

Nahtloses Erscheinungsbild

Entwicklung von Modellvorstellungen zur Vorhersage der Oberflächenqualität im Bereich der Zusammenfließlinien

Farben ermöglichen die kundenspezifische Diversifikation eines effizient spritzgegossenen Massenprodukts. Zum Einfluss der Farbmittel insbesondere auf die Ausprägung der Zusammenfließlinien fehlen jedoch umfassende Kenntnisse. So entstehen in der Praxis oftmals zusätzliche Kosten bei der Fehlerbehebung. Ob diese Risiken im Vorfeld durch geeignete Modellvorstellungen verringert werden können, war Gegenstand eines Forschungsprojekts am Kunststoff-Zentrum in Leipzig (KUZ).



Jeweils mit Kalt- und Heißkanal spritzgegossene Musterplatten aus PP mit Monofarbpräparationen und provoziertes Binde- und Fließnaht (© KUZ)

Um Modelle zur Vorhersage der Oberflächenqualität im Bereich der Zusammenfließlinien beim Einfärben von thermoplastischen Materialien in der Spritzgießverarbeitung zu entwickeln, bedarf es fundierter Grundlagen. Diese wurden durch systematische Untersuchungen bezüglich des Einflusses der in diesem Zusammenhang als bedeutend eingestuften Faktoren erarbeitet: Dazu zählen der Kunststofftyp, die Art des Farbmittels und die Form der Farbpräparation (fest oder flüssig). Ebenso wurde der Einfluss des Angussystems als Kalt- oder Heißkanal, die Abhängigkeit der Qualität vom Ort der Zugabe der Farbpräparation an der Plastifizierreinheit und der Einfluss von Mischdüsen untersucht.

Materialcharakteristik als Schlüsselthema

An erster Stelle stand die in Abhängigkeit von der Fließfähigkeit und Kristallitstruktur

repräsentative Kunststoffauswahl, die auf Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polypropylen (PP) und Polyamid 6 (PA6) fiel. Hinzu kamen die Auswahl und die Klassifizierung 17 praxisrelevanter Farbmittel. Diese stellen als Reinpigmente die Basis für die anzufertigenden Monobatches, die wachsbasierten Mikrogranulate und die Flüssigfarben dar (**Titelbild**). In der Praxis ist sehr häufig der Zusammenhang zwischen Oberflächenqualität und Partikelgröße wie auch Partikelform festzustellen. Aus diesem Grund wurden für die physikalische Farbmittelklassifizierung die Merkmale Farbkörpergröße, Farbkörperform und Farbkörperverteilung (**Bild 1**) sowie der prozentuale Anteil der signifikanten Farbkörper in der Gesamtfläche und die Dispergiertüte (Messung des Druckfilterwerts nach EN 13900-5) zugrunde gelegt.

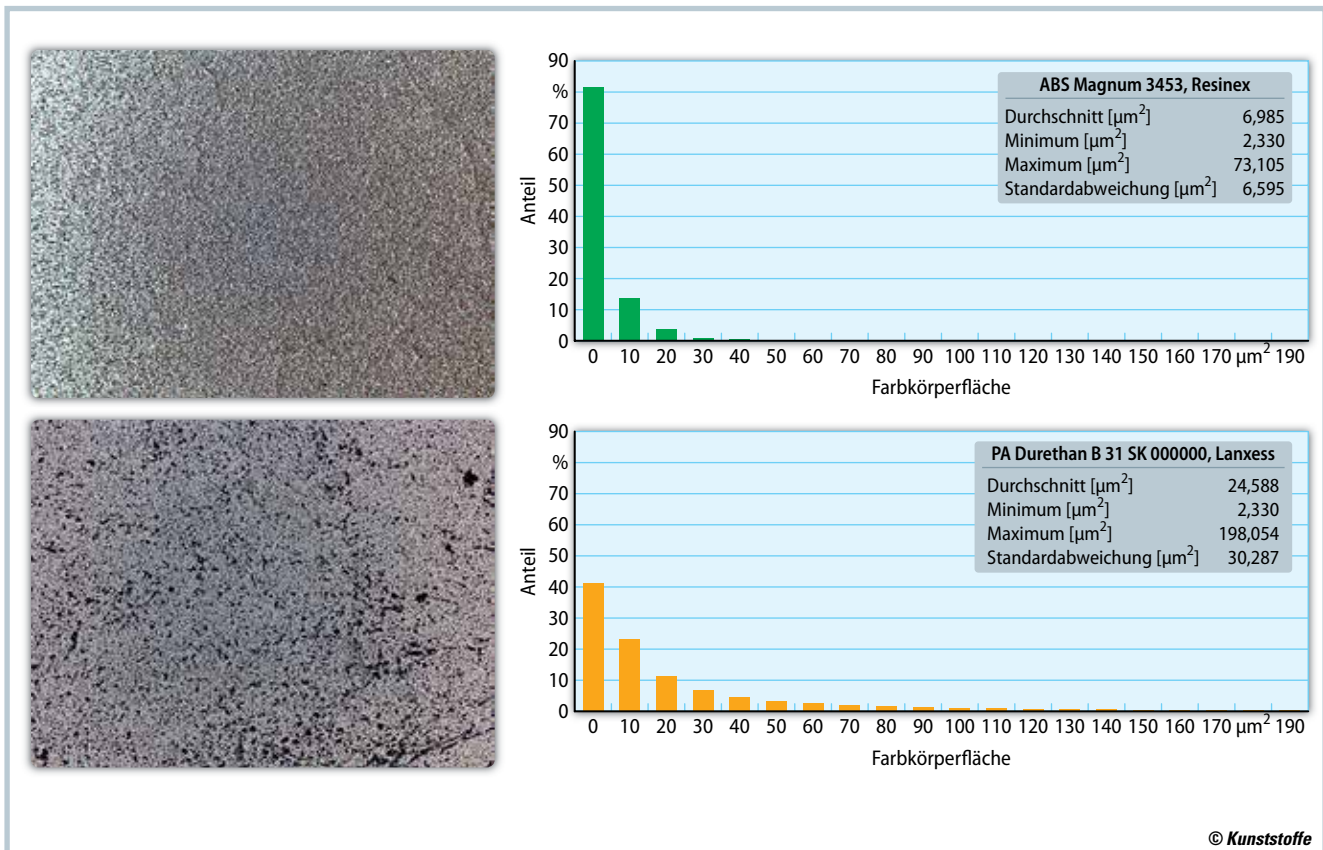
Das speziell für dieses Forschungsprojekt entwickelte Modellformteil zur Provokation von Binde- und Fließnähten

wurde alternierend mit einem Werkzeug mit Kalt- oder Heißkanalsystem hergestellt.

Rahmenbedingungen für die systematischen Spritzgießversuche

Zum Einsatz kam eine vollelektrische Spritzgießmaschine (Typ: IntElect 100/470-180, Hersteller: Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH, Schwaig) mit einer Standardschnecke von 30 mm Durchmesser. Die Dosierung der Farbmittel erfolgt bei den festen Präparationen gravimetrisch, bei den Flüssigfarben über ein Pumpsystem am Einfülltrichter und alternativ in der Meteringzone am Zylinder der Spritzeinheit über das aCC-System, einer Entwicklung von Sumitomo (SHI) Demag.

In ausgewählten Fällen wurde untersucht, inwieweit durch die Verwendung von Mischelementen der Groche Technik GmbH, Kalletal, und Promix Solutions GmbH, Wetzlar, die Farbqualität



© Kunststoffe

Bild 1. Verteilung PBr 24 (Rutil-Modifikation des Ti-Sb-Cr-Oxidsystems) in Monobatch für ABS (oben) und PA6 (unten). Die Bildbreite entspricht 1,2mm (Quelle: KUZ)

der Spritzgießbauteile verbessert werden kann (**Bild 2**).

Qualitative und quantitative Beurteilung der Oberflächenqualität

Die Beurteilung der Zusammenfließlinien an den Modellformteilen basiert auf folgendem Vorgehen:

- Visuelle Beurteilung der Prüfkörper mit Charakterisierung der Zusammenfließlinien nach DIN ISO 3668 [Licht: D65] und DIN EN ISO 4628-1;
- Farbmetrische Bestimmung nach DIN EN ISO 11664-4 mit dem Spektrophotometer (Typ: 2600d, Hersteller: Konica Minolta Sensing Europe B.V.) zur Prüfung der Farbhomogenität des Prüfkörpers in der Fläche;
- Oberflächenscan, gemittelt über fünf Proben je Herstellungsvariante;
- Erfassung der Werte L^* auf der Helligkeitsachse, der Werte a^* auf der Grün/Rot-Achse und der Werte b^* auf der Blau/Gelb-Achse für definierte Scanfelder zur Charakteristik der Binde- und Fließnahtbereiche über die Breite; Ermittlung der Extremwerte

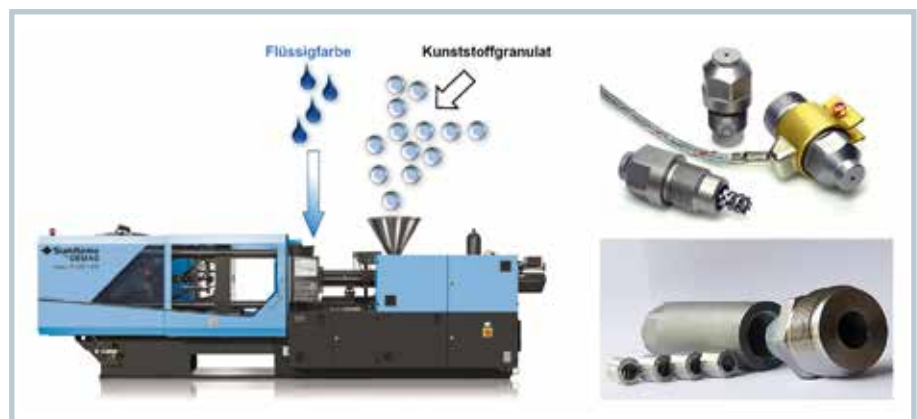


Bild 2. Maschinentechnische Rahmenbedingungen: Links ist der Ort der Zugabe von Flüssigfarbe beim aCC-System zu sehen, rechts verschiedene Mischelemente (© Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery (links), Promix Solutions, KUZ, (rechts))

te in den Kurvenverläufen zu L^* , a^* und b^* im Vergleich zum Referenzbereich außerhalb der Zusammenfließlinie (**Bild 3**);

- Zusammenfassung der qualitativen und quantitativen Bewertungskriterien mit der Skalierung, u.a. in Anlehnung an DIN EN ISO 4628-1 (**Bild 4**).

Als Eingangsgrößen für die Generierung der Vorhersagemodelle fungierten neben dem MVR-Wert für den Kunststoff die

beschriebenen Merkmale zur Farbmittelcharakterisierung und die differierenden werkzeug- und maschinentechnischen Voraussetzungen.

Diese Größen wurden mit den aus der beschriebenen Auswertemethodik resultierenden Qualitätsmerkmalen kombiniert und mit der Software Stasa QC der Stasa Steinbeis Angewandte Systemanalyse GmbH, Stuttgart, verarbeitet. Auf Grundlage nichtlinearer statistischer »

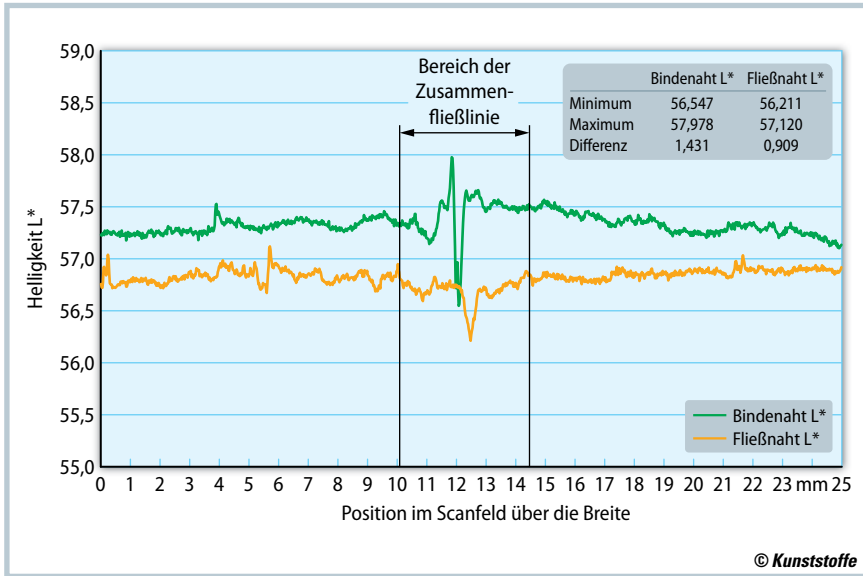


Bild 3. Auswertung des Helligkeitswerts L* im Bereich der Bindenaht mit Ergänzung der Werte für die Fließnaht aus dem Oberflächenscan (Quelle: KUZ)

		Qualitätsparameter					
Influssfaktoren	Variation	Farbhomogenität ΔE in der Referenzfläche	Helligkeitsunterschied ΔL* in der Bindenaht	Unterschied Δa* in der Bindenaht	Unterschied Δb* in der Bindenaht	Fließnaht vs. Bindenaht > Breitenverzerrung	Fließnaht vs. Bindenaht > Helligkeitsunterschied
Kunststoff	Fließfähigkeit des Kunststoffs (MFR-Wert)	o					
Farbmittel	maximale Farbkörperausdehnung						
	Rundheit						
	prozentualer Farbanteil an der Gesamtfläche		o				o
	Farbkörperfläche Mittelwert						
	Farbkörperfläche Maximum						
	Farbkörperanteil [0 bis 39 μm²]						
	Farbkörperanteil [40 bis 79 μm²]						
	Farbkörperanteil [80 bis 119 μm²]						
Farbkörperanteil [120 bis 159 μm²]							
Farbkörperanteil [160 bis 200 μm²]							
Farbpräparation	Masterbatch – Flüssigfarbe – Mikrogranulat	o	o	o	o	o	o
Werkzeug	Kaltkanalsystem – Heißkanalsystem	o	o	o	o	o	o
Maschine	Mischelemente			o	o	o	o
	aCC-System für Flüssigfarben	o	o	o	o	o	o

Qualitätseinfluss stark ■ Qualitätseinfluss mittel ■ Qualitätseinfluss zu vernachlässigen ■ keine Systematik ○

Tabelle 1. Maßgebliche Einflussfaktoren auf die Ausprägung der Zusammenfließlinien (Quelle: KUZ)

Modelle konnten die in **Tabelle 1** zusammengefassten Abhängigkeiten aufgezeigt werden, die eine Vorhersage der Oberflächenqualität im Bereich der Zusammenfließlinien gestatten. Dabei erfolgte eine Gewichtung der Einflussgrößen in Größen mit starkem d.h. überdurchschnittlichem, mit mittlerem und mit zu vernachlässigendem Einfluss auf die Oberflächenqualität. Nicht belegt sind die Kombinationen, bei denen keine eindeutige Aussage zu treffen ist.

Signifikante Abhängigkeiten der Qualitätsparameter

Zusammenfassend lassen sich einige Schlussfolgerungen ableiten. Aufgrund von Molekülorientierungen und ggf. von Kristallisationseffekten im untersuchten Bereich zeigen auch die naturfarbenen Proben zum Teil deutliche Ausprägungen der Zusammenfließlinien. Bei den durchscheinenden Musterplatten resultiert ein schlechteres Bewertungsergebnis der Ausprägung der Zusammenfließlinien als bei praxisrelevanten Rezepturen, die in der Regel mit blickdichten Farbmitteln wie beispielsweise Rutil als anorganischem Weißpigment abgemischt werden. Die Ausprägung der Zusammenfließlinien ist in erster Linie von der durchschnittlichen Farbkörpergröße in Kombination mit Farbkörperflächen von über 100 μm² abhängig. Die maximale Farbkörperausdehnung ist nur in Zusammenhang mit einer entsprechenden Häufigkeitsverteilung entscheidend. Wenn die Homogenisierung darüber hinaus in der Fläche schlecht ist, d.h. im Lab-Farbsystem die Unterschiede in der Helligkeit ΔL* = 0,6, auf der Grün/Rot-Achse Δa* = 0,4, auf der Blau/Gelb-Achse Δb* = 0,4 und/oder der Farbabstand ΔE = 0,7 bis 0,8 (je nach Farbe und Anwendungsgebiet) [1] überschreiten, dann ist eine auffällige Ausprägung der Zusammenfließlinie festzustellen.

Ferner konnten in Abhängigkeit von der Art des Angussystems keine verallgemeinerungsfähigen Schlussfolgerungen auf die Ausprägung der Zusammenfließlinie gezogen werden. Durch Verwendung von Mischelementen verbesserte sich allerdings in der Mehrzahl die Farbhomogenität in der Fläche, jedoch trat keine signifikante Verbesserung der Oberfläche im Bereich der Zusammenfließlinien ein. Das gilt ebenso für den Einsatz des aCC-Systems

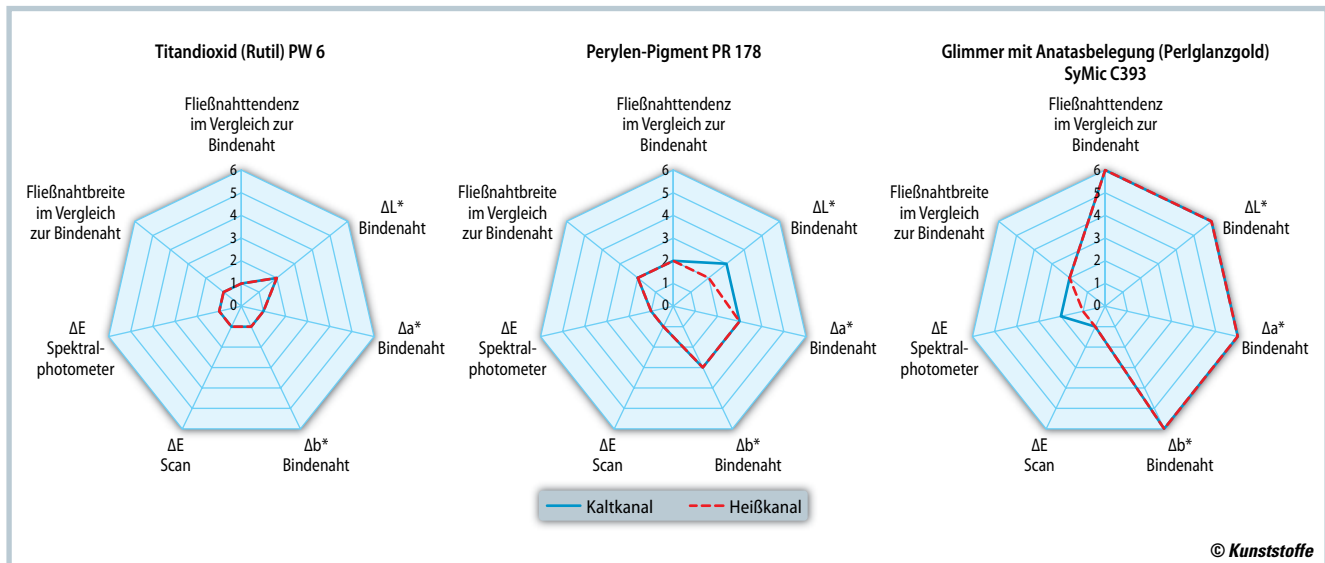


Bild 4. Zusammenfassung der Bewertungskriterien in Netzdiagrammen an Beispielen für Polypropylen. Die Größe der Flächendeckung für Kalt- und Heißkanalwerkzeug repräsentiert die Auffälligkeit der Zusammenfließlinien (Quelle: KUZ)

zur Zugabe der Flüssigfarbe in der Meteringzone der Spritzeinheit. Dessen positiver Effekt liegt in schnelleren Farbwechseln und einer Risikominimierung hinsichtlich thermischer Schädigung der Farbmit-

tel. Tendenziell zeichnet sich die Bindenaht immer auffälliger als die Fließnaht ab und erscheint zwar schmal, aber dafür sehr deutlich. Die Fließnaht erscheint abgeschwächt, aber breit auslaufend.

Effektpigmente stellen aufgrund ihrer Charakteristik eine separat zu behandelnde Gruppe dar und wurden deshalb in diesem Projekt nicht berücksichtigt. Im Projektverlauf kamen glasbasierte Effektpigmente »

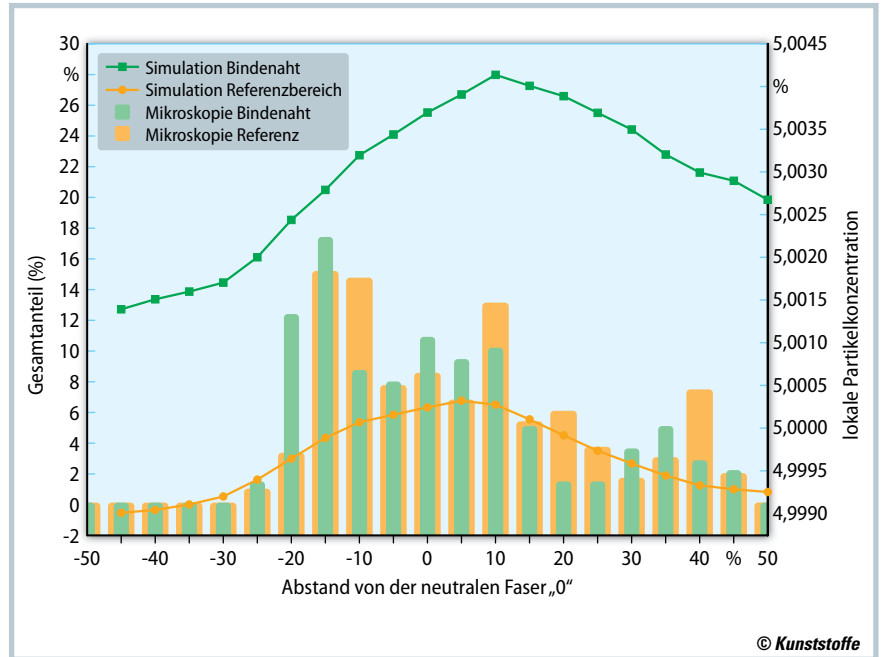


Bild 5. Vergleich der Farbkörperverteilung über der Wanddicke mit der lokalen Partikelverteilung aus der Spritzgießsimulation am Beispiel von Polypropylen H7058-25R (Hersteller: Braskem) mit Zugabe von 5% Masterbatch mit Eisenoxidrot (Colour Index) PR101 (Quelle: KUZ)

Die Autoren

Dipl.-Ing. Kathrin Klamt arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin des Kunststoff-Zentrum in Leipzig (KUZ) im Bereich Verarbeitungstechnik mit dem Fokus auf das Spritzgießverfahren.

Dipl.-Ing. Petra Krajewsky leitet im KUZ den Fachbereich Verarbeitungstechnik.

Dr. Peter Bloß ist seit 2001 als Geschäftsführer der Kunststoff-Zentrum in Leipzig gGmbH (KUZ) tätig.

Dank

Dieses Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.

Der Dank gilt den folgenden, besonders engagierten Projektpartnern Eckart GmbH, Grafe Color Batch GmbH, Lapacz Kunststofftechnik GmbH, Novosystems Farben und Additive GmbH, Plastic Service GmbH, Rowasol GmbH, Sigma Engineering GmbH und der Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH.

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/3838260

der Eckart GmbH zum Einsatz. Aufgrund des Reflexionsverhaltens dieser beschichteten Glasplättchen sind die Bindenähte deutlich schwächer ausgeprägt und Fließlinien kaum bzw. nicht mehr wahrzunehmen (Bild 4 rechts).

Vorhersage mittels Spritzgießsimulation im Vorfeld

Im Zusammenhang mit der Einfärbung von Kunststoffen beim Spritzgießen wurden exemplarische Tests durch die Sigma Engineering GmbH, Aachen, mit der Simulationssoftware Sigmasoft in Anlehnung an das Powder Injection Molding durchgeführt. Im Vergleich mit ausgewählten mikroskopischen Präparationen wird die reale Fließsituation und Partikelverteilung in der Simulation wiedergespiegelt. Die im Bindenahtbereich ermittelte Häufigkeitsverteilung der Farbkörper im Dünnschnitt stimmt qualitativ mit der aus der Simulation resultierenden lokalen Partikelkonzentration überein. Dahingehend bietet die Simulation Ansätze zur Risikominimierung beim Einfärben, sofern die Farbkörpergrößen und -anteile bekannt sind (Bild 5).

Ausblick

Die mittlere Farbkörpergröße in der Farbpräparation beeinflusst in Kombination

mit der Häufigkeitsverteilung zur Farbkörpergröße primär die Ausprägung der Zusammenfließlinien. Auf dieser Grundlage ist eine Risikoabschätzung hinsichtlich der zu erwartenden Oberflächenqualität möglich. Damit sind die gewonnenen Erkenntnisse die Basis für weitere Entwicklungen. Eine Fortsetzung der Untersuchungen mit Farbzepturen ist notwendig, da in der Praxis in der Regel nicht mit Monopräparationen, sondern Farbzepturen gearbeitet wird. Zum einen sind die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Farbmitteln, zum anderen ist die Intensität der Zusammenfließlinien in Abhängigkeit von Mengenanteilen einzelner Farbmittel zu untersuchen.

Die Auswertemethodik der Oberflächenstörungen hat sich bewährt und ist auf weitere Untersuchungen hinsichtlich der Auswirkungen von Additiven auf die Oberflächenqualität von Spritzgießbauteilen übertragbar. Eine Qualifizierung der erfolgreichen Ansätze mittels Spritzgießsimulation ist dahingehend sinnvoll, dass die Aussagen an weiteren Beispielen zu überprüfen sind. Des Weiteren sollte diskutiert werden, ob die Modellgrundlagen neben der Farbkörpergröße und Farbkonzentration um die Ausdehnung des Farbkörpers im Raum zu erweitern sind. ■