

# Der Schlüssel zur Sortenreinheit

## Integration von digitalen Wasserzeichen in komplexe spritzgegossene Verpackungsprodukte

Digitale Wasserzeichen können zukünftig die Sortierung von Post-Consumer Kunststoffabfällen genauer und effizienter gestalten. Erstmals wurde nun ein lesbares digitales Wasserzeichen in einen spritzgegossenen Flip-Top-Verschluss eingebracht. Indem die Möglichkeiten des Spritzgießens ausgereizt werden, ist dieses für den Kunden visuell nicht wahrnehmbar.



Auf dem Flip-Top-Verschluss ist das digitale Wasserzeichen visuell nicht wahrnehmbar, kann aber wie ein Code ausgelesen werden © Männer

Aktuell kann ein großer Anteil der gesammelten Post-Consumer Kunststoffverpackungen noch immer nicht werkstofflich verwertet werden. Einer der Hauptgründe dafür ist, dass die genaue Zusammensetzung der Kunststoffformmasse im Sortierprozess nicht erkannt wird. Höhere Sortieraten für die Kunststoffabfälle zwischen 95 und 100% stellen jedoch eines der wichtigen Teilziele dar, um den Wandel von einer „Linear Plastics Economy“ hin zu einer „Circular Plastics Economy“ zu schaffen. Daher wurde im Jahr 2016 unter der Leitung von The Procter & Gamble Company und gefördert durch die Ellen MacArthur Foundation die Initiative HolyGrail initiiert mit dem Ziel, Lösungen für die Sortierung von Kunststoffverpackungen zu entwickeln. Dabei wurden zunächst verschiedene Technologien zur Erkennung von Kunststoffverpackungen analysiert. 2018 wurde final die Technologie des visuell nicht wahrnehmbaren digitalen Wasserzeichens ausgewählt [1].

Das Folgeprojekt Digital Watermarks Initiative HolyGrail 2.0, geführt durch AIM

– European Brands Association und gefördert von der Alliance to End Plastic Waste, wurde offiziell im September 2020 gestartet. Das Ziel lautet, digitale Wasserzeichen von der Einbringung bis zu Pilot-Sortieranlagen für verschiedene Kunststoffverpackungen zu untersuchen und damit ein industrielles Scale-up zu ermöglichen. Die Foboha (Germany) GmbH, Teil der Unternehmensgruppe Barnes Molding Solutions, trägt als „Technology Enabler“ im Bereich Spritzgießtechnik dazu bei, digitale Wasserzeichen in Spritzgießwerkzeugen einzubringen sowie Richtlinien dafür zu definieren.

### Der Vorteil von digitalen Wasserzeichen im Sortierprozess

Die sortenreine Sortierung ist im Recyclingprozess das wichtigste Kriterium für die spätere Rezyklatqualität. Heute werden Kunststoffabfälle anhand der physikalischen Eigenschaften beispielsweise mittels Nah-Infrarot-Sortierung in hoher Geschwindigkeit identifiziert. Einer der limitierenden Faktoren ist, dass dunkel ein-

gefärbte Kunststoffe oft nicht identifiziert werden können [2]. Alternativ werden mithilfe von Kennzeichnungsstempeln in der Formgebung lokal begrenzte Informationen in das Produkt eingebracht, wie das 1988 eingeführte ASTM International Resin Identification Coding System [3].

Digitale Wasserzeichen bieten im Vergleich dazu die Möglichkeit, Informationen vollflächig und nahezu unsichtbar in Oberflächen zu integrieren. Hierbei handelt es sich um verborgene Markierungen, die in einem Trägermedium, z.B. in die Bedruckung von Verpackungen, eingebettet werden. Die in der Initiative HolyGrail 2.0 eingesetzte Technologie für digitale Wasserzeichen stammt von der Digimarc Corporation. Dabei wird, vereinfacht beschrieben, ein begrenzter, pixelbasierter Barcode mit einer Größe von 22 x 22 mm wie ein Mosaik auf die Produktoberfläche aufgebracht. Das digitale Wasserzeichen ist eine Überlagerung aus einem Nachrichtensignal, mit dem ein Datenbankeintrag adressiert wird, und einem Synchronisationssignal, um die Ausrichtung des Objekts zu bestimmen. Durch die Integration von kamerabasierten Auswertesystemen in Sortieranlagen können so Informationen wie Kunststofftyp, Art der Additive oder Einsatzgebiet (z. B. Food/Non-Food) zum Produkt aus einer Datenbank ausgelesen werden.

Bei der Einbringungsmethode wird zwischen druckfolien- und werkzeugbasierten Verfahren unterschieden (**Bild 1**). Bei ersteren wird das digitale Wasserzeichen zweidimensional in die Pixel des Drucks integriert. So bedruckte Folien wurden bereits für verschiedene Verfahren untersucht. Bei den werkzeugbasierten Verfahren wird ein dreidimensionales digitales Wasserzeichen auf der Oberflä-

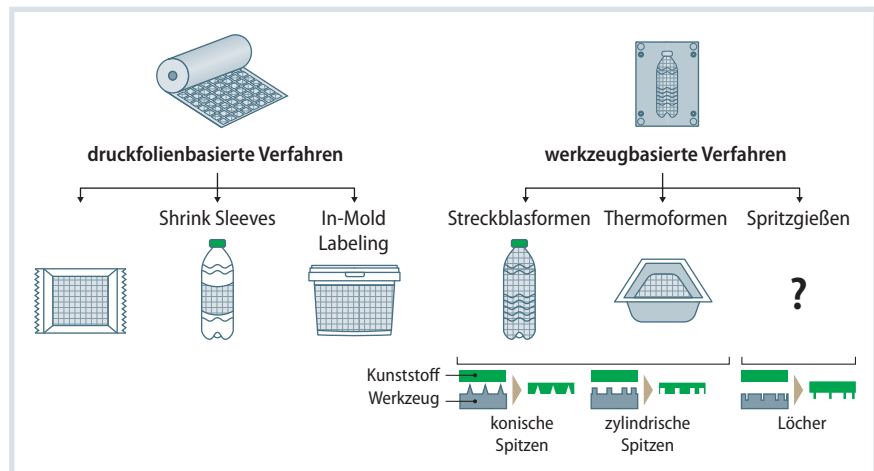
che des Kunststoffteils abgeformt. Bisher wurden die Verfahren Blasformen und Thermoformen untersucht: Bei beiden findet die Umformung im kautschukelastischen Bereich statt, weshalb die Abformgenauigkeit weniger hoch als beim Spritzgießen ist. Daher wird mit konischen oder zylindrischen Spitzen gearbeitet, so dass das digitale Wasserzeichen sich größer abzeichnet und Kunden es leichter wahrnehmen können [4].

### Zykluszeitneutrale Abformung

Statt größerer hervorstehender Spitzen kann im Spritzgießen mit feinen Löchern in der Werkzeugoberfläche gearbeitet werden (**Bild 1 rechts**). Die Abformgenauigkeit solcher Mikrostrukturen in Größenordnungen von 0,5 bis 500 µm wird durch die Verarbeitungseigenschaften des Kunststoffes und durch die Prozessparameter beeinflusst. Hoher Nachdruck, kurze Einspritzzeiten, hohe Werkzeug- sowie Masstemperaturen wirken sich dabei positiv aus [5, 6].

Bei digitalen Wasserzeichen für Kunststoffverpackungen steht statt der exakten Abformung die Lesbarkeit im Vordergrund. Die Strukturen müssen so groß und tief gewählt werden, dass diese prozesssicher abgeformt werden und gleichzeitig das Erscheinungsbild des Artikels so wenig wie möglich beeinflusst wird. Im Verpackungsbereich müssen diese auch ohne Erhöhung der Masse- oder Werkzeugtemperatur sicher abgeformt werden können, da eine Verlängerung der Zykluszeit oft nicht toleriert wird.

Zunächst werden Vorversuche mit spritzgegossenen Testplatten durchgeführt, um festzustellen, welche Variationen des digitalen Wasserzeichens unterschiedlicher Texturtiefe am besten lesbar sind (**Bild 2**). Die Dicke der über einen Filmanguss angebondenen Testplatten (180 x 150 mm) wird mit 1,1 mm so eingestellt, dass diese den Wanddickenbereich späterer Anwendungen abbildet. Der Werk-



**Bild 1.** Bisher untersuchte Einsatzmöglichkeiten von digitalen Wasserzeichen in der Kunststoffverarbeitung Quelle: Barnes Molding Solutions; Grafik: © Hanser

zeugeinsatz ist vollflächig hochglanzpoliert. In den Einsatz hat die Reichle Technologiezentrum GmbH mittels Lasertexturierverfahren sieben Variationen ( $V_{DW}$ ) des digitalen Wasserzeichens (Spalten) in den Tiefen ( $T_{DW}$ ) 2, 4, 8, 15 und 30 µm (Zeilen) eingebracht. Im türkis markierten Bereich wird eine Standardlasertexturierung mit matten Texturen verwendet, im roten Bereich zusätzlich eine hochglänzende Lasertexturierung mit einem neuen Verfahren von Reichle. Beispielhaft ist die verwendete  $V_{DW}$  1 (wenige, kleine Punkte) abgebildet (**Bild 2 links**). Die schwarzen Bereiche werden als Vertiefung in die Oberfläche lasertexturiert.

### Lesbarkeit digitaler Wasserzeichen auf spritzgegossenen Bauteilen

Abgemustert werden die Testplatten mit einem für Verschlusskappen und Drehverschlüsse geeigneten Polypropylen (Typ: Moplen RP340N; Hersteller: Lyondellbasell). Zusätzlich wird die in Natur transparente Formmasse mit jeweils 2 % Farbmastbatch in den Farben blau transparent, schwarz und weiß jeweils opak eingefärbt. An der schwarzen Testplatte (**Bild 2**) ist der Einfluss der Variation  $V_{DW}$  auf das Erscheinungsbild der Oberfläche er-

kennbar. Während bei den punktförmigen Codes rein optisch nur ein geringer Effekt auf den Glanz der Platte erkennbar ist, wird durch die „splash“-artige Variation des digitalen Wasserzeichens die Oberfläche matter. Dies korreliert mit dem prozentualen Anteil an schwarzen Bereichen (Vertiefungen). Daher sind diese Variationen nur für matte Artikel geeignet und werden im Folgenden nicht genauer analysiert.

Bei den Punktvariationen steigt die Visibilität des digitalen Wasserzeichens mit steigender Punktzahl und -größe. In den Makroaufnahmen am Beispiel von  $V_{DW}$  1 (**Bild 3**) zeichnen sich die Texturen hell von der abgeformten Werkzeugoberfläche ab. Bei der Abformung der Textur entsteht eine kleine unregelmäßige Oberflächenstruktur auf dem Kunststoffteil, die zu Lichtstreuung und damit zum Kontrast gegenüber der hochglanzpolierten Oberfläche führt.

Bei der Standardlasertexturierung mit einer Tiefe von 2 µm ist die Textur flach mit einem Durchmesser ca. 160 µm. Mit der Hochglanzlasertexturierung zeichnet sich die Textur bei gleicher Texturtiefe weniger stark ab und ist damit für das menschliche Auge schwieriger zu erkennen. Bei einer Texturtiefe von 30 µm, »

Wir digitalisieren Ihre Werkzeuge oder Bauteile in unserem Labor oder bei Ihnen vor Ort. Die Lichtstreifenprojektion und Photogrammetrie erlauben Genauigkeiten von bis zu +/- 0.007 mm.

SIMULATION

ENGINEERING

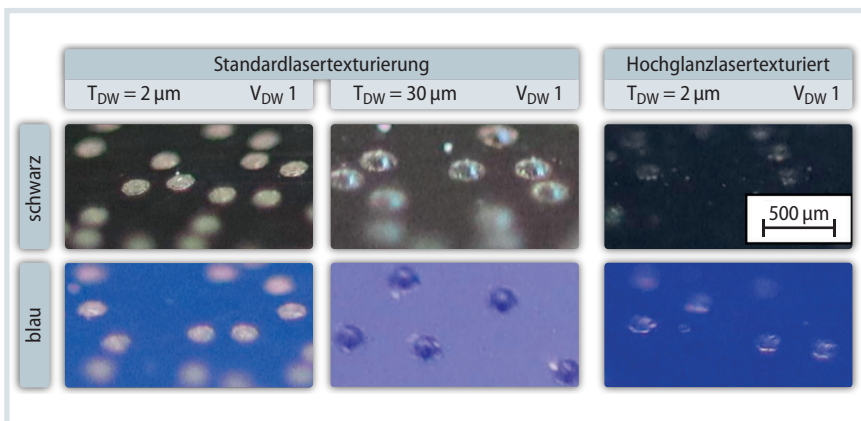
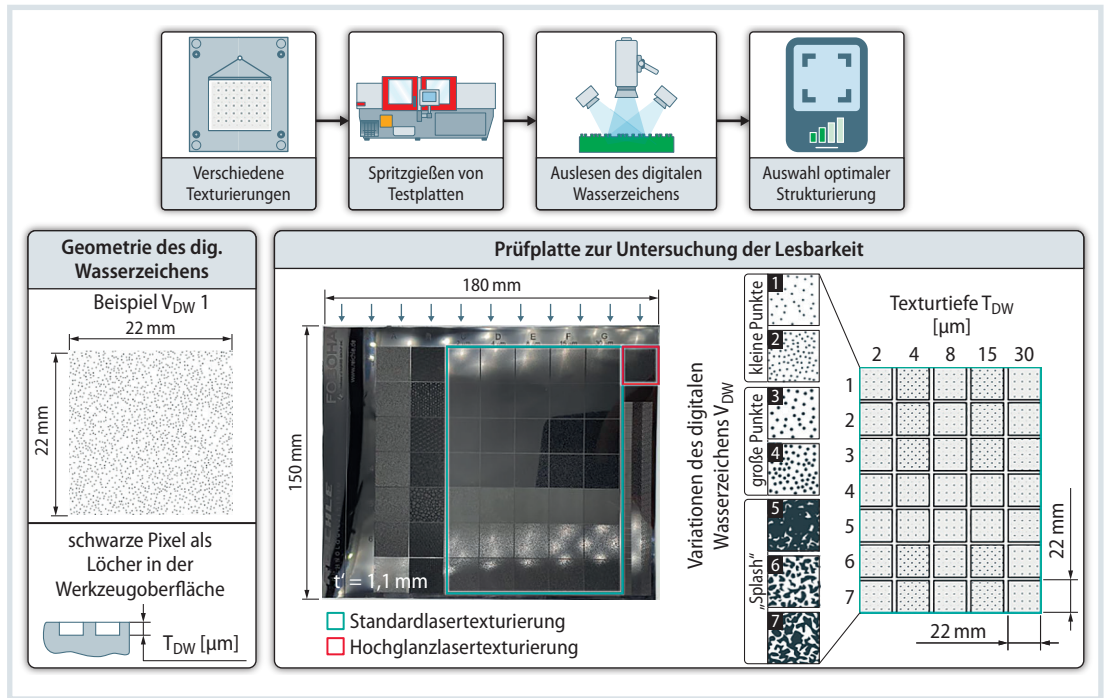
INDUSTRIELLE MESSTECHNIK

www.units.at

units®  
DIE EINHEIT FÜR ERFOLG

**Bild 2.** Variation der Textur des digitalen Wasserzeichens und der Prüfplatte zur Untersuchung der Lesbarkeit

Quelle: Barnes Molding Solutions;  
Grafik: © Hanser



**Bild 3.** Makroaufnahmen der Strukturen auf der Testplattenoberfläche

vergrößert sich der Durchmesser auf ca. 180 µm und die Struktur bildet sich auf wenige Mikrometer hohe Halbkugel auf der Oberfläche ab. Die nicht dargestellten Variationen 3 und 4 mit größerem Strukturdurchmesser weisen einen Durchmesser von ca. 240 µm auf. Dadurch vergrößert sich die Fläche um mehr als 100%, wodurch das digitale Wasserzeichen auch für das menschliche Auge leichter sichtbar ist.

### Indirekte Lesbarkeit nur mit Transparenz

Mit Unterstützung der Firma Digimar wird an den Testplatten für jedes Texturfeld die Lesbarkeit des digitalen Wasserzeichens mit dem für HolyGrail2.0 ent-

wickelten Kamerasystem und Auswertalgorithmus analysiert. Die Auswertung, die der Anordnung auf der Testplatte folgt (**Bild 2**), ist anhand von jeweils vier Signalkanten dargestellt. Zwei Balken bilden die Grenze, ab der das digitale Wasserzeichen gelesen werden kann (**Bild 4**).

Bei der direkten Messung auf der Seite des digitalen Wasserzeichens ist bei transparenten, blauen und schwarzen Testplatten bei allen Punktstrukturen ( $V_{DW}$  1 bis 4) und in allen Texturtiefen eine gute bis ausgezeichnete Lesbarkeit gegeben. Dabei sind Varianten mit vielen Punkten etwas besser lesbar. Der Texturdurchmesser und die Texturtiefe haben keinen signifikanten Einfluss auf die Lesbarkeit.

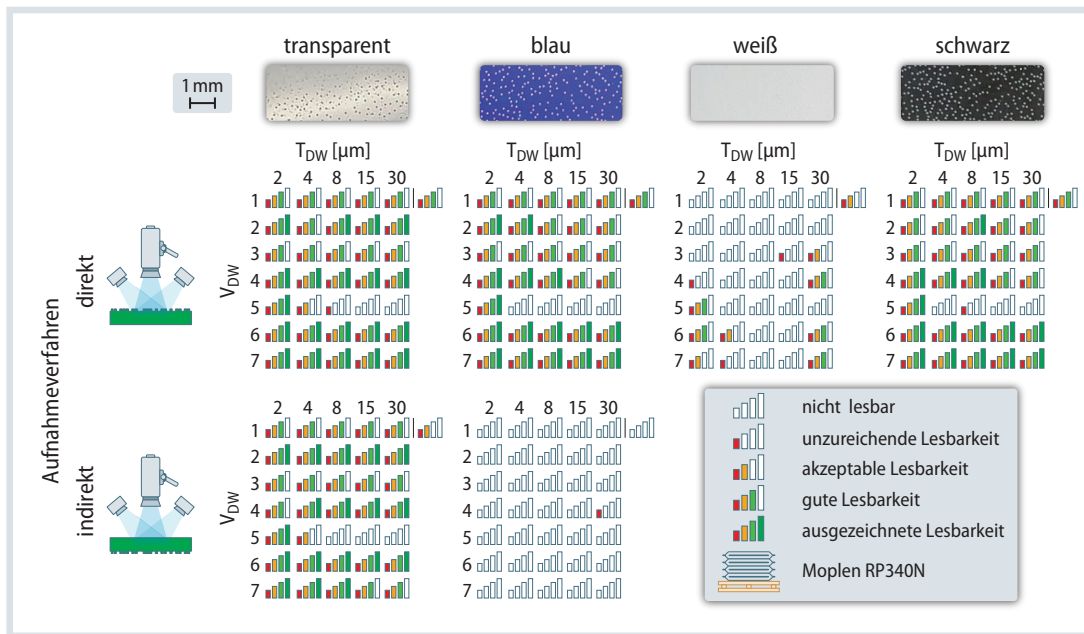
Bei weiß eingefärbten Testplatten ist das digitale Wasserzeichen nur bei gro-

ßen Texturdurchmessern und -tiefen lesbar. Grund hierfür ist der fehlende Kontrast zwischen der hochglanzpolierten Oberfläche und den abgeformten Texturen (**Bild 4 oben**). Trotz des geringeren Kontrasts (**Bild 3**) ist die Lesbarkeit des hochglanzlasertexturierten digitalen Wasserzeichens vergleichbar mit der der Standardlasertexturierung.

### Analyse der Übertragbarkeit auf ein komplexes Bauteil

Ergänzend zur direkten Messung wird für die transparenten Platten und die blau transparenten Platten die indirekte Lesbarkeit über die Rückseite der Platte untersucht. Vorteil einer indirekten Lesbarkeit wäre, dass für eine gute Abdeckung der Artikeloberfläche lediglich eine Oberfläche mit dem digitalen Wasserzeichen versehen werden müsste. Bei der transparenten Platte ist die Lesbarkeit vergleichbar mit der direkten Messung. Durch Einfärbung mit dem blau transparenten Farbstoff wird eine indirekte Lesbarkeit verhindert.

Die Verwendung eines digitalen Wasserzeichens für ein komplexes Spritzgussteil wird mit einem Ein-Kavitäten-Prototypenwerkzeugs für einen Flip-Top-Verschluss (Grundfläche 68 x 38 mm<sup>2</sup>, max. Höhe 42 mm, Wanddicke 1,0 bis 1,2 mm) von Procter & Gamble analysiert (**Bild 5**). Auf Basis der Vorversuche wird  $V_{DW}$  1 in



**Bild 4.** Ergebnisse zur Lesbarkeit des digitalen Wasserzeichens in Abhängigkeit der Einbringungsparameter und der Farbe des Kunststoffs

Quelle: Barnes Molding Solutions; Grafik: © Hanser

2 µm als Kombination einer guten Lesbarkeit und einer geringen Beeinflussung der Artikelercheinung gewählt.

In der ersten Phase wird das digitale Wasserzeichen zunächst in die hochglanzpolierte Artikelaußenfläche (orange) eingebracht und die Lesbarkeit aus verschiedenen Blickrichtungen analysiert. Aufgrund des Werkzeugaufbaus ist eine Texturierung unterhalb des Filmscharniers nicht möglich. In der zweiten Phase wird das digitale Wasserzeichen zusätzlich auf der Innenseite des Deckels (Hochglanzlasertexturierung) und des Verschlusskörpers (Standardlasertexturierung) angebracht (rot), drehbare Elemente wie Auswerferstifte werden ausgespart. Die verwendeten Spritzgießparameter orientieren sich an denen des Serienprozesses. Es kommt jedoch zu verlängerten Nebenzeiten durch die Entformung des Kaltangussystems im Prototypenwerkzeug.

Die Analyse der Abformung des digitalen Wasserzeichens zeigt vergleichbare Ergebnisse zu denen der Testplatte. Dabei ist unter Vergrößerung auch keine Änderung der Texturen durch die Entformung erkennbar. Da die Lesbarkeit des digitalen Wasserzeichens in der verwendeten Variante bereits nachgewiesen werden konnte, wird stattdessen die Fläche bestimmt, auf der lesbare digitale Wasserzeichen erkannt werden. Dabei werden verschiedene Ausrichtungen und Zustände (offen, geschlossen, abgetrennter Deckel) des Flip-Top-Verschlusses betrachtet (**Bild 5**

rechts), die bei einer Sortierung auftreten können. Je nach Ausrichtung unterscheidet sich dabei die projizierte Fläche, die ins Verhältnis zur lesbaren Fläche gesetzt werden muss. Durch die Form des Verschlusses unterscheidet sich weiterhin der Winkel, unter dem die Flächen betrachtet werden.

### *Beidseitig eingebrachtes digitales Wasserzeichen*

Im Fall des abgetrennten Deckels wird eine flach liegende leicht gewölbte Fläche von ca. 19 cm<sup>2</sup> untersucht. Für alle Farben sind auf der texturierten Seite (oben) ca. 95 bis 99% des digitalen Wasserzeichens lesbar, was die Ergebnisse der Voruntersuchungen bestätigt. Die zu fast 90% lesbare Fläche für das weiße Modell kann eventuell auf die Wölbung des Deckels zurückgeführt werden, durch die der Kontrast erhöht wird. Bei der transparenten und auch bei der blau transparenten Ausführung sind von der Rückseite noch 95% bzw. 70% lesbar. Die indirekte Lesbarkeit bei blau transparent lässt sich durch die beidseitig hochglanzpolierte Oberfläche erklären, kann aber nicht abschließend bestätigt werden.

Durch die in Phase 2 auf der Deckelinnenseite eingebrachte Textur kann auch bei den opaken Formmassen ein sehr hoher lesbarer Flächenanteil erzielt werden. Dabei ist zu beachten, dass die texturierte Fläche aufgrund der Funktionselemente geringer ist. Eine wichtige Erkenntnis ist,

dass bei transparenten Bauteilen durch ein beidseitig eingebrachtes digitales Wasserzeichen die Lesbarkeit nicht gestört wird. »

## Die Autoren

**Dr.-Ing. Simon Wurzbacher** leitet das Team der Heißkanalentwicklung bei der Otto Männer GmbH, Bahlingen a. K.

**Dipl.-Ing. Christian Slisse** ist Director of Innovation & Advanced Technologies bei Barnes Group Molding Solutions.

**Thomas Beck** is Key Account Manager bei der Foboha (Germany) GmbH, Haslach.

### Dank

Dank gilt der Digital Watermarks Initiative HolyGrail 2.0, geführt durch AIM – European Brands Association und gefördert von der Alliance to End Plastic Waste, sowie den Partnern Digimarc Corporation, The Procter & Gamble Company und Reichle Technologiezentrum GmbH.

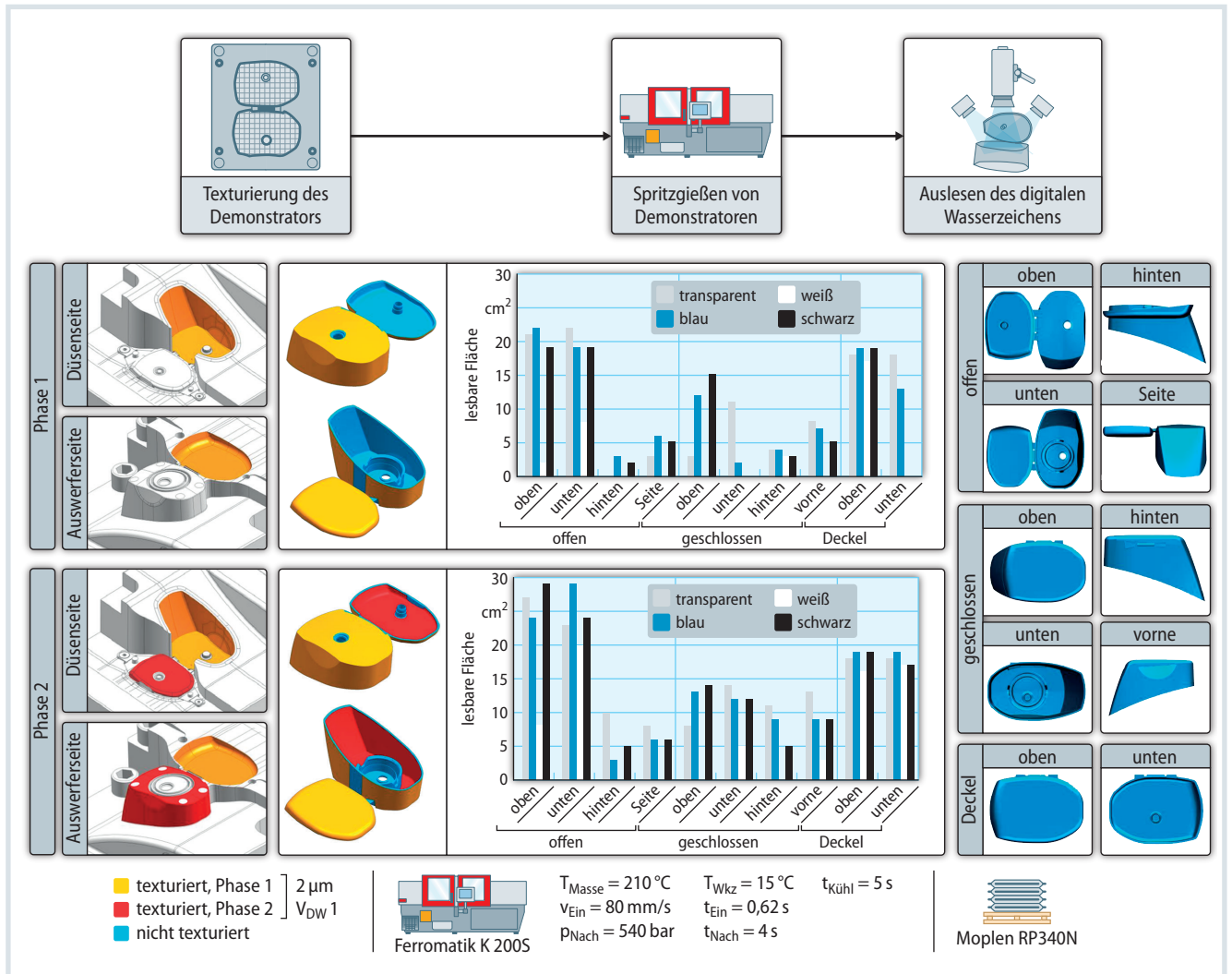
## Service

### Literatur & Digitalversion

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

### English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)



**Bild 5.** Ergebnisse zur Verwendung eines digitalen Wasserzeichens auf einem Flip-Top-Verschluss Quelle: Barnes Molding Solutions; Grafik: © Hanser

Im geöffneten Zustand ist in den Phase-1-Demonstratoren bei Betrachtung von oben nur die Kappenoberseite und die Mantelfläche texturiert. Bei Betrachtung von unten ist die Deckeloberseite sichtbar. Obwohl die texturierte Fläche bei Betrachtung von oben ca. 4 cm<sup>2</sup> größer ist, werden vergleichbare lesbare Flächeninhalte von 45 bis 52% der projizierten Fläche gemessen. Dies ist höchstwahrscheinlich durch den Winkel zur Kamera zu erklären. Dadurch kann sich ggf. die Reflexion verstärken und damit die Lesbarkeit verschlechtern. Dies würde auch die Ergebnisse bei seitlicher Betrachtung und im geschlossenen Zustand erklären.

Durch die fast vollständige Texturierung kann mit Ausnahme der weißen Kappen bei allen untersuchten Betrachtungsrichtungen eine Lesbarkeit von mehr als 30% der projizierten Fläche erreicht werden. Den größten Effekt hat die beidseitige

Textur bei den transparenten Demonstratoren. Bei den schwarzen Demonstratoren ist ebenfalls eine erhebliche Steigerung möglich. Dass die Steigerung jedoch geringer ausfällt, ist damit zu erklären, dass viele der zusätzlich texturierten Bereiche bei den untersuchten Perspektiven nur bedingt zum Tragen kommen oder unter einem steilen Winkel betrachtet werden. Zusammengefasst ist in Phase 2 mit Ausnahme des weißen Demonstrators eine ausreichend große Fläche lesbar, um eine Sortierung anhand des digitalen Wasserzeichens zu ermöglichen.

### Fazit

In Zusammenarbeit mit Partnern aus dem „HolyGrail2.0“-Konsortium hat die Foboha (Germany) GmbH erstmals ein lesbares digitales Wasserzeichen in ein spritzgegossenes Verpackungsprodukt eingebracht. Es konnte gezeigt werden, dass für

eine gute Lesbarkeit neben der Ausführung des digitalen Wasserzeichens und der Texturtiefe auch die Farbe des späteren Artikels wichtig ist. So können transparente Artikel eine Lesbarkeit von der Artikelrückseite ermöglichen und damit die zu texturierende Fläche reduzieren. Bei weißen, hoch reflektierenden Oberflächen kann die Lesbarkeit aufgrund mangelnden Kontrasts erschwert werden. Die Ergebnisse werden in eine Richtlinie für die zukünftige Nutzung von digitalen Wasserzeichen einfließen.

Die in diesem Teilprojekt produzierten Flip-Top-Verschlüsse werden für Sortierversuche auf einer Pilotsortieranlage genutzt, um die Versuche zu bestätigen. Weiterhin ist geplant, die Textur in ein Produktionswerkzeug einzubringen, um die Standzeit der Textur über die Werkzeuglebenszeit zu untersuchen und weitere Ergebnisse für ein industrielles Scale-up zu sammeln. ■