

# Einsatz von LS-DYNA bei der Blechumformung - Praxisbeispiele

Michael Welle

Progress-Werk Oberkirch AG, Oberkirch, Deutschland

## **Abstract:**

Seit gut drei Jahren werden bei der Progress-Werk Oberkirch AG Umformsimulationen im Hause durchgeführt. Zum einen soll damit eine Verringerung von Ausprobeschleifen im Werkzeugbau und somit eine Steigerung der Produktivität erreicht werden. Zum anderen wird versucht, gerade auch im Hinblick auf immer komplexer werdende Teilegeometrien, durch die Simulation von aufwendigen Ziehprozessen eine Verbesserung der Prozesssicherheit herbeizuführen.

Im nachfolgenden Artikel werden zwei Beispiele aus dem Produktsegment herausgegriffen und die Vorgehensweise, den Nutzen als auch die Probleme einer Umformsimulation näher erläutert.

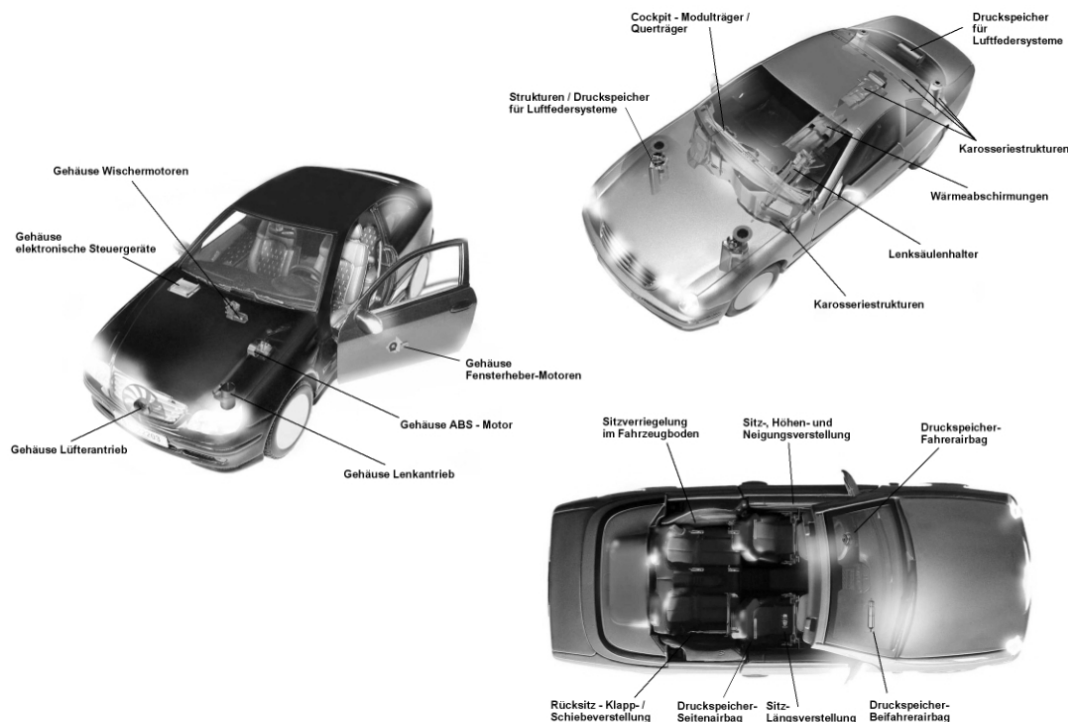
## **Keywords:**

Umformsimulation, mehrstufiges Tiefziehen, Blechumformung

## 1 Progress-Werk Oberkirch AG

PWO wurde 1919 in Stadelhofen bei Oberkirch, am Rande des Schwarzwaldes, gegründet. Progress-Luftpumpen, "Strolch"- und "Progress"-Motorroller sowie PWO-Feldkochherde machten das Unternehmen international bekannt.

Seit Mitte der 90er Jahre erfolgte eine konsequente Restrukturierung der Kerngeschäftsfelder mit der Ausrichtung auf die Automobilindustrie. Für diese entwickelt und produziert PWO Komponenten und Bauteile für verschiedene Anwendungsbereiche. Dies sind vorwiegend dokumentationspflichtige Sicherheitsteile für Fahrwerk, Lenkung, ABS- und Airbagsysteme sowie mechanische Komponenten für elektrische Antriebe und elektronische Steuerungen. Aus der intelligenten Kombination komplexer Verfahren der Umform-, Verbindungs- bzw. Montagetechnik entstehen darüber hinaus einbaufertige Komponenten und Baugruppen für die Fahrzeugkarosserie.



*Bild 1: Kerngeschäftsfelder – mechanische Komponenten für Elektrik/Elektronik, Strukturkomponenten und Sicherheitskomponenten*

Dabei sind folgende Merkmale für die Produkte kennzeichnend:

- eine komplexe Umformung
- Einsatz hochwertiger Verbindungstechnologien
- Einbindung von automatisierter Montage- und Prüftechnik

PWO ist seit über 30 Jahren als Zulieferer der Automobilindustrie erfolgreich. Der Kundenkreis umfasst neben den bekannten Automobilherstellern zahlreiche namhafte Systemlieferanten. Im Jahr 2004 beschäftigte der PWO-Konzern rund 1200 Mitarbeiter und hat erstmals die Umsatzmarke von 200 Mio. EUR überschritten. In Kanada und Tschechien ist PWO mit eigenen Standorten präsent, darüber hinaus bestehen noch weltweite Kooperationen.

Seit nun mehr als drei Jahren führt PWO Umformsimulationen selbst im Hause durch. Hierbei kommt die Programmkombination Altair HyperForm / LS-DYNA zum Einsatz. Im folgenden werden nun zwei Beispiele für die Umformsimulation anhand typischer Produkte beschrieben.

## 2 Praxisbeispiele

### 2.1 Strukturbauteil

Ein großes Segment in der Produktpalette bei PWO nehmen die sogenannten Strukturkomponenten ein. Bei dem nachfolgend beschriebenen Bauteil handelt es sich um ein Abschirmblech im Lenkungsbereich. Die Fertigung erfolgt mit dem Werkstoff DX54D+ZA bei einer Blechstärke von einem Millimeter. Hergestellt wird das Bauteil in einer Doppelfertigung, wobei die Teile nicht spiegelbildlich sind. Die Ziehlage ist aufgrund unterschiedlicher Fertigungsbedingungen (wie z.B. Werkzeugabmaße, Beschneide- bzw. Falzoperationen) bereits vorgegeben.

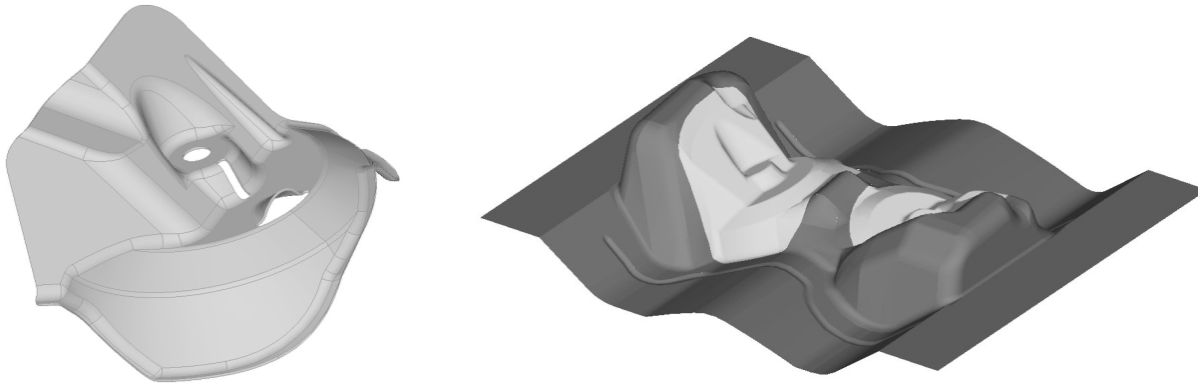


Bild 2: Endprodukt (links) und Anordnung bei Doppelfertigung (rechts)

Der Stadienplan sieht vor, dass die Form mit einem Ziehwerkzeug hergestellt wird. Dabei wird die Platine zunächst zwischen Matrize und Niederhalter geklemmt. Anschließend fährt die Matrize mit der geklemmten Platine über den Stempel. Um Einfluss auf den Materialfluss nehmen zu können, werden sog. Bremsstempel eingesetzt. Diese halten die Platine im Außenbereich zurück und verhindern so ein unkontrolliertes Nachfließen des Werkstoffs. Gesteuert werden die Bremsstempel mittels variabel einstellbaren Gasdruckfedern, um unterschiedliche Bremswirkungen erzielen zu können.

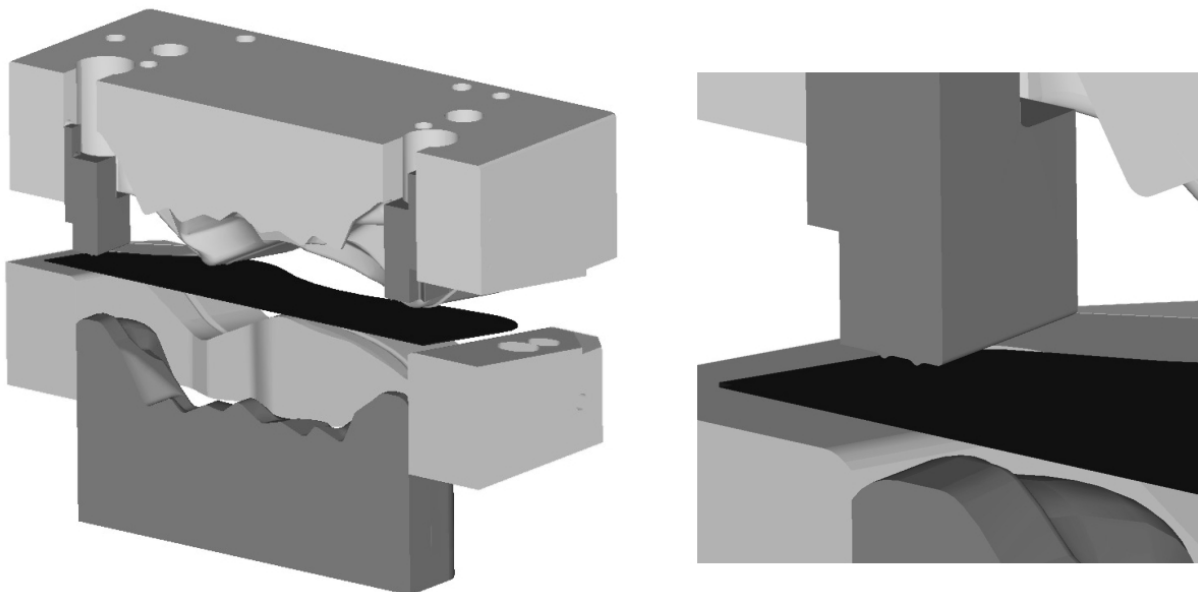


Bild 3: Werkzeugaufbau (links) und Detailansicht des Bremsstempels (rechts)

Die korrekte Funktion der Bremsstempel mit Hilfe der Simulation abzubilden, stellte sich als sehr problematisch heraus. Die Bremswirkung wird im Werkzeug nicht durch eine ebene Fläche, sondern

durch zwei sog. Bremswülste mit relativ kleinen Radien erzielt. Für die Simulation erwies sich die Modellierung dieser Bremswülste allerdings nicht als sinnvoll, da die Kontaktalgorithmen versagten und es zu unerwünschten Durchdringungen bzw. zu Programmabbrüchen kam. Daher wurden die Bremswülste nicht modelliert, sondern die Bremswirkung allein über das Einstellen des Reibwertes erzeugt. Dies erfolgte im Abgleich mit einem bereits aufgebauten Versuchswerkzeug. Somit konnte eine realistische Abbildung der Bremswirkung erzielt werden. Die Bremsstempel sind im Werkzeug in der Matrize eingebaut und durch Anschläge in ihrer Bewegung begrenzt. Diese Relativbewegung zur Matrize wurde in LSDYNA über eine Kontaktformulierung gelöst, da mit der Kontrollkarte \*RIGID\_BODY\_STOPPER zwar die Bewegungen eines *Rigid Body* begrenzt werden können, jedoch nicht die Bewegung relativ zu einem anderen *Rigid Body*.

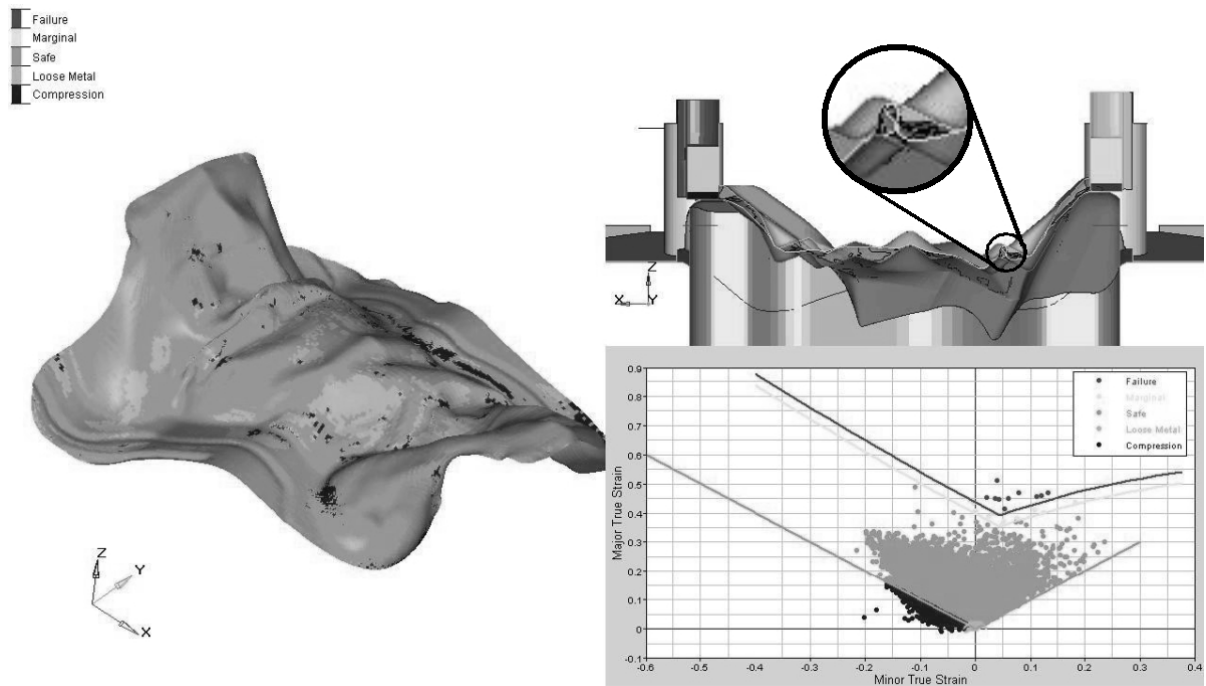


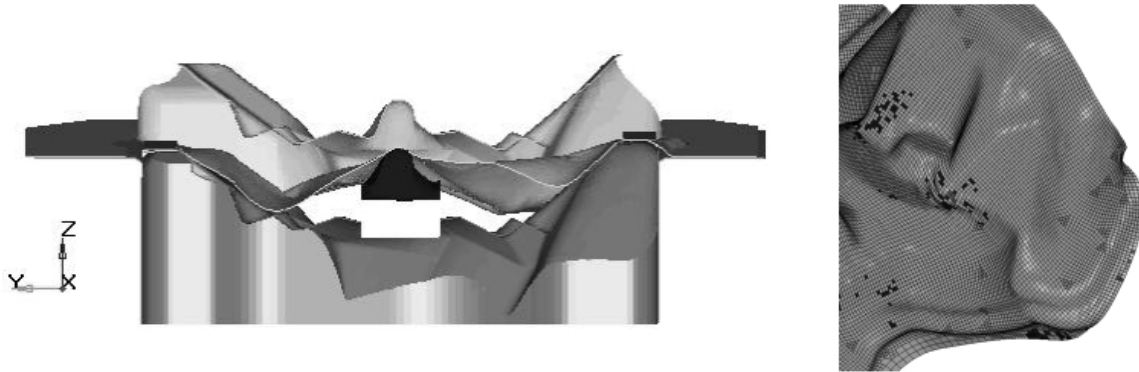
Bild 4: Ergebnis der ersten Simulation kurz vor UT; in der Schnittansicht ist die entstehende Materialdoppelung gekennzeichnet

Erste Simulationen des Strukturbauteils zeigten, dass mit massiver Faltenbildung bzw. Materialdoppelungen zu rechnen ist. Dies ist ursächlich in der Ziehlage mitbegründet, da diese aber fertigungsbedingt bereits festgelegt war, wurden, um ein faltenfreies Ziehen zu ermöglichen, folgende Lösungsansätze diskutiert:

- Verstärkung bzw. Optimierung der Bremsricke um die Wirkung zu erhöhen (so könnte die Sicke z.B. an mehreren Stellen noch näher an der Produktgeometrie verlaufen)
- Einsatz eines beweglichen Verdrängungsstempels (um der Entstehung der Faltenbildung bereits zu Beginn entgegenzuwirken)
- Steuerung des Materialflusses mittels einer optimierten Geometrie der Platine bzw. deren Lage beim Einlegen in das Werkzeug

Die unterschiedlichen Ansätze wurden zunächst einzeln simuliert, um den Einfluss auf das Ergebnis besser nachvollziehen zu können. Es zeigte sich, dass der Einsatz eines vorlaufenden Verdrängungsstempels die größte Wirkung erzielt. Leider ist es jedoch nicht möglich das erforderliche Federpaket im Werkzeug zu verbauen. Daher musste auf die Variante mit einem feststehenden Verdrängungsstempel ausgewichen werden. Zusätzlich wurde die Bremsricke verstärkt und die Platinengeometrie optimiert.

Durch diese Eingriffe ist es gelungen Materialdopplungen zu vermeiden, obwohl durch die bereits gegebenen Fertigungsbedingungen nur wenig Spielraum für Veränderungen am Ziehprozess blieb.



*Bild 5: Schnittansicht des Werkzeugs mit vorlaufendem Verdrängungsstempel (links); erzielt Ergebnis ohne vorlaufenden Verdrängungsstempel (rechts)*

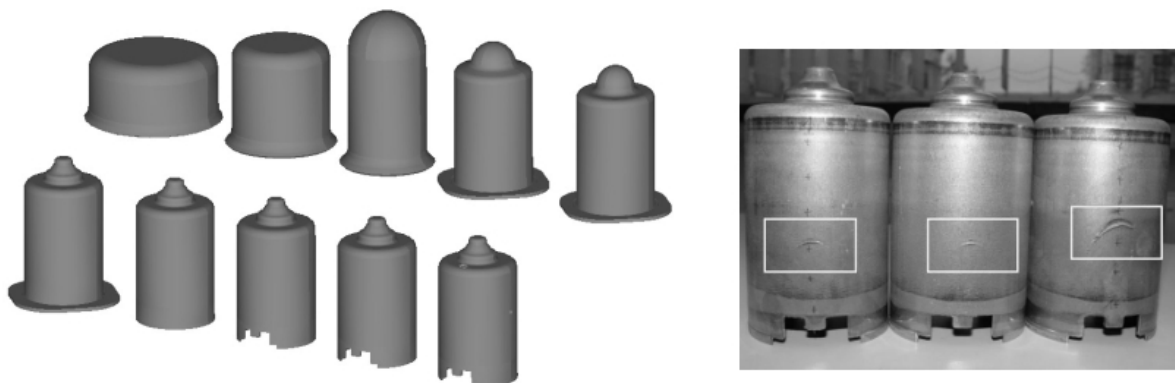
Die Simulation wurde auf einer HP-Workstation mit zwei CPUs durchgeführt. Die durchschnittliche Berechnungszeit lag bei 2 Stunden und 45 Minuten. Aufgrund der geforderten Vorhersagegenauigkeit von Falten bzw. Materialdoppelungen mussten relativ kleine Elemente verwendet werden, was sich in der Rechenzeit bemerkbar machte.

## 2.2 Motorengehäuse

Ein weiteres typisches Bauteil für die Produktsegmente der PWO AG sind Gehäuse für Elektromotoren (z. B. für elektrische Fensterheber oder Sitzverstellungen). Diese Bauteile zeichnen sich oft durch eine große Ziehhöhe im Vergleich zum Durchmesser aus. Gleichzeitig werden hohe Anforderungen bezüglich der Toleranzen gestellt.

Bei dem nachfolgend beschriebenen Bauteil handelt es sich um ein Rundmotorengehäuse. Es wird mit einer Blechstärke von drei Millimetern aus dem Werkstoff DX54D+ZA hergestellt.

Während einer laufenden Fertigung traten an einigen Teilen Materialdoppelungen bzw. Querrisse auf. Mit Hilfe der numerischen Simulation sollte abgeklärt werden, ob Rückschlüsse vom Materialfluss auf die Materialdoppelungen gezogen werden können. Hierzu wurden von dem insgesamt 6-stufigen Ziehprozess die ersten 3 Ziehoperationen simuliert, da sie entscheidend für den versagenden Bereich sind.



*Bild 6: Stadienplan (links) und Teile mit Materialdopplungen bzw. Querrisse (rechts)*

Mit Hilfe der Simulation konnte das auftretende Materialversagen nicht abgebildet werden. Es zeigten sich keinerlei Tendenzen, die auf Fehlerstellen hinweisen könnten. Die beim realen Ziehprozess auftretenden Effekte konnten mit Hilfe der Simulation leider nicht erfasst werden. Parallel hierzu liefen auch Untersuchungen bezüglich des gesamten Prozesses und des Materials.

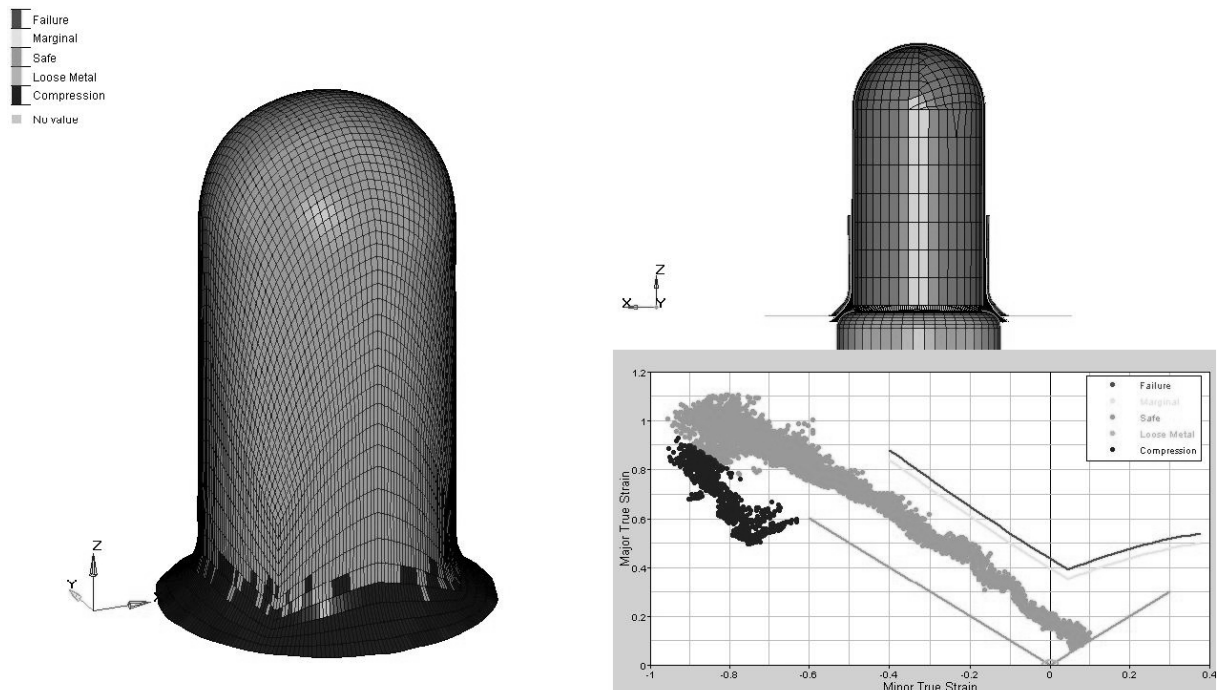


Bild 7: Ergebnisse des 3. Ziehens lassen keinen Rückschluss auf mögliches Materialversagen zu

Jedoch ergaben sich aus der Ergebnisauswertung weitere Aussagen bezüglich der Genauigkeit der Simulation von mehrfach gezogenen runden Bauteilen.

Die Simulation wurde mit den Materialmodellen MAT36 und MAT37 durchgeführt. Für die Blechdickenverteilung und die Formänderung ergeben sich nur geringe Unterschiede und die Ergebnisse der untersuchten Ziehstufen stimmen gut mit den messtechnisch ermittelten Werten überein. Für den Flanschbereich unterscheiden sich die Ergebnisse von MAT36 bzw. MAT37 erwartungsgemäß, jedoch nimmt die Genauigkeit der Ergebnisse mit aufsteigender Ziehstufe ab.

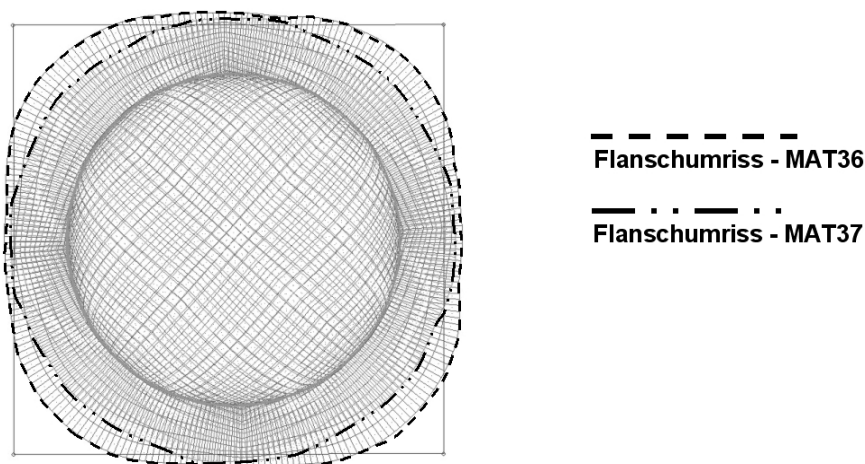


Bild 8: ermittelte Flanschform weicht beim 3. Ziehen von den Ist-Maßen (Rechteck) ab

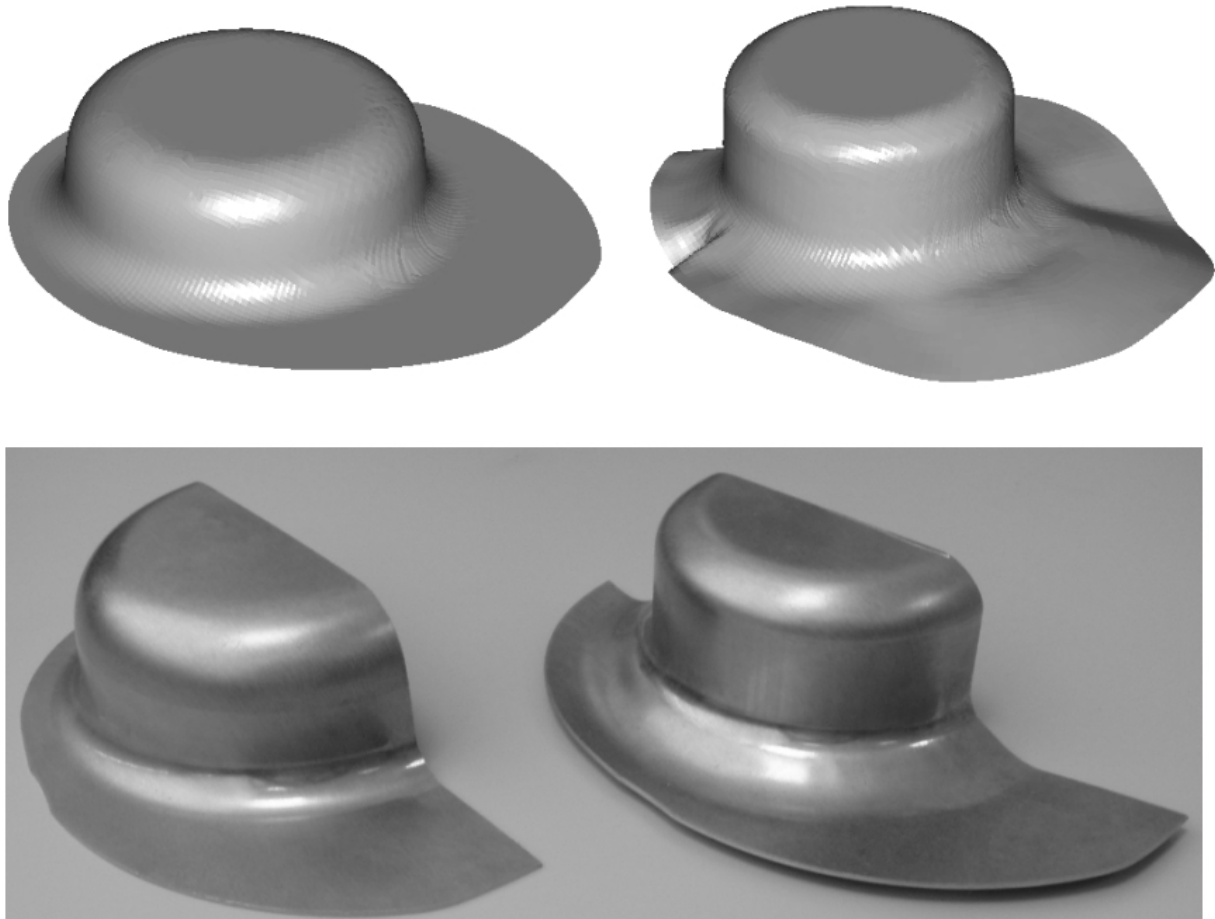
Beim 1. Ziehen stimmen die Maße noch gut mit dem realen Bauteil überein. Beim 2. Ziehen stimmen Ziehhöhe und Flanschform noch überein, jedoch ist bereits eine Differenz beim Flanschdurchmesser festzustellen. Dabei wird die Form des Flansches bei den ersten beiden Zügen mit MAT36 etwas besser wiedergegeben. Beim 3. Ziehen kann die Flanschform mit MAT37 nicht mehr richtig abgebildet werden. Dies gelingt zwar mit MAT36, jedoch wird der Flansch zu groß dargestellt. Der Unterschied zum realen Bauteil beträgt auf allen Seiten zwischen zwei und drei Millimetern. Ziehhöhe und Durchmesser im zylindrischen Bereich können dagegen zufriedenstellend ermittelt werden.

Bei diesem Beispiel wurden allerdings nur die ersten drei Ziehstufen untersucht. Da dieser Effekt jedoch schon bei anderen mehrstufigen Simulationen runder Ziehteile zu beobachten war, ist zu erwarten, dass sich die Abweichungen im Flanscbereich noch verstärken werden.



*Bild 9: Vergleich der ermittelten Flächen mit den Bauteilen*

Ein weiterer Effekt, der sich bei rotationssymmetrischen Bauteilen einstellen kann, ist die überzeichnete Faltenbildung im Flanschbereich (siehe Bild 10). Beim Beispiel „Motorengehäuse“ ist dies beim 3. Ziehen schon leicht zu erkennen. Bei weiteren Zügen, würde dieser Effekt noch verstärkt werden. Nach eigenen Erfahrungen hat das Verhältnis von Ziehhöhe, Durchmesser und Blechstärke auf diesen Effekt einen hohen Einfluss. Bei realen Bauteilen tritt dieses Phänomen allerdings so nicht auf. Eine genaue Vorhersage des Flanschbereichs bezüglich Form und Maße ist zur Zeit bei mehrstufigen Ziehoperationen äußerst schwierig.



*Bild 10: deutlich ist die überzeichnete Faltenbildung beim 2. Ziehen zu erkennen*

Des weiteren weisen viele Bauteile aus dem PWO-Produktspektrum sehr hohe Ziehhöhen in Verbindung mit relativ kleinen Radien auf. Bei einer Mindestanzahl von vier Elementen über den Radius bedeutet dies oft eine extrem hohe Netzauflösung um die feinen Radien noch abbilden zu können. Dies bedeutet jedoch häufig ein sehr kritisches Verhältnis von Elementkantenlänge zu Blechdicke. Nach eigenen Erfahrungen kann es bei solch schwierigen geometrischen Verhältnissen zum einen zu numerischen Instabilitäten (z.B. Probleme mit den Kontaktalgorithmen) beim Rechenlauf kommen. Zum anderen werden nach bisherigen Erkenntnissen die erreichten Dehnungsverhältnisse überzeichnet dargestellt, d.h. ein ermitteltes Materialversagen tritt erst zu einem späteren Zeitpunkt auf. Momentan muss hier noch sehr stark auf experimentelle Untersuchungen zurückgegriffen werden, da die vorhandene Datengrundlage zu gering ist um allgemeingültige Schlüsse ziehen zu können.



### 3 Zusammenfassung

Der Einsatz der Umformsimulation mit LS-DYNA hat sich bei PWO schon nach kurzer Zeit bewährt. Es können damit auch komplexe Werkzeugabläufe, wie zusätzliche Stempelbewegungen oder der Einsatz von Schieberwerkzeuge, abgebildet werden. Aber auch Simulationen von nachfolgenden Bearbeitungsverfahren, wie z.B. Rollieren oder Falzen können damit umgesetzt werden.

Die Ergebnisse der Simulation stimmen bei Formänderung, Ziehhöhe, Faltenbildung und Blechdicke auch für mehrstufige Ziehprozesse gut mit den messtechnisch ermittelten Daten überein. Im Bereich des mehrstufigen Ziehens ergeben sich aber im Flanscbereich Maß- und Formabweichungen, die nicht zufriedenstellend sind. Gerade im Hinblick auf die hohen Stückzahlen bei der Fertigung von Motorengehäusen wäre eine bessere Prognosefähigkeit wünschenswert.

Bei Bauteilen, die enge Radien und eine hohe Blechdicke aufweisen, werden die ermittelten Dehnungsverhältnisse nach eigenen Erfahrungen überzeichnet dargestellt. Aufgrund der kritischen Verhältnisse von Elementkantenlänge zur Blechdicke muss hinterfragt werden, ob die zugrunde liegenden mathematischen Ansätze hier noch Gültigkeit haben. Eine Möglichkeit wäre die Simulation mit Volumenelementen durchzuführen. Bei den aber dafür momentan notwendigen Rechenzeiten ist diese Alternative im Tagesgeschäft zur Zeit nicht relevant.

