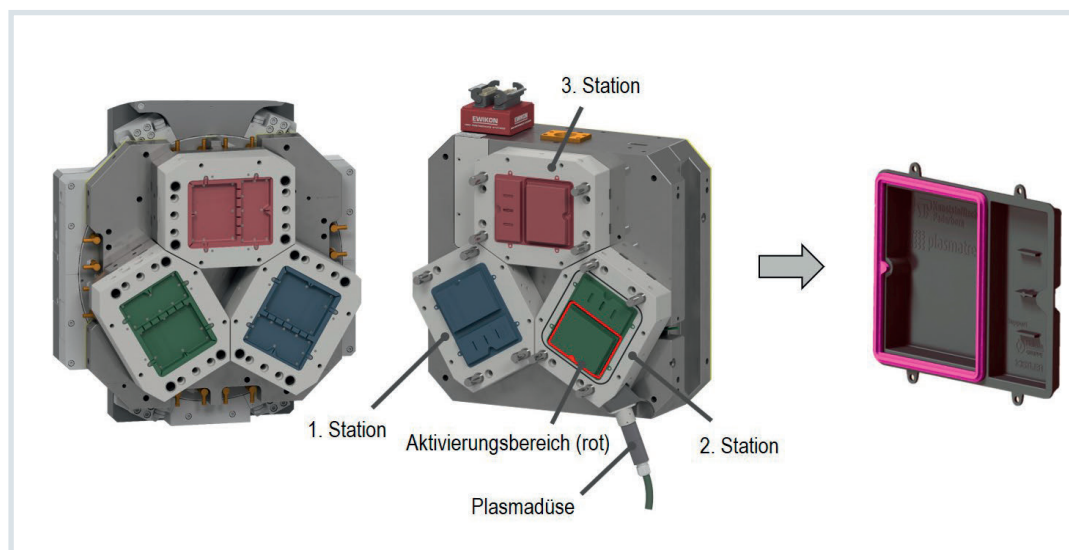


Mehr Materialkombinationen, weniger Kosten

InMould-Plasma rationalisiert den 2K-Prozess und erweitert das Werkstoffspektrum

Steigende Anforderungen an die Bauteilfunktionalität und die Nachfrage nach effizienten Fertigungsverfahren rücken das Mehrkomponenten-Spritzgießen weiter in den Fokus der Kunststoffverarbeitung. Dabei lassen sich nicht alle Werkstoffe in der gewünschten Kombination prozesssicher verarbeiten. Das neue, vollständig in den Spritzgießprozess integrierte InMould-Plasma-Verfahren ermöglicht eine effizientere Fertigung sowie völlig neue Werkstoffkombinationen.



Demonstrationswerkzeug zur Herstellung eines Gehäusedeckels im InMould-Plasma-Verfahren (© Kunststofftechnik Paderborn)

Das sogenannte InMould-Plasma-Verfahren wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts zwischen der Plasmatreat GmbH, Steinhagen, und der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) der Universität Paderborn entwickelt. Bisher übliche Plasmaverfahren behandeln die Kunststoffoberfläche in einem gesonderten Prozessschritt. Das neue Verfahren basiert auf der klassischen Plasmatechnik bei Atmosphärendruck (AD), verlegt die Aktivierung aber direkt in das Spritzgießwerkzeug und ist integrierter Teil des Mehrkomponenten-Spritzgießens. Hierdurch lässt sich der Fertigungsprozess vereinfachen und kosteneffizient gestalten.

Oberflächen erhalten neue Eigenschaften

Plasma entsteht durch die Einkopplung von Energie in gasförmige Materie. Die Atome des Gases spalten Elektronen ab, das Gas wird ionisiert und erhält neue Eigenschaften wie z.B. eine elektrische Leitfähigkeit [1, 2]. Plasma gilt somit als vierter Aggregatzustand (Bild 1).

Das Plasma wird bei Atmosphärendruck in einer Plasmadüse kontinuierlich erzeugt. Das Prozessgas, in der Regel ölfreie Druckluft, wird hierzu durch eine Endladungzone geführt, in der ein Lichtbogen durch eine Hochspannungsentladung generiert wird [3]. Dabei wird das

Gas in den Plasmazustand überführt. Durch den Düsenkopf tritt das relaxierende Plasma anschließend als Strahl gebündelt aus der Düse aus. Diesem Prinzip (Bild 2) folgt auch der Aufbau eines Openair-Plasma-Erzeugers von Plasmatreat [4, 5].

Bei herkömmlichen AD-Plasmaverfahren verfährt die Plasmadüse in konstantem Abstand zur Substratoberfläche, wodurch eine gleichmäßige Aktivierung der Oberfläche gewährleistet wird. Beim Kontakt des Plasmas mit einer Kunststoffoberfläche findet eine Funktionalisierung statt, weil die Energie der angeregten Moleküle und Ionen des Plasmas hoch genug ist, um die Bindungen zwischen den Atomen der Polymerketten auf- »

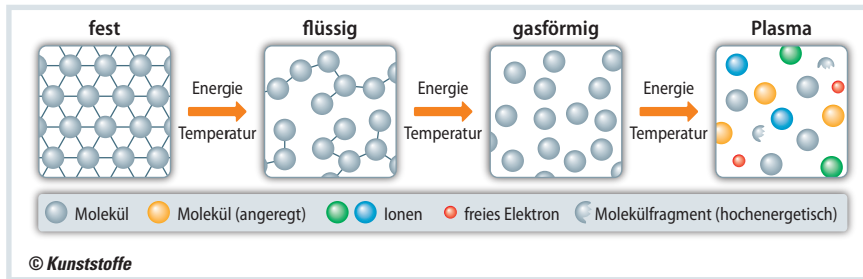


Bild 1. Plasma – der vierte Aggregatzustand (Quelle: Plasmatreat)

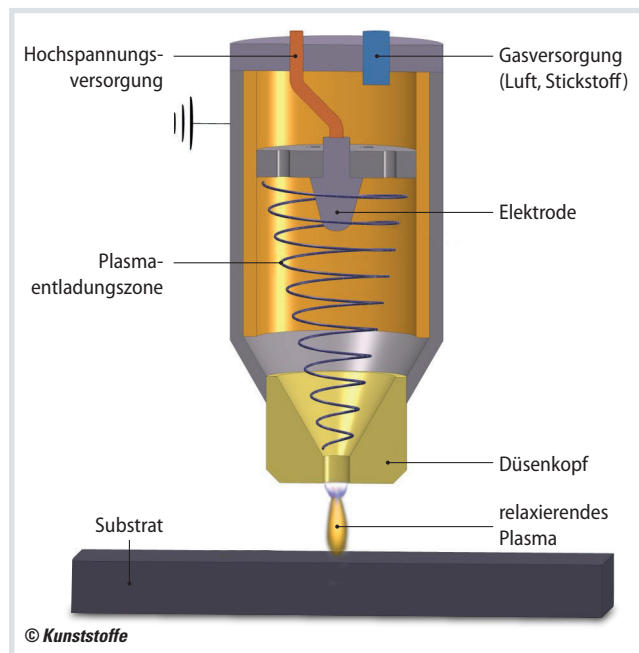


Bild 2. Aufbau eines Openair-Plasma-Erzeugers (Quelle: Plasmatreat)

zubrechen [4 bis 9]. Häufig sind dies Kohlenstoff-Kohlenstoff- oder Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindungen.

InMould-Plasma ist vor Reaktionen mit Luftsauerstoff geschützt

Die so entstandenen Radikale reagieren mit den angeregten Molekülen und Ionen des Plasmas oder mit Molekülen aus der umgebenden Luft. Hierdurch nehmen die Oberflächenenergie sowie die Polarität der behandelten Oberflächen zu, und damit verbessert sich die Benetzbarkeit des behandelten Kunststoffs [5, 10 bis 12]. Beim AD-Plasmaverfahren finden während der Behandlung durch den Kontakt des Plasmas mit der Luft Rekombinationsprozesse statt, die die Anzahl der angeregten Moleküle im Plasma reduzieren, sodass die Energie verloren geht. Dadurch ist das Plasma vergleichsweise kurzlebig.

Beim InMould-Plasma-Verfahren wird eine von Plasmatreat neu entwickelte Plasmadüse direkt an das Spritzgießwerkzeug angeflanscht. In der geschlossenen

Werkzeugkavität ist oberhalb der zu behandelnden Kunststoffoberfläche ein Bereich freigestellt (**Bild 3**).

Der Behandlungskanal wird vor Beginn des Plasmazyklus über einen Einlass für eine Sekunde mit reinem Stickstoff geflutet, um einen vollständigen Gasaustausch zu gewährleisten und Rekombinationsprozesse mit Luftsauerstoff zu unterbinden. Nach Einleitung des Stickstoffs wird die Plasmadüse für eine vorher definierte Plasmabehandlungszeit gezündet. Danach wird erneut Stickstoff durch den Kanal gespült und durch den Auslass abgesaugt. So ist sichergestellt, dass das Plasma über die gesamte Länge des Kanals geführt und die Kunststoffoberfläche ausreichend gleichmäßig aktiviert wird. In Untersuchungen wurden Kanallängen von über 850 mm prozesssicher aktiviert.

Anwendungsfall: Dichtung für das Bodenmodul eines Wäschetrockners

An einem Bodenmodul eines Wäschetrockners haben die Entwicklungspartner untersucht, ob und wie sich das InMould-

Plasma-Verfahren industriell umsetzen lässt [13]. In dem Bauteil ist eine Dichtung integriert, die eine dauerhafte Medienbeständigkeit bei einer Temperatur von 40°C und einer relativen Feuchtigkeit von 100% aufweisen muss. Des Weiteren wirken mechanische Kräfte auf die Dichtung ein; eine wiederholte Montage im Reparaturfall muss gewährleistet sein.

Bis dato wird auf das Bodenmodul aus Polypropylen (PP) mit dem FIPFG-Verfahren (Formed In-Place Foam Gasket) eine Dichtung aus einem geschäumten Polyurethan (PUR) aufgetragen. Dabei appliziert ein CNC-Roboter die Dichtraupe gleichmäßig und konturgenau in eine Nut des Bodenmoduls. Damit das PUR mit dem unpolaren PP eine haftungsstarke Verbindung eingeht, ist eine AD-Plasma-Aktivierung erforderlich. Ohne diese wäre die Verbundhaftung zwischen dem PP-Bodenmodul und der geschäumten Weichkomponente nicht ausreichend und eine Verarbeitung der beiden Kunststoffe nicht möglich.

Dieses Produktionsverfahren lässt sich durch eine InMould-Plasma-Behandlung im Spritzgießwerkzeug optimieren und auf ein thermoplastisches Polyurethan (TPU) als Dichtsystem umstellen. Dadurch verkürzt sich die Zykluszeit, wobei gleichzeitig der Einsatz eines CNC-Roboters sowie weitere Peripherieeinrichtungen hinfällig werden.

Nachweis der Alterungsbeständigkeit

Um den Nachweis zu führen, dass das InMould-Plasma-Verfahren eine langzeitstabile Verbindung zwischen der aufgespritzten TPU-Dichtung und dem PP-Bodenmodul ermöglicht, untersuchte die KTP Hart/Weich-Schälprüfkörper aus einem mit 40 Gew.-% Talkum verstärkten PP (PP-T40) und TPU (Typ: Hostacom HBC 386L grey / Desmopan 481; Hersteller: LyondellBasell Industries Holdings B.V. bzw. Covestro AG). Diese wurden in einem modularen Drei-Stationen-2K-Spritzgießwerkzeug hergestellt, in das die von Plasmatreat entwickelte Plasmadüse integriert wurde (**Bild 4**).

In der ersten Station des Schiebeteil-Werkzeugs wird eine quadratische Platte abgeformt, die in der Düsen- und Seite des Werkzeugs verbleibt. Anschließend wird die zweite Station (Plasmastation) vor die zuvor gespritzte Platte verfahren. Die Oberflächenaktivierung findet nun

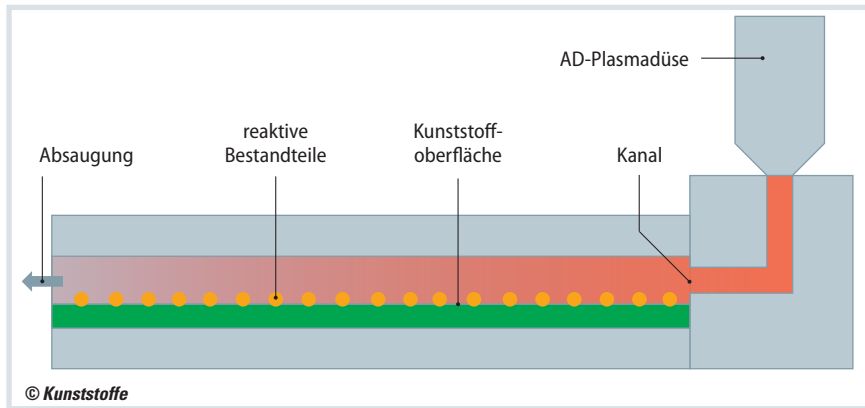


Bild 3. Schematische Darstellung des InMould-Plasma-Verfahrens. Der Prozess findet innerhalb einer geschlossenen Werkzeugkavität statt (Quelle: Kunststofftechnik Paderborn)

partiell in den frei gestellten Bereichen in Form einer Schlangengeometrie statt – an diese Plasmaführung stellt die Prozessidee eines 850 mm langen Aktivierungskanals nach. Nach erneuter Werkzeugöffnung wird in der dritten Station die Weichkomponente auf die funktionalisierten Kontaktflächen der Grundplatte gespritzt. Die Geometrie der so in einem Schuss entstandenen drei Prüfkörper ist angelehnt an die Richtlinie VDI 2019 zur Bestimmung des Schälwiderstands [14].

Hochfeste PP/TPU-Verbindung

Für die Aktivierung wurden eine mit dem Plasmagenerator FG 5005 kombinierte Plasmadüse (Typ: PFW30-LT) sowie ein Transformator HTR12 von Plasmareact eingesetzt; spätere Untersuchungen wurden mit einer neueren Systemlösung, bestehend aus dem Plasmagenerator FG 5005S und einer Plasma Control Unit

(PCU), durchgeführt. Die Behandlungszeit wurde auf 1 s festgelegt. Für die anschließende Schälprüfung nach der VDI-Richtlinie 2019 wurde eine universelle Prüfmaschine der ZwickRoell GmbH & Co. KG, Ulm, eingesetzt. Dabei wird die auf das PP-T40 aufgespritzte TPU-Komponente in einem Winkel von 90° zur Fügeebene abgezogen [14].

Die Schälfestigkeit erreicht nach 1 s Plasmabehandlung einen maximalen Wert von 4,2 N/mm. Dieses Ergebnis ist bemerkenswert, da PP und TPU im unbehandelten Zustand keine Verbindung miteinander eingehen und die Schälfestigkeit daher ohne InMould-Plasma-Behandlung bei 0 N/mm liegt. Die Additivierung des PP mit Talkum erschwert die Ausbildung einer hohen Haftfestigkeit. Bei einer anderen PP/TPU-Kombination (Moplen HP500N / Elastollan E 1185 A10; Hersteller: LyondellBasell bzw. BASF SE) wurden Schälfestigkeiten von bis zu 16 N/mm ermittelt.

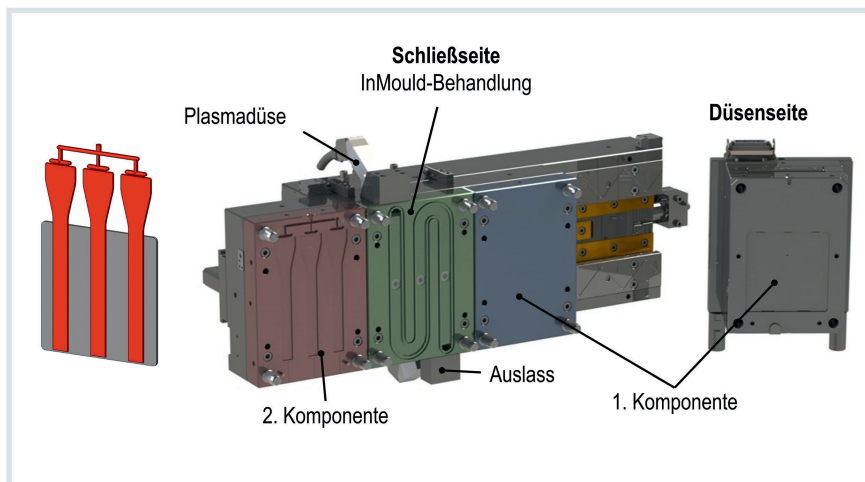


Bild 4. 2K-Overmolding-Werkzeug mit adaptierter Plasmadüse zur Herstellung von drei Hart/Weich-Schalprüfkörpern (© Kunststofftechnik Paderborn)

Anwendungsorientierte Belastung der Prüfkörper

Die Haftfestigkeit der im InMould-Plasma-Verfahren gefertigten 2K-Prüfkörper wurde einem Alterungsbeständigkeits-test unterzogen [13]. Dazu wurden die Prüfkörper in einem Kondenswasser-Wechseltest geprüft, angelehnt an die DIN EN ISO 6270-2: Kondensation (Beanspruchung in einer Klimakammer mit beheiztem Wasserbehälter). Die Zyklusdauer betrug 24 h mit einer Belastungsphase von 8 h und einer Ruhephase von 16 h.

»

Die Autoren

Frederik Mühlhoff, M.Sc., arbeitet seit 2017 als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) an der Universität Paderborn; frederik.muehlhoff@ktp.upb.de

Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer ist seit 2008 Inhaber des Lehrstuhls für Kunststofftechnologie und Leiter der KTP an der Universität Paderborn; elmar.moritzer@ktp.upb.de

Dipl.-Ing. Erhard Krampe ist seit 2017 Marktsegment Manager bei der Plasmatreat GmbH, Steinhagen; erhard.krampe@plasmatreat.de

Dr. Birte Böhnke ist seit 2016 Teamleiterin Research Management and Education bei Plasmatreat; birte.boehnke@plasmatreat.de

Dank

Dieses Forschungsvorhaben (EFRE-0800287) wurde in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner Plasmatreat GmbH durchgeführt und aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

Service

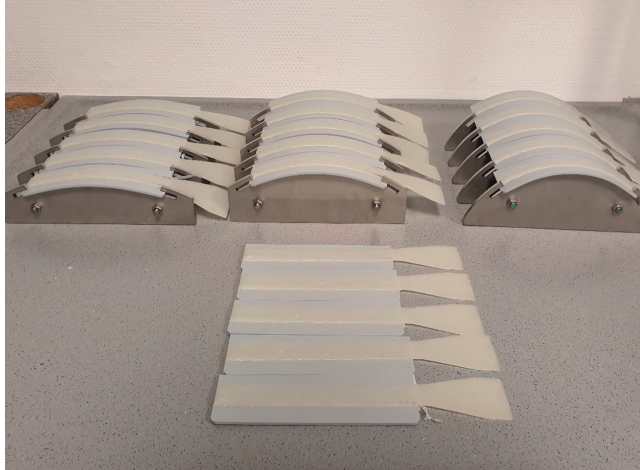
Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-01

English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

Bild 5. Einlagerung der 2K-Proben mit unterschiedlichen Biegeradien. Die Randfaserdehnung (ϵ_{RF}) beträgt 0%, 0,8%, 1,3% bzw. 2% (© [13], J. Braun)



Während der Belastungsphase in einer dampfdichten Kammer wird die Lufttemperatur auf 40°C und eine relative Feuchte von 100% eingestellt. In der Ruhephase erreichte sie Normklima mit einer Temperatur von 23°C und 50% Luftfeuchtigkeit. Nach 7, 14 und 28 Zyklen im Klimawechseltest wurde die Schälfestigkeit ermittelt und der Referenz ohne Zyklus gegenübergestellt.

Verbundhaftung bleibt vollständig erhalten

Um den Einfluss der Alterung aus der Klimawechsel-Beanspruchung besser zu ordnen zu können, wurden die Proben ergänzend im Normklima gealtert. Zur Feststellung möglicher Wechselwirkungen zwischen thermischen und mechanischen Beanspruchungen kam darüber hinaus das Biegestreifenverfahren nach

DIN EN ISO 22088-3 zum Einsatz. Hier werden die Probekörper in Biegeschablonen mit unterschiedlichen Biegeradien eingespannt (**Bild 5**).

In den durchgeführten Tests konnte keine Verschlechterung der Verbundhaftung zwischen dem TPU und dem PP-T40 festgestellt werden (**Bilder 6 und 7**). Die Schälfestigkeit wird weder durch die Biegebelastung noch durch die Lagerung signifikant reduziert. Somit darf das 2K-Spritzgießen einer TPU-Dichtung auf einem PP-Substrat als Verfahrensalternative gegenüber dem separaten Aktivierungsschritt mit AD-Plasma und Aufbringen des reaktiven PUR-Systems gelten.

Die Umsetzung dieses Fertigungsprinzips wurde exemplarisch auf der K 2019 in Düsseldorf mit einem 3-Stationen-Drehtellerwerkzeug vorgestellt. Hierbei wird zyklusneutral eine Dichtung aus TPU auf ein PP-Grundgehäuse gespritzt.

Die Plasmaaktivierung findet im rot markierten Bereich statt (**Titelbild**).

Fazit

Das InMould-Plasma-Verfahren eignet sich ideal, um aus inkompatiblen Hart/Weich-Kombinationen industrierelevante Kunststoff-Verbunde im 2K-Spritzgießen herzustellen. Durch die Fertigung in einer 2K-Spritzgießmaschine mit zyklusneutraler, integrierter Plasmaaktivierung ergeben sich Kostenvorteile gegenüber der separaten Herstellung der Bauteilkomponenten in zwei Spritzgießmaschinen mit nachgeschaltetem Montageprozess oder dem separaten Auftrag einer PUR-Raupe mit einem CNC-Roboter. Zudem kann auf kostengünstigere Standardkunststoffe als Basis zurückgegriffen werden.

Vorrangig sind dabei Kombinationen auf Basis von TPU und PP zu nennen, aber auch für viele andere Materialkombinationen lässt sich die Haftfestigkeit erheblich steigern. Dies gilt z.B. für thermoplastische Elastomere wie thermoplastische Styrol-Blockcopolymerer (TPS) auf Polybutylenterephthalat (PBT), Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polycarbonat (PC). TPU zeichnen sich dabei durch ihre gute Kratz- und Ölbeständigkeit aus und verfügen durch ihre geringe Schmelzeviskosität über eine hohe Abformgenauigkeit und Fließfähigkeit. Damit eröffnen sich für InMould-Plasma zahlreiche Anwendungsgebiete, wie z.B. in der Polyurethan-Überflutung von A- und B-Säulen für den Automobilinnenraum über Dichtungen in Gehäusen bis hin zu Schuhsohlen. ■

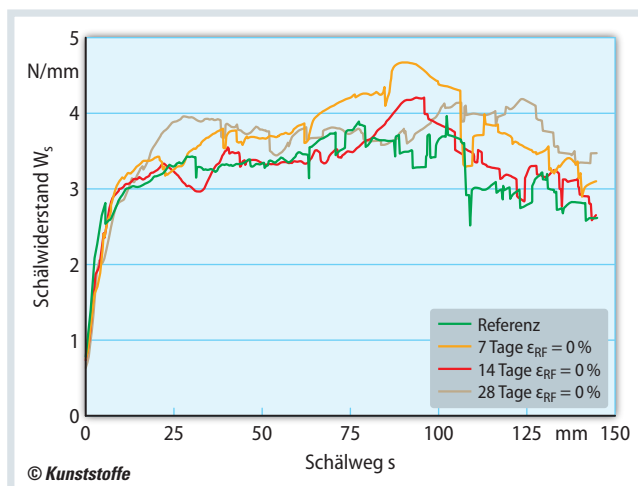


Bild 6. Schälwiderstand bei unterschiedlich langer Einlagerung ohne mechanische Belastung (Quelle: [13], J. Braun)

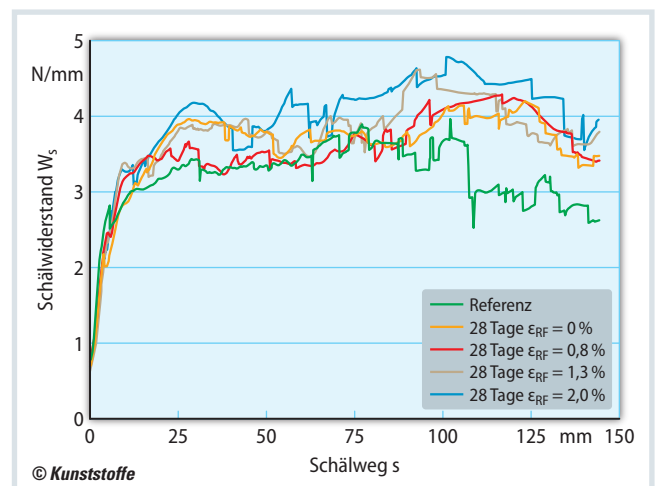


Bild 7. Schälwiderstand bei unterschiedlich hoher Randfaserdehnung (ϵ_{RF}) nach 28 Tagen Einlagerung. Die Lagerung unter Belastung führt nicht zu einer Abnahme der Schälfestigkeit (Quelle: [13], J. Braun)