

FOTOS UND GRAFIKEN: VOLKSWAGEN



Durch Strukturierung der Kokillenoberfläche lassen sich die Formfülleigenschaften beeinflussen und somit dünnwandigere Gussteile herstellen.

# Schwerkraftkokillengießen mit strukturierten Kokillenoberflächen

Teil 3\*: Serienanwendung

VON STEPHAN KNORR, SEBASTIAN GIERTH, SEBASTIAN FINDEISEN UND THOMAS BEGANOVIC, BRAUNSCHWEIG

Das Fahrwerk heutiger Kraftfahrzeuge weist klassenbezogen leichte und wirtschaftlich zu fertigende Komponenten aus Stahl, Gusseisen und Aluminium auf. Ein gezielter Materialeinsatz kann zu erheblichen Effekten führen. So besitzt beispielsweise das Aluminiumfahrwerk eines Audi S3 einen Gewichts-vorteil von ca. 9 kg gegenüber dem Stahl-fahrwerk eines Golf 7 (Bild 1).

Bei der Entwicklung von Fahrwerkskomponenten ist der Leichtbau für den Volkswagen Konzern von zentraler Bedeutung. Hierbei gilt es, das wirtschaftlichste Optimum aus Gewicht und Herstellbarkeit bei geforderter Belastbarkeit zu erreichen. Das zentrale Fertigungsverfahren für Alu-

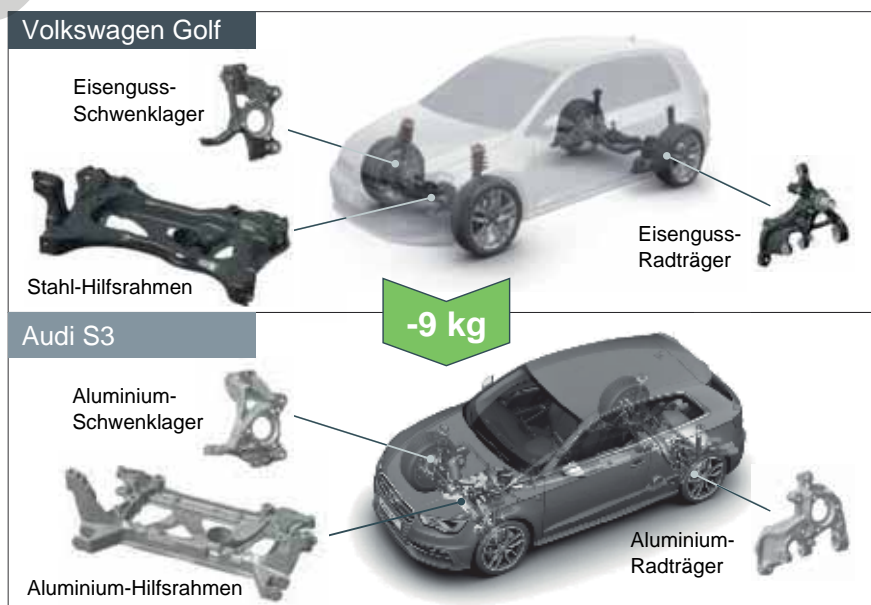


Bild 1: Klassenbezogene Leichtbaukomponenten aus Aluminium [1] im Vergleich mit Stahlguss- und Gusseisenkomponenten.

miniumkomponenten im Fahrwerksbereich ist das Kokillengießen. So wird z. B. der Hilfsrahmen aus dem modularen Quer-Baukasten (MQB) durch Schwerkraft-Kokillengießen hergestellt, wobei die Verfahrensgrenzen derzeit vollständig ausgenutzt werden. Die Prozessabsicherung erfolgt durch den Einsatz naheutektischer AlSi-Legierungen, hoher Gieß- und Kokillentemperaturen, hochisolierender Schichten und Oberflächenstrukturen (Waffelmuster) [2].

Im Hinblick auf die Herstellbarkeit des Bauteils wird besonders in steifigkeitsrelevanten Bereichen durch die Fertigungsrestriktionen mehr Material eingesetzt als strukturmechanisch tatsächlich erforderlich ist. Fertigungstechnisch werden somit Mindestwanddicken von 5,5 mm benötigt, wodurch das Leichtbaupotenzial der eingesetzten Aluminiumgusswerkstoffe nicht vollständig ausgenutzt werden kann. In Grundlagenuntersuchungen wurde gezeigt, dass durch den Einsatz der neu entwickelten Oberflächenstruktur K

(Haifisch) die Wanddicke bei schlichtefreier Anwendung um bis zu 30 % im Vergleich zu einer unstrukturierten Oberfläche ohne Einbußen der gießtechnologischen

Eigenschaften reduziert werden konnte [3].

In diesem 3. Teil der Beitragsreihe werden der Einfluss von Schlichte und der

## KURZFASSUNG:

In den ersten beiden Teilen dieser Beitragsreihe wurde gezeigt, dass Oberflächenstrukturen die Fließ- und Formfülllänge von Aluminiumlegierungen positiv beeinflussen, wodurch die verfahrensbedingte Gussteilwanddicke um bis zu 30 % reduziert werden kann. Die gewonnenen Erfahrungen aus den zahlreichen Laboruntersuchungen wurden auf eine Serienkokille für das Schwerkraft-Kokillengießen übertragen. Hierzu wurde die Oberfläche der Kokille für einen Hilfsrahmen großflächig per Laserstrahl strukturiert. Anwendung fanden die bionischen Strukturen F und K (Noppe und Haifisch). Die Ausschussquote der hergestellten Gussteile lag bei 0 % und alle nachgeschalteten Prüfungen wurden ohne Mängel durchlaufen. Bei der zyklischen Bauteilprüfung unter Korrosionsbelastung konnte nachweislich die Laufleistung gegenüber dem Serienstand um bis zu 25 % verbessert werden. Seit März 2016 ist eine Hilfsrahmenkokille im Einsatz, um den prozessbedingten Verschleiß unter Serienbedingungen zu analysieren. Zukünftig wird die Ultraschallreinigung eingesetzt, um den Verschleiß zu minimieren sowie die Lebensdauer der strukturierten Kokillen zu erhöhen.

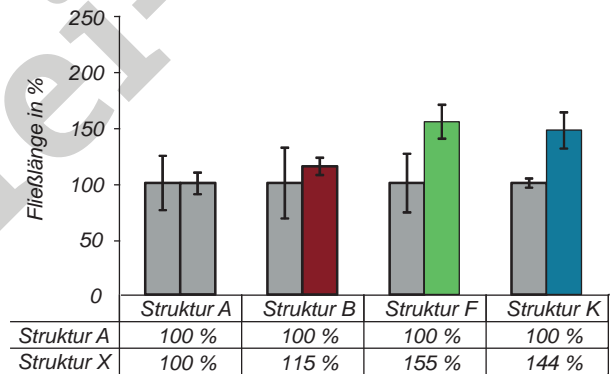
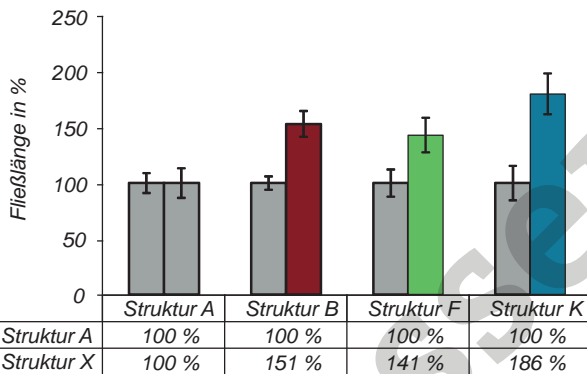


Bild 2: Fließ- und Formfülllänge in Abhängigkeit von der Strukturierung, unter Verwendung von hochisolierender Schlichte.

**Wenn Fachleute  
und Branchenexperten  
berichten**

**Fachartikel**

[www.giesserei.eu](http://www.giesserei.eu)

**JETZT NEU**  
IM WORLD WIDE WEB

**Hier kommuniziert die Gießereibranche**  
Die neue Webseite der GIESSEREI-Zeitung: [www.giesserei.eu](http://www.giesserei.eu)

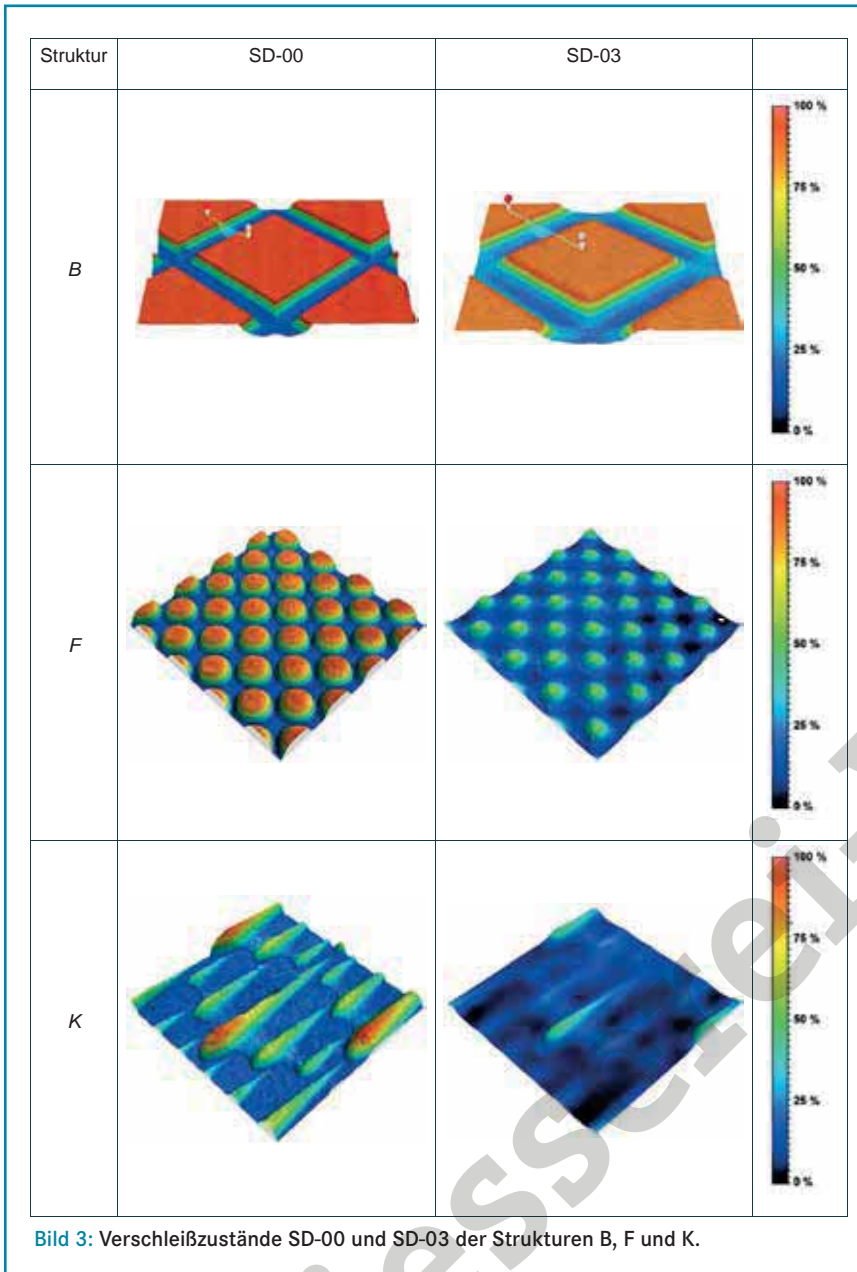


Bild 3: Verschleißzustände SD-00 und SD-03 der Strukturen B, F und K.

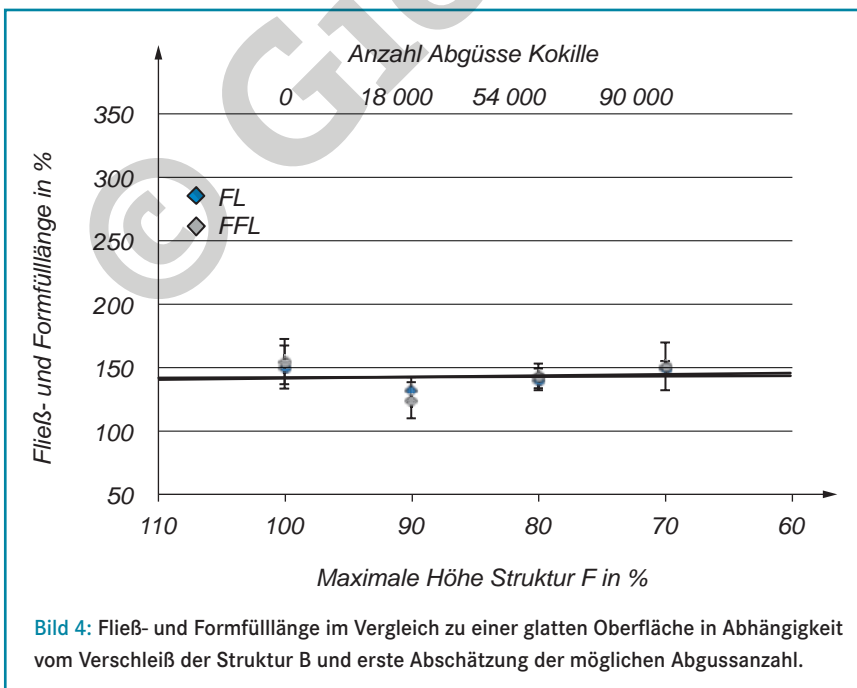


Bild 4: Fließ- und Formfülllänge im Vergleich zu einer glatten Oberfläche in Abhängigkeit vom Verschleiß der Struktur B und erste Abschätzung der möglichen Abgussanzahl.

Strukturverschleiß auf die Fließ- (FL) und Formfülllänge (FFL) sowie die Anwendbarkeit im Serienprozess thematisiert.

**Untersuchungen im Labormaßstab**

Die modulare Kokille, die für die experimentellen Untersuchungen verwendet wurde, ist bereits ausführlich in [2, 3] unter „Stand der Technik“ beschrieben.

Erfahrungsbasiert können sogenannte Waffelmuster die Fließ- und Formfülllänge von Schmelzen positiv beeinflussen [4]. Dieser positive Effekt im Schwerkraftkokillengießen wurde numerisch und experimentell nachgewiesen und publiziert [2, 3].

Die nachfolgend dargestellten Fließ- und Formfülllängen beziehen sich stets auf eine glatte schlichtefreie bzw. eine glatte geschichtete Oberfläche.

Bei einer schlichtefreien Anwendung der Oberflächenstrukturen wurden bei der Struktur B (Waffel) eine Fließlänge von 152 % und eine Formfülllänge von 155 % ermittelt. Die Strukturen F (Noppe) und K (Haifisch) erreichten Fließlängen von 146 % bzw. 213 % und Formfülllängen von 185 % bzw. 298 %. Die Steigerung der Formfülllänge ist somit gegenüber der Steigerung der Fließlänge bei den Strukturen K und F stärker als für die konventionelle Struktur B [3].

Unter der Verwendung von Schlichte beträgt die normierte Fließlänge bei Struktur B 151 % im Vergleich zu einer glatten Oberfläche (Struktur A). Bei den Strukturen F und K reduziert sich die Fließlänge auf 141 % bzw. 186 %. Bei der Betrachtung der Formfülllänge wird deutlich, dass die Struktur B keine signifikante Steigerung bewirkt. Die Strukturen F und K erreichen Formfülllängen von ca. 155 % und 144 % (Bild 2).

**Verschleiß der Oberflächenstrukturen**

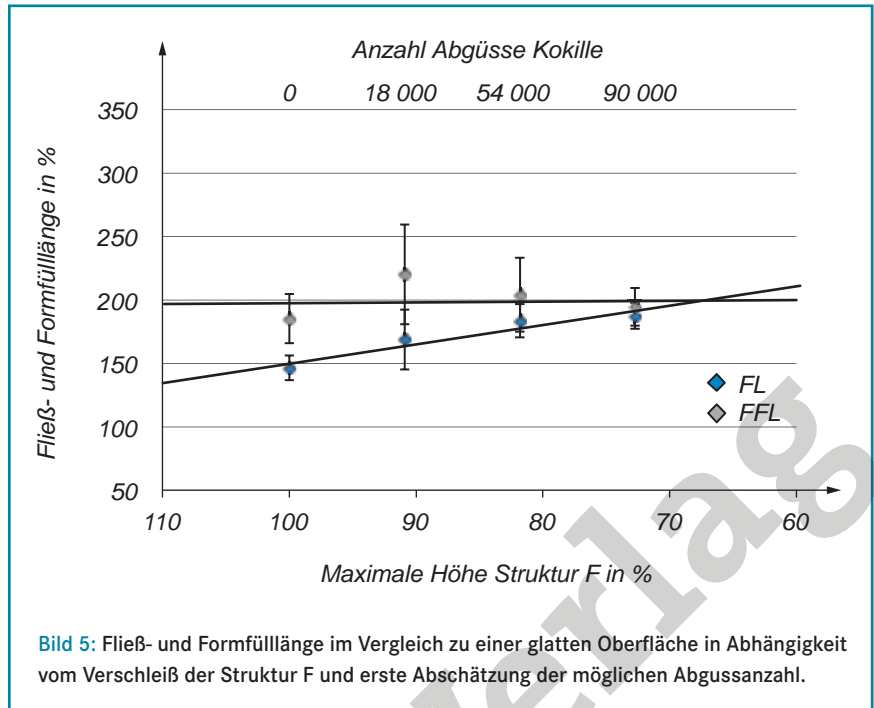
Für eine erfolgreiche Überführung in die Großserie ist das Verschleißverhalten der Oberflächenstrukturen von entscheidender Bedeutung. Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen sollen klären, in welchem Maße der Verschleiß der Strukturen die Fließ- und Formfülllänge beeinflusst. Hierfür wurden die drei strukturierten Modulplatten einem definierten Strahlvorgang mit Glasbruch unterzogen. Die Prozessparameter der Untersuchungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Der Ablauf der Verschleißuntersuchungen war stets identisch. Im Ausgangszustand SD-00 wurden die Oberflächenstrukturen optisch vermessen und

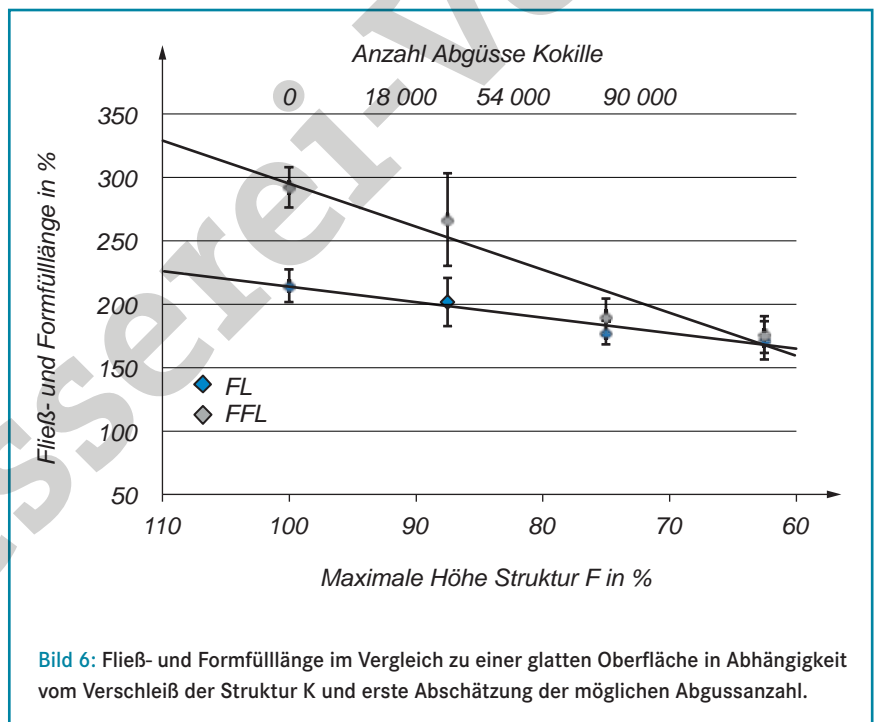


anschließend im Gießversuch mit der modularen Kokille erprobt. Anschließend folgten der Strahldurchgang SD-01 und ein erneutes optisches Vermessen, gefolgt vom Vergießen. Dieser Vorgang wurde für die Strahldurchgänge SD-02 und SD-03 wiederholt.

**Bild 3** (links) zeigt den Ausgangszustand (Höhe = 100 %) der drei Oberflächenstrukturen B, F und K. Zu erkennen sind die Details der laserstrukturierten Oberflächen F und K. Aus der Anfertigung der Oberflächenstrukturen resultieren zahlreiche feine Vertiefungen, die als Laserrauheit bezeichnet werden. Die Gießversuche ergaben Fließlängen von 151 % (Struktur B), 146 % (Struktur F) und 213 % (Struktur K), bezogen auf die glatte Oberfläche. Nach dem ersten Strahldurchgang ist keine fertigungsbedingte Laserrauheit mehr zu erkennen. Die maximal gemessenen Strukturhöhen wurden bei den Strukturen B, F und K um jeweils 10 %, 9 % und 12 % reduziert. Durch den Primärverschleiß in z-Richtung ist auch ein Abtrag des Grundniveaus, also der Bereiche zwischen den Strukturerhebungen zu verzeichnen. Bei den anschließend durchgeführten Gießversuchen wurden für die Strukturen B und F Fließlängen von 133 % und 169 %, bei der Struktur K von 202 % ermittelt. Der erneute Abtrag bei der Struktur F betrug 9 % und bei der Struktur K 13 %. Bei der Struktur F wurde die Fließlänge um 8 % auf 141 % verbessert. Bei der Struktur F war ein Anstieg auf 183 % und bei der Struktur K ein Rückgang der Fließlänge auf 178 % zu beobachten. Nach dem dritten Strahldurchgang sind die Strukturen F und K kaum noch erkennbar. Die Strukturvermessungen ergaben, bezogen auf die Ausgangshöhe, maximale Strukturhöhen von 70 % (Struktur B), 73 % (Struktur F) und 63 % (Struktur K). Mit der Struktur B konnte eine Fließlänge von 150 % erzielt werden. Bei der Struktur F und K ergaben sich Fließlängen von



**Bild 5:** Fließ- und Formfülllänge im Vergleich zu einer glatten Oberfläche in Abhängigkeit vom Verschleiß der Struktur F und erste Abschätzung der möglichen Abgussanzahl.



**Bild 6:** Fließ- und Formfülllänge im Vergleich zu einer glatten Oberfläche in Abhängigkeit vom Verschleiß der Struktur K und erste Abschätzung der möglichen Abgussanzahl.



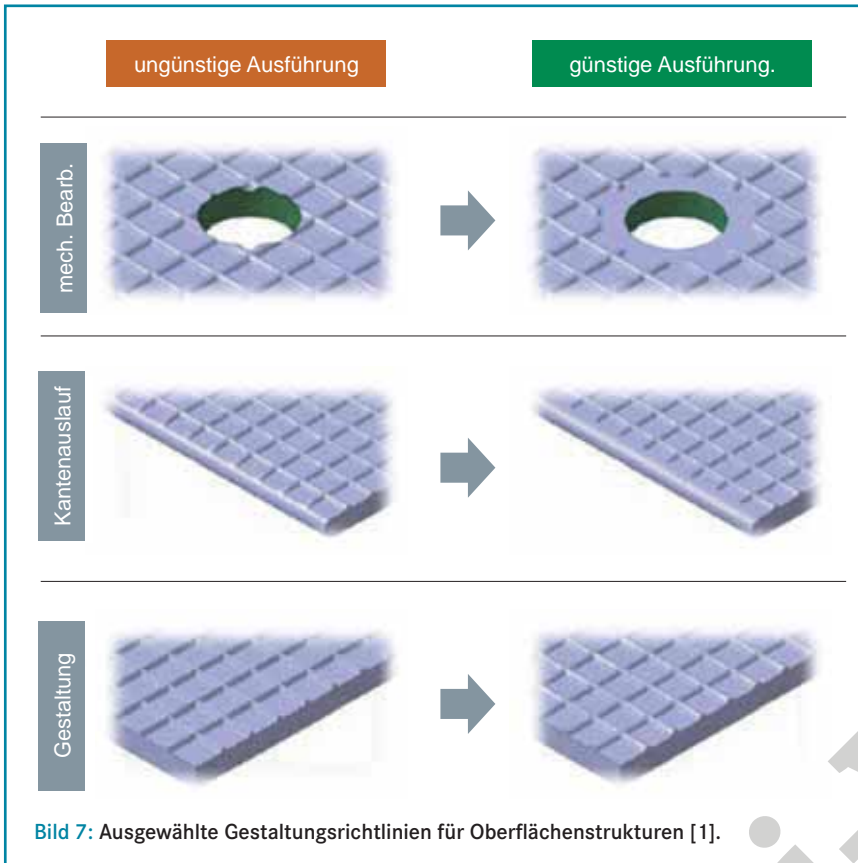


Bild 7: Ausgewählte Gestaltungsrichtlinien für Oberflächenstrukturen [1].

187 % und 172 %. Die resultierenden Fließlängen der beiden Strukturen F und K beruhten nun ausschließlich auf der Zunahme der Gussteilwanddicke. Dies konnte durch eine entsprechende Vermessung bestätigt werden. Die Ergebnisse der Verschleißuntersuchungen sowie die resultierenden Gießeigenschaften sind in den Bildern 4 bis 6 für die Strukturen B, F und K und in Bezug auf eine glatte Oberfläche dargestellt. Es zeigt sich, dass der zunehmende Verschleiß bei der Struktur B nur einen geringen Einfluss auf die Fließ- und Formfülllänge ausübt. Struktur K zeigt hingegen eine starke Abhängigkeit. Dem gegenüber weist die Struktur F eine stetige Verbesserung der Fließlänge und ein relativ konstantes Verhalten der Formfülllänge auf. Eine erste Abschätzung der Lebensdauer (Anzahl der Abgüsse) für eine Hilfsrahmenkokille aus den durchgeführten Laboruntersuchungen mit der modularen Kokille ist in den drei Diagrammen (Bilder 4 bis 6) aufgezeigt. Es kann somit gefolgert werden, dass die durchgeführten Verschleißuntersuchungen mit den Strahldurchgängen SD-00 bis SD-03 ca. 100 000 Abgüsse mit einer Serienkokille abdecken.



Bild 8: Lasernarbanlage zur Oberflächenstrukturierung.

### Seriennahe Anwendung

Die bisher gezeigten Ergebnisse verdeutlichen, dass durch den gezielten Einsatz einer Oberflächenstrukturierung die Fließ- und Formfülllängen von Aluminiumlegierungen signifikant verbessert werden können. Dieses Potenzial kann zur Reduzierung der Gussteilwanddicke genutzt werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden auf einen Aluminium-Hilfsrahmen übertragen. Zur Bauteil- und Oberflächenstrukturauslegung wurden entsprechende Festigkeits- und Steifigkeitsanalysen zur Identifizierung von Mindestwanddicken durchgeführt und Gießsimulationen genutzt. Die Analyse ergab eine Möglichkeit zur Reduzierung der Gussteilwanddicke in der Teilungsebene um 2,0 mm auf 3,5 mm.

Weiterhin sollte die Fertigung unter Serienbedingungen erfolgen. Hierzu wurden alle Prozessparameter ohne Anpassungen übernommen. Dies betraf die Legierungszusammensetzung, die Kokillen- und Schmelzetemperatur, die Kokillenkühlung und die Art und Auftragung der Kokillenschichte. Ebenso sollten die nachgeschalteten Fertigungsprozesse durchlaufen werden. Die Kinematik- und Anbindungspunkte und somit auch die Außenkontur dieses Hilfsrahmenderivates wurden nicht verändert, wodurch die vorgestellten Prämissen erfüllt wurden. .

Tabelle 1: Prozessgrößen für den halbautomatischen Strahlvorgang.

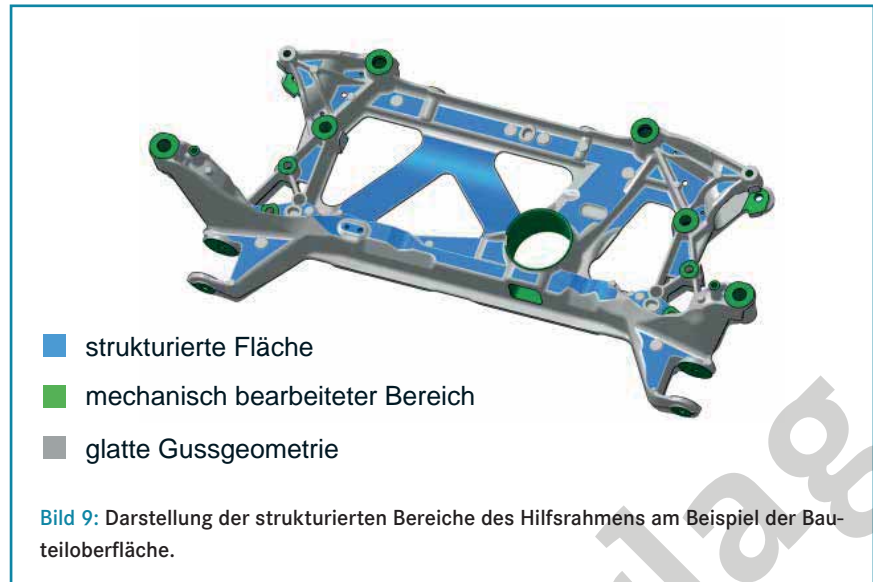
Prozessgröße	
Strukturen	B, F, K
Strahldurchgänge gesamt	3 (SD-01, SD-02, SD-03)
Strahldauer gesamt	75 min
Anzahl der Längsbahnen pro Platte	4
Verfahrensgeschwindigkeit	0,5 m/min
Strahlgut, Körnung	Glasbruch, 200 bis 300 µm
Druck	5 bar
Düsendurchmesser	10 mm
Strahlabstand	10 cm

Bei der Auslegung der Oberflächenstrukturierung wurden folgende Konstruktionsregeln berücksichtigt (vgl. Bild 7, [1]):

1. Ein harmonischer Auslauf der Struktur zu Bereichen, die später mechanisch bearbeitet werden, ist sicherzustellen.
2. Der Strukturauslauf zu Kantenbereichen ist weich auszuführen.
3. Der Struktureinlauf in Rippenbereichen ist mit einem abgerundeten Übergang zu versehen.
4. Eine scharfkantige Struktur ist zu vermeiden.
5. Eine Querschnittsschwächung durch die Struktur ist zu vermeiden.
6. Oberflächenstrukturen dürfen keine Hinterschnitte erzeugen.

Zur Fließlängensteigerung bzw. Wanddickenreduzierung wurden die Oberflächenstrukturierungen F und K großflächig eingesetzt. Diese wurden mit der Lasernarbanlage Lasertec 210 Sharpe der Sauer GnbH aus Pfronten in das Kokillenober- und -unterteil eingebracht (Bild 8). Die strukturierten Bereiche sind in Bild 9 bauteilseitig dargestellt. Insgesamt wurden im Kokillenober- und Kokillenunterteil 66 Bereiche strukturiert. Hierbei wurden 80 % mit der Struktur K und 20 % mit der Struktur F versehen.

Die in der Wanddicke angepasste Kockille wurde auf einer Serienanlage installiert und abgegossen. Insgesamt wurden 35 Gussteile erzeugt (Bild 10). Die Ausschussquote lag bei 0 %. Die nachgeschalteten Serienprozesse wie Rohteilbearbeitung, Röntgen, Wärmebehandlung, Richten, Farbeindring- und Sichtprüfung wurden ohne Mängel durchlaufen.

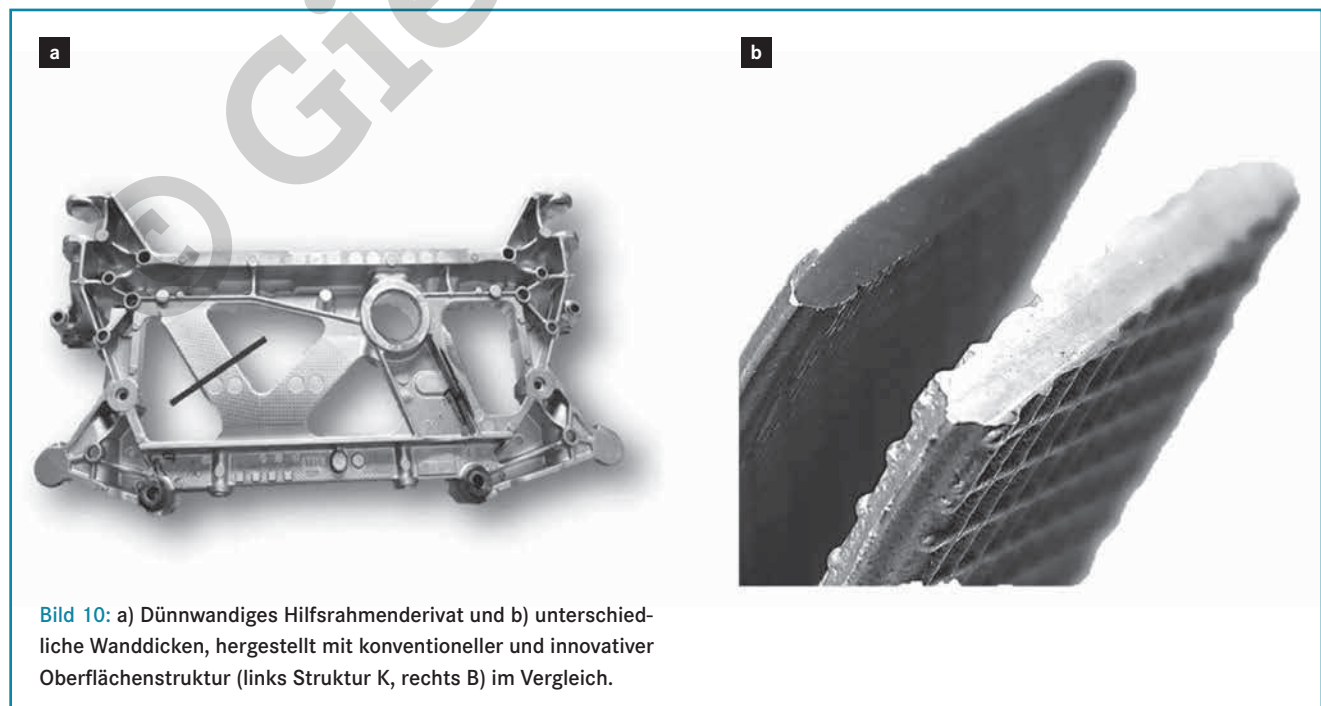


Nach der Wärmebehandlung wurden zwei Bauteile des Hilfsrahmens einer zyklischen Bauteilprüfung unter Korrosionsbelastung unterzogen. Die Ergebnisse zeigen in Ausfallort oder Laufleistung keine signifikanten Unterschiede zu den aktuellen Serienteilen. Somit konnte durch die Anwendung der strukturierten Oberflächen die Wanddicke partiell um bis zu 35 % reduziert und damit eine Gewichtsersparung von gut 1 kg ohne Veränderung der Bauteilperformance erzielt werden (Bild 11). Wie aus Bild 11 ersichtlich, erreicht der Dünnwand-Hilfsrahmen vergleichbare Laufleistungen, die um 25 % über dem Referenzstand liegen. Diese Abweichung kann durch eine höhere Toleranz des Dünnwand-Derivates gegenüber Dynamikeffekten der eingeleiteten Kräfte

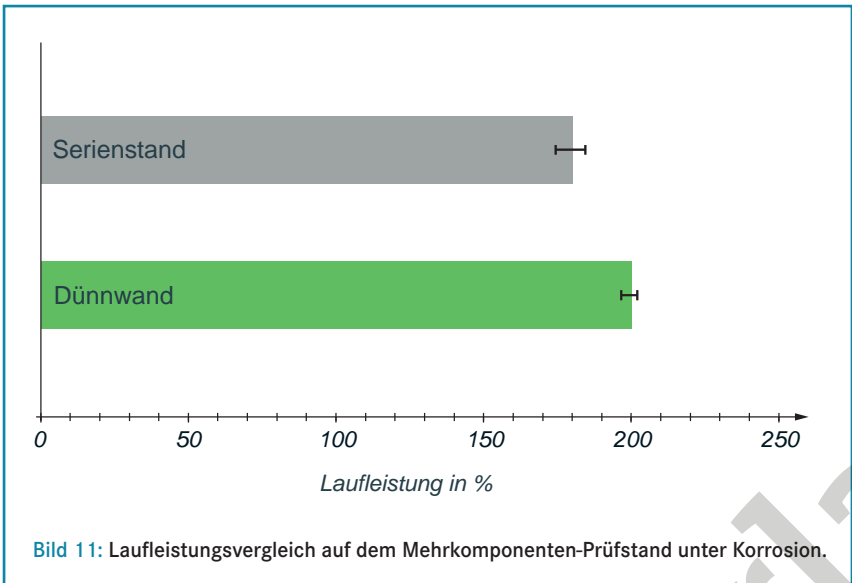
erklärt werden, da dünnwandige Teilbereiche lokal geringere Steifigkeiten aufweisen, obwohl die globalen Steifigkeiten mit der Referenz vergleichbar sind. Der Bereich, in dem das Abschaltkriterium der Prüfung erreicht wird, ist über alle Bauteile identisch und außerhalb strukturierter Bereiche anzutreffen. Selbige weisen weder erhöhten Korrosionsangriff noch andere Auffälligkeiten auf.

**Zusammenfassung und Ausblick**

In dieser Veröffentlichung wurde der Einfluss von Schlichte und des Strukturverschleißes auf die Fließ- und Formfülllänge sowie die Anwendbarkeit im Serienprozess thematisiert. Bei den Untersuchungen mit Schlichte zeigte sich, dass die







Fließlänge bei Struktur B nahezu konstant blieb. Bei den Strukturen F und K war ein Rückgang der Fließlänge zu verzeichnen. Jedoch waren die Formfülllängen der bionischen Strukturen F und K signifikant über dem Niveau von Struktur B.

Der Einfluss des Verschleißes auf die Fließ- und Formfülllänge zeigte sich strukturspezifisch. Dabei war festzustellen, dass der fortschreitende Verschleiß bei Struktur B keinen signifikanten, bei Struktur F einen positiven und bei Struktur K einen negativen Einfluss auf das Ergebnis ausübte.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den durchgeführten Laboruntersuchungen wurden genutzt, um eine Kokille für einen dünnwandigen Hilfsrahmen zu entwickeln. Durch den Einsatz der bionischen Oberflächenstrukturen F und K konnte auf zusätzliche fertigungsbedingte Wanddicken verzichtet werden. Die wanddickenreduzierten Hilfsrahmen zeigten gegenüber dem Serienstand weder fertigungs- und prozesstechnische Auffälligkeiten noch eine Reduzierung der Laufleistung auf dem zyklischen Bauteilprüfstand.

Um den Einfluss von Verschleiß im Serienmaßstab zu untersuchen, befindet sich seit März 2016 eine Hilfsrahmenkokille ohne Wanddickenreduzierung im Einsatz, bei der drei Einsätze mit strukturierten Oberflächen versehen wurden. Hierfür wurden die strukturierten Einsätze bei jeder Kokillenwartung geometrisch optisch vermessen (GOM) und mit dem Ausgangszustand verglichen.

Der Verschleiß der strukturierten Einsätze ist gering, was in erster Näherung den Prognosen der Verschleißuntersuchungen entspricht. Die Daten

über die Auswirkung der Dauerbelastung durch die Schmelze, das Nachschlichten und des Strukturverschleißes nach mehrfachem Aufbereiten der Kokille sind aktuell vorhanden. Die daraus ableitbaren Trends werden weiter verfolgt. Spezielle Reinigungsmaßnahmen wie die Ultraschallreinigung werden zukünftig eingesetzt, um den Verschleiß zu reduzieren sowie die Lebensdauer der Kokillen zu erhöhen.

Die dargestellten Ergebnisse der dreiteiligen Veröffentlichungsreihe zeigten, dass strukturierte Werkzeugoberflächen die Fließ- und Formfülllängen deutlich steigern können. Dieses Potenzial setzt die Volkswagen AG zukünftig zielführend zur Wanddickenreduzierung und zur Steigerung der Prozesssicherheit ein.

*M.Sc. Stephan Knorr, Dipl.-Ing. Sebastian Gierth, Dr.-Ing. Sebastian Findeisen und Dr.-Ing. Thomas Beganovic, Volkswagen Aktiengesellschaft, Braunschweig*

#### Literatur:

- [1] Beganovic, T.; Gierth, S. (Hrsg.): *Innovation im Leichtmetallguss durch gießoptimierte Oberflächenstrukturierung*. 2. VDI-Tagung Gießen von Fahrwerks- und Karos-seriekomponenten, 17.-18. Februar 2016, Kassel.
- [2] *Giesserei 102 (2015)*, [Nr. 12], S. 42-49.
- [3] *Giesserei 103 (2016)*, [Nr. 5], S. 24-31.
- [4] Szalai, B. Z.: *Optimierung des Kokillengießverfahrens auf Schutzgasanwendungen*. Dissertation, RWTH Aachen, 2012.