

Technologieplattform zur Erschließung neuer Anwendungsbereiche für **Magnesium-Knetlegierungen**



Wachstums Kern TeMaKplus

*Innovative Verarbeitungsverfahren für
Magnesium-Knetlegierungen*

Dipl.-Ing. Frank Schieck

**3. Anwender-Workshop
Magnesium-Knetlegierungen
10. September 2014 Freiberg**

Agenda

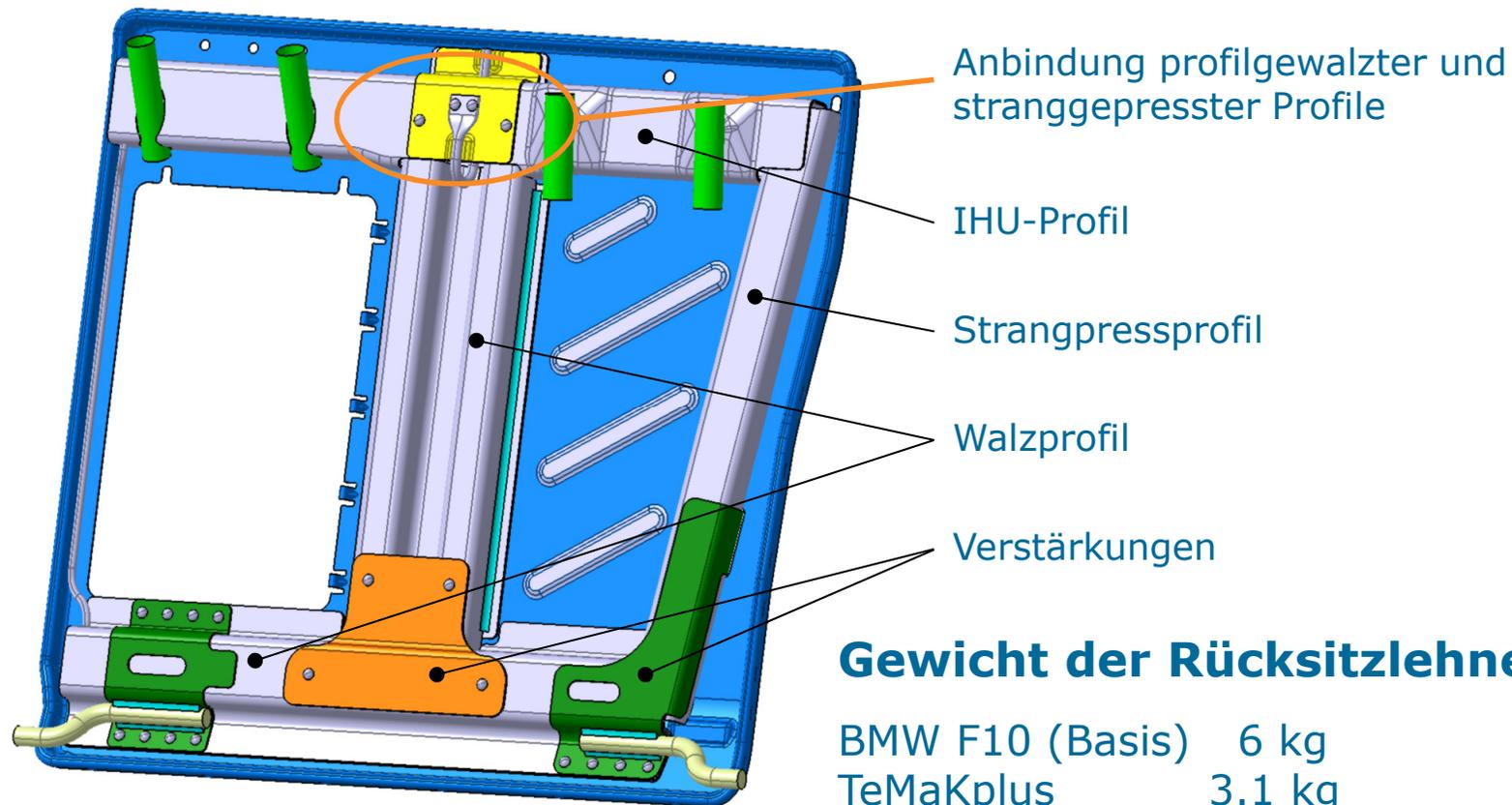
- 1. Einleitung**
- 2. Herstellen von Walzprofilen (2.1.A)**
- 3. Strangpressen (2.1.B)**
- 4. Verbindungsknoten (2.1.C)**
- 5. Dünnwandiges Schmieden (2.1.D)**
- 6. Drücken (2.4)**
- 7. CNC-Bearbeitung (2.5)**
- 8. Zusammenfassung**

Agenda

- 1. Einleitung**
2. Herstellen von Walzprofilen (2.1.A)
3. Strangpressen (2.1.B)
4. Verbindungsknoten (2.1.C)
5. Dünnwandiges Schmieden (2.1.D)
6. Drücken (2.4)
7. CNC-Bearbeitung (2.5)
8. Zusammenfassung

Demonstrator-Baugruppe Rücksitzlehne

Herstellung von Einzelkomponenten mit den Verfahren Profilwalzen, Strangpressen, Innenhochdruck-Umformung und Schmieden für den **Technologiedemonstrator Rücksitzlehne 60%**



Agenda

1. Einleitung
- 2. Herstellen von Walzprofilen (2.1.A)**
3. Strangpressen (2.1.B)
4. Verbindungsknoten (2.1.C)
5. Dünnwandiges Schmieden (2.1.D)
6. Drücken (2.4)
7. CNC-Bearbeitung (2.5)
8. Zusammenfassung

2.1.A Herstellen von Walzprofilen



Bandeinlauf **Induktor**

Versuchsaufbau: Walzprofilieranlage mit vorgeschalteter induktiver Erwärmung der Blechstreifen im kontinuierlichen Vorschub

Durchführung von Versuchen mit Parametervariation:

- Temperatur / Temperaturführung
- Bandvorschubgeschwindigkeit

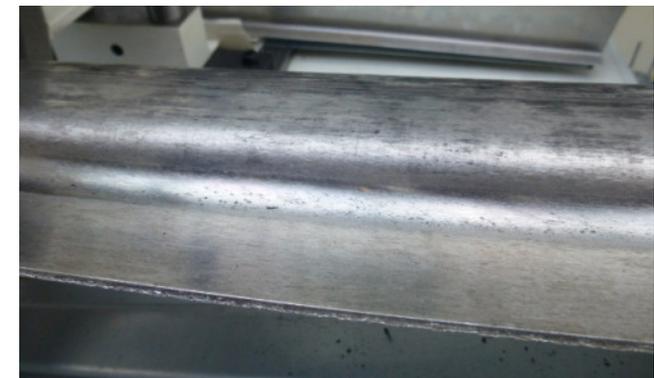
Ergebnisse:

- Funktionalisierung des Versuchsaufbaus zur induktiven Erwärmung mit Projektpartner

EMA-TEC

- Verfahrensbedingt notwendiges Biegen längs zur Walzrichtung kritisch (Rissneigung)

Rollensatz auf Walzprofilieranlage

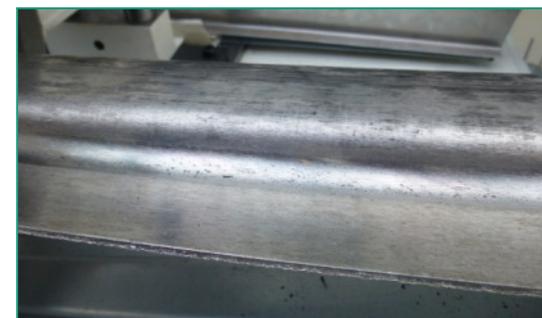
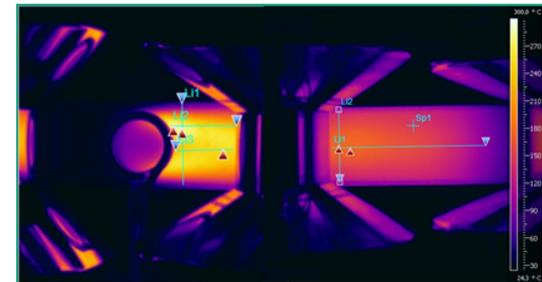


Walzprofiliertes Mg-Profil

2.1.A Herstellen von Walzprofilen

Ergebnisse zum Temperieren des Mg-Bandmaterials:

- **Induktive Erwärmung** eignet sich für die untersuchte Legierung AZ31 **sehr gut**
- **Schnelles** Erreichen eines **stationären Zustandes**
- Hohe Anschlussleistung des Induktors erforderlich; bei 3m/min Vorschubgeschwindigkeit und einem Querschnitt von 152mm x 3mm etwa **55kW**
- Simulationsgestützte **Induktorauslegung**:
 - **Homogenes** Temperaturfeld
 - Gefahr der **Kantenüberhitzung**
 - Aktive **Kühlung** der Leiter (Kühlmittel Wasser)
 - **Feldformung** gezielt im Induktorspalt
- Leistungsaufnahme des Induktors muss an **kontinuierlichen Vorschub** gekoppelt sein, um Überhitzen bei Bandstillstand auszuschließen
- Verarbeitung von **geschweißten Platinen** (Quernaht am Stumpfstoß) unproblematisch



2.1.A Herstellen von Walzprofilen

Notwendigkeit einer weiteren Erwärmung:

- **Thermische Energie im Band** aufgrund der relativ geringen Dichte und Wärmekapazität im Vergleich zu Stahlwerkstoffen **sehr niedrig**
- Verluste durch **freie Konvektion, Wärmestrahlung** und **Werkzeugkontakt**
- **Temperaturabfall** zwischen Gerüsten und im Eingriff in vergleichbarem Umfang (30...40K/Stich bei 3m/s Vorschubgeschw., 400 mm Gerüstüberstand)
- **Nachwärmung** nach zwei Umformstufen **erforderlich**, um Temperaturniveau oberhalb von ca. 280°C zu halten
- Elektrische Feldstärke stark von **Entfernung Induktor-Bauteil** abhängig, Induktor müsste Profilkontur folgen → hoher Aufwand → ex.
- Nachwärmung per **IR-Strahler** möglich, 27kW Anschlussleistung, aber **deutlich geringerer Wirkungsgrad** als bei induktiver Erwärmung



2.1.A Herstellen von Walzprofilen

Dreipunktbiegen



Versuchswerkzeug für Dreipunktbiegen mit eingelegtem Blech AZ31, $s=3,0$ mm, $r = 5$ mm

Versuchswerkzeug für Dreipunktbiegen:

- Temperierte Aktivelemente (Rollen mit unterschiedlichen Durchmessern)
- Erwärmung der Aktivteile und Bleche im Kammerofen

Ergebnisse:

- Biegen um 90° quer zur Walzrichtung möglich (bis $R/s = 2$ realisiert)
- Biegen längs zur Walzrichtung kritisch (starke Rissneigung)



Gebogenes Profil für Demonstrator

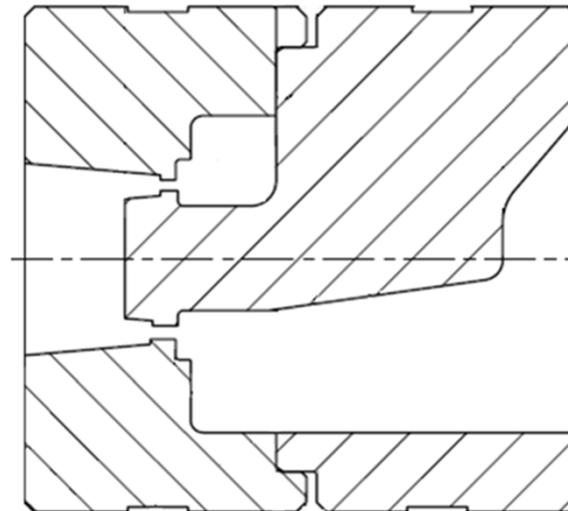
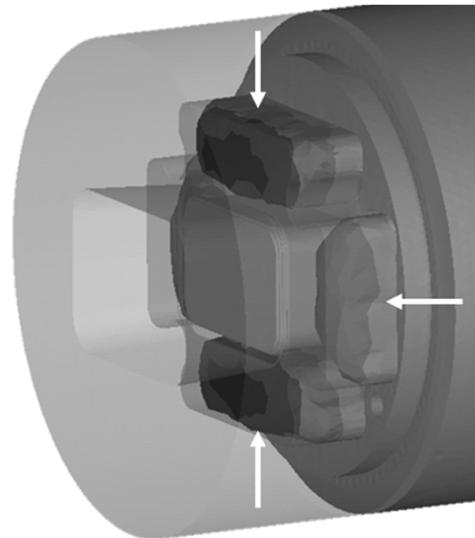
Agenda

1. Einleitung
2. Herstellen von Walzprofilen (2.1.A)
- 3. Strangpressen (2.1.B)**
4. Verbindungsknoten (2.1.C)
5. Dünnwandiges Schmieden (2.1.D)
6. Drücken (2.4)
7. CNC-Bearbeitung (2.5)
8. Zusammenfassung

2.1.B Strangpressen

Projekthalte:

- **FE-Simulation** zur Ermittlung von Werkzeugparametern
- **Werkzeugauslegung** entspr. simulativer Ergebnisse sowie unter Einbeziehung von Matrizenauslegungen zum Aluminium-Strangpressen
- **Optimierung** in Abgleich von Realversuch und Simulation
- Entwicklung und Umsetzung eines angeschlossenen Prozesses zur **Kornfeinung im Strangpressprofil**



2.1.B Strangpressen

Prozessentwicklung und -optimierung für Mg-Knetlegierungen



Strangpresse mit extrudiertem Hohlprofil

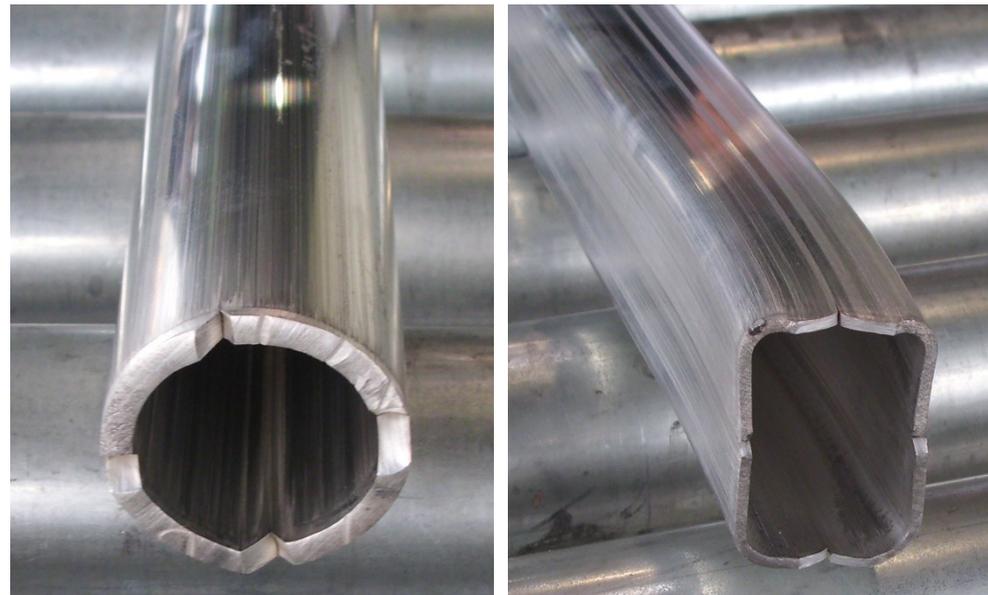
Optimierte Prozessparameter:

- Vorschubgeschw. 0,1mm/s
- ϑ_{Start} Block, Werkzeug, Rezipient 390°C
- Pressdruck im stat. Bereich 250bar

Versuchsaufbau und -durchführung:

Indirekte NE-Metallpresse
Presskraft 630t

Ergebnisse:



Defektfrei gepresste Mg-Hohlprofile

2.1.B Strangpressen

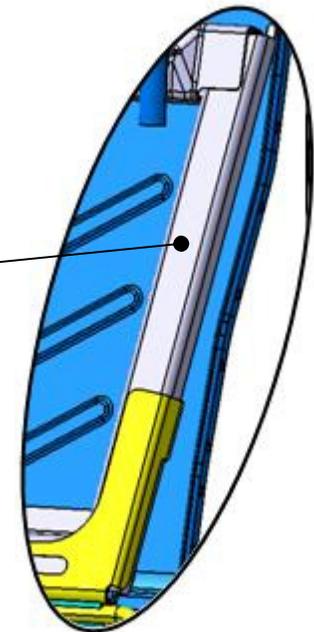
Strangpressen einer Trägerstrebe für den Demonstrator Rücksitzbank



zweiteiliges Kammerwerkzeug zur
Hohlstrangerzeugung

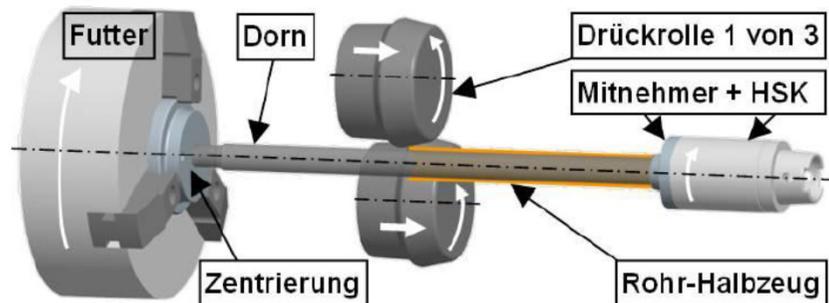


nichtrotationssymmetrischer
Hohlstrang



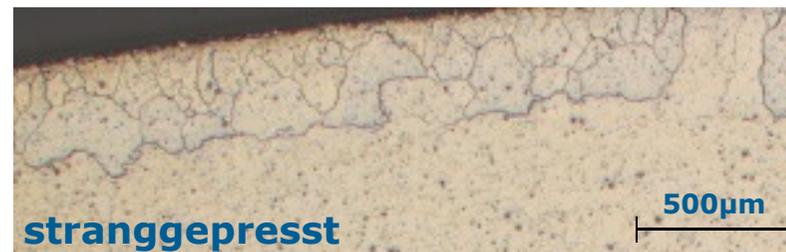
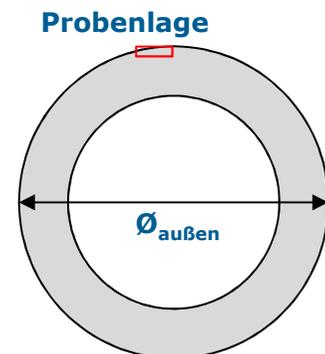
2.1.B Strangpressen

Kombinierter Prozess zur Mikrostrukturmodifikation – Drückwalzen



Stichplan (Außendurchmesserreduktion):

38→36 i.O.
38→36→35 i.O.
38→36→35→34 Versagensgrenze erreicht



- strangepresst $\vartheta_{\text{Start}}=390^{\circ}\text{C}$
- an Luft abgekühlt



- strangepresst $\vartheta_{\text{Start}}=390^{\circ}\text{C}$
- an Luft abgekühlt
- bei $\vartheta_{\text{Start}}=150^{\circ}\text{C}$ abstreckgewalzt in 2 Stichen von $\varnothing_{\text{außen}}=38\text{mm}$ auf $\varnothing_{\text{außen}}=35\text{mm}$

Agenda

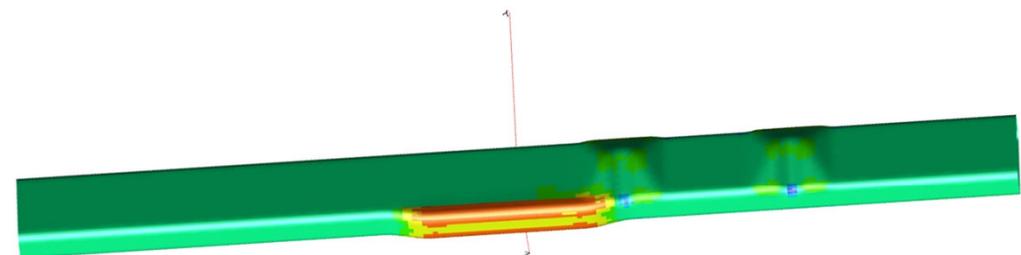
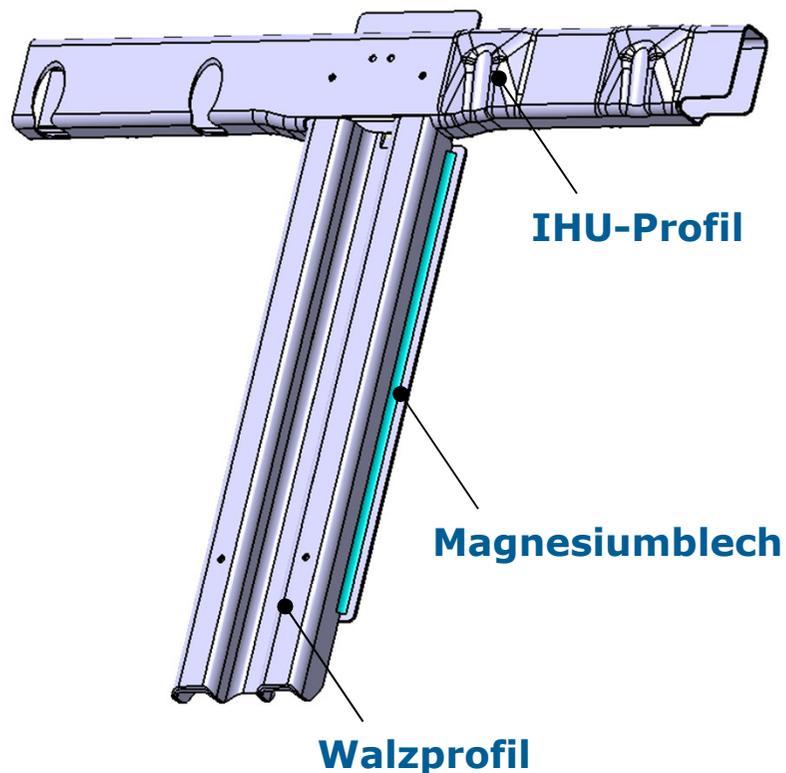
1. Einleitung
2. Herstellen von Walzprofilen (2.1.A)
3. Strangpressen (2.1.B)
- 4. Verbindungsknoten (2.1.C)**
5. Dünnwandiges Schmieden (2.1.D)
6. Drücken (2.4)
7. CNC-Bearbeitung (2.5)
8. Zusammenfassung

2.1.C Verbindungsknoten

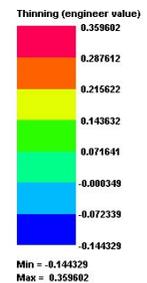
Umformsimulation zur Werkzeug- und Prozessauslegung

- Umformsimulation in PAM-STAMP 2G
- Temperatur: 300 °C (isotherm)
- Innendruck: 500 bar

Beste Ergebnisse hinsichtlich Ausformung und Ausdünnung



**Ausdünnung ca. 28 %
→ i.O.-Teil**



2.1.C Verbindungsknoten

Versuchsparameter

- | | |
|-------------------------------|--|
| - Werkstücktemperatur | 300 °C |
| - Werkzeugtemperatur | 280 – 320 °C |
| - max. Wirkmediendruck | 100 – 500 bar |
| - Druckaufbau- und -haltezeit | 2 – 30 s |
| - Tribologie | unbeschichtetes WZ, ungeschmiert, Teflon-Folie,
Graphitschmiermittel, WZ-Beschichtung CrN+a-C:H:W |

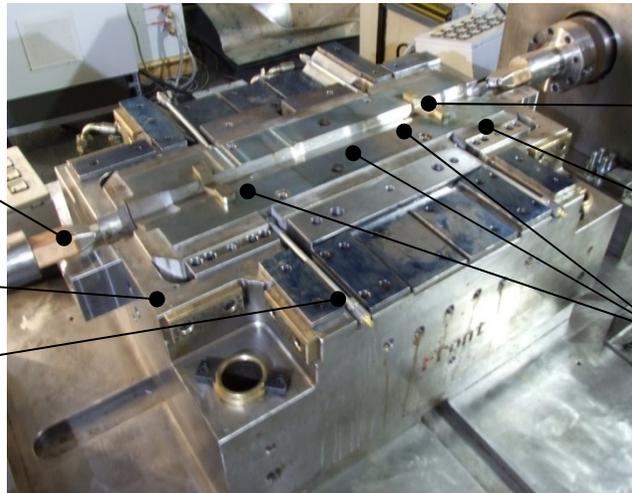


IHU-Werkzeug

Dicht-
stempel

Werkzeug-
grundkörper

Anschlüsse
für Ausheber-
kühlung



Halbzeug im IHU-Werkzeug

Ausheber

thermische
Isolation

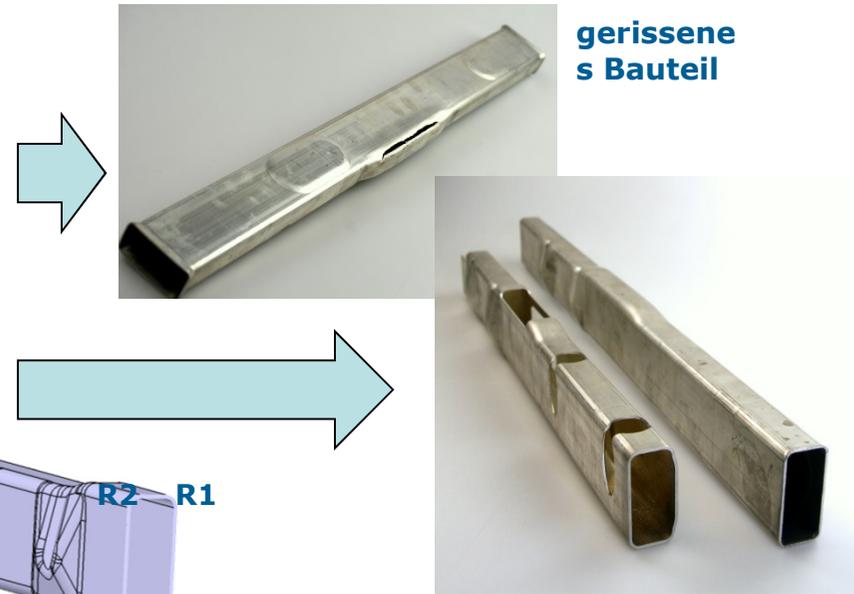
Werkzeug-
segmente mit
Aktivflächen



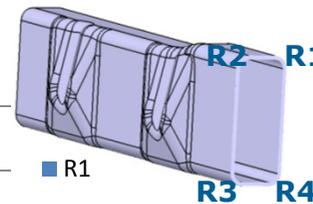
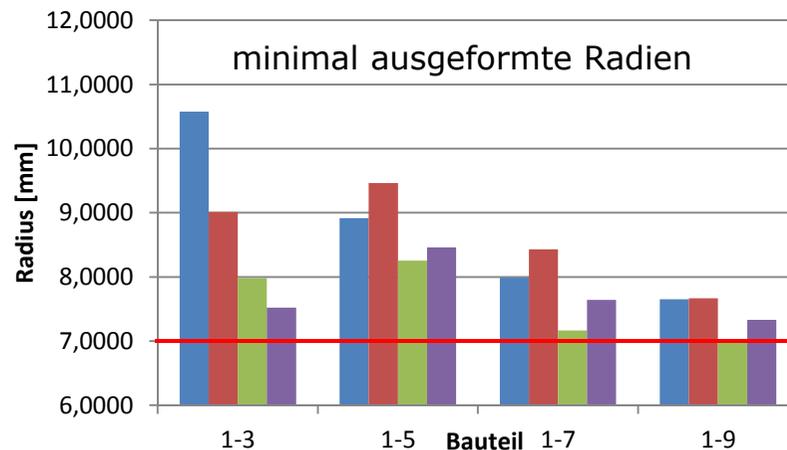
2.1.C Verbindungsknoten

Ergebnisse Tribologie

- Bauteilversagen (Riss) bei Versuchen mit unbeschichtetem Werkzeug und mit CrN+a-C:H:W beschichtetem Werkzeug
- auch bei beschichtetem Werkzeug starkes Anhaften des Magnesiums am Werkzeug
- rissfreie Bauteile mit Teflon-Folie und Graphitschmiermittel herstellbar



Ergebnisse Prozessdesign - Auszug



Soll

Nr.	Ofen-temp. [°C]	WZ-Temp. [°C]	max. Druck [bar]	Druck-aufbauzeit [s]	Druck-haltezeit [s]	Schmierung
1-3	300	280	250	10	5	Graphitschmierung
1-5	300	280	250	10	5	Teflon-Folie
1-7	300	280	300	10	5	Teflon-Folie
1-9	300	280	400	10	5	Teflon-Folie

- beste Ergebnisse mit Teflon-Folie, $T_{\text{Werkzeug}} = 280 \text{ °C}$, $T_{\text{Ofen}} = 300 \text{ °C}$ und 400 bar Wirkmediendruck

Agenda

1. Einleitung
2. Herstellen von Walzprofilen (2.1.A)
3. Strangpressen (2.1.B)
4. Verbindungsknoten (2.1.C)
- 5. Dünnwandiges Schmieden (2.1.D)**
6. Drücken (2.4)
7. CNC-Bearbeitung (2.5)
8. Zusammenfassung

2.1.D Dünnwandiges Schmieden

Projekthalte

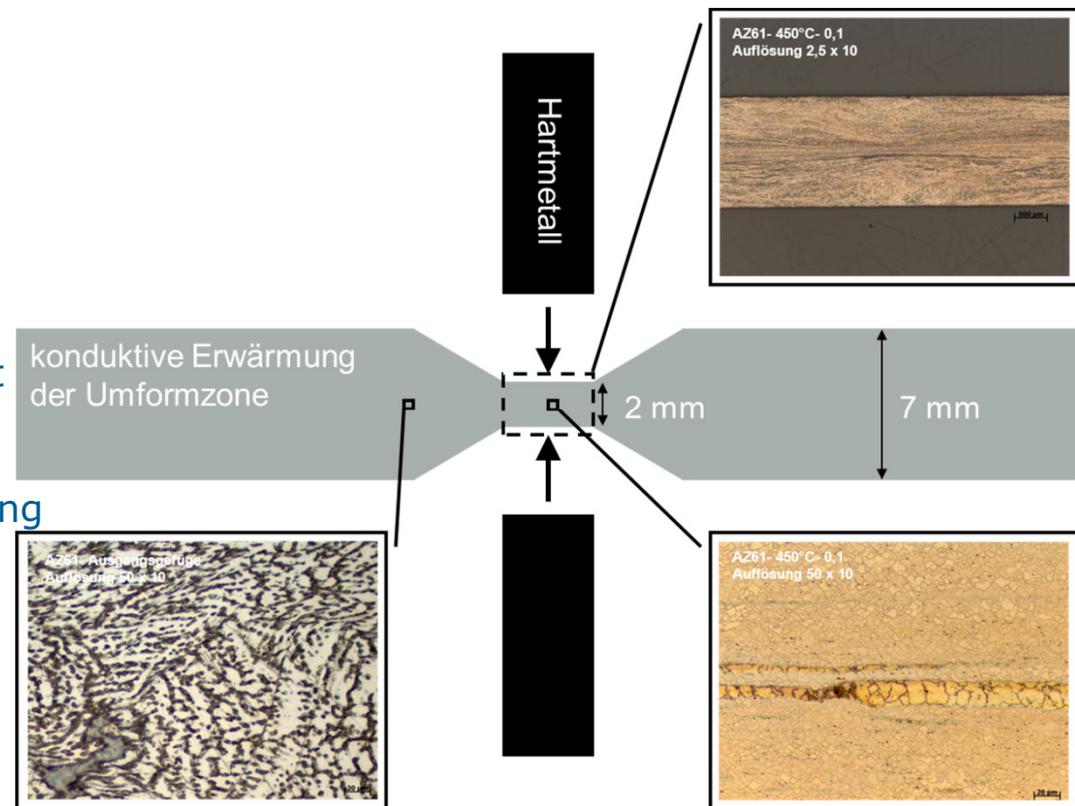
- Werkstoffcharakterisierung
- Auslegung und Konstruktion des Demonstratorbauteils (Kleinmotorenpleuel)
- Durchführung von Schmiedeversuchen
- vergleichende Bauteilprüfung



2.1.D Dünnwandiges Schmieden

Werkstoffcharakterisierung:

- Umformverhalten
 - Fließkurven
- E-Modul
- Thermophysikalische Eigenschaften
 - spez. Wärmekapazität
 - therm. Leitfähigkeit
 - lin. Ausdehnungskoeffizient
- Mikrostruktur
 - vor und nach der Umformung



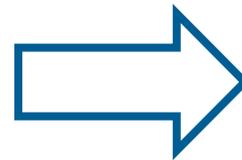
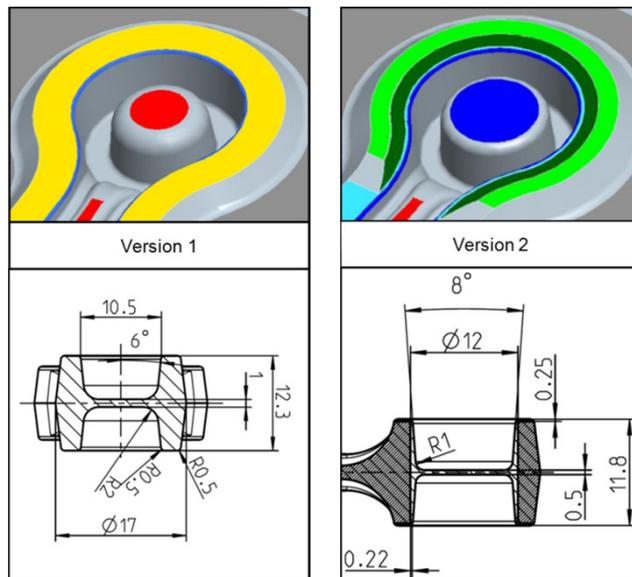
schematischer Aufbau - Flachstauchversuch

2.1.D Dünnwandiges Schmieden

Auslegung und Optimierung des Gesenks:

- Änderung der Werkzeuggestaltung
→ Aufmaße am Rohteil reduziert, Materialflussbremse integriert
- Schmieden mit „bewusstem“ Materialüberschuss
→ material-ineffizienter Schmiederohling (Oval)
- Änderung der tribologischen Bedingungen im Gesenk
→ schmierstoffarme Umformung (partieller Schmierstoffeinsatz)

**komplette
Formfüllung,
keine Falten**

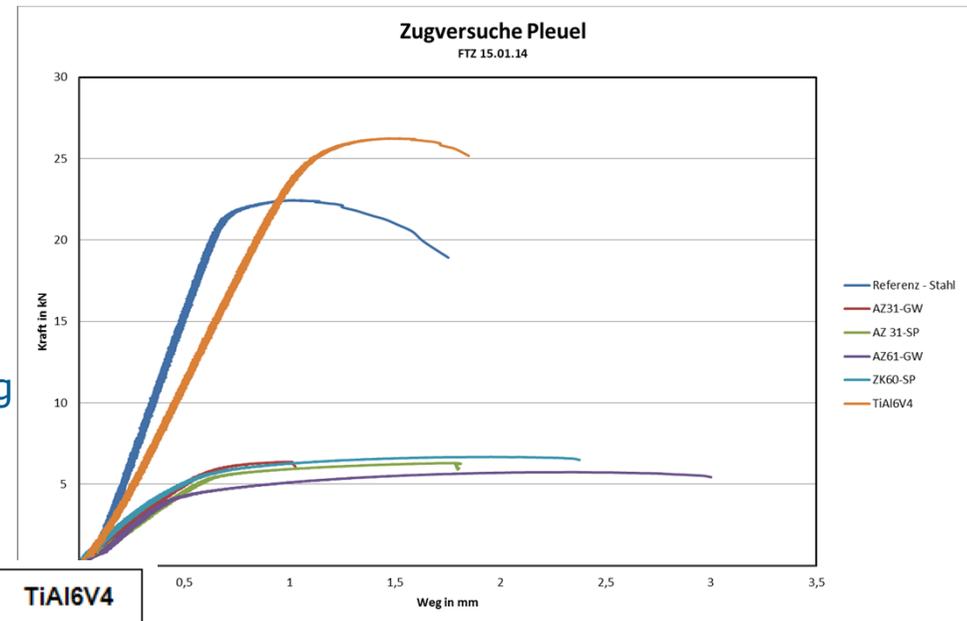


2.1.D Dünnwandiges Schmieden

Bauteilvergleich:

- simulative Prüfung: Creo Simulate 1.0
- mittlere Lastwechselzahl: 200.000
- Frequenz: 10 Hz

→ konstruktive Änderungen am Magnesiumbauteil notwendig, um Erhöhung der Bauteilfestigkeit zu erreichen



	20CrMo5	Magnesium				TiAl6V4
		AZ31 (W)	AZ31 (SP)	AZ61	ZK60	
Bruchlast	22,12 kN	6,29 kN	6,37 kN	5,74 kN	6,67 kN	26,2 kN
Lastwechsel bei 75% der Bruchlast	3.192	-	-	-	-	-
Lastwechsel bei 60% der Bruchlast	14.505	6.873	1.604	473	363	11.631

Forschungspotentiale:

- werkstoffangepasste Prozessstufenauslegung der Umformwerkzeuge
- werkstoffangepasste Bewegungszyklen der Umformaggregate → Einsatz der Servopressentechnik

Agenda

1. Einleitung
2. Herstellen von Walzprofilen (2.1.A)
3. Strangpressen (2.1.B)
4. Verbindungsknoten (2.1.C)
5. Dünnwandiges Schmieden (2.1.D)
- 6. Drücken (2.4)**
7. CNC-Bearbeitung (2.5)
8. Zusammenfassung

2.4. Drücken

Ausgangsmaterial

- AZ31 erhält Vorzug gegenüber AM50,
- AM50 neigt zu unkontrollierbarer Faltenbildung,
- Verhalten von AZ31 kann über Prozessparameter gezielt kontrolliert werden,
- Walzqualität von hoher Güte erforderlich,

Schmier- und Trennmittel

- mit gewohnten mineralische Ölen erfolgreich,
- Auftrag durch Sprühen auf heiße Werkzeuge oder beliebig auf kühle Ronde,
- Sicherung der Kompatibilität mit nachfolgenden Reinigungsprozessen,

2.4. Drücken

Wärmehaushalt

Wärmezufuhr:

- Konvektionserwärmung (Heißluft),

Wärmeverlust:

- Konvektion (Umgebung, Ronde), Leitung (WKZ-Maschine),

Kontrolle des Wärmehaushaltes durch konstruktive Maßnahmen und spezifische Prozessführung:

- Optimierte Führung des Heißluftstroms,
- Einhausung der Prozessanordnung,
- thermische Entkopplung Werkzeug-Maschine (Minimierung der Kontaktflächen, Materialauswahl),
- Materialtemperatur MgK >220...250 °C,

2.4. Drücken

Prozesszeiten

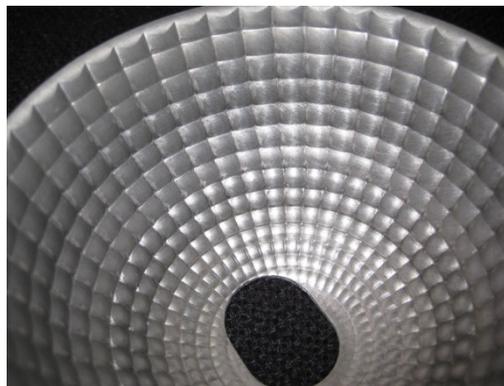
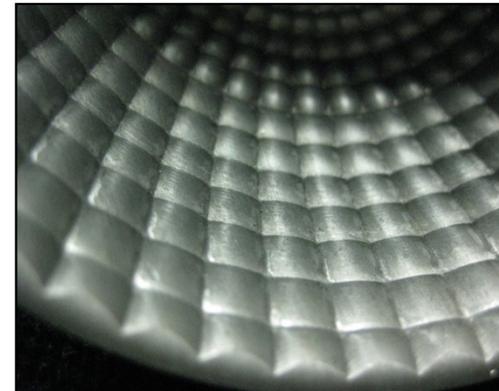
- bewegen sich in der Regel in der Größenordnung der Bearbeitungszeiten von Aluminium,
- Geometrien mit geringen Umformfaktoren (Projizieren) erfordern z.T. erheblich längere Prozesszeiten,
- Rüst- und Anfahrzeiten höher,

Wirtschaftliche Ausrichtung

- aus Sicht der Gesamtkosten im Vergleich mit anderen Materialien (Kunststoff, Aluminium) erscheinen größere Serien (vollautomatisierte Prozesse) vorteilhafter,
- aus technologischer Sicht eher für mittlere und Kleinserien geeignet (Flexibilität, Werkzeugkosten),
- Konkurrenz eher mit Kunststoff als mit Aluminium,
- kleinere Werkzeuge und entsprechende Produkte (bis ca. 50 kg),

2.4. Drücken

Vielfältige Geometrien und Oberflächen durch Drücken in MgK



2.4. Drücken

Serienfertigung



Agenda

1. Einleitung
2. Herstellen von Walzprofilen (2.1.A)
3. Strangpressen (2.1.B)
4. Verbindungsknoten (2.1.C)
5. Dünnwandiges Schmieden (2.1.D)
6. Drücken (2.4)
- 7. CNC-Bearbeitung (2.5)**
8. Zusammenfassung

2.5 CNC-Bearbeitung

Bauteilvergleich:

- allg. Grundlagen zur spanenden Bearbeitung abgeschlossen
- dreh- und frästechnische Versuche abgeschlossen
- 5-Achs CNC-Fräs-Versuche abgeschlossen
- Schleif-, Strahl- (Sand und Glaskugel), Trovalier- und Polierversuche abgeschlossen
- Produktionstechnische Optimierung abgeschlossen
- Demonstratoren fertig entwickelt und produziert
- Derivate konstruiert, gezeichnet, Einzelteile
- Eloxiertechnologie mit neuem Dienstleister
- Salzsprühtest als Langzeitnachweis erfolgt

2.5 CNC-Bearbeitung

Zusammenfassung

Art	Kz.	Alu	Mg	Abw.
Schnittgeschwindigkeit	Vc			
	Schruppen:	0,26 m/min	0,32 m/min	+ 20%
	Schlichten:	0,31 m/min	0,40 m/min	+ 30%
Vorschub	Fc (8mm Werkzeug.)	0,25 m/min	0,32 m/min	+ 30%
Spindeldrehzahl	N	10.000 U/min	12.500 U/min	+ 25%
Anzahl Schneiden	Z	max. 2-4	max. 3-6	+ 50%
Max. Materialabtrag	H	1-2 mm	2 mm	
				Ergebnis: + 27%

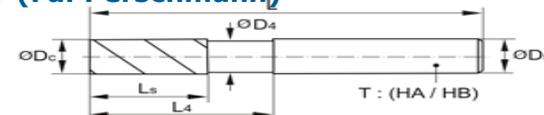
Bevorzugtes Werkzeug:

VHM ZOX-HPC Hocheistungsfräser (Fa. Perschmann)

Schmieren:
Verschleiß:

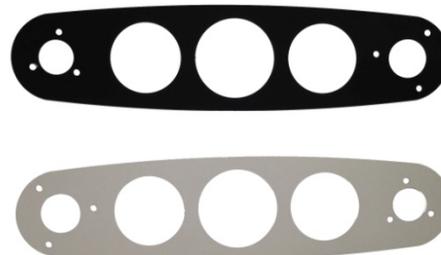
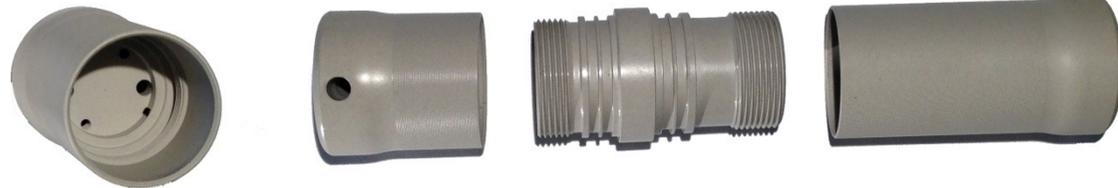
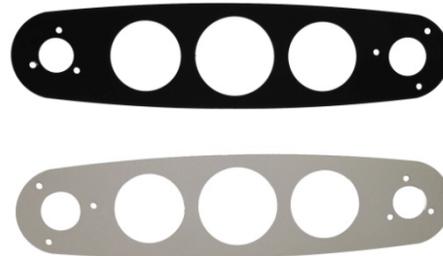


Wendeschneidplatten:



2.5 CNC-Bearbeitung

Eloxalversuche

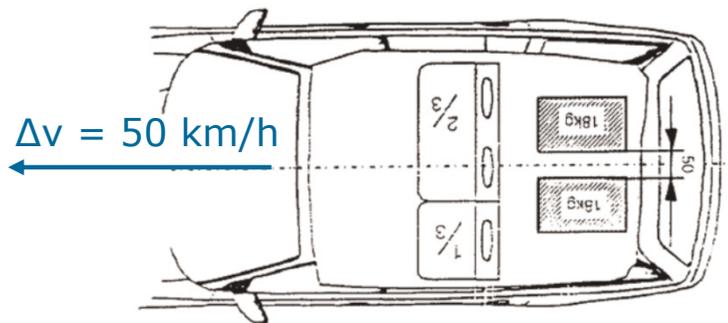


Agenda

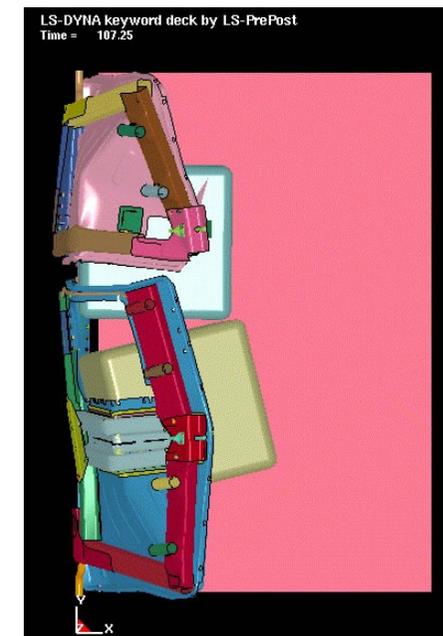
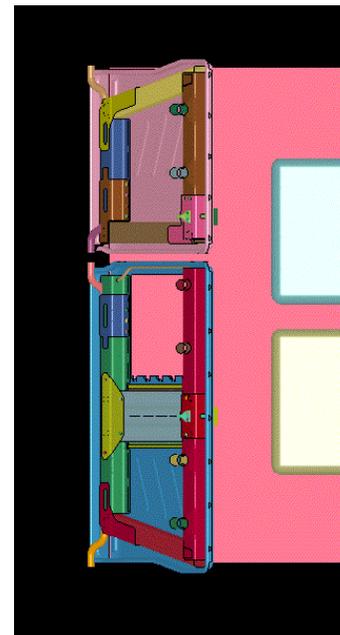
1. Einleitung
2. Herstellen von Walzprofilen (2.1.A)
3. Strangpressen (2.1.B)
4. Verbindungsknoten (2.1.C)
5. Dünnwandiges Schmieden (2.1.D)
6. Drücken (2.4)
7. CNC-Bearbeitung (2.5)
- 8. Zusammenfassung**

Zusammenfassung

- Simulation von Spannungen & Deformationen der Rücksitzlehne beim Frontcrash für eine **belastungsgerechte Auslegung**
- Belastungen wurden entsprechend **ECE-Richtlinie R17** in das FEA-Modell integriert
- CAD Umsetzung & Vernetzung mit **ANSA**®
- verwendetes FEA System: **LS-DYNA**®



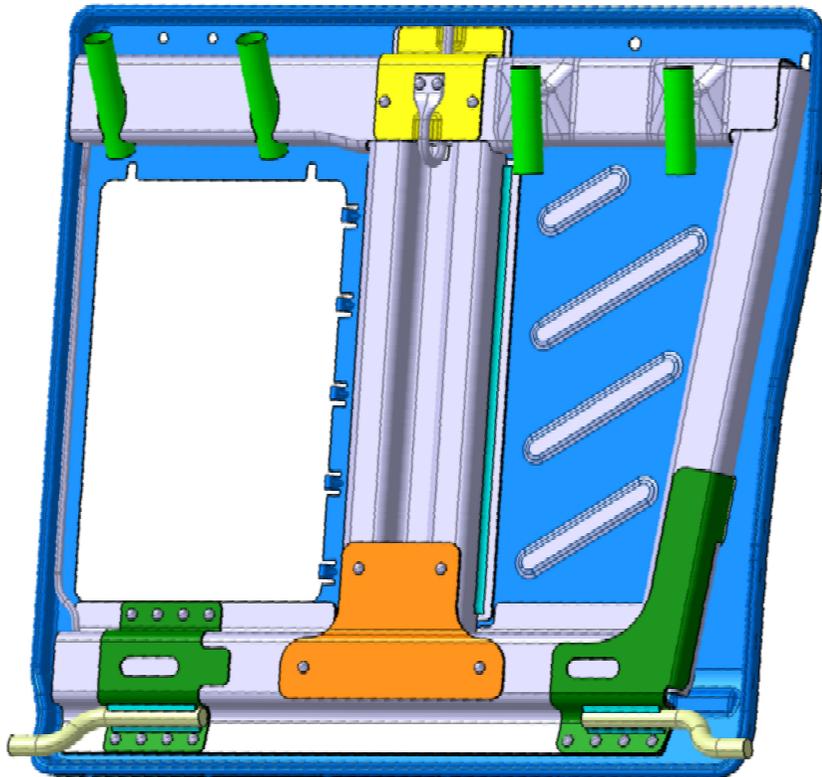
**Gewicht und Anordnung der Massen
entsprechend ECE-Richtlinie R17**



Screenshots der Crash Simulation (vor & während)

Zusammenfassung

Realisierter Demonstrator: „Rücksitzlehne“



Zusammenfassung

Realisierter Demonstrator: „Erste Mg-Unterwasserlampe der Welt“

- alle Bauteile aus Mg gefertigt:



- eloxierte Mg-Lampen-Bauteile:



- fertiger Demonstrator:



**Wir danken für die
finanzielle Unterstützung
durch das BMBF**



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**



www.temak-plus.de