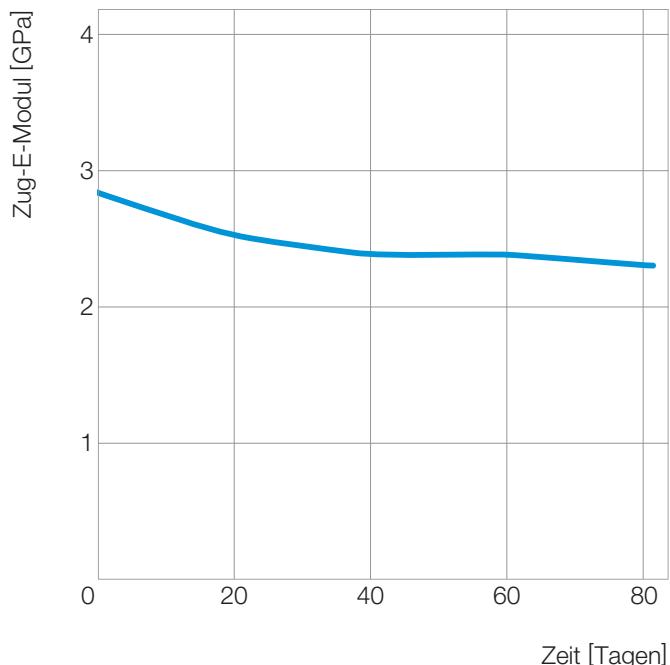


Abb. 8: Lagerung von Ultraform® S1320 003 AT in Diesel CEC RF-06-03 der Firma Gage bei 100°C



Abb. 9: Kraftstofffördermodul aus Ultraform® S2320 003 AT

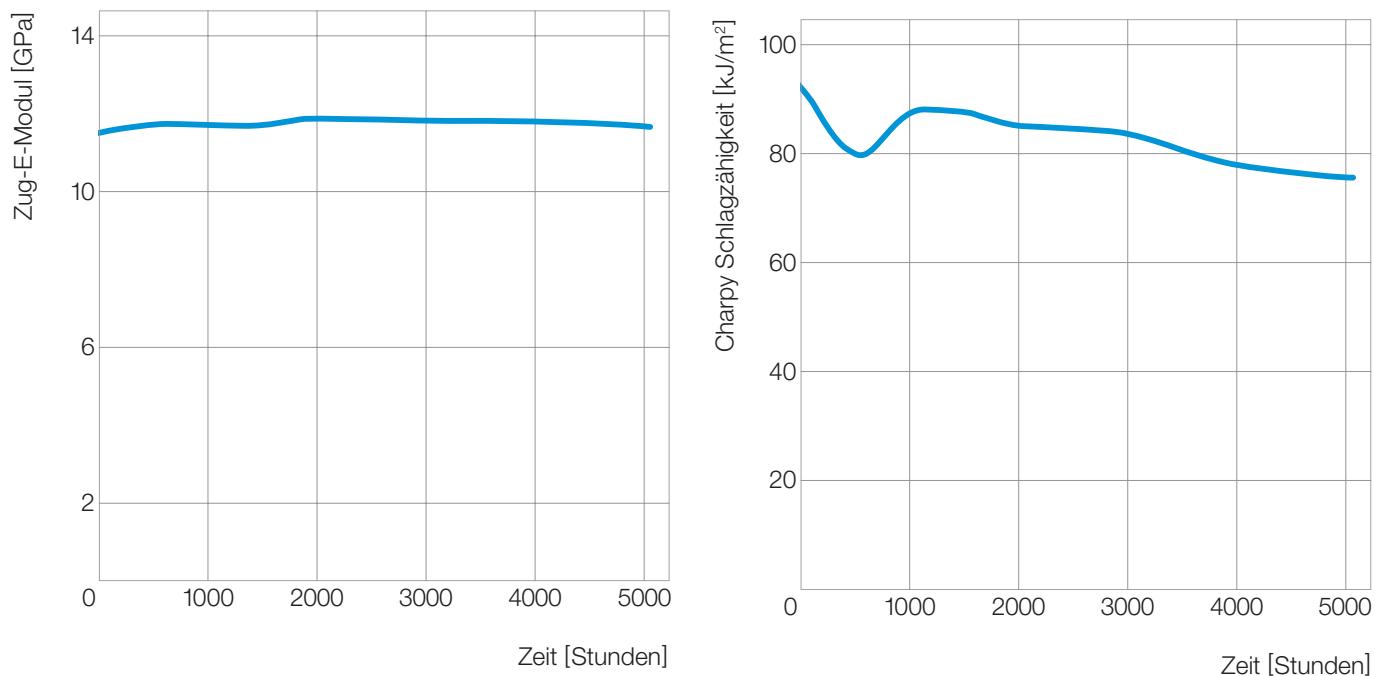


Abb. 10: Lagerung von Ultramid® TKR 4355G7 sw 564 in Dieselkraftstoff ASTM D975 2-DS 15 bei 100°C

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

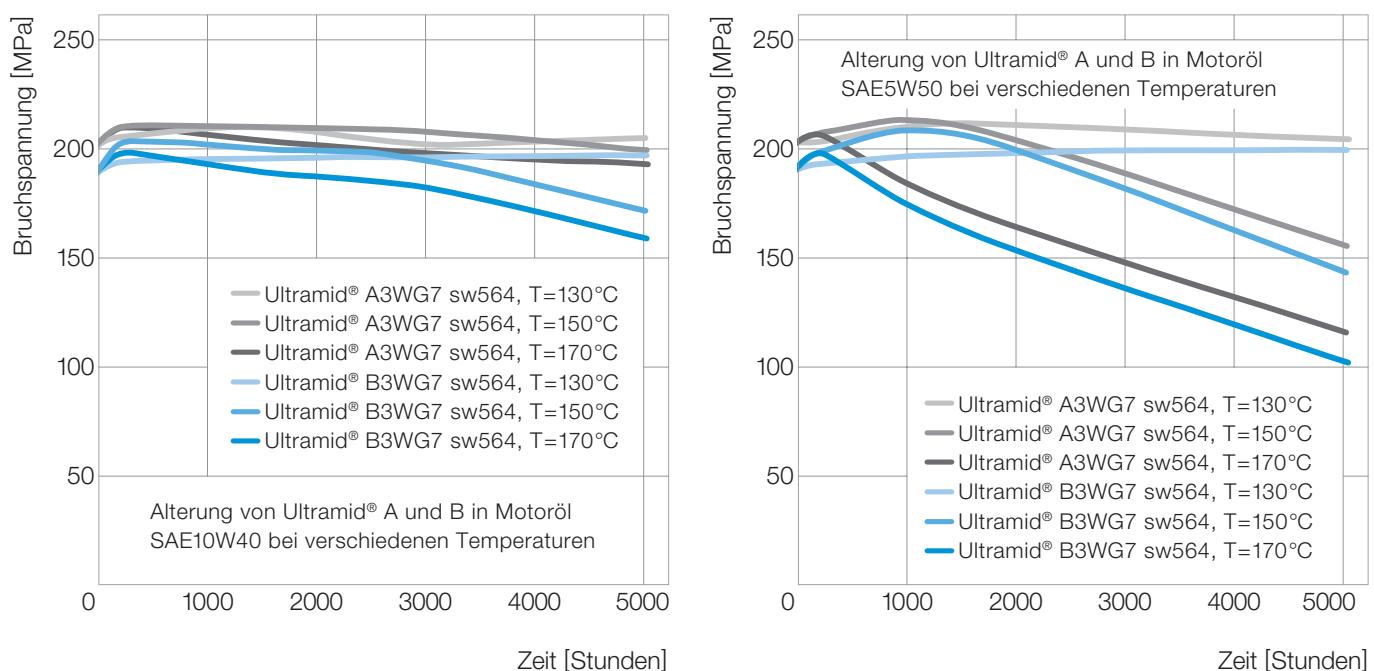


Abb. 12: Beständigkeit von Ultramid® A und B gegen verschiedene Motoröle bei hohen Temperaturen; die typische Grenze des Einsatzbereichs von Motoröl liegt bei 150°C

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 wärme stabilisierten Werkstoffen (z.B. den in Abb. 12 und 13 aufgeführten) erreicht werden kann.

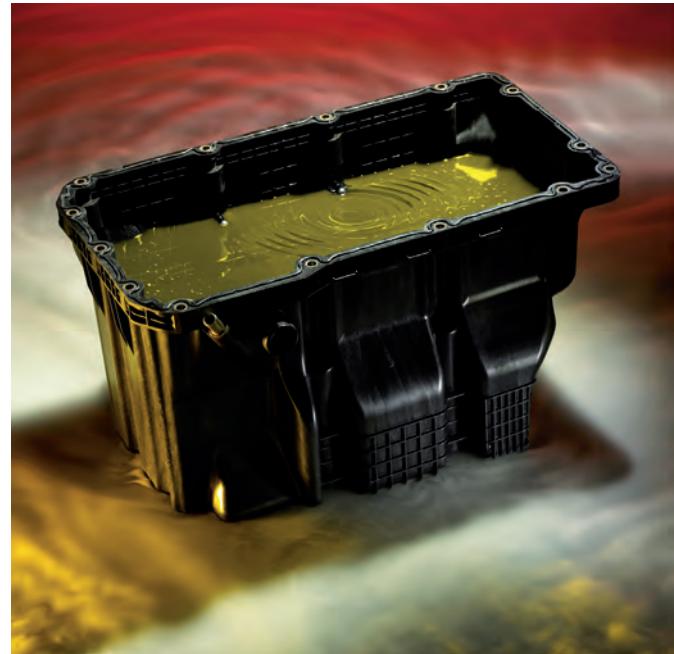


Abb. 13: Motorölwanne aus Ultramid® A3HG7 Q17

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.

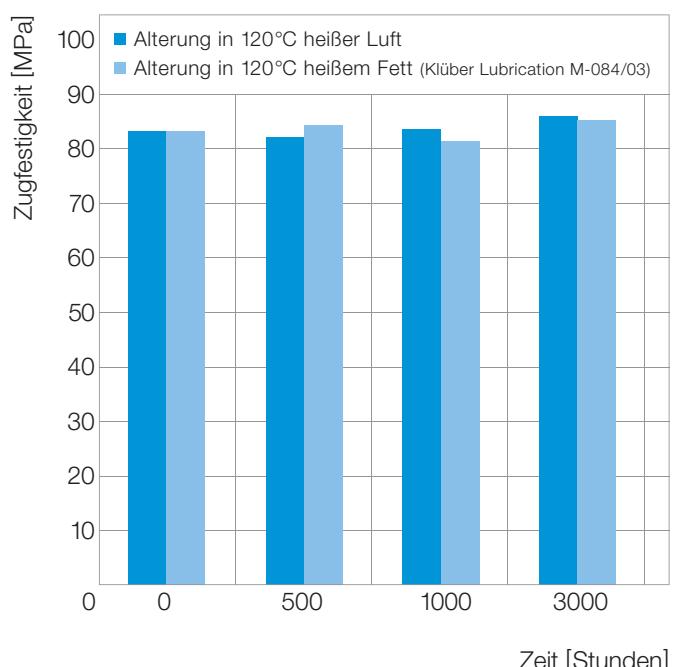


Abb. 14: Beständigkeit von Ultramid® A4H gegen Fett bei 120 °C

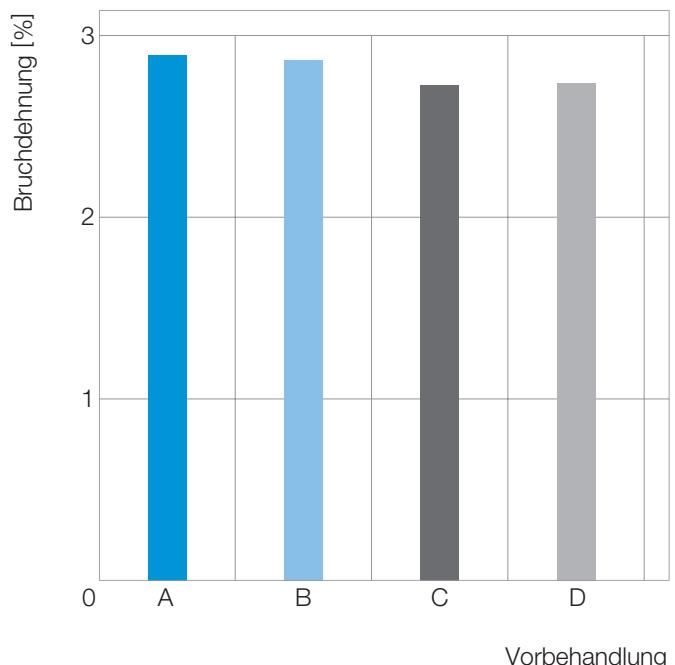
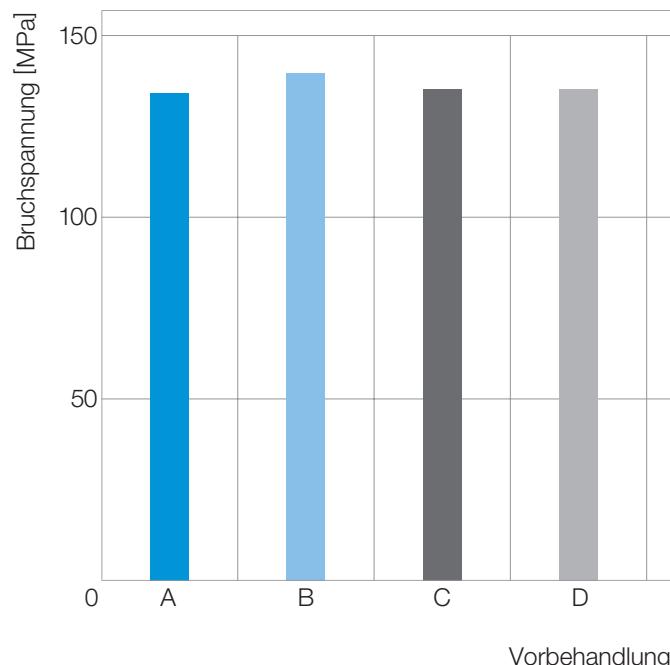


Abb. 15: Mechanische Kennwerte von Ultradur® B4300 G6 sw 5110 in Abhängigkeit von der Vorbehandlung
A: Ausgangszustand, spritzfrisch
B: 1.000 Stunden gealtert in 100 °C heißer Luft
C: 1.000 Stunden gealtert in 100 °C heißem Schmierfett (synthetisches Öl, mit Barium-Seife verdickt)
D: 1.000 Stunden gealtert in 100 °C heißem Schmierfett (synthetisches Öl, mit Lithium-Seife verdickt)

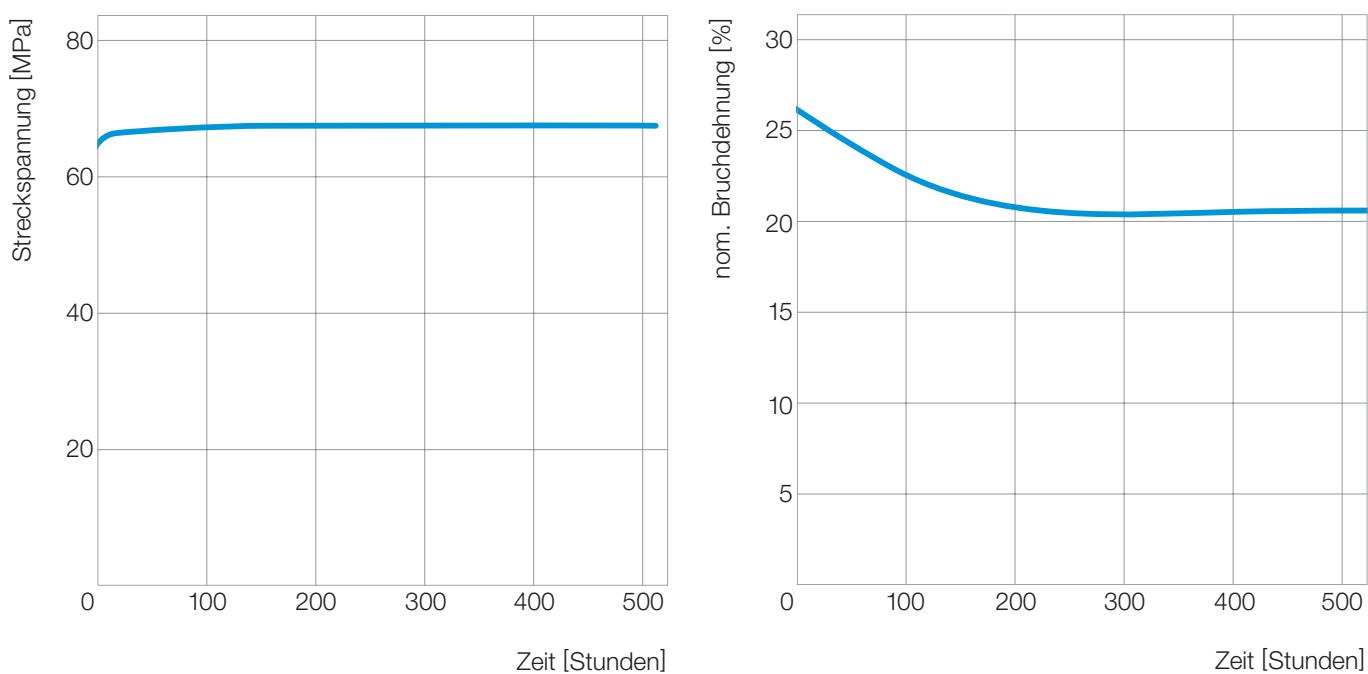


Abb. 16: Beständigkeit von Ultraform® S2320 003 AT gegenüber einem Kohlenwasserstoff basierten Schmierstoff bei 90 °C

Abbildung 16 zeigt exemplarisch die Beständigkeit von Ultraform® S2320 003 AT gegenüber einem Kohlenwasserstoff basierten Schmierstoff bei 90 °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).

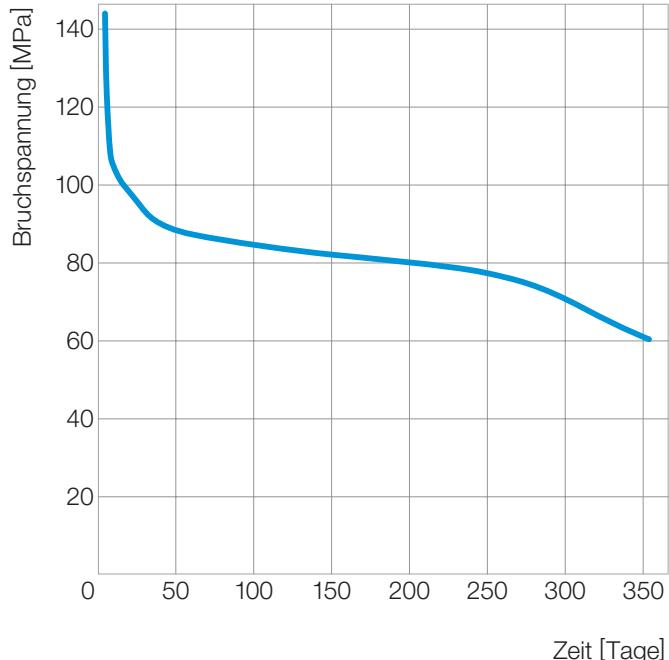


Abb. 17: Lagerung von Ultramid® A3EG7 in 10%iger wässriger Ammoniaklösung (pH 13) bei 60 °C

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 Glasfaseren schädigt und eine Reduktion der mechanischen Eigenschaften zur Folge hat.

Ultraform® weist gegenüber alkalischen Medien eine gute Beständigkeit auf. Für glasfaserverstärkte Ultraform® Produkte, z. B. Ultraform® N2200 G53 (AT) gilt dasselbe wie für glasfaserverstärktes Ultramid®.

Die Abbildungen 18 und 19 zeigen exemplarisch die Lagerung von Ultraform® N2320 U03 AT 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.

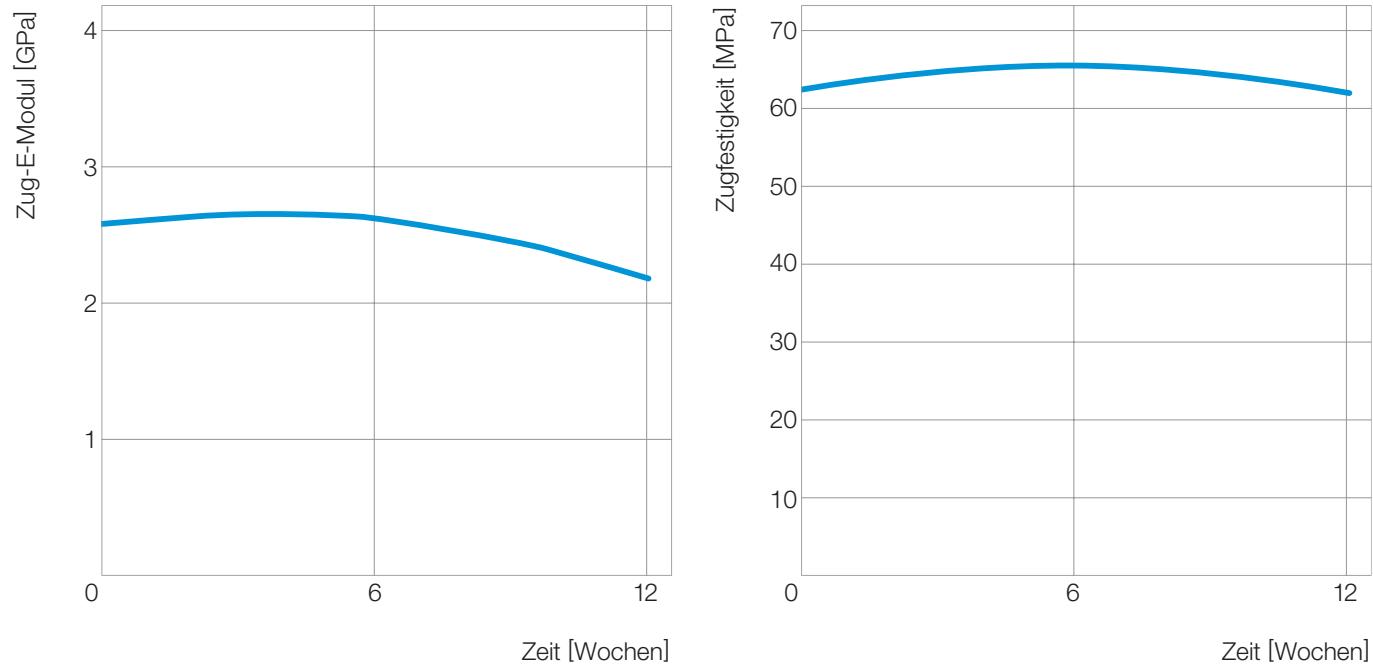


Abb. 18: Lagerung von Ultraform® N2320 U03 AT in AdBlue® bei 60 °C

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

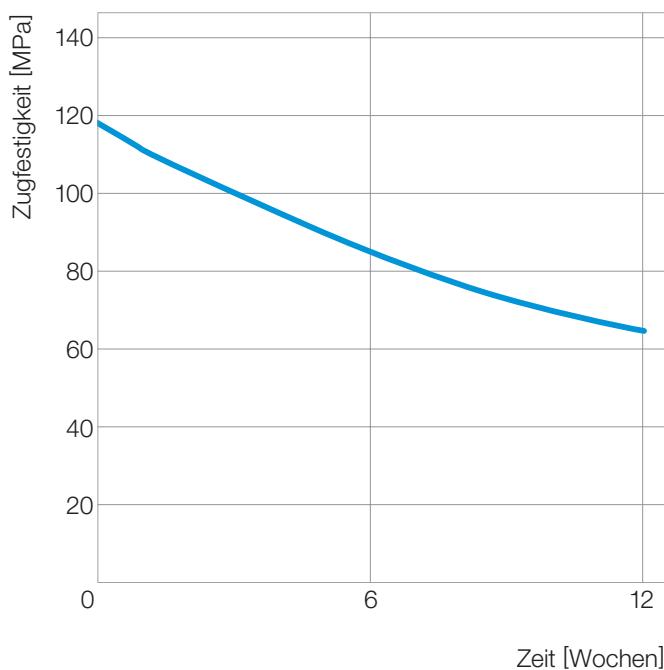


Abb. 19: Lagerung von Ultraform® N2200 G53 in AdBlue® bei 60 °C

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. komplett vs. einseitige Benetzung mit Kühlmittel, konstante vs. zyklisch schwankende Temperaturen).

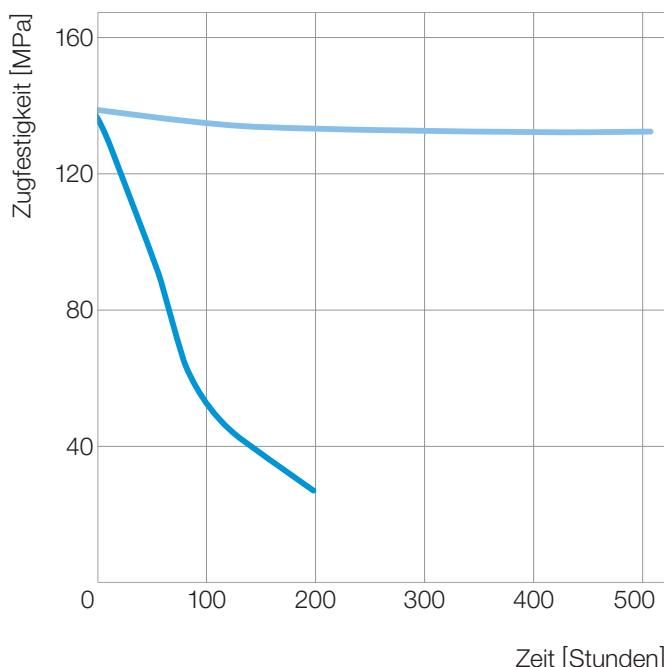


Abb. 20: Lagerung von Ultradur® B4300 G6 in Natronlauge unterschiedlicher Konzentration bei 23 °C
hellblau: 4 ppm NaOH, schwach bis mittel alkalisch, pH 10
blau: 10 % NaOH, stark alkalisch, pH 14

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 Ultramid® B als nicht ausreichend beständig eingestuft. Dagegen kommt Ultramid® 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 Ultramid® A ist auch Ultramid® T bedingt beständig, während Ultramid® S eine deutlich bessere Beständigkeit aufweist, wie im Vergleich der Produkte in Abbildung 22 zu sehen ist.

Das BASF-Polyphthalamid Ultramid® Advanced N bietet in diesem Vergleich die beste und längste Beständigkeit gegenüber Kühlmittel und erreicht sogar bei einer 135 °C-Lagerung in einer 1:1-Mischung aus Glykol und Wasser ausgezeichnete mechanische Eigenschaften für mehr als 3.000 Stunden. Weitere Informationen zu Ultramid® Advanced N auf Seite 44.

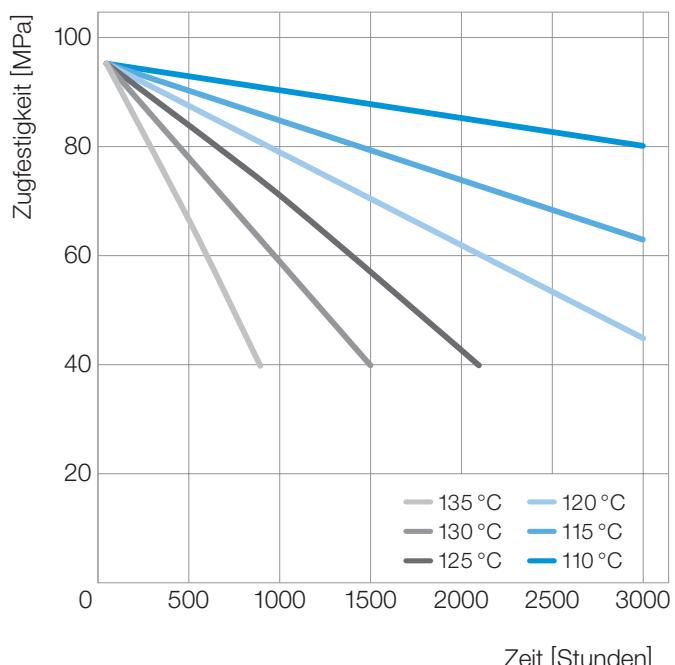


Abb. 21: Beständigkeit von Ultramid® A mit 30 % Glasfasern gegen Kühlflüssigkeit Glykol/Wasser abhängig von der Lagertemperatur (schematisch): schnelle Weichmachung durch Quellung, deutlicher Verlust der Restfestigkeit bei Lagertemperaturen >120 °C. Zum Vergleich: Zugfestigkeit trocken 190 MPa, bei 1,7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

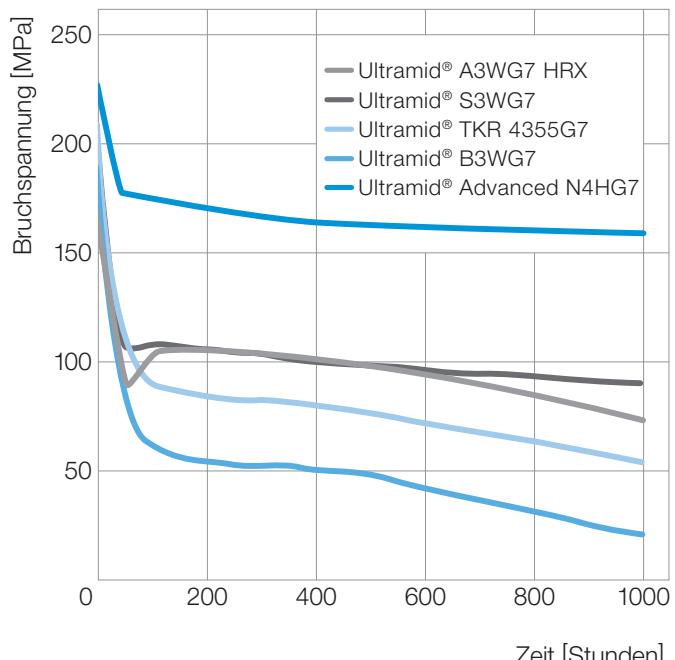
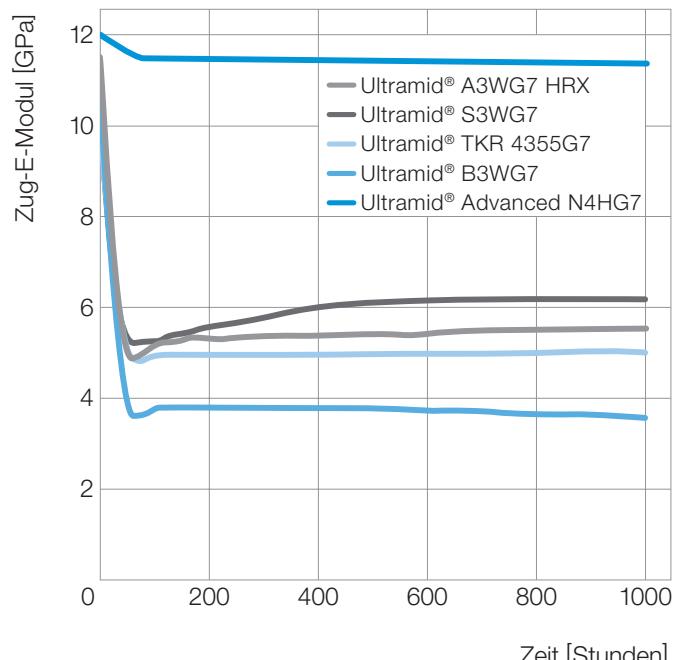


Abb. 22: Vergleich der Beständigkeit von Ultramid® A, B, S und T gegen Kühlflüssigkeit bei Lagerung in Glysantin® G48/Wasser (50/50 Mischung) bei 130 °C

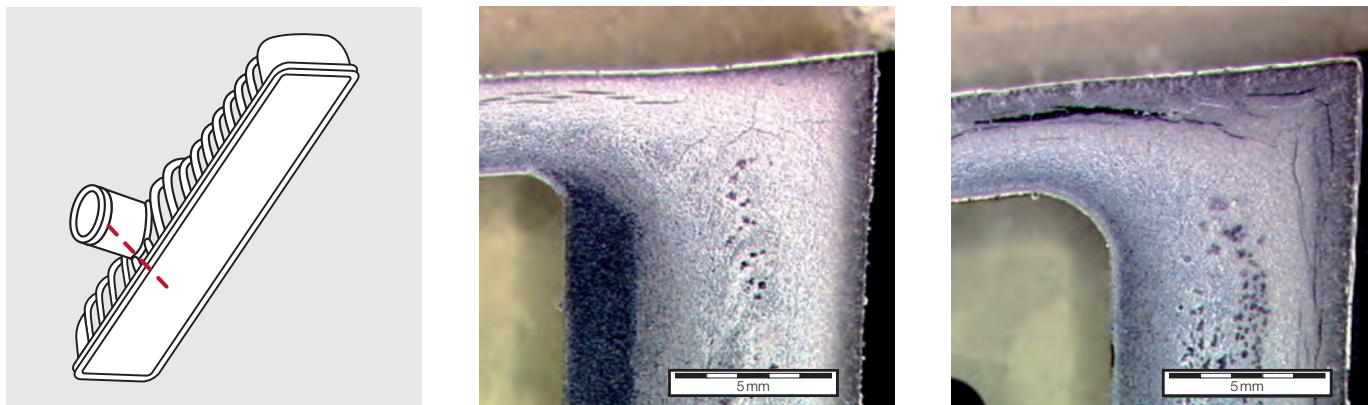


Abb. 23: Schnitt durch den Stutzen einer Kühlerendkappe nach Lebensdauerprüfung, Mitte: Ultramid® A3WG6 HRX, rechts: Standard PA66 GF30 HR. Deutlich sichtbare Materialschädigung in Form von Rissen, die nicht zum Bauteilversagen geführt haben.

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.

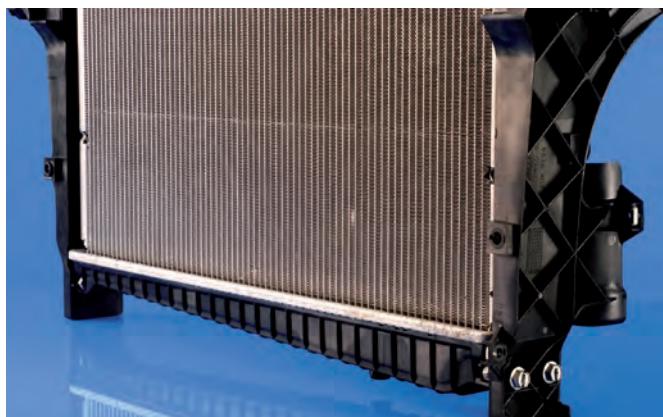


Abb. 24: Endkappen von Fahrzeugkühlern sind eine typische Anwendung für hydrolysebeständige PA66-Typen wie Ultramid® A3HG6 HR

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 entleerende 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.

Im Bereich der Batteriekühlung von Elektroautos sind die maximalen Temperaturanforderungen an den Werkstoff systembedingt geringer. Das eröffnet Anwendungsmöglichkeiten für den Werkstoff Ultraform®. Abbildung 25 zeigt exemplarisch die Lagerung von Ultraform® N2320 003 AT und Ultraform® N2200 G53 AT in Glysantin® G40/Wasser (50/50 Mischung) bei 100 °C. Nach erfolgter Quellung zeigen beide Werkstoffe ein konstant hohes Eigenschaftsniveau bis 1900 Stunden.

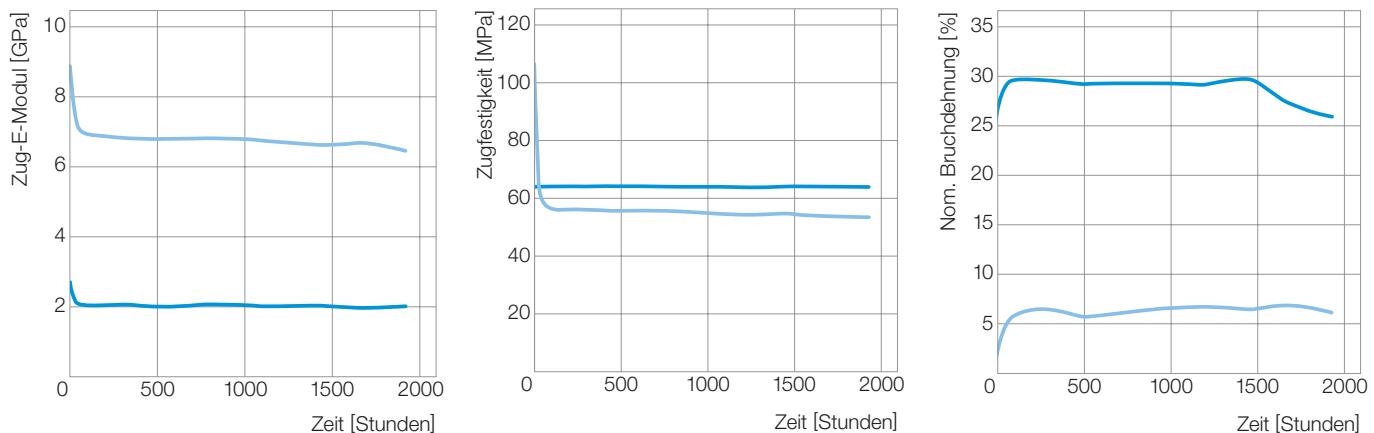


Abb. 25: Lagerung von Ultraform® N2320 003 AT (blaue Kurve) und Ultraform® N2200 G53 AT (hellblaue Kurve) in G40 Glysantin®/Wasser bei 100 °C

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

Das Polyphthalamid Ultramid® Advanced N bietet eine ausgezeichnete Beständigkeit gegen die Brems- und Hydraulikflüssigkeit DOT 4 bei Temperaturen von bis zu 120 °C für mehr als 3.000 Stunden. Weitere Informationen zu Ultramid® Advanced N auf Seite 44.

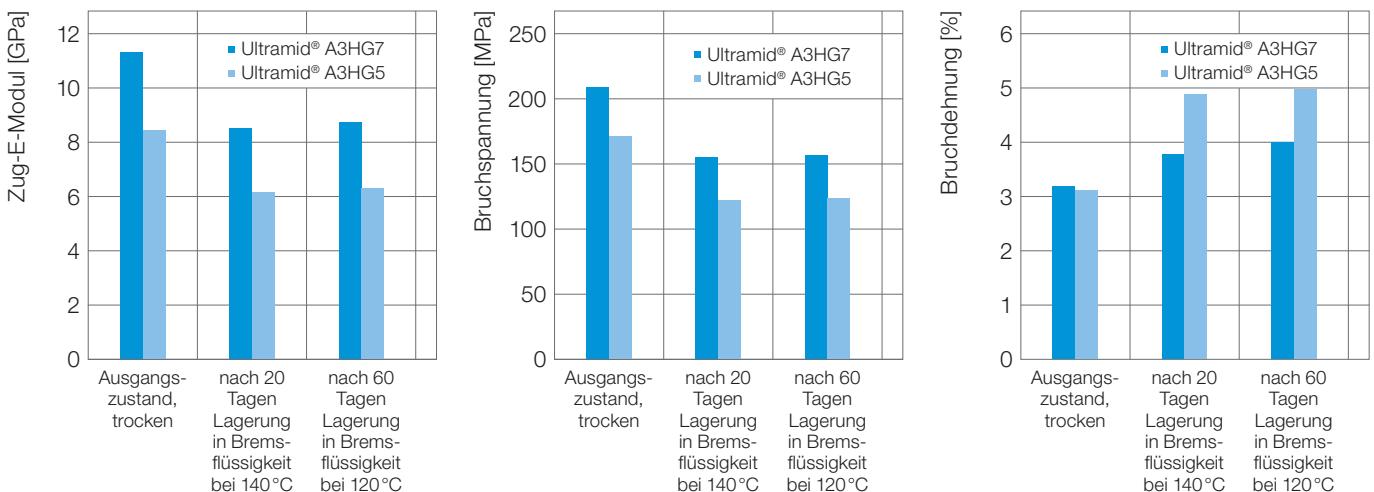


Abb. 26: Lagerung von Ultramid® A3HG5 und A3HG7 in Brems- und Hydraulikflüssigkeit ATE Super DOT 4 + 3% Wasser

⁴ hygroskopisch: nimmt Luftfeuchtigkeit auf und bindet sie

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 erstenen 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 Dieselkraftstoff beigemischt. Je nach Biodieselanteil unterscheidet man dann z.B. zwischen B20 (20 % Volumenanteil Biodiesel), B30 oder B50.

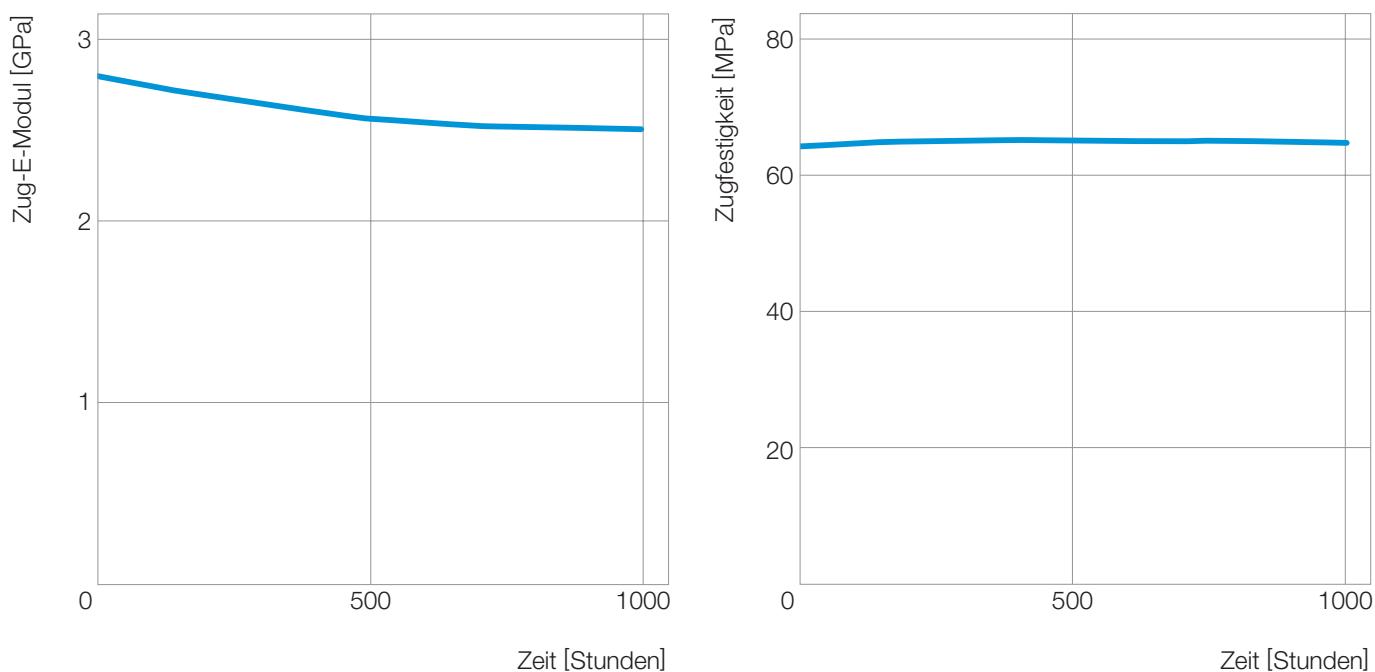


Abb. 27: Lagerung von Ultraform® N2320 003 AT in FAME (Biodiesel B100 RME) bei 90 °C

⁵ hydrolytisch: spaltet chemische Verbindungen durch Reaktion mit Wasser

Ultraform® N2320 003 AT zeigt eine gute Beständigkeit gegenüber Biodiesel B100 (RME, gemäß DIN EN 14214 von Haltermann). Bei einer Lagerungstemperatur von 90 °C ist nach 1000 Stunden kein Abfall in der Festigkeit festzustellen (Abb. 27). Der Zug-E-Modul nimmt leicht ab, was auf eine geringfügige Quellung des Werkstoffs zurückzuführen ist.

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.

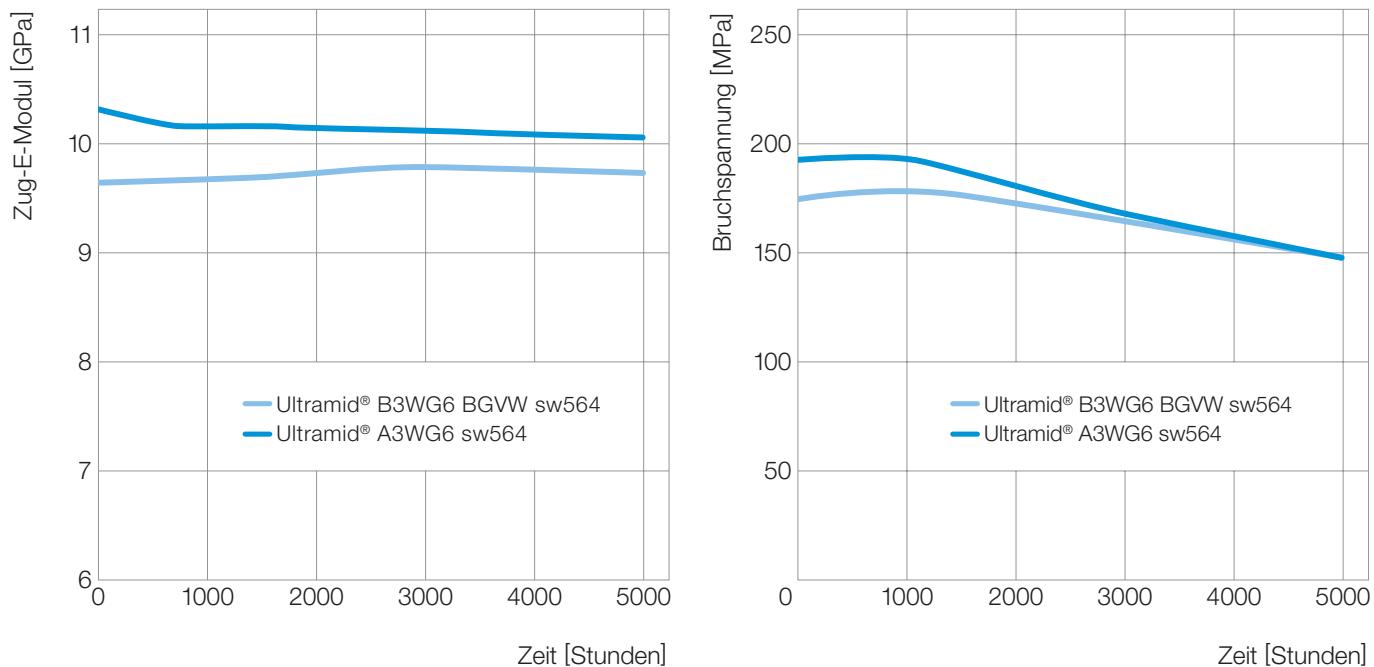


Abb. 28: Beständigkeit von Ultramid® A und B gegen Biodiesel (100% RME) bei 140 °C.

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 bei den teilaromatischen Materialien Ultramid® T und Ultramid® Advanced N.

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.



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

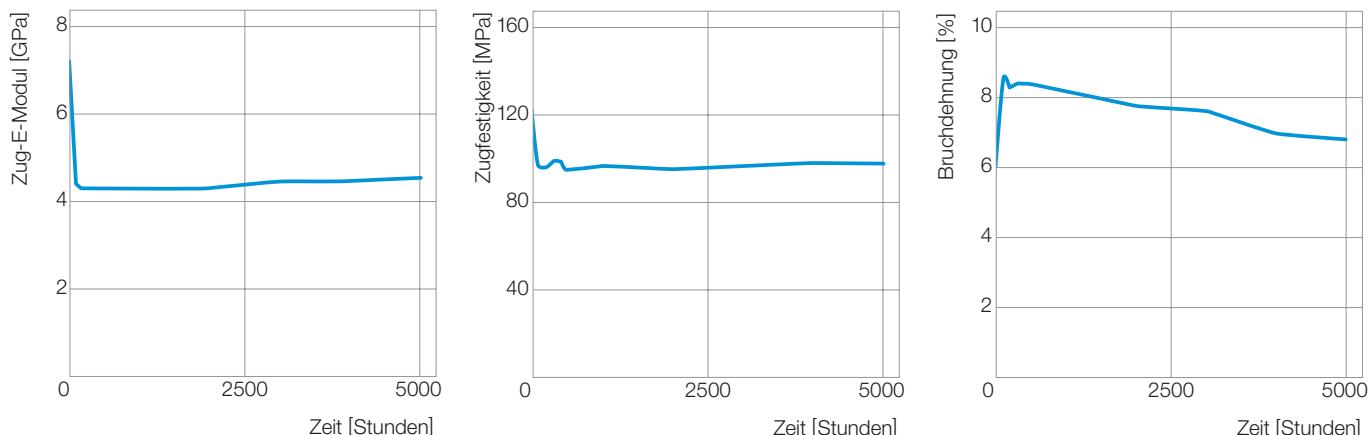


Abb.30: Lagerung von Ultramid® A3WG6 HRX sw 23591 in E50 bei 90°C (Nullwert = schnell konditioniert gemäß ISO 1110)

Ultramid® A3WG6 HRX sw 23591 ist in E50⁶ bei 90°C bis 5.000 Stunden gut beständig (Abb. 29). 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® S2320 003 AT in CM15A bei 60°C. Durch die Quellung mit ca. 3% CM15A nimmt der E-Modul von 2,8 auf 1,6 GPa ab. Zug-E-Modul und Zugfestigkeit bleiben dann bis ca. 2.000 Stunden auf konstantem Niveau.

In E50 bei 70°C erfolgt die Quellung von Ultraform® S2320 003 AT deutlich langsamer als in CM15A bei 60°C. Der Zug-E-Modul nimmt über den Zeitraum von 6 Wochen kontinuierlich von 2,7 auf 1,6 GPa ab (Abb. 32). Die nominelle Bruchdehnung erhöht sich entsprechend von 27 auf 43%. Die Zugfestigkeit bleibt dagegen weitgehend konstant.

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 glasfaserstärkten 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 Glasübergangstemperatur 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).

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

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

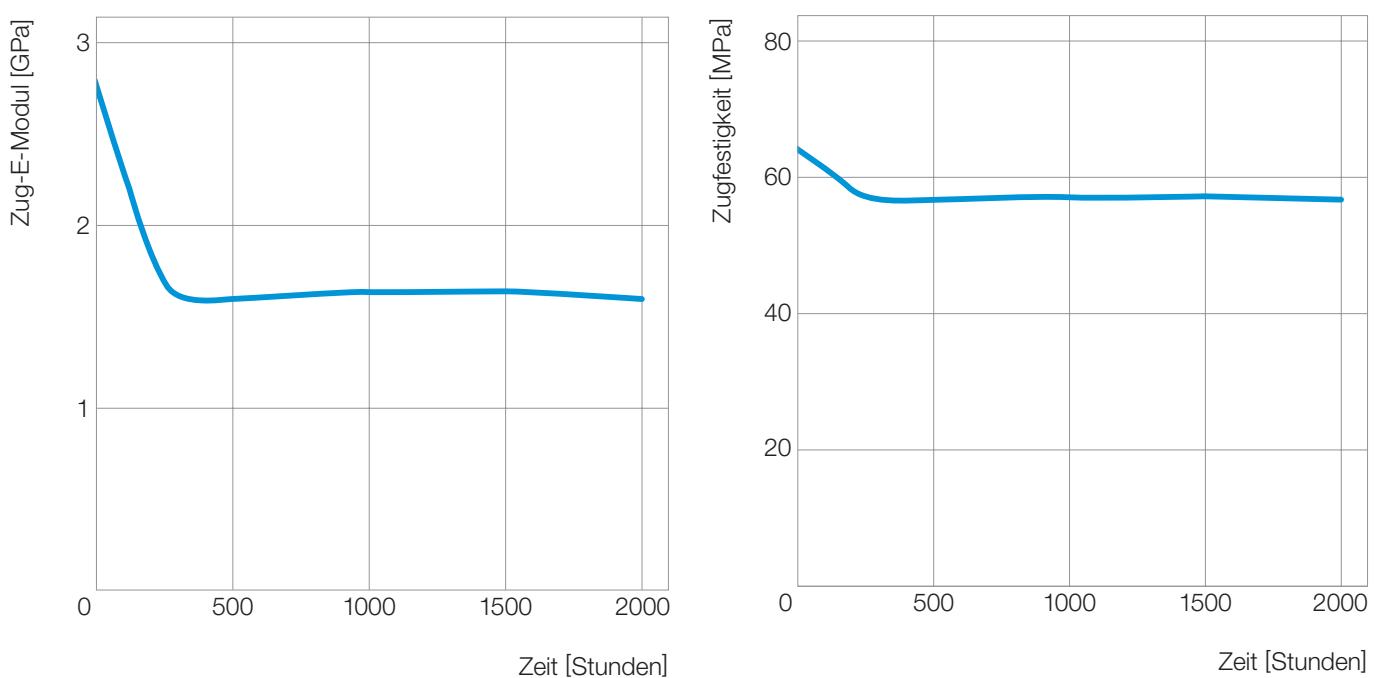


Abb. 31: Lagerung von Ultraform® S2320 003 AT in CM15A bei 60 °C

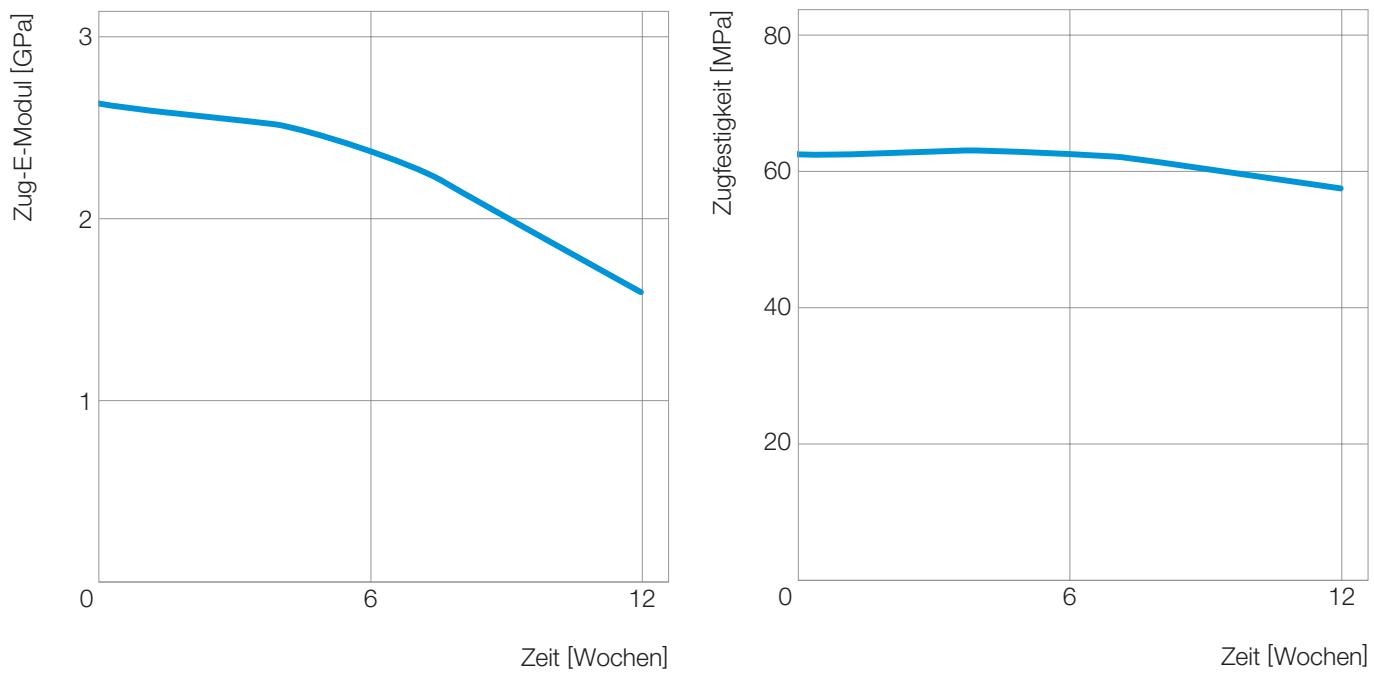


Abb. 32: Lagerung von Ultraform® S2320 003 AT in E50 bei 70 °C

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

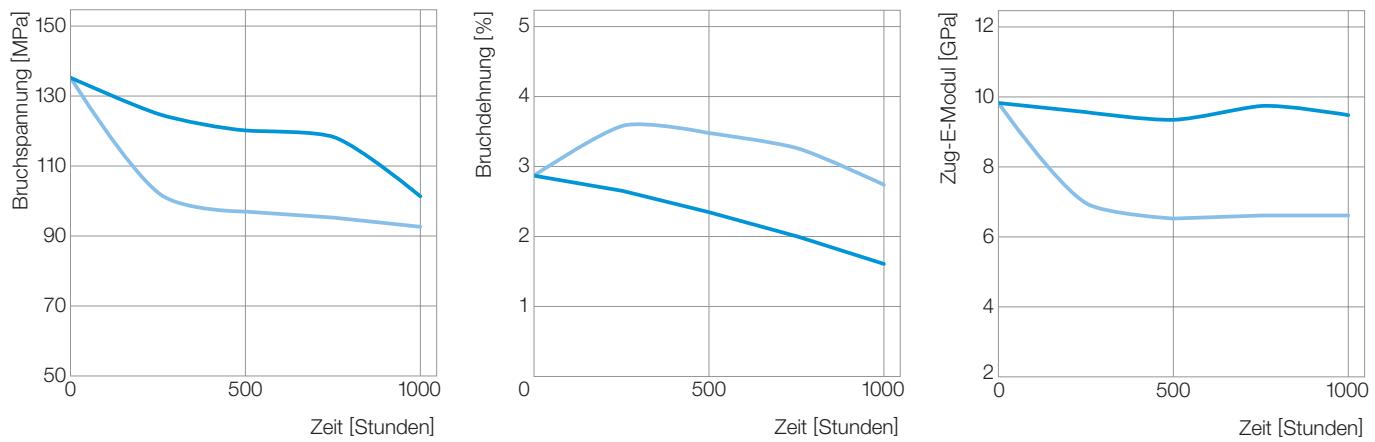


Abb.33: Lagerung von Ultradur® B4300 G6 sw Q16 15007 in Methanol-haltigen Kraftstoffen

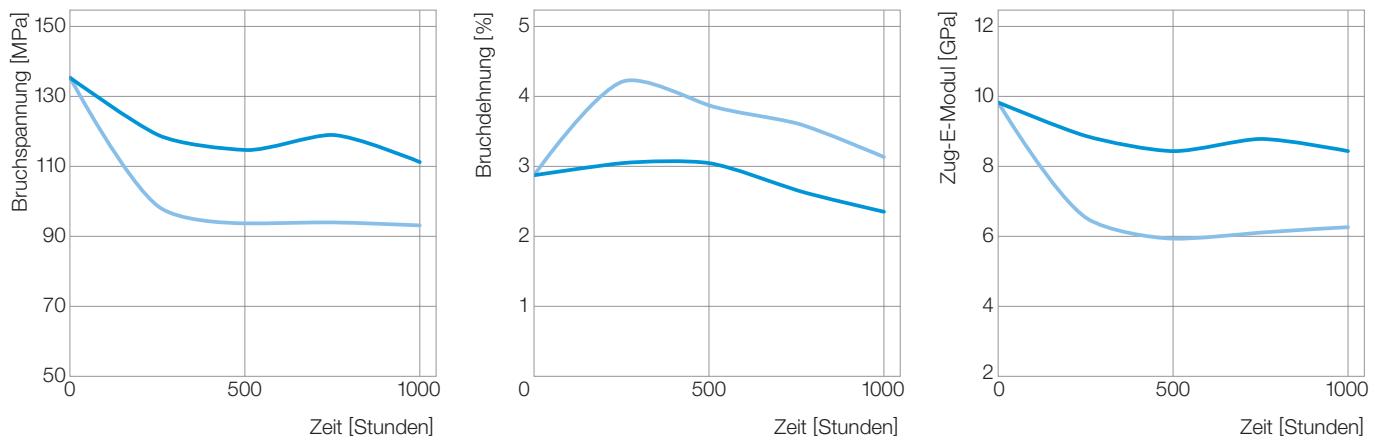
hellblau: CM5⁹ bei 90°Cblau: CM85A¹¹ bei 90°C

Abb.34: Lagerung von Ultradur® B4300 G6 sw Q16 15007 in Ethanol-haltigen Kraftstoffen

hellblau: CE10¹⁰ bei 90°Cblau: CE85A¹² bei 90°C

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.

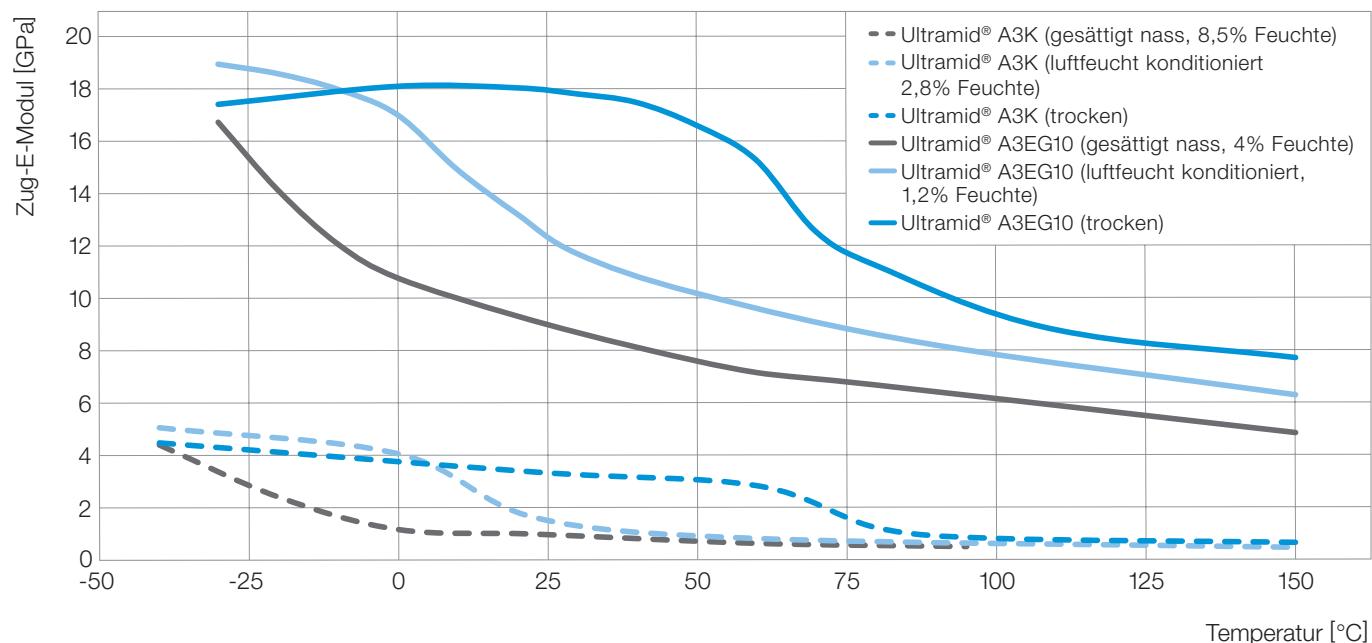


Abb.35: Zug-E-Modul von Ultramid® A3K und A3EG10 als Funktion von Temperatur und Feuchte

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 hydrolytischen 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.

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. 36). 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.

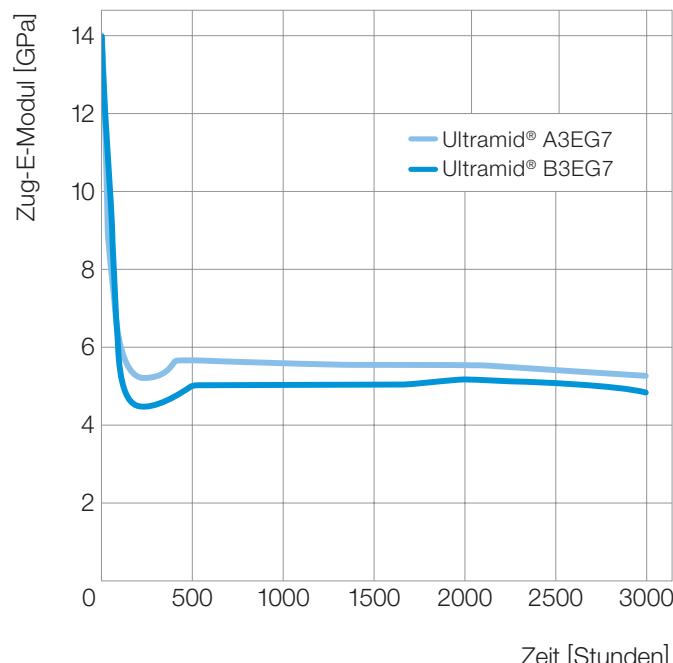


Abb. 36: Lagerung von Ultramid® A3EG7 und B3EG7 in vollentsalztem Wasser bei 65°C und einem Wasserwechsel im wöchentlichen Turnus

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 Vergleichstype B4330 G6 sw Q16 15007 ist hingegen nach 40 Tagen schon deutlich geschädigt.

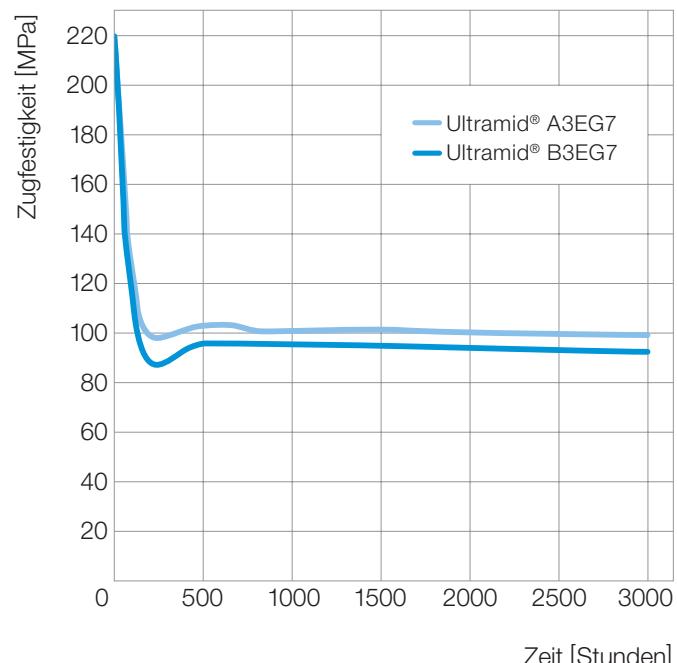


Abb. 38: Zugfestigkeit von Ultradur® B4520 in vollentsalztem Wasser bei 70°C und 62% r. F. (nach DIN 53455)

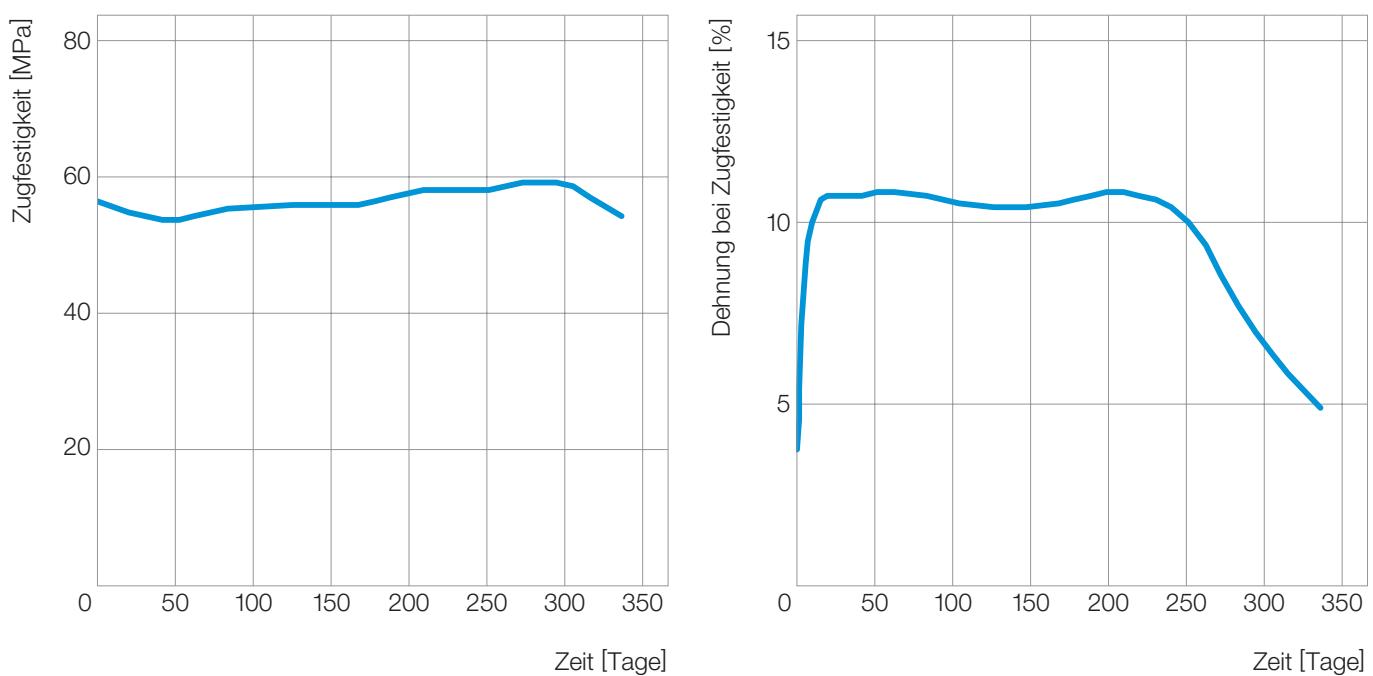


Abb. 37: Lagerung von Ultradur® B4520 in 60°C warmem Wasser

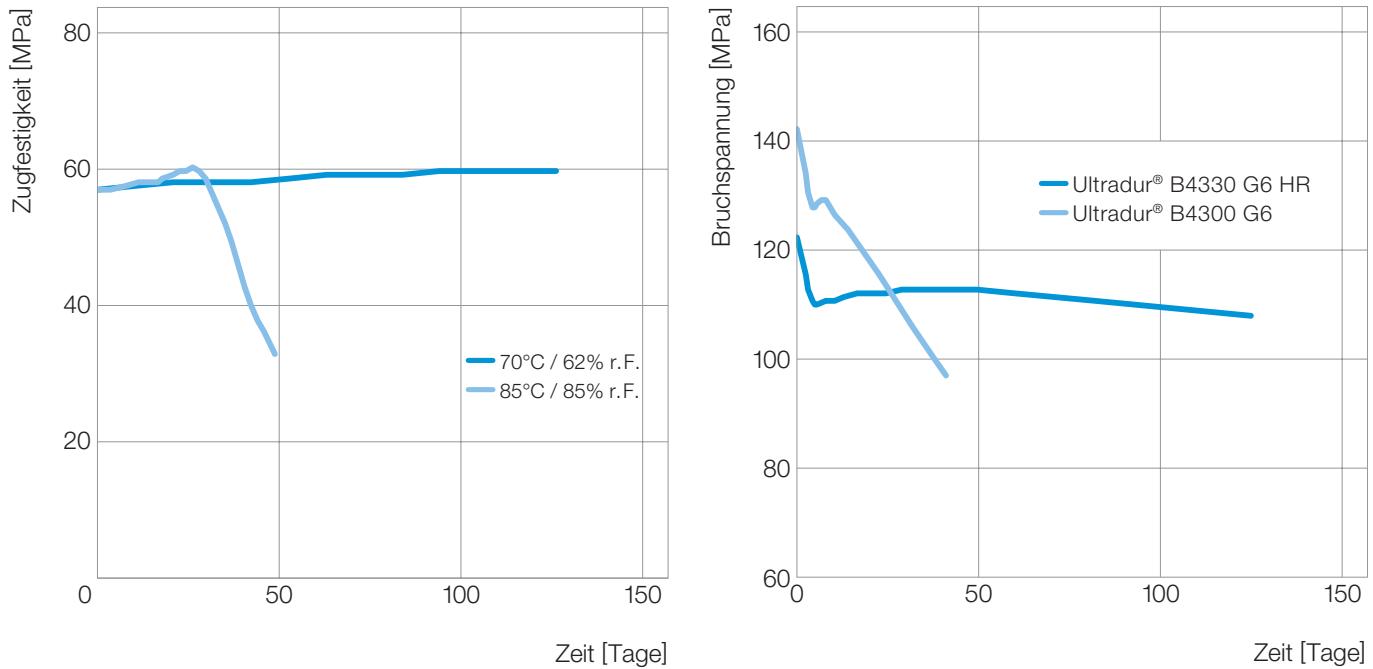


Abb. 38: Zugfestigkeit von Ultradur® B4520 unter verschiedenen Klimabedingungen: 70°C und 62% relative Luftfeuchte bzw. 85°C und 85% relative Luftfeuchte

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

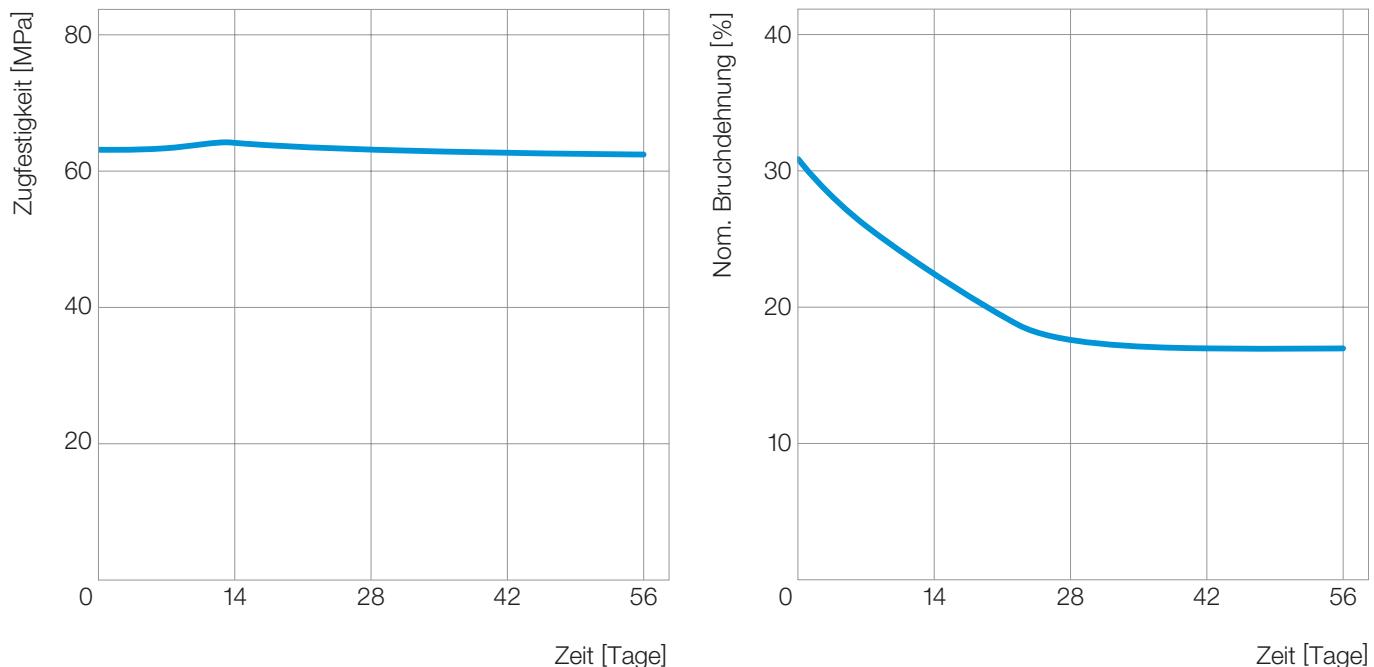


Abb. 40: Lagerung von Ultraform® N2320 003 AT in vollentsalztem Wasser bei 100°C

Unverstärkte Ultraform®-Typen wie die Spritzgusstype Ultraform® N2320 003 AT weisen eine gute Heißwasserbeständigkeit auf. Bei 100 °C ist nach 56 Tagen Lagerung in vollentsalztem Wasser kein Festigkeitsverlust zu verzeichnen (Abb. 40). Lediglich die nominelle Bruchdehnung nimmt von ca. 30 % auf etwa 17 % ab. Bedingt durch die Quellung verringert sich der Zug-E-Modul von 2,7 auf ca. 1,9 GPa. Glasfaserverstärkte Produkte wie Ultraform® N2200 G53 AT erleiden in Heißwasser durch hydrolytischen Angriff der Glasfaser einen Festigkeitsverlust von ca. 50 % in den ersten 7 Tagen. Im Anschluss bleibt die Festigkeit bis zu einer Gesamtlagerdauer von 84 Tagen konstant.

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 derzeit keine einheitlichen Testmethoden und Bewertungen für die Zulassung von Materialien im Trinkwasserkontakt, sondern diese sind national geregelt (vgl. z.B. KTW-BWGL¹³-Leitlinien, ACS¹⁴-Listung, WRAS¹⁵). Daher muss jedes Material nach den jeweiligen Zulassungsverfahren geprüft werden. In USA muss eine NSF¹⁶-Listung vorliegen.

¹³ KTW-BWGL: Bewertungsgrundlage für Kunststoffe und andere organische Materialien im Kontakt mit Trinkwasser (Deutschland)

¹⁴ ACS: Attestation de Conformité Sanitaire (Frankreich)

¹⁵ WRAS: Water Regulations Approval Scheme (UK)

¹⁶ NSF: National Sanitation Foundation (USA)

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.



Abb. 41: Ultraform® als Duschkopfeinleger

Ultraform® AQUA-Typen sind für Trinkwasseranwendungen zugelassen. So findet man unverstärktes Ultraform® in Teilen von Sanitäramaturen, als Duschkopfeinleger (Abbildung 41) oder auch in Brüheinheiten von Kaffeevollautomaten (Abbildung 42).

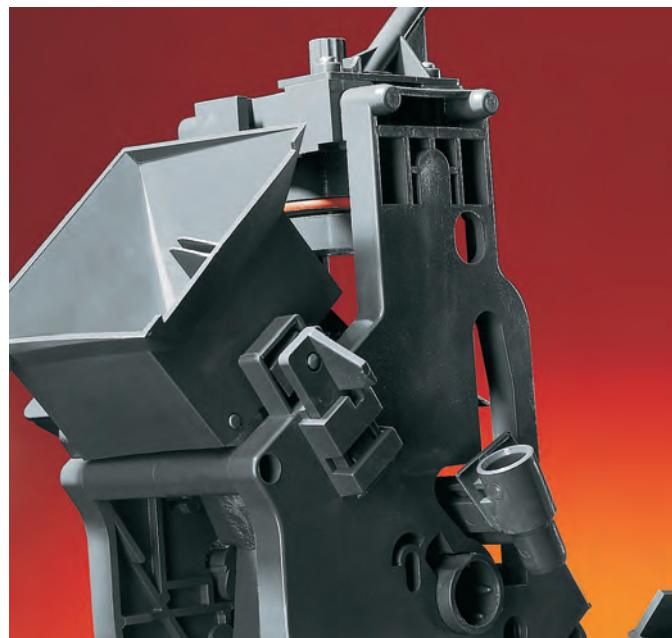


Abb. 42: Ultraform® als Brüheinheit in einer Espressomaschine

Chloriertes Wasser

Zur Desinfektion von Trinkwasser wird meist Chlor als oxidierende Chemikalie zugesetzt. Die erlaubten Chlor-Konzentrationen 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 (siehe Abb. 43). 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 ppm ist Ultraform® nur noch bedingt beständig und eine Freiprüfung des Bauteils unter finalen Einsatzbedingungen ist daher unerlässlich.

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.

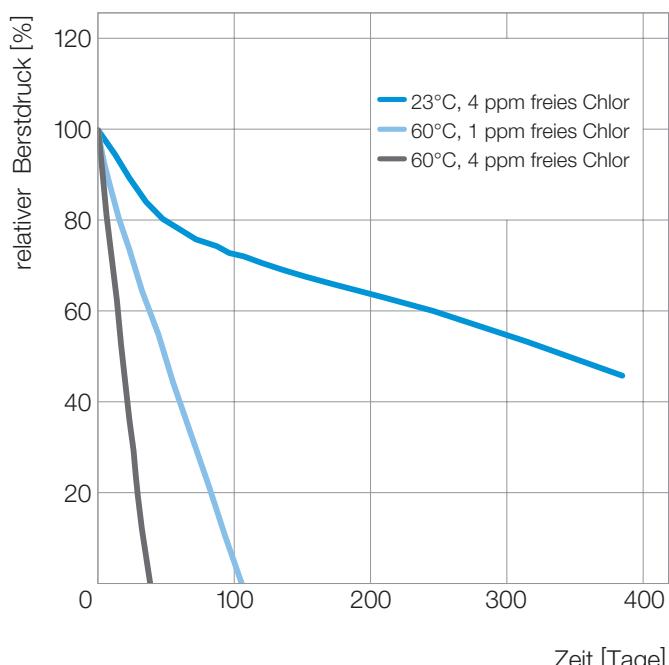


Abb. 43: Beständigkeit von Ultraform® N2320 003 gegen chloriertes Trinkwasser

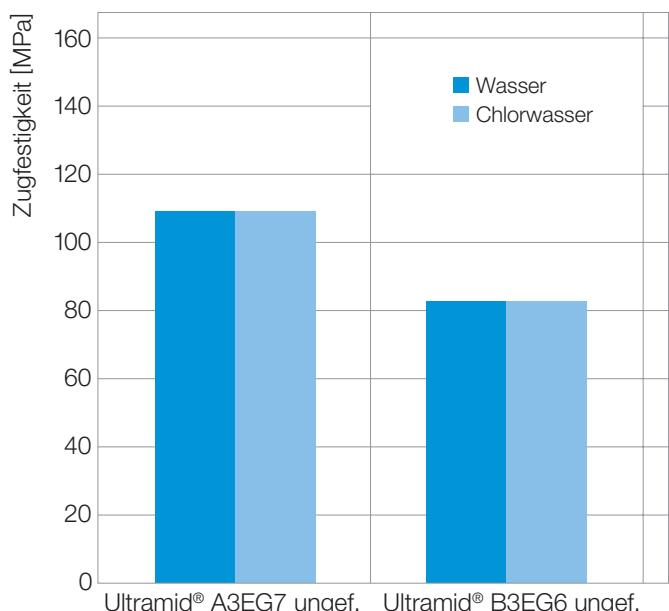


Abb. 44: Zugfestigkeit nach Wasserlagerung von Ultramid® A3EG7 und Ultramid® B3EG6, die in chloriertem Wasser (50 ppm) 7 Tage bei 65°C gelagert wurden.

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 ZnCl_2 -Beständigkeit gemäß FMVSS 106¹⁷, wie in Abbildung 45 zu sehen ist.

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

Eine noch bessere Widerstandsfähigkeit weist das Polyphthalamid Ultramid® Advanced N auf: Selbst längere Exposition konzentrierter Zinkchloridlösung bei 70 °C führt noch nicht zur Schädigung des Materials.

ZnCl_2 -Lösung löst bei Ultradur® keine Spannungsrisse aus.

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

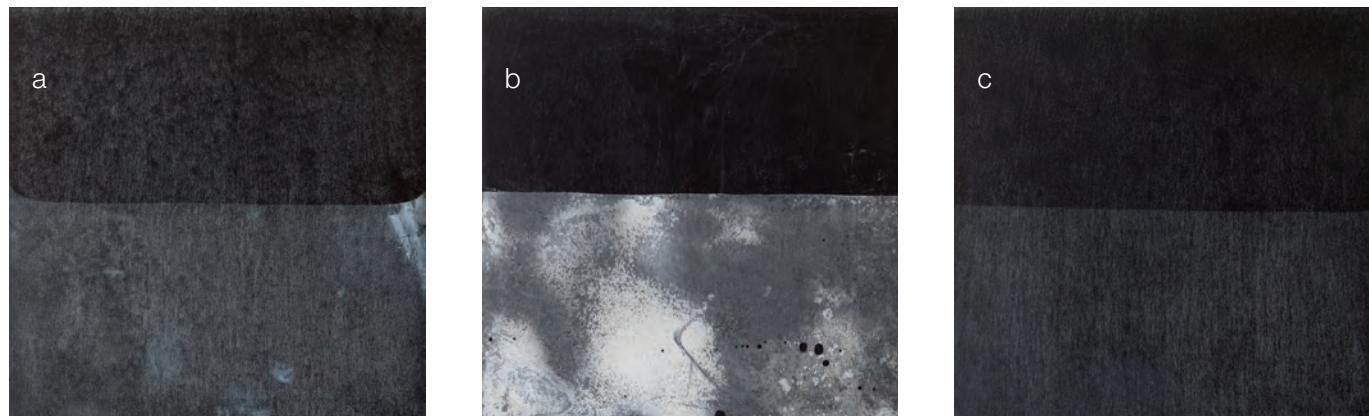


Abb. 45: Oberfläche von Plättchen aus Ultramid® A3WG6 HRX sw 23591 (a), B3WG6 sw 564 (b) und S3WG6 sw 564 (c) nach Lagerung (halb eingetaucht) in 50%iger wässriger Zinkchloridlösung für 200 Stunden bei Raumtemperatur

¹⁷Nach Lagerung in wässriger 50%iger ZnCl_2 -Lösung bei 23°C über 200 Stunden dürfen keine Risse auf der Oberfläche sichtbar sein.

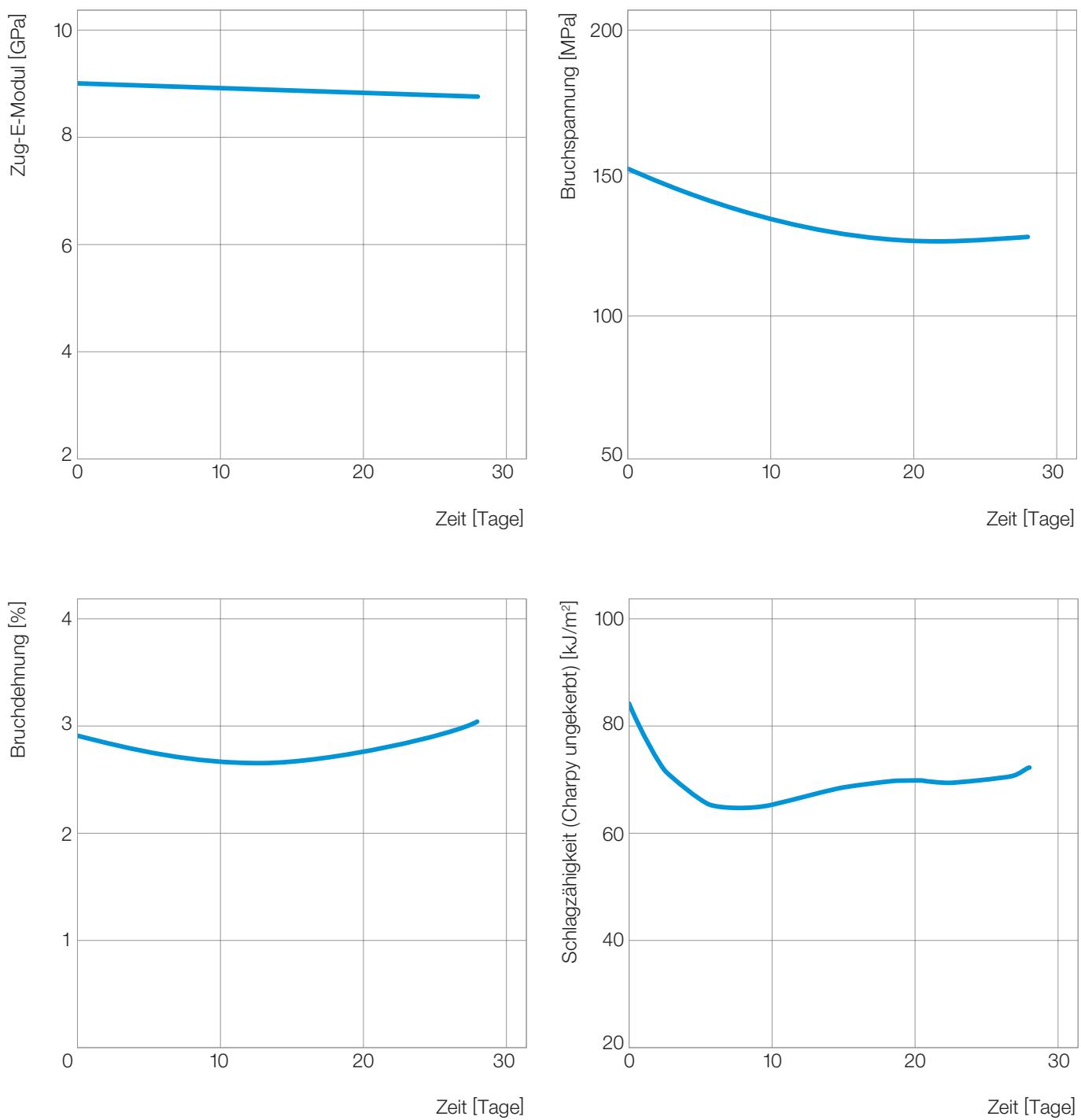


Abb. 46: Lagerung von Ultramid® TKR 4357G6 in wässriger, 50%iger Zinkchloridlösung bei 60 °C

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 spannungsrisseempfindlich sind, während Ultramid® S, T, Advanced N 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 Raumtemperatur 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.

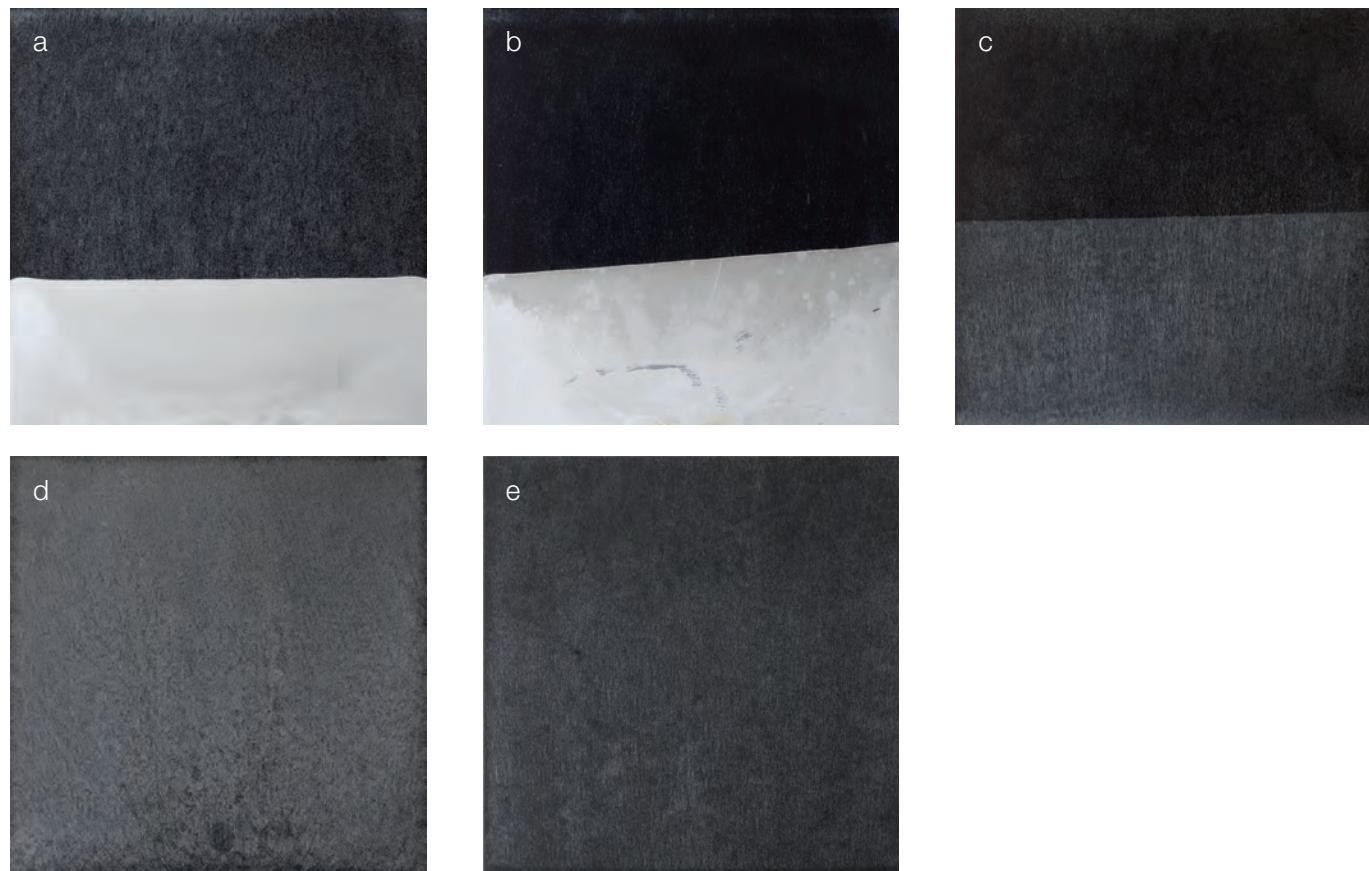


Abb. 47: Oberfläche von Plättchen aus Ultramid® A (a), B (b), S (c) und T(d) sowie Ultradur® (e) nach Lagerung (halb eingetaucht) in gesättigter Calciumchloridlösung für 30 Minuten bei Raumtemperatur

Mineralsäuren

Unter dem Sammelbegriff Mineralsäuren werden die starken anorganischen Säuren Salzsäure (Chlorwasserstoffsäure, HCl), Schwefelsäure (H_2SO_4), Salpetersäure (HNO_3) und Phosphorsäure (H_3PO_4) zusammengefasst. Mineralsäuren liegen in wässriger Lösung stark dissoziiert vor, d.h. in der Lösung ist die Konzentration der sauren Oxoniumionen (H_3O^+) 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.

Teilaromatische Polyamide wie Ultramid® T und Ultramid® Advanced N weisen eine noch höhere Widerstandsfähigkeit gegen verdünnte Säuren auf; höhere Konzentrationen oder Temperaturen können unbeschadet erreicht werden.

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, H_2SO_4 , HNO_3 (Mischungsverhältnis 1:1:1, Gesamtäurekonzentration 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.

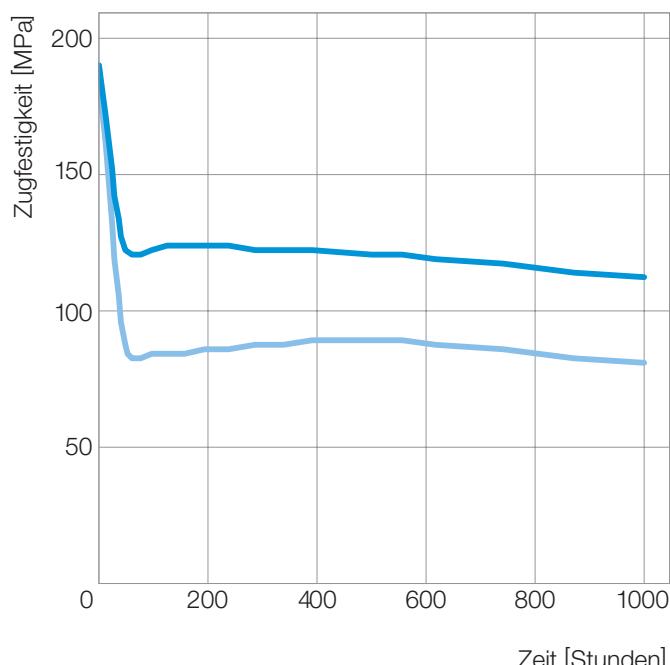


Abb. 48: Zugfestigkeit von Ultramid® B3WG6 GP sw 23210 nach Lagerung in einer Mischung aus HCl/ H_2SO_4 / HNO_3 (pH 1) bei 90°C
hellblau: Prüfung direkt nach Lagerung
blau: Prüfung nach Rücktrocknung

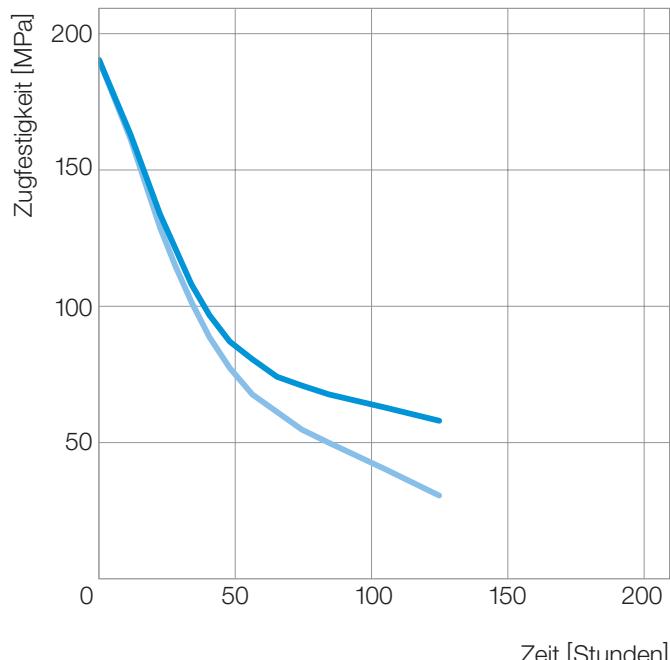


Abb. 49: Zugfestigkeit von Ultramid® B3WG6 GP sw 23210 nach Lagerung in einer Mischung aus HCl/ H_2SO_4 / HNO_3 (pH 1) bei 150°C
hellblau: Prüfung direkt nach Lagerung
blau: Prüfung nach Rücktrocknung

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

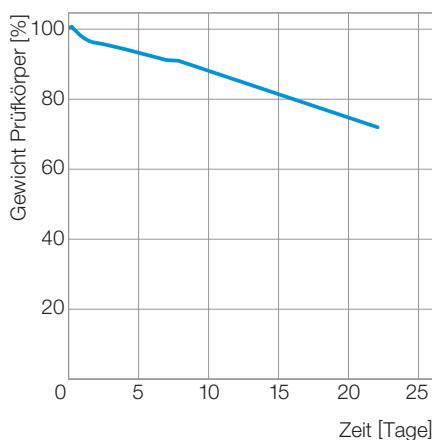


Abb. 50: Lagerung von Ultraform® S2320 003 AT in ca. 7%iger Amidoschwefelsäure (pH 1,1) bei 80°C

In ca. 7%iger Amidoschwefelsäure (pH 1,1) bei 80°C erleiden die 4 mm dicken Prüfkörper aus Ultraform® S2320 003 AT schon nach 15 Tagen einen Gewichtsverlust von ca. 20% (Abb. 50). Die Festigkeitswerte bleiben über den Prüfzeitraum nahezu konstant, während der Zug-E-Modul auf ca. 80% des Ausgangswertes absinkt. In 20%iger Schwefelsäure bei 50 °C wird Ultraform® N2320 003 AT erheblich geschädigt, was mit einem Festigkeitsverlust einhergeht (Abb. 51).

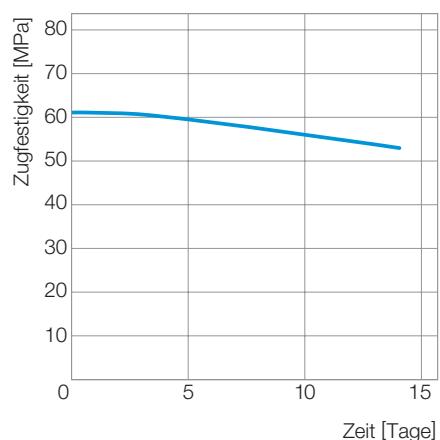
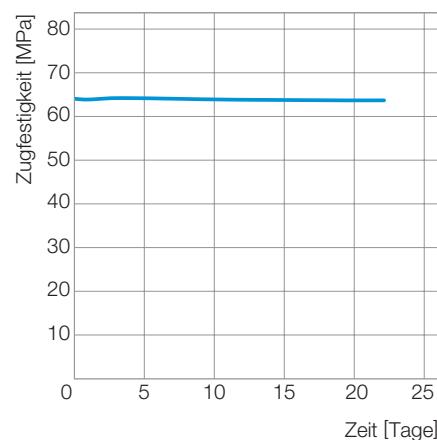


Abb. 51: Abfall der Zugfestigkeit von Ultraform® N2320 003 AT nach Lagerung in 20%iger Schwefelsäure bei 50°C

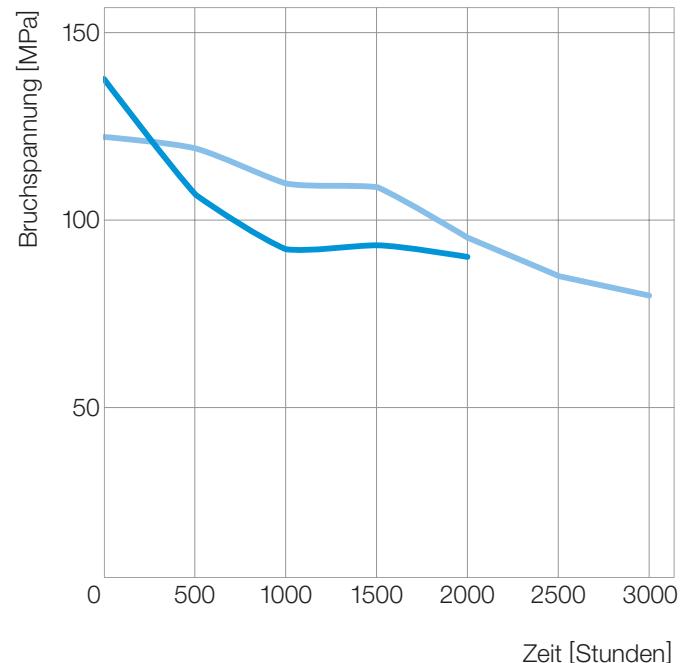
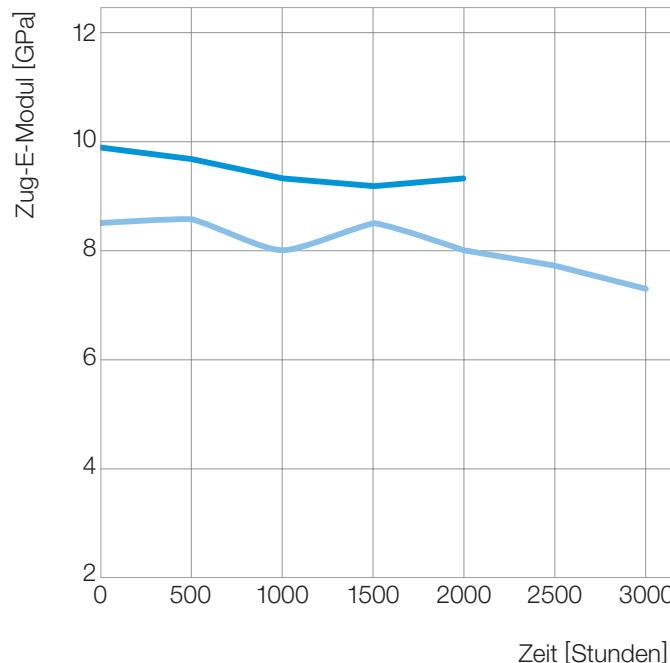


Abb. 52: Lagerung von Ultradur® B4300 G6 sw Q16 15007 (blau) und B4330 G6 HR sw15045 (hellblau) in saurem Testabgas (5000 ppm NO_x, 50 ppm SO₂, je 10 Vol-% O₂, H₂O, CO₂, Rest N₂, pH ca. 1,7); getestet wurde in Prüfzyklen von je 168 Stunden (24 Stunden 80°C, 48 Stunden 20°C, 24 Stunden 80°C, 72 Stunden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

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.

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 Ladelufttropfchen 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 Ladelufttropfchen aus Ultramid® A3W2G6. Ein Muster dieses Bauteils wurde einer Lebensdauerprüfung auf einem Motorprüfstand unterzogen, ein anderes durch thermische Alterung vorgeschiedigt 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 Ladelufttropfchen aus Ultramid® A3W2G6. Links: Nach Lebensdauerprüfung auf einem Motorprüfstand zeigen sich Risse von ca. 10 μm Tiefe. Rechts: Das Bauteil wurde 2.000 Stunden bei 140 °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 μm .

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 (H_2O) ist, wird dadurch die Konzentration an Oxonium-Ionen (H_3O^+) 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, Phosphorsäuren, 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 Kurzzeitbeständigkeit (bis ca. 40 Tage Medienkontakt) auf. Eine vergleichbare Beständigkeit erwarten wir für Ultraform® S1320 003 AT.

In 20%iger Milchsäure (pH-Wert 2,4) bei 80 °C wird Ultraform® S2320 003 AT schon nach relativ kurzer Zeit massiv geschädigt (Abbildung 54).

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

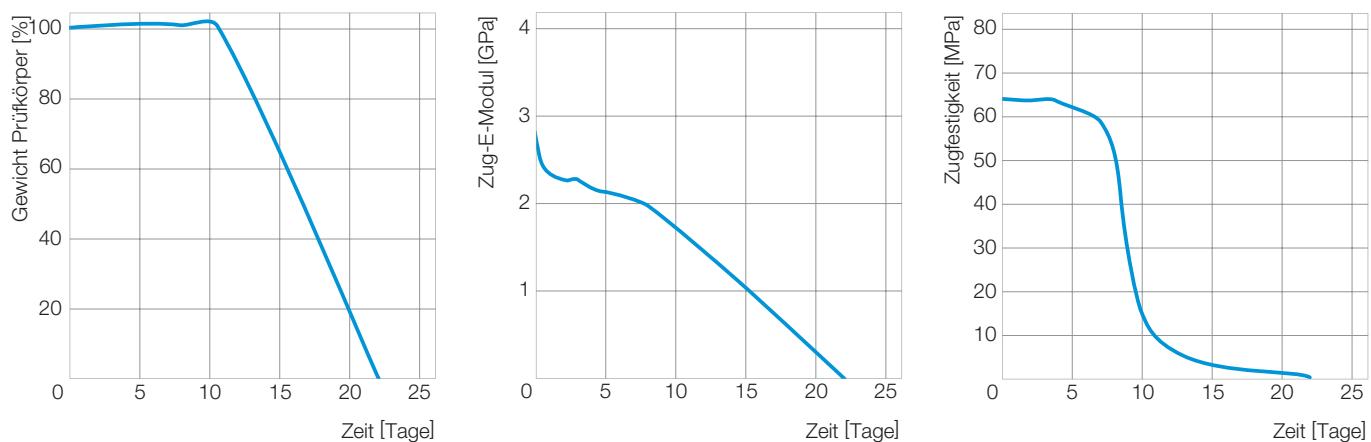


Abb. 54: Lagerung von Ultraform® S2320 003 AT in 20%iger wässriger Milchsäure (pH-Wert 2,4) bei 80 °C

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 - $OCIO$, Chlorate - $OCIO_2$, Perchlorate - $OCIO_3$) 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 20 Tage in einer 12,5%igen wässrigen Natronbleichlauge bei Raumtemperatur gelagert werden – ohne nennenswerte Einbußen in den mechanischen Eigenschaften. Ein ähnliches Verhalten in wässriger Natronbleichlauge erwarten wir für Ultraform® S1320 003 AT.

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 55). 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.

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

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



Abb. 55: 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.

Ultramid® Advanced (PPA) für hervorragende Chemikalienbeständigkeit

Ultramid® Advanced ist ein Compound-Portfolio, das auf Polyphthalamiden (PPA) basiert. Das Portfolio umfasst Ultramid® Advanced N (PA9T), Ultramid® Advanced T1000 (PA6T/6I) und Ultramid Advanced® T2000 (PA6T/66). Aufgrund ihrer teilaromatischen chemischen Struktur bieten diese Kunststoffe ausgezeichnete mechanische Eigenschaften bei höheren Temperaturen. Darüber hinaus sind sie dank ihrer hydrophoben Eigenschaften beständig gegen Feuchtigkeit und aggressive Medien, wobei sie nur geringfügig an Festigkeit einbüßen. Durch ihre niedrige Wasseraufnahme erreichen die Materialien in feuchten Umgebungen eine Dimensionsstabilität, die zu den höchsten aller Polyamide gehört.

Innerhalb des Ultramid® Advanced Portfolios besitzt Ultramid® Advanced N die höchste Chemikalienresistenz. Neben seiner Leistungsfähigkeit unter Normalbedingungen erweitert Ultramid® Advanced N die Einsatzmöglichkeiten von Ultramid® auf Bereiche, in denen eine äußerst hohe Beständigkeit gegen Feuchtigkeit und Chemikalien – auch in Verbindung mit höheren Temperaturen – gefordert ist. Ultramid® Advanced N ist beständig gegen aggressive Medien wie:

- Kühlerflüssigkeiten, z. B. Glykol/Wasser bei bis zu 135 °C für >3.000 h (Abb. 56)
- Aggressive Brennstoffe, z. B. mit hohem Ethanol- oder Methanolgehalt (Abb. 57)
- Motor- und Getriebeöle, Bremsflüssigkeiten (Abb. 58 und 59)
- Verschiedene Säuren wie Essigsäure oder Mischungen aus Chlorwasserstoff, Stickstoff und Schwefelsäure (Abb. 60)
- Kalzium- oder Zinkchloridlösungen

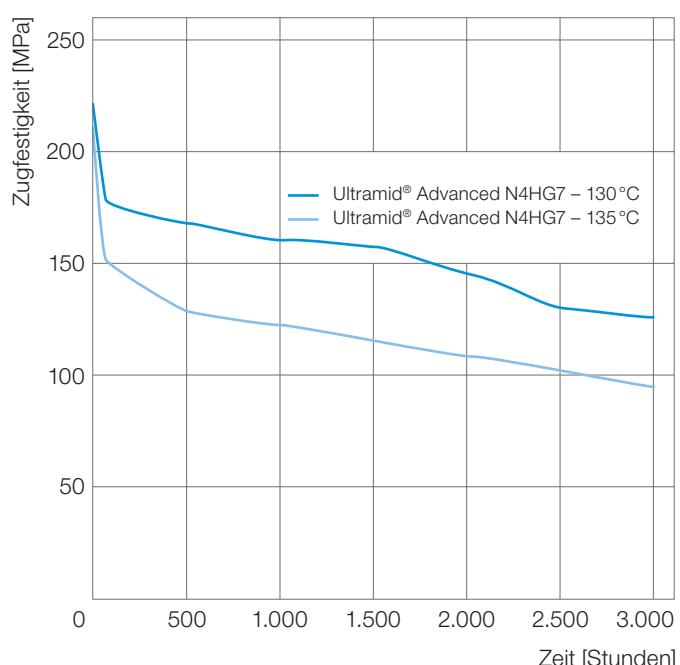
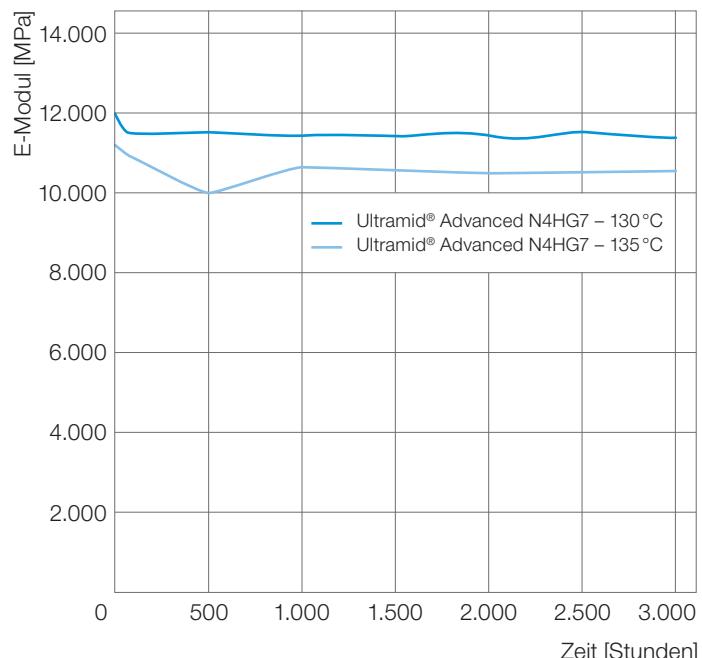


Abb. 56: Lagerung von Ultramid® Advanced N4HG7 (35 % GF) in Glykol/Wasser bei 130 °C und 135 °C (G48, 1:1): Es bleiben mehr als 50 % der ursprünglichen konditionierten Festigkeit nach 3.000 Stunden Lagerung erhalten.

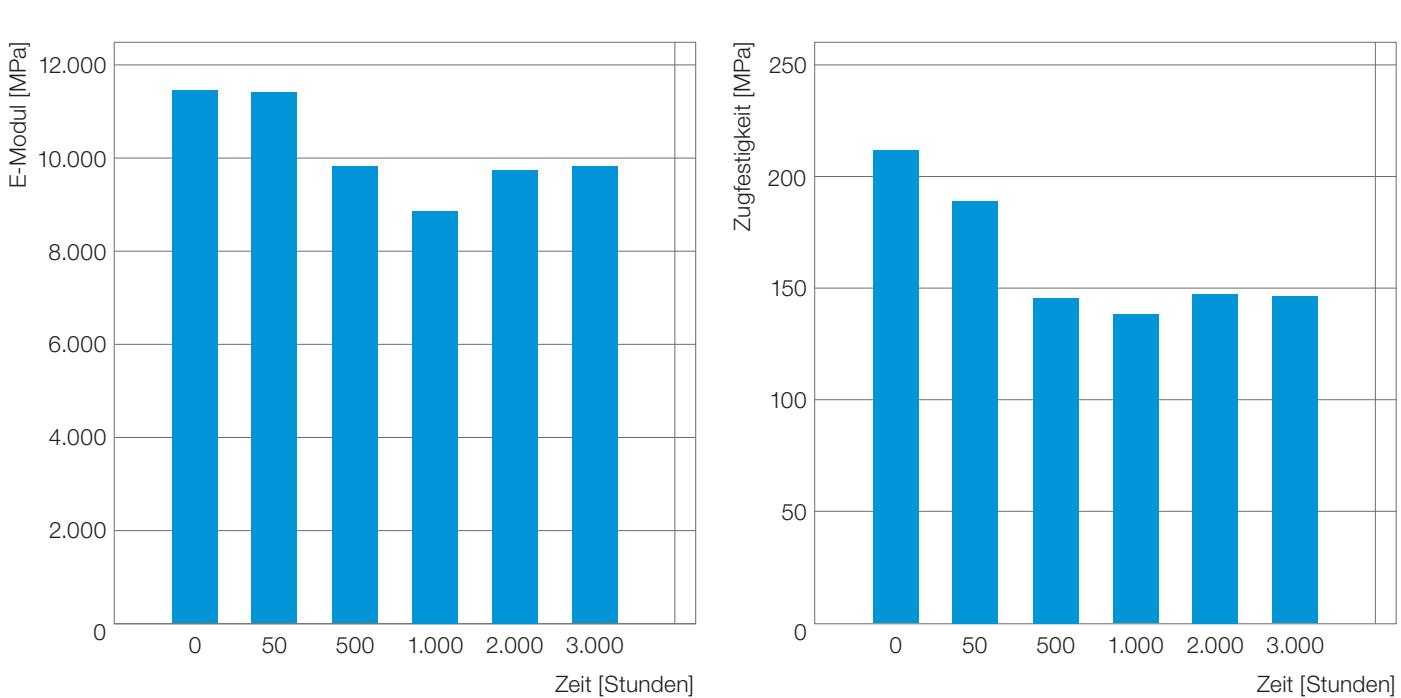


Abb. 57: E-Modul und Zugfestigkeit von Ultramid® Advanced N4HG7 (35 % GF) nach Kraftstofflagerung in E50 bei 90 °C (50 % Ethanol, 50 % Benzin).

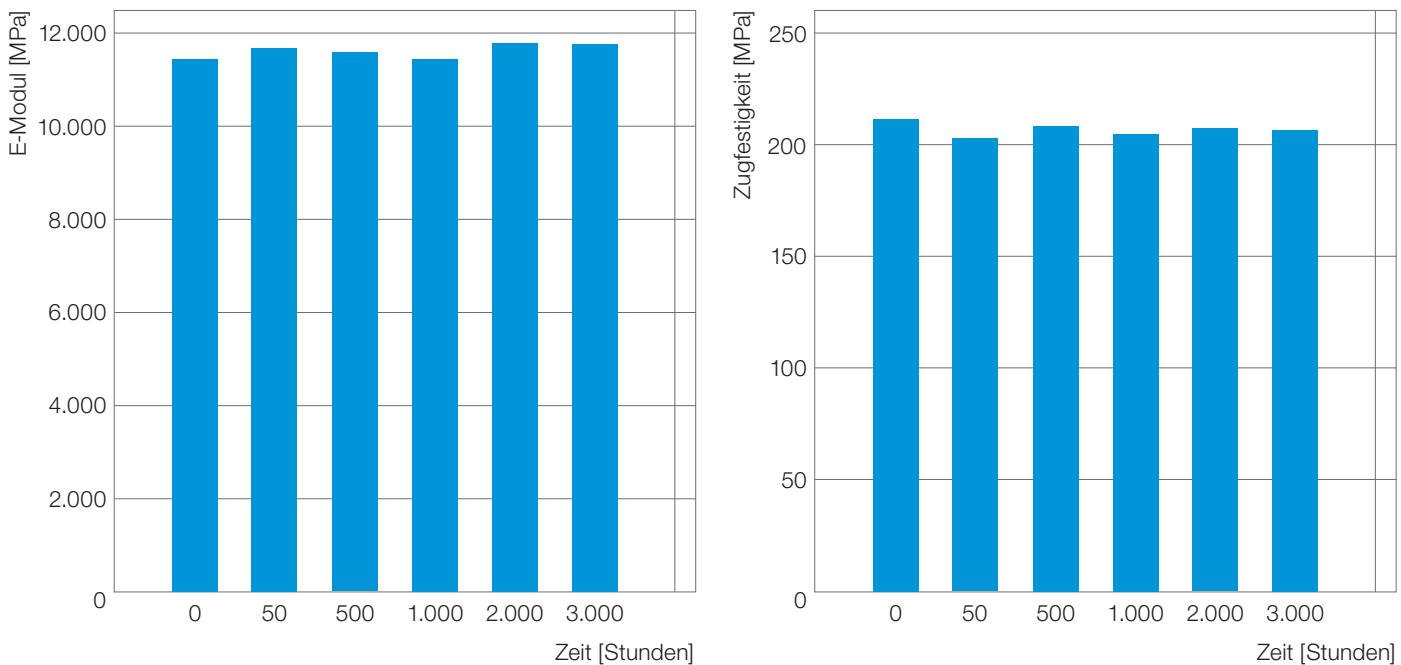


Abb. 58: E-Modul und Zugfestigkeit von Ultramid® Advanced N4HG7 (35 % GF) nach Lagerung in Bremsflüssigkeit bei 120 °C (DOT4).

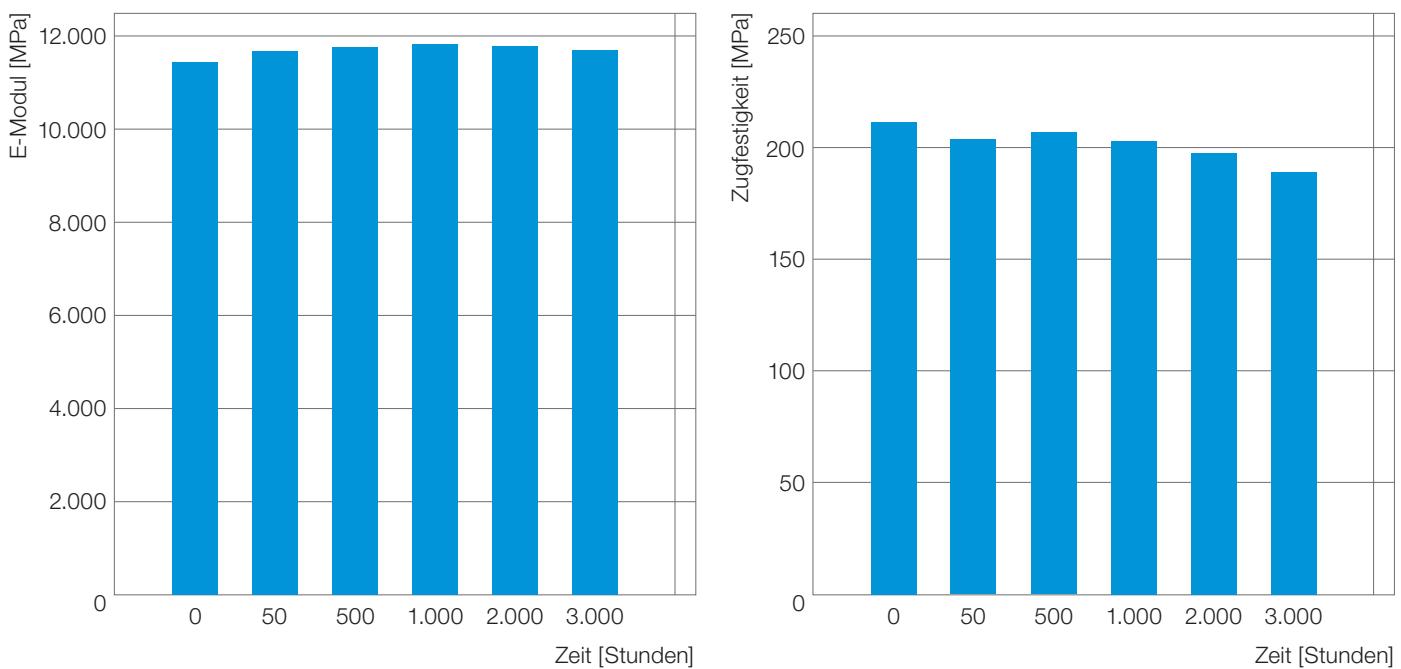


Abb. 59: E-Modul und Zugfestigkeit von Ultramid® Advanced N4HG7 (35 % GF) nach Lagerung in Getriebeöl bei 150 °C (Dextron 6 ATF2).

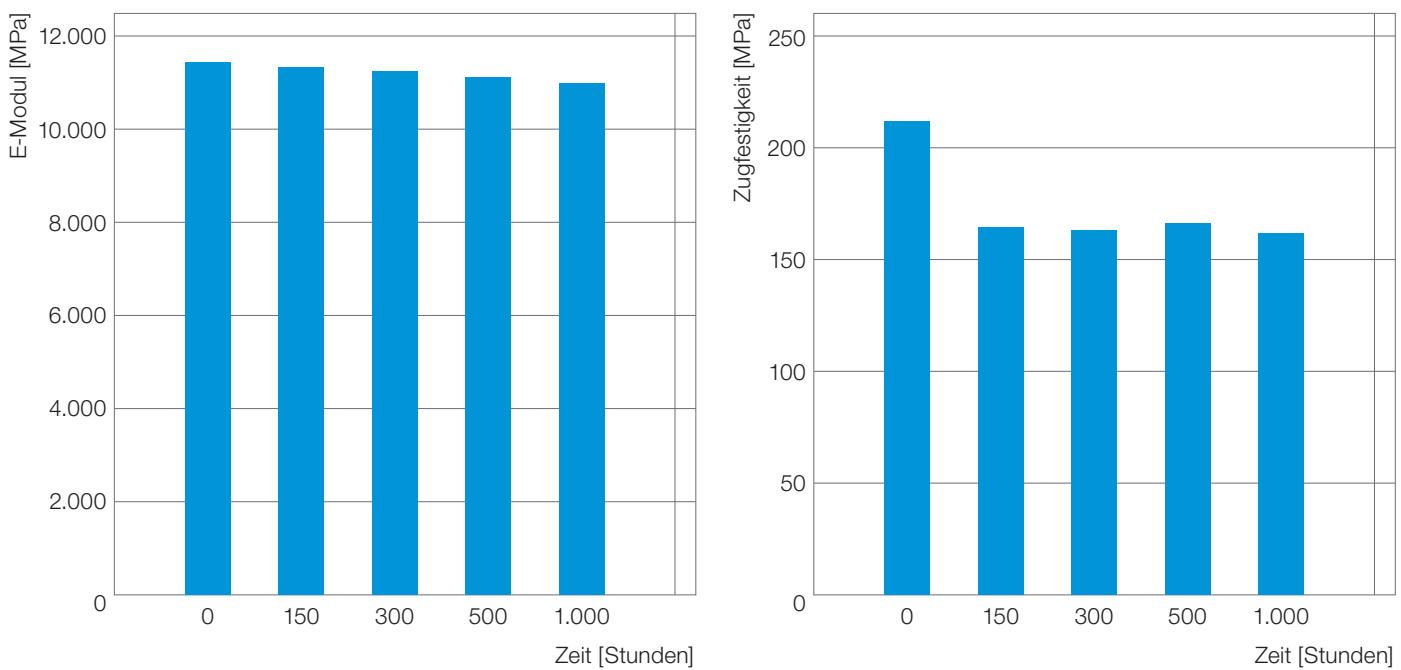


Abb. 60: Lagerung von Ultramid® Advanced N (35 % GF) im Säuremix aus Salzsäure, Salpetersäure und Schwefelsäure bei 100 °C (1:1:1, pH 2): E-Modul und Zugfestigkeit von Ultramid® Advanced N (35 % GF).

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 Spannungsrißbeständigkeit

- DIN EN ISO 22088-3: Kunststoffe – Bestimmung der Beständigkeit gegen umgebungsbedingte Spannungsrißbildung (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, 2016
- Ultramid® Advanced N
- Ultramid® Advanced T1000
- Ultramid® Advanced T2000

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

Übersicht

Ultramid® A	Beispiele	Ultramid® B	Beispiele	Ultramid® S	Beispiele	Ultramid® T
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	Erdgas, Kraftstoffe (Otto, Diesel), Paraffinöl, Motoröle, technische Fette und Schmierstoffe	Aliphatische Kohlenwasserstoffe
Aromatische Kohlenwasserstoffe	Benzol, Toluol	Aromatische Kohlenwasserstoffe	Benzol, Toluol	Aromatische Kohlenwasserstoffe	Benzol, Toluol	Aromatische Kohlenwasserstoffe
Alkalien	Kernseife, Waschläugen, alkalischer Beton	Alkalien	Kernseife, Waschläugen, alkalischer Beton	Alkalien	Kernseife, Waschläugen, alkalischer Beton	Alkalien
Ethylenglycol	Brems-, Hydraulikflüssigkeiten			Ethylenglycol	Brems-, Hydraulikflüssigkeiten, Kühlflüssigkeiten	Ethylenglycol
Ether	THF, Antiklopftmittel für Kraftstoffe (TBME, ETBE)	Ether	THF, Antiklopftmittel für Kraftstoffe (TBME, ETBE)	Ether	THF, Antiklopftmittel für Kraftstoffe (TBME, ETBE)	Ether
Ester	Fette, Speiseöle, Motoröle, Tenside (z. B. Natriumdodecylsulfat)	Ester	Fette, Speiseöle, Motoröle, Tenside (organischer Phosphorsäureester)	Ester	Fette, Speiseöle, Motoröle, Tenside (z. B. Natriumdodecylsulfat)	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	<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	Trinkwasser, Meerwasser, Getränke, Streusalz, Calciumchlorid- und Zinkchloridlösungen	Wasser & wässrige Lösungen
Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoësäure	Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoësäure	Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoësäure	Organische Säuren
Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel

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

Beispiele	Ultramid® Advanced	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	Ethylenglycol	Brems-, Hydraulikflüssigkeiten			Ethylenglycol	< 100 °C Brems-, Hydraulikflüssigkeiten
THF, Antiklopftmittel für Kraftstoffe (TBME, ETBE)	Ether	THF, Antiklopftmittel für Kraftstoffe (TBME, ETBE)			Ether	Antiklopftmittel 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, Benzoësäure	Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoësäure	Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoësäure	Organische Säuren	im festen Zustand Citronensäure, Benzoësäure
Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil	Oxidationsmittel	Ozon als Luftbestandteil

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

Ultramid® A	Beispiele	Ultramid® B	Beispiele	Ultramid® S	Beispiele	Ultramid® T
bedingt beständig: Anwendungen bekannt, gründliche Prüfung und Bewertung in jedem Einzelfall erforderlich						
Alkalien	Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine	Alkalien	Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine	Alkalien	Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine	Alkalien
Ethylen glycol	Kühlflüssigkeiten			Ethylen glycol	Kühlflüssigkeiten	Ethylen glycol
Ester	Getriebeöle, Biodiesel	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	>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	gechlortes Trinkwasser	Wasser & wässrige Lösungen
Organische Säuren	als wässrige Lösung Essigsäure, Citronensäure, Ameisensäure, Benzoësäure	Organische Säuren	als wässrige Lösung Essigsäure, Citronensäure, Ameisensäure, Benzoësäure	Organische Säuren	als wässrige Lösung Essigsäure, Citronensäure, Ameisensäure, Benzoësäure	Organische Säuren
Oxidationsmittel	Spuren von Ozon, Chlor oder nitrosen Gasen	Oxidationsmittel	Spuren von Ozon, Chlor oder nitrosen Gasen	Oxidationsmittel	Spuren von Ozon, Chlor oder nitrosen Gasen	Oxidationsmittel

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

Beispiele	Ultramid® Advanced	Beispiele	Ultradur®	Beispiele	Ultraform®	Beispiele
Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine	Alkalien	Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine	Alkalien	schwach alkalische Medien: Harnstofflö- sung, Natronlauge pH10	Alkalien	Natronlauge, Ammoniakwasser, Harnstofflösung, Amine
Kühlflüssigkeiten	Ethylen glycol	Kühlflüssigkeiten			Ethylen glycol	> 100 °C Kühlflüssigkeiten
					Ether	Tetrahydrofuran (THF)
Getriebeöle, Biodiesel	Ester	Getriebeöle, Biodiesel	Ester	Getriebeöle		
>60°C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frost- schutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraft- stoffe	Aliphatische Alkohole	>60°C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frost- schutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraft- stoffe			Aliphatische Alkohole	>60°C Ethanol, Methanol, Isopropanol, Frost- schutzmittel für Scheibenreiniger, Spirituosen, Kraft- stoffe
gechlortes Trinkwasser	Wasser & wässrige Lösungen	gechlortes Trinkwasser	Wasser & wässrige Lösungen	40-90 °C: feuchtes Klima	Wasser & wässrige Lösungen	gechlortes Trink- wasser, wässrige Lösungen von Zinkchlorid
als wässrige Lösung Essigsäure, Citronen- säure, Ameisensäure, Benzoesäure	Organische Säuren	als wässrige Lösung Essigsäure, Citronen- säure, Ameisensäure, Benzoesäure			Organische Säuren	als verdünnte wässrige Lösung Essigsäure, Citronen- säure, Ameisensäu- re, Benzoesäure, Milchsäure
Spuren von Ozon, Chlor oder nitrosen Gasen	Oxidationsmittel	Spuren von Ozon, Chlor oder nitrosen Gasen				

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

Ultramid® A	Beispiele	Ultramid® B	Beispiele	Ultramid® S	Beispiele	Ultramid® T
unbeständig						
Mineralsäuren	konzentrierte Salzsäure, Batteriesäure, Schwefelsäure, Salpetersäure	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	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.		Schwefelsäure konz.	
	Ameisensäure 90%		Ameisensäure 90%		Ameisensäure 90%	
	Hexafluorisopropanol (HFIP)		Hexafluorisopropanol (HFIP)		Hexafluorisopropanol (HFIP)	

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

Beispiele	Ultramid® Advanced	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, Schwefelsäure, Salpetersäure	Mineralsäuren	konzentrierte Salzsäure, Batteriesäure, Schwefelsäure, Salpetersäure	Mineralsäuren	konzentrierte Salzsäure, Batteriesäure, Schwefelsäure, Salpetersäure	Mineralsäuren	konzentrierte Salzsäure, Batteriesäure, Schwefelsäure, Salpetersäure
						Organische Säuren
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.						
Ameisensäure 90%						
Hexafluorisopropanol (HFIP)				Hexafluorisopropanol (HFIP)		Hexafluorisopropanol (HFIP)
				Dichlorbenzol/Phenol (50/50)		
						N-Methyl-Pyrrolidon (NMP) bei erhöhter Temperatur
						Dimethylformamid (DMF) bei erhöhter Temperatur

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

Für Ihre Notizen

Ausgewählte Produktliteratur:

- Ultramid® – Hauptbroschüre
- Ultramid® – Sortimentsübersicht
- Ultradur® – Hauptbroschüre
- Ultradur® – Sortimentsübersicht
- Ultraform® – Hauptbroschüre
- Ultraform® – Sortimentsübersicht AT
- Ultramid®, Ultradur® und Ultraform® – Verhalten gegenüber Chemikalien
- Ultramid® Advanced PPA Broschüren und Flyer

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. (März 2022)

Weitere Informationen zu Ultramid®, Ultradur® und Ultraform® finden Sie im Internet unter:

ultramid.bASF.com

ultradur.bASF.com

ultraform.bASF.com

Besuchen Sie auch unsere Internetseiten:

www.plastics.bASF.de

Broschürenanforderung:

plas.com@basf.com

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

