



# LOCTITE 402

**Der Sofortklebstoff mit  
Ultra-Performance.**

Áine Mooney  
Martin Smyth  
Tammy Gernon  
Michael Jordan  
Oliver Droste  
Christine Marotta



Industriedesigner und Fertigungsingenieure sind ständig auf der Suche nach innovativen Lösungen, mit denen neue und verbesserte Konstruktionen möglich sind und Fertigungsprozesse insgesamt optimiert werden können. In vielen Branchen geht der Trend zu kleineren und leistungsfähigeren Geräten. Jedoch erfordern kleinere Geräte innovative Werkstoffe und Montageverfahren bei gleichzeitig höherer Präzision: mehr Funktion auf kleinerem Raum bei gleicher oder verbesserter Leistung des Endgeräts. Solche Gerätekonstruktionen können sowohl aus Sicht der Montage als auch im Hinblick auf neue Leistungsanforderungen wie Wärmeentwicklung zu einer Herausforderung werden.

Den Ingenieuren stehen heute diverse Montagelösungen zur Verfügung, die von mechanischen Verfahren wie Befestigungselementen und Klebebändern über Schweißverfahren (Ultraschall, Lösemittel) bis hin zu Klebstoffen reichen. Jedes Montageverfahren hat dabei spezielle Vorteile aber auch Herausforderungen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Montageverfahren mit ihren wesentlichen Vorteilen und Herausforderungen.

**TABELLE 1**  
**Vorteile und Herausforderungen verschiedener Montageverfahren.**

MONTAGEVERFAHREN	DIE WICHTIGSTEN VORTEILE	DIE GRÖßTEN HERAUSFORDERUNGEN
<b>Mechanische Verbindungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stark</li> <li>• Kostengünstig</li> <li>• Kein Aushärten</li> <li>• Verbindung ungleicher Materialien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teilebestand</li> <li>• Schwierig zu automatisieren</li> <li>• Keine Abdichtung</li> <li>• Spannungskonzentration um Befestigungselement</li> <li>• Lockerung im Laufe der Zeit</li> </ul>
<b>Ultraschallschweißen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfach zu automatisieren</li> <li>• Einfaches Verfahren</li> <li>• Hohe Festigkeit</li> <li>• Schnelligkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten</li> <li>• Systemwartung</li> <li>• Ungleiche Materialien</li> <li>• Schwer zu klebende Materialien</li> <li>• Spaltfüllvermögen</li> </ul>
<b>Klebeband</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten</li> <li>• Sofortige Fixierung</li> <li>• Verbindung ungleicher Materialien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierig zu automatisieren</li> <li>• Präzise Anwendung</li> <li>• Schwer zu klebende Materialien</li> </ul>
<b>Klebstoffe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbindung ungleicher Materialien</li> <li>• Gleichmäßige Spannungsverteilung</li> <li>• Spaltfüllend</li> <li>• Abdichtung</li> <li>• Einfach zu automatisieren</li> <li>• Verbindung von schwer zu verbindenden Materialien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muss dosiert/aufgetragen werden</li> <li>• Aushärten erforderlich (einige Geräte)</li> <li>• Ausgewählte Rezepturen mit geringerer Temperaturbeständigkeit</li> </ul>

In der Kategorie der Montageklebstoffe gibt es mehrere Optionen wie Epoxidharze, Schmelzklebstoffe, lichthärtende Klebstoffe, Zweikomponenten-Acrylatklebstoffe und Cyanacrylate (oder Sofortklebstoffe). Cyanacrylat-Klebstoffe bieten viele Vorteile gegenüber anderen Montageverfahren, wie unter anderem:

- Schnelle Fixierung
- Raumtemperaturhärtend
- Einkomponentig
- Hohe Festigkeit auf vielen Kunststoffen, Metallen und Elastomeren
- Hohe Festigkeit bei schwer zu verbindenden Materialien (z. B. Polyethylen, Polypropylen)
- Einfache/präzise Dosierung

Bei Sofortklebstoffen gibt es ein paar Herausforderungen, die vor allem auf ihre thermoplastische Natur zurückzuführen sind: eine typische maximale Betriebstemperatur von 82 °C, die maximale Spaltfüllung bei hochviskosen Versionen von 2,5 mm, die inhärente Sprödigkeit und schlechte Haltbarkeit in feuchter Umgebung.

Seit ihrer Einführung vor über 50 Jahren wurden die Cyanacrylate mit neuen zähen und flexiblen Varianten, Hochtemperaturformeln (bis 120 °C) und sogar geruchsarmen Versionen erheblich weiterentwickelt. Die jüngste Innovation vereint die optimalen Leistungsmerkmale der besten Sofortklebstoffe in einem neuen Produkt.

## DAS NEUE LOCTITE 402

LOCTITE 402 ist die neueste Produktinnovation von Henkel mit einer patentierten Technologie, die die Grenzen der Leistungsfähigkeit von Standard-Ethylcyanoacrylaten überschreitet. Es handelt sich dabei um einen Sofortklebstoff mit Ultra-Performance, der sich durch die Kombination von schneller Fixierung und hoher Festigkeit mit erstklassiger Leistung bei hohen Temperaturen und verbesserter Haltbarkeit unter Umweltbedingungen auszeichnet.

### Schnelle Fixierung und hohe Festigkeit

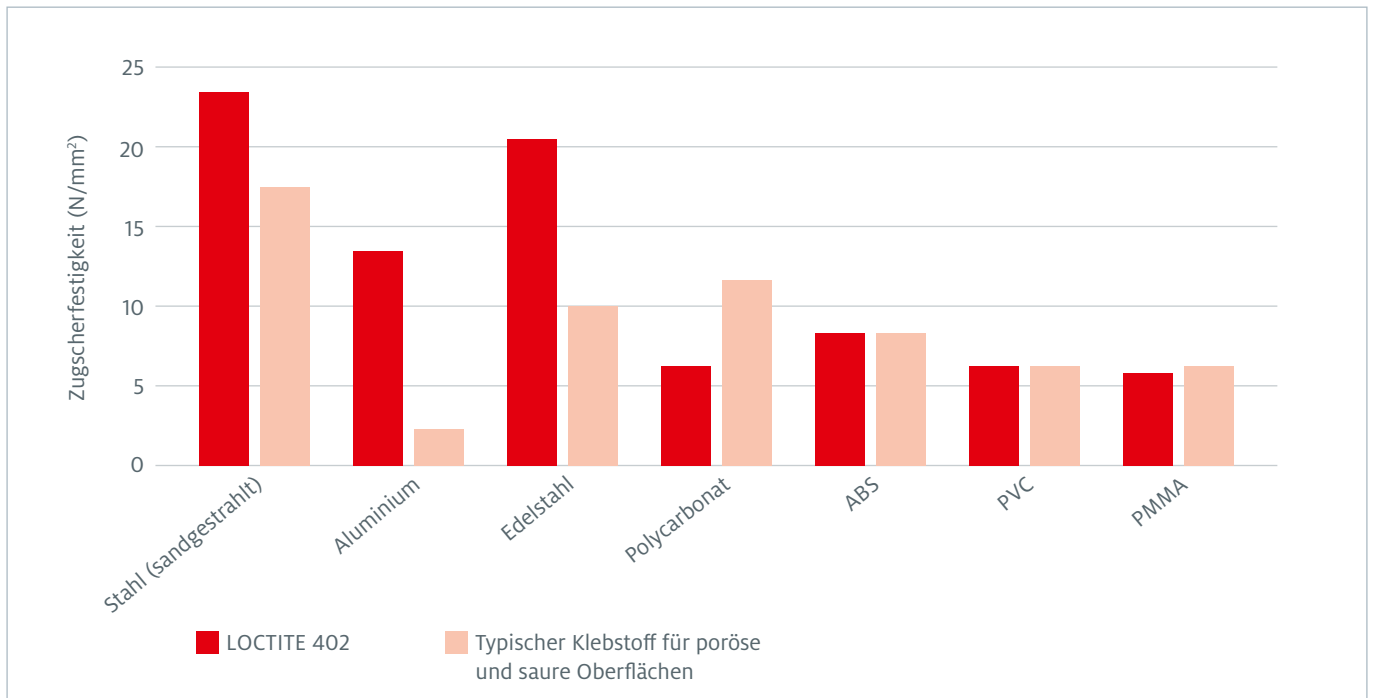
LOCTITE 402 lässt sich auf einem breiten Spektrum von Substraten, einschließlich Metallen, Kunststoffen, Gummi und porösen Materialien wie Papier und Holz, im Vergleich zu einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen schnell fixieren, wie die Tabelle 2 zeigt.

**TABELLE 2**

**Handfestigkeit von LOCTITE 402 und typischen Klebstoffen für poröse und saure Oberflächen auf verschiedenen Substraten.**

MATERIAL	LOCTITE 402	TYPISCHER KLEBSTOFF FÜR PORÖSE UND SAURE OBERFLÄCHEN
Baustahl	< 5 s	< 5 s
Aluminium	< 5 s	< 5 s
Edelstahl	30 bis 45 s	20 bis 30 s
Polycarbonat	< 5 s	< 5 s
ABS	< 5 s	< 5 s
PVC	10 bis 20 s	5 bis 10 s
Papier	5 bis 20 s	< 5 s
Holz (Eiche)	30 bis 45 s	30 bis 45 s
Leder	30 bis 45 s	10 bis 20 s
EPDM	< 5 s	< 5 s

LOCTITE 402 bietet eine hohe Festigkeit auf einer Vielzahl von Metallen und Kunststoffen (siehe Abbildung 1). Im Vergleich zu den typischen Klebstoffen für poröse und saure Oberflächen zeichnet sich das Produkt durch seine Eigenschaften auf Metallen wie Aluminium und Edelstahl aus. LOCTITE 402 weist auch eine ausgezeichnete Zugscherfestigkeit auf allen getesteten Kunststoffen auf.



**Abb. 1**  
Zugscherfestigkeit von LOCTITE 402 und typischen Klebstoffen für poröse und saure Oberflächen auf verschiedenen Metallen und Kunststoffen nach siebentägiger Aushärtung bei Raumtemperatur.

### **Erstklassige Leistung bei hohen Temperaturen**

Die sichere Einsatztemperatur für Cyanacrylat-Klebstoffe liegt normalerweise bei 80 °C. Bislang bedeutete die geringe Temperaturbeständigkeit eine Einschränkung für den Einsatz von Sofortklebstoffen auf Ethylbasis in Anwendungen, bei denen die Klebeverbindung über längere Zeit hohen Temperaturen ausgesetzt ist. Diese geringe Temperaturbeständigkeit ist auf eine Kombination von Faktoren zurückzuführen, wie u. a. die Erweichung des ausgehärteten Polymers bei Temperaturen nahe seiner Glasübergangstemperatur (T<sub>g</sub>) und die Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften, wie z. B. der Zugscherfestigkeit, aufgrund der Depolymerisation des linearen Polymers. Eine umfassende Betrachtung wurde 2017 veröffentlicht.

Eine Lösung für diese geringe Temperaturbeständigkeit ist die Verwendung eines Cyanacrylatmonomers, das eine vernetzte Polymerstruktur bilden kann, wie z. B. Allyl-2-cyanacrylat. Beim Aufheizen auf Temperaturen von ca. 150 °C oder höher erfolgt die Vernetzung des linearen Allylcyanacrylat-Polymers durch radikalische Polymerisation zu einem temperaturbeständigen Polymer. Wenn jedoch keine Vernetzung des Allylpolymeres stattgefunden hat, weisen Sofortklebstoffe auf Allylbasis die gleiche Temperaturbeständigkeit wie andere Cyanacrylat-Polymere auf. Daher ist ein zusätzlicher Verarbeitungsschritt erforderlich, bei dem die mit Allyl-2-cyanacrylat verklebten Verbindungen einer erhöhten Temperatur von ca. 150 °C ausgesetzt werden, um diese Temperaturbeständigkeit zu erreichen. Dieser weitere Verarbeitungsschritt kann zu einem zusätzlichen erheblichen Zeit- und Kostenaufwand in der Herstellung und Montage führen.

LOCTITE 402 beinhaltet eine neue patentierte Technologie, die von Henkel entwickelt wurde, um diese Leistungseinschränkungen bei hohen Temperaturen zu überwinden. LOCTITE 402 besteht aus einer Mischung von Ethyl- und Allylcyanacrylat-Monomeren in Kombination mit einem patentierten Additivpaket. Mit dieser Mischung aus Ethyl- und Allylcyanacrylat-Monomeren kann LOCTITE 402 wie jeder andere Sofortklebstoff bei hohen Temperaturen ohne zusätzliche Verarbeitungsschritte eingesetzt werden. Das Ethylcyanacrylat-Monomer unterstützt die anfängliche Wärmeleistung von LOCTITE 402 bei erhöhten Temperaturen, bis die Vernetzungsreaktion des Allylmonomers erfolgt ist. Die Zeit, die für diese Vernetzungsreaktion benötigt wird, ist von der Temperatur abhängig.

Dabei gelten drei verschiedene thermische Eigenschaften für die Temperaturbeständigkeit insgesamt als wesentlich: (i) die Temperaturfestigkeit, (ii) die Temperaturalterung bei erhöhten Temperaturen und (iii) die Temperaturfestigkeit nach längerer Exposition gegenüber Lagerung bei hohen Temperaturen. In den folgenden Abschnitten werden wir die einzelnen Eigenschaften erläutern und zeigen, wo LOCTITE 402 andere Sofortklebstoffe übertrifft.

### Temperaturfestigkeit

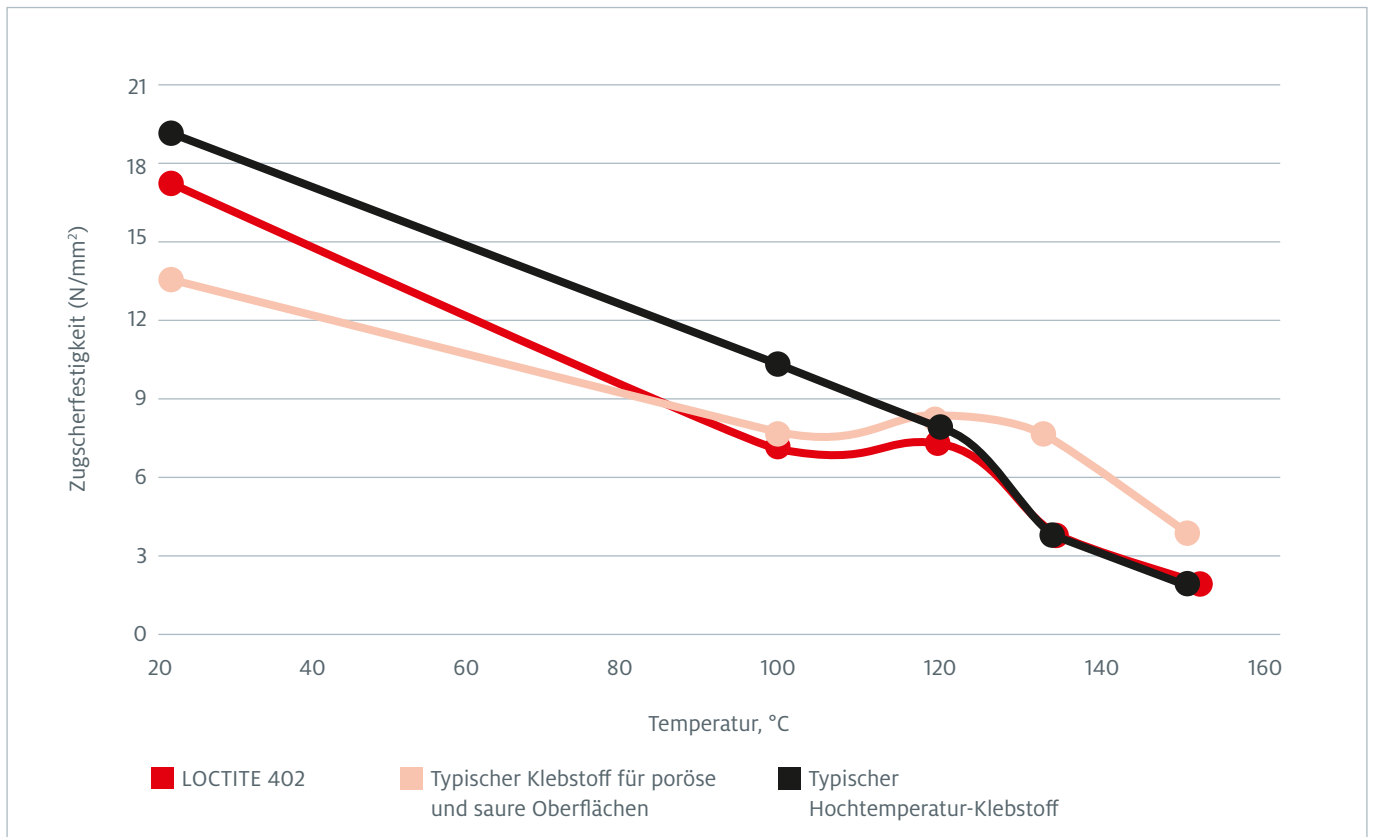
Die Temperaturfestigkeit ist die Festigkeit der Klebeverbindung, die bei der jeweiligen Temperatur gemessen wird. Cyanacrylatpolymere sind als thermoplastische Materialien eingestuft, was bedeutet, dass diese Polymere erweichen, wenn sie auf Temperaturen nahe ihrer Glasübergangstemperatur (Tg) erhitzt werden. Die Tg-Werte einiger gängiger Cyanacrylatester sind in Tabelle 3 aufgeführt.

**TABELLE 3**  
Glasübergangstemperatur (Tg) gängiger Cyanacrylatester.<sup>1</sup>

CYANACRYLATESTER	TG (°C)
Methyl	165
Ethyl	140 – 150
n-Butyl	90
B-Methoxyethyl	85
Allyl	130

Ethylcyanacrylatpolymer weist eine angegebene Tg im Bereich von 140 - 150 °C auf, und daher beginnt das Polymer bei Temperaturen, die sich dem Tg-Bereich nähern oder darüber liegen, weich zu werden und zu fließen. Verklebte Zugscherverbindungen, die bei, nahe oder über dieser Temperatur gelagert werden, weisen geringe Festigkeiten auf. Bei Temperaturen oberhalb des Tg beginnt das Cyanacrylatpolymer zu depolymerisieren, was zu einem Verlust der mechanischen Eigenschaften wie der Zugscherfestigkeit führt.

Abbildung 2 zeigt die Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402 bei erhöhten Temperaturen im Vergleich zu einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Sofortklebstoff an Edelstahl-Zugscherproben nach einer Aushärtungszeit von sieben Tagen bei Raumtemperatur. In jedem Fall ist eine Abnahme der Zugscherfestigkeit der Klebeverbindung zu beobachten, wenn die Umgebungstemperatur steigt. Bei einer Temperatur von 135 °C beträgt die Zugscherfestigkeit der Klebeverbindungen etwa 3 N/mm<sup>2</sup>.



**Abb. 2** Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402, eines typischen Klebstoffs für poröse und saure Oberflächen und eines typischen Hochtemperatur-Klebstoffs nach einer Aushärtungszeit von sieben Tagen bei Raumtemperatur bei Edelstahl-Zugscherproben.



### Temperaturbeständigkeit

Die Temperaturbeständigkeit bezieht sich auf die Fähigkeit des ausgehärteten Klebstoffs in einer Klebeverbindung, seine anfängliche bei Raumtemperatur erwiesene Festigkeit beizubehalten, wenn die Klebeverbindung einer Langzeitalterung bei erhöhten Temperaturen ausgesetzt, dann aber wieder in Raumtemperatur zurückgeführt und bei dieser geprüft wird. Die Temperatureinwirkung schwächt die Haftung an der Grenzfläche zwischen dem Cyanacrylatpolymer und dem geklebten Substrat. In der Regel verlieren Sofortklebstoffe schnell an Festigkeit, wenn die Klebeverbindungen bei Temperaturen weit unter ihrem T<sub>g</sub> gealtert werden.

Die Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff wurde nach der Exposition gegenüber Alterung mit Temperaturen zwischen 100 °C und 150 °C bestimmt (siehe Abbildungen 3 bis 6). In allen Fällen wurden Edelstahl-Zugscherproben verwendet, wobei die geklebten Zugscherproben vor der Exposition gegenüber der Alterung bei hohen Temperaturen sieben Tage lang bei Raumtemperatur ausgehärtet wurden.

Nach 1.000 Stunden Alterung bei 100 °C behält LOCTITE 402 79 % seiner ursprünglichen Festigkeit bei (siehe Abbildung 3). Der typische Klebstoff für poröse und saure Oberflächenschneidet bei dieser Temperatur ebenfalls gut ab und behält 59 % seiner ursprünglichen Festigkeit bei, während der typische Hochtemperatur-Klebstoff nur noch 29 % seiner Festigkeit aufweist.

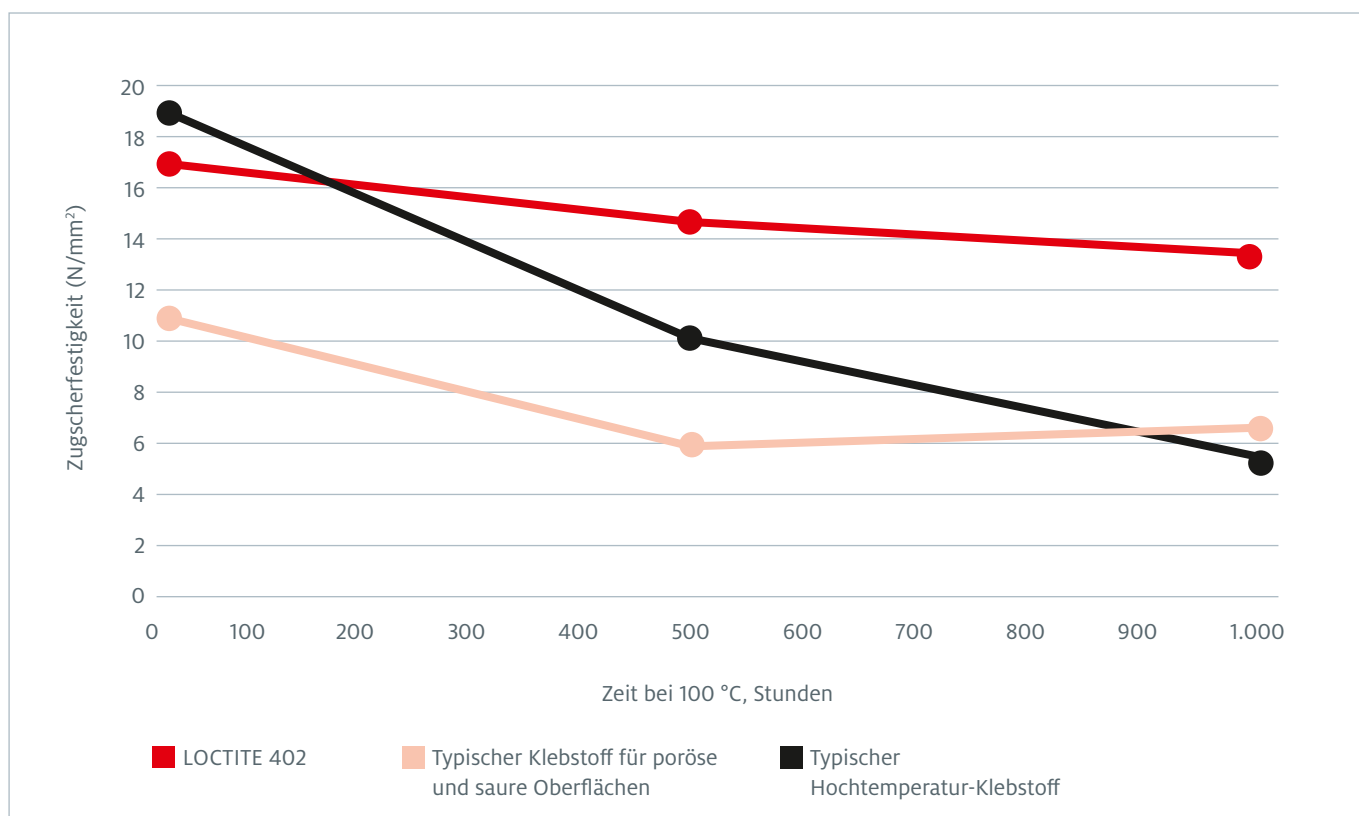
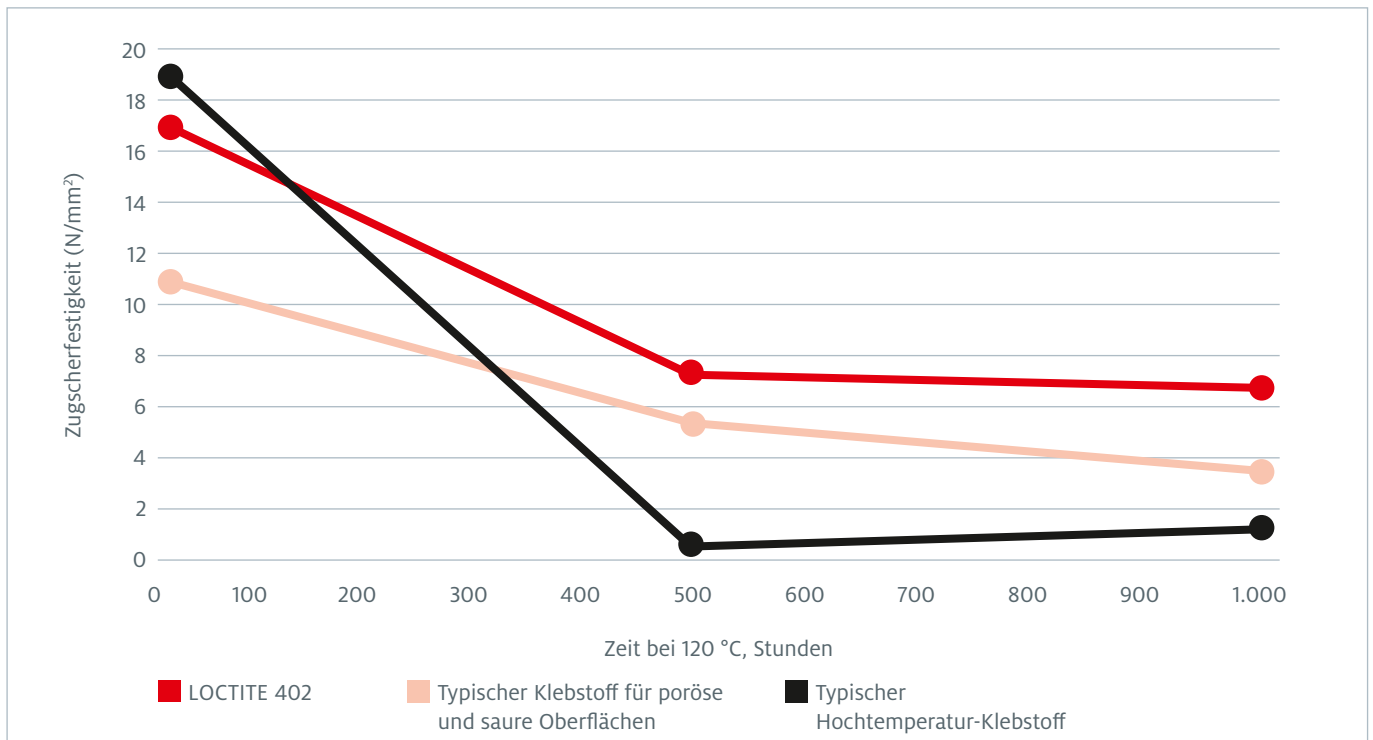


Abb. 3

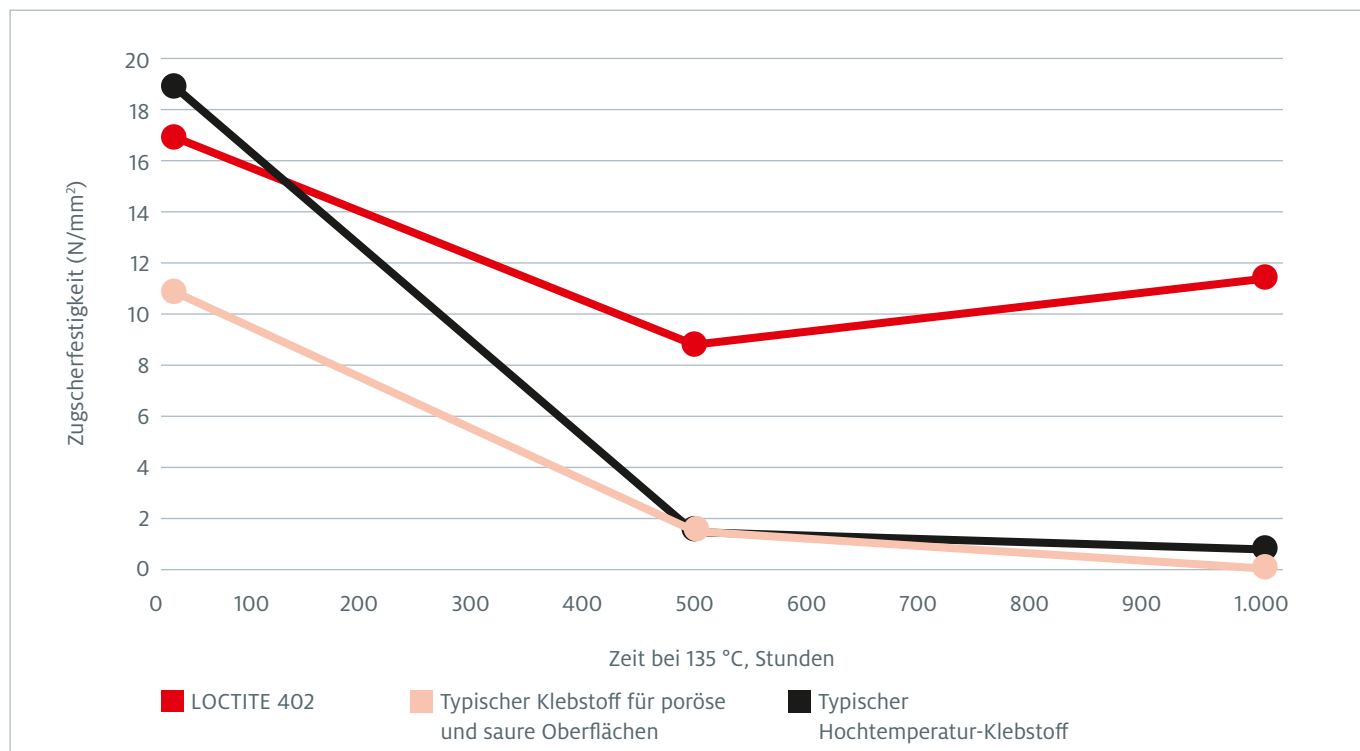
Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff nach 1.000 Stunden Exposition gegenüber Alterung bei 100 °C mit Edelstahl-Zugscherproben.

Abbildung 4 zeigt die Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402 über 1.000 Stunden bei 120 °C im Vergleich zum typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und typischen Hochtemperatur-Klebstoff. Bei einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff ist ein rascher Verlust der Festigkeit zu beobachten. Der typische Klebstoff für poröse und saure Oberflächen behält nach 1.000 Stunden Alterung eine Zugscherfestigkeit von 3,9 N/mm<sup>2</sup> bei. Im Gegensatz dazu weist LOCTITE 402 nach 1.000 Stunden eine Zugscherfestigkeit von 6,5 N/mm<sup>2</sup> (bzw. 38 % der ursprünglichen Festigkeit) auf.



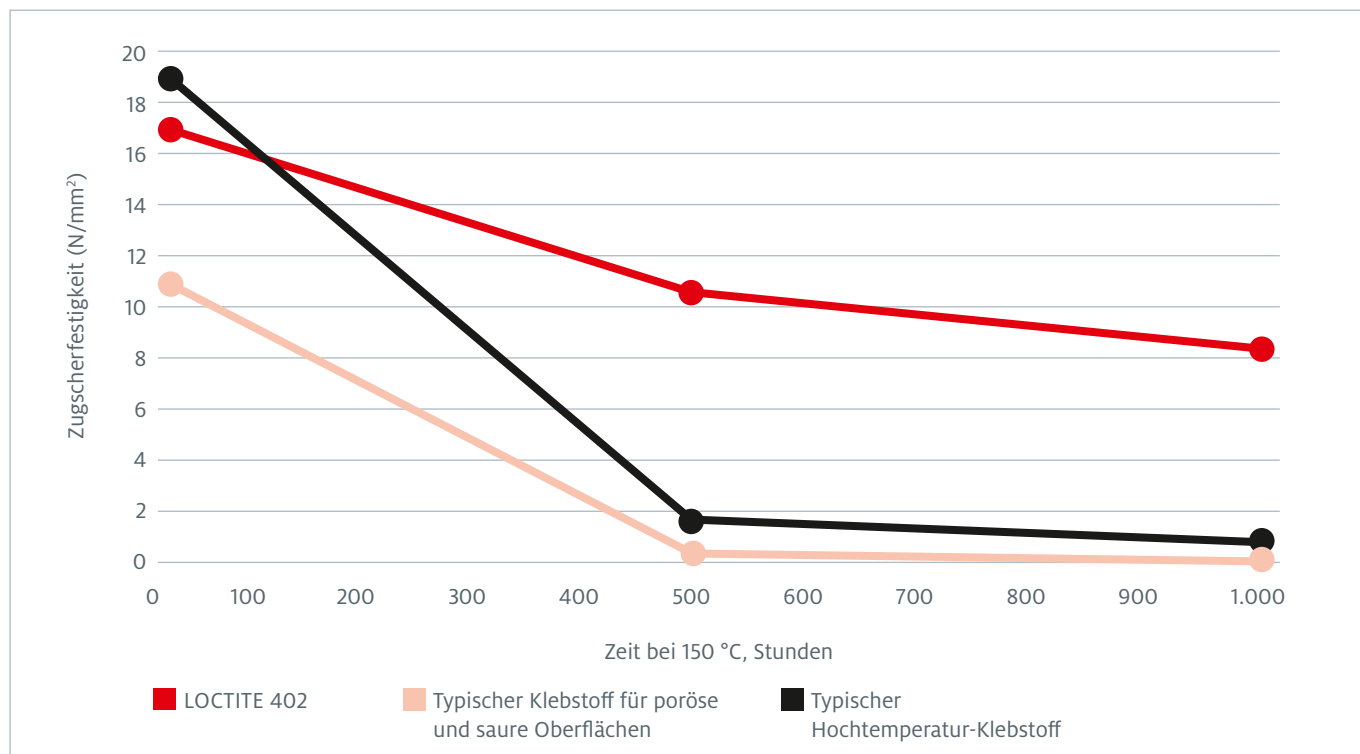
**Abb. 4** Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff nach 1.000 Stunden Alterung gegenüber bei 120 °C mit Edelstahl-Zugscherproben.

Bei einer weiteren Erhöhung der Temperatur auf 135 °C zeigt sich die Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402 noch deutlicher (siehe Abbildung 5). Nach einer Alterung von 1.000 Stunden bei 135 °C behält LOCTITE 402 eine Zugscherfestigkeit von 11,3 N/mm<sup>2</sup> bzw. 66 % der ursprünglichen Festigkeit. Im Gegensatz dazu fällt die Festigkeit bei dem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und dem typischen Hochtemperatur-Klebstoff innerhalb von 500 Stunden rasch ab. Nach 1.000 Stunden Alterung ist die Festigkeit des typischen Klebstoffs für poröse und saure Oberflächen und des typischen Hochtemperatur-Klebstoffs auf Null gesunken, was darauf hinweist, dass ein Abbau des linearen Polymers stattgefunden hat.



**Abb. 5** Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff nach 1.000 Stunden Alterung gegenüber bei 135 °C mit Edelstahl-Zugscherproben.

Die Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402 bleibt auch bei der höchsten Temperatur von 150 °C erhalten (siehe Abbildung 6). Nach 1.000 Stunden Alterung behält LOCTITE 402 49 % seiner ursprünglichen Haftfestigkeit bei. Im Gegensatz dazu ist bei dem typischen Hochtemperatur-Klebstoff innerhalb der ersten 500 Stunden ein deutlicher Abfall festzustellen, so dass er nur 9 % seiner ursprünglichen Haftfestigkeit beibehält. Ein noch schnellerer Verlust der Zugscherfestigkeit ist bei dem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen zu beobachten, bei dem die Festigkeit nach 500 Stunden bei 150 °C Null ist. Dies zeigt, dass der lineare Polymerabbau schneller erfolgt, wenn die Temperatur erhöht wird.



**Abb. 6** Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff nach 1.000 Stunden Alterung gegenüber bei 150 °C mit Edelstahl-Zugscherproben.

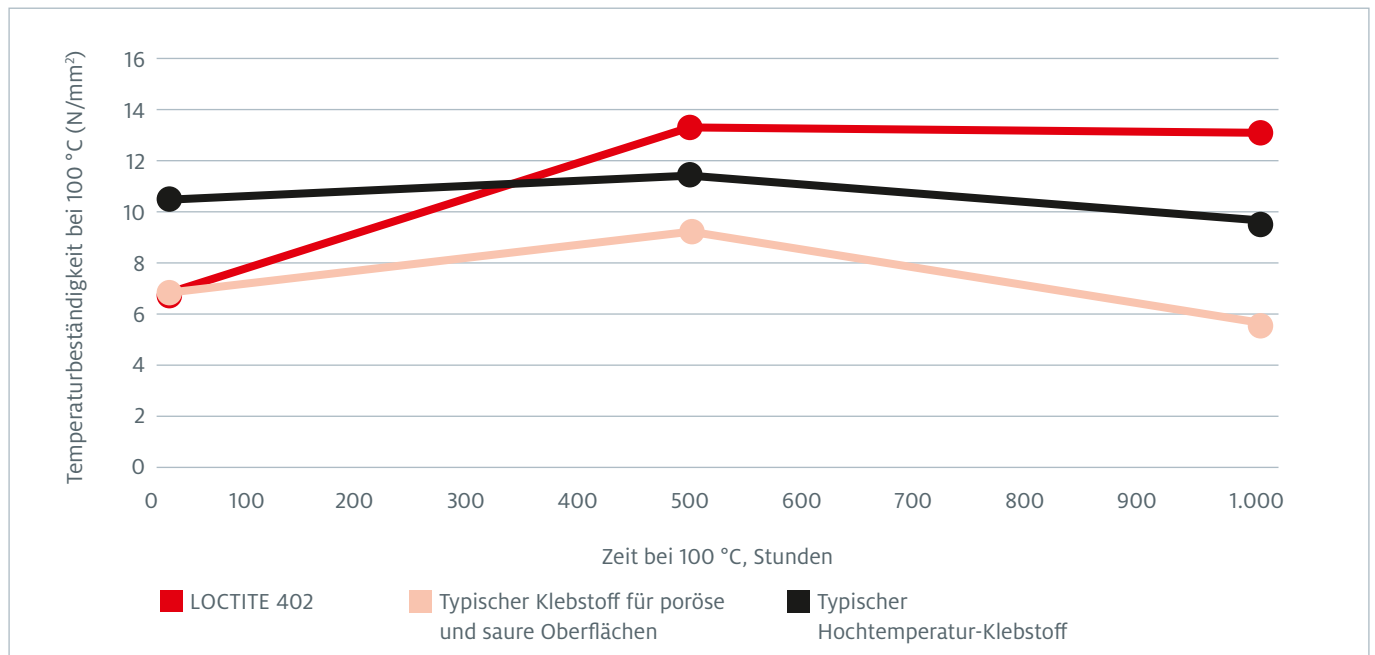
### **Temperaturfestigkeit nach langer Exposition gegenüber hohen Temperaturen**

Das herausragende Merkmal von LOCTITE 402 ist seine beeindruckende Fähigkeit, hohen Temperaturen widerstehen und seine Temperaturbeständigkeit über lange Zeiträume aufrechterhalten zu können. Somit ist LOCTITE 402 der einzige Sofortklebstoff, der über einen längeren Zeitraum eine gleichbleibende Leistung bei hohen Temperaturen bietet.

Die Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff wurde nach Exposition gegenüber hohen Temperaturen wie folgt bestimmt:

- Zugscherproben aus Edelstahl wurden entweder mit LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen oder einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff geklebt.
- Nach siebentägiger Aushärtungszeit bei Raumtemperatur wurden die Klebeverbindungen hohen Temperaturen ausgesetzt:
  - 100 °C
  - 120 °C
  - 135 °C
  - 150 °C
- Nach 500 und 1.000 Stunden Alterung gegenüber jeder Temperatur wurde die Festigkeit der geklebten Zugscherprobe auch bei dieser Temperatur gemessen.

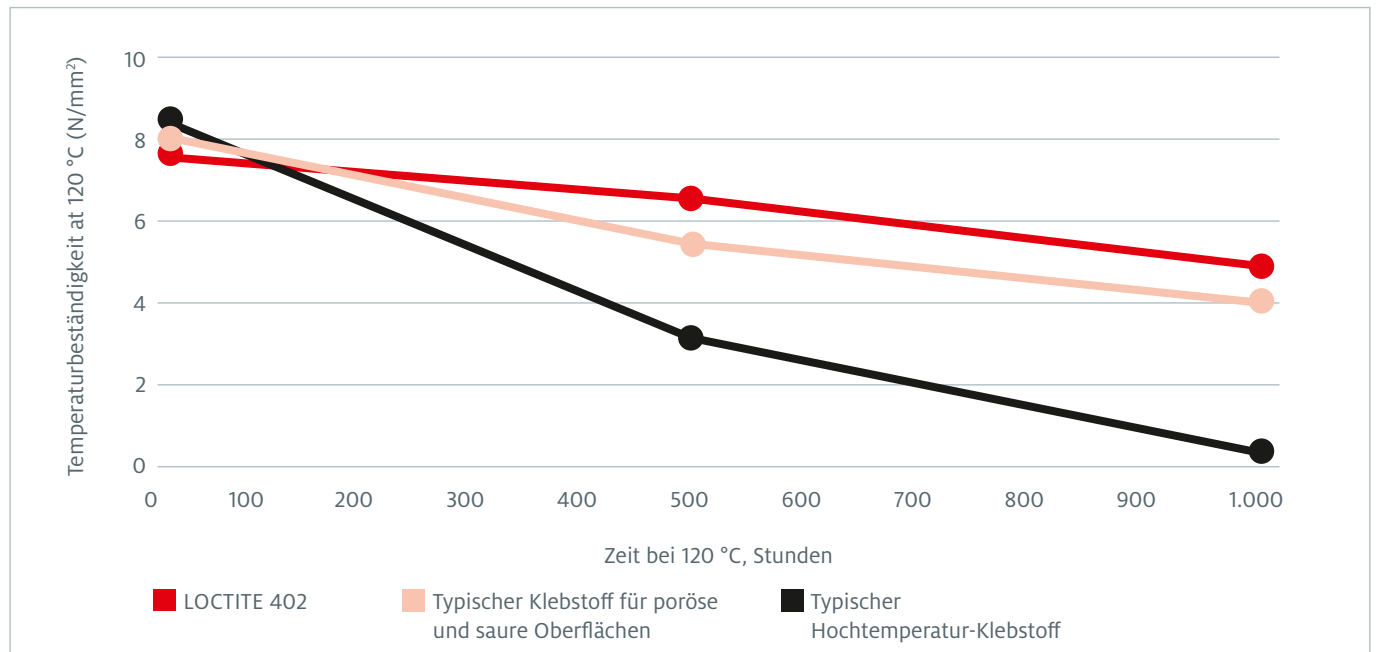
Abbildung 7 zeigt die Temperaturbeständigkeit bei 100 °C für LOCTITE 402, einen typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einen typischen Hochtemperaturklebstoff nach längerer Exposition gegenüber dieser Temperatur. Bei LOCTITE 402 steigt die Temperaturbeständigkeit von anfänglich 7,8 N/mm<sup>2</sup> auf 13,4 N/mm<sup>2</sup> innerhalb der ersten 500 Stunden der Exposition. Diese höhere Temperaturbeständigkeit bleibt auch während der nächsten 500 Stunden Exposition bei dieser Temperatur erhalten. Die Temperaturbeständigkeit eines typischen Hochtemperaturklebstoffs liegt konstant bei ca. 10 N/mm<sup>2</sup> über den Verlauf von 1.000 Stunden Alterung. Bei einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen sinkt die Temperaturbeständigkeit nach 1.000 Stunden Alterung leicht auf 5,4 N/mm<sup>2</sup>.



**Abb. 7**

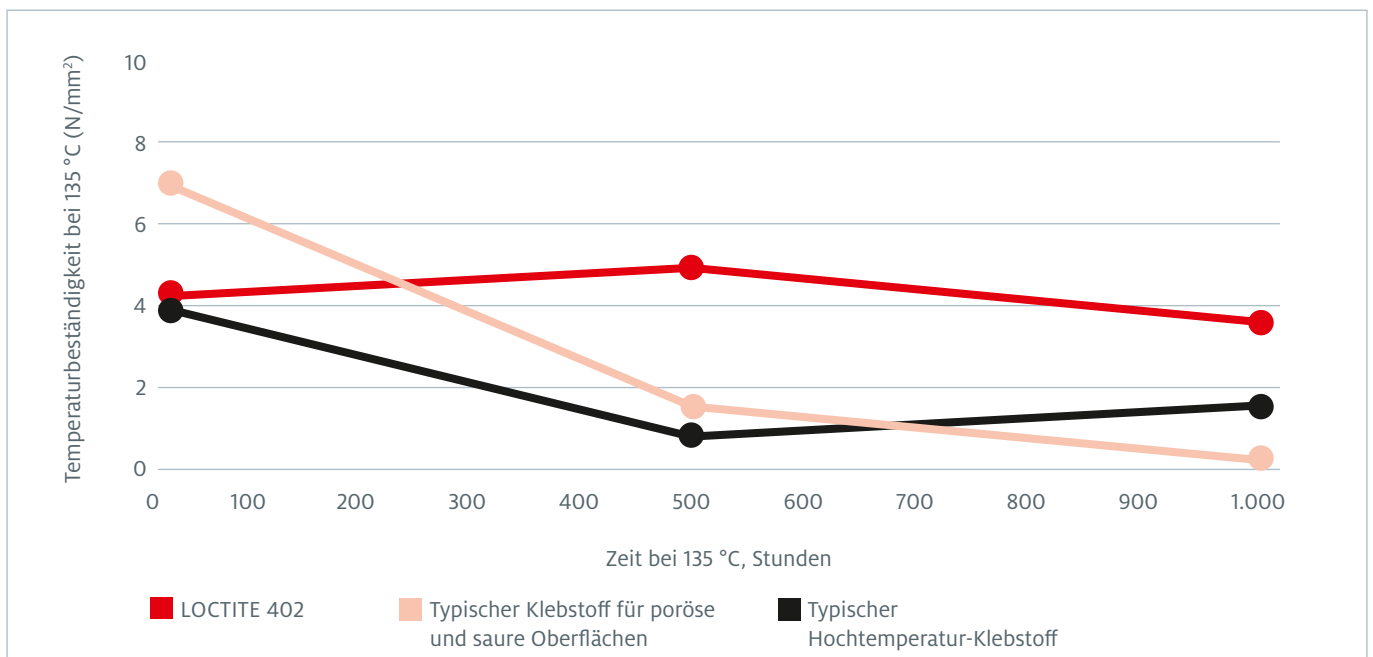
Temperaturbeständigkeit bei 100 °C von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff bei Edelstahl-Zugscherproben nach Alterung von bis zu 1.000 Stunden bei 100 °C.

Bei LOCTITE 402 führt eine Exposition bei 120 °C zu einer leichten Abnahme der Temperaturbeständigkeit über den Verlauf von 1.000 Stunden auf 4,8 N/mm<sup>2</sup> (siehe Abbildung 8). Ein ähnlicher Rückgang der Temperaturbeständigkeit wird für den typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen über die Alterung beobachtet, die von 8 N/mm<sup>2</sup> auf 3,9 N/mm<sup>2</sup> über 1.000 Stunden abnimmt. Diese Abnahme der Temperaturbeständigkeit als Funktion der Zeit deutet darauf hin, dass sich die mechanischen Eigenschaften des linearen Polymers verschlechtern. Aber selbst nach 1.000 Stunden Alterung bei 120 °C verfügen beide Produkte noch über eine ausreichende Temperaturbeständigkeit, um die in Anwendungen geforderte Leistung zu erbringen. Im Gegensatz dazu sinkt die Temperaturbeständigkeit eines typischen Hochtemperatur-Klebstoffs nach 1.000 Stunden Exposition auf 0,7 N/mm<sup>2</sup>, was nicht ausreicht, um die in Anwendungen geforderte Leistung zu erbringen.



**Abb. 8** Temperaturbeständigkeit bei 120 °C von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff bei Edelstahl-Zugscherproben nach Alterung von bis zu 1.000 Stunden bei 120 °C.

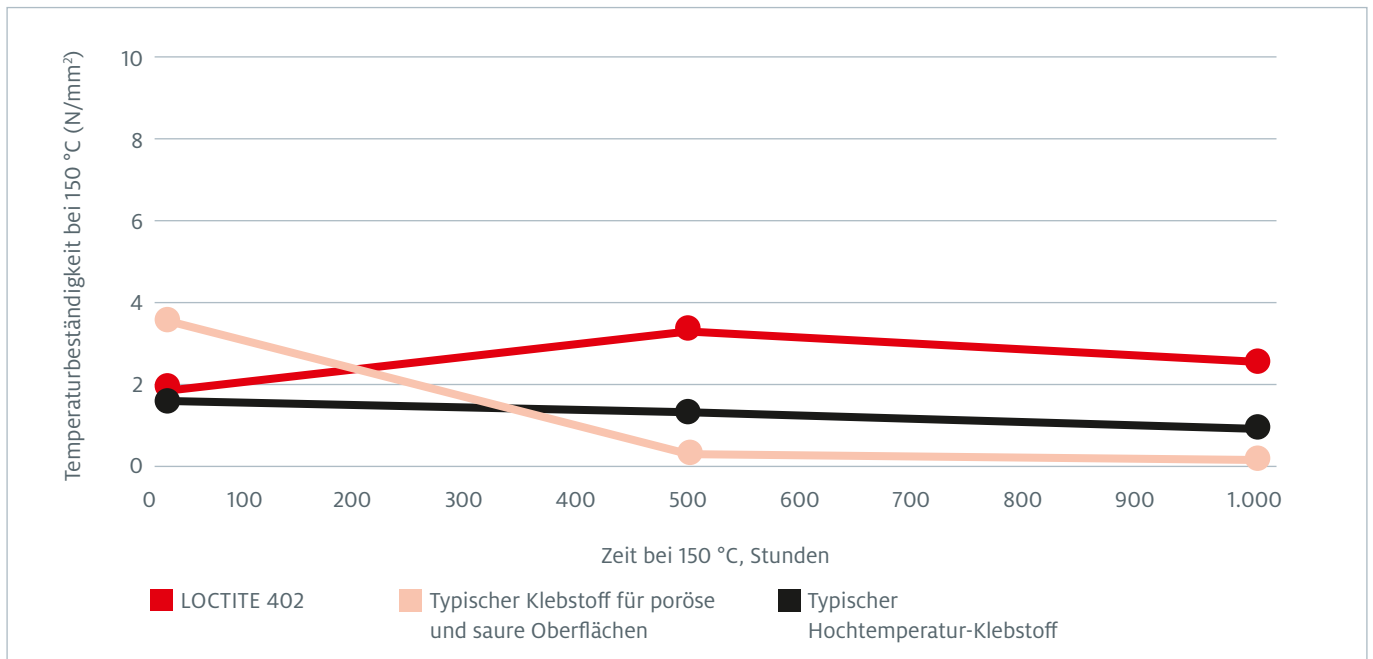
Je weiter die Temperatur erhöht wird, umso deutlicher wird der Unterschied zwischen LOCTITE 402 und den beiden anderen Klebstoffen (siehe Abbildung 9). Bei einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen nimmt die Temperaturbeständigkeit bei 135 °C mit der Zeit ab. Nach 500 Stunden Exposition bei 135 °C ist die Temperaturbeständigkeit auf 1,7 N/mm<sup>2</sup> gesunken, was nicht ausreicht, um die in Anwendungen geforderte Leistung zu erbringen. Bei 1.000 Stunden ist keine Festigkeit mehr vorhanden, was bedeutet, dass das lineare Polymer vollständig abgebaut ist. Bei einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff sinkt die Temperaturbeständigkeit innerhalb von 500 Stunden nach der Exposition auf 1,4 N/mm<sup>2</sup>, bleibt dann aber für die nächsten 500 Stunden auf diesem Niveau. Auch hier reicht die Temperaturbeständigkeit dieses Klebstoffs im Laufe der Zeit nicht aus, um die in Anwendungen geforderte Leistung zu erbringen. Im Gegensatz dazu bleibt die Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402 nach 1.000 Stunden bei 135 °C mit 3,8 N/mm<sup>2</sup> erhalten. Diese lang anhaltende Leistung ist auf die Vernetzung des Allylpolymer zurückzuführen, die für eine hervorragende Leistung bei Temperatureinwirkung sorgt.



**Abb. 9** Temperaturbeständigkeit bei 135 °C von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff bei Edelstahl-Zugscherproben nach Alterung von bis zu 1.000 Stunden bei 135 °C.



Eine Erhöhung der Temperatur auf 150 °C beschleunigt den Polymerabbau bei dem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen (siehe Abbildung 10). Nach 500 Stunden hat sich das lineare Polymer fast vollständig abgebaut. Bei 150 °C beträgt die Temperaturbeständigkeit eines typischen Hochtemperatur-Klebstoffs anfänglich 1,7 N/mm<sup>2</sup> und nach 1.000 Stunden Exposition 0,9 N/mm<sup>2</sup>. Interessanterweise steigt die Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402 innerhalb der ersten 500 Stunden bei 150 °C auf bis zu 3,1 N/mm<sup>2</sup>. Diese erhöhte Temperaturbeständigkeit deutet darauf hin, dass eine Vernetzung des Allylpolymer stattgefunden hat, die der geklebten Zugscherprobe eine ausgezeichnete Leistung bei Temperatureinwirkung verleiht. Während der nächsten 500 Stunden bei 150 °C bleibt die Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402 auf einem Niveau erhalten, das für die in den Anwendungen geforderte Leistung ausreichend ist.



**Abb. 10**

Temperaturbeständigkeit bei 150 °C von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff bei Edelstahl-Zugscherproben nach Alterung von bis zu 1.000 Stunden bei 150 °C.

### Übersicht zur Leistung bei hohen Temperaturen

Eine zusammenfassende Übersicht zur Leistung von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff bei hohen Temperaturen ist in Tabelle 4 enthalten. Unter Berücksichtigung aller drei thermischen Eigenschaften liegt die empfohlene Einsatztemperatur für LOCTITE 402 bei -40 °C bis +135 °C. Der Grund dafür ist, dass die anfängliche Temperaturbeständigkeit von LOCTITE 402 bei 150 °C 1,8 N/mm<sup>2</sup> beträgt, d. h. leicht unter dem Wert liegt, der für die in Anwendungen geforderte Leistung als ausreichend angesehen wird. Ist jedoch die anfängliche Temperaturbeständigkeit bei 150 °C für eine bestimmte Anwendung nicht von vorrangiger Bedeutung, kann LOCTITE 402 auch für Anwendungen bei Temperaturen über 135 °C geeignet sein. Es wird empfohlen, für jede einzelne Anwendung entsprechende Versuche mit LOCTITE 402 durchzuführen.

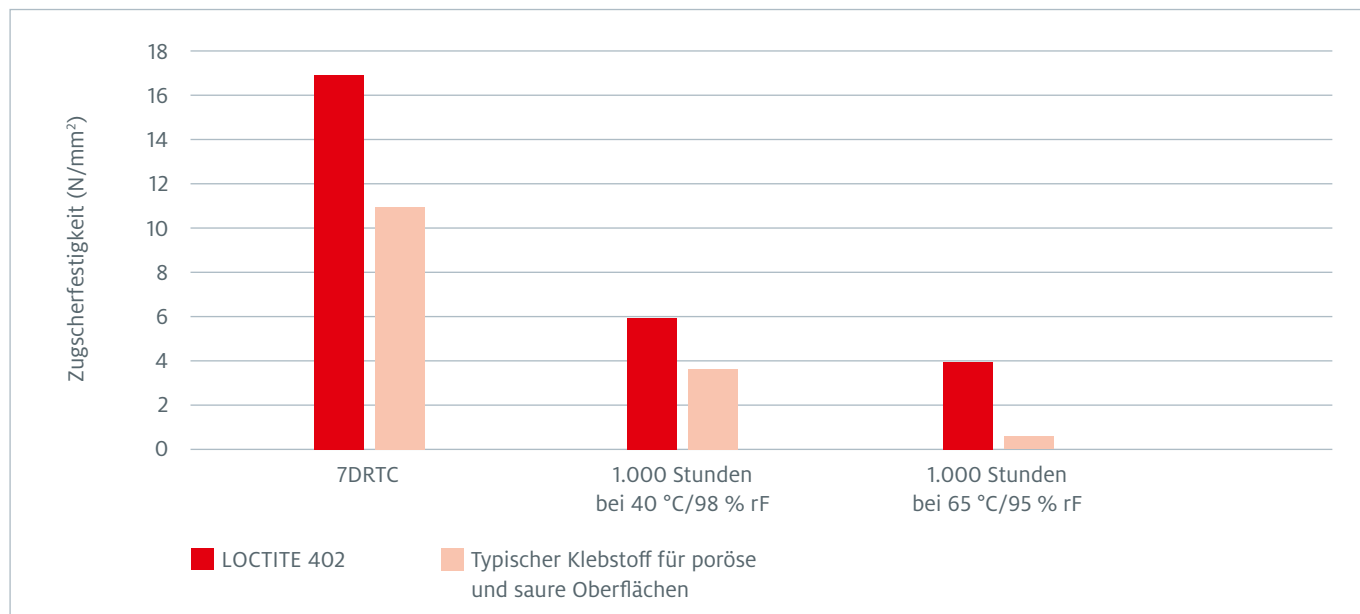
#### TABELLE 4

Übersicht zur Leistung von LOCTITE 402, einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen und einem typischen Hochtemperatur-Klebstoff bei hohen Temperaturen von 100 °C bis 150 °C.

PRODUKT	TEST	100 °C	120 °C	135 °C	150 °C
LOCTITE 402	Typischer Hochtemperatur-Klebstoff	Ja	Ja	Ja	Nein
	Temperaturalterung über 1.000 Stunden	Ja	Ja	Ja	Ja
	Temperaturfestigkeit über 1.000 Stunden	Ja	Ja	Ja	Ja
Typischer Klebstoff für poröse und saure Oberflächen	Anfängliche Temperaturfestigkeit	Ja	Ja	Ja	Ja
	Temperaturalterung über 1.000 Stunden	Ja	Ja	Nein	Nein
	Temperaturfestigkeit über 1.000 Stunden	Ja	Ja	Nein	Nein
Typischer Hochtemperatur-Klebstoff	Anfängliche Temperaturfestigkeit	Ja	Ja	Ja	Nein
	Temperaturalterung über 1.000 Stunden	Ja	Nein	Nein	Nein
	Temperaturfestigkeit über 1.000 Stunden	Ja	Nein	Nein	Nein

### Bessere Beständigkeit unter Umgebungsbedingungen

LOCTITE 402 bietet im Vergleich zum typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen auch eine bessere Beständigkeit unter verschiedenen Umgebungsbedingungen. LOCTITE 402 weist eine bessere Beständigkeit bei hohen Temperaturen/ hoher Luftfeuchtigkeit auf, insbesondere dann, wenn die Temperatur steigt. Abbildung 11 zeigt diese bessere Leistung nach 1.000 Stunden Alterung bei 40 °C/98 % rF und 65 °C/95 % rF.



**Abb. 11**

Zugscherfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) für LOCTITE 402 und einen typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen auf Edelstahl nach 1.000 Stunden Alterung bei hohen Temperaturen/hoher Luftfeuchtigkeit.

Im Vergleich zu einem typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen zeichnet sich LOCTITE 402 auch durch seine Beständigkeit gegenüber verschiedenen Lösungsmitteln/Medien wie bleifreies Benzin, Motoröl, Isopropanol und Ethanol aus (siehe Abbildung 12).



**Abb. 12** Zugscherfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) für LOCTITE 402 und einen typischen Klebstoff für poröse und saure Oberflächen auf Edelstahl nach 1.000 Stunden Alterung in verschiedenen Lösungsmitteln/Medien.

# FAZIT

Auch wenn Konstrukteuren und Herstellern viele Montageverfahren zur Verfügung stehen, bieten vor allem Sofortklebstoffe erhebliche Vorteile, da sie gut auf die jüngsten Marktanforderungen nach kleineren, leistungsfähigeren und präziseren Geräten abgestimmt sind. LOCTITE 402 weist deutliche Vorteile gegenüber herkömmlichen Cyanacrylaten auf, wie u. a. eine anhaltende Leistung bei hohen Temperaturen und eine bessere Beständigkeit gegenüber Hitze/Feuchtigkeit – und das alles unter Beibehaltung der wichtigsten Eigenschaften, wegen derer die Wahl auf Sofortklebstoffe fällt (einteilig, schnelle Fixierung, auf vielseitigen Substraten einsetzbar).

LOCTITE 402 ist der Sofortklebstoff mit Ultra-Performance: schnell, zuverlässig und für die Präzisionsmontage problemlos zu automatisieren.

## Referenzen


1. Cyanacrylates: Towards High Temperature Resistant Instant Adhesives. A Critical Review, Barry Burns, Rev. Adhesion Adhesives, Bd. 5, Nr. 4, Dezember 2017.

## Danksagung

Die Verfasser danken Hilary Bryan für ihren Beitrag bei der Erstellung der hier dargestellten Daten.

# VERFASSER

**Áine Mooney**

 [aine.mooney@henkel.com](mailto:aine.mooney@henkel.com)

**Martin Smyth**

 [martin.smyth@henkel.com](mailto:martin.smyth@henkel.com)

**Tammy Gernon**

 [tammy.gernon@henkel.com](mailto:tammy.gernon@henkel.com)


**Michael Jordan**

[michael.jordan@henkel.com](mailto:michael.jordan@henkel.com)

**Oliver Droste**

 [oliver.droste@henkel.com](mailto:oliver.droste@henkel.com)

**Christine Marotta**

 [christine.marotta@henkel.com](mailto:christine.marotta@henkel.com)