

# Entwicklung und Untersuchung eines modularen Werkzeugkonzeptes auf Basis von Kunststoffelementen

DIPLOMARBEIT

von

Roland Süß



Technische Universität Graz

Institut für Werkzeugtechnik & Spanlose Produktion

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Kolleck

**Betreuer:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Kolleck

Graz, November 2010

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 23. November 2010

(Unterschrift)

Englische Fassung:

## STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, November 23<sup>rd</sup> 2010

(signature)

## Danksagung

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Werkzeugtechnik & Spanlose Produktion. Ich möchte mich hiermit bei all jenen Menschen bedanken, die zum Erfolg dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gebührt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing Ralf Kolleck, der maßgeblich daran beteiligt war, dass diese Arbeit zu einem vollen Erfolg wurde.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meinen Kolleginnen und Kollegen am Institut bedanken.

Ein ganz besonderes Danke gilt natürlich meinen Eltern, ohne deren finanzielle Hilfe ich das Studium für Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen nie begonnen und abgeschlossen hätte.

Ein weiterer großer Dank geht an meine Lebensgefährtin Susanne Wiedner, die mir mental immer zur Seite stand und mich immer unterstützt hat.

## Kurzfassung

Die momentan am Markt befindlichen Systeme im Bereich der Blechumformung mit Gummikissen sind nicht geteilt ausgeführt. Bedingt durch diese Bauart, muss das verwendete Gummikissen bei Verschleiß vollständig getauscht werden. Der damit verbundene Aufwand ist daher dementsprechend hoch.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Machbarkeitsanalyse über einen modularen Aufbau eines Tiefziehwerkzeuges aus Kunststoffelementen durchgeführt.

Die Auswahl geeigneter Kunststoffe für die Gummikissenumformung wurde mittels einer Nutzwertanalyse durchgeführt. Um im Weiteren das Verhalten der Kunststoffe während der Umformung beschreiben zu können, werden Federkennlinien der einzelnen Kunststoffe aufgenommen. Die Erkenntnisse aus diesen Voruntersuchungen werden anschließend auf die Geometrie eines Realbauteiles übertragen. Aufbauend auf dieser Geometrie wurde ein speziell angepasstes Werkzeug konstruiert und gebaut.

Mit Hilfe einer geeigneten Versuchsreihe zur Blechumformung mittels Gummikissen wird die Machbarkeit, bei gleichbleibender Qualität der Bauteile, getestet. Die Machbarkeit wird ausschließlich empirisch ermittelt, da übliche Simulationstools dieses Sonderverfahren nur bedingt abbilden können. Der Vergleich konventioneller Tiefziehbauteile mit den Gummikissen gefertigten Bauteilen erfolgt über eine GOM-Vermessung. Abschließend erfolgt eine Technologiebewertung hinsichtlich Machbarkeit und Qualität.

## Abstract

The current commercial systems available in the field of sheet metal forming by utilization of rubber pads are not designed in separate elements. Due to this design form, the rubber pads in place must be replaced completely after excessive wear. The work effort required to do so is accordingly high.

In the course of this work, a feasibility study was conducted over a modular design of a deep-drawing tool made up of plastic components.

The selection of suitable plastics for the rubber pad forming was carried out with a cost-utility analysis. To further evaluate the behavior of each plastic material during the forming process, the spring characteristic of each material was recorded. The findings out of these preliminary examinations were then applied to the geometry of an actual part. Based on this geometry, a specially adapted tool was developed and constructed.

With the aid of suitable test run for sheet metal forming using rubber pads the feasibility was tested, also looking at the consistency in quality of parts produced. Only empirical findings were used to determine the feasibility, due to the fact that typical simulation tools have limitations in regards to displaying this special process. The comparison of conventionally made deep drawn parts to the rubber pad manufactured parts was completed with the help of a GOM-measurement. Finally, a technology assessment in regards to feasibility and quality was performed.

---

# Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen .....	1
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Stand der Technik.....</b>	<b>3</b>
2.1 Verfahrensprinzipien Tiefziehen .....	3
2.1.1 Tiefziehen mit starrem Werkzeug .....	3
2.2 Blechumformen mittels Wirkmedium.....	6
2.2.1 Hydromechanisches Tiefziehen.....	6
2.2.2 Fluidzell – Umformung .....	8
2.3 Blechumformen mittels nachgiebigen Werkzeugen.....	9
2.3.1 Gummikissenverfahren ohne Tauchplatte .....	10
2.3.2 Guérin Verfahren .....	10
2.3.3 Marformverfahren .....	11
2.3.4 Verson – Wheelon Verfahren.....	12
2.3.5 Gummikissenverfahren.....	13
2.3.6 Sonderverfahren mit nachgiebigen Kissen.....	14
2.3.6.1 Umformung mit elastischer Matrize.....	14
2.3.6.2 V- Biegen mit PU- Elementen.....	15
2.3.7 Werkzeugwerkstoffe für nachgiebige Kissen .....	16
2.3.8 Werkzeugwerkstoff Polyurethane .....	17
2.3.9 Härtemessung bei Elastomeren .....	19
2.4 Verwendete Bleche beim Tiefziehen mit Kunststoffen .....	20
<b>3 Zielsetzung der Arbeit.....</b>	<b>21</b>
<b>4 Kunststoffauswahl .....</b>	<b>23</b>
4.1 Nutzwertanalyse .....	23
4.2 Eigenschaften Raku-Tool .....	25
<b>5 Aufbau Grundlagenwerkzeug .....</b>	<b>26</b>
5.1 Vordimensionierung des Werkzeugs.....	26
5.2 Konstruktion des Grundlagenwerkzeuges .....	27
5.3 Herstellung des Kunststoffes.....	28
5.4 Eigenschaften beim Tiefziehen .....	30

---

5.4.1	Versuchsaufbau für die Federkennlinie .....	31
5.4.2	Auswertung.....	32
5.5	Versuchsaufbau Grundlagenversuch .....	33
5.5.1	Versuchsprogramm.....	34
5.5.2	Vermessung der Bauteile.....	34
5.5.3	Auswertung der Bauteile.....	35
5.6	Erkenntnis.....	40
<b>6</b>	<b>Konstruktion des Werkzeuges skalierter Tank.....</b>	<b>41</b>
6.1	Zusammenstellungszeichnung des Werkzeuges .....	41
6.2	Ausführung des Koffers.....	42
6.3	FE Berechnung des Koffers .....	43
6.4	Niederhalter .....	45
<b>7</b>	<b>Versuchsdurchführung mit ausgewähltem Werkzeug.....</b>	<b>46</b>
7.1	Versuchsanordnung .....	46
7.2	Versuchsdurchführung.....	47
7.2.1	Neuanordnung der Elastomere.....	49
7.2.1.1	Materielauswahl für modularen Niederhalter .....	52
7.2.2	Versuchsdurchführung mit Robinienholz.....	53
7.2.3	Neuanordnung der Robinie.....	54
7.2.4	Versuch mit konturnahem Blech.....	57
7.2.5	Anpassung der Platinengeometrie.....	59
7.3	Auswertung des Bauteils .....	60
7.4	Versuchsdurchführung mit Robinienstempel.....	62
<b>8</b>	<b>Kostenvergleich eines konventionellen Werkzeuges zu einem Elastomerwerkzeug .....</b>	<b>64</b>
8.1	Berechnungsmethode der Herstellkosten .....	64
8.1.1	Ermittlung der Kosten für Material .....	64
8.1.2	Ermittlung der Fertigungslöhne.....	65
8.1.3	Ermittlung des angemessenen Teils der Fertigungs- und Materialgemeinkosten.....	65
8.2	Berechnung der Herstellkosten für konventionelles Tiefziehen .....	65
8.2.1	Ermittlung des Fertigungsmaterials .....	65
8.2.2	Ermittlung der Fertigungslöhne.....	66

---

---

8.2.3	Ermittlung der Gemeinkosten.....	66
8.2.4	Berechnung der Herstellkosten .....	67
8.3	Berechnung der Herstellkosten für Elastomerwerkzeug .....	67
8.3.1	Ermittlung des Fertigungsmaterials .....	67
8.3.2	Ermittlung Stahl, Koffer und Grundplatte .....	67
8.3.3	Berechnung der Elastomere.....	68
8.3.4	Berechnung Robinie.....	68
8.3.5	Ermittlung der Fertigungslöhne.....	68
8.3.6	Ermittlung der Gemeinkosten.....	69
8.3.7	Berechnung der Herstellkosten .....	69
8.4	Vergleich der Herstellkosten .....	70
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>72</b>
10.1	Datenblatt RAKU Tool .....	72
10.2	Analyse der FE- Simulation .....	74
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>83</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>86</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>87</b>

**Formelzeichen**

F	mm <sup>2</sup>	Fläche
R	mm	Radius
p	N/mm <sup>2</sup>	Druck
P	N	Kraft
m	kg	Masse
V	m <sup>3</sup>	Volumen
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte
FMK	€	Fertigungsmaterialkosten
k	€/kg	Preis pro Kilogramm
R <sub>e</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Streckgrenze
R <sub>m</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit
$\sigma_B$	MPa	Bruchfestigkeit
H	Shore C	Härte Elastomer
h	mm	Kissenhöhe

## 1 Einleitung

Die Kundenansprüche bezüglich Komplexität, Wirtschaftlichkeit und Qualität am Tiefziehteil in der Luftfahrt- und Automobilindustrie werden immer höher. Insbesondere gilt dies bei einer Produktionsstückzahl von weniger als 500 Stück im Jahr. Der Markt fordert im Bereich der Kleinserienfertigung individuelles Design und komplexe Formen, um sich von der Masse abzuheben.

*Kundenansprüche*

Im Bereich der Produktion werden deshalb Lösungen zur wirtschaftlichen Fertigung kleinerer Stückzahlen unerlässlich. Das zentrale Thema jeder Kleinserienfertigung ist daher die Reduktion der Herstellkosten pro Bauteil. Diese Kosten setzen sich aus der Anschaffung von Umformmaschinen, den Verbrauchsstoffen und dem Faktor Werkzeug zusammen. Die Kosten der Umformmaschinen und der Verbrauchsstoffe fließen nur zu einem geringen Teil in die Herstellkosten ein. Der hauptsächliche Einflussfaktor ist das Material des Umform- und Beschnittwerkzeuges und dessen Bearbeitung. Aufgrund dieser Tatsache ist es zwingend erforderlich die Kosten von Werkzeugen zu reduzieren um speziell für Kleinserien am Markt wettbewerbsfähig zu sein. Das Werkzeug und damit die Kosten eines solchen sind maßgebend vom Werkzeugwerkstoff und der zu produzierenden Bauteile abhängig.

*Kosten der Bauteile*

Um die Herstellkosten pro Bauteil gering zu halten, ist es für den Bereich der Kleinserienfertigung notwendig, auf alternative Werkzeugkonzepte zurückgreifen zu können. Die Schwierigkeit bei der Wahl des Werkzeugkonzeptes besteht in der Auswahl des geeigneten Werkzeugwerkstoffes. Gleichzeitig darf jedoch der Kostenfaktor nicht außer Acht gelassen werden. Um dies zu ermöglichen wird ein Werkzeugkonzept gesucht, welches diesen Ansprüchen gerecht werden kann.

*Werkzeugkonzepte*

## 2 Stand der Technik

Das Tiefziehen zählt zu einem der wichtigsten Verfahren der Blechumformung im Bereich der Automobil- und Flugzeugindustrie. Dies ist laut Din 8584 eine Zugdruckumformung eines Blechzuschnittes in einen einseitig offenen Hohlkörper oder eines vorgezogenen Hohlkörpers ohne gewollte Dickenänderung des Bleches. [1]

*Tiefziehverfahren*

Das Tiefziehen gliedert sich in drei Bereiche wie Abbildung 1 zeigt.

*Einteilung Tiefziehen*

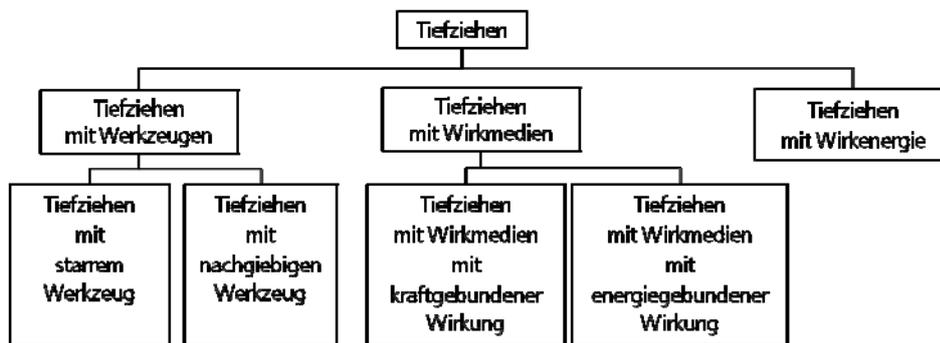


Abbildung 1: Gliederung der Tiefziehverfahren nach DIN 8584  
Quelle : Umformtechnik Band 3

In der Kleinserienfertigung werden dagegen oftmals Sonderziehverfahren eingesetzt. Hierbei handelt es sich um: Tiefziehen mit nachgiebigen Kissen, Tiefziehen mit Wirkmedien und in Sonderfällen das Tiefziehen mit starrem Werkzeug. Das Tiefziehen mit Wirkenergie wird im Bereich der Kleinserienfertigung kaum verwendet.

*Tiefziehverfahren für Kleinserienfertigung*

### 2.1 Verfahrensprinzipien Tiefziehen

#### 2.1.1 Tiefziehen mit starrem Werkzeug

Das Tiefziehen mittels eines starren Werkzeugs wird an einer kreiszylindrischen Platine, dem sogenannten Napf erläutert. Abbildung 2 zeigt den allgemeinen Aufbau eines Ziehwerkzeuges. Zu Beginn des Umformprozesses wird eine ebene Platine, mit der Dicke  $s_0$  auf den Ziehring gelegt. Durch den Stempel wird die Umformkraft eingeleitet und die Platine zu einem Napf umgeformt. Dies bewirkt in der

*Verfahrensablauf*

Hauptumformzone - dem Flansch - das Nachfließen des Werkstoffes im Niederhalterbereich. Nach Ende des Umformprozesses weist die Platine dieselbe Kontur wie der Stempel auf und dieser fährt wieder in die Ausgangslage zurück. Bei der Umformung mit starren Werkzeugen sollte in der Regel nicht auf den Niederhalter verzichtet werden, da dieser maßgeblich die Faltenbildung erster Ordnung verhindern kann. [2]

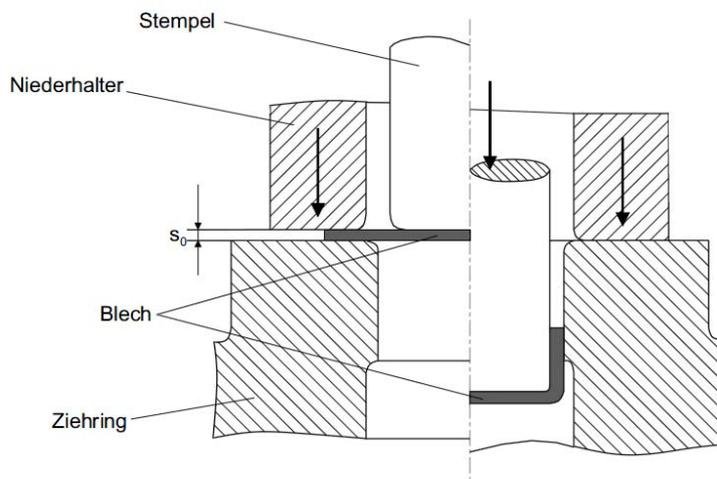


Abbildung 2: Tiefziehprozess  
Quelle: Fertigungsverfahren 4

Die zur Umformung des Bauteils benötigte Kraft wird über den Übergang Boden – Zarge eingeleitet. [2] *Kraftübertragung*

Die bei der Umformung auftretenden Spannungen sind in Abbildung 3 anhand eines Volumenelementes dargestellt. *Spannungsverteilung*

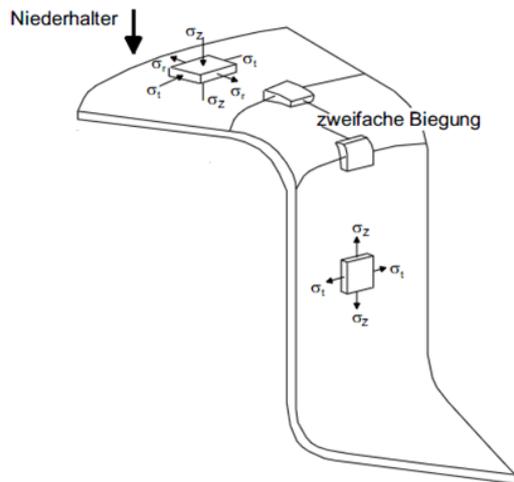


Abbildung 3: Spannungsverlauf Tiefziehen  
Quelle: Fertigungsverfahren 4

Im Flanschbereich treten radiale Zugspannungen  $\sigma_r$  und tangentielle Druckspannungen  $\sigma_t$  auf. Daher wird im Flanschbereich das Material in tangentialer Richtung gestaucht und in radialer Richtung gestreckt. Durch den Einsatz eines Niederhalters tritt im Flanschbereich keine Faltenbildung auf, da dieser eine Druckspannung in axialer Richtung  $\sigma_z$  aufbaut. Wird ohne Niederhalter gearbeitet, so tritt im Bereich des Flansches eine Faltenbildung auf. Im Bereich der Zieh-ringrundung herrscht eine doppelte Biegebeanspruchung. Das Blech wird auf dessen Radius gebogen. Beim Übergang in die Zarge kommt es zu einer Rückbiegung. In der Zarge herrschen axiale und tangentielle Zugspannungen. Die kritischste Stelle beim Tiefziehen ist die Stempelkantenrundung, da an dieser Stelle die Kraft eingeleitet wird. Dies bewirkt eine Ausdünnung des Bleches, was in weiterer Folge zu Rissen im Bauteil führen kann. [2]

*Auftretende Spannungen*

Das Verfahren des konventionellen Tiefziehens ist für die heutige Produktion bei einem Volumen von mehr als 15.000 Teilen im Jahr interessant, da sich die Werkzeugkosten und insbesondere die Materialkosten für Stahl und Grauguss ab dieser Stückzahl erst rechnen. Um auch Kleinserien wirtschaftlich herstellen zu können, werden laut heutigem Stand der Technik zwei Verfahren bevorzugt. Beide Verfah-

*Erforderliche Stückzahl beim konventionellen Tiefziehen*

ren beruhen auf dem gleichen Konzept. Es wird auf eine der zwei formgebenden Werkzeughälften verzichtet. Hierbei unterscheidet man das Umformen mit Wirkmedium (siehe Kapitel 2.2) und das Umformen mit nachgiebigen Werkzeughälften (siehe Kapitel 2.3). Der wirtschaftliche Vorteil dieser Verfahren liegt im Wegfall einer Werkzeughälfte (Matrize oder Stempel). [3]

Diese zwei Werkzeugkonzepte werden in den nächsten Abschnitten näher beschrieben.

## 2.2 Blechumformen mittels Wirkmedium

Im Segment der Blechumformung mit Wirkmedien wurden unterschiedliche Verfahrensvarianten entwickelt. Diese Verfahren beruhen alle auf dem gleichen Prinzip. Dem Wegfall einer Werkzeughälfte und dem Ersetzen durch ein Wirkmedium. [4]

*Verfahrensvarianten*

Wesentliche Vorteile dieser Verfahren gegenüber dem konventionellen Tiefziehen sind:

*Vorteile Wirkmedienumformung*

- Sehr gute Oberflächenbeschaffenheit der Bauteile
- Hohes Ziehverhältnis im Erstzug
- Kosteneinsparung durch Wegfall einer Werkzeughälfte [15]

### 2.2.1 Hydromechanisches Tiefziehen

Das hydromechanische Tiefziehen beruht auf dem Wegfall einer Werkzeughälfte, der Matrize. Das hydromechanische Tiefziehen wird anhand von Abbildung 4 erklärt. Der Ablauf gliedert sich laut [4] wie folgt:

*Verfahrensablauf*

1. Die Platine wird direkt auf das mit einem Wirkmedium gefüllte Unterwerkzeug gelegt.
2. Das Werkzeug wird geschlossen.
3. Das Wirkmedium formt das Werkstück gegen Stempel, hierbei entsteht der Wirkmediendruck im Wasserkasten durch das

Eindringen des Stempels. Die Druckregelung erfolgt über ein Drosselventil.

Beim aktiven hydromechanischen Tiefziehen erfolgt die Druckerzeugung über einen Druckübersetzer. Dadurch ist der Druckverlauf unabhängig von der Stempelbewegung.

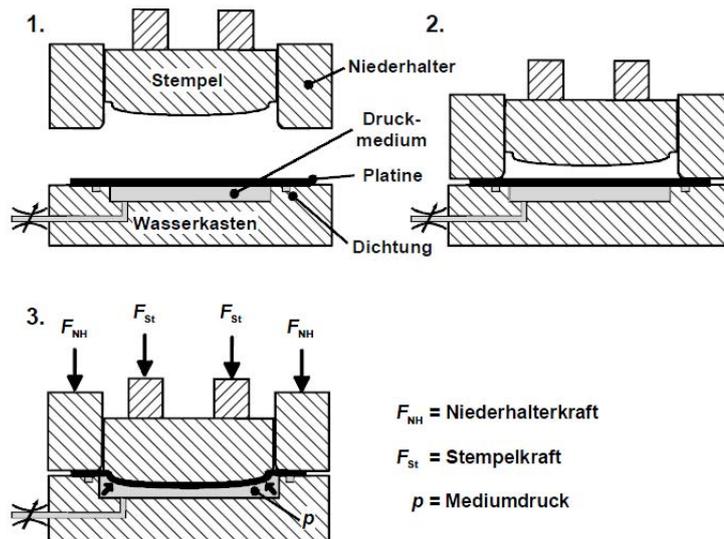


Abbildung 4: Aufbau des hydromechanischen Tiefziehens  
Quelle: Handbuch Umformtechnik

Aufgrund des geänderten Umformmechanismus (großflächig auf Ziehboden wirkender Druck) (Abbildung 5) lässt sich im Vergleich zum konventionellen Tiefziehen eine größere Kraft über die Zarge bis zum Boden übertragen. [4]

*Kraftübertragung*

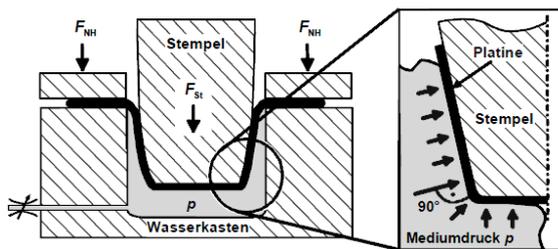


Abbildung 5: Darstellung des Druckes  
Quelle: Handbuch Umformtechnik

Der Vorteil des (aktiven) hydromechanischen Tiefziehens ist die Reduktion der Einarbeitungszeit. Desweiteren können mit demselben Werkzeug unterschiedliche Blechwerkstoffe und Blechdicken gezogen werden. [4]

*Vorteile hydromechanisches Tiefziehen*

Die Nachteile dieser Verfahren sind die relativ hohen Anschaffungskosten für die Umformpresse, Druckübersetzer, Wasserhydraulik und das Dichtungssystem. In weiterer Folge stellt die hohe Zykluszeit ein wesentliches Problem dar. Neben der „langsamen Umformung“ muss nach jedem Umformschritt der Wasserkasten wieder befüllt werden. [4]

*Nachteile hydromechanisches Tiefziehen*

### 2.2.2 Fluidzell – Umformung

Bei der Fluidzell-Umformung (Abbildung 6) wird eine Matrize als alleinige Werkzeugform verwendet. Hier wird kein Stempel benötigt. Das Blech wird durch eine Gummimembrane vom Wirkmedium, wie z.B. Öl, getrennt. Beim Fluidzellverfahren wird die Platine auf die starre Werkzeugform gelegt. [3] Das in dem Pressengehäuse eingebrachte Wirkmedium bewirkt ein Anpressen der Platine an die Werkzeugform. Aufgrund des Wirkmediendruckes können auch Hinterschnitte abgeformt werden. In diesem Fall muss jedoch das Werkzeug zweigeteilt ausgeführt werden, um die Platine entnehmen zu können. [5]

*Verfahrensablauf*

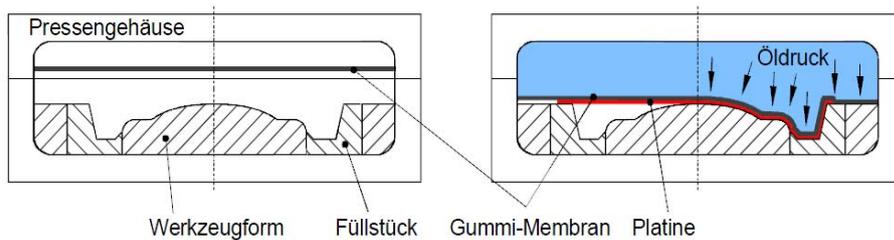


Abbildung 6: Fluidzellenverfahren  
Quelle: Dissertation Torsten Schell

Der Vorteil bei diesem Verfahren liegt in seiner hohen Wirtschaftlichkeit. Ein Bauteil ist im Vergleich zu einem mit konventionellen Tiefziehen hergestellten Bauteil um bis zu 85 % kostengünstiger und die Werkzeugkosten sind um ca. 70 % geringer. [5]

*Wirtschaftliche Vorteile  
Fluidzellverfahren*

Nicht nur die wirtschaftlichen Vorteile machen dieses Verfahren so interessant, sondern auch die vielen technologischen Vorteile:

*Technologische Vorteile  
Fluidzellverfahren*

- Keine Abstimmung von zwei Werkzeughälften
- Unterschiedliche Materialstärken sind herstellbar
- Werkzeugherstellung aus kostengünstigen Materialien
- Verminderung von Faltenbildung, besseres Fließen
- Keine Beschädigung wie z.B.: Riefen am umgeformten Bauteil
- Hohe Maßgenauigkeit
- Ausformung von Hinterschnitten möglich [5]

### 2.3 Blechumformen mittels nachgiebigen Werkzeugen

Ziel des Umformverfahrens mittels elastischen Stoffen ist es, eine über die Matrize gelegte Platine gegen dieses Medium mittels eines Stempels zu drücken. Dadurch wird das Blech an den Stempel und den Rundungen gedrückt und umgeformt. Die industriell häufig verwendeten Gummikissenumformungen werden im nachfolgenden Abschnitt erläutert. [6]

*Allgemeines Verfahrensprinzip*

### 2.3.1 Gummikissenverfahren ohne Tauchplatte

Abbildung 7 zeigt das älteste Verfahren in der Gummikissenumformung. Dieses Verfahren besteht aus einem Gummikissen, welches innerhalb des Koffermantels geführt wird, und dem Tischkissen. Der Koffer kann an der Oberkante beim Aufwärtsfahren mitgenommen werden. Der frei werdende Raum unterhalb des Kissens dient zur Entnahme und zum Wiedereinlegen der Platine. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass das Tischkissen unabhängig vom Koffer ist. Der Nachteil ist, dass das Gummikissen schon vor der Umformung an den Koffer gepresst wird. Dabei wird durch die Wandreibung eine höhere Umformkraft benötigt. Infolgedessen wird durch die Bauart das Gummikissen in den Ecken gequetscht.

*Beschreibung des Verfahrensablaufes*

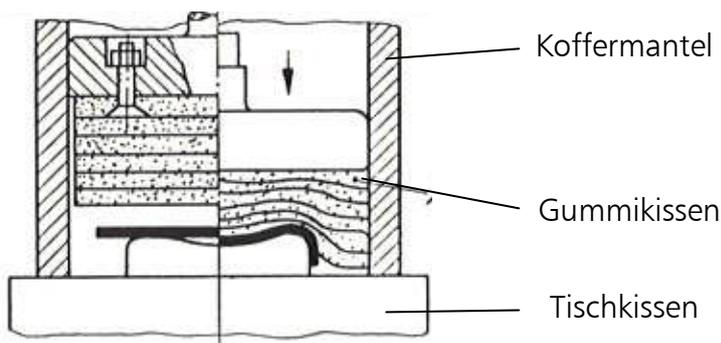


Abbildung 7: Gummikissenverfahren ohne Tauchplatte  
Quelle: Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge

### 2.3.2 Guérin Verfahren

Das Guérin Verfahren ist nach dem französischen Kupferstecher Christophe Guérin benannt, der das Verfahren zum Ende des 18. Jahrhunderts bei seiner Arbeit angewendet hat. [7]

*Beschreibung des Verfahrensablaufes*

Abbildung 8 zeigt ein verbessertes Verfahren des Gummikissenverfahrens ohne Tauchplatte. Der Unterschied liegt im Umformprozess. Hierbei wird der Koffer und das Kissen in einem Zyklus nach unten gedrückt. Die Montage des Kissens erfolgt über eine Vorspannung. Der Spalt zwischen der Kofferinnenwand und der Tischkissenaußen-

wand sollte nicht größer als 1 mm sein, da ansonsten das Gummikissen aufgrund der Konstruktion gequetscht werden könnte. [6]

Bei diesem Verfahren wird eine Platine auf die sogenannte Negativform gelegt. Die Platine sollte nach Vollendung des Umformprozesses die Kontur des Halbwerkzeuges besitzen. Damit das Blech zu 100 % die gleiche Kontur hat, muss es auf die Negativform gedrückt werden. Dies erfolgt über das elastische Kissen. Die Negativform kann je nach Anwendungsfall aus Kunststoff, Aluminium oder Stahl sein. Das Einsatzgebiet ist hauptsächlich der Modellbau und die Kleinserienfertigung in der Automobilindustrie. [7]

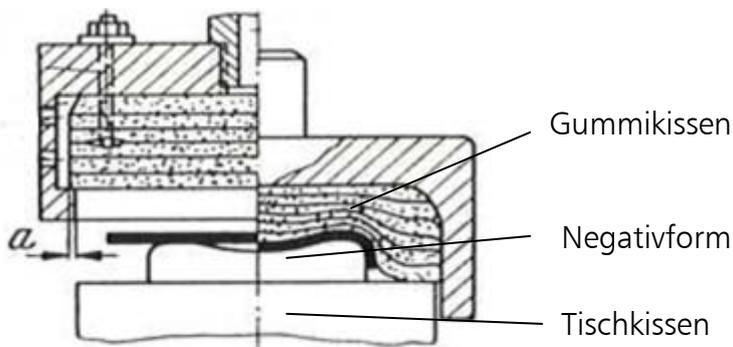


Abbildung 8: Guérin Verfahren  
Quelle: Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge

### 2.3.3 Marformverfahren

Das Marformverfahren wurde von der Firma Glen L. Martin in den USA entwickelt worden und ist ein verbessertes Guérin Verfahren. Wie Abbildung 9 zeigt, wird ein Gummikissen verwendet. Zusätzlich wird ein Niederhalter verwendet. Hierbei ist der Stempel direkt auf dem Pressentisch fixiert und der Blechhalter wird über Pinolen geführt. Diese Pinolen liegen auf einer Platte auf, welche über einer hydraulischen Flüssigkeit liegt. Beim Umformprozess wird der Koffer nach unten gedrückt, sodass sich das Blech an den Stempel anschmiegt. Der dabei entstehende Druck ist höher als der Druck von der hydraulischen Flüssigkeit. Somit wird der Blechhalter nach unten gedrückt. Der Vorteil hierbei ist die Erzielung eines größeren Grenz-

*Beschreibung des Verfahrensablaufes*

ziehverhältnisses. Weiters ist die Ausdünnung der Blechdicke am Boden geringer. [6]

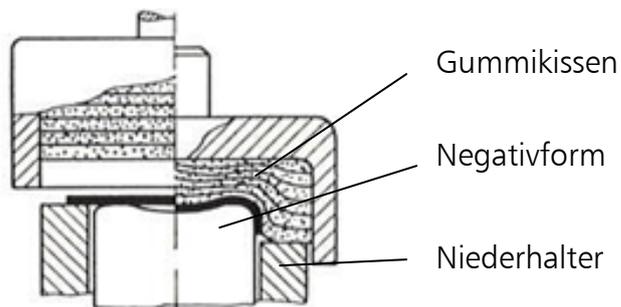


Abbildung 9: Marform Verfahren  
Quelle: Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge

### 2.3.4 Verson – Wheelon Verfahren

Das Verson – Wheelon Verfahren ist eine Kombination zwischen dem Guérin Verfahren und dem Fluidzell Verfahren, wie Abbildung 10 zeigt. Es benötigt einen sehr hohen Druck und ist speziell für dünnwandige Bleche entwickelt worden. Bei diesem Verfahren wird anstelle der Matrize oder des Stempels ein sogenanntes „Gummikissen“ verwendet. Die formgebende Kontur ist in Abbildung 10 ein rechteckiger Stempel. Der Druck wird über ein Fluid aufgebaut, welches über einen Einlass in einen Gummisack gepumpt wird. Die Folge dessen ist, dass sich das Gummikissen aufgrund der Expansion des Fluids an den Stempel drückt und die Platine umgeformt wird. In diesem Verfahren wird ein Gummikissen mit der Shorehärte A 35 verwendet. Im Gegensatz zum Guérin Verfahren wird ein Gummikissen der Shorehärte A 60 verwendet [1]. Nach der Druckentlastung kehrt das Gummikissen wieder in seinen Ausgangszustand zurück und das umgeformte Bauteil kann entnommen werden. [8]

*Beschreibung des Verfahrensablaufes*

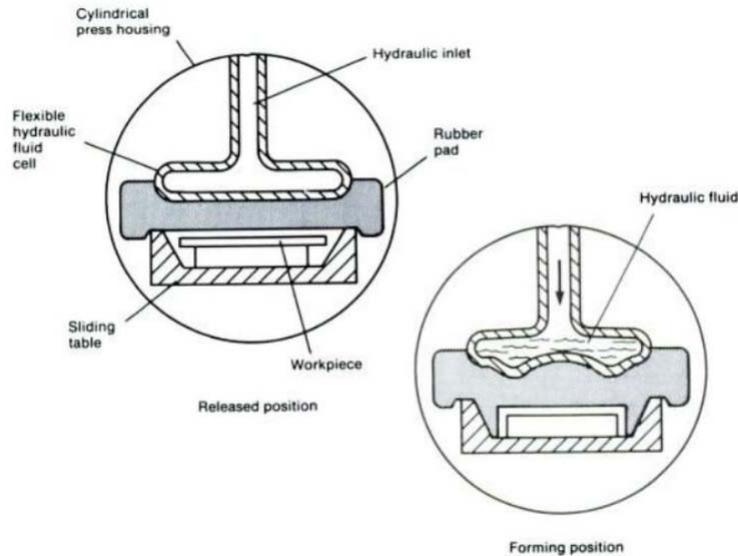


Abbildung 10: Verson-Wheelon Verfahren  
Quelle: International, ASM

### 2.3.5 Gummikissenverfahren

Dieses Verfahren wird von der Firma „Metaalwaren Fabrik Phoenix BV“ angeboten. Hierbei gibt es zwei verschiedene Varianten. Bei der Anordnung „positive Gummipresse“ wird das Blech über den Stempel gepresst und bei der „negativen Gummipresse“ wird die Platine in eine Matrize umgeformt. Beide Varianten sind in Abbildung 11 dargestellt. Bei beiden Varianten wird eine Platine auf das Gesenk gelegt. Danach wird der Pressenpuffer, indem sich ein weiches Gummikissen und eine harte Verschleißschicht befinden, nach unten gefahren und die Platine umgeformt. Einsatzgebiet dieser Verfahren sind Stückzahlen bis etwa 1.000 Stück. Sie werden im Bereich der Flugzeugindustrie eingesetzt. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist, dass nur eine Werkzeughälfte angefertigt werden muss. Auch können lackierte oder beschichtete Platinen umgeformt werden, da nahezu keine Riefen auf der Bauteiloberfläche entstehen. [9]

*Beschreibung des Verfahrensablaufes*

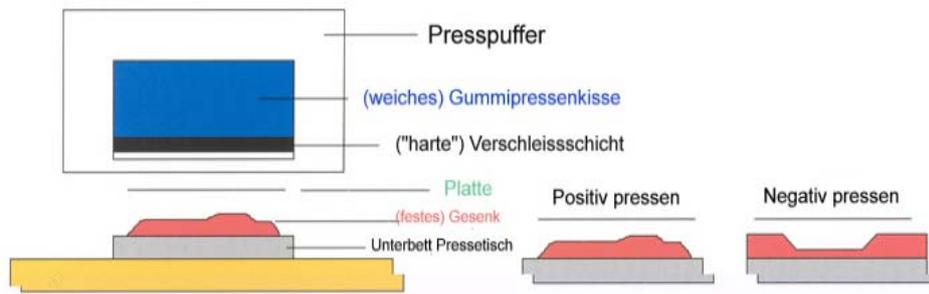


Abbildung 11: Gummikissenverfahren von Phoenix  
Quelle: Firma Phoenix

## 2.3.6 Sonderverfahren mit nachgiebigen Kissen

### 2.3.6.1 Umformung mit elastischer Matrize

Bei diesem Verfahren der Firma Veith wird eine Matrize von einem Stahlkoffer ummantelt, welcher die Kräfte während der Umformung standhalten muss. Zwischen den Wänden des Koffers und der Matrize ist ein Abstand von 0,5 mm einzuhalten. Die Verformung beginnt mit dem Einlegen der Blechrunde auf die elastische Matrize, welche die Bezeichnung „Eladur“ hat. Wie Abbildung 12 zeigt, werden auch noch Luftentweichungslöcher in der Stahlmatrize vorgesehen. Diese dienen zum Entweichen der Luft, die während des Umformprozesses entstehen kann. Mit diesem Material können Stahlbleche bis zu 3 mm und 400 N/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit umgeformt werden. Es muss darauf geachtet werden, dass die Eladur Matrize je nach Shorehärte zwischen drei bis fünf Mal so hoch ist wie die maximale Ziehtiefe. [10]

*Beschreibung des Verfahrensablaufes*

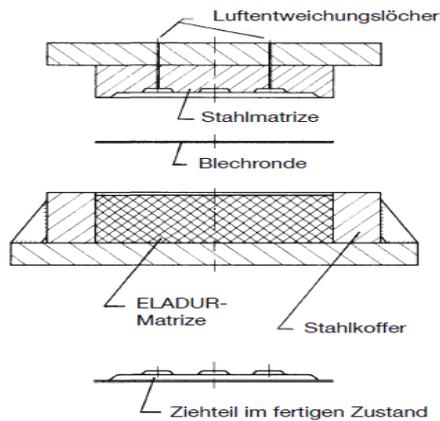


Abbildung 12: Umformverfahren Firma Veith  
Quelle: Firma Veith

### 2.3.6.2 V- Biegen mit PU- Elementen

Das V- Biegen mit Polyurethanelementen ist ein einfaches Verfahren, welches jedoch sehr viel Potential bietet. Mit diesem Verfahren werden auch sehr komplexe Bauteile gebogen [11]. Abbildung 13 zeigt eine 90° V- Biegeeinrichtung der Firma Fibro. Diese Biegeoperation ist die am leichtesten auszuführende Operation. Die Eindringtiefe des Werkstückes richtet sich nach Dicke und Festigkeit der Platine, sowie dem Radius und der Shorehärte des Kissens. Um eine eventuelle Rückfederung ausgleichen zu können, muss das Werkstück überbogen werden. Für alle Biegearten gilt: Je geringer der Biegeradius, umso kleiner ist die Eindringtiefe. Analog dazu, ist auch die Auffederung des Bleches geringer.[17]

*Beschreibung des Verfahrensablaufes*

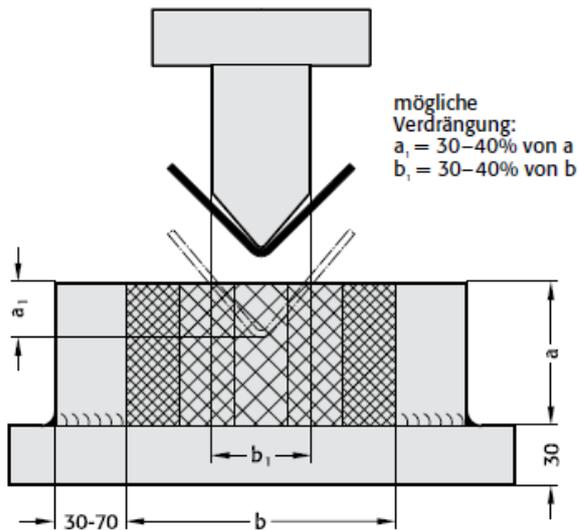


Abbildung 13: V-Biegen  
Quelle: Firma Fibro

### 2.3.7 Werkzeugwerkstoffe für nachgiebige Kissen

Kunststoffwerkzeuge werden hauptsächlich im Prototypenbau und bei Kleinserienproduktionen eingesetzt. Diese sind aufgrund des Materialpreises und der kleinen Stückzahl wirtschaftlicher. Laut [3] sind Kunststoffwerkzeuge um 45 % preiswerter als ähnliche Graugusswerkzeuge.

*Einsatzgebiet*

In der Herstellung solcher Kunststoffwerkzeuge gibt es verschiedene Verfahren. Eine Variante ist die formgebende Kontur zu fräsen. Hierbei werden einzelne Kunststoffplatten so zusammengeklebt, dass sie schon eine Vorkontur bilden. Im nächsten Schritt wird die Endkontur gefräst. Der Vorteil bei diesem Verfahren liegt in der Zerspanungszeit des Werkstoffes. Diese ist deutlich geringer als die beim Guss- oder Stahlwerkzeug. Die zweite Variante ist das Gießen von Kunststoffen. Hierbei kann mit der entsprechenden Gießtechnik und der optimalen Wahl des Werkstoffes der Rohstoff optimal ausgenutzt werden. [3]

*Herstellung*

Das einfachste Verfahren im Bereich der Gusstechnik ist der Vollguss. Bei diesem Verfahren wird eine Form mit Kunststoff gefüllt. Der

*Vollguss*

Nachteil ist jedoch, dass nur kleine Formteile gegossen werden können, da aufgrund der chemischen Reaktion ein Schwund entstehen kann. [3]

Das momentan am genauesten, aber auch sehr aufwendige Verfahren, ist der Frontguss. Hier wird, wie Abbildung 14 zeigt, der Niederhalter und der Stempel mit einer Distanzschicht versehen. Je nach Dicke des Frontmaterials wird im ersten Schritt die Hinterfüllung gegossen, die aus kostengünstigem und druckfestem Kunststoff besteht. Nach Aushärtung des Kunststoffes wird dieser entfernt. Der dadurch entstandene Freiraum wird mit einem verschleißfesten Kunststoff aufgegossen. [3]

*Frontguss*

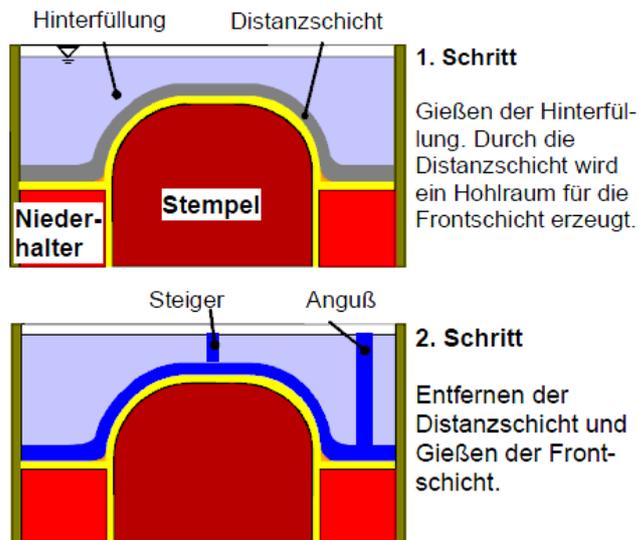


Abbildung 14: Frontguss  
Quelle: Dissertation Universität Hannover

### 2.3.8 Werkzeugwerkstoff Polyurethane

Polyurethan ist ein hochmolekularer Kunststoff auf Basis von Polyisocyanaten. Dieser Kunststoff weist ein großes Anwendungsspektrum auf und ist aufgrund der Eigenschaften ein idealer Werkzeugwerkstoff für die Blechumformung. Trotz eines breiten Anwendungsspektrums erfolgt die Herstellung immer nach dem Prinzip der Polyaddition. [12]

*Eigenschaften*

Im Bereich der Umformtechnik werden sogenannte Gießharze als Werkzeugwerkstoff eingesetzt. Hierbei wird das Reaktionsharz mit dem Reaktionsmittel vermischt und homogenisiert. Die dabei entstehende PUR-Masse muss in Form gebracht werden. In weiterer Folge kommt es zur Aushärtung durch die Polyaddition, die durch eine exotherme Reaktion ohne Bildung von Nebengruppen vollzogen wird. Im ausgehärteten Zustand erhält das Produkt den Begriff Polyurethan - Formstoff. Der Ablauf ist in Abbildung 15 nochmals grafisch ersichtlich. [12]

Herstellung

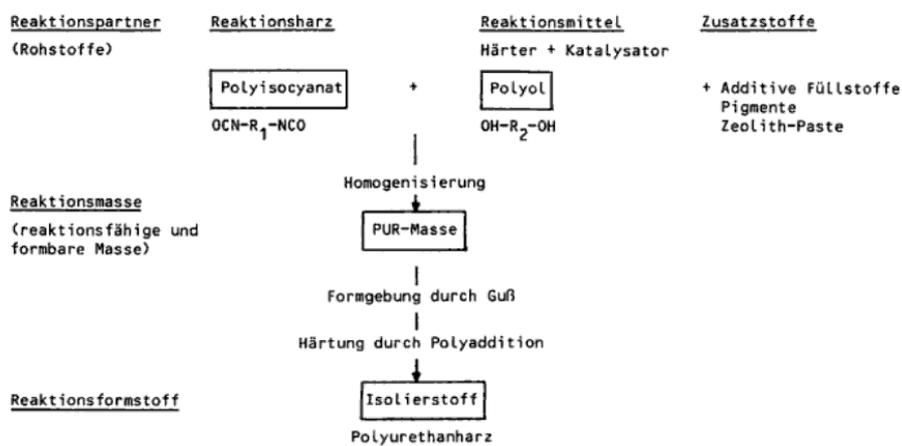


Abbildung 15: Ablauf Gießharz  
Quelle: Kunststoffhandbuch 7

Die Reaktionsmasse besteht nun aus Polyisocyanat und Polyol. Zusätzlich kann der Masse noch Füllstoff oder Farbstoff mit zugefügt werden.

Reaktionsmasse

Das Mischungsverhältnis der beiden Komponenten ergibt sich aus der Anforderung an den Kunststoff. Durch eine Unterdosierung des Isocyanats ist das Endprodukt weicher, durch Erhöhung des Isocyanats erhält man einen stärker vernetzten und härteren Formstoff. Um eine 100 % Vermischung und damit eine Aushärtung zu erlangen, muss die Masse mindesten zehn Minuten, jedoch maximal fünfzehn Minuten verrührt werden. [12]

Mischungsverhältnis

Die nun vermischte Reaktionsmasse kann in der einfachsten Form

Verarbeitung

drucklos und ohne Vakuum per Hand in die Form gegossen werden. Zu beachten ist, dass die Form keine Hinterschneidungen besitzt. Für viele Anwendungen hat sich deshalb der Vakuumguss durchgesetzt, da sich die Reaktionsmasse blasenfrei vergießen lässt. [12]

Durch die Härtung entsteht der Reaktionsformstoff. Je nach Mischungsverhältnis ist das Endprodukt zähhart bis elastisch weich. [12]

### 2.3.9 Härtemessung bei Elastomeren

Die Einheit für die Härtemessung von Kunststoffen ist Shore. Diese wird noch unterteilt in eine Härte nach Shore A und D. Die Messung erfolgt über den Widerstand gegen das Eindringen eines Kegels in das Material. Für weiche Kunststoffe wird Shore A verwendet. Hier wird ein federbelasteter Stift auf den Prüfkörper mit 12,5 N gedrückt. Die entstandene Eindringtiefe ist ein Maß der Härte. Bei einer Eindringtiefe von 2,5 mm erhält man die Shorehärte A 0, bei 0 mm Eindringtiefe erhält man die Shorehärte A 100. Der verwendete Prüfkörper ist in Abbildung 16 ersichtlich. [13]

*Härtemessung Shore A*

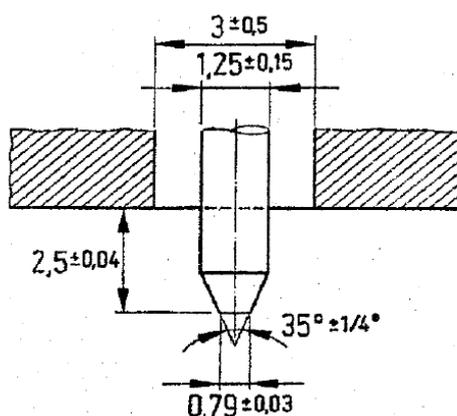


Abbildung 16: Prüfkörper Shore A  
Quelle: Saechtling Kunststoffaschenbuch

Bei stark vernetzten und somit härteren Kunststoffen wird die Skala in Shore D angezeigt. Hierbei wird mit einer Kraft von 50 N auf den Prüfkörper gedrückt. Beim Prüfkörper ist zu beachten, dass dieser

*Härtemessung Shore D*

mindestens 3 mm dick sein soll. Es wird wieder die Eindringtiefe gemessen, jedoch besitzt der Prüfkörper eine andere Geometrie, wie Abbildung 17 zeigt. [13]

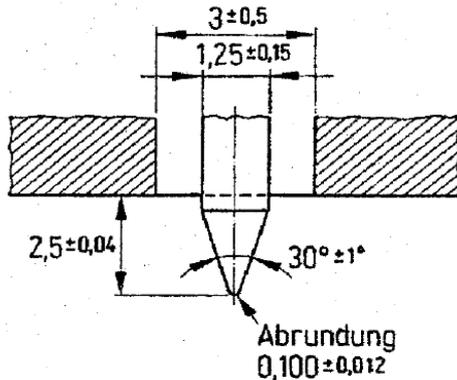


Abbildung 17: Prüfkörper Shore D  
Quelle: Saechtling Kunststoffaschenbuch

## 2.4 Verwendete Bleche beim Tiefziehen mit Kunststoffen

Die verwendeten Bleche im Bereich des Tiefziehens mit elastischer Werkzeughälfte beschränken sich auf Feinbleche. Abbildung 18 zeigt einen Überblick der Stähle, die im Bereich des Tiefziehens eingesetzt werden. [2]

Tiefziehstähle

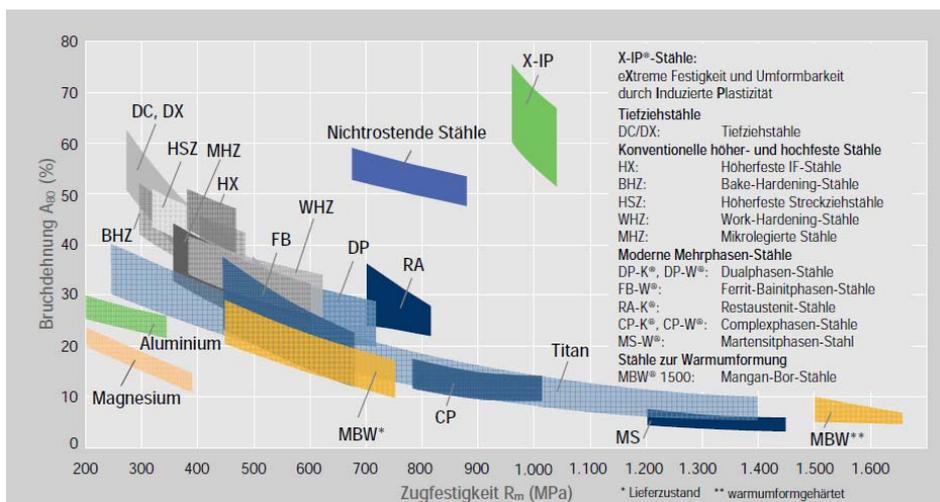


Abbildung 18: Tiefziehstähle  
Quelle: Thyssen Krupp

### 3 Zielsetzung der Arbeit

Diese Arbeit ist ein Beitrag zur Weiterentwicklung von nachgiebigen Werkzeugen für das Tiefziehen von Stückzahlen kleiner als 500 Bauteile pro Jahr. Nachdem die Werkzeugkosten bei der Kleinserienfertigung sehr stark in die Bauteilkosten einfließen, ist es notwendig, diese so gering wie möglich zu gestalten. Ziel ist es, eine Werkzeughälfte mit modularen Kunststoffelementen aufzubauen, sodass bei eventuellen Versagen eines Elements nicht die gesamte Werkzeughälfte ausgetauscht werden muss.

*Zielsetzung*

Um diese Anforderung zu erfüllen, wird diese Arbeit in einzelne Arbeitspakete gegliedert.

Zunächst werden Kunststoff-Materialien hinsichtlich ihrer Eignung als „Werkzeugwerkstoff“ bewertet und ausgewählt. Hierzu wird eine Nutzwertanalyse mit speziellen Kriterien durchgeführt. Weitere wesentliche Merkmale sind die Verarbeitbarkeit (spanende Fertigung) und die mögliche Standzeit beim Einsatz im Umformwerkzeug.

*PU-Materialien als Werkzeugwerkstoffe*

Die ausgewählten Materialien werden anschließend in einem Tiefziehprozess erprobt. Hierzu wird ein Werkzeug entwickelt, mit dem einfache Untersuchungen hinsichtlich Radienausprägung durchgeführt werden können. Hauptaugenmerk liegt hierbei auf dem „Gegendruck“, der mit den Elementen auf das Blech übertragen werden kann, ohne dass die Elemente versagen. Der erzielbare „Druck“ hängt direkt mit den darstellbaren Radien zusammen. Ziel ist es möglichst kleine Radien auch in höherfesten Blechen abformen zu können. Die Auswertung dieser Untersuchungen stellt die Basis für das nächste Arbeitspaket dar.

*Umsetzung im Grundlagenversuch*

In den weiterführenden Untersuchungen werden die Ergebnisse auf eine Realbauteilgeometrie – einer „skalierten Tankhalbschale“- über-

*Übertragung auf Realgeometrie*

tragen. Hierzu muss die konventionelle Matrize dieses Umformwerkzeuges auf die Bauform „Kunststoff-Werkzeug“ übertragen und die Eignung dieser Technologie bewertet werden.

## 4 Kunststoffauswahl

Die heute im industriellen Einsatz befindlichen Kunststoffe wurden in Kapitel 2 vorgestellt. Daraus abgeleitet, beschränkt sich die Auswahl für diese Arbeit auf das Gebiet der Polyurethan- und Epoxidharze. Die heute relevanten Hersteller von solchen Polyurethan und Epoxidharzen sind die Firmen Rampf, Veith und Fibro.

*Auswahl der Kunststoffe*

Die Firma Rampf setzt im Bereich der elastischen Werkzeughälften auf ein Gießharz, welches aus einem Harz und einem Isocyanat besteht. Die Firma Veith setzt auf einen sogenannten „Eladur“ und die Firma Fibro auf ihr eigens, patentiertes FIBROFLEX®.

Um eine detailliertere Auswahl der Kunststoffe im Bereich des Werkzeugbaues zu erhalten wird eine Nutzwertanalyse durchgeführt.

### 4.1 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse gehört zur Reihe der Multi-Scoring-Modelle. Sie dient als Entscheidungshilfe bei der Auswahl von komplexen Alternativen. Die Analyse wird insbesondere dann herangezogen, wenn wesentliche, aber nicht quantifizierbare Entscheidungskriterien zu berücksichtigen sind. Mit ihrer Hilfe lassen sich Alternativen gegenüberstellen und durch einen Zahlenwert, den sogenannten Nutzwert, ausdrücken. [14]

*Beschreibung Nutzwertanalyse*

Die Anforderungen, welche an den Kunststoff gestellt werden, sind sehr vielfältig und sollen folgende Kriterien erfüllen:

*Anforderungen an den Kunststoff*

- Nicht umweltgefährdend
  - Geringe Materialkosten
  - Von Hand gießbar
  - Vorhanden als Blockmaterial
  - Variierung der Shorehärte
  - Temperaturbeständig
  - Beständigkeit gegen Ziehöl
-

- Abriebfest

Um die Nutzwertanalyse durchführen zu können, werden die Zielkriterien gewichtet. Diese werden anhand eines paarweisen Vergleiches durchgeführt. Hierbei werden die einzelnen Kriterien miteinander verglichen und beurteilt. Ist ein Kriterium wichtiger als ein anderes, so wird es mit zwei bewertet, gleichwertige mit eins und unwichtige mit null. Nun werden die Zeilen mit den Spalten verglichen und bewertet. Als Resultat gibt die Zeilensumme Aufschluss über die Gewichtung.

*Gewichtung der Zielkriterien*

Gewichtung der Faktoren	Umweltgefährdend	Materialkosten	Gießbar	Vorhanden als Blockmaterial	Variierung der Shorehärte	Temperaturbeständig	Beständigkeit gegen Ziehöl	Abriebfest	Summe	Prozentuelle Gewichtung
Umweltgefährdend	X	0	1	1	0	1	1	1	5	8,93%
Materialkosten	2	X	2	2	1	1	1	1	10	17,86%
Gießbar	1	0	X	2	1	1	1	1	7	12,50%
Vorhanden als Blockmaterial	1	0	0	X	1	1	0	0	3	5,36%
Variierung der Shorehärte	2	1	1	1	X	1	2	2	10	17,86%
Temperaturbeständig	1	1	1	1	1	X	1	1	7	12,50%
Beständigkeit gegen Ziehöl	1	1	1	2	0	1	X	1	7	12,50%
Abriebfest	1	1	1	2	0	1	1	X	7	12,50%
									56	100,00%

Tabelle 1: Gewichtung der Anforderung an den Kunststoff

Das Resultat der Gewichtung ist, dass die Materialkosten zusammen mit der Variierung der Shorehärte die höchste Wertigkeit haben.

*Ergebnis Gewichtung*

Um nach Erhalt der Gewichtung die Nutzwertanalyse durchführen zu können, muss ein Beurteilungsschema in Form eines Notenschlüssels erstellt werden. Die Bewertung erfolgt nach der Aussage gutm(5 Punkte), mittel (3 Punkte) und schlecht (1 Punkt). In der nachfolgenden

*Beurteilungsschema der Nutzwertanalyse*

den Tabelle werden die einzelnen Kunststoffe verglichen und bewertet.

	Absolute Gewichtung	Fa. Rampf		Fa. Veith		Fa. Fibro	
		Bewertung	Teilnutzwert	Bewertung	Teilnutzwert	Bewertung	Teilnutzwert
Umweltgefährdend	9	5	45	5	45	5	45
Materialkosten	18	5	90	3	54	3	54
Gießbar	12,5	5	62,5	1	12,5	1	12,5
Vorhanden als Blockmaterial	5	1	5	5	25	5	25
Variierung der Shorehärte	18	5	90	3	54	3	54
Temperaturbeständig	12,5	3	37,5	3	37,5	3	37,5
Beständigkeit gegen Ziehöl	12,5	3	37,5	3	37,5	3	37,5
Abriebfest	12,5	3	37,5	3	37,5	3	37,5
	100		405		303		303

Tabelle 2: Nutzwertanalyse

Das Ergebnis der Nutzwertanalyse ist, dass das Produkt der Firma Rampf für die Anwendung das bestmögliche Produkt unter den drei Alternativen ist.

*Ergebnis der Nutzwertanalyse*

## 4.2 Eigenschaften Raku-Tool

Der Kunststoff mit dem Namen „Raku-Tool“ ist ein zweikomponenten Polyharnstoff und wird von Hand vergossen. Die maximale zulässige Zeitdauer zwischen dem Abguss und der Vermischung liegt je nach Shorehärte zwischen 20 und 95 Minuten. Der Anwendungsbereich dieses Kunststoffes ist im Bereich der Werkstückaufnahme und Strukturmatrizen. Die genauen Angaben sind im Anhang als Datenblatt vorhanden.

*Eigenschaften des Kunststoffes*

## 5 Aufbau Grundlagenwerkzeug

Um eine Bewertung der geeigneten Elastomere beim Tiefziehen zu erhalten, wird im ersten Schritt ein Grundlagenversuchswerkzeug aufgebaut. Dieser einfache Tiefziehversuch soll an einer 40 kN Presse durchgeführt werden. Um dies zu gewährleisten wird eine Vordimensionierung der maximal möglichen Werkzeugfläche auf Grund der vorhandenen Presskraft durchgeführt.

### 5.1 Vordimensionierung des Werkzeugs

Die erforderliche Presskraft ( $P$ ) ist nur abhängig von der wirksamen Kissenfläche  $F$  und nicht von der Größe des Werkzeuges oder der Länge der Umformkante. [6]

*Berechnung der maximalen  
Kissenfläche*

Dabei ist der Druck

$$p = \frac{P}{F} \quad (1)$$

Der Druck kann weiterhin nach [6] für die Gummikissenumformung bestimmt werden:

$$p = c \cdot s^2 \cdot \sigma_B \cdot H \cdot \frac{t}{h} \quad (2)$$

Hierbei ist  $s$  die Blechdicke,  $\sigma_B$  die Bruchfestigkeit des Feinblechwerkstoffes,  $H$  die C-Shore-Härte des Elastomers und  $h$  die Kissenhöhe des Elastomers. Weiterhin ist  $c$  ein „Materialfaktor“, der zwischen 0,25 und 0,4 liegt. Der obere Wert wird für scharfkantige und schwierige Formen verwendet.

Somit wird mit der maximal zur Verfügung stehenden Presskraft von 40 kN die maximal mögliche Fläche des Werkzeugwerkstoffes „Kunststoff“ ermittelt.

Die konkret verwendeten Werte sind:

$$\sigma_B = 300 \text{ N/mm}^2$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$c = 0,3$  wird angenommen

$$s = 1,5 \text{ mm}$$

$$P = 40 \text{ kN}$$

$$H = 40$$

In Gleichung (2) eingesetzt, ergibt sich somit eine Fläche von

$$F = 2469 \text{ mm}^2$$

Daraus wird eine Kissenfläche von 50 mm x 50 mm festgelegt.

## 5.2 Konstruktion des Grundlagenwerkzeuges

Die Auswahl der Geometrie des Versuchsstempels wird aus einer realen Geometrie abgeleitet. Die kritischen Faktoren im Bereich des Tiefziehens mit elastischen Medien sind konkave Radien. Um die Ausformung konkaver Radien mit verschiedenen Shore-Härten bewerten zu können, müssen diese in dem Versuchsstempel berücksichtigt werden. Daher wurde folgende Stempelkontur gewählt:

*Auswahl des Stempels*

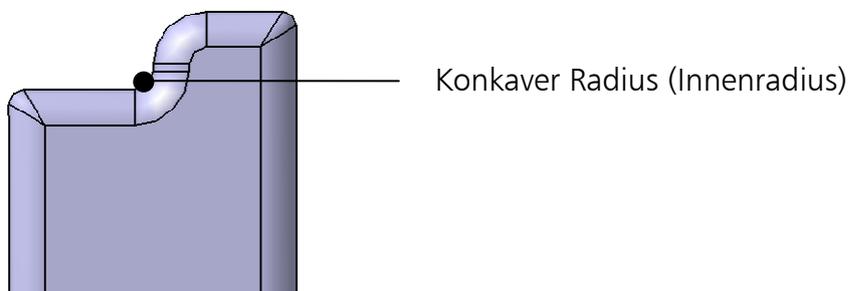


Abbildung 19: Stempelgeometrie

Die Dimensionierung der Innenradien wird anhand der „skalierten Tankhalbschale“ ermittelt. Daraus ergeben sich folgende konkave Radien, die in den Versuchstempeln berücksichtigt werden müssen:

*Konkave Radien*

- R 2,5 mm
- R 5 mm
- R 7,5 mm

Abbildung 20 zeigt den Aufbau des Versuchswerkzeuges. Hierbei sind der Stempel und das Unterwerkzeug ersichtlich. Das Unterwerkzeug besteht aus der Grundplatte und dem Koffer, der die Elastomere fixiert.

*Aufbau des Grundlagenversuchswerkzeuges*

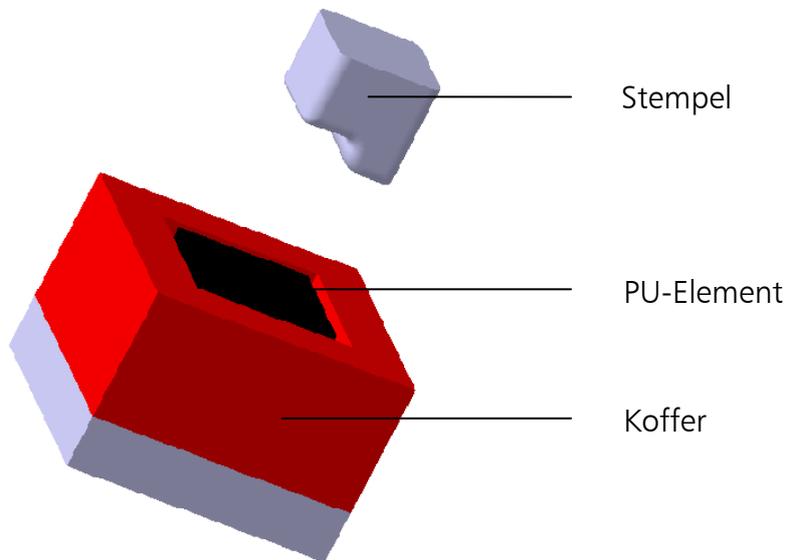


Abbildung 20: Grundlagenwerkzeug

### 5.3 Herstellung des Kunststoffes

Die Herstellung des Kunststoffes erfolgt über einen Vollguss. Hierbei wird der Kunststoff je nach Shorehärte und somit nach Mischungsverhältnis, abgemischt. Die genaue Zusammensetzung ist in Tabelle 3 abgebildet.

*Herstellung und Mischungsverhältnis*

	Gewichtseinheiten in g			
	Shore A 40	Shore A 50	Shore A 65	Shore A 80
PC-3410	170	150	75	
PC-3411		5	22,5	20
PH-3911	511	500	450	200
Summe	681	655	547,5	220

Tabelle 3: Mischungsverhältnis Kunststoff  
Quelle: Firma Rampf

Als Ausgang werden vier Shorehärten von A 40 bis A 80 ausgewählt, da diese im Bereich des Tiefziehens mit elastischen Medien eingesetzt werden. (Kapitel 2)

*Auswahl der Shorehärten*

Da sich die Herstellung des Kunststoffes über die Vermischung von mindestens zwei Komponenten ergibt, entstehen bei der Verarbeitung Luft einschüsse. Um diese wieder aus der Mischung herauszubekommen, wird nach Vollendung der Mischung diese in einen Exikator gegeben. In weiterer Folge wird dieser durch eine Vakuumpumpe evakuiert, wie Abbildung 21 zeigt.

*Herstellung des Kunststoffes*

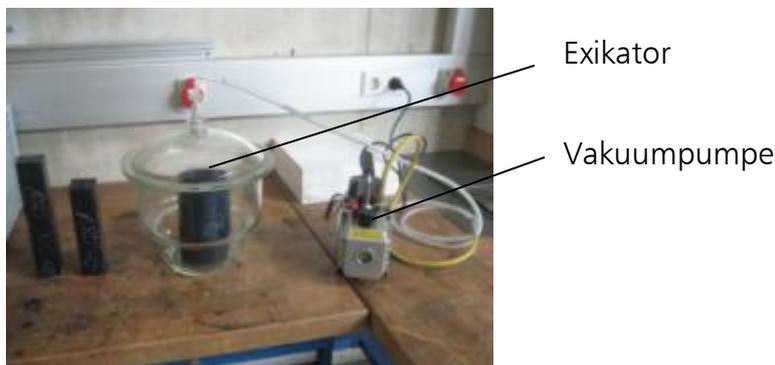


Abbildung 21: Exikator mit Vakuumpumpe

Abbildung 20 zeigt das Aufsteigen der Luftblasen, die durch das Vermischen in der Masse auftreten.



Abbildung 22 Luftblasen durch Evakuieren

Nach der Evakuierung wird das Gießharz in eine Form mit den Massen 50 mm x 50 mm gegossen, welche sich aus der Berechnung in Kap. 5.1 ergibt. Damit der Kunststoff nicht am Holz haften bleibt, wird diese Form mit einem Trennmittel versehen. Nach Vollendung der Gussarbeiten muss der Kunststoff in der Form bei einer Temperatur von 50° C aushärten.

*Abguss und Aushärtung*

#### 5.4 Eigenschaften beim Tiefziehen

Um die Eigenschaften des Kunststoffes während der Umformung zu bewerten, wird eine Federkennlinie aufgezeichnet. Die Federkennlinie beschreibt den Kraft-Weg Verlauf. Diese kann je nach Material einen degressiven, linearen oder progressiven Verlauf haben, wie Abbildung 23 zeigt. Für Kunststoffe im Allgemeinen nimmt die Federkennlinie einen progressiven Verlauf an.

*Tiefzieheigenschaften des Kunststoffes*

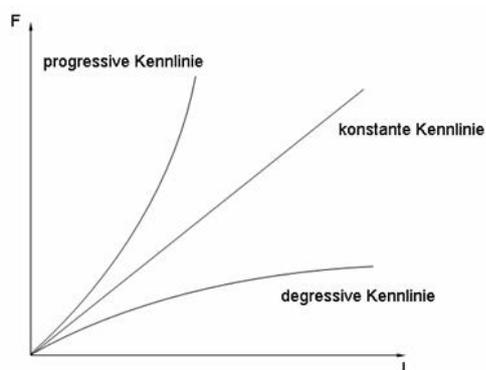


Abbildung 23: Allgemeine Federkennlinie

### 5.4.1 Versuchsaufbau für die Federkennlinie

Der Versuch zur Aufnahme der Federkennlinie wird an einer 40 kN Presse der Firma Hydrap durchgeführt. Abbildung 24 zeigt den Aufbau des Versuchswerkzeuges.

*Versuchsaufbau*

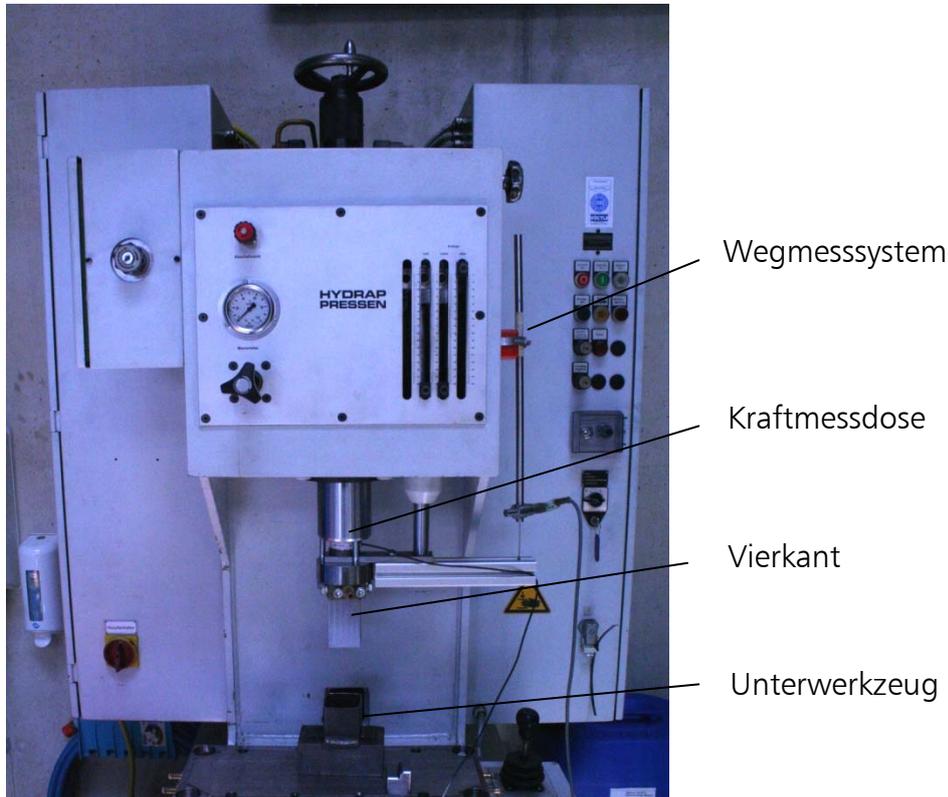


Abbildung 24: Versuchsaufbau Federkennlinie

Um den Kraft-Wegverlauf für den verwendeten Kunststoff zu erhalten, werden an der Umformpresse ein Wegmesssystem und eine Kraftmessdose implementiert. Des Weiteren wird ein Vierkantstempel mit den Abmessungen 50 mm x 50 mm verwendet. Dieser hat genau die Innenabmessungen des Koffers, worin sich das PU-Element befindet. Somit hat der Kunststoff keinen Platz zu entweichen und es wird der tatsächliche Kraft-Weg Verlauf aufgezeichnet. Während des Umformprozesses wird der Weg in mm und die Kraft in kN aufgezeichnet.

*Aufnahme Kraft-Weg  
Verlauf*

## 5.4.2 Auswertung

Die aufgezeichneten Daten werden über das Programm Excel ausgewertet. Abbildung 25 zeigt die Federkennlinie für den verwendeten Kunststoff mit den unterschiedlichen Shorehärten.

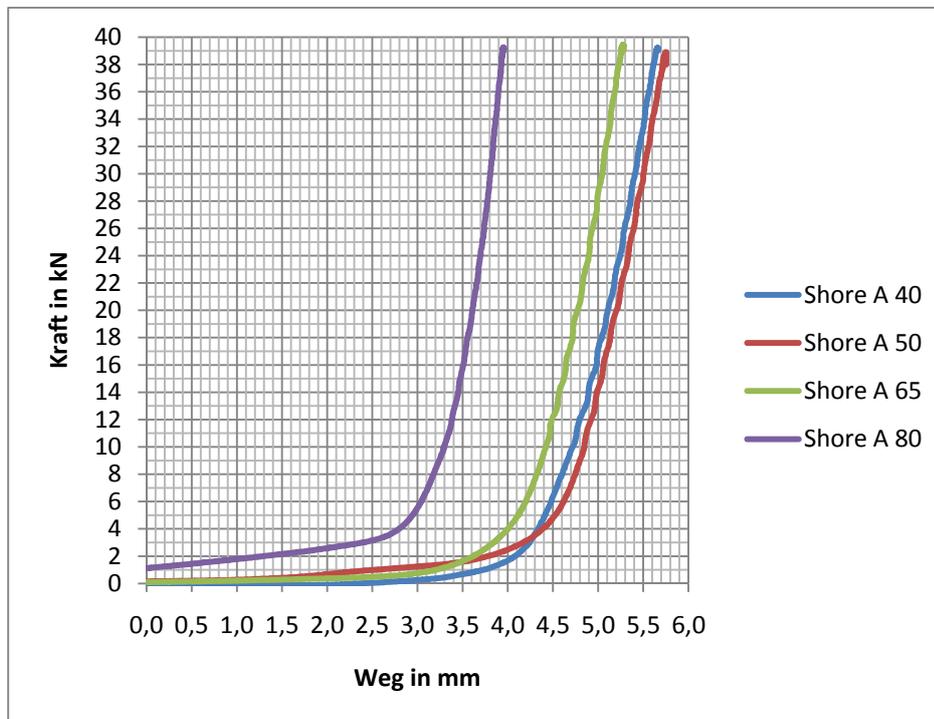


Abbildung 25: Federkennlinie

Alle Federkennlinien weisen den erwarteten progressiven Verlauf auf. Auf den ersten paar Millimeter wird die Luft, die in der Form ist, verdrängt. Aufgrund dessen ist ein leichter Kraftanstieg ersichtlich. Sobald der Kunststoff in der Form anliegt, kommt es zu einem Kraftanstieg der bis zur maximalen Kraft vorliegt. Die Linien lassen erkennen, dass je härter das Material ist, desto steiler der Anstieg. Dadurch muss mehr Kraft aufgebracht werden um den gleichen Weg zu erhalten. Wie erwartet zeigt sich, dass der Kunststoff ein nahezu inkompressibles Verhalten aufweist. Dies muss bei der Auslegung des Grundlagenwerkzeuges und beim Realbauteil beachtet werden. Beim Auslegen des Koffers muss darauf geachtet werden, dass ein Freiraum für das Ausweichen der Kunststoffe vorgesehen wird.

*Auswertung und Erkenntnis der Federkennlinie*

Die Shorehärten A 40 und A 50 haben einen ähnlichen Verlauf und somit die gleichen Eigenschaften. Aus diesem Grund wird die Shorehärte A 40 für die Grundlagenversuche nicht mehr betrachtet.

## 5.5 Versuchsaufbau Grundlagenversuch

Ziel des Grundlagenversuches ist die Erhaltung der Aussage, ob die konkaven Radien des Stempels umgeformt werden können und der Gegendruck der Elastomere aufgebaut werden kann. Der Versuch wird an der 40 kN-Pressen durchgeführt. Abbildung 26 zeigt die Frontansicht des Versuchsaufbaus.

*Ziel des Grundlagenversuches*



Stempel

Polyurethan Element

Koffer

Abbildung 26: Umformversuche Stempel

Für diese Versuchsreihen werden einfache Blechstreifen aus DC 04 (Kapitel 6.3.1) der Größe 50 mm x 15 mm x 1,5 mm verwendet. Diese Blechstreifen werden zentriert auf das Polyurethanelement gelegt und in weiterer Folge ohne Blechhalterkraft umgeformt.

*Plattingeometrie*

### 5.5.1 Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm enthält die Variation von Shorehärten und Radien des Stempels (Tabelle 4). Hieraus ergeben sich mindestens neun Versuche, wobei diese aufgrund der statistischen Versuchsauswertung drei Mal wiederholt werden.

*Versuchsprogramm*

Shorehärte A 50	Stempelradius R 2,5	Stempelradius R 5,0	Stempelradius R 7,5
Shorehärte A 65	Stempelradius R 2,5	Stempelradius R 5,0	Stempelradius R 7,5
Shorehärte A 80	Stempelradius R 2,5	Stempelradius R 5,0	Stempelradius R 7,5

Tabelle 4: Versuchsdurchführung

### 5.5.2 Vermessung der Bauteile

Um die Versuche bewerten zu können, werden die umgeformten Bauteile mit Hilfe des optischen Messsystems ATOS III der Firma GOM digitalisiert (Abbildung 27). Das Messvolumen für die zu vermessenden Bauteile ist 150 mm x 150 mm x 130 mm. Über die zwei Kameras wird ein Streifenmuster auf das Bauteil gelegt und ausgewertet. Diese werden anschließend in 3-D Koordinaten überführt.

*Messsystem*



Abbildung 27: Vermessungssystem GOM

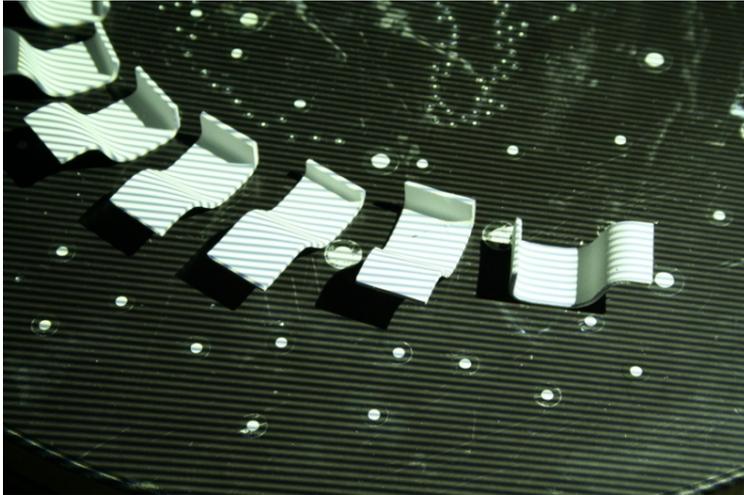


Abbildung 28: Streifenmuster

### 5.5.3 Auswertung der Bauteile

Ziel dieser Auswertung ist es, die tatsächliche Abweichung zwischen dem umgeformten Bauteil und der Stempelgeometrie zu erhalten. Das bestmögliche Ergebnis liegt bei einer Nullabweichung zwischen Bauteil und Stempel vor. Auf Basis dieser Auswertung wird die Entscheidung getroffen, welche Shorehärten für welche Radien geeignet sind.

*Ziel der Auswertung*

Die messtechnische Auswertung der Versuche wird auf Basis der digitalisierten Oberflächendaten durchgeführt. Die verwendete Software stammt von der Firma Geomagic, die es ermöglicht zwei verschiedene Geometrien miteinander zu vergleichen. Dies erfolgt zwischen der vermessenen Geometrie und der CAD Geometrie des Stempels. Bei dieser Software werden die zwei Bauteile zueinander ausgerichtet, wobei im Mittel der kleinste Abstand vorliegt. Dies kann aber aufgrund der unterschiedlichen Stempelradien, zu unterschiedlichen Ausrichtungen führen. Deshalb wird das Bauteil und der Stempel, wie Abbildung 29 zeigt, an der roten Stelle fixiert. Diese Stelle wird ausgewählt, da es nach der Umformung in diesem Bereich keinen geometrischen Unterschied gibt.

*Auswertung und Vergleich der Bauteilgeometrien*

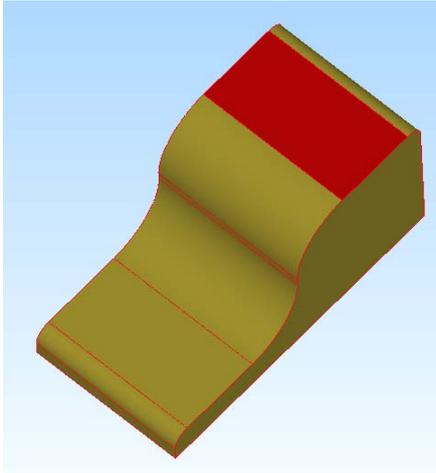


Abbildung 29: Fixierung Geometrie

Die Auswertung der Messungen zeigt eine Abweichung zwischen den zu vergleichenden Geometrien. Über eine farbliche Darstellung kann ein qualitativer Eindruck der Abweichungen gewonnen werden. Zum quantitativen Vergleich der untersuchten Varianten werden Stützpunkte definiert.

*Methode zur Auswertung der Bauteile*

Abbildung 30 zeigt die Auswahl der Stützpunkte. Über diese Auswertung kann rückgeschlossen werden, welche Shorehärten für die Realbauteilgeometrie verwendet werden können.

*Auswahl der Stützpunkte*

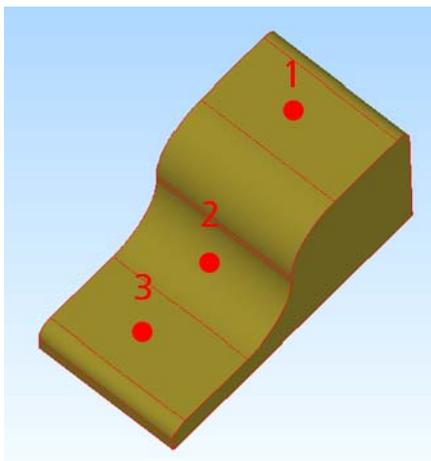


Abbildung 30: Stützpunkte

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Abweichung vom CAD-Modell des Stempels zum umgeformten Bauteil, bei unterschiedlich verwendeten Shorehärten des Polyurethanelementes.

*Ergebnisse der Geometrie-  
vergleiche*

Die Legenden an der linken Seite der Abbildungen zeigen die Normalabweichungen in Farbe dargestellt. Als Referenz für die Auswertung wird immer der CAD- Stempel verwendet. Ist die Darstellung grün so bedeutet das, dass die Abweichung maximal +/- 0,5 mm ist. Die Farbe gelb in den Abbildungen bedeutet eine Normalabweichung von mindestens 0,5 mm zur Stempelgeometrie. Ist weiters eine rote Darstellung vorhanden, so bedeutet dies eine Abweichung von mindestens 8,5 mm.

Abbildungen 33 bis 35 zeigen die Abweichung mit dem Innenradius des Stempels von 2,5 mm. Hierbei ist deutlich zu erkennen, dass die Umformung an den konvexe Radien und den ebenen Flächen ohne Probleme möglich ist, jedoch wird der konkave Radius von 2,5 mm nicht umgeformt. Die graue Darstellung in den Abbildungen bedeutet eine größere Abweichung als 10 mm.

Abweichung  
R 2,5      Innenradius

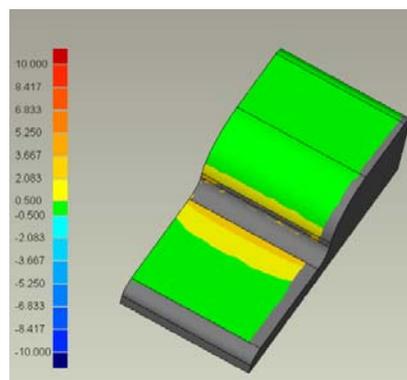
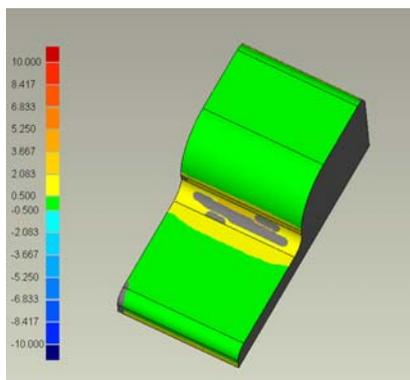


Abbildung 31: Shorehärte A 80

Abbildung 32: Shorehärte A 65

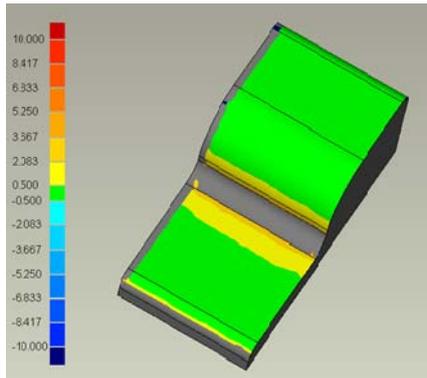


Abbildung 33: Shorehärte A 50

Abbildungen 36 bis 38 zeigen die Abweichung mit dem konkaven Radius des Stempels von 5 mm. Hierbei ist zu erkennen, dass der Innenradius nahezu vollständig umgeformt werden kann. Es liegt jedoch eine Abweichung von mindestens 2 mm vor.

Abweichung  
R 5

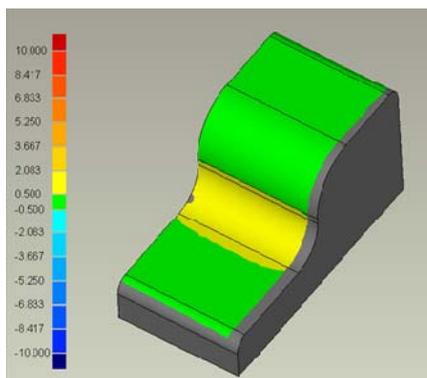


Abbildung 34: Shorehärte A 80

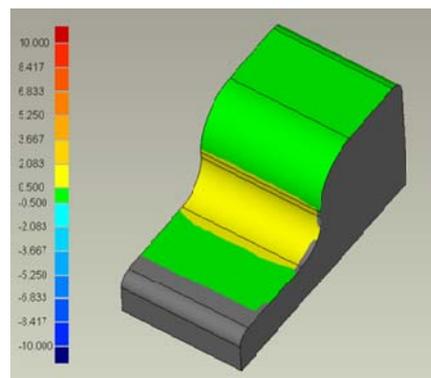


Abbildung 35: Shorehärte A 65

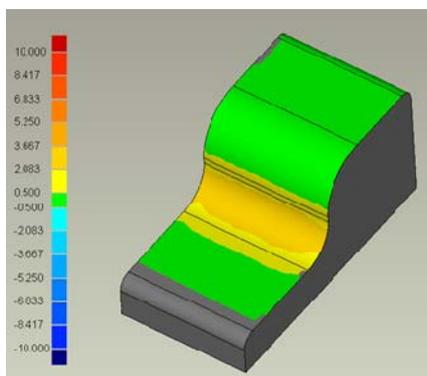


Abbildung 36: Shorehärte A 50

Abbildungen 36 bis 38 zeigen die Abweichung mit dem konkaven Radius des Stempels von 7,5 mm. Diese Abbildungen verdeutlichen, dass der konkave Radius von 7,5 mm nahezu abgebildet werden kann.

Abweichung  
R 7,5

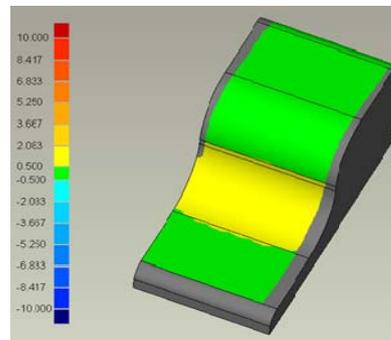
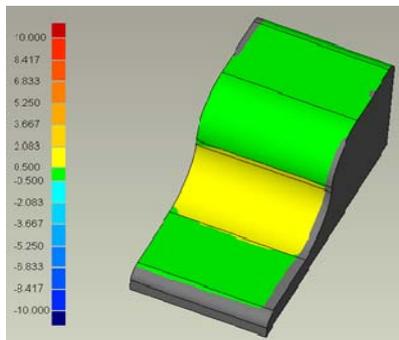


Abbildung 37: Shorehärte A 80

Abbildung 38: Shorehärte A 65

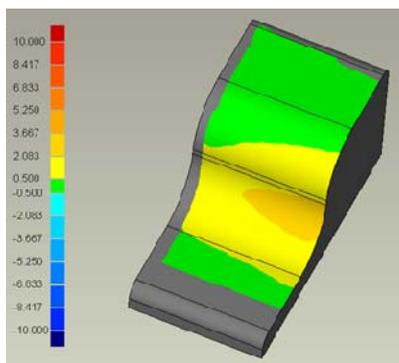


Abbildung 39: Shorehärte A 50

Damit die Erkenntnisse aus der Versuchsreihe nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ getroffen werden können, müssen die Stützstellen in weiterer Folge ausgewertet werden. In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die Auswertungen der Stützstellen ersichtlich. Diese Stützstellen geben die Normalabweichung an.

Erkenntnisse der Versuchsreihen

Radius	Shorehärte	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3
2,5 mm	A 80	0,107	2,105	-0,033
	A 65	0,105	2,879	-0,092
	A 50	0,118	keine Messung	-0,118
5 mm	A 80	-0,065	1,926	-0,142
	A 65	0,175	2,012	-0,004
	A 50	0,155	2,432	-0,121
7,5 mm	A 80	0,027	1,527	-0,03
	A 65	0,066	1,673	-0,047
	A 50	0,179	1,898	0,203

Tabelle 5: Auswertung Stützpunkte

## 5.6 Erkenntnis

Die Auswertung in Tabelle 5 hat ergeben, dass die Shorehärte A 80 die geringste Abweichung zwischen Bauteil und Stempel in den Punkten hat. Kleinere Radien als 7,5 mm können aus derzeitiger Sicht nicht umgeformt werden. Bei diesen Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass die Umformpresse eine eventuell zu geringe Pressenkraft aufweist und somit ein zu geringer Gegendruck der Elastomere auf das Bauteil während der Umformung aufgebaut wird. Aus dieser Erkenntnis müssen für die Innenradien beim Realbauteil dem „skalierten Tank“ die Shorehärte A 80 verwendet werden, da diese die geringste Abweichung laut Tabelle 5 aufweisen. Es ist auch deutlich zu sehen, dass bei den Punkten 1 und 2, also den ebenen Flächen nahezu dieselbe Abweichung vorhanden ist. Dies bedeutet, dass in Bereichen der ebenen Flächen und der Außenradien sowohl die Shorehärten A 50 und A 65 als auch die Shorehärte A 80 verwendet werden kann.

*Erkenntnisse der Grundlagenversuche*

## 6 Konstruktion des Werkzeuges skalierter Tank

Die Aufgabe bestand darin von einem vorgegeben Stempel eine Konstruktion zu entwickeln, mit der eine Umformung mittels Elastomeren durchgeführt werden kann. Die vorgegebene Kontur ist eine skalierte Tankhalbschale, die in Abbildung 40 ersichtlich ist.

*Ausgangsgeometrie*

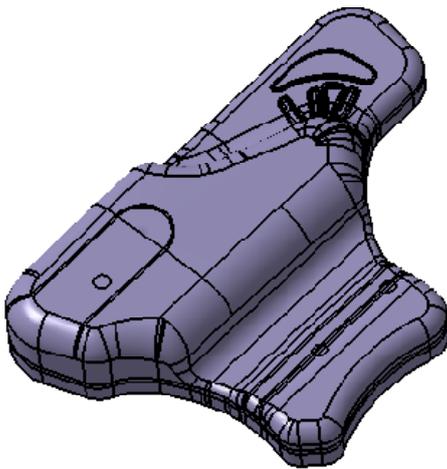


Abbildung 40: Tankgeometrie

Die Anforderungen, die an das Werkzeug gestellt werden, sind nachfolgend aufgelistet.

*Anforderungen*

- Sichere Umformung mit Elastomeren muss gewährleistet werden.
- Koffer für die Elastomere muss belastbar sein.
- Ausweichmöglichkeit der Elastomere muss vorhanden sein.
- Verbindung zwischen Koffer und Grundplatte muss ausreichend dimensioniert sein.

### 6.1 Zusammenstellungszeichnung des Werkzeuges

Abbildung 41 zeigt das konstruierte Werkzeug für die Umformung mit Elastomeren, welches aus einer Grundplatte, einem Koffer, der

*Konstruktion Umformwerkzeug*

die Polyurethanelemente fixieren soll, einen Stempel und den Niederhalter besteht.

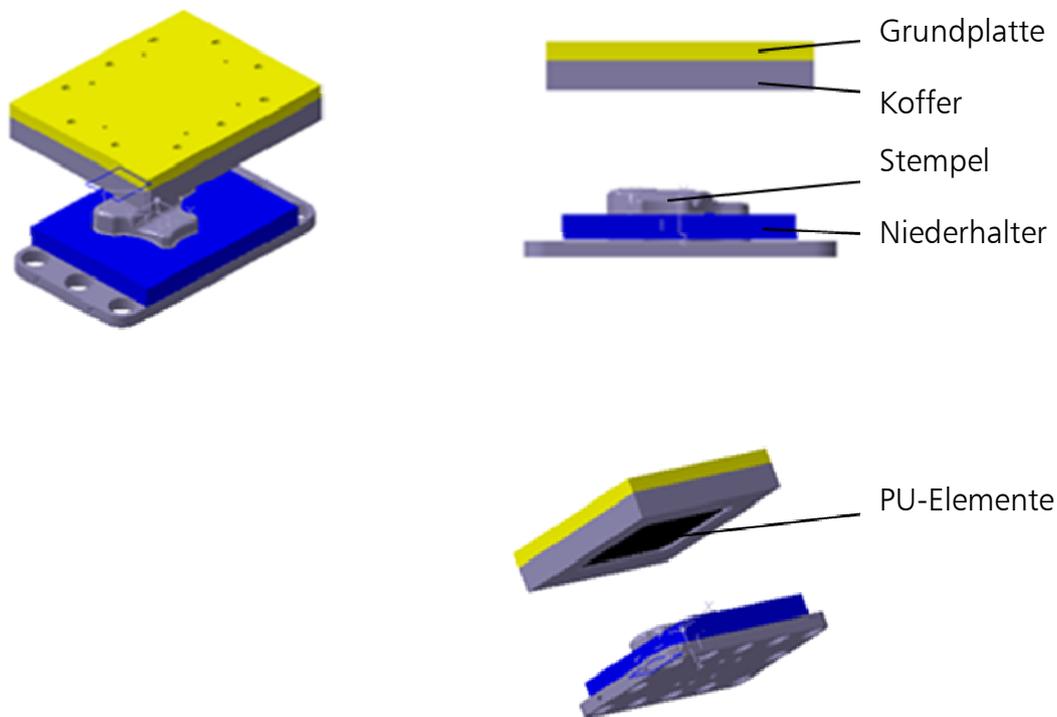
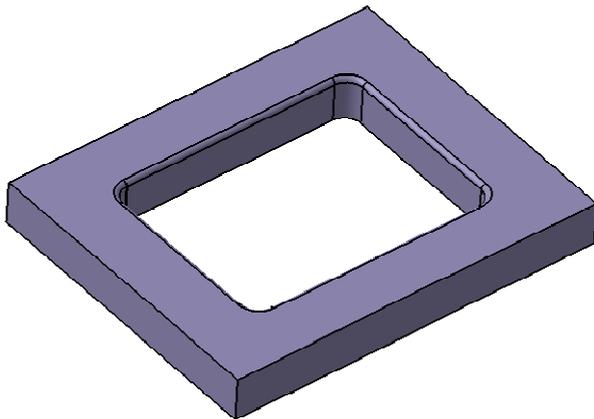


Abbildung 41: Ansicht Umformwerkzeug

## 6.2 Ausführung des Koffers

Der Koffer hat die Aufgabe, die Polyurethanelemente in Form zu halten. Um das zu gewährleisten, wird eine FE- Simulation in Catia V5 - Analysis durchgeführt. Desweiteren muss der Koffer so dimensioniert werden, dass es genügend Platz zum Ausweichen der Polyurethanelemente gibt, wie der Grundlagenversuch gezeigt hat. Aufgrund der vorgegebenen Tankgeometrie ergibt sich dann der unten abgebildete Koffer.

*Aufgabe des Koffers*



---

Abbildung 42: Koffer

### 6.3 FE Berechnung des Koffers

Die Berechnung erfolgt über das Programm „Structural-Analysis“ (Catia V5R17). In dieser FE-Berechnung wird der Koffer statisch mit dem maximalen Druck beaufschlagt. Der maximale Druck ergibt sich aus der Anforderung der Presse. Diese hat eine maximale Pressenkraft von 4000 kN. Der Stempel, der in die Elemente eingepresst wird, hat eine Fläche von 55.000 mm<sup>2</sup>. Somit ergibt sich der maximale Druck von 72,72 N/mm<sup>2</sup>, der auf die Elemente und somit auf die Innenwand des Koffers wirkt. Die Rechnung gibt Aufschluss über die Deformation des Koffers und die auftretenden Spannungen.

*FE- Berechnung*

Abbildung 43 zeigt das Analysebild der maximalen Vergleichsspannung des Koffers.

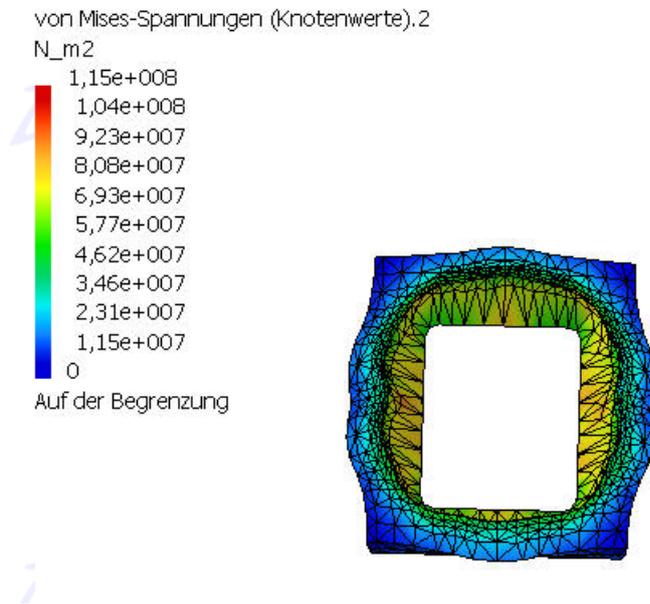


Abbildung 43: Maximale Spannung im Koffer

Abbildung 44 zeigen das Analysebild für die überhöht dargestellte Translationsverschiebung. (Vergrößerungsfaktor 4143)

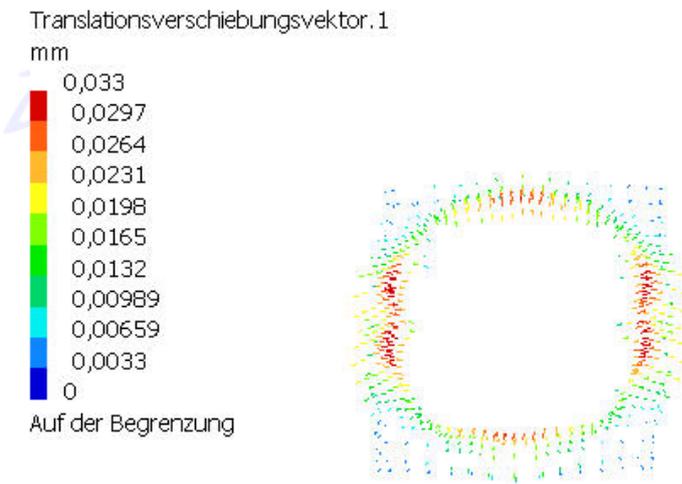


Abbildung 44: Translationsverschiebung im Koffer

**Ergebnis:**

- Maximale Vergleichsspannung (von Mises): 115,4 N/mm<sup>2</sup>
- Maximale Hauptnormalspannung: 93 N/mm<sup>2</sup>
- Maximale Verschiebung: 0,0329 mm

*Ergebnis der FE - Berechnung*

Der Werkstoff des Koffers besitzt ein  $R_e$  von 355 N/mm<sup>2</sup>. Laut Simulation ist der Koffer ausreichend dimensioniert.

*Ausreichende Dimensionierung*

**6.4 Niederhalter**

Um die Faltenbildung zu verhindern, wird ein konturnaher Niederhalter verwendet. Dieser hat an der Unterseite, wie Abbildung 45, zeigt Ausnehmungen für die Pinolen der Presse. Über diese Pinolen wird die Niederhalterkraft eingestellt.

*Niederhalter*

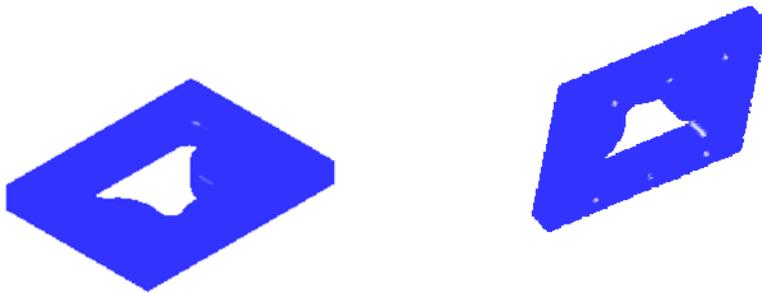


Abbildung 45: Niederhalter

## 7 Versuchsdurchführung mit ausgewähltem Werkzeug

### 7.1 Versuchsanordnung

Die Ergebnisse aus den Grundlagenuntersuchungen werden im Folgenden auf die reale Bauteilgeometrie – „skalierte Tankhalbschale“ - übertragen. Die Versuche werden auf einer zweifach wirkenden hydraulischen 4.000 kN-Pressen durchgeführt. Die folgende Abbildung 46 zeigt die Anordnung des Versuchswerkzeuges auf dem Pressentisch.

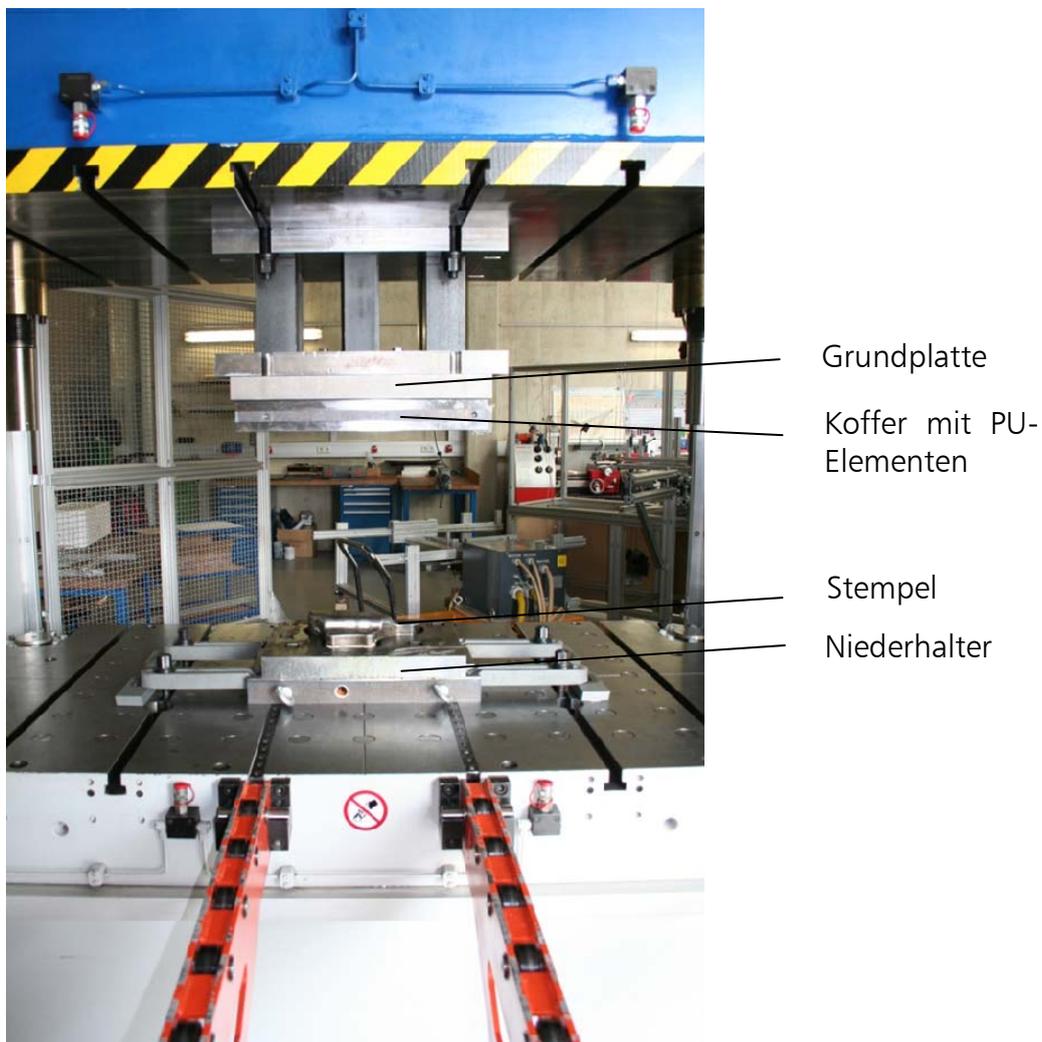


Abbildung 46: Versuchsaufbau Gummikissen

Eine Besonderheit beim Aufbau ist der „Koffer mit integrierten PU-Elementen“.

Nach den Erkenntnissen aus den Grundlagenversuchen (Kapitel 4.5) wird die Aufteilung der PU-Elemente im Koffer, wie in Abbildung 47, ersichtlich eingeteilt. Die Elemente mit der Shorehärte A 50 werden vorzugsweise in den Bereichen mit geringer Umformung bzw. in jenen Bereichen, in denen nur ebene Flächen vorhanden sind, platziert. Elemente mit der Shorehärte A 65 werden in jenen Bereichen eingesetzt, in denen sich konvexe Radien befinden. Bausteine mit der Shorehärte A 80 werden für die Bereiche mit Verprägungen und kleine konkave Radien eingesetzt.

*Einteilen und Auslegen der Kunststoffe*

50	50	50	50	50	50	50	50
50	65	50	50	65	80	80	50
50	65	50	50	65	80	80	50
50	80	80	80	80	65	65	50
50	80	80	80	80	65	65	50
50	80	80	80	80	65	65	50
50	50	50	50	50	50	50	50

Abbildung 47: Einteilung in Zonen (Zahlenwert gleich Shorehärte der Bausteine)

## 7.2 Versuchsdurchführung

Bei der ersten Versuchsreihe steht in erster Linie die Bewertung der generellen Einsetzbarkeit der Technologie im Vordergrund. Hierbei werden auch die wesentlichen Parameter für die Gummikissenumformung bestimmt. Für die Versuchsdurchführung wird in erster Instanz eine Rechteckplatte mit den Abmassen 370 mm x 480 mm x 1,5 mm verwendet.

*Machbarkeitsanalyse*

Die eingesetzte Feinblechgüte DC 04 ist ein „weicher“ Tiefziehwerkstoff. Die Streckgrenze dieses Stahls liegt bei maximal 210 MPa und die Zugfestigkeit bei maximal 350 MPa. Die Bruchdehnung beträgt 38 %. [16]

*Feinblechgüte*

Die Parameter für die Umformung sind:

- Ziehtiefe: 45 mm
- Pressenkraft: 2000 kN
- Ziehgeschwindigkeit: 10 mm/s
- Niederhalterkraft: 5 kN

Diese Parameter wurden für die gesamte Versuchsreihe verwendet.

In Abbildung 48 ist exemplarisch ein Bauteil dieser Versuchsreihe dargestellt. Nach einer ersten optischen Begutachtung der Bauteile hinsichtlich Oberflächenbeschaffenheit erfüllt dieses Verfahren die geforderten Ansprüche. Es kommt jedoch zu einer massiven Faltenbildung im Bereich des Übergangs aus dem Blechhalterbereich zur Stempelgeometrie.

*Bauteil der Versuchsreihe*



Abbildung 48: Bauteil aus Versuchsreihe 1

Die Falten entstehen durch den beim Tiefziehen unterschiedlichen „Umformablauf“. Beim Tiefziehen werden eine konturfolgende Matrize und Niederhalter eingesetzt. Der definierte Ziehspalt zwischen der Matrize und dem Stempel wird üblicherweise um 10 % bis 20 % größer gewählt, als die eingesetzte Blechdicke. Die Krafteinleitung er-

*Faltenbildung*

folgt über den Stempel in den Ziehteilboden und wird über die Zarge in die Hauptumformzone - dem Flansch - übertragen.

Bei dem Einsatz von gekofferten PU-Elementen liegt die Hauptumformzone nicht im Flansch, sondern lokal in jenen Bereichen, in denen die Umformkraft als Gegendruck von den PU-Elementen aufgebaut wird. Weiterhin ist der Koffer nicht konturfolgend aufgebaut. Dadurch entsteht zwischen dem Niederhalterbereich und dem Angriffspunkt des Stempels eine große, frei aufgespannte Länge, die sich zu einer ungewollten Faltenbildung zweiter Ordnung auswirkt.

*Einsatz gekofferte PU- Elemente*

Um eine Aussage über die optische Verbesserung der Bauteile bei den anschließenden Versuchsreihen zu erhalten, werden diese in Bereiche unterteilt. Die Bereiche werden wie in Abbildung 49 ersichtlich definiert.

*Einteilung in Bereiche*

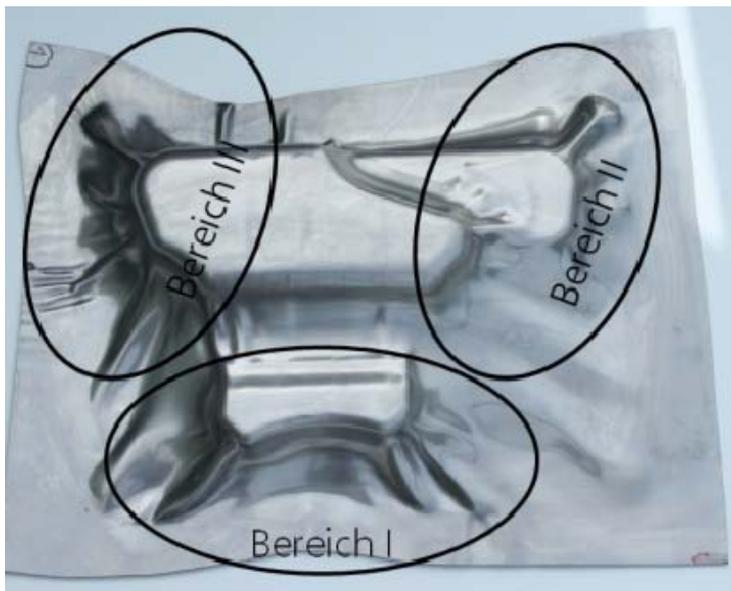


Abbildung 49: Einteilung in Bereiche

### 7.2.1 Neuordnung der Elastomere

Um die Faltenbildung zweiter Ordnung zu reduzieren, wird zunächst die Anordnung der PU-Bausteine verändert. Durch den modularen Aufbau des PU Kissens kann dies durch ein Umstecken der Elemente erreicht werden. Aus den Ergebnissen der ersten Versuchsreihe ist zu

*Neuanordnung Elastomere*

erkennen, dass im Randbereich der Tankhalbschale die Shorehärten zu niedrig gewählt wurden. Dies hat zur Folge, dass der eingeleiteten Umformkraft keine entsprechende Gegenkraft über die PU-Elemente gegenübersteht. Abbildung 50 zeigt die Neuordnung der Elemente.

80	80	80	80	80	80	80	80
80	50	50	50	65	65	65	80
80	50	50	50	65	65	65	80
80	65	65	65	80	80	80	80
80	65	65	65	80	80	80	80
80	80	80	80	80	80	80	80

Abbildung 50: Neuordnung der PU-Elemente

In Abbildung 51 ist nunmehr ersichtlich, dass durch die Erhöhung der Shorehärten in den Randbereichen, keine signifikante Verbesserung der Faltenbildung erzielt werden konnte.



Abbildung 51: Ziehteil mit Neuordnung Bauteil 2



Abbildung 52: Vergleich Bauteil 1 mit 2

Wesentlicher Einflussfaktor auf die Faltenbildung zweiter Ordnung ist somit die nicht konturfolgende Matrizenform im Blechhalterbereich und die damit verbundene große frei aufgespannte Länge. Der Einsatz eines „konturnahen“ Koffers wäre eine sinnvolle Lösung, widerspricht jedoch dem Ziel, dieses modularen Werkzeug für unterschiedliche Stempelgeometrien mit verschiedenen Konturen einsetzen zu können. Um mit einer alternativen Lösung die freie aufgespannte Länge zu reduzieren, muss der Koffer in diesen Bereichen mit einem nicht nachgiebigen Material, einem sogenannten verfahrensspezifischen Niederhalter, versehen werden, um den Anforderungen aus Kapitel 5.3 gerecht zu werden.

*Ursache Faltenbildung*



Abbildung 53: Kontaktfläche Niederhalter

### 7.2.1.1 Materialauswahl für modularen Niederhalter

Das auszuwählende Material muss einerseits der Standzeit für eine Kleinserienfertigung genügen und darf andererseits die modulare Bauweise nicht gefährden. Aufgrund dieser Bedingungen wird ein Material gesucht, welches zugleich preiswert ist und die Ansprüche an einen modularen Aufbau erfüllt. Aufgrund dieser Anforderungen und der am Institut bereits durchgeführten Grundlagenuntersuchung mit Robinienholz, wurde dieses für den modularen Aufbau eines Niederhalters ausgewählt. [18]

*Materialauswahl für Erweiterung des Niederhalterbereichs*

Eigenschaften	Robinie
Gewicht frisch [kg/m <sup>3</sup> ]	~ 930
Rohdichte (0% = darrtrocken) [g/cm <sup>3</sup> ] <sup>*)</sup>	0,70 - 0,75 - 0,80
Rohdichte (12-15% Holzfeuchte) [g/cm <sup>3</sup> ]	~ 0,78
Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>*)</sup>	133 - 150 - 167
Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>*)</sup>	80 - 86 - 92
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>*)</sup>	130 - 164 - 200
Elastizitätsmodul (Biegung) [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>*)</sup>	14500 - 16200 - 17900
Scherfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>*)</sup>	16 - 18 - 20
Bruchschlagarbeit [kJ/m <sup>2</sup> ] <sup>*)</sup>	13,9 - 17,5 - 21,1
Härte BRINELL [N/mm <sup>2</sup> ] <sup>*)</sup>	31 - 37 - 43
Schwindmaße (frisch>darrtrocken) [%] <sup>*)</sup>	
radial	5,5 - 6,5
tangential	11 - 12
Volumen	15 - 18
Feuchtewechsel <sup>*)</sup>	extrem langsam
Resistenzklasse (EN 350-2)	1 - 2 (3)

<sup>\*)</sup> Neueste Werte aus Richter & al. 2000: Mittelwert +/- Standardabweichung

Abbildung 54: Eigenschaft Robinie  
Quelle: Uni Hamburg

Vorteile dieses Werkstoffes sind:

*Vorteile Robinienholz*

- Hohe Querdruckfestigkeit
- Hohe Rohdichte
- Große Formstabilität
- Gute spanende Bearbeitbarkeit
- Gut geeignet für modularen Aufbau

## 7.2.2 Versuchsdurchführung mit Robinienholz

Wie aus Abbildung 55 ersichtlich ist, wurden für die weiteren Versuchsdurchführungen die randseitigen PU- Elemente durch Elemente aus Robinienholz ersetzt, um in weiterer Folge die Faltenbildung zweiter Ordnung am Bauteil zu vermeiden.

*Anordnung Robinie*

		80	80	80	80		
80	50	50	50	65	65	65	80
80	50	50	50	65	65	65	80
	65	65	65	80	80	80	
	65	65	65	80	80		
	80	80	80	80			

 ..... Robinie

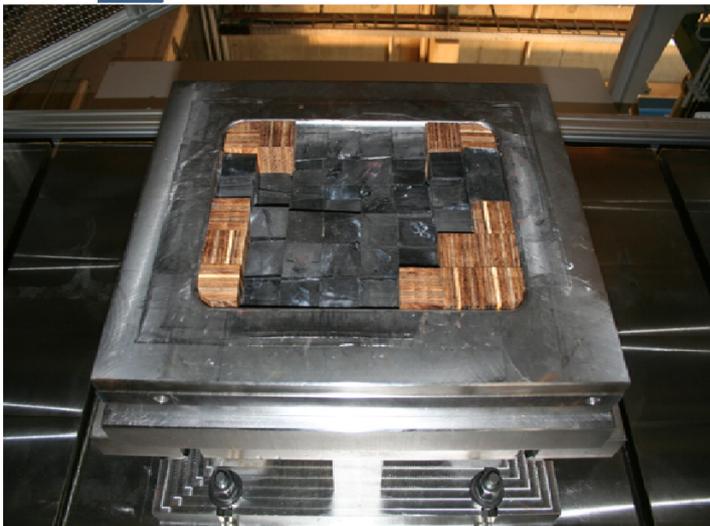


Abbildung 55: Einteilung Robinie

Aus dieser Einteilung der Robinienbausteine ergab sich das Bauteil, welches in Abbildung 56 gezeigt wird. Der optische Vergleich zu den vorangegangenen Bauteilen wird in Abbildung 57 dargestellt.



Abbildung 56: Bauteil 3

	Bereich I	Bereich II	Bereich III
Bauteil 1			
Bauteil 2			
Bauteil 3			

Vergleich der Bauteile

Abbildung 57: Vergleich der Bauteile 1-3

Es zeigt sich signifikant, dass die Faltenbildung zweiter Ordnung reduziert worden ist. Jedoch ist zwischen Übergang vom Niederhalterbereich zum Stempel noch immer eine frei aufgespannte Fläche vorhanden, auf der weiterhin eine Faltenbildung erkennbar ist. Aufgrund dieser Tatsache muss ein der Kontur noch näherer Niederhalterbereich realisiert werden.

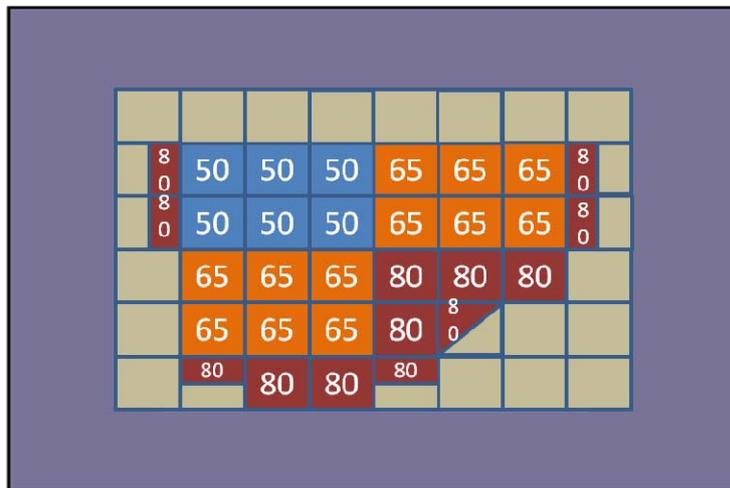
Faltenbildung

### 7.2.3 Neuordnung der Robinie

Diese Faltenbildung zweiter Ordnung führt zu einer Neueinteilung der Bausteine. Um jedoch einen noch konturfolgenderen Koffer zu

Neuanordnung Robinie

erhalten, werden die PU-Bausteine und die Holzeinsätze im Winkel von 45 Grad bzw. von 90 Grad beschnitten. Die nachfolgende Abbildung 58 zeigt die Neuordnung im Koffer.



..... Robinie



Abbildung 58: Neuordnung Robinie

Das Bauteil aus dieser Versuchsreihe ergab eine nur unwesentliche Verbesserung der Faltenbildung. Dies beruht auf der Tatsache, dass die Kontur des Koffers nicht dieselbe Kontur wie der Blechhalter besitzt und der Bereich in dem sich die Falten ausbilden können, noch immer vorhanden ist.

*Konturnaher Koffer*



Abbildung 59: Bauteil 4

	Bereich I	Bereich II	Bereich III
Bauteil 1			
Bauteil 2			
Bauteil 3			
Bauteil 4			

Vergleich der Bauteile

Abbildung 60: Vergleich Bauteil 1-4

Die Faltenbildung zweiter Ordnung wird definitiv vom nicht konturnähen Koffer hervorgerufen. Die Holzbausteine haben deutlich gezeigt, dass die Faltenbildung reduziert wurde. Diese Bausteine können in weiterer Folge nicht konturnäher gefertigt werden, da ansonsten die modulare Bauweise der Kofferelemente verloren geht. Um die modulare Bauweise des Koffers beibehalten zu können, wird nach einer Lösung gesucht, die einen konturfolgenden Koffer abbildet.

Konturnäher Koffer

### 7.2.4 Versuch mit konturnahem Blech

Um die Faltenbildung nunmehr weiter zu reduzieren, ist es notwendig, zusätzlich zu den konturfolgenden Robinieneinsätzen einen auf das Verfahren angepassten modularen Blechhaltereinheit zu entwickeln. Aufgrund dieser Tatsache wurde für die weiteren Versuche ein konturfolgendes Blech, wie in Abbildung 61 dargestellt, eingesetzt.

*Konturnahes Blech*



Abbildung 61: Konturnahes Blech

Aufgabe des konturnahen Bleches ist es, den Niederhalterbereich zu vergrößern, um in weiterer Folge den frei aufgespannten Bereich zwischen den Holzelementen und dem Stempel weiter zu verringern. Der umzuformenden Platine wird damit die Möglichkeit genommen Falten zweiter Ordnung auszubilden. Dieses Blech wird zusammen mit der umzuformenden Platine auf den Niederhalter gelegt. Während der Umformung wird die Platine durch den Ausschnitt gezogen. Dies bewirkt eine signifikante Verbesserung der Faltenbildung zweiter Ordnung des Bauteils, wie Abbildung 62 und Abbildung 63 zeigen. Dadurch kommt es jedoch zu einem Riss, wie die nachstehende Abbildung zeigt.

*Faltenbildung*



Abbildung 62: Bauteil 5

	Bereich I	Bereich II	Bereich III
Bauteil 1			
Bauteil 2			
Bauteil 3			
Bauteil 4			
Bauteil 5			

Vergleich der Bauteile

Abbildung 63: Vergleich Bauteil 1-5

Die Erkenntnis aus dem Versuch mit konturnahem Blech ist, dass die Faltenbildung zweiter Ordnung, aufgrund der Erweiterung des Blechhalterbereichs, nahezu nicht mehr vorhanden ist. Der Riss der durch die Umformung entstanden ist, beruht auf der Tatsache, dass sich der Blechhalterbereich vergrößert hat und dadurch das Nachfließen des Bleches verhindert. Um die Angriffsfläche für den Niederhal-

*Erkenntnisse*

ter auf das Blech zu minimieren, wird in weitere Folge die Platinengeometrie optimiert.

### 7.2.5 Anpassung der Platinengeometrie

Für die Versuchsreihe wurde die optimierte Platine für das konventionelle Tiefziehen verwendet. Die Kontur wurde um 30 mm in jeder Richtung vergrößert, da die Ziehtiefe mit dem Elastomer-Holz-Werkzeug höher ist. Die Platinengeometrie ist in Abbildung 64 ersichtlich.

*Platinengeometrie*



Abbildung 64: Platinengeometrie

In Abbildung 65 ist ein Bauteil dieser Versuchsreihe dargestellt. Das Bauteil zeigt, dass die Faltenbildung zweiter Ordnung nicht mehr vorhanden ist. Die gewählte Platinengeometrie ist für die Umformung mit den Elastomer-Holz-Bausteinen für die skalierte Tankhalbschale einsetzbar. Abbildung 66 zeigt signifikant die Verbesserung in allen drei Bereichen.

*Endergebnis*



Abbildung 65: Bauteil 6

	Bereich I	Bereich II	Bereich III
Bauteil 1			
Bauteil 2			
Bauteil 3			
Bauteil 4			
Bauteil 5			
Bauteil 6			

Vergleich der Bauteile

Abbildung 66: Vergleich Bauteil 1-6

Um den optisch guten Vergleich auch zu widerlegen, wird das Bauteil 6 digitalisiert.

### 7.3 Auswertung des Bauteils

Die Vermessung des umgeformten Bauteils erfolgt mit derselben Methode, die bereits in Kapitel 4.4.5 beschrieben ist. Die nachfolgende

Auswertung der Bauteile

Abbildung 67 zeigt den Vergleich des Bauteils mit der Geometrie des Stempels. Wobei beim Stempel nicht die CAD-Kontur verwendet wird, sondern die vermessene Geometrie, da durch Verschleiß eine Abweichung auftreten könnte.

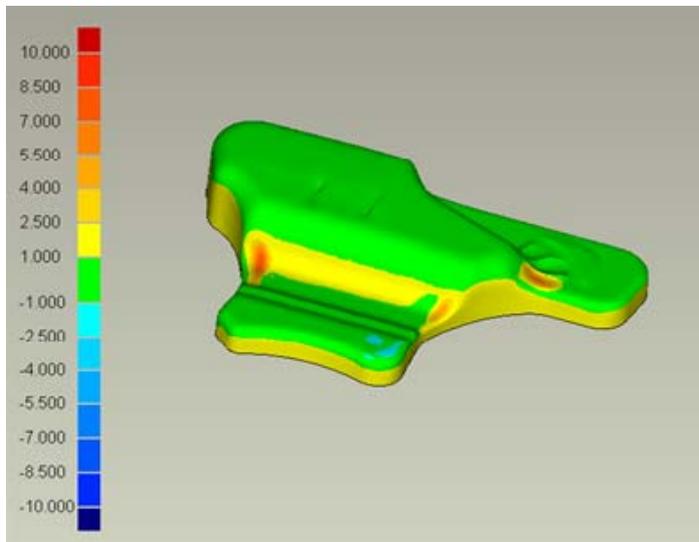


Abbildung 67: Vergleich Bauteil mit Stempel

Um nicht nur eine qualitative Aussage tätigen zu können, wurden 9 Punkte ausgewählt, an denen eine quantitative Aussage getroffen werden kann. Abbildung 68 zeigt die Auswertung der 9 Messpunkte.

*Qualitative Auswertung*

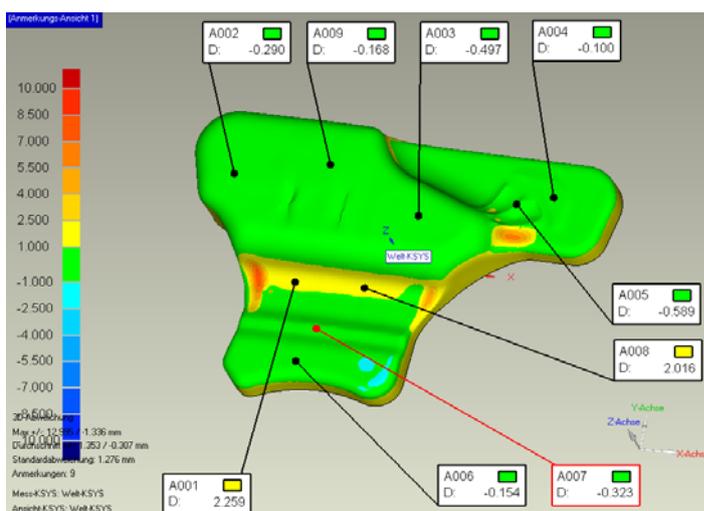


Abbildung 68: Messpunkte

Es ist zu erkennen, dass die konvexen Radien ohne weiteres umgeformt werden können. Prägungen sind für die Elastomer-Holz-Umformung ohne weiteres möglich. Jedoch muss im Bereich der konkaven Radien darauf geachtet werden, dass diese nicht kleiner als 20 mm sind, wie die Auswertung zeigt. Im Zuge dieser Versuchsreihen wurden hundert Bauteile umgeformt und die Elastomere weisen nach der optischer Begutachtung noch keinen Verschleiß auf. Aus diesem Grund ist das Umformungskonzept mit modularen Bausteinen für eine Stückzahl von 500 Stk pro Jahr ohne weiteres möglich. Für höhere Stückzahlen müssten die einzelnen Elastomere oder Holzbausteine je nach Versagen ausgetauscht werden.

*Auswertung Bauteile*

#### 7.4 Versuchsdurchführung mit Robinienstempel

Das zentrale Thema jeder Kleinserienfertigung ist die Reduktion der Kosten pro Bauteil. Um eventuell noch mehr Kosten zu sparen wird ein Testversuch mit einem Stempel aus Robinienholz durchgeführt. Hierfür wird anstelle des Stahlstempels ein Robinienstempel eingesetzt, wie Abbildung 69 zeigt.

*Test von Robinienstempel*



Abbildung 69: Holzstempel

Das Bauteil (Abbildung 70) hat ergeben, dass die Möglichkeit besteht den Stahlstempel durch einen Robinienstempel zu ersetzen. Jedoch wurden zu Testzwecken nur drei Bauteile umgeformt. Um nachhalti-

*Ergebnis Robinienstempel*

gere Erkenntnisse über die Standzeit und die Abnutzung bzw. den Verschleiß des Stempels zu erhalten, müssten weitere Versuchsreihen durchgeführt werden. Nach der Umformung der Bauteile mit dem Holzstempel hat sich noch kein Verschleiß gezeigt, es könnte durchaus möglich sein, dieses Werkzeugkonzept für eine Kleinserie einzusetzen.



Abbildung 70: Bauteil mit Robinienstempel

Bei diesem Bauteil ist im Vergleich zum Bauteil 6 optisch kein Unterschied zu sehen, wie Abbildung 71 zeigt.

	Bereich I	Bereich II	Bereich III
Bauteil 6			
Bauteil mit Holzstempel			

Abbildung 71: Vergleich Bauteil 6 zu Bauteil mit Holzstempel

## 8 Kostenvergleich eines konventionellen Werkzeugs zu einem Elastomerwerkzeug

Um einen Vergleich der Kosten für die Herstellung der Werkzeuge zu bekommen, werden die Mindestherstellkosten für die Fertigung der Werkzeuge berechnet. Diese Kalkulation beruht auf der am Institut vorliegenden Kostenkalkulation.

### 8.1 Berechnungsmethode der Herstellkosten

Die Mindestherstellkosten eines Produktes sind nach dem Unternehmensgesetzbuch gemäß § 203 Abs. 3 wie folgt definiert:

*Definition der Mindestherstellkosten*

*„Herstellungskosten sind die Aufwendungen, die für die Herstellung eines Vermögensgegenstandes, seine Erweiterung oder für eine über seinen ursprünglichen Zustand hinausgehende wesentliche Verbesserung entstehen. Bei der Berechnung der Herstellungskosten dürfen auch angemessene Teile der Materialgemeinkosten und der Fertigungsgemeinkosten eingerechnet werden.“*

Das Schema der Herstellkostenermittlung ist wie folgt gegliedert:

*Schema der Herstellkosten*

Fertigungsmaterial

+ Fertigungslöhne (FL)

+ angemessener Teil der Fertigungs- und Materialgemeinkosten (FMGK)

= Mindestherstellkosten

#### 8.1.1 Ermittlung der Kosten für Material

Für die Ermittlung des Fertigungsmaterials muss die Masse der verwendeten Materialien berechnet werden, da die Kosten für Stahl und der Elastomere in Euro/kg definiert sind.

*Ermittlung der Materialkosten*

Die Masse  $m$  wird durch die Dichte  $\rho$  und das Volumen  $V$  wie folgt definiert:



$$m = 490,6 \text{ kg}$$

Eingesetzt in Gleichung (4), ergeben sich Fertigungsmaterialkosten von

$$\text{FMK} = 539,70,- \text{ €}$$

### 8.2.2 Ermittlung der Fertigungslöhne

Die Fertigungslöhne richten sich nach der zu benötigten Fräsarbeitszeit. Die Fräszeit für Stempel, Matrize und Niederhalter ergibt sich aus der Geometrie des Werkzeuges.

*Berechnung der Fertigungslöhne*

Fertigungszeit:

- Stempel 30 Stunden
- Matrize 30 Stunden
- Niederhalter 15 Stunden

Die Fertigungszeit multipliziert mit dem Fertigungsstundensatz ergibt die Fertigungskosten. Diese wären 2.625,- €

### 8.2.3 Ermittlung der Gemeinkosten

Die Gemeinkosten werden wie die Fertigungslöhne, allerdings mit einem anderen Stundensatz, berechnet. Die Gemeinkosten für die Fertigung des Stempels, der Matrize und des Niederhalters sind 1.875,- €.

*Berechnung der Gemeinkosten*

Nach Ermittlung der Materialkosten, der Fertigungslöhne und der Gemeinkosten, können nun die Mindestherstellkosten berechnet werden.

### 8.2.4 Berechnung der Herstellkosten

Fertigungsmaterial	539,70,- €	<i>Mindestherstellkosten</i>
+ Fertigungslöhne	2.625,00,- €	
+ Fertigungs- und Materialgemeinkosten	<u>1.875,00,- €</u>	
= Mindestherstellkosten	5.039,70,- €	

### 8.3 Berechnung der Herstellkosten für Elastomerwerkzeug

#### 8.3.1 Ermittlung des Fertigungsmaterials

Der Bedarf an Fertigungsmaterial ergibt sich aus der Konstruktion des Versuchswerkzeuges. Es wird wie beim konventionellen Tiefziehwerkzeug ein Stempel und ein Niederhalter benötigt. Die Matrize wird durch einen Koffer, eine Grundplatte und den Elastomer- sowie den Holzbausteinen ersetzt.

#### 8.3.2 Ermittlung Stahl, Koffer und Grundplatte

Um die Kosten des Fertigungsmaterials aus Stahl für den Stempel, den Koffer, die Grundplatte und den Niederhalter zu erhalten, muss die Masse laut Gleichung (3) bestimmt werden. *Berechnung des Fertigungsmaterials*

Abmessungen Rohmaterial:

- Stempel 0,35 m x 0,2 m x 0,07 m
- Koffer 0,48 m x 0,6 m x 0,07 m
- Grundplatte 0,48 m x 0,6 m x 0,03 m
- Niederhalter 0,48 m x 0,6 m x 0,10 m

Beim Rohmaterial für den Koffer sind die Innenabmessungen abziehen.

- Innenabmessung Koffer 0,4 m x 0,3 m x 0,07 m.

Somit ergibt sich ein Volumen von 0,0541 m<sup>3</sup>. Mit der Dichte von Stahl (7850 kg/m<sup>3</sup>) und in Gleichung (3) eingesetzt, ergibt sich eine Masse von

$$m=424,68 \text{ kg}$$

Diese eingesetzt in Gleichung (4) ergeben sich die Fertigungsmaterialkosten von

$$\text{FMK} = 467,20,- \text{ €}$$

### 8.3.3 Berechnung der Elastomere

Es werden 27,5 Elastomerbausteine benötigt. Diese haben jeweils die Abmaße von 0,05 m x 0,05 m x 0,05 m.

*Berechnung des Fertigungsmaterials*

Somit ergibt sich ein Volumen von 0,00343 m<sup>3</sup>. Mit der Dichte von Kunststoff (1090 kg/m<sup>3</sup>) und in Gleichung (3) eingesetzt, ergibt sich eine Masse von

$$m = 3,75 \text{ kg}$$

Weiteres eingesetzt in Gleichung (4) und mit dem Kunststoffpreis von 15,- €/kg multipliziert, ergeben sich die Fertigungsmaterialkosten von

$$\text{FMK} = 56,20,- \text{ €}$$

### 8.3.4 Berechnung Robinie

Die 20,5 eingesetzten Robinienbausteine haben die Abmaße von 0,05 m x 0,05 m x 0,072 m.

Somit ergibt sich ein Volumen von 0,00369 m<sup>3</sup>. Der Preis der Robinie wird in Kubikmeter angegeben und beträgt für einen Kubikmeter 700,- €. Dies mit dem Volumen multipliziert, ergeben sich die Fertigungsmaterialkosten von

$$\text{FMK} = 2,583,- \text{ €}$$

### 8.3.5 Ermittlung der Fertigungslöhne

Die Fertigungslöhne und die Gemeinkosten richten sich nach der zu benötigten Fräsarbeitszeit, der Abgusszeit des Kunststoffes und dem Beschnitt der Robinie.

*Berechnung der Fertigungslöhne*

Die Fräszeit für Stempel, Koffer, Grundplatte und Niederhalter ergibt sich aus der Geometrie des Werkzeuges.

Fertigungszeit Fräsen:

- Stempel 30 Stunden
- Koffer 4 Stunden
- Grundplatte 3 Stunden
- Niederhalter 15 Stunden

Fertigungszeit Abguss:

- Elastomere 3 Stunden

Fertigungszeit Beschnitt:

- Robinie 1 Stunde

Die Fertigungszeit multipliziert mit dem Fertigungsstundensatz ergibt die Fertigungskosten. Diese betragen 1.960,- €

### 8.3.6 Ermittlung der Gemeinkosten

Die Gemeinkosten werden wie die Fertigungslöhne nur mit einem anderen Stundensatz berechnet.

*Berechnung der Gemeinkosten*

Die Gemeinkosten der Fräszeit, Elastomerherstellung und dem Beschnitt der Robinie betragen 1.400,- €

Nach Ermittlung der Fertigungslöhne, der Gemeinkosten und der Materialkosten können nun die Mindestherstellkosten berechnet werden.

### 8.3.7 Berechnung der Herstellkosten

Fertigungsmaterial	525,90,- €
+ Fertigungslöhne	1.960,00,- €
+ Fertigungs- und Materialgemeinkosten	<u>1.400,00,- €</u>
= Mindestherstellkosten	3.885,90,- €

#### 8.4 Vergleich der Herstellkosten

Die Herstellkosten des konventionellen Tiefziehwerkzeuges betragen *Herstellkostenvergleich* 5.039,70,- €. Die Herstellkosten des Elastomer-Holz-Werkzeuges betragen 3.885,90,- €. Werden die beiden Herstellkosten miteinander verglichen, so ist das Tiefziehen mit elastischem Medium um 29,7 % billiger.

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit zeigt das Potential des Einsatzes von „gekammerten PU-Bausteinen“ als Substitution von konventionellen Umformmatrizen zur Blechumformung auf. Durch die Substitution eines konventionellen Stahlstempels durch einen Rubinsteinempel, wird ein zusätzlicher Vorteil bei der Kostenreduktion von Tiefziehwerkzeugen erzielt.

Die Versuche mit dem kombinierten Materialien zeigen deutliche Vorteile hinsichtlich: *Vorteile des Verfahrens*

- Modularer Aufbau
- Defekte Elastomere oder Holzelemente können ohne Ausbau des Werkzeuges getauscht werden
- Stillstandzeiten bei Versagen der Elemente werden reduziert
- Variierung der Blechdicke während einer Versuchsdurchführung wie z.B.: in der Try-Out- Phase sind möglich
- Bei Änderungen der Stempelgeometrie muss nur dieser ausgetauscht werden
- Keine Riefen an der Oberfläche der Bauteile
- Kein definierter Ziehspalt erforderlich

Bei der Auswahl dieser Verfahrensvariante muss bei der Bauteilgeometrie darauf geachtet werden, dass die Innenradien nicht kleiner als 20 mm sind. Um die Innenradien eventuell noch kleiner gestalten zu können, müssen lokal härtere PU-Materialien verwendet werden. *Auswahl des Verfahrens*

Gerade für den Bereich der Kleinserienfertigung sollte dieses Umformverfahren unbedingt in Betracht gezogen werden, da die Herstellkosten um ungefähr 30 % geringer sind, als jene von konventionellen Werkzeugen.

## 10 Anhang

## 10.1 Datenblatt RAKU Tool

© RAMPF Tooling GmbH & Co. KG

 **RAMPF**  
discover the future

**RAKU-TOOL® PC-3410, PC-3411, PC-3451 (Harz)  
PH-3911, PH-3952 (Isocyanat)**

**Gießharz**  
**Zweikomponenten Polyharnstoff (Shore A40-A95)**

www.rampf-gruppe.de

PC - Rev.-Status: 02- 2008/12/01 Seite 1 von 2

**Haupteigenschaften**

- Von Hand vergießbar
- Wenig feuchtempfindlich
- Lange Topfzeit
- Keine Totenkopf Kennzeichnung
- Hohe Bruchdehnung

**Anwendungen**

- Strukturmatrizen
- Geschlossene Gipsformen für die Keramikindustrie
- Beton Formen
- Schwingungsdämpfung
- Werkstückaufnahmen, Schlagschutzteile

**Verarbeitungsdaten**

			PC-3410	PC-3411	PC-3451
Farbe	optisch		Schwarz	Schwarz	Beige
Dichte	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,09	1,20	1,20
Viskosität bei 25 °C	ISO 2555	m Pa.s	1.300 – 1.800	500 – 600	9.000 – 10.000

			PH-3911	PH-3952
Farbe	optisch		Gelblich	Gelblich
Dichte	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,06	1,09
Viskosität bei 25 °C	ISO 2555	m Pa.s	4.000 – 4.500	800– 1.200

PC-3410, PC-3411, PC-3451 (Harz) und PH-3911, PH-3952 (Isocyanat) können miteinander vermischt werden um eine Shore Härte zwischen A 40 und A 95 zu erhalten.

	Mischungsverhältnis (Gewichtsteile)								
	100	75	50	25					
PC-3410									
PC-3411		2,5	5,0	7,5	10				
PC-3451						100	100	100	100
PH-3911	300	250	200	150	100	105	45	24	
PH-3952						45	55	56	60

**Nach Härtung / Mechanische Eigenschaften (Härtung: 7 Tage bei RT oder 14 h bei 40 °C)**

	Schwarz	Schwarz	Schwarz	Schwarz	Schwarz	Beige	Beige	Beige	Beige
Farbe (optisch)	Schwarz	Schwarz	Schwarz	Schwarz	Schwarz	Beige	Beige	Beige	Beige
Shore A	40	50	55	65	80	85	90	95	
Shore D				20	30	32	50	55	60-65
Topfzeit bei 25 °C (Min)	85-95	70-80	60-70	50-60	50-55	50	40	35	20-25
Bruchdehnung (%)	350-400	350-400	350-400	680-730	680-730				110-120
Taber Abrasion (mm <sup>3</sup> /100U)	3-6				7-11	35-40	35-40	40-45	50

© RAMPF Tooling GmbH &amp; Co. KG

RAKU-TOOL® PC-3410, PC-3411, PC-3451 (Harz)  
PH-3911, PH-3952 (Isocyanat)

Gießharz

Zweikomponenten Polyharnstoff (Shore A40-A95)



PC - Rev.-Status: 02- 2008/12/01

Seite 2 von 2

### Verarbeitung

Vor Gebrauch ist die Komponente A gut aufzurühren, da Zusatzstoffe etwas zur Sedimentation neigen.

Die Komponenten im angegebenen Mischungsverhältnis gut vermischen.

Evakuieren und / oder Nachhärtung verbessern die Endeigenschaften.

**Die Verarbeitungstemperatur und die des Materials sollten im Bereich von 20°C – 25°C liegen.**

### Verpackung

RAKU-TOOL® PC-3410	5 kg
RAKU-TOOL® PC-3411	2 kg
RAKU-TOOL® PC-3451	5 kg, 25 kg
RAKU-TOOL® PH-3911	5 kg, 20 kg
RAKU-TOOL® PH-3952	3 kg, 22,5 kg

### Lagerung

Original Gebinde sollten dicht verschlossen bei Temperaturen zwischen 15°C und 30°C gelagert werden. Bei

fachgerechter Lagerung haben die Produkte die auf dem Produktetiket angegebene Lagerdauer.

Angebrochene Gebinde sind stets zu verschließen und baldmöglichst zu verarbeiten.

### Arbeitsschutz

Bei der Verarbeitung ist auf gute Belüftung des Arbeitsplatzes zu achten. Gleichzeitig sind die gewerbehygienischen Schutzvorschriften der Berufsgenossenschaft für den Umgang mit Reaktionsharzen und deren Härtem einzuhalten. Beachten Sie bitte die jeweiligen Sicherheitsdatenblätter.

RAMPF Tooling GmbH & Co. KG  
Albstr. 37 - D-72861 Grafenberg  
T +49 (0) 7123 9342-1600  
F +49 (0) 7123 9342-1666  
E [info@rampf-tooling.com](mailto:info@rampf-tooling.com)

[www.raku-tool.com](http://www.raku-tool.com)

Unsere anwendungstechnischen Empfehlungen erfolgen auf Grund jahrelanger Erfahrung und basieren auf dem derzeitigen Kenntnisstand von Wissenschaft und Praxis. Sie sind jedoch unverbindlich und entbinden den Käufer nicht von Eignungsprüfungen. Ein vertragliches Rechtsverhältnis besteht dadurch nicht, auch nicht in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter.

## 10.2 Analyse der FE- Simulation

## Analyse Koffer

### Vernetzung:

Einheit	Größe
Knoten	1834
Elemente	7149

### Elementtyp:

Konnektivität	Statistik
TE4	7149 ( 100,00% )

### Qualität des Elements:

Kriterium	Gut	Nicht zufrieden stellend	Fehlerhaft	Ungenügend	Durchschnittlich
Verzerrung (deg)	5550 ( 77,63% )	1462 ( 20,45% )	137 ( 1,92% )	53,557	28,120
Dehnung	7149 ( 100,00% )	0 ( 0,00% )	0 ( 0,00% )	0,330	0,630
Längenverhältnis	7149 ( 100,00% )	0 ( 0,00% )	0 ( 0,00% )	4,991	1,916

### Materialien.1

Material	Stahl
Young-Modulus	2e+011N_m2
Poisson-Faktor	0,266
Dichte	7860kg_m3
Koeffizient der Wärmeausdehnung	1,17e-005_Kdeg
Elastizitätslimit	2,5e+008N_m2

## Statischer Prozess

### Begrenzungsbedingungen

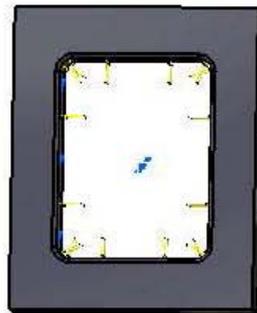


Figure 1

### Berechnung der Festigkeit

Anzahl Knoten	: 1834
Anzahl Elemente	: 7149
Anzahl Freiheitsgrade	: 5502
Anzahl Kontaktbeziehungen	: 0
Anzahl kinematischer Beziehungen	: 0

Linearer Tetraeder : 7149

### Berechnung der Bedingungen

Name: RestraintSet.1

Anzahl S.P.C: 1359

---

## Berechnung der Last

Name:Lasten.1

resultierende Kraft:

$F_x = 6.185e-011 \text{ N}$   
 $F_y = -4.866e-010 \text{ N}$   
 $F_z = 8.048e+003 \text{ N}$   
 $M_x = 1.741e+002 \text{ Nxm}$   
 $M_y = 1.180e+002 \text{ Nxm}$   
 $M_z = 4.718e-012 \text{ Nxm}$

## Berechnung der Steifigkeit

Anzahl Linien : 5502  
Anzahl Koeffizienten : 102048  
Anzahl Blöcke : 1  
Maximale Anzahl Koeffizienten pro Block : 102048  
Gesamtgröße der Matrix : 1.19 Mb

## Berechnung der Singularität

Bedingung: RestraintSet.1

Anzahl lokaler Singularitäten : 0  
Anzahl der Singularitäten in der Verschiebung : 0  
Anzahl der Singularitäten in der Rotation : 0  
Generierte Bedingungstypen : MPC

## Berechnung der Bedingungen

Bedingung: RestraintSet.1

Anzahl Bedingungen : 1359  
Anzahl Koeffizienten : 0  
Anzahl faktorisierter Bedingungen : 1359  
Anzahl Koeffizienten : 0  
Anzahl verschobener Bedingungen : 0

## Berechnung der Faktorisierung

Methode : SPARSE

Größe Faktorisierungsgrad : 4143  
 Anzahl Superknoten : 629  
 Überflüssiger Index : 24975  
 Anzahl Koeffizienten : 281298  
 Maximale Frontweite : 177  
 Maximale Frontgröße : 15753  
 Größe der faktorisierten Matrix (MB) : 2 . 14613  
 Anzahl Blöcke : 1  
 Anzahl Mflops für die Faktorisierung : 2 . 776e+001  
 Anzahl Mflops für die Lösung : 1 . 146e+000  
 Minimale relative Drehung : 3 . 230e-001

### Berechnung der direkten Methode

Name: StaticSet.1

Bedingung: RestraintSet.1

Last: LoadSet.1

Spannung: 4.787e+001 J

Equilibrium

Komponenten	Aufgebrachte Kräfte	Reaktionen	Übrig geblieben	Relativer Wichtigkeitsfehler
Fx (N)	6.1846e-011	9.6770e-010	1.0295e-009	1.2588e-014
Fy (N)	-4.8658e-010	-6.0436e-010	-1.0909e-009	1.3338e-014
Fz (N)	8.0476e+003	-8.0476e+003	-8.7311e-010	1.0675e-014
Mx (Nxm)	1.7407e+002	-1.7407e+002	-1.8304e-011	7.4596e-016
My (Nxm)	1.1804e+002	-1.1804e+002	1.3337e-010	5.4354e-015
Mz (Nxm)	4.7180e-012	1.7167e-010	1.7639e-010	7.1885e-015

### Lösung für statischen Prozess.1 - Verformtes Netz.2

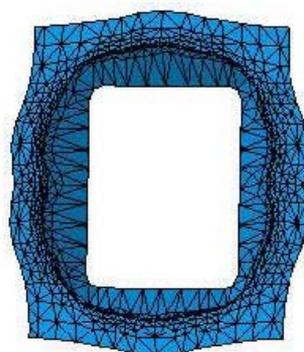


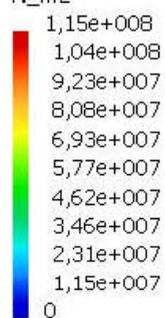
Figure 2

Auf verformtem Netz ---- Auf Begrenzung ---- Auf dem gesamten Modell

### Lösung für statischen Prozess.1 - von Mises-Spannungen (Knotenwerte).2

von Mises-Spannungen (knotenwerte).2

N\_m2



Auf der Begrenzung

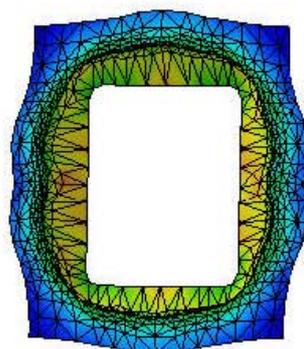


Figure 3

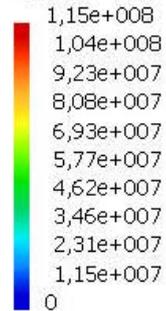
3D-Elemente: : Komponenten: : Alle

Auf verformtem Netz ---- Auf Begrenzung ---- Auf dem gesamten Modell

### Lösung für statischen Prozess.1 - von Mises-Spannungen (Knotenwerte).1

von Mises-Spannungen (knotenwerte).1

N\_m2



Auf der Begrenzung

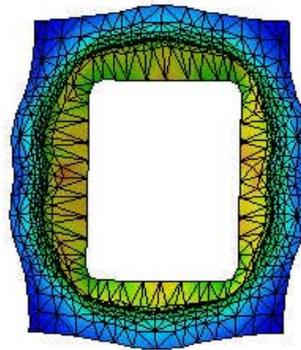


Figure 4

3D-Elemente: : Komponenten: : Alle

Auf verformtem Netz ---- Auf Begrenzung ---- Auf dem gesamten Modell

### Lösung für statischen Prozess.1 - Verformtes Netz.1

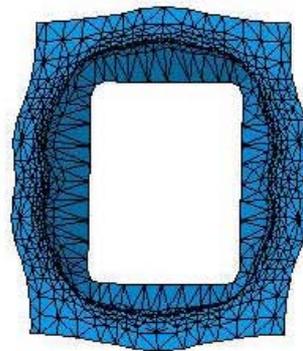
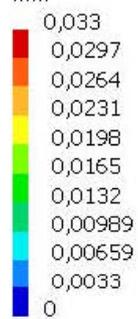


Figure 5

Auf verformtem Netz --- Auf Begrenzung ---- Auf dem gesamten Modell

### Lösung für statischen Prozess.1 - Translationsverschiebungsvektor.1

Translationsverschiebungsvektor. 1  
mm



Auf der Begrenzung

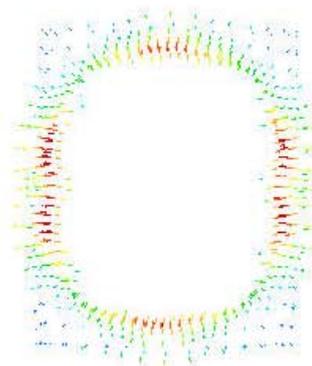


Figure 6

3D-Elemente: : Komponenten: : Alle

Auf verformtem Netz ---- Auf Begrenzung ---- Auf dem gesamten Modell

### Lösung für statischen Prozess.1 - Geschätzter lokaler Fehler.1

Geschätzter lokaler Fehler.1

J

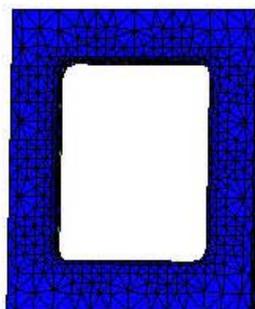
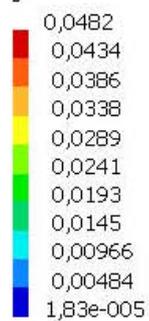


Figure 7

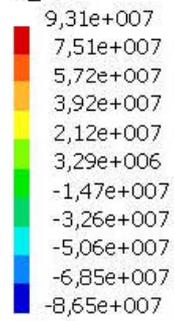
3D-Elemente: : Komponenten: : Alle

Auf allen Elementen ---- Auf dem gesamten Modell

### Lösung für statischen Prozess.1 - Hauptspannungstensor Symbol.1

Hauptspannungstensor Symbol.1

N\_m2



Auf der Begrenzung

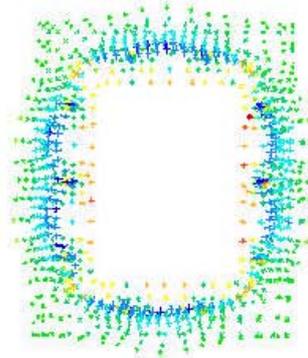


Figure 8

3D-Elemente: : Komponenten: : Alle

Auf verformtem Netz --- Auf Begrenzung ---- Auf dem gesamten Modell

### Globale Sensoren

Sensorname	Sensorwert
Energie	47,873J

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gliederung der Tiefziehverfahren nach DIN 8584 Quelle : Umformtechnik Band 3 .....	3
Abbildung 2:	Tiefziehprozess Quelle: Fertigungsverfahren 4 .....	4
Abbildung 3:	Spannungsverlauf Tiefziehen Quelle: Fertigungsverfahren 4.....	5
Abbildung 4:	Aufbau des hydromechanischen Tiefziehens Quelle: Handbuch Umformtechnik .....	7
Abbildung 5:	Darstellung des Druckes Quelle: Handbuch Umformtechnik.....	8
Abbildung 6:	Fluidzellenverfahren Quelle: Dissertation Torsten Schell .....	9
Abbildung 7:	Gummikissenverfahren ohne Tauchplatte Quelle: Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge .....	10
Abbildung 8:	Guérin Verfahren Quelle: Schnitt-,Stanz- und Ziehwerkzeuge .....	11
Abbildung 9:	Marform Verfahren Quelle: Schnitt-,Stanz- und Ziehwerkzeuge.....	12
Abbildung 10:	Verson-Wheelon Verfahren Quelle: International, ASM.....	13
Abbildung 11:	Gummikissenverfahren von Phoenix Quelle: Firma Phoenix .....	14
Abbildung 12:	Umformverfahren Firma Veith Quelle: Firma Veith.....	15
Abbildung 13:	V-Biegen Quelle: Firma Fibro.....	16
Abbildung 14:	Frontguss Quelle: Dissertation Universität Hannover .....	17
Abbildung 15:	Ablauf Gießharz Quelle: Kunststoffhandbuch 7 .....	18
Abbildung 16:	Prüfkörper Shore A Quelle: Saechtling Kunststoffaschenbuch .....	19
Abbildung 17:	Prüfkörper Shore D Quelle: Saechtling Kunststoffaschenbuch .....	20
Abbildung 18:	Tiefziehstähle Quelle:Thyssen Krupp.....	20
Abbildung 19:	Stempelgeometrie .....	27
Abbildung 20:	Grundlagenwerkzeug .....	28
Abbildung 21:	Exikator mit Vakumpumpe.....	29
Abbildung 22	Luftblasen durch Evakuieren .....	30
Abbildung 23:	Allgemeine Federkennlinie .....	30
Abbildung 24:	Versuchsaufbau Federkennlinie .....	31
Abbildung 25:	Federkennlinie .....	32
Abbildung 26:	Umformversuche Stempel.....	33
Abbildung 27:	Vermessungssystem GOM .....	34
Abbildung 28:	Streifenmuster .....	35
Abbildung 29:	Fixierung Geometrie .....	36

---

---

Abbildung 30: Stützpunkte.....	36
Abbildung 31: Shorehärte A 80	
Abbildung 32: Shorehärte A 65 .....	37
Abbildung 33: Shorehärte A 50 .....	38
Abbildung 34: Shorehärte A 80	
Abbildung 35: Shorehärte A 65 .....	38
Abbildung 36: Shorehärte A 50 .....	38
Abbildung 37: Shorehärte A 80	
Abbildung 38: Shorehärte A 65 .....	39
Abbildung 39: Shorehärte A 50 .....	39
Abbildung 40: Tankgeometrie .....	41
Abbildung 41: Ansicht Umformwerkzeug .....	42
Abbildung 42: Koffer.....	43
Abbildung 43: Maximale Spannung im Koffer.....	44
Abbildung 44: Translationsverschiebung im Koffer .....	44
Abbildung 45: Niederhalter .....	45
Abbildung 46: Versuchsaufbau Gummikissen.....	46
Abbildung 47: Einteilung in Zonen (Zahlenwert gleich Shorehärte der Bausteine) .....	47
Abbildung 48: Bauteil aus Versuchsreihe 1 .....	48
Abbildung 49: Einteilung in Bereiche .....	49
Abbildung 50: Neuordnung der PU-Elemente .....	50
Abbildung 51: Ziehteil mit Neuordnung Bauteil 2.....	50
Abbildung 52: Vergleich Bauteil 1 mit 2.....	51
Abbildung 53: Kontaktfläche Niederhalter .....	51
Abbildung 54: Eigenschaft Robinie Quelle: Uni Hamburg .....	52
Abbildung 55: Einteilung Robinie .....	53
Abbildung 56: Bauteil 3.....	54
Abbildung 57: Vergleich der Bauteile 1-3.....	54
Abbildung 58: Neuordnung Robinie.....	55
Abbildung 59: Bauteil 4.....	56
Abbildung 60: Vergleich Bauteil 1-4 .....	56
Abbildung 61: Konturnahes Blech.....	57
Abbildung 62: Bauteil 5.....	58
Abbildung 63: Vergleich Bauteil 1-5 .....	58
Abbildung 64: Platinengeometrie .....	59
Abbildung 65: Bauteil 6.....	60

---

---

Abbildung 66: Vergleich Bauteil 1-6 .....	60
Abbildung 67: Vergleich Bauteil mit Stempel .....	61
Abbildung 68: Messpunkte.....	61
Abbildung 69: Holzstempel .....	62
Abbildung 70: Bauteil mit Robinienstempel .....	63
Abbildung 71: Vergleich Bauteil 6 zu Bauteil mit Holzstempel .....	63

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gewichtung der Anforderung an den Kunststoff.....	24
Tabelle 2:	Nutzwertanalyse.....	25
Tabelle 3:	Mischungsverhältnis Kunststoff Quelle: Firma Rampf.....	29
Tabelle 4:	Versuchsdurchführung .....	34
Tabelle 5:	Auswertung Stützpunkte .....	40

## Literaturverzeichnis

- [1] **Lange, K.** Umformtechnik Band 3: Blechbearbeitung. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1990. 2. Aufl. S. 449-468
  - [2] **Klocke, F.; König, W.:** Fertigungsverfahren 4. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, S. 324-345
  - [3] **Frank, C.:**Kunststoff als Werkzeugwerkstoff für das Tiefziehen von Feinblechen, Dissertation Universität Hannover, 1999
  - [4] **Doege, E.; Behrens, B.:** Handbuch Umformtechnik. Berlin Heidelberg New York: Springer, 2007 S. 348-356
  - [5] **Weidner, Th.:** Untersuchung zu Verfahren und Werkzeugsystemen der wirkmedienbasierten Blechumformung. Dissertation Universität Dortmund,Aachen: Sharker Verlag, 1999.
  - [6] **Oehler, G.:** Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2001, S. 519-546
  - [7] Umformtechnikverfahren [Online], 2010, [Zitat vom : 15. 04 2010], <http://www.umformverfahren.de/guer-in-verfahren>
  - [8] **International, ASM.:** Handbook of fabrication processes.5 Auflage, United States of America: Carners Publication, 1998, S. 53-57
  - [9] **Metaalwarenfabriek Phoenix BV** [Online], 2010, [Zitat vom : 26.04 2010], <http://www.phoenixmetaal.nl/de/index.html>
  - [10] **Veith KG,** [Online], 2010, [Zitat vom : 20. 06. 2010], <http://www.veith-kg.de/>
  - [11] **Thiruvarudchelvan, S.:** Elastomers in metal forming. Singapore: Elsevier Science Publisher B.V., 1993.
  - [12] **Oertel, G.:** Kunststoffhandbuch 7 Polyurethan. München Wien: Hanser, 1993.S. 438-451
-

- [13] **Papst, F.:** Saechtling Kunststoff Taschenbuch. München: Hanser, 2007. S. 98-99
- [14] **Wohinz, J.:** Industriebetriebslehre. Technische Universität Graz: 2009.
- [15] **Koether, R; Rau,W.:** Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure. München: Hanser, 2008. S. 86
- [16] **Fischer, U; Heinzler, M.; Näher, F.; Paetzold, H.; Gomeringer, R.; Kilgus, R.; Oesterle, S.; Stephan, A.:** Tabellenbuch Metall. Haan-Gruiten: Europa Lehrmittel, 2008. 44. Aufl. S. 123-141
- [17] **Fibro**, [Online], 2010, [Zitat vom : 21.06.2010],  
<http://www.fibro.de/>
- [18] **Koroschetz, C; Kolleck, R.:** Alternativer Werkstoff Holz spart Werkzeugkosten für die Blechumformung, Maschinenmarkt Heft 37, 2008