

Autor: Jürgen Jahn, Fotos: NRU

# Bemerkenswerte Entwicklungen

## Neue Technologien zur schnellen Herstellung von Feingussteilen aus Stahl in kleinen Stückzahlen

**Die Herstellung von Feingussteilen hat sich in den letzten Jahrzehnten bei ständig steigendem Bedarf stetig weiterentwickelt. Ursache sind die Vorteile des Feingießens gegenüber anderen Fertigungsverfahren. Für die schnelle Produktion von Feingussteilen galt es, zwei Probleme zu lösen: zum einen die schnelle und kostengünstige Modellherstellung, zum anderen die Formenherstellung in kurzer Zeit.**



**Bild 1:** Rapid Prototyping im Feinguss; von oben nach unten: Stereolithographiemodell, Wachsmo-  
dell, Feingussteil aus Edelstahl

Die Herstellung von Feingussteilen hat sich in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt. Dies bezieht sich auf

- Steigerung der Anzahl und Tonnage der Teile,
- Vielfalt der eingesetzten Werkstoffe,
- Größe und Masse der Teile und
- Komplikationsgrad des Designs.

Diese Entwicklung war nur deshalb möglich, weil der Bedarf ständig gestiegen ist. Hauptabnehmer dabei sind

- Automobilindustrie,
- Elektrotechnik und Elektronik,
- Maschinen- und Gerätebau,
- Flugzeugindustrie,
- Militärtechnik,
- Medizin und Medizintechnik.

Ursache für diese bemerkenswerte Entwicklung sind die Vorteile des Feingießens gegenüber anderen Fertigungsverfahren. Wesentliche Gründe hierfür sind

- endkonturnahe Herstellung des Teils (Feingießen gehört zu den Verfahren mit besten Möglichkeiten),
- Verwendung von Werkstoffen, die äußerst schwierig mechanisch zu bearbeiten sind (z.B. hoch legierte Stähle),
- Herstellung neuer komplexer Teile durch Integration mehrerer Funktionsgruppen in einem Teil.

Daraus haben die Anwender von Feingussteilen eine Vielzahl von Effekten, die sie technisch und wirtschaftlich nutzen, abgeleitet. Hierzu gehören

- Kostensenkung,
- Zeitersparnis,
- Möglichkeiten der Konstrukteure, neue Wege in Bezug auf Design und Werkstoff zu gehen.

### Entwicklung des Feingießens

Im deutschen Sprachgebrauch versteht man unter Feingießen die Herstellung von Gussteilen unter Verwendung von verlorenen Modellen, z.B. Wachsmo-

dellen. Diese werden in der Regel zur Herstellung keramischer Formschalen genutzt.

Wie sich in den letzten 20 Jahren das Feingießen entwickelt hat, lässt sich z.B. aus einem Vergleich von zwei Sonderheften „konstruieren + giessen“ zum Feingießen ableiten. Das eine Heft ist 1988 und das andere 2008 erschienen. Welche sind die bemerkenswertesten Entwicklungen?

Die Wachsmo-  
dellherstellung war früher ausschließlich über das Spritzen von Wachs in metallische Formen gekennzeichnet. Daraus ergaben sich lange Zeiten für die Werkzeugherstellung und hohe Kosten sowie große Aufwendungen an Zeit und Geld bei Designänderungen. Damit war das Feingießen vor allem auf Teile mit hohen Stückzahlen bzw. spezifischen Anforderungen an Material und Design beschränkt, die die hohen Aufwendungen bei der Wachsmo-  
dellherstellung verkrafteten.

Ende der 80er-Jahre des vorigen Jahrhunderts kamen generative Verfahren zur Modellherstellung auf den Markt. Damit wurden Möglichkeiten einer schnellen Modellherstellung geschaffen. Die Erwartungen, diese Modelle schnell und direkt im Feingießprozess einzusetzen, haben sich aus verschiedenen Gründen begrenzt erfüllt. Stattdessen wurden diese neu entwickelten generativen Verfahren die Basis für einen neuen eigenständigen Bereich, den des Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing, worauf später noch detaillierter eingegangen wird.

Bei der Herstellung der Formschale gab es die Umstellung von alkoholhaltigen auf wasserhaltigen Schlicker. Das verlängerte die notwendige Zeit zur Schalenherstellung zusätzlich. Trotz der erfolgreichen Entwicklung von speziellen Trocknungsverfahren zur schnelleren Schalenherstellung haben sich diese in den Feingießereien noch nicht durchgesetzt. Diese neue Technologie



**Bild 2:** Verschlussplatte aus 1.4308 für den Fahrzeugbau; Größtmaß: etwa 160 mm, Gewicht: etwa 300 g

wird jedoch zur schnellen Herstellung von Feigussteilen genutzt.

Bemerkenswerte Entwicklungen gab es bei der Schmelz- und Gießtechnologie. Damit wurde es möglich, die Vielfalt der zu verarbeitenden Werkstoffe zu erweitern. Das Schmelzen unter Vakuum bzw. Schutzgas haben die meisten Feingießereien in Anwendung. Spezielle Gieß- und Erstarrungstechnologien waren die Voraussetzungen für die Herstellung von Gussteilen mit speziellen Eigenschaften.

Feingießereien entwickeln sich mehr und mehr nicht nur zu Lieferanten von Feigussteilen, sondern auch zum Systemlieferanten. Die Feigussteile sind Bestandteile von Einbaugruppen, die komplett in Feingießereien gefertigt

werden, womit dort wiederum der Wertschöpfungsprozess steigt.

#### **Schnelle Herstellung von Feigussteilen**

Für die schnelle Produktion von Feigussteilen galt es, zwei Probleme zu lösen: zum einen die schnelle und kostengünstige Modellherstellung, zum anderen die Formenherstellung in kurzer Zeit.

Die schnelle Modellherstellung wurde durch Anwendung von generativen Verfahren im Rahmen des Rapid Prototyping realisiert, worunter die schnelle Herstellung von Versuchsteilen oder Mustern zu verstehen ist, die mit Hilfe generativer (aufbauender) Verfahren unter Nutzung von 3-D-CAD-Daten gefertigt werden. Diese entstehenden

Muster lassen sich direkt als Feingussmodell oder indirekt zur Herstellung von Formen für die Modellherstellung verwenden.

Die mit Hilfe generativer Verfahren herstellbaren Modelle für das Feingießen sind hinsichtlich verwendeter Materialien und Technologien sehr vielfältig. Neben dem für das Feingießen bekannten Wachsmodeill sind auch die verschiedensten Kunststoffe zu verwenden. Entscheidend für den Einsatz als Modellwerkstoff sind das vollständige, rückstandslose Verbrennen des Kunststoffes und die geringe Ausdehnung während des Verbrennens, damit die Gießformen nicht zerstört werden. Die bekanntesten Rapid-Prototyping-Verfahren (direkte Modellverfahren)



**Bild 3:** Bandführung aus 1.7131 für Verpackungsmaschinen; Größtmaß: etwa 200 mm, Gewicht: etwa 300 g



**Bild 4:** Rollen- und Spannhebel aus 1.5919 für Rundtaktmaschinen der Firma Variomatic; Größtmaß: etwa 135 mm, Gewicht: etwa 200 g

zur Herstellung von Modellen für das Feingießen sind:

- Lasersintern (LS) bzw. Selektives Lasersintern (SLS) von hochpolymeren Pulvern,
- Fused Layer Modeling (FLM) und Fused Deposition Modeling (FDM) von strang- oder fadenförmigen Hochpolymeren,
- Multi-Jet Modeling (MJM) von granulierten Hochpolymeren (z.B. Wachs),
- Poly-Jet Modeling (PJM) von flüssigen, breiförmigen Polymergemischen,
- 3-D-Printing (3DP) von Pulvern mit Hilfe von Bindern.

Diese Art der direkten Modellherstellung ist in der Regel beschränkt auf geringe Stückzahlen (ein bis etwa zehn). Gleichzeitig gibt es Einschränkungen hinsichtlich der Oberflächengüte und Fertigungstoleranzen, die sich aus den Baustufen ergeben.

Für größere Stückzahlen und Feigussteile mit höheren Anforderungen an die Oberflächengüte lassen sich die

Modelle indirekt über Formen herstellen. Bewährt hat sich hier die flexible Silikonform. Die durch Rapid Prototyping hergestellten Urmodelle werden gefinisht und anschließend mit Silikon unter Vakuum umgossen. Die Silikonform wird aufgeschnitten und das Modell entnommen. Danach lassen sich in einer Vakuumgießanlage Wachsteile auch mit komplizierterer Struktur in der Silikonform herstellen (**Bild 1**).

Für die Silikonformenherstellung können praktisch alle generativ hergestellten Urmodelle Verwendung finden. Besonders geeignet sind jedoch Teile, die mit Hilfe von Stereolithographie (SL) unter Verwendung flüssiger UV-empfindlicher Harze hergestellt werden. Diese haben besonders enge Toleranzen. Durch die anschließende Finish-Bearbeitung der Oberfläche wird eine äquivalente Qualität erzeugt, wie sie in festen Werkzeugen möglich ist. Die Silikonform ist für die Herstellung von maximal 20 bis 30 Wachsteilen verwendbar. Danach gibt es Qualitätseinschränkungen, die durch thermische und chemische Belastungen

des Silikons durch das heiße Wachs begründet sind.

An weiteren neuen Technologien zur schnellen Herstellung von Wachsteilen bzw. anderen austreibbaren Modellen mit größeren Stückzahlen wird gearbeitet.

Um den Vorteil der schnellen Modellherstellung unter Verwendung von Rapid Prototyping voll nutzen zu können, galt es, weitere Überlegungen zur schnellen Herstellung der Gießformen anzustellen. Hierzu wurden zwei Lösungen gefunden. Die eine beruht darauf, die klassische Technologie der Schalenherstellung drastisch zu verkürzen. Dies ist möglich durch Reduzieren der erforderlichen Trocknungszeit der Schale von etwa 24 Stunden pro Schicht auf etwa 30 bis 40 Minuten. Damit ließ die Zeit für die Herstellung einer Schale von etwa sieben Arbeitstagen auf etwa vier bis fünf Stunden verkürzen. Angewendet wird diese Technologie im so genannten Cyclone-Automat. Verschiedene Unternehmen testen diese Anlage und haben erfolgreich Feigussteile in geringen Stückzahlen hergestellt.

Eine zweite Technologie der schnellen Formenherstellung nutzt die Erfahrungen der Kompaktformen, wie sie bei der Schmuckherstellung und bei der Herstellung von Dentalimplantaten gesammelt wurden. Bei Stahl kommt diese Technologie überwiegend für Kleinteile zum Einsatz. Die große thermische Belastung des Formstoffes würde bei großen Gussteilen zu Qualitätsmängeln führen.

### Anwendung von kleinen Stückzahlen

Die schnelle Produktion von Feingussteilen in kleinen Stückzahlen stellt eine Ergänzung und Erweiterung der Anwendung von Feinguss dar. Die wesentlichen Anwendungsgebiete sind

- Unterstützung von Entwicklungsprojekten durch schnelle Bereitstellung von funktionsfähigen Musterteilen,
- schnelle Herstellung von Vorserienteilen,
- erweiterte Anwendung des Feingusses für Kleinserien.

Bereits in der Entwicklungsphase können die Konstrukteure mit dem Prototypenhersteller zusammenarbeiten. Entscheidende Vorteile sind die Diskussionen über die gießgerechte Gestaltung der Konzepte und über die optimale Werkstoffauswahl. Häufig müssen die ersten Entwürfe konstruktiv überarbeitet werden. Dies ist durch Anwendung der generativen Verfahren schnell und kostengünstig realisierbar. Die anschließend in der Erprobungsphase erforderlichen klei-

nen Stückzahlen lassen sich ebenfalls schnell herstellen. Zwischenzeitlich kann dann die Feingießerei, die die Serienteile fertigt, die Werkzeuge herstellen, um dann nahtlos die großen Stückzahlen liefern zu können. Eine enge Zusammenarbeit zwischen den Kleinserienherstellern und der Feingießerei ist für die Serienteile sinnvoll. Die Nutzung der Vielzahl von Erfahrungen des Kleinserienherstellers reduziert den Aufwand des Serienherstellers. Des Weiteren ergibt sich daraus ein Wettbewerbsvorteil für die Feingießerei, denn unnötige, langwierige und kostenintensive Erprobungen sind nicht erforderlich.

Diesen beschriebenen Weg nutzen bereits eine Vielzahl von Kunden, insbesondere Automobilzulieferer für Abgassysteme, die einen großen Bedarf an hoch legierten Stahlgussteilen haben (**Bilder 1 und 2**). Weniger intensiv nutzen Unternehmen mit geringem Jahresbedarf die neuen Möglichkeiten der Fertigung von Feingussteilen. Vor allem im Sondermaschinenbau und Gerätebau (**Bilder 3 und 4**) liegen die Stückzahlen häufig in den Bereichen zwischen zehn und 100. Hierfür gibt es folgende Gründe:

- keine Erfahrungen bei der Anwendung von Feingussteilen,
- fehlende Kenntnisse über Produzenten von Kleinserienteilen,
- Aufwendungen bei der Umstellung des Fertigungsverfahrens.

Vor allem bei der Nutzung des Feingusses zur Herstellung von kleinen, form-

komplizierten Teilen aus legierten bzw. hoch legierten Stählen kann eine Reihe von Effekten genutzt werden. Hierzu gehören besonders die Senkung der Materialkosten und die Energieeinsparung. Die in den letzten Monaten rasant gestiegenen Material- und Energiepreise müssen zu Überlegungen führen, wie diese Mehrkosten ausgeglichen werden können. Weitere Effekte sind die weitgehende freie Werkstoffwahl und die Gestaltungsvielfalt gegenüber spanenden Fertigungsverfahren.

Was können Kleinserienproduzenten für ein Teilespektrum anbieten? Dies ist zunächst prinzipiell abhängig von den vorhandenen Anlagen zur Formherstellung, zum Schmelzen und Gießen. Die NRU GmbH hat sich in den letzten Jahren auf diesem Gebiet profiliert und kann Stahlgussteile folgendermaßen anbieten:

- Massebereich: von einigen Gramm bis mehreren Kilogramm,
- Abmessungen: von etwa 2 mm bis etwa 250 mm,
- Oberfläche:  $R_a \leq 6,3 \mu\text{m}$ ;  $R_z \leq 25 \mu\text{m}$ ,
- Toleranzen: VDG-Merkblatt P690, Genauigkeitsklasse A1,
- Material: nahezu alle Stähle (unlegiert, niedrig und hoch legiert),
- Lieferzeiten: erste Gussteile in etwa einer Woche.

*Dr. Jürgen Jahn, Geschäftsführer, NRU GmbH, Neukirchen*

Weitere Informationen:  
[www.nru-gmbh.de](http://www.nru-gmbh.de)