

# Anforderungen an technische Oberflächen und die Herausforderungen für den Produktentwickler

Thomas Sander und Sandro Wartzack  
*Lehrstuhl für Konstruktionstechnik  
Universität Erlangen-Nürnberg*

The surface of the component has a great impact on the functionality and has to be considered as a complex constructional element. It is hard to state an optimal time frame for the definition of surfaces during the product development process, since it is related to many parameters like selection of materials, manufacturing process, optical, decorative and haptic properties. In this approach the types of information are proposed with regard to the progress of the product development to support the developer at the definition of the surfaces. A simplified example of an agitator shaft for the food industry illustrates this approach.

## 1 Motivation

Die Festlegung der Anforderungen an Bauteiloberflächen hat oftmals weitreichende Konsequenzen auf den weiteren Produktentstehungsprozess, die entstehenden Kosten und auch auf den späteren Erfolg des Endproduktes. Zum einen wird durch Oberflächenanforderungen die Auswahl an Werkstoffen und Fertigungsverfahren eingeschränkt oder gar festgelegt, was wiederum Auswirkungen auf Produktionsabläufe, Bauteilauslegung bis hin zur Bauteilgeometrie hat und somit als kostensensitiv eingestuft werden muss. Zum anderen nehmen die Oberflächenanforderungen erheblichen Einfluss auf die Produktfunktionalität sowie optische und haptische Eigenschaften, welche maß-

geblich zur Wertigkeit des Produktes beitragen. Da die Oberflächen in nahezu allen Fällen der Praxis die höchstbeanspruchtesten Bauteilbereiche darstellen, sind nach [1] ca. 85 % aller Schadensfälle auf nicht an den Einsatzfall angepasste physikalische Eigenschaften der Bauteilrandzone in Verbindung mit hohen Beanspruchungen zurückzuführen.

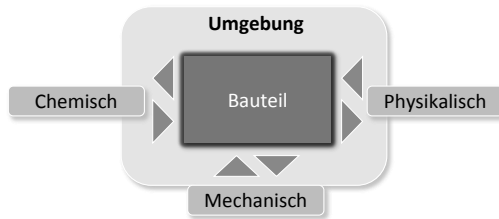


Bild 1: Das Bauteil steht über die Oberfläche in Wechselwirkung mit der Umgebung

## 2 Die technische Oberfläche als Konstruktionselement

Die Wechselwirkungen zwischen Bauteil und der Umgebung über die Oberfläche sind meist chemisch, mechanisch und/oder physikalisch (Bild 1), was bereits die Komplexität der zu beachtenden Eigenschaften andeutet.

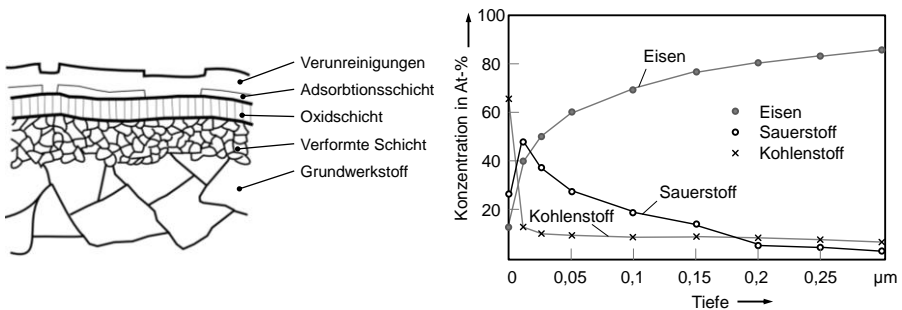


Bild 2: Die Inhomogenität metallischer Oberflächen nach [2]

Ein genauer Blick auf den Randbereich eines typischen metallischen Bauteils zeigt, dass sich hier bereits ohne besondere Oberflächenveredelung mehrere Schichtbereiche vom Grundgefüge des Werkstoffes abzeichnen (Bild 2). Durch gezielte Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung und der Mikrostruktur (überwiegend abhängig von der Werkstoffwahl und des Ferti-

gungsprozesses) können Eigenschaften der Bauteiloberfläche wie Härte, Festigkeit, Zähigkeit, Duktilität, Dauerfestigkeit, chemische Resistenz, thermische- und elektrische Leitfähigkeit eingestellt werden. Rauheit und Glanz werden wiederum durch die Feingestalt (Bauteilgestalt in Verbindung mit dem Fertigungsprozess) bestimmt. [3]

### 3 Einordnung der Oberflächendefinition in den Produktentwicklungsprozess

Trotz der geschilderten Relevanz erfolgt die Definition der Oberflächen-spezifikationen im Produktentwicklungsprozess oft erst sehr spät und teilweise ohne die notwendige Sorgfalt. Sollten Nachbesserungen notwendig sein, da beispielsweise die Produktfunktionalität nicht erfüllt werden kann, so ist der anschließende Aufwand für die Fehlerbehebung in den späten Phasen des Produktentwicklungsprozesses erfahrungsgemäß sehr hoch. Andererseits ist die Beurteilungsmöglichkeit bezüglich der Auswirkungen auf das Endresultat der zu treffenden Entscheidungen in den früheren Phasen erheblich geringer, wie es in der Zehnerregel illustriert wird (Bild 3).

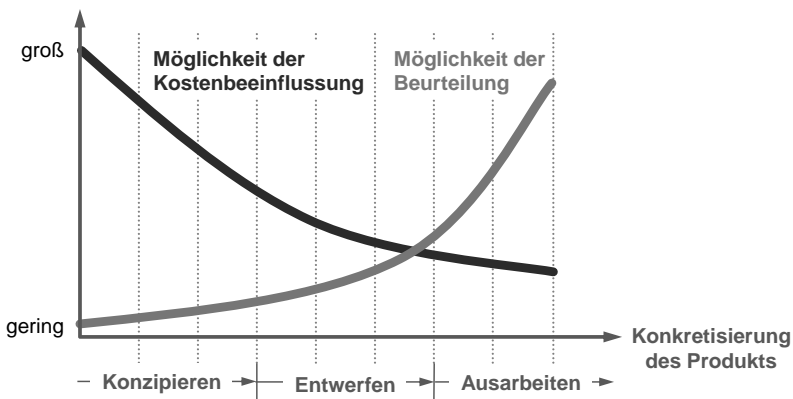


Bild 3: Zehnerregel modifiziert nach [4]

Nach Weber [5] verwendet der Produktentwickler Merkmale wie Struktur, Material, Gestalt oder Beschaffenheit als Stellschrauben um das Produkt festzulegen und direkt zu beeinflussen. Aus diesen Merkmalen resultieren wiederum die Produkteigenschaften, welche sowohl quantifizierbar wie etwa Masse, Steifigkeit oder Kosten, als auch qualitativ bewertbar wie etwa Sicherheit, Herstellbarkeit, Umweltfreundlichkeit oder dekorative Gesichtspunkte sein können [6]. Diese Eigenschaften können jedoch vom Produktentwickler nur

---

indirekt über die Merkmale gesteuert werden. Nach dieser Einteilung wird die technische Oberfläche in erster Linie durch die Wahl des Materials und die sogenannte Beschaffenheit definiert. Der Begriff der Beschaffenheit wird aber dem multidimensionalen Wirkzusammenhang aus den zahlreichen Merkmalen mit Auswirkung auf die Produkteigenschaften nicht gerecht. Auch die Tatsache, dass die Beschaffenheit von so vielen Faktoren abhängt, welche einzeln verändert werden können und unabhängig voneinander Einfluss auf die Beschaffenheit haben, ordnet sie nach oben genannter Definition klar den Eigenschaften zu.

Nach Hubka [7] werden anstatt der Merkmale sieben elementare Konstruktionseigenschaften definiert, mithilfe derer der Konstrukteur alle anderen Eigenschaften erzielt:

- Struktur
- Gestalt (Form)
- Abmessungen (Dimensionen)
- Werkstoff (Material)
- Oberfläche
- Toleranzen
- Herstellungsart

Die Stellschrauben des Produktentwicklers werden hier etwas feiner aufgliedert und weniger nach Merkmalen und Eigenschaften unterschieden. Auffällig sind die zusätzlichen Punkte Abmessungen, Oberfläche, Toleranzen und Herstellungsart, welchen hier ein großer Stellenwert zugesprochen wird.

Für die Entwicklung eines erfolgreichen Produkts ist somit ein breites Wissen über alle Bereiche der Konstruktionseigenschaften notwendig. Doch bei vielen dieser Eigenschaften (wie häufig auch bei der Oberflächendefinition) ist bereits Expertenwissen von Vorteil oder gar zwingende Voraussetzung, welches über die allgemeine Konstruktionslehre hinausgeht. Wögerbauer [8] zeigt in

Bild 4 den Einfluss des konstruktiven Könnens auf die Erfüllung der Anforderungen.

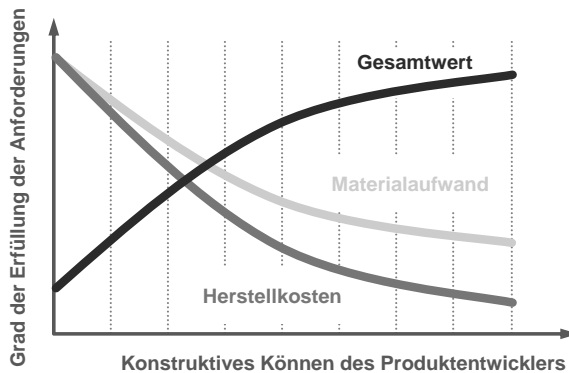


Bild 4: Einfluss des konstruktiven Könnens auf die Erfüllung der Anforderungen, modifiziert nach [8]

#### 4 Aussagekraft von Oberflächenspezifikationen

Hat der Produktentwickler Oberflächen genauer zu spezifizieren, so werden in den einschlägigen Werken der Konstruktions- und Fertigungstechnik zwar unterschiedliche Oberflächenkennwerte beschrieben, Zahlenwerte jedoch lediglich für Standardkennwerte wie Mittenrauwert  $R_a$  oder gemittelte Rautiefe  $R_z$  angegeben [9][10][11]. Doch genau diese beiden etablierten Standardkennwerte haben oft nur eine stark beschränkte Aussagekraft über die Funktionalität der Oberfläche, wie in Bild 5 illustriert.

Bei gleicher Rautiefe  $R_z$  und ähnlichem Mittenrauwert  $R_a$  ist die Verteilung der Materialanteile völlig unterschiedlich, was ein Vergleich der Abbott-Kurven zeigt. So würde die geschliffene Fläche im Gleitkontakt mit der großen reduzierten Spitzenhöhe  $R_{pk}$  im Einlauf einen großen Materialabtrag verursachen und durch die hohe Kernrautiefe  $R_k$  Neigung zu abrasivem Verschleiß aufweisen. Die gehonte Fläche zeigt dagegen mit kleinen Werten für Kernrautiefe  $R_k$  und reduzierter Spitzenhöhe  $R_{pk}$  gute Gleiteigenschaften und bietet mit hoher reduzierter Riefentiefe  $R_{vk}$  ein großes Rückhaltevolumen für Schmierstoff. Trotz der genannten Alternativen, welche für diesen Bedarfsfall die Oberfläche treffender spezifizieren, werden sie nach wie vor nur in Ausnahmefällen vergeben und weiterhin die Standardkennwerte  $R_a$  und  $R_z$  verwendet. Aus diesem Grund ist es notwendig, dem Produktentwickler geeignete Spezifikationen vorzuschlagen, welche nach der angestrebten Funktion der Produktoberfläche gewählt werden können. In schwierigen oder zweifelhaften Fällen ist die Konsultierung eines Oberflächenexperten neben der Auswahl über die vorgestellte Methode natürlich weiterhin dringend zu empfehlen.

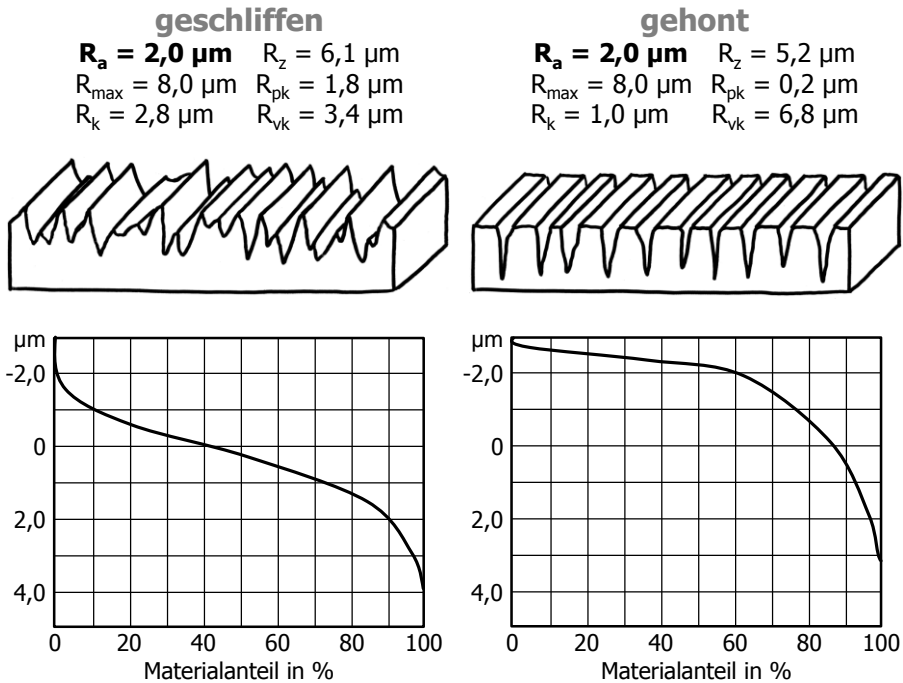


Bild 5: Oberflächentopographie und Abbott-Kurve von Oberflächenstrukturen mit identischem Mittenrauwert  $R_a$  aber unterschiedlicher Funktionalität

## 5 Vorgehensweise zur Vergabe von Oberflächenkennwerten in der Produktdokumentation

Für die Unterstützung des Produktentwicklers bei der Vergabe von Oberflächenkennwerten soll eine Vorgehensweise im Sinne einer DfX-Richtlinie entstehen [12], welche prinzipiell in Bild 6 dargestellt ist. Hierfür werden zunächst Produkte gemäß ihren Oberflächenanforderungen gruppiert und jeweils allgemein relevante, zu erfüllende Eigenschaften der technischen Oberflächen ausgewählt. Dieser Schritt dient dazu, bereits gesammelte Erfahrungen zu nutzen und Vergleichsmöglichkeiten aus bewährten Lösungen zur Verfügung zu stellen. Dieser erste allgemeine Eigenschaftskatalog kann zum einen die Produktplanung bei der Definition von Anforderungen unterstützen, sodass bereits frühzeitig die wichtigsten Eigenschaften berücksichtigt bleiben. In der Planungsphase können auch Vorgaben von Kundenseite, der strategischen Produktplanung oder ästhetische Attribute mit aufgenommen und berücksichtigt werden. Des Weiteren können Lösungsprinzipien, welche in der Konzeptphase festgelegt werden, zusätzliche Oberflächenfunktionen notwen-

dig machen und mit in den Katalog aufgenommen werden. Sofern Kennwerte und Prüfmethode existieren, welche die allgemeinen Oberflächeneigenschaften charakterisieren, können diese vorgeschlagen werden, um die Funktionalität auf möglichst hoher Ebene abzusichern.

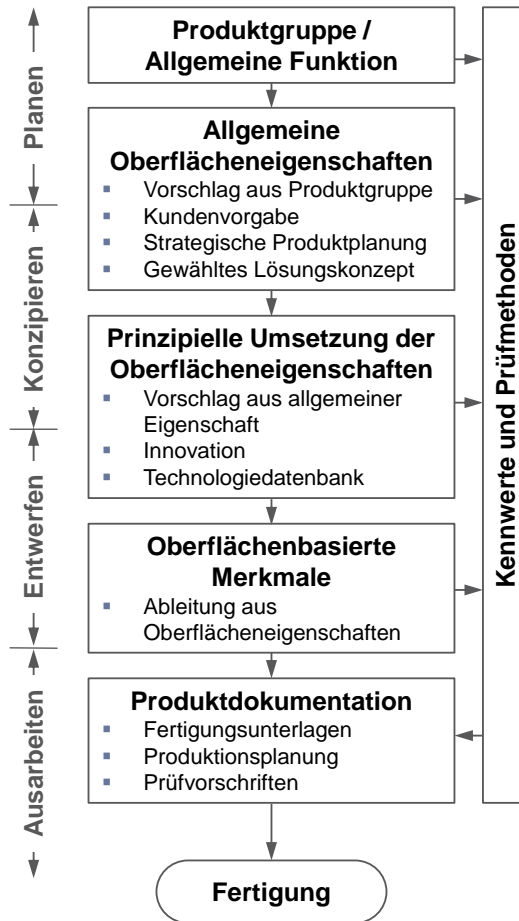


Bild 6: Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses durch oberflächen-spezifische Informationen

Auf Basis der allgemeinen Oberflächeneigenschaften gibt es oft vielfache Möglichkeiten, diese umzusetzen. Hier kann bereits in der Konzept- oder der frühen Entwurfsphase ein Lösungsprinzip ausgewählt und unterschiedliche Lösungsprinzipien wiederum durch weitere Kennwerte und Prüfmethode

---

spezifiziert werden. Unter Umständen ist ein mehrmaliger Durchlauf des Prozessschrittes sinnvoll, sofern die Eigenschaften feiner untergliedert werden können oder müssen. Ist die unterste Eigenschaftsebene erreicht, müssen Merkmale identifiziert und aufgezeigt werden, welche erfahrungsgemäß den größten Einfluss auf die gewählten Eigenschaften der Oberfläche haben. Für diese Merkmale können jeweils Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden, um bewährte, genormte oder typische Lösungen oder zumindest Tendenzen abzuleiten. Neben qualitativen Empfehlungen, zum Beispiel zur Werkstoffwahl (harter Grundkörper gegen weichen Gegenkörper), können auch Zahlenwerte mit den jeweiligen Oberflächenkennwerten und Prüfkriterien vorgeschlagen werden. Ist die Merkmalebene vollständig definiert, sind alle konstruktiven Stellgrößen und die Ausarbeitung der vollständigen Produktdokumentation kann beginnen.

## 6 Anwendung der Vorgehensweise am Beispiel einer Rührwelle in der Lebensmittelindustrie

Die angedachte Vorgehensweise wird anhand einer auszugsweisen Oberflächendefinition einer Rührwelle für die Lebensmittelindustrie erläutert und in Bild 7 aufgezeigt. Ausgehend von den Rahmenbedingungen in der Produktplanung wird festgelegt, dass die Rührreinheit, welche in direkten Kontakt mit den zu verarbeitenden Lebensmitteln kommt, die entsprechend gültigen Auflagen erfüllen muss. Durch die grundsätzliche Einordnung in die Produktgruppe der Lebensmittelindustrie wird die generelle Durchführung der Produktplanung, Gefahrenanalyse und Verifizierungsplanung gemäß DIN EN ISO 22000 [13], mit Unterstützung durch Hinweise der DIN ISO/TS 22004 [14] und aufbauend auf ISO 9001 [15], empfohlen.

Als allgemeine Oberflächeneigenschaften können aus dieser Produktgruppe im Wesentlichen die chemische Inertheit der Oberfläche gegenüber den zu verarbeitenden Lebensmitteln, eine gute Reinigbarkeit und eine ausreichende mechanische Beständigkeit der Oberflächennahen Bereiche während der Produktion sowie der Verzicht von Schmierstoffen im Kontakt mit den Lebensmitteln definiert werden. Diese können auch als Hilfestellung in der Planungsphase zur Formulierung der Anforderungen verwendet werden. Im Weiteren soll lediglich die gute Reinigbarkeit behandelt werden, wobei im realen Produktentwicklungsprozess selbstverständlich mehrere relevante Eigenschaften weiterverfolgt würden. Auch für die gute Reinigbarkeit können Prüfmethoden wie die Fluoreszenzmikroskopie oder die EHEDG-Methode [16] vorgeschlagen werden, welche den Anteil der Restverschmutzung nach einem Reinigungsprozess quantifizieren [17].



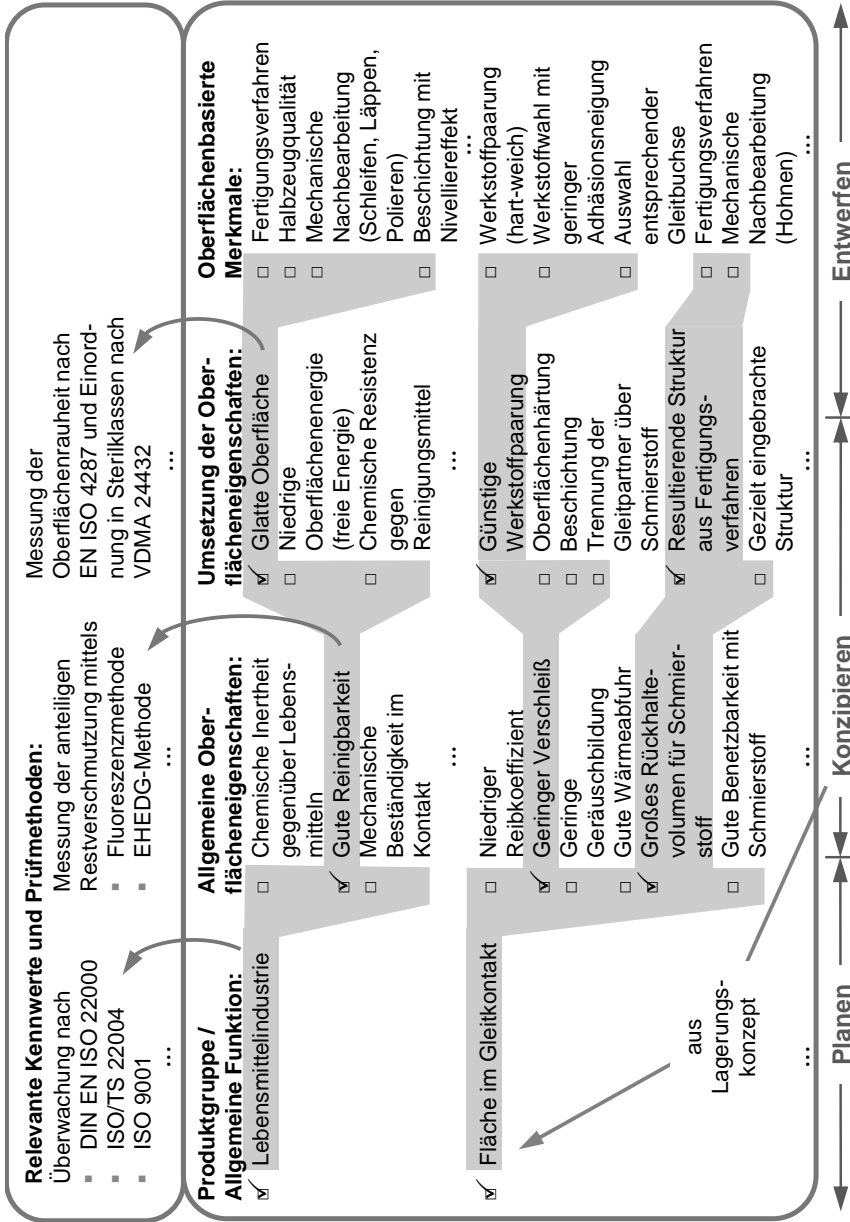


Bild 7: Auszugsweise Anwendung der Vorgehensweise am Beispiel einer Rührwelle in der Lebensmittelindustrie

---

Die gute Reinigbarkeit kann wiederum durch mehrere prinzipielle Lösungen realisiert werden, welche auszugsweise genannt werden: Glatte Oberflächen, welche sehr geringe Van der Waals Kräfte zwischen Schmutzpartikeln und Oberflächenerhebungen bilden; Oberflächen mit geringer freier Energie, welche hydrophobe Eigenschaften aufweisen und Benetzung sowie Anhaftung verhindern (Lotuseffekt); chemische oder mechanische Resistenz gegen Reinigungsmittel. Um die Komplexität für das Beispiel einzuschränken, wird im Weiteren ausschließlich auf die Umsetzung glatter Oberflächen eingegangen. Zur Überprüfung und Absicherung werden hier die geometrische Produktspezifikation mittels Tastschnittverfahren nach EN ISO 4287 [18] empfohlen, welche mit den Vorgaben der Sterilitätsklassen nach der VDMA 24432 [19] verglichen werden können.

Wie die glatte Bauteiloberfläche zu realisieren ist, wird auf Merkmalebene festgelegt, indem entsprechend das Fertigungsverfahren gewählt oder bereits Halbzeuge mit ausreichender Oberflächengüte bezogen werden. Auch eine mechanische Weiterbearbeitung wie etwa Schleifen, Läppen oder Polieren oder eine zusätzliche Beschichtung, welche die Oberflächenrauheit ausgleicht, sind möglich.

Aus der Konzeptphase der Produktentwicklung geht hervor, dass die Rührwelle gleitgelagert werden soll. Analog zum bereits erläuterten Vorgehen wird als zusätzliche und eigenständige Funktion eine Fläche im Gleitkontakt ausgewählt um einen entsprechend angepassten Lagersitz zu gestalten. Hierbei wird auch ersichtlich, dass es bei der Realisierung mehrerer Funktionen zu konkurrierenden Eigenschaften und Merkmalen kommen kann, in welchen der Produktentwickler bewerten und abwägen muss. So konkurriert im gezeigten Beispiel die chemische Inertheit gegenüber den Lebensmitteln mit dem Einsatz von Schmierstoffen bei der Lagerung. Diese Diskrepanz kann jedoch mit einer gedichteten Kapselung der Lagerung vom Kontaktbereich mit den Lebensmitteln aufgelöst werden. Gegensätzliche Funktionalitäten lassen sich auch bei der freien Energie der Oberfläche feststellen. Für die gute Reinigbarkeit sollte diese möglichst gering sein, um ein Anhaften zu vermeiden, während am Lagersitz eine hohe freie Energie für eine gute Benetzung mit Schmierstoff gewünscht ist. Es liegt hier im Ermessen des Produktentwicklers, die entsprechenden Lösungen gegeneinander abzuwägen oder den Widerspruch durch Realisierung anderer Oberflächenkonzepte oder konstruktive Lösungen zu umgehen.

---

## 7 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurde zunächst die Rolle der technischen Oberfläche als wichtiger Funktionsträger für das Bauteil und komplexes Konstruktionselement aufgezeigt. Ein optimaler Zeitpunkt für die Definition der Oberfläche kann jedoch im Produktentwicklungsprozess nicht gefunden werden, da sie von sehr vielen Parametern abhängt. Die Auswahl geeigneter und funktionsrelevanter Oberflächenkennwerte verdeutlicht, dass der Produktentwickler bei der Wahl von Oberflächenspezifikationen unterstützt werden sollte um optimale Ergebnisse zu erzielen. Es wurde eine Vorgehensweise vorgestellt aus welcher hervor geht, welche oberflächenbasierten Informationen dem Produktentwickler in der entsprechenden Phase des Produktentwicklungsprozesses zur Verfügung stehen sollten. Diese Vorgehensweise wurde anhand eines vereinfachten Beispiels einer Rührwelle für die Lebensmittelindustrie erläutert.

### Literatur

- [1] Maier, B.; Tönissen, S.: „Gewusst wie – Funktionsgerechte Produkteigenschaften aus Hartfeinbearbeitungsprozessen“ 10. Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 2010, 09. und 10. März 2010, Karlsruhe.
- [2] Czichos, H.; Habig, K.-H.: „Tribologie-Handbuch“, 3. Auflage, Vieweg-Teubner, Wiesbaden, 2010.
- [3] Lampke, T.: „Gestaltung technischer Oberflächen mit funktionalen Aufgaben“, Habilitationsschrift, 2008. Schriftenreihe: Werkstoffe und werkstofftechnische Anwendungen Band 30, Hrsg.: Wielage, B.
- [4] VDI 2235: Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren.
- [5] Weber, C.: „CPM/PPD – An extended theoretical approach to modelling products and product development processes“, Proceedings of the 2nd German-Israeli Symposium on advances in methods and systems for development of product and processes, 07. und 08. Juli 2005, Berlin.
- [6] Krehmer, H.; Paetzold, K.: „Eine Betrachtung zur ganzheitlichen Abschätzung des Produktreifegrades auf Basis des Verhaltens“ 19. Symposium „Design for X“, 09. und 10. Oktober 2008, Neukirchen.

- 
- [7] Hubka, V.: „Theorie technischer Systeme, Grundlagen einer Wissenschaftlichen Konstruktionslehre“, 2. Auflage, Springer, Berlin, 1984.
- [8] Wögerbauer, H.: „Die Technik des Konstruierens“, 2. Auflage, Oldenbourg, München, 1943.
- [9] Wittel, H. et. al.: „Roloff/Matek, Maschinenelemente“, 19. Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2009.
- [10] Grote, K.-H.; Feldhusen, J. (Hrsg.): „Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau“, 22. Auflage, Springer, Berlin, 2007.
- [11] Niemann, G.; Winter, H.; Höhn, B.-R.: „Niemann, Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen“, 4. Auflage, Springer, Berlin, 2005.
- [12] Bauer, S.: „Entwicklung eines Werkzeugs zur Unterstützung multikriterieller Entscheidungen im Kontext des Design for X“, Dissertation, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2009.
- [13] DIN EN ISO 22000:2005: Managementsysteme für die Lebensmittelsicherheit - Anforderungen an Organisationen in der Lebensmittelkette.
- [14] DIN ISO/TS 22004:2007: Managementsysteme für die Lebensmittelsicherheit - Hinweise für die Anwendung von ISO 22000:2005.
- [15] DIN EN ISO 9001:2008: Qualitätsmanagementsysteme-Anforderungen
- [16] EHEDG: "A method for the assessment of in-place cleanability of moderately-sized food processing equipment" Trends Food Sci.Technol. 8 (1997) 2, S. 54-57.
- [17] Bobe, U.: "Die Reinigbarkeit technischer Oberflächen im immmergierten System", Dissertation, München, 2008.
- [18] DIN EN ISO 4287:2010: Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren.
- [19] VDMA 24432:1992: Komponenten und Anlagen für keimarme oder sterile Verfahrenstechniken; Qualitätsmerkmale und Empfehlungen.