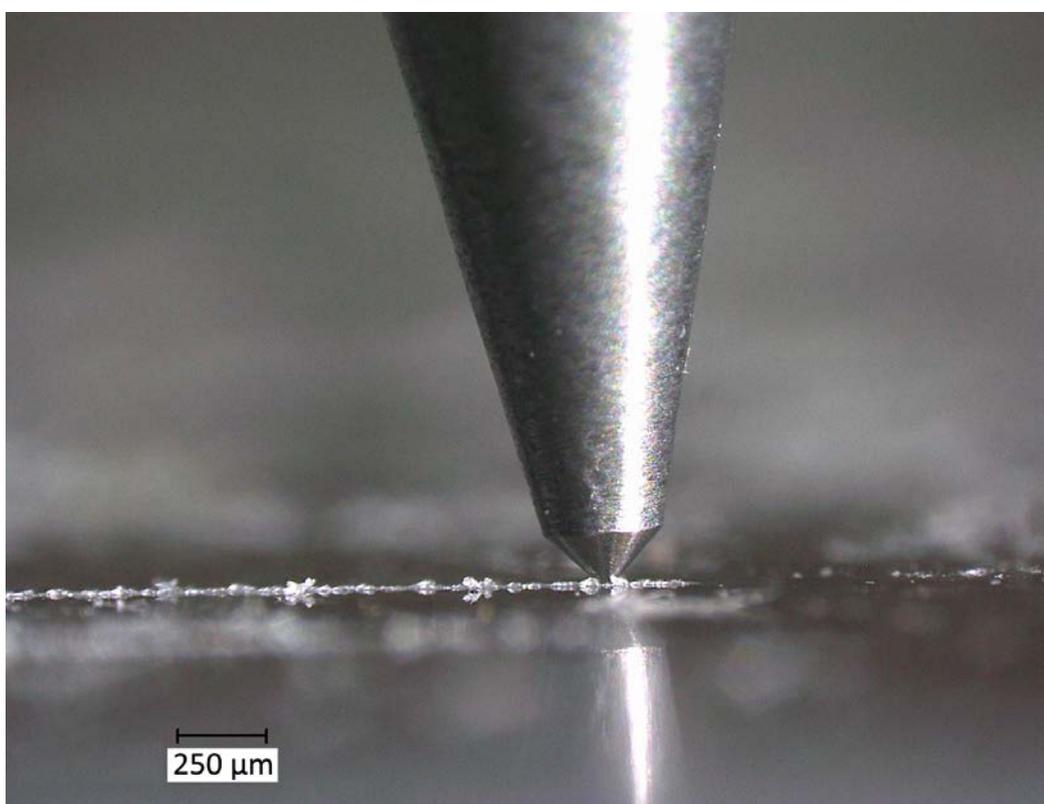


# Kleinsten Kratzern auf der Spur

## *Oberflächenschädigungen bei ihrer Entstehung objektiv beurteilen und visualisieren*

Die Fülle an Normen und Vorschriften zur Oberflächenanalyse durch Kratzen ist groß, jedoch von visueller und tendenziell subjektiver Auswertung geprägt. Das Ziel dieser Untersuchung ist die Bereitstellung einer reproduzierbaren, objektiven Kratzprüfung, die durch In-situ-Aufnahmen des Kratzverhaltens ergänzt wird.



Mikroskopaufnahme eines Stahltasters auf einer gekratzten PS-Probe: Polystyrol (PS); Taster: 90°-Stahlspitze (Kegel); Auflösung: 100x (© ikd)

Das Institut für Kunststofftechnik Darmstadt (ikd) beschäftigt sich schon seit geraumer Zeit mit dem Schädigungsverhalten von Kunststoffen und deren Oberflächen [1, 2]. Gerade in der Automobilindustrie existiert im Bereich der Oberflächenprüfung eine Vielzahl an Prüfnormen und -vorschriften (z.B. Ritzprüfung nach ISO 1518, Fingernageltest nach GS 97034-2, Martindale-Prüfung nach PV 3975). Wenn es um die Beurteilung der Sichtbarkeit von Kratzern geht, sind Tests nach ASTM D7207-05 und ISO 19252, sowie der Erichsen-Gitterschnitt (z.B. nach PV 3952 oder GME 60280: Verfahren A) am weitesten verbreitet [3]. Bei ASTM/ISO-Tests wird mit progressiv steigender Prüfkraft und konstanter Geschwindigkeit ein Kratzer in die Probe eingebracht. Beim Erichsen-Gitterschnitt werden dagegen mehrere Kratzer in einem festen Gittermuster unter konstanter Prüfkraft und Geschwindigkeit erzeugt.

Eines haben jedoch fast alle Kratzprüfungen gemein: dass auf das Einbringen der Oberflächenschädigung meist eine visuelle und damit tendenziell subjektive Schadensanalyse folgt.

### *Reproduzierbare Kratzprüfung*

Der Universal Surface Tester (UST, Typ: UST 100 und UST 1000, Hersteller: Innowep GmbH) stellt ein Prüfwerkzeug dar, mit dem sich objektive Schadensanalysen durchführen lassen. Der UST prüft nach dem sogenannten Mistan-Verfahren [1, 2, 4], das zu den Tastschnittverfahren gehört. Ein Taster bewegt sich entlang einer festgelegten Strecke mit definierter Prüfgeschwindigkeit und ermittelt die Oberflächentopografie. Beim Mistan-Verfahren geschieht dies in drei aufeinanderfolgenden Schritten (**Bild 1**). Zunächst wird die Oberfläche entlang einer Prüfstrecke (X) »

## Die Autoren

**Philipp Seeger, M.Eng.**, ist seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt MoScratch am Institut für Kunststofftechnik Darmstadt, ikd.

**Prof. Dr.-Ing. Martin Moneke** ist seit 2013 Professor für Werkstoffkunde Kunststoffe am Institut für Kunststofftechnik Darmstadt, ikd, und Leiter des Arbeitskreises für Werkstoffprüfung; martin.moneke@h-da.de

**Prof. Dr. Ralph Stengler** ist seit 1991 Professor für Messtechnik und Qualitätsmanagement an der Hochschule Darmstadt und seit 2010 deren Präsident.

### Dank

Die Arbeit wurde im Rahmen des aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen Otto von Guericke e.V. (AiF) geförderten ZIM-Projekts MoScratch (Förderkennzeichen VP2597611RU4) durchgeführt. Wir danken allen Projektpartnern im Projekt MoScratch und insbesondere dem Gerätehersteller Innowep GmbH.

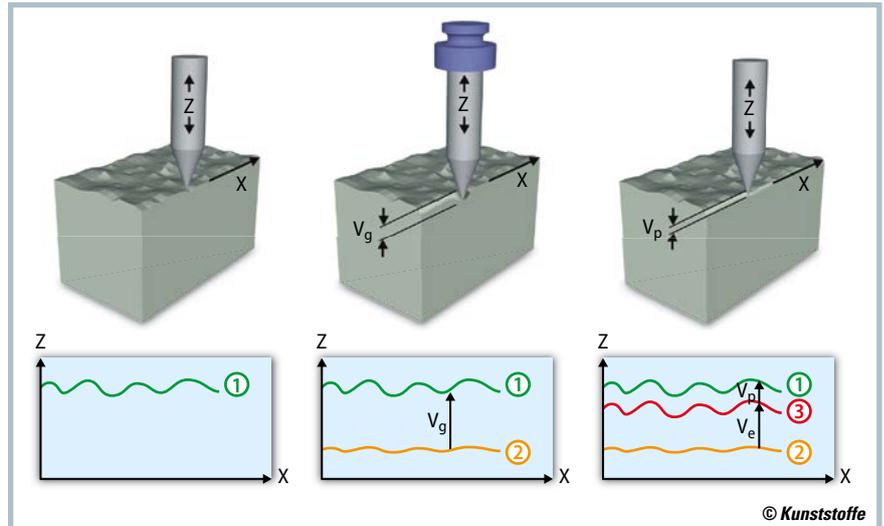
## Im Profil

Das **Institut für Kunststofftechnik Darmstadt (ikd)** wurde 2007 als wissenschaftliche Einrichtung des Fachbereichs Maschinenbau und Kunststofftechnik an der Hochschule Darmstadt gegründet. Ihm gehören 13 Professoren der Kunststofftechnik an, die zu Themen des Spritzgießens, der Extrusion und des Compoundierens, der Werkstoffkunde und der additiven Fertigung forschen. Rund 600 Studierende pro Semester studieren das Fach Kunststofftechnik im Bachelor- und im Masterstudiengang.

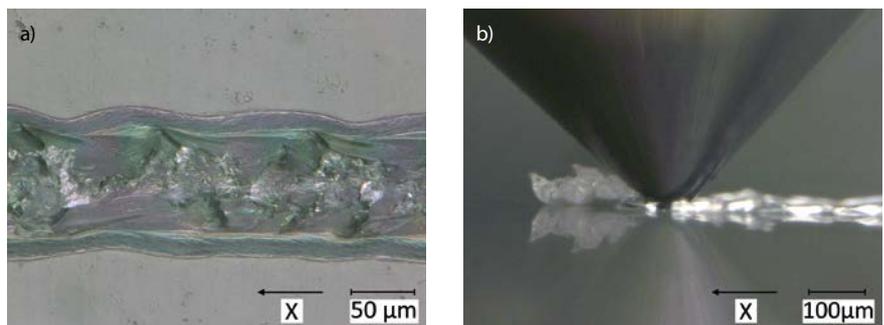
## Service

### Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2418401](http://www.kunststoffe.de/2418401)



**Bild 1.** Messprinzip des Mistan-Verfahrens: Schritt 1: Abtasten der Oberflächentopografie; Schritt 2: Einbringen der Oberflächenschädigung; Schritt 3: Abtasten der eingetragenen Oberflächenschädigung. V: gesamte/plastische/elastische Verformung; X: Prüfstrecke bzw. Kratzrichtung; Z: vertikale Auslenkung des Tasters (Quelle: Innowep)

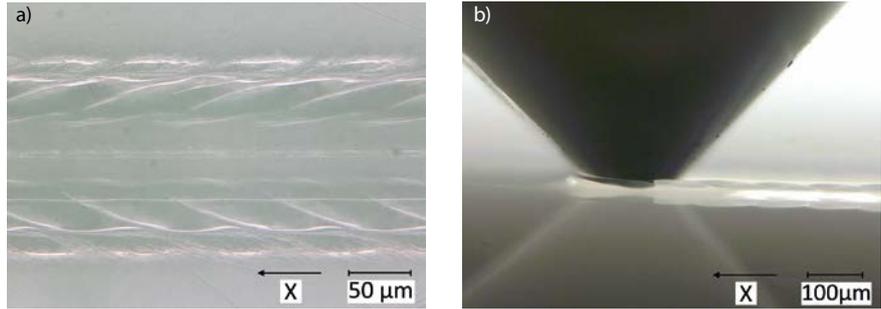


**Bild 2.** Vergleich der Mikroskopaufnahmen von Polystyrol (PS) während und nach dem Kratzen; Taster: 90°-Diamantspitze (Kegel); Prüfgeschwindigkeit: 0,1 mm/s; Prüflast: 1000 mN; X: Kratzrichtung. a) Auflösung: 900x; nach dem Kratzen. b) Auflösung: 400x; während des Kratzens (© ikd)

nahezu lastfrei abgetastet und die vertikale Auslenkung (Z) des Tasters erfasst (Kurve 1). Anschließend wird entlang der Prüfstrecke eine Oberflächenschädigung unter einer definierten Prüflast eingebracht (Kurve 2). Dabei dient der Taster als Kratzspitze. Zuletzt erfolgt die Beurteilung der Verformung im Material durch erneutes nahezu lastfreies Abtasten der verbliebenen Schädigung entlang der Prüfstrecke (Kurve 3). Aufgezeichnet wird die gesamte Verformung ( $V_g$ ) beim Kratzen, d.h. die Eindringtiefe der Kratzspitze, sowie die bleibende plastische Deformation ( $V_p$ ) und die Differenz aus beiden, die einer elastischen Rückverformung ( $V_e$ ) entspricht.

Derzeit sind Prüfkraften von 0,7 mN bis 1000 mN bei Prüfgeschwindigkeiten von 0,01 mm/s bis 2,5 mm/s realisierbar. Als Taster stehen Stahl- und Diamantspitzen verschiedener Geometrien zur Verfügung, durch deren Variation ein breites Spektrum an Oberflächenschädigungen untersucht werden kann. Da der gesamte Prozess automatisiert abläuft, kann der Prüfer selbst keinen Einfluss mehr auf die Prüfung ausüben. Das Verfahren liefert somit benutzerunabhängige und reproduzierbare Ergebnisse. Die gewonnenen Verformungskennwerte beim Kratzen der Materialoberfläche ermöglichen eine objektive Bewertung des Schädigungsverhaltens.

**Bild 3.** Vergleich der Mikroskopaufnahmen von Polyethylen (PE) während und nach dem Kratzen; Taster: 90°-Diamantspitze (Kegel); Prüfgeschwindigkeit: 0,1 mm/s; Prüflast: 1000 mN; X: Kratzrichtung. a) Auflösung: 900x; nach dem Kratzen. b) Auflösung: 400x; während des Kratzens (© ikd)



**Visualisierung der Schädigung im Prüfprozess**

Die Lichtmikroskopie ist eine weit verbreitete Methode, um die durch Kratzen erzeugten Materialschädigungen genauer zu analysieren. Dabei wird die Probe nach dem Kratzen unter dem Lichtmikroskop untersucht. Eine Herausforderung ist jedoch die korrekte Interpretation der erzeugten Bilder, bei denen die gesuchten Topografieinformationen mit Artefakten aufgrund von Glanz und Transparenz der Probe überlagert sind. Deutlich genauere Aussagen über die entstandene Materialschädigung lassen sich dagegen treffen, wenn man den Kratzer im Prüfprozess beobachtet und somit die Erkenntnisse aus der konventionellen Lichtmikroskopie ergänzt. Schon seit einiger Zeit werden Versuche unternommen, die beim Kratzen ablaufenden Schädigungsmechanismen im Prozess zu beobachten. Dabei wurden verschiedene Methoden angewendet, etwa die Aufnahme einer Kratzprüfung von der Seite mittels Rasterelektronenmikroskop (SEM) [5] sowie die Aufnahme der Kratzspitze von unten durch eine transparente Probe mittels CCD-Kamera [6]. In-situ-Aufnahmen eines ASTM/ISO-Tests an keramischen Beschichtungen (ASTM C1624-05 und ISO 20502) mittels Lichtmikroskop ließen sich ebenfalls bereits realisieren [7].

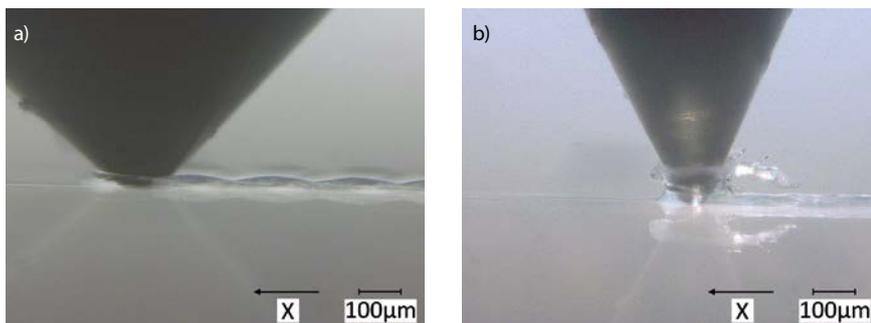
Neu ist die Beobachtung der Kratzprüfungen von Polymeren am Universal Surface Tester (UST) mittels Lichtmikroskop. Verwendet werden für die Aufnahmen ein digitales Lichtmikroskop von Keyence (Typ: VHX 500, Hersteller: Keyence Deutschland GmbH) und ein Objektiv mit einer bis zu 1000fachen Vergrößerung und einem Arbeitsabstand von 25 mm (Typ: VH-Z100R, Hersteller: Keyence Deutschland). So lassen sich Videoaufnahmen der Kratzprüfung in einer Auflösung von 1600 x 1200 Pixeln generieren und mit simultan aufgezeichneten Verformungssignalen korrelieren. Die Erfassung der Kräfte, die in oder quer zur Kratzrichtung wirken, stellt eine zusätzliche Erweiterungsmöglichkeit der Prüfung dar. Möglich werden die Aufnahmen durch den speziellen Aufbau des UST. Da der Pro-

bentisch die Relativbewegung zwischen Taster und Probe realisiert, bewegt sich der Taster während der gesamten Prüfung ausschließlich vertikal, so dass sich die Tastspitze mit dem Lichtmikroskop fokussieren lässt. Durch ein um 90° schwenkbares Mikroskopstativ lassen sich verschiedene Blickwinkel auf die Probenoberfläche realisieren.

**Den Kratzvorgang sehen und verstehen**

Den Nutzen einer In-situ-Beobachtung von Kratzprüfungen verdeutlicht der Vergleich mit Lichtmikroskop-Aufnahmen, die nach dem Kratzen auf konventionelle Weise erstellt wurden [8]. **Bild 2a** zeigt am Beispiel des spröden und transparenten Thermoplasten Polystyrol (PS, Typ: Styrolution 165N, Hersteller: Ineos Styrolution Group GmbH) eine konventionelle Aufnahme eines Kratzers in 900facher Vergrößerung, den ein kegelförmiger Diamanttaster mit 90° Kegelwinkel bei 1000 mN Prüflast und 0,1 mm/s Prüfgeschwindigkeit generiert hat. Die auf dem Bild erkennbaren Strukturen und Artefakte lassen vermuten, dass während des Kratzens ein Materialabtrag stattgefunden hat. Die In-situ-Aufnahme in 400facher Vergrößerung bestätigt die Vermutung und zeigt einen deutlichen Spanabtrag (**Bild 2b**). Gleichermaßen verdeutlichen die Aufnahmen des duktilen Thermoplasten Polyethylen (PE, Typ: Hostalen GC 7260, Hersteller: LyondellBasell) den Zugewinn an Informationen. Die Prüfparameter waren dieselben wie zuvor bei PS. Das in **Bild 3a** sichtbare und periodisch wiederkehrende Muster an den Seitenrändern des Kratzers ist in der In-situ-Aufnahme (**Bild 3b**) deutlich als Wellenform erkennbar.

Eine weitere interessante Beobachtung stellt der Einfluss der Tastergeometrie auf den Schädigungsprozess dar [8]. Hier wurde in ersten Versuchen der Winkel zwischen Tastfront und Materialoberfläche untersucht, im Folgenden als Kratzwinkel bezeichnet. Durch die Verwendung von kegelförmigen Diamanttastern mit unterschiedlichen Kegelwinkeln ließ sich der Einfluss des »



**Bild 4.** Einfluss des Kratzwinkels der Tastspitze am Beispiel von Polypropylen (PP): In-situ-Aufnahme der Kratzprüfung erstellt mit digitalem Lichtmikroskop. Auflösung: 300x; Prüflast: 1000 mN; Prüfgeschwindigkeit: 0,1 mm/s; X: Kratzrichtung. a) Wellenförmiges Verdrängen des Materials zur Seite. Taster: 90°-Diamantspitze (Kegel). b) Spanbildung vor der Tastspitze. Taster: 50°-Diamantspitze (Kegel) (© ikd)

Kratzwinkels verdeutlichen. Bei der Prüfung des duktilen Thermoplasten Polypropylen (PP, Typ: Metocene HM648T, Hersteller: LyondellBasell) mit einem 90°-Diamanttaster beispielsweise trat das bereits zuvor beschriebene Wellenmuster auf (**Bild 4a**). Bei Verwendung eines 50°-Diamanttasters wurde hingegen bei sonst konstanten Prüfparametern ein Materialabtrag in Form von Spanbildung beobachtet (**Bild 4b**). Die Materialoberfläche und der Taster bilden gemeinsam ein tribologisches System. Da die Tribologie keine Material- sondern eine Systemeigenschaft darstellt, ist es wichtig, die Vorgänge beim Zusammentreffen beider Partner genauer zu verstehen. Denn es zeigt sich, dass eine Veränderung des Kratzwinkels, unabhängig vom geprüften Material, einen Einfluss auf das Kratzverhalten sowie auf die Spanbildung ausübt.

### *Wissenstransfer zur Materialoptimierung*

Die Verbindung von UST als Kratzprüfgerät und In-situ-Lichtmikroskopie stellt dem Anwender eine neue Methode zur Verfügung, um reproduzierbare, objektive Messwerte zu generieren und dazu leicht interpretierbare Informationen zum Schädigungsverlauf beim Kratzen zu gewinnen. Die Methode nutzt kommerziell verfügbare Geräte und ist damit leicht anzuwenden. Es können prinzipiell alle Oberflächen (dunkel/hell, matt/glänzend, strukturiert/glatt) von allen industriell eingesetzten Kunststoffen (Thermoplaste, Duroplaste, Elastomere; verstärkt/unverstärkt) geprüft werden. Davon profitiert ein breites Feld an Anwendern. Durch die Anwendung der Methode und den damit verbundenen Zugewinn an Verständnis für die ablaufenden Schädigungsprozesse können forschende und dienstleistende Institutionen beispielsweise ihre Kompetenz im Bereich der Oberflächenanalyse erweitern. Als nützliches Werkzeug zur Qualitätskontrolle hilft die Methode auch den Automobilzulieferern bei der Aufrechterhaltung von geforderten, kundenspezifischen Produktqualitäten. Auch Materialhersteller können durch den zusätzlichen Informationsgewinn die Zugabe von Additiven oder Gleitmitteln gezielt an die Bedürfnisse ihrer Kunden anpassen und optimierte kratzfeste Materialien gestalten.

### *Über die Zukunft der Prüfmethode*

Kratzprüfungen haben bereits jetzt eine wichtige Bedeutung in der Qualitätskontrolle. Dies wird auch in Zukunft so bleiben. Besonders im Automobilinterieur sind die Anforderungen an Optik und Haptik der verbauten Materialien enorm. Durch den rasanten Zuwachs an Touch-Applikationen und -Bildschirmen wird auch die Nachfrage von kratzfesten Materialien steigen. Dies wird wiederum die Forderung nach einer objektiven und reproduzierbaren Kratzprüfung bestärken.

Das Institut für Kunststofftechnik Darmstadt bietet als kompetenter Forschungspartner für die Industrie Lösungsansätze und Kooperationen im Bereich der Werkstoff-, Oberflächen- und Kratzprüfung an. Im Projekt MoScratch wird zurzeit ein UST entwickelt, das Kratzprüfungen mit höheren Normalkräften und Prüfgeschwindigkeiten ermöglicht. Folgeprojekte sollen sich mit strukturierten Oberflächen und verstärkten Materialien beschäftigen. ■