

Automobilfelgen führen Technik und Mathematik zusammen

SIMULATION IN DER WERKSTOFFTECHNIK

Simulation von komplexen Prozessen erfordert die Zusammenarbeit von Theorie und Praxis sowie interdisziplinäres Arbeiten und Forschen von Wissenschaftlern.

Das Institut für Werkstoffkunde und die AG Qualität aus dem Fachbereich Mathematik haben sich zusammengetan: Die Gießtechnik wird am Beispiel einer Automobilfelge optimiert, wobei ein Schwerpunkt in der Bestimmung von Parametern für eine gute Gußqualität liegt. Für die Spritztechnik wird untersucht, wie eine Fläche vorbehandelt werden muss, damit eine anschließend aufgespritzte Beschichtung optimal hält.

Autofelgen lassen sich ebenso einfach herstellen wie Topfkuchen: In eine Form wird flüssiger »Teig« gegossen, der Teig wird kalt und fest und kann dann aus der Form genommen werden. Der Kuchen oder die Felge ist fertig, und die Form kann wieder verwendet werden. Aber es gibt natürlich kleine Geheimnisse – beim Kuchenbacken ebenso wie beim Gießen von Autofelgen.

Wenn es einmal gelungen ist, eine Aluminiumfelge so zu gießen, dass sie den Qualitätsanforderungen an eine Autofelge genügt, dann ergibt sich die Frage, ob es möglich ist, eine solche (oder eine bessere) Felge auch unter einfacheren Bedingungen zu gießen.

Um diese Frage zu beantworten, kann man z.B. die folgenden Vorschläge prüfen:

1. Änderung der Form-Geometrie,
2. Änderung der Materialzusammensetzung,
3. Änderung der Gusstemperatur oder -dauer.

Um diese Vorschläge zu prüfen, können Versuche durchgeführt werden.

Es kann aber auch (zusätzlich) versucht werden, den gesamten Gießprozess theoretisch zu beschreiben. Dabei wird der Einfluss jedes der drei oben genannten Parameter (Geometrie, Materialzusammensetzung, Temperaturverlauf) auf das Endprodukt angegeben. Eine solche theoretische Beschreibung eines Prozesses wird dann Simulation genannt.

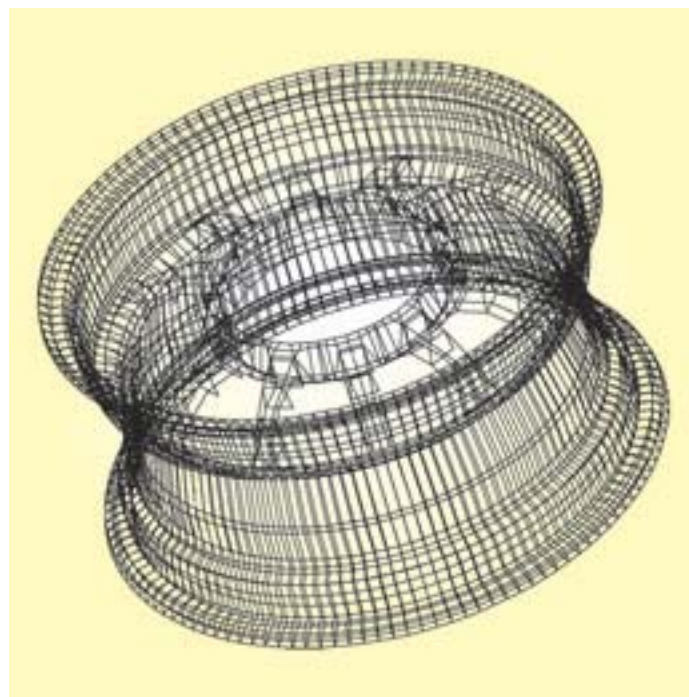


Abbildung 1
Gegossene PKW-Felge

Im allgemeinen ist der Einfluss einzelner Parameter auf das Endprodukt nicht genau bekannt. Es werden daher ingenieurwissenschaftliche Experimente notwendig, um Zusammenhänge zu erkennen und diese in die Simulation einfließen zu lassen.

Grundsätzlich beschreibt eine Simulation immer nur einen Teilbereich des gesamten Prozesses; man hofft allerdings, dass darin »die wesentlichen« Einflüsse richtig beschrieben sind. Um die Richtigkeit dieser Hoffnung zu bestätigen, werden stich-

probenartig einzelne Prozesse sowohl experimentell als auch durch eine Simulation durchgeführt und die Ergebnisse anschließend miteinander verglichen.

Gießtechnik

Das Institut für Werkstoffkunde und die AG Qualität aus dem Fachbereich Mathematik forschen gemeinsam an einer Optimierung der Gießtechnik.

Als Beispiel wurde eine Automobilfelge gewählt (Abbildung 1): Es wird ein Teil einer Felge gegossen, und gleichzeitig verfolgt eine mathematische Simulation jeden einzelnen Zeitschritt des Gieß-

prozesses: Eine flüssige Aluminiumlegierung wird bei einer bestimmten Temperatur in eine Form (»Kokille«) aus Stahl gegossen.

Die Kokille muss dabei nach ingenieurwissenschaftlichen Kriterien so geformt sein, dass die Felge keine Fehler enthält – auch nicht an Stellen, die von außen nicht sichtbar sind. Wenn dann die gegossene Felge Fehlstellen enthält, so beginnt die Suche nach einer Verbesserung des Gießprozesses.

• **Optimierung des Werkstoffes**

Die gewählte Aluminiumlegierung kann ungeeignete Werkstoffeigenschaften besitzen. Dann können aus den Werkstoffwissenschaften andere oder neue, für diese Felge »maßgeschneiderte« Werkstoffe vorgeschlagen werden.

Ob ein solcher Werkstoff dann im Zusammenwirken mit der Kokille wirklich geeigneter ist, wird zunächst mit

• **Überprüfung des gemeinsamen Experiments**

Während des Experiments werden Aufnahmen mit einer Thermographie-Kamera angefertigt. Mit einer solchen Kamera kann zu jedem Zeitpunkt die Temperaturverteilung in der Kokille und in dem Gussteil bestimmen werden.

Abbildung 3 zeigt eine vom Institut für Werkstoffkunde mit dieser Kamera zu einem festen Zeitpunkt aufgenommene Temperaturverteilung in der Kokille.

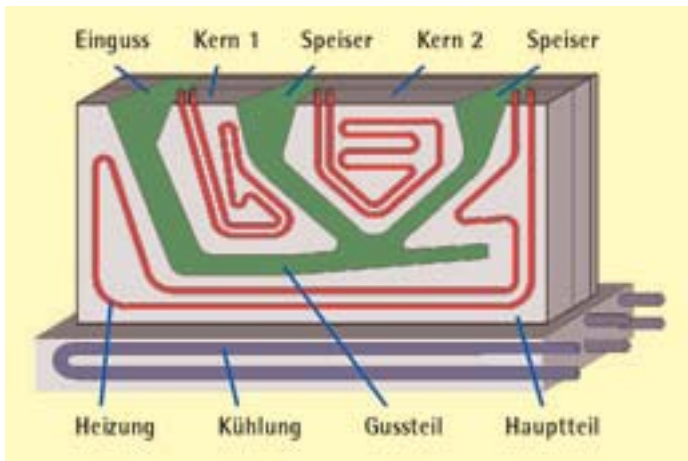


Abbildung 2
Modell eines Problembereiches der Felge

• **Simulation**

Die Mathematik modelliert die Geometrie der Kokille und verfolgt dann während der Erstarrung mit Hilfe der Wärmeleitungsgleichung (Fourier, 1768–1830) die zeitliche Änderung der Temperaturen (Ab-

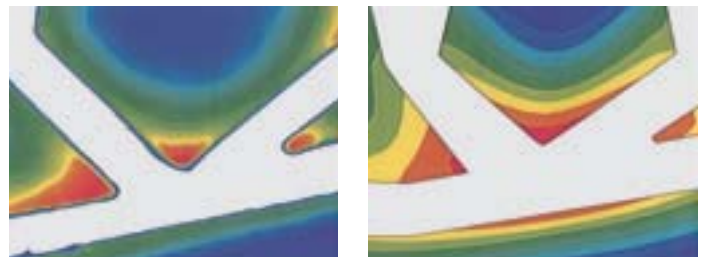


Abbildung 3 (links)
Thermographiebild der Kokille

ses. Ziel einer solchen »Optimierung« des Prozesses ist eine Verbesserung der Gussqualität.

Unter den möglichen Optimierungen seien hier nur zwei genannt. Sie betreffen jeweils verschiedene wissenschaftliche Fachbereiche:

• **Optimierung der Geometrie der Kokille**

Die Geometrie der gewählten Kokillenform (Abbildung 2) kann zu Fehlern des Gußteiles führen. Dann muss eine »bessere« Kokillenform gefunden werden. Die Mathematik simuliert das Abkühlverhalten von Gussteil und Kokille und seine Beeinflussung durch Heizung und Kühlung (Abbildung 2), um eine gleichmäßige Abkühlung des gesamten Gußteiles zu erreichen. Gemeinsam bestimmen Wissenschaftler beider Fakultäten die optimale Kokillengeometrie.

einer mathematischen Simulation des Gießprozesses geprüft.

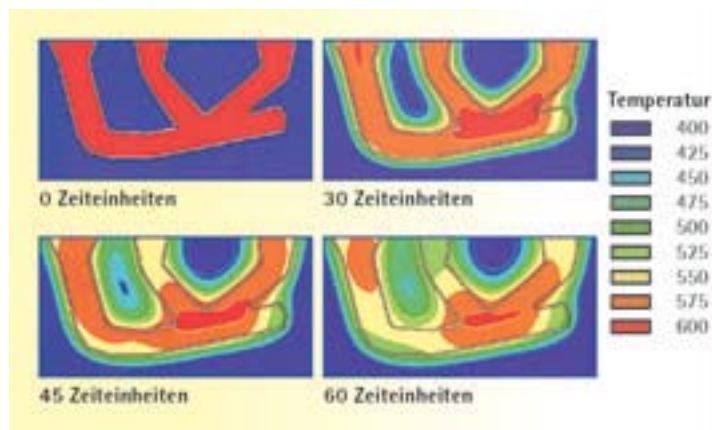
Wenn die theoretischen Untersuchungen von Mathematik und Werkstoffwissenschaft gemeinsam zu dem Ergebnis kommen, dass es einen geeigneteren Werkstoff gibt, wird mit diesem Werkstoff ein weiteres Experiment durchgeführt, um das Ergebnis mit dem simulierten Ergebnis zu vergleichen.

bildung 5) für das gesamte System aus Kokille und Aluminiumlegierung.

Infolge der nicht einfachen Geometrie, der starken Temperaturabhängigkeit mehrerer Materialeigenschaften und der

Abbildung 4
Simulation der Kokille

Abbildung 5
Simulation der Erstarrung während der ersten 60 Zeiteinheiten nach dem Einguss



Gussmaterial	Aluminiumlegierung
Einguss-Temperatur	680°C
Beginn der Erstarrung	600°C
Anteil der flüssigen Phase	
bei 590°C	99 %
bei 580°C	83 %
bei 570°C	32 %
bei 560°C	2 %
Erde der Erstarrung	555°C
Latente Wärme	1231 J/cm³



Prof. Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Bach
 Jahrgang 1944, ist Leiter des Instituts für Werkstoffkunde der Universität Hannover.



Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. mult. Heinrich-Dietrich Haferkamp
 Jahrgang 1933, war bis April 2001 Leiter des Instituts für Werkstoffkunde an der Universität Hannover.



Dr. rer. nat. Dirk Windelberg
 Jahrgang 1943, ist Mitarbeiter im Institut für Mathematik und Leiter der Arbeitsgruppe Qualität an der Universität Hannover.

Prozess wird die Beschichtung durchgeführt: dazu werden auf die gestrahlte Fläche kleine, kugelförmige, flüssige Partikel gespritzt: sie platzen beim Aufprall und verteilen sich. Anschließend wird die Haftung der Beschichtung auf der Oberfläche geprüft.

In der Simulation wird mit Hilfe eines »Monte-Carlo-Verfahrens« die Oberflächenveränderung durch das Strahlen berechnet. Dadurch entstehen auf der Oberfläche »Täler«, deren Tiefe jeweils berechnet werden muss. Als feinste Aufteilung der Oberfläche wird dazu ein Quadrat gewählt, dessen Fläche gleich dem kleinsten Durchmesser eines Sandkörnchens ist. Auf jede dieser Flächen treffen beim Strahlen Körnchen unterschiedlicher Größe.

verschiedenen Materialien wird diese Erstarrungssimulation mit einem speziellen Lösungsverfahren (Methode der Finiten Elemente) bearbeitet.

das anschließende Auftragen von Farbe. In der industriellen Anwendung entspricht diese Oberflächenbehandlung dem Sandstrahlen (als Vorberei-

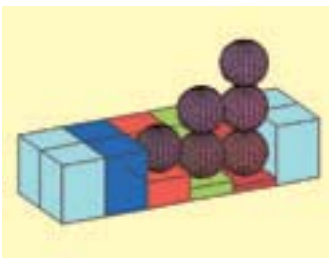


Abbildung 6
 »Täler« infolge unterschiedlicher Häufigkeit des Auftreffens

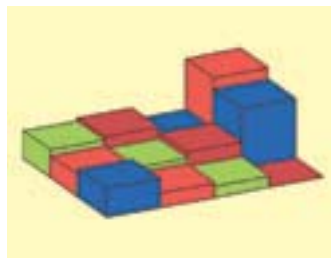


Abbildung 7
 Oberfläche, gestrahlt

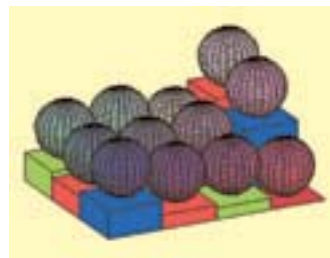


Abbildung 8
 Oberfläche, mit Partikeln gleichmäßig gespritzt

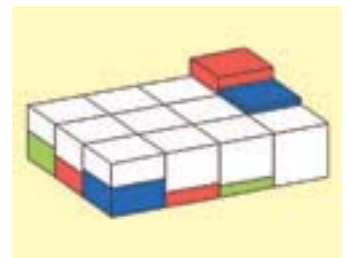


Abbildung 9
 Ergebnis der Beschichtung durch Verteilung der Volumina aus den Partikeln in Abbildung 8

Literatur

- 1 Bach, F.-W., Doege, E., Haferkamp, H., Seidel, H.J., Stegemann, D., Windelberg, D., Wohlfahrt, H.: *Vorbeugen statt Nacharbeiten*. QZ (Qualität und Zuverlässigkeit) 40 (1995), 426–430.
- 2 Feiste, K.L., Reimche, W., Stegemann, D., Köhler, M., Windelberg, D., Mielke, A., Haferkamp, H., Bach, F.-W., Viets, R.: *Prozessintegrierte Qualitätsprüfung beim Leichtmetallguss*. Giesserei-Praxis 5 (1997), 108–114.
- 3 Köhler, M., Windelberg, D.: *Kenngößen zur Bestimmung der Qualität von Gussteilen*. Giesserei 24 (1997), 13–19.
- 4 Windelberg, D.: *Geometry of Solidification. I: Shrinkage Criterion Using Results from Finite Element Analysis*. Journal of Testing and Evaluation 29 (2001), 352–360.

Aus den Temperaturverteilungen wie in Abbildung 5 wurde Abbildung 4 gewonnen. Ein Vergleich der Abbildungen 3 und 4 bestätigt, dass mit der Simulation die Temperaturverteilung im Gussteil berechnet werden kann.

Spritztechnik

Wenn eine Oberfläche vor Beschädigungen geschützt werden soll oder wenn sie »schön aussehen« soll, dann wird sie besonders »behandelt«.

Die bekannteste Form einer Oberflächenbehandlung ist das Schleifen mit Schmirgelpapier (als Vorbereitung) und

und dem Spritzen einer Beschichtung.

Das Institut für Werkstoffkunde und die AG Qualität forschen gemeinsam an einer Optimierung des Gesamtprozesses, der sich aus Strahlen und Spritzen zusammensetzt:

Ziel ist es, die Parameter für das Strahlen so zu bestimmen, dass die gespritzte Beschichtung dauerhaft hält.

Die wesentliche Frage lautet: **Wie sollte die Oberfläche beschaffen sein, damit die aufgespritzte Schicht fest haftet?**

Im Experiment wird eine metallische Fläche mit kleinen, kugelförmigen Sandkörnchen gestrahlt. In einem zweiten

Es wird eine Formel mit freien Parametern entwickelt, nach der die Tiefe eines »Tales« bestimmt wird, wenn hintereinander mehrere Körnchen gleicher Größe mit einer festen Geschwindigkeit auftreffen (Abbildung 6). Experimentell wird dann im Institut für Werkstoffkunde geprüft, ob diese Modellierung der Wirklichkeit entspricht.

In der Simulation wird dann die physikalische Haftung der Partikel auf der aufgerauten Oberfläche modelliert (Abbildungen 7 und 8).

Weiterhin lässt sich simulieren, wie sich die aufgespritzten Partikel auf der Oberfläche verteilen (Abbildung 9).