

1.2.1 Zeitgeführte Ablaufsteuerung

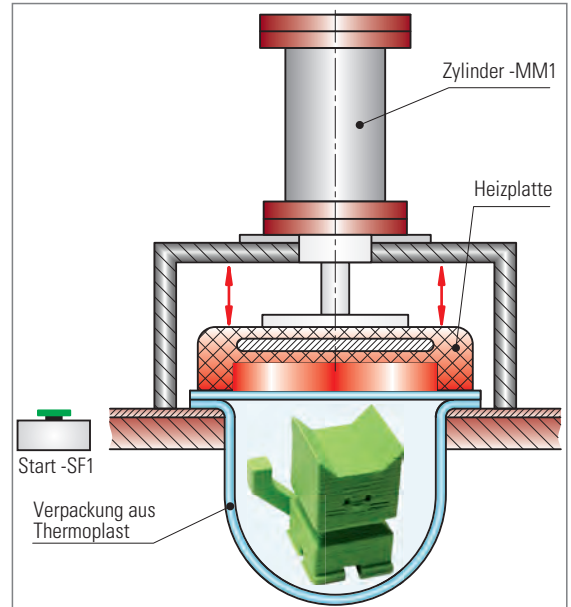
An die Kolbenstange eines doppelt wirkenden pneumatischen Zylinders einer Verpackungsmaschine (*packaging machine*) für Spielzeugfiguren ist eine Heizplatte (*heating plate*) montiert. Diese soll Kunststoffverpackungen aus Thermoplast verschweißen (Bild 1). Betätigt der Maschinenbediener einen Tastschalter -SF1 (*switch*), soll die Kolbenstange mit der Heizplatte ausfahren. Der Schweißvorgang soll je nach Art der Verpackung eine einstellbare (*adjustable*) Zeit von 2...6 Sekunden dauern. Anschließend soll die Kolbenstange des Zylinders wieder selbstständig in die Grundstellung fahren.

Die Verwendung einer Führungs- oder Haltegliedsteuerung scheidet aus zweierlei Gründen aus:

- Der Bediener müsste bei einer solchen Steuerung den Taster (*push button*) während des Schweißvorgangs permanent halten. Dies ist ergonomisch (*ergonomic*) ungünstig und führt zu einer unnötigen Belastung und frühzeitigen Ermüdung des Bedieners.
- Der Bediener muss den Zeitraum von beispielsweise 5 Sekunden messen, um die Qualität der Verschweißung zu gewährleisten.

Der pneumatische Leistungsteil der Anlage entspricht der Grundschialtung (*basic circuit*) eines doppelt wirkenden Zylinders (Bild 2).

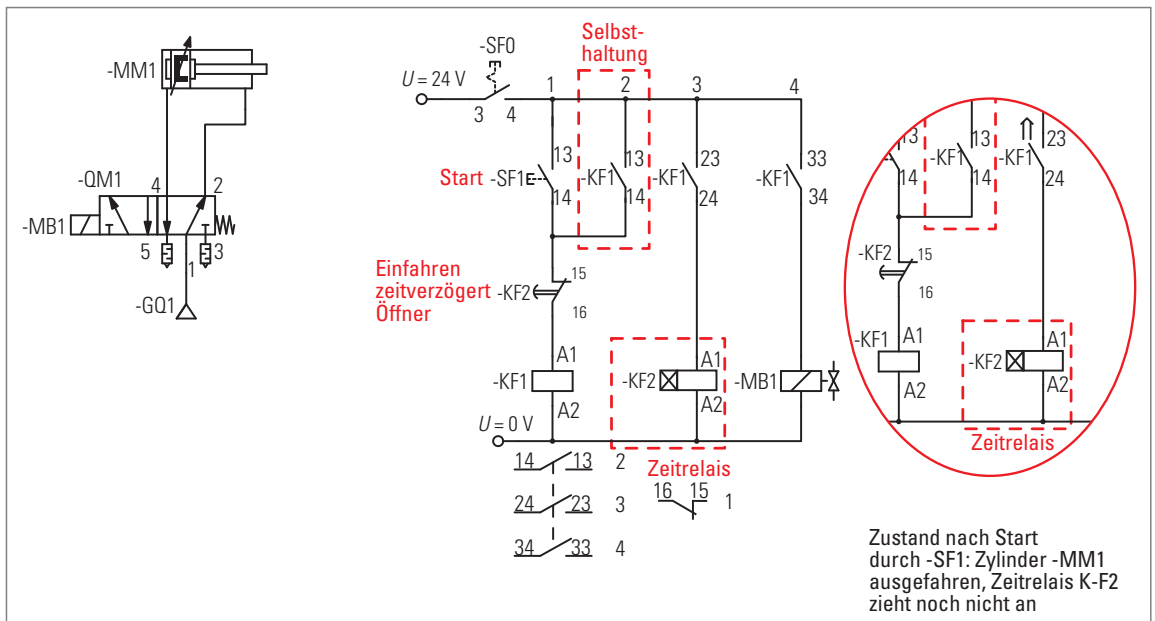
Die Steuerungsaufgabe lässt sich durch eine **zeitgeführte Ablaufsteuerung mit Selbsthaltung** lösen. Dabei speichert die Selbsthaltung im Steuerteil (Bild 2) das Startsignal von -SF1 auch, wenn der Bediener den Starttaster loslässt (vgl. Kapitel 1.1.6 Speichern von Signalen – Selbsthaltung). So wird gewährleistet, dass der Zylinder mit der Heizplatte die vordere Endlage (*advanced end position*) zuverlässig erreicht. Die Steuerung



Gerät	Signal	Beschreibung
-SF1: Hand-Tastschalter, Schließer	E1	E1 = 1: -SF1 wird von Hand betätigt
Zylinder -MM1 mit Heizplatte	A1	A1 = 1: Zylinder -MM1 fährt aus Heizplatte

1 Technologieschema und Zuordnungsliste der Verpackungsmaschine

schaltet nach einer vorgegebenen Zeit (hier 5 Sekunden) das Stellglied -QM1 wieder in Grundstellung. Eine vollständige Verschweißung der Thermoplastverpackung ist nach dieser Zeit gewährleistet.



2 Pneumatikplan (Grundschialtung), Stromlaufplan und Schaltgliedertabelle Verpackungsmaschine – zeitgeführte Ablaufsteuerung mit Selbsthaltung in Grundstellung und nach Startsignal (Lupe)

M E R K E

Bei Geschwindigkeitssteuerungen unter Verwendung von Drosselrückschlagventilen muss immer eine Aufteilung des Volumenstroms erfolgen. Diese Aufteilung kann auch durch das Druckbegrenzungsventil erfolgen, das bei Erreichen von $p_{e\max}$ öffnet. Dabei wird jedoch die Lastabhängigkeit beider Steuerungen deutlich. Bei zunehmender Last an der Kolbenstange öffnet das Druckbegrenzungsventil weiter. Der Volumenstrom in Richtung Zylinder nimmt weiter ab. Die Verfahrensgeschwindigkeit der Kolbenstange sinkt.

2.6 Leitungen und Verbindungen

Genormte¹⁾ **Rohrleitungen (tubings)** aus nahtlos-kaltgezogenen Präzisionsstahlrohren (*precision steel tubings*) und **Hydraulikschläuche (hydraulic hoses)** verbinden die einzelnen Bestandteile eines hydraulischen Systems zu einem geschlossenen System. Sie müssen möglichst gerade bzw. mit großen Biegeradien verlegt werden, um Druckverluste (*pressure losses*) gering zu halten. Der mit einem Bauteil verbundene Druckabfall wird meist grafisch dargestellt (Bild 1).

Die Durchmesser der Leitungen sollen so groß gewählt werden, dass die folgenden Grenzen für die Strömungsgeschwindigkeiten (*flow velocities*) in Leitungen nicht überschritten werden:

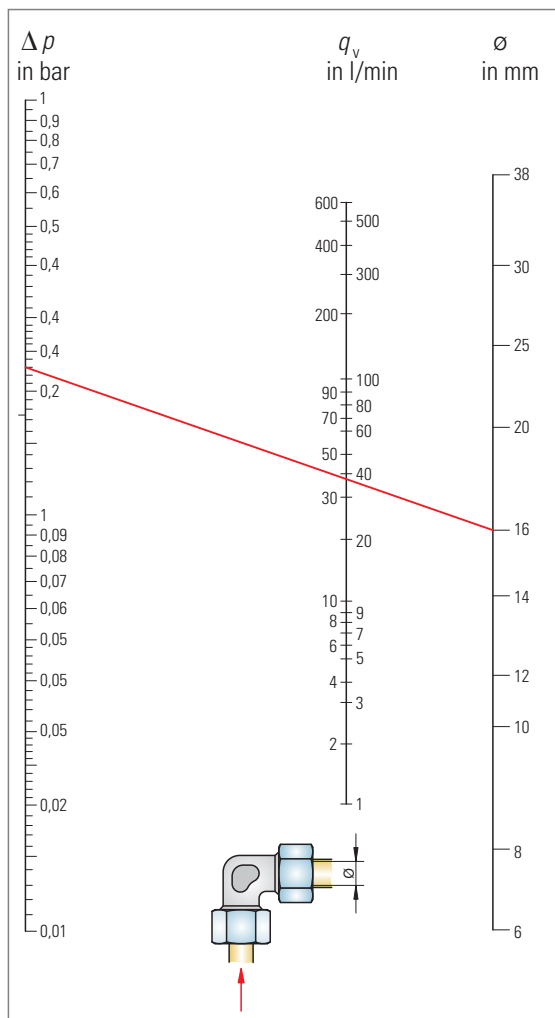
- Saugleitungen 0,5 ... 1,5 m/s
- Druckleitungen 1,5 ... 7 m/s
- Rücklaufleitungen 2 ... 4 m/s.

Eine sehr häufig verwendete Form der Verbindung von Rohrleitungen und Verschraubung von Rohrleitungen mit feststehenden Gerätekomponenten ist die **Schneidringverbindung (cutting ring connector)** (Bild 2). Sie ist genormt²⁾ und auch bei den in hydraulischen Anlagen vorherrschenden hohen Drücken absolut flüssigkeitsdicht (*liquid-tight*) und mehrmals lösbar. Die Verschraubungen werden in drei Baureihen angeboten:

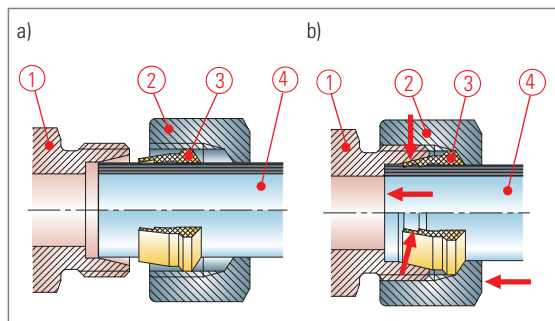
- sehr leicht (Abkürzung: LL; bis ca. 100 bar; für Rohrdurchmesser 8 ... 16 mm; mit einkantigem Schneidring),
- leicht (L; bis ca. 350 bar; für Rohrdurchmesser 12 ... 52 mm; mit zweikantigem Schneidring) und
- schwer (S; bis ca. 600 bar; für Rohrdurchmesser 14 ... 52 mm; mit zweikantigem Schneidring)

Mit den verschiedenen Ausführungsvarianten, wie z. B. der Winkel- (*elbow*), T- (*tee*), Kreuz- (*cross*), Schwenk- (*swivel*), Einschraubverschraubung (*socket fitting*) etc. lassen sich die gängigen Verbindungen ausführen. Einschraubverschraubungen werden mit verschiedenen Gewinden³⁾ angeboten. So ist sichergestellt, dass die Leitungsverbindungen an eine Vielzahl von Maschinenkomponenten angeschlossen werden können. Herrschen im Betrieb der Anlage starke Druckstöße, Schwingungen oder Vibrationen, kommen Einsätze mit Schweißkegel zum Einsatz.

Die Bestandteile einer Schneidringverschraubung sind: Gehäuse mit Klemmkonus ① (*body*), Überwurfmutter (*cap nut*) mit metrischem Gewinde ②, Schneidring (*cutting ring*) (ein- oder zweischneidig) ③ und Rohrleitung ④. Durch das Anziehen der



1 Druckverluste durch Anschlussverschraubung 90° in Abhängigkeit des Volumenstroms und des Leitungsdurchmessers



2 Schneidringverbindung
a) lose b) fest

Überwurfmutter, die innen konisch zuläuft, wird der Schneidring zusammengedrückt. Die keilförmige Schneidringinnenseite schneidet sich in die Wandung des Stahlrohrs und bildet einen dichten Formschluss.

1) DIN EN 10305-1 Präzisionsstahlrohre, DIN EN 853 und 854 Gummischlauch und Schlauchleitungen

2) DIN EN ISO 8434 bzw. DIN 2353; weitere Verbindungstypen sind die O-Ring-, Bördel- und Dichtkegelverschraubung

3) Neben metrischen Gewinden sind für Einschraubverschraubungen auch British standard pipe-Gewinde, Unified thread standard-Gewinde und National pipe thread-Gewinde üblich. Die verschiedenen Ausführungen sind mit und ohne O-Ring, Elastomer Dichtung, Dichtkante, kegeligem Einschraubgewinde oder 24°-Dichtkegel erhältlich.

1 Hochleistungs- und Hochgeschwindigkeitsfräsen

Die Werkzeuge in der Schneid- und Umformtechnik sowie in der Formentechnik bestehen meist aus Kalt- bzw. Warmarbeitsstählen (*cold/hot working steels*). Ausgangsprodukte für die Werkzeuge sind meist Platten oder Blöcke, in denen die formgebenden Werkzeugoberflächen einzuarbeiten sind. Das wichtigste Verfahren zum Erzeugen dieser Werkzeugoberflächen ist das Fräsen. Die Bearbeitung der oft hochfesten Stähle stellt erhöhte Anforderungen an

- Werkzeuge,
- Werkzeugmaschine und
- Erstellung der CNC-Programme.

Beim Fräsen der hochfesten Stähle geht es zunächst darum, möglichst schnell viel Material zu entfernen, bevor dann die formgebende Oberfläche in der geforderten Qualität und Maßhaltigkeit gefertigt wird. Sowohl beim Schruppen (*roughing*) als auch beim Schlichten (*finishing*) werden angepasste Werkzeuge, leistungsfähige Werkzeugmaschinen und entsprechende Prozessparameter eingesetzt. Die folgenden beiden Frässtrategien ermöglichen das Erreichen der angestrebten Ziele:

- Hochleistungsfräsen (*high-performance milling*) für das Schruppen
- Hochgeschwindigkeitsfräsen (*high-speed milling*) für das Schlichten

1.1 Hochleistungsfräsen (HPC¹⁾)

Die Kernseite einer Druckgussform (Bild 1) wurde durch Hochleistungsfräsen geschruppt. Dabei konnte die Bearbeitungszeit (*machining time*) gegenüber dem konventionellen Fräsen um 50 % reduziert und die Werkzeugstandzeit (*tool cutting life*) um 60 % verlängert werden. Im Folgenden werden die Strategien und Ursachen für diese Verbesserungen durch Hochleistungsfräsen dargestellt.

Mit dem Hochleistungsfräsen wird ein sehr viel größeres Zerspanungsvolumen pro Minute (**Zeitspanungsvolumen Q**) (*material removal rate (MRR)*) als beim herkömmlichen Fräsen erzielt.

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f$$

Q : Zeitspanungsvolumen

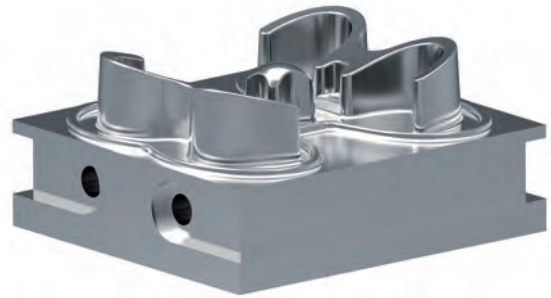
a_p : Schnitttiefe

a_e : Arbeitseingriff

v_f : Vorschubgeschwindigkeit

Um das zu erreichen, wird mit höheren Schnittgeschwindigkeiten (*cutting speeds*), größeren Vorschüben pro Zahn (*feed per tooth*) und größeren Schnitttiefen (*cutting depths*) gearbeitet. Die hohen Schnittgeschwindigkeiten sind mithilfe von hohen Umdrehungsfrequenzen (*rotational frequencies*) zu realisieren, sofern es die Fräsmaschine ermöglicht. Auch die Schnitttiefe ist durch die Zustellung (*infeeding rate*) einfach zu erhöhen.

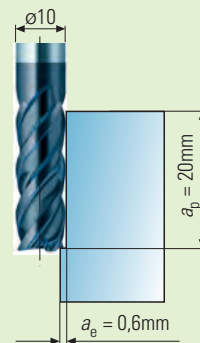
Durch die **großen Schnitttiefen** a_p schneiden die Fräser nicht nur im unteren Bereich, sondern fast auf ihrer gesamten Länge. Dadurch werden die Fräferschneiden



1 Kernseite einer Druckgussform

Beispielaufgabe

Wie groß ist das Zeitspanungsvolumen bei dem folgenden Zerspanungsbeispiel aus dem Formenbau?



Werkstoff: 1.2344 mit 52HRC

Vollhartmetallfräser mit 6 Zähnen

$v_c = 120$ m/min

$f_z = 0,086$ mm

$v_f = 1970$ mm/min

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f$$

$$Q = \frac{20 \text{ mm} \cdot 0,6 \text{ mm} \cdot 1970 \text{ mm} \cdot 1 \text{ cm}^3}{\text{min} \cdot 1000 \text{ mm}^3}$$

$$Q = 23,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

am Umfang wesentlich gleichmäßiger belastet. Bei gleichem Zeitspanungsvolumen entstehen gleichzeitig kürzere Fräswege. Deshalb verringert sich der **Verschleiß** (*tool wear*), wodurch sich die Standzeit des Werkzeugs verlängert.

Der Vorschub pro Zahn (*feed per tooth*) beeinflusst die **Spannungsdicke** (*chip thickness*), die maßgebliche Bedeutung für den Zerspanungsprozess und dessen Wirtschaftlichkeit hat. Beim Stirnfräsen (*face milling*) verringert sich die Spannungsdicke h mit abnehmendem Einstellwinkel κ (*angle of incidence*) (Seite 325 Bild 1). Dabei gilt folgender Zusammenhang:

$$h = \sin \kappa \cdot f_z$$

h : Spannungsdicke

κ : Einstellwinkel

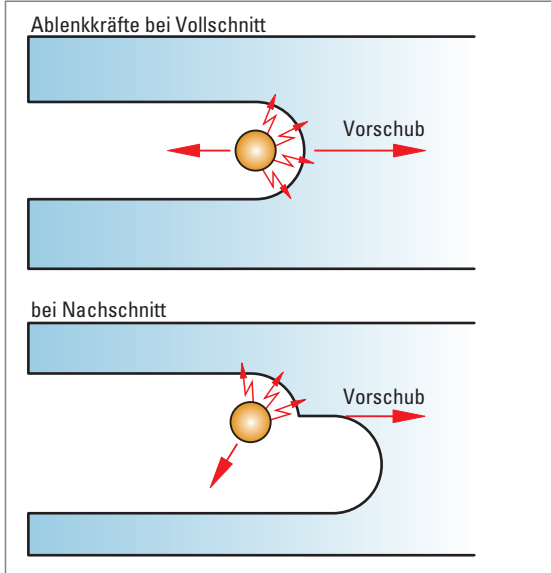
f_z : Vorschub je Zahn

$$f_z = \frac{h}{\sin \kappa}$$

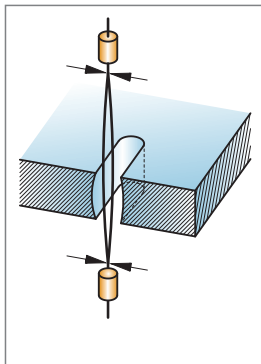
¹⁾ engl: High Performance Cutting

3.3.9 Konturfehler – Ursachen und Vermeidung

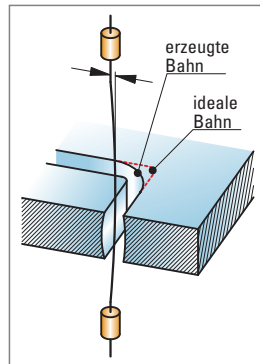
- Vibrationen des Drahts können z. B. durch Stöße im Drahtantrieb, unsymmetrische Spülung oder durch elektromagnetische Entladungskräfte (Bild 1) während des Erodierprozesses entstehen. Diese beeinflussen das Arbeitsergebnis (Bild 2). Die Erhöhung der Drahtvorspannkraft reduziert oft diesen Effekt. Zusätzlich verfügen leistungsfähige Drahtschneidmaschinen über entsprechende Regelungsmechanismen, die beispielsweise den Einfluss der Entladungskräfte kompensieren.



1 Elektromagnetische Entladungskräfte beim Voll- und Nachschnitt



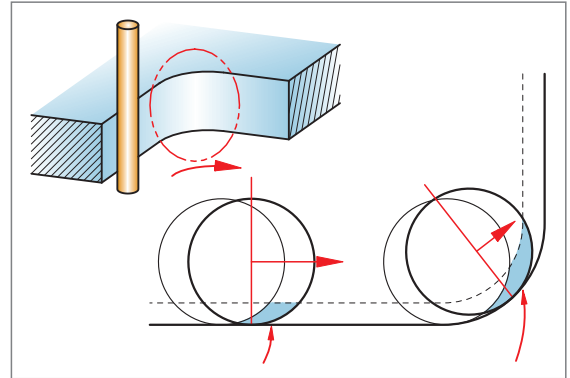
2 Drahtvibrationen und -schwingungen beeinflussen das Arbeitsergebnis



3 Bahnfehler bei Richtungsänderungen

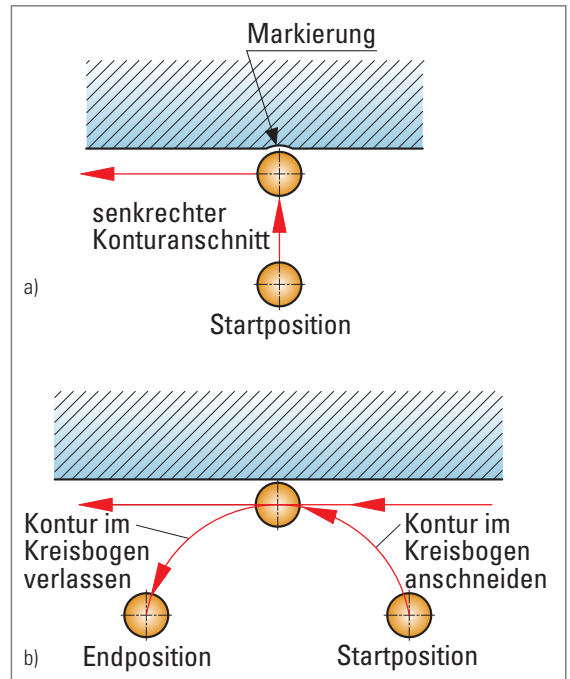
- Bei Richtungsänderungen können die Abstoßkräfte zu Abweichungen von der programmierten Bahn führen (Bild 3). Die Bahnabweichungen (*path deviations*) lassen sich reduzieren, wenn der Abstand der beiden Drahtführungen möglichst gering und die Drahtspannkraft möglichst hoch gewählt werden. Die Steuerungen verfügen über Abstoß- und Geschwindigkeits-Regleinrichtungen, die durch Analyse

der abzutragenden Volumina (Bild 4) in den Nachschnitten sehr hohe Bahngenaugigkeiten erzielen.



4 Abtragsvolumina an unterschiedlichen Stellen beim Nachschneiden

- Beim senkrechten Anschneiden einer zu schichtenden Kontur im Nachschnitt kann eine Markierung (*mark*) entstehen, weil der Drahtvorschub beim Erreichen der Endkontur einen Moment stillsteht und dadurch zu viel Material von der Kontur abgenommen wird (Bild 5a). Durch das An- und Abfahren im Kreisbogen können solche Markierungen verhindert werden (Bild 5b).



5 a) falsches und b) richtiges Anschneiden beim Nachschneiden sehr präziser Konturen

- Sollen scharfe Ecken entstehen und der Drahtvorschub bei der Richtungsänderung auch nicht auf Null sinken, kann die Ecke mit einer Schleife (*loop*) (Seite 359 Bild 1) geschnitten werden. Dabei wird der Schleifendurchmesser nicht größer

1.2.2 CAE

Computer Aided Engineering ermöglicht eine rechnergestützte Produktentwicklung (*product designing*). Mit entsprechender Software lassen sich die im CAD entwickelten Produkte auf zahlreiche Eigenschaften untersuchen. Die Finite-Element-Methode (FEM) erlaubt es beispielsweise, Blechdicken, die beim Tiefziehen entstehen, vorzubestimmen (Bild 1). Aufgrund dieser Daten wird der Fertigungsprozess oder – sofern möglich – das Produkt verändert und angepasst.

Weitere rechnergestützte Anwendungen im CAE-Bereich sind z. B.:

- Füllsimulationen von Spritz- und Druckgießwerkzeugen (Bild 2)
- Simulation von Fertigungsprozessen
- Ein- und Ausbauuntersuchungen
- Kollisionsprüfungen (*collision checks*)
- Strömungssimulationen (*flow simulations*)
- Akustikuntersuchungen (*acoustic tests*)
- Schwingungssimulationen (*vibration simulations*)

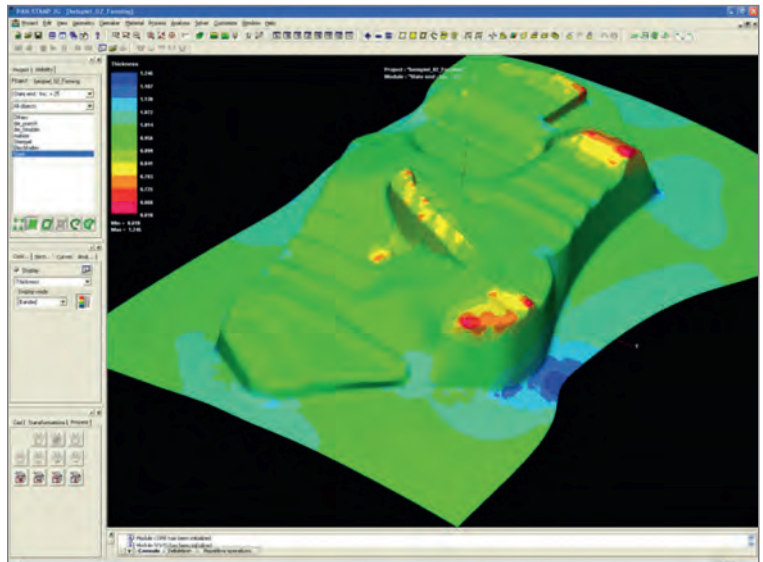
Alle diese Untersuchungen liefern bei fachgerechter Anwendung brauchbare Ergebnisse, obwohl das Produkt bis zu diesem Zeitpunkt nur digital existiert. Auf dieser Grundlage ist es möglich, die Produkte schon in der Planungsphase zu optimieren.

Später werden die Eigenschaften der realen Produkte geprüft. Weichen sie beachtlich von den vorausgerechneten ab, fließt das in die Weiterentwicklung der rechnergestützten Anwendungen ein. Dadurch erfolgt eine ständige Optimierung der Software, wodurch sich deren Vorausberechnungen zunehmend der Realität annähern.

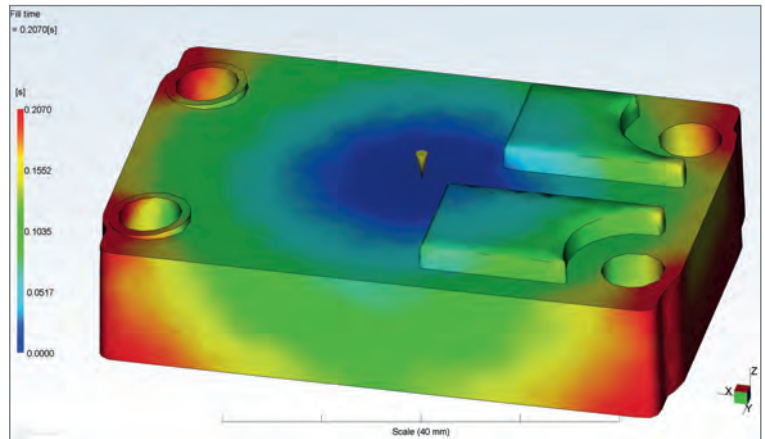
1.2.3 CAP

Mithilfe von **Computer Aided Process Planning** erfolgt eine rechnergestützte Fertigungsprozess-Planung (*computer-based manufacturing process planning*). Die eingesetzten Programme nutzen die vorhandenen CAD-Daten zur

- Terminplanung (*scheduling*)
- Personalplanung (*human resources planning*) für die Fertigung (z. B. Überstunden)



1 Berechnete Blechdicke, die durch Tiefziehen entstehen würde



2 Füllanalyse einer Spritzgießform mit einem Anguss

- Planung der Maschinenbelegung (*machine scheduling*) und deren Optimierung unter verschiedenen Bedingungen (z. B. Durchführung eines Eilauftrags)
- Planung von erforderlichen Fertigungsvorrichtungen und deren Bereitstellung
- Planung des Materialbedarfs (*material requirement*), der Materialbereitstellung (*material provision*) und des Materialflusses
- Bereitstellung von Norm- und Zukaufteilen

MERKE

Das Ziel von CAP besteht darin, Produktdurchlaufzeiten (*cycle times*) zu minimieren sowie Planungszeiten und -kosten durch die Rechnerunterstützung zu reduzieren.