

Kenngrößen der Abbott-Kurve

zur integralen Beurteilung dreidimensional gemessener Zylinderlaufbahn-Oberflächen

In diesem Bericht der Universität Hannover werden Kenngrößen vorgestellt, die die Höhe und Form der Abbott-Kurve dreidimensional gemessener Oberflächenausschnitte kennzeichnen. Diese Kenngrößen erlauben eine integrale, funktionsbezogene Beurteilung von Zylinderlaufflächen hinsichtlich ihres Einlaufverhaltens, mechanischer Belastbarkeit und ihrer Ölaufnahme. Die neu entwickelte Auswertmethodik wurde in Zusammenarbeit mit der deutschen Automobilindustrie im Arbeitskreis 3D-Rauheitsmesstechnik entwickelt und erprobt. Zur internationalen Normung sind diese Kenngrößen bereits in die ISO eingebracht worden.

1 Einleitung

Neue Fertigungsverfahren ermöglichen es heute, Oberflächenstrukturen mit definierten mikrogeometrischen Eigenschaften gezielt herzustellen. Ziel ist es, durch funktionsangepasste Mikrostrukturen eine Verbesserung der tribologischen Eigenschaften von mechanisch hochbeanspruchten Oberflächen zu erreichen.

Zu den tribologisch hochbeanspruchten Oberflächen gehören die Zylinderlaufbahnen von Verbrennungskraftmaschinen in Paarung mit einem Kolbenring oder Kolbenringpaket. Neben einer hohen mechanischen Belastbarkeit der Oberflächen wird hier ein besonderes Augenmerk auf die in genügendem Ausmaß vorhandenen Vertiefungen zur Aufnahme von Schmierstoff in der Lauffläche gelegt.

In Bild 1 sind verschiedene Oberflächentypen von Zylinderlaufbahnen angedeutet. Der klassische Oberflächentyp ist die Honstruktur mit gekreuzten, linienhaften Honriefen ①. Die neuen Oberflächen enthalten Strukturelemente, die zum einen aus lokalen Ausbrüchen (Gusswerkstoffe) oder Lasertexturen ② zum Ausbilden von Mikrodruckkammern oder zum anderen aus herausragenden Tragelementen (zum Beispiel Si-Partikel in Al-Grundmatrix ④) bestehen. Beim letztgenannten Ober-

flächentyp wird die Schmierstoffaufnahme der Oberfläche durch eine im Mikrobeereich liegende Freilegung der Partikel gegenüber der Grundmatrix erreicht. Ebenso führen neuartige Oberflächenbehandlungsmethoden, wie die UV-Photonenbelichtung von Gusswerkstoffen ③, zu weiteren, neuen Strukturtypen, die nicht vergleichbar mit einer „klassischen“ Honstruktur sind.

An die mikrogeometrische Ausprägung der Zylinderoberfläche sind grundsätzlich folgende Qualitätskriterien zu stellen:

- Ausprägung eines mechanisch belastbaren Plateaus
- möglichst geringer Spitzenanteil im Vergleich zum Plateau
- ein hinreichendes materialfreies Volumen in der Oberflächenstruktur zur Aufnahme des Schmierstoffes.

Diese Eigenschaften werden in der Praxis zur Zeit anhand von zweidimensionalen Profilauswertungen auf Basis des Kenngrößenatzes der Abottkurve nach ISO 13565, Teil 2 [4] (ehemals DIN 4776) geprüft. 2D-Messungen sind aber nur dann hinreichend aussagefähig, wenn die Oberfläche eine definierte Richtung oder einen isotropen, stochastischen Charakter aufweist.

Gegenüber den klassisch isotrop oder anisotrop ausgebildeten Oberflächen-

Die Autoren



Dipl.-Ing. Hinrich-Wilhelm Lemke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Fertigungsmess- und Prüftechnik am Institut für Mess- und Regelungstechnik an der Universität Hannover.



Dr.-Ing. Jörg Seewig ist Geschäftsführer von ProAssess.



Prof. Dr.-Ing. Horst Bodschnwinna ist Leiter der Arbeitsgruppe Fertigungsmess- und Prüftechnik am Institut für Mess- und Regelungstechnik an der Universität Hannover.



Dr.-Ing. Stefan Brinkmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Fertigungsmess- und Prüftechnik am Institut für Mess- und Regelungstechnik an der Universität Hannover.

1 Einleitung

- ① Honstruktur
- ② Lasertexturen
- ③ GG27, UV-Photonenbelichtung
- ④ ALSi, Partikelfläche

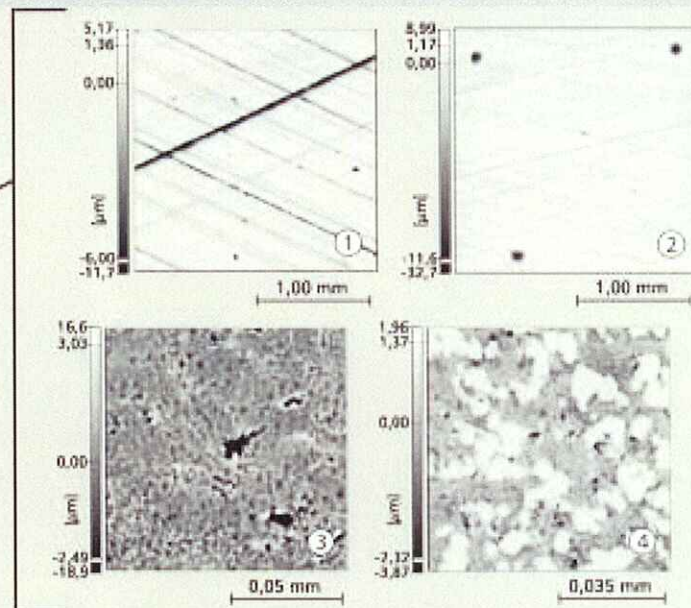
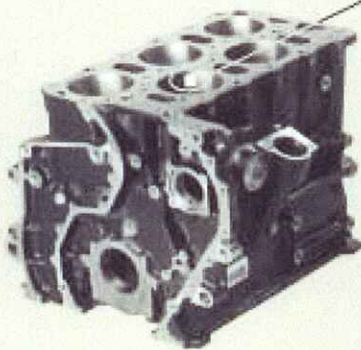


Bild 1: Oberflächentypen im modernen Zylinderlaufbahnenbau

Figure 1: Surface types with modern cylinder liner design

2 Datenvorverarbeitung



Bild 2: Datenvorverarbeitung zur Auswertungen von Zylinderlaufbahnen.
 Figure 2: Data pre-processing for the evaluation of cylinder liners

strukturen erfordert die Beurteilung moderner Zylinderlaufbahnen eine topometrische Messung. Sie ergibt sich aus den hier vorhandenen funktionswichtigen, lokal abgegrenzten Strukturelementen, deren Häufigkeit und Ausprägung durch einen Profilschnitt nicht ausreichend erfasst werden können. Zur Kennzeichnung der 3D-Abbottkurve werden im Folgenden neue Kenngrößen eingeführt, mit denen eine sichere Beurteilung der oben geforderten Qualitätskriterien ermöglicht wird.

2 Datenvorverarbeitung

Die Bewertung der Oberflächenstrukturen von Zylinderlaufbahnen erfordert im Allgemeinen eine Datenvorverarbeitung, da bei der Messdatenaufnahme nicht nur die zu charakterisierende Feinstruktur der Oberfläche, sondern auch Anteile der Zylinderform, Zylinderformabweichung und Oberflächenwelligkeit erfasst werden. Zweck der Datenvorverarbeitung ist es, die funktionsrelevante Oberflächenfeingestalt ohne Verzeichnung aus den Messdaten zu extrahieren. Im Bereich der 3D-Oberflächenmesstechnik werden hierzu vorzugsweise diejenigen Verfahren eingesetzt, die nach dem Prinzip des M-Systems arbeiten. Unter einem M-System versteht man ein mittelwertbildendes Verfahren, wie es beispielsweise ein „Best-Fit“-Ausgleichsalgorithmus oder ein lineares Filter darstellt. Eins der weltweit bekanntesten linearen Filter für die geometrische Messtechnik ist das in ISO 11562 genormte Gaußfilter [1]. Für die betrachteten Zylinderlaufbahnoberflächen hat sich ein zweistufiges Verfahren bewährt, das mithilfe von Bild 2 erläutert werden soll.

Ausgangspunkt bildet in diesem Beispiel die dreidimensional erfasste Ober-

fläche einer gehonten Zylinderlaufbahn. Da ausschließlich Messsysteme verwendet werden, die relativ zu einer Bezugsfläche messen, wurde nicht nur die zu charakterisierende Honstruktur, sondern auch ein Anteil der Zylinderform erfasst. Der erste Schritt der Datenvorverarbeitung besteht darin, die Zylinderform mittels „Best-Fit“ einer Ausgleichsfläche zu eliminieren. Es hat sich gezeigt, dass grundsätzlich eine Polynomfläche 2. Grades die Zylindernennform bereits hinreichend gut annähert und somit bereits als Ausgleichsfläche geeignet ist. Der Arbeitskreis 3D-Rauheitsmesstechnik empfiehlt jedoch, die Zylinderform durch eine B-Splinefläche 2. Grades mit vier auf der Messfläche symmetrisch verteilten, gleichgroßen Facetten zu approximieren. Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass ein der Form überlagerter langwelliger Signalanteil, wie zum Beispiel eine gering ausgeprägte Zylinderformabweichung, durch den Einpassvorgang ebenfalls ausgeglichen wird.

Bildet man die Differenz zwischen der gemessenen Oberfläche und eingepasster B-Splinefläche, so erhält man jetzt eine Oberflächentopographie, die neben der Feinstruktur unter Umständen noch langwellige, von der B-Splinefläche nicht approximierbare „Rest-Signalanteile“ aufweist. Der hier exemplarisch behandelten Honstruktur ist beispielsweise eine Oberflächenwelligkeit überlagert, die gegenüber der Feinstruktur derart ausgeprägt ist, dass eine sinnvolle Auswertung der Topographie so noch nicht erfolgen kann. Es ist daher zwingend notwendig, ausgeprägte langwellige „Rest-Signalanteile“, wie die überlagerte Welligkeit, in einem zweiten Schritt mit Hilfe eines Flächenfilters zu eliminieren. Vorzugsweise sollte hierzu das

vom Institut für Mess- und Regelungstechnik entwickelte robuste 3D-Gaußfilter eingesetzt werden. Vorteil der robusten Filtertechnik ist, dass die berechnete Filterfläche exakt einem noch vorhandenen langwelligen Anteil der Oberfläche folgt, ohne dass einzelne Honriefen oder lokal ausgeprägte Strukturelemente die Filterflächenlage beeinflussen. Zudem arbeitet das robuste Gaußsche Flächenfilter ohne Vor- und Nachlaufbereiche, so dass das ursprüngliche Messfeld vollständig erhalten bleibt. Durch geeignete Wahl der Filter-Einstellparameter [2] steht jetzt die in Bild 2 dargestellte Oberflächenfeingestalt für die integrale Topographieauswertung zur Verfügung.

3 Integrale Beurteilung von 3-dimensional gemessenen Zylinderlaufbahnen

Grundlage der integralen Auswertung ist die Flächenmaterialanteilkurve (3D-Abbottkurve) der extrahierten dreidimensionalen Oberflächenfeingestalt. Zur Konstruktion der Flächenmaterialanteilkurve wird ausgehend von der höchsten Spitze der Topographie eine gedachte Schnittebene bis zur tiefsten Riefe geführt. Zu jeder Schnittebenenlage c wird die Fläche der abgeschnittenen Kuppen bestimmt und auf der Abszisse als prozentualer Anteil der Gesamtmessfläche abgetragen. Der Flächenmaterialanteil SMr in Abhängigkeit der Schnittebenenlage c mit $c_{\min} \leq c \leq c_{\max}$ berechnet sich nach der allgemeinen Formel zu

$$SMr(c) = \frac{100\%}{A} \iint_{x,y \in R} dx \cdot dy, \quad \text{Gl. (1)}$$

mit $R = \{(x, y) : z(x, y) \geq c\}$,

3 Integrale Beurteilung von 3-dimensional gemessenen Zylinderlaufbahnen

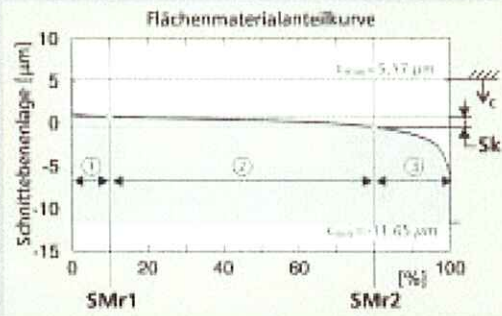


Bild 3: Flächenmaterialanteilkurve
Figure 3: Material area curve

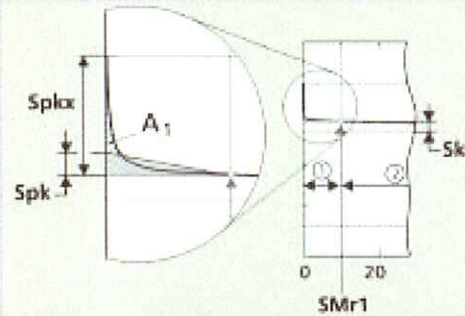


Bild 4: Spitzenbereich ①
Figure 4: Peak-area ①

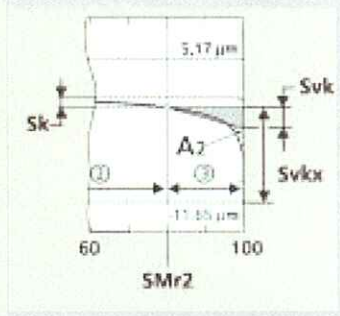


Bild 5: Riefenbereich ③
Figure 5: Pore-area ③

wobei SMr(c) auf die Messfläche A normiert ist. Eine detaillierte Beschreibung der numerischen Umsetzung findet sich in [3].

Auf Basis dieser Flächenmaterialanteilkurve wird wie in ISO 13565, Teil 2, mittels der Bereichsgrenzen SMr1 und SMr2 eine Einteilung der Topographie in einen Spitzenbereich, einen Kernbereich und einen Riefenbereich vorgenommen. Die wesentlichen Unterschiede zum zweidimensionalen Kenngrößensatz der ISO bestehen darin, dass zum einen die Abbottkurve für eine komplette Topographiemessung berechnet wird und zum anderen SMr1 und SMr2 nicht automatisiert ermittelt, sondern fest vorgegeben werden. Die Festlegung dieser Werte erfolgt durch die Konstruktion oder ist anhand von Untersuchungen zu ermitteln.

Die feste Vorgabe von SMr1 und SMr2 gründet sich darauf, dass das automatisierte Verfahren zur Bestimmung der Bereichsgrenzen gemäß ISO 13565, Teil 2 einen S-förmigen Verlauf der Abbottkurve mit nur einem Wendepunkt voraussetzt. Diese Eigenschaft wird zum Beispiel bei geschliffenen und gehonten Oberflächen praktisch immer erfüllt. Bei der Flächenmaterialanteilkurve von modernen Zylinderlaufbahnen sind diese Voraussetzungen jedoch nicht uneingeschränkt gegeben.

Die frei wählbaren Flächenmaterialanteile SMr1 und SMr2 ermöglichen es nun, eine optimale Bereichseinteilung an beliebige Oberflächentopographien vorzunehmen. Infolge der festen Bereichsgrenzen lassen sich die Kenngrößen für den Spitzen-, Kern- und Riefenbereich zudem unabhängig voneinander tolerieren und prüfen. So haben Veränderungen im Spitzen- und Kernbereich zum Beispiel durch

Verschleiß, keine Auswirkungen auf den Kennwert des Riefenbereichs. Die Sorgfalt bei der Festlegung der Bereichsgrenzen SMr1 und SMr2 sind entscheidend für die Aussagefähigkeit der berechneten Kennwerte zum jeweiligen Oberflächentyp.

Der Kernbereich ②, Bild 3, der Flächenmaterialanteilkurve einer Hontextur ist verantwortlich für die mechanische Belastbarkeit und Widerstandskraft der Oberfläche gegenüber Verschleiß und Abrieb.

Die von der Konstruktion vorgegebenen Flächenmaterialanteile SMr1 und SMr2 in % begrenzen den Kernbereich, wo der größte Materialzuwachs mit zunehmender Eindringtiefe in die Oberflächentopographie zu finden ist. Die vertikale Differenz der sich ergebenden Schnittpunkte mit der Flächenmaterialanteilkurve liefern als beschreibende Größe für den Kernbereich die Kernrautiefe S_k (in μm). Ein von der Konstruktion klein gewähltes S_k steht demnach für einen flachen Verlauf im Kernbereich der Flächenmaterialanteilkurve und somit für ein ausgeprägtes Plateau.

Der Spitzenbereich ① kennzeichnet die aus dem Kernbereich herausragenden Spitzen. In der Flächenmaterialanteilkurve schließt sich dieser Bereich links an den Kernbereich an, Bild 4. Beschreibende Kenngrößen sind hier die reduzierte Spitzenhöhe S_{pk} und die maximale Spitzenhöhe S_{pkx} (jeweils in μm). Die maßgebende Größe für den Spitzenbereich ist S_{pk} , die über die „Spitzenfläche A_1 “ als Höhe des flächengleichen Dreiecks bestimmt wird. Diese Rechenvorschrift liefert für die Höhe der Spitzen einen repräsentativen Mittelwert der demzufolge als reduzierte Spitzenhöhe bezeichnet wird. Die Fläche A_1 wird dabei durch das Schnittflächenni-

veau, das der oberen Grenze des Kernbereichs entspricht, begrenzt. Die Kenngröße S_{pk} kennzeichnet das aus dem Kernbereich herausragende Material und kann im Zusammenhang mit der Kernrautiefe S_k zur Beurteilung des Einlauf- und Verschleißverhaltens herangezogen werden.

Der Riefenbereich ③ in der Flächenmaterialanteilkurve aus Bild 5 ist das Pendant zum Spitzenbereich, nur mit dem Unterschied, dass hier nicht das herausragende Material, sondern das ins Material hineinragende, freie Volumen durch die Kenngrößen beurteilt wird, Bild 5. Für den Riefenbereich ist die maßgebende Größe die reduzierte Riefentiefe S_{vk} in μm . In Analogie zum Spitzenbereich berechnet sich die reduzierte Riefentiefe S_{vk} über die „Riefenfläche A_2 “ als Höhe des sich ergebenden flächengleichen Dreiecks. Die Riefenfläche A_2 wird nach oben durch das untere Schnittflächenniveau des Kernbereichs begrenzt. Ausgehend von diesem Schnittniveau gibt die maximale Riefentiefe S_{vkc} zusätzlich den vertikalen Abstand des tiefsten Punkts der Topographie von der unteren Grenze des Kernbereiches an. Im Sinne des Funktionsmusters einer Oberfläche steht demnach die Vorgabe von S_{vk} für die Tolerierung eines „freien“ Volumens zur Aufnahme von Schmierstoff.

Diese vertikalen Kenngrößen aus der Flächenmaterialanteilkurve in Verbindung mit den Bereichsgrenzen SMr1 und SMr2 haben den Vorteil, eine einfache Wichtung von Oberflächeneigenschaften der verschiedenen Bereiche zueinander vornehmen zu können. Aufgrund der dreidimensionalen Erfassung der Oberfläche ist aber auch eine volumetrische Auswertung der Topographie möglich. Beispielsweise ist zur Kennzeichnung des Einlauf-

3 Integrale Beurteilung von 3-dimensional gemessenen Zylinderlaufbahnen

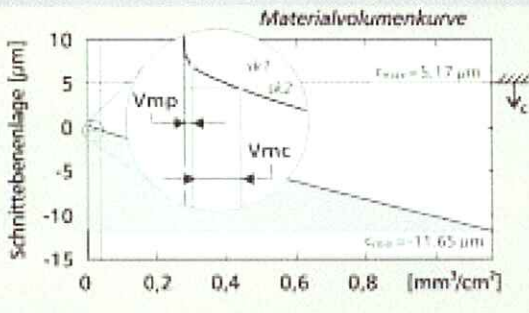


Bild 6: Materialvolumenkurve
Figure 6: Material volume curve

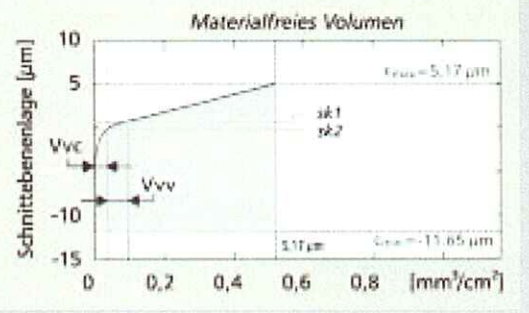


Bild 7: Materialfreies Volumen
Figure 7: Material free volume

verhalten und der Belastbarkeit einer Oberfläche die Größe des materialerfüllten Volumens im Spitzen- als auch im Kernbereich von besonderer Bedeutung. Durch Integration der Flächenmaterialanteilkurve ergeben sich zwei zueinander komplementäre Kennfunktionen, die entweder das materialerfüllte Volumen, Bild 6, oder das materialfreie Volumen, Bild 7, beschreiben.

Die Materialvolumenkurve, Bild 6, gibt das Volumen des Materials in Abhängigkeit zu der durch die Topographie geführten Schnittenebene an. Der zugehörige Funktionsverlauf $V_m(c)$ lässt sich direkt aus der Flächenmaterialanteilkurve nach folgender Formel bestimmen:

$$V_m(c) = \frac{1}{100\%} \cdot \int_{c_{min}}^c SMr(c) \cdot dc \quad \text{Gl. (2)}$$

Durch die Normierung des Materialvolumens auf die im Maschinenbau gängige Einheit mm^3/cm^2 ist eine messflächenunabhängige Interpretierbarkeit der Kenngrößen sichergestellt. Die Kenngrößen der Materialvolumenkurve sind das Spitzenvolumen V_{mp} in mm^3/cm^2 und das Materialkernvolumen V_{mc} in mm^3/cm^2 . Diese Kenngrößen sind zu den Schnittenebenen sk_1 und sk_2 definiert, die den Materialanteilen SMr_1 und SMr_2 zuzuordnen sind. Das Spitzenvolumen V_{mp} kennzeichnet das Volumen der aus dem Kern-

bereich herausragenden Profilsitzen. V_{mp} korrespondiert somit mit dem bisher bestimmten Spitzenhöhenwert Sp_k . Das Materialkernvolumen ergibt sich aus der Differenz der Volumina an den Schnittflächenniveaus sk_1 und sk_2 , die die Grenzen des Kernbereiches darstellen. In Analogie dazu korrespondiert V_{mc} demnach mit der Kernrautiefe Sk .

Für die volumetrische Interpretation der vertikalen Kennwerte des Riefenbereichs, ergibt sich aus dem Funktionsverlauf der Materialvolumenkurve die Kennfunktion $V_v(c)$ für das materialfreie Volumen, Bild 7, zu

$$V_v(c) = (c - c_{min}) - (V_m(c_{min}) - V_m(c)) \quad \text{Gl. (3)}$$

Das materialfreie Volumen, Bild 7, beschreibt in Abhängigkeit von der Schnitthöhe den materialfreien Raum der Topographie und wird ebenfalls in der Einheit mm^3/cm^2 angegeben.

Die Kenngröße für die volumetrische Interpretation der reduzierten Riefentiefe Svk ist das Riefenvolumen V_{vv} , das von der tiefsten Riefe bis zum unteren Niveau des Kernbereiches bestimmt wird. Das materialfreie Kernvolumen V_{vc} ergibt sich aus der Differenz der materialfreien Volumina für die Schnittflächenniveaus von sk_1 und sk_2 .

4 Beispiele und Anwendung der neuen Kenngrößen

Als erstes Beispiel wird in Bild 8 die Auswertung für eine konventionell gehonte Zylinderlauffläche dargestellt. Im oberen Teil des Bildes ist der gemessene Oberflächenausschnitt anhand einer in Graustufen höhenkodierten Draufsicht visualisiert, in der bereits tiefe Riefenstrukturen deutlich zu erkennen sind. Im unteren Teil des Bildes ist die zugehörige Auswertung der Flächenmaterialanteilkurve dokumentiert. Zur Abgrenzung des Kernbereiches gegenüber Spitzen und Riefen wurden hier Flächenmaterialanteile von $SMr_1 = 10\%$ und $SMr_2 = 80\%$ gewählt.

Auffallend sind die allgemein relativ kleinen Werte für den Spitzenbereich $Sp_k = 0,26 \mu\text{m}$ und für den Kernbereich $Sk = 1,21 \mu\text{m}$, Tabelle 1, Honung. Dies gilt sowohl für die Höhen- als auch für die Volumenkennwerte. Damit sind günstige Voraussetzungen für ein gutes Einlaufverhalten und eine hohe Belastbarkeit der Oberfläche gegeben.

Wichtig für das Funktionsverhalten ist zudem eine gute Schmiermittelaufnahme der Oberfläche, die dazu entsprechend ausgeprägte materialfreie Volumina, insbesondere im Riefenbereich, aufweisen muss. Diese Eigenschaft ist bei der Oberfläche durch die relativ großen Kennwerte von $Svk = 2,46 \mu\text{m}$ und dem Riefenvolumen von $V_{vv} = 0,021 \text{mm}^3/\text{cm}^2$ gegeben. Wahrscheinlich ist für diese Aussage auch das relativ große materialfreie Kernvolumen von $V_{vc} = 0,054 \text{mm}^3/\text{cm}^2$ mit zu berücksichtigen.

Das Beispiel einer feingehonten und lasertexturierten Oberfläche in Bild 9 lässt erkennen, dass diese Oberfläche im Spitzen- und Kernbereich praktisch die gleichen Kennwerte wie die konventionell gehonte Oberfläche aufweist. Sie ist aber hinsichtlich des Riefenbereiches wesentlich feiner gehont, wodurch das Mitschleppen von Öl in den Verbrennungsraum durch die sonst tiefen und durchgehenden Riefen erheblich reduziert wird. Aufgrund der sehr feinen Honung ist das hieraus resultierende Riefenvolumen für eine sichere Kolbenringschmierung jedoch nicht ausreichend. Durch die zusätzliche Einbringung von Nöpfchen durch die Laserbearbeitung kann die Schmiermittelaufnahme der Oberfläche jedoch deutlich erhöht werden. Die Werte, Tabelle 1, für die reduzierte Riefentiefe $Svk = 1,28 \mu\text{m}$ und das Riefenvolumen $V_{vv} = 0,009 \text{mm}^3/\text{cm}^2$ beschreiben somit sowohl die Riefen aus der Honung als auch die „Nöpfchen“ aus der Lasertexturierung. Insgesamt sind die Kennwerte deutlich klei-

4 Beispiele und Anwendung der neuen Kenngrößen

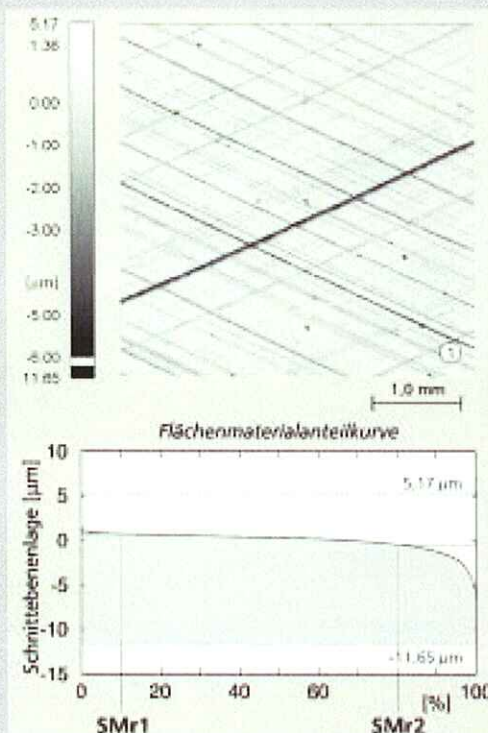


Bild 8:
Beispiel
„Honung“
Figure 8:
Example
"honung"

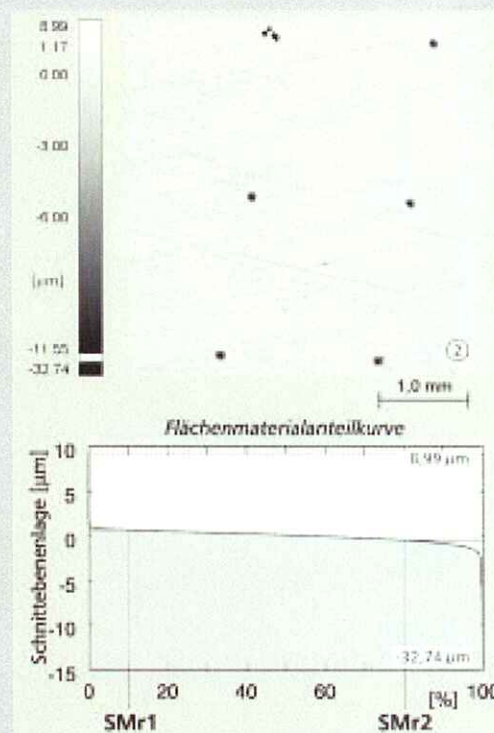


Bild 9:
Beispiel
„Laser-
texturierte
Honung“
Figure 9:
Example
"laser
textured
honung"

Tabelle: Kenngrößen der Oberflächenbeispiele
Table: Parameters of the surface examples

	①	②	③	④	④	
	Honstruktur	Lasertextur	UV-Photonen- belichtung, GG27	Partikelfläche, ALS1	Partikelfläche, ALS1	
Flächenmaterialanteile:						
SMr1	10 %	10 %	10 %	2,5 %	2,5 %	
SMr2	80 %	80 %	80 %	75,0 %	—	
SMr3	—	—	—	—	45,0 %	
Reduzierte Spitzenhöhe:	Spk	0,26 µm	0,28 µm	1,43 µm	0,19 µm	0,19 µm
Kernrautiefe:	Sk	1,21 µm	1,14 µm	1,13 µm	0,42 µm	1,25 µm
Reduzierte Riefentiefe:	Svk	2,46 µm	1,28 µm	0,98 µm	2,18 µm	1,07 µm
Materialkernvolumen:	Vmc	0,067 mm ³ /cm ²	0,055 mm ³ /cm ²	0,043 mm ³ /cm ²	0,005 mm ³ /cm ²	0,035 mm ³ /cm ²
Spitzenvolumen:	Vmp	0,0011 mm ³ /cm ²	0,0012 mm ³ /cm ²	0,005 mm ³ /cm ²	0,0002 mm ³ /cm ²	0,0002 mm ³ /cm ²
Kernvolumen:	Vvc	0,054 mm ³ /cm ²	0,058 mm ³ /cm ²	0,069 mm ³ /cm ²	0,036 mm ³ /cm ²	0,030 mm ³ /cm ²
Riefenvolumen:	Vvv	0,021 mm ³ /cm ²	0,009 mm ³ /cm ²	0,007 mm ³ /cm ²	0,081 mm ³ /cm ²	0,027 mm ³ /cm ²

ner als bei der konventionellen Honung, sie kennzeichnen aber die Funktionseigenschaften bei festgelegten Fertigungsverfahren empfindlich.

Im Übrigen werden diese Kenngrößen bei Motoren aus Grauguss mit Erfolg zur Qualitätssicherung angewendet, um das Ölhaltevolumen zu bestimmen, das durch den Ausbruch von Titankarbid bei der spanenden Fertigung entsteht.

Das dritte Beispiel zeigt die Oberfläche einer Zylinderlauffläche aus dem Werk-

stoff GG27, **Bild 10**. Die Oberfläche wird nach der Honung in einem zusätzlichen Endbearbeitungsschritt mit UV-Photonen belichtet. Das Ergebnis ist eine Oberfläche mit einem sehr feinen Plateau. Die im Bild dunkel dargestellten Poren sind bei diesem Herstellungsverfahren statistisch zufällig verteilt.

Vergleichbar mit der feinen Honung der lasertexturierten Oberfläche liegt die Kernrautiefe bei $Sk = 1,13 \mu\text{m}$. Bei den Volumina lässt sich feststellen, dass das Spit-

zenvolumen mit $Vmp = 0,005 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ etwas größer und das Riefenvolumen mit $Vvv = 0,007 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ etwas geringer ist als bei der lasertexturierten Oberfläche.

Das folgende Beispiel, **Bild 11** gibt eine Oberfläche wieder, bei der Silizium-Partikel in einer Aluminium-Matrix eingebettet sind. Nach der mechanisch/chemischen Feinbearbeitung bilden diese Partikel eine sehr verschleißfeste Lauffläche. In **Bild 11** unten ist der für diese Oberfläche charakteristische Verlauf der Flächenma-

4 Beispiele und Anwendung der neuen Kenngrößen

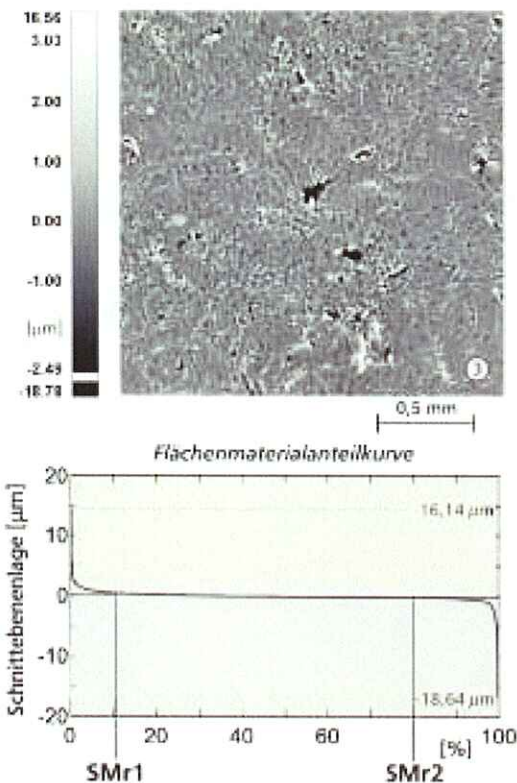


Bild 10: Beispiel „UV-Photonen belichtete Zylinderlaufbahn“
Figure 10: Example "cylinder surface after exposure with UV photons"

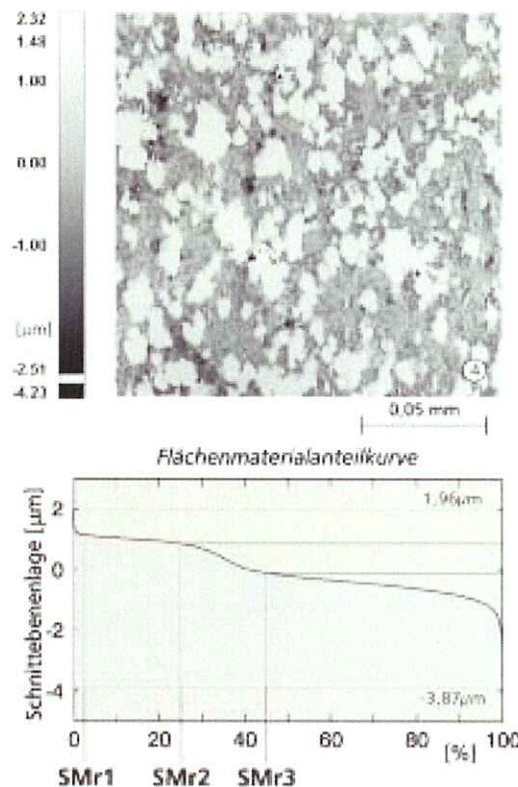


Bild 11: Beispiel „Partikeloberfläche“
Figure 11: Example "particle surface"

terialanteilkurve mit zwei „Plateaus“ dargestellt. Der obere Teil zwischen SMr1 = 2,5 % und SMr2 = 25 % kennzeichnet die Lauffläche der Si-Partikel. Wie flach dieses Plateau ist, kommt in dem sehr kleinen Wert der Kernrautiefe Sk = 0,42 μm zum Ausdruck, Tabelle 1, Partikelfläche. Die reduzierte Spitzenhöhe Spk = 0,19 μm unterstreicht zusammen mit dem Sk-Wert das zu erwartende gute Einlaufverhalten und die hohe Belastbarkeit. Rechts von SMr2 ist bei dieser Oberfläche bereits das Riefen-

lumen anzusetzen, das mit $V_{vv} = 0,081 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ recht ausgeprägt ist. Neben der Beurteilung der Lauffläche ist bei diesem Oberflächentyp zusätzlich eine Kennzeichnung für die sogenannte Freilegung der Partikel zur Matrix notwendig. Hierzu ermöglicht die hier vorgestellte neue Auswertemethodik die Einführung einer dritten Bereichsgrenze bei SMr3 = 45 % (Übergang Partikel zur Al-Matrix). Für die gesuchte Freilegungstiefe erhält man so das Sk = 1,25 μm, Tabelle 1,

Partikelfläche, rechte Spalte. An diesem Beispiel wird deutlich, dass der Kennwertersatz für besondere Fragestellungen flexibel nutzbar ist.

Literaturhinweise

- [1] ISO 11562 (1996): Geometrical Product Specification (GPS) – Surface Texture: Profile method – Metrological characteristics of phase correct filters
- [2] Brinkmann, S.: Funktionsorientierte Beurteilung von Zylinderlaufflächen durch 3-dimensionale Oberflächenmesstechnik, Dissertation, Shaker Verlag 2002
- [3] Lemke, H.-W., Bodschinna, H., Brinkmann, S.: Dreidimensionales Messen und Auswerten von Zylinderlaufbahnen, Abschlussbericht, 1. Periode, Arbeitskreis 3D-Rauheitsmesstechnik, 1998–2001
- [4] ISO 13565 Part 1/Part 2 (1996): Geometrical Product Specification (GPS) – Surface Texture: Profile method – Surfaces having stratified functional properties

Arbeitskreis 3D-Rauheitsmesstechnik

Der Arbeitskreis besteht aus folgenden Mitgliedern: Audi AG: H. Lindner, C. Bauer; BMW AG: E. Kindlein, M. Stiebler; DaimlerChrysler: Dr. N. Rau, T. Hercke; Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG: B. Burger; Federal Mogul GmbH: F. Zwein, U. Lenhof; KS Aluminium Technologie AG: J. Niehues; Mahle GmbH: Dr. S. Spangenberg, Dr. U. Bischofberger; Volkswagen AG: Dr. J. Strobel, H. Reißner; Institut für Mess- u. Regelungstechnik, Uni-Hannover: Prof. Dr. H. Bodschinna, H.-W. Lemke.

For an English version of this article, see **MTZ worldwide**. For information on subscriptions, just call us or send an email or fax.

MTZ Weltweit Verlag Postfach 1546 D 85173 Wiesbaden
 Telefon 06 1178 78 151 Fax 06 1178 78 423
 e-mail: ksh@wg.vsbw.de; info@mtz-mt.com.de