Work Instruction

015 Research + Development

MuCell® gerechte Bauteilkonstruktion

W_015_031

Rev.	*Datum*	*Erstellt von*	*Datum*	*Geprüft von*	*Datum*	*Freigegeben von*	*Datum*
00	04.06.2014	Stuiber Martin	11.04.2014	Kurz Helmut	22.05.2014	Delling Gerhard	22.05.2014

Rev.	*Datum*	*Geändert von*	*Datum*	*Geprüft von*	*Datum*	*Freigegeben von*	*Datum*
01							

1 Zweck

Die Work Instruction enthält Vorgaben für die fertigungsgerechte Bauteilkonstruktion von thermoplastischen Schaumspritzgussteilen, die durch physikalisches Schäumen im MuCell® Verfahren hergestellt werden sollen. Die Work Instruction beschränkt sich auf Vorgaben, die sich zum konventionellen Kompaktspritzguss unterscheiden.

2 Geltungsbereich

Bereich R&D der GRAMMER AG weltweit.

Die Vorgaben dieser Work Instruction gelten für alle Bauteile, die durch physikalisches Schäumen im MuCell® Verfahren hergestellt werden sollen.

3 Begriffe

TSG
Unter dem Oberbegriff Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG) sind physikalische und chemische Verfahren zusammengefasst, bei denen durch Zugabe von Treibmitteln Schaumstrukturen in thermoplastischen Spritzgussteilen erstellt werden.

MuCell®
Beim MuCell® Spritzgießverfahren handelt es sich um ein physikalisches TSG-Verfahren. Der thermoplastischen Kunststoffschmelze wird das inerte Gas Stickstoff (selten auch Kohlendioxid) als Treibmittel zugeführt und im Schmelzezylinder zu einer Einphasenlösung gemischt. Beim Einspritzen dieser Einphasenlösung in die Kavität des Spritzgießwerkzeuges erfährt das Gemisch einen Druckabfall, was dazu führt, dass das Gas über das Bauteil verteilt nukleiert und Millionen von kleinsten Zellen wachsen. Diese Zellen ersetzen dann ein definiertes Volumen, was zu einer Dichtereduzierung im Bauteil führt.

Schäumgrad
Der Schäumgrad ist die prozentuale Angabe der Gewichtsreduktion des fertigen Bauteils. Bezugsgröße ist das Bauteilgewicht aus dem Kompaktspritzguss. Üblicher Schäumgrad ist 10% für Anwendungen im Geltungsbereich dieser Work Instruction.

Dichtereduktion
Synonym für Schäumgrad

Gasbeladung
Die Gasbeladung ist der prozentuale Anteil des Treibmittels in der Kunststoffschmelze. Übliche Werte für die Gasbeladung sind 0,5% für Anwendungen im Geltungsbereich dieser Work Instruction.

Praxisbeispiel:
PA6 GF 30 MuCell® 7,5% Schäumgrad = 7,5% Dichtereduktion des Bauteils
zugehörige Gasbeladung 0,2% Gasbeladung

4 Zuständigkeiten

Für die Durchführung und Einhaltung dieser Work Instruction sind der Bauteilkonstrukteur, der Produktentwickler und der Bereichsleiter Entwicklung verantwortlich.

5 Beschreibung

5.1 Anwendungsbeispiele für MuCell®

Bauteile mit folgenden Eigenschaften sind für das MuCell® Verfahren besonders geeignet:

Schwere, große oder großflächige Kunststoffteile ab 500 Gramm Gewicht bzw. Schussgewicht

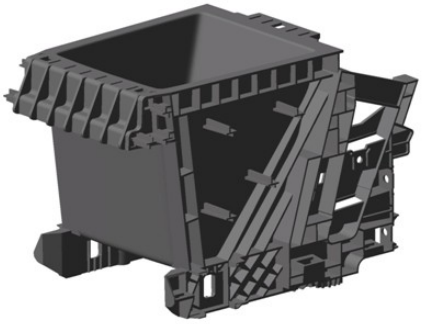
Bauteile, die

- auf Gewichtsreduzierung optimiert werden sollen
- unerwünschte Einfallstellen aufweisen
- große, ebene Flächen mit starkem Verzug aufweisen
- ein sehr ungleichmäßiges Schwindungsverhalten haben
- im Kompaktspritzguss aufgrund dünner Wanddicken nicht gefüllt werden können
- große Fließweg-Wanddickenverhältnisse beinhalten
- keine A-Sichtflächen benötigen
- keine hohen Bruchdehnungen benötigen (nicht geeignet z.B. für Kopfkästen in Kopfstützen!)

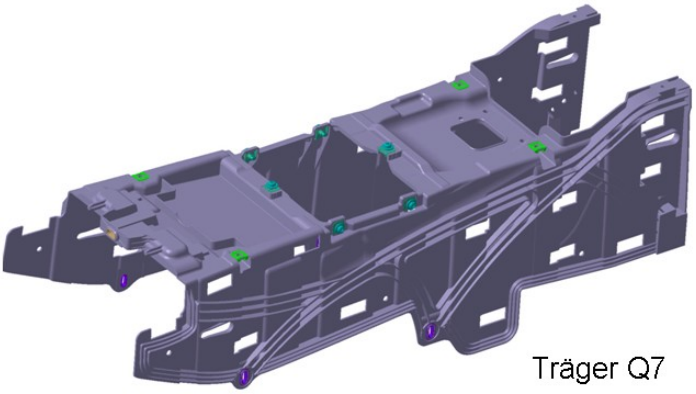
Anwendungsbeispiele für MuCell® bei GRAMMER

Tragstruktur für Mittelkonsolen

Träger BR205

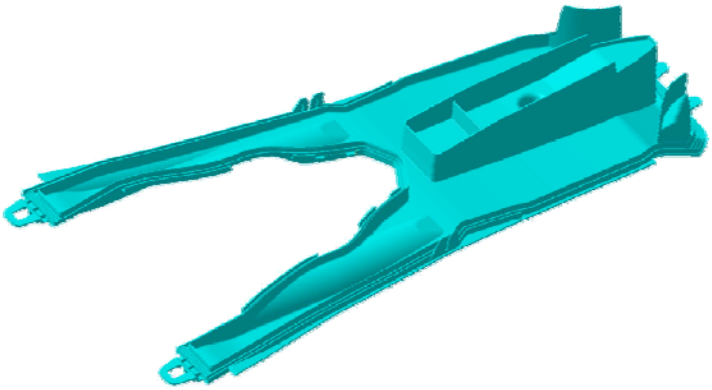


Halter W48x



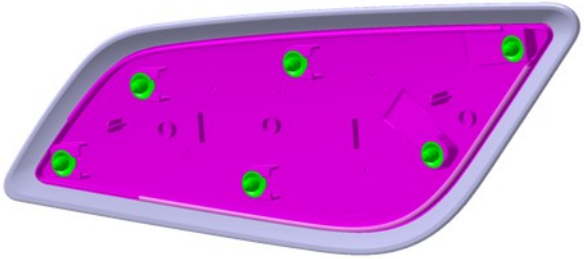
Träger Q7

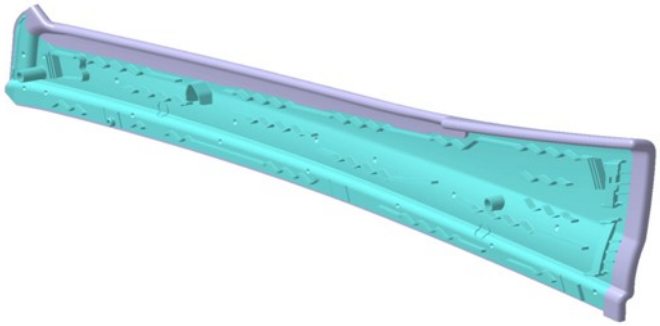
Luftkanal Mittelkonsole



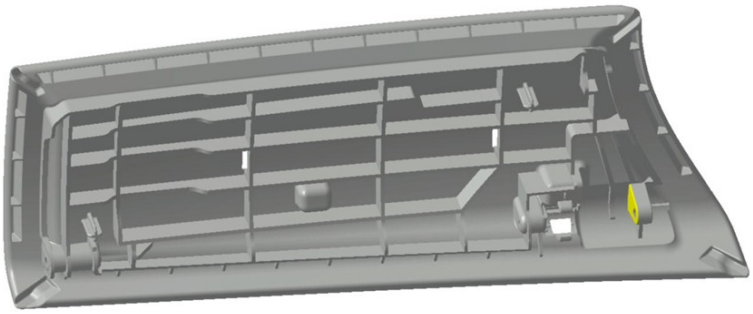
Abdeckung Luftkanal BR205

Kaschierte Bauteile





Einleger Deckel Armlehne



5.2 Vor- und Nachteile der MuCell® Technologie

5.2.1 Vorteile des MuCell® Verfahrens

5.2.1.1 Kostenvorteile von MuCell® gegenüber Kompaktspritzguss:

Kostenersparnis durch:

- geringeren Materialeinsatz
  - o durch Gasbeladung ca. 10% Gewichtsreduzierung
  - o durch konstruktive Möglichkeiten des MuCell® Verfahrens ca. 10% Gewichtsreduzierung

- Verkürzung der Zykluszeit
- kleinere Spritzgussanlage möglich

5.2.1.2 Technische und konstruktive Vorteile von MuCell® gegenüber Kompaktspritzguss:

- keine Einfallstellen
- geringeres Bauteilgewicht
- Belastungsgerechte Konstruktion möglich, d.h. Rippendickenverhältnis 1:1 möglich
- Versteifungsrippen können dicker ausgeführt werden
- Verzugsminimierung = geringerer Bauteilverzug
- dünnere Grundwandstärken möglich
- Herabsetzen der Schmelzeviskosität und Verbesserung von Fließeigenschaften, dadurch erhebliche Reduzierung der maximal benötigten Schließkräfte
- Entfall der Nachdruckphase und gleichmäßige Druckverteilung im Werkzeug
- Hohe Dimensionsstabilität

5.2.2 Nachteile des MuCell® Verfahrens

- Investitionskosten
- Zusätzliche Aggregate sind erforderlich
- Zusätzliches Material in Form von Gas (N^2 oder CO^2)

Konstruktive Nachteile von MuCell® gegenüber Kompaktspritzguss

- keine A-Sichtoberflächen möglich
- Materialkennwerte werden verschlechtert: Festigkeit, Steifigkeit, Bruchdehnung, Kerbschlagzähigkeit
- Lackieren nicht möglich wegen Ausgasungen und Oberflächenfehlern
- Wanddickenanhäufungen kritischer = teurer
- nicht für Kopfkästen und sonstige Kopfaufschlagteile (geringe Kerbschlagzähigkeit) zulässig!

5.3 MuCell® für besondere Anwendungen

Details siehe 5.15

- MuCell® bei Sichtbauteilen – Freigabe notwendig!
- MuCell® bei folienkaschierten Bauteilen – Freigabe notwendig!
- MuCell® bei beflockte Bauteilen – Freigabe notwendig!
- MuCell® bei lackierten Bauteilen – nicht zulässig!
- MuCell® für Schweißprozess – zulässig

5.4 Wichtigste Konstruktionsvorgaben für MuCell®

5.4.1 MATERIALANHÄUFUNG vermeiden!

Grundwandstärke sollte nur um 25% überschritten werden.

Größere Materialanhäufungen führen zu Zykluszeitverlängerung und damit zu Mehrkosten.

Dies gilt vor allem für Funktionsbereiche.

Grund: Die Randschicht kann dem Gasinnendruck nicht standhalten.

An diesen Hot Spots kann es infolge des Druckes zum Aufquellen des Bauteils kommen.
Man spricht hierbei vom Post Blow Effekt.

5.4.2 ENTFORMUNGSWINKEL beachten!

Vergleichbar zur Kernschwindung beim Kompaktspritzguss findet bei MuCell® eine Art „Kernschwindung“ in alle Richtungen statt.

Wie beim Kompaktspritzguss:	Aufschwinden auf Kern
Im Gegensatz zum Kompaktspritzguss:	Kein Wegschwinden von der Werkzeug-Außenwand!!

5.4.3 Vorgaben für die Rippenkonstruktion

Der MuCell® Prozess ermöglicht mehr Gestaltungsfreiheit für die Rippenkonstruktion als der Kompaktspritzguss. Es gilt das Prinzip: „Konstruktion für Funktion und nicht für das Füllverhalten“.

Da Bauteile beim MuCell® Verfahren nicht durch den Nachdruck, sondern durch den überall anliegenden Schaumdruck gefüllt werden, können insbesondere am Fließwegende noch größere Wanddicken und Rippendicken realisiert werden. Das Bauteil kann somit belastungsgerecht ausgeführt werden.

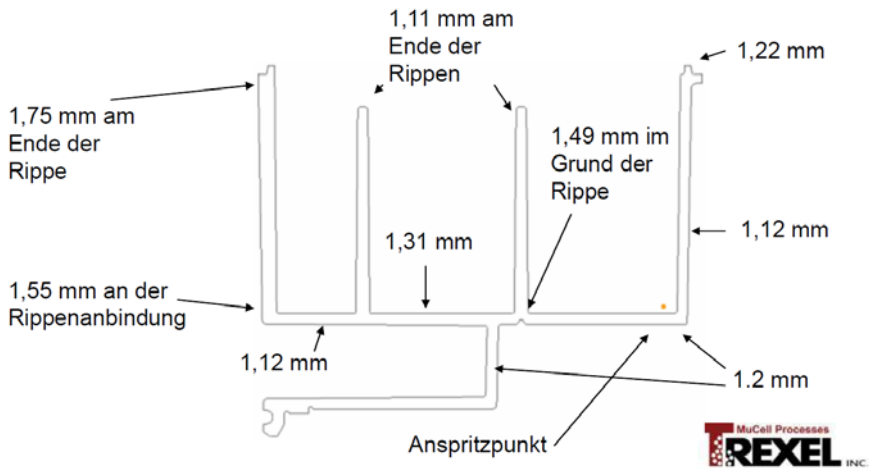


Bild: Wandstärkenauslegung und Rippen nach Fa. Trexel

5.4.4 Mechanische Kennwerte des MuCell® Materials berücksichtigen!

MuCell® Materialeigenschaften bei gleicher Wanddicke im Vergleich zum Kompaktspritzguss

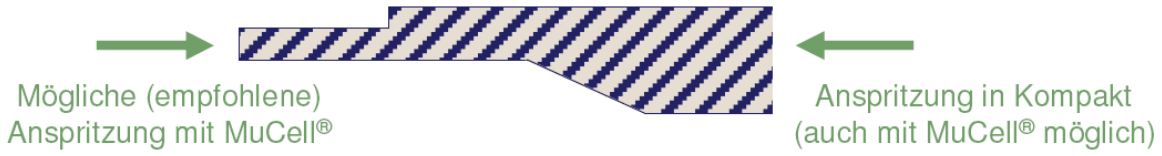
Reduzierung von:

Zug- und Bruchfestigkeit	= geringere Festigkeit
Zug- und Biege-E-Modul	= geringere Steifigkeit
Bruchdehnung	= Werkstoff versprödet

Reduzierungsfaktor entspricht ca. 2-fachem Schäumgrad
(also bei 5% Schäumgrad = 10% geringere Materialkennwerte)

5.4.5 Anspritzen des Bauteils von dünn zu dick

Kunststoffteile werden beim MuCell® Verfahren nicht durch den Nachdruck, sondern durch den Schaumdruck gefüllt.
Dünnwandige Bereiche benötigen einen höheren Druck zum Ausformen der Kavität. Diese Bereiche sollten deshalb beim Schaumspritzgießen möglichst angussnah liegen, da hier mit dem relativ hohen Einspritzdruck (250 bis 300 bar) gefüllt wird. Dickwandigere Bereiche werden durch den relativ niedrigen Schaumdruck (ca. 40 bar) durch freies Aufschäumen gefüllt. Hierdurch wird das Gewichtsreduktionspotential des MuCell® Verfahrens bestmöglich ausgenutzt.
Im Gegensatz dazu sollte beim Kompaktspritzguss von dick nach dünn gefüllt werden, um eine möglichst hohe Nachdruckwirkung in allen Bereichen zu erreichen.



5.5 Kurzanleitung zur Bauteilkonstruktion mit MuCell®

Mögliche Wandstärken	1,4 mm - 2,8 mm aufgrund Viskositätsreduzierung
Rippen	Anbindung von Rippe zur Wand 1:1 möglich
Entformungsschrägen	1 - 2° generell 1° pro Seite bei Rippen bis 10 mm Höhe 2° pro Seite bei Rippen ab 10 mm Höhe
Wanddickensprünge	Verrunden beachten
Toleranzen	Wie im Kompaktspritzguss
Einfallstellen	Keine Einfallstellen aufgrund des Aufschäumens
Bohrungen	Wie im Kompaktspritzguss
Schraubdome	Dome für bessere Entlüftung mit Rippen anbinden Materialanhäufung vermeiden Wanddicken wie bei Rippen
Schnapphaken	Möglichst dünnwandig ausführen
Prüfmaße Schwindung	Prüfmaße in Form von Rippen anbringen
Radien	Radien mindestens R 0,5 mm
Verzug	(Geringe) Verbesserung gegenüber Kompaktspritzguss Der Mindestschäumgrad für Verzugsverbesserung sollte 5% aufweisen.
Material	(Nahezu) alle Materialen verwendbar
CAD Analyse	Jedes Bauteil muss einer Füllsimulation und einer Wanddickenanalyse unterzogen werden; die Durchführung einer Strukturanalyse wird empfohlen.
Anspritzung	Anspritzen von „dünn nach dick“
Fließhindernisse	Unnötige Durchbrüche vermeiden
Oberflächenqualität	Maximal B-Sichtflächen möglich Narbungen generell rauh und tief ausführen, um MuCell® typische Schlieren zu kaschieren
CAD SmarTeam	Besonderheiten siehe 5.14
Metalleinleger	Kein Vorteil durch Vorwärmen, sonst wie Kompaktspritzguss

5.6 Vorgaben zur MuCell® gerechten Bauteilkonstruktion

5.6.1 Bauteilkonstruktion mit dem MuCell® Verfahren

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen, Vorgehensweise und Vorgaben für eine Bauteilkonstruktion mit dem MuCell® Verfahren definiert.

5.6.2 Vorgaben für die Auslegung der Grundwandstärke

Minimale Wandstärke: 1,4 mm
Maximale Wandstärke: 2,8 mm

Da Bauteile beim MuCell® Verfahren nicht durch den Nachdruck, sondern durch den überall anliegenden Schaumdruck gefüllt werden, können insbesondere am Fließwegende noch größere Wanddicken und Rippendicken realisiert werden. Das Bauteil kann somit belastungsgerecht ausgeführt werden.

Es können dünnere Wandstärken realisiert werden als im Kompaktspritzguss, da die Schmelzeviskosität geringer ist.

Dünnwandige Bereiche müssen am Fließwegende vermieden werden, da hier nur noch der Schaumdruck für das Formfüllen anliegt.

Theoretisch sind im MuCell® Verfahren auch Wandstärken bis 4 mm möglich, dies führt aber zu langer / teurer Kühlzeit und macht somit das Verfahren unwirtschaftlich.

Dickere Wandstärken führen nicht zu Lunkerbildung, sondern durch stärkeres Aufschäumen zu einer gröberen Schaumstruktur.

Anspritzen des Bauteils von Dünn zu Dick

Kunststoffteile werden beim MuCell® Verfahren nicht durch den Nachdruck, sondern durch den Schaumdruck gefüllt.
Dünnwandige Bereiche benötigen einen höheren Druck zum Ausformen der Kavität. Diese Bereiche sollten deshalb beim Schaumspritzgießen möglichst angussnah liegen, da hier mit dem relativ hohen Einspritzdruck (250 bis 300 bar) gefüllt wird. Dickwandigere Bereiche werden durch den relativ niedrigen Schaumdruck (ca. 40 bar) durch freies Aufschäumen gefüllt. Hierdurch wird das Gewichtsreduktionspotential des MuCell® Verfahrens bestmöglich ausgenutzt.
Im Gegensatz dazu sollte beim Kompaktspritzguss von dick nach dünn gefüllt werden, um eine möglichst hohe Nachdruckwirkung in allen Bereichen zu erreichen.

5.6.3 Vorgaben für die Rippenkonstruktion

Der MuCell® Prozess ermöglicht mehr Gestaltungsfreiheit für die Rippenkonstruktion als der Kompaktspritzguss. Es gilt das Prinzip: „Konstruktion für Funktion und nicht für das Füllverhalten“.

Da Bauteile beim MuCell® Verfahren nicht durch den Nachdruck, sondern durch den überall anliegenden Schaumdruck gefüllt werden, können insbesondere am Fließwegende noch größere Wanddicken und Rippendicken realisiert werden. Das Bauteil kann somit belastungsgerecht ausgeführt werden.

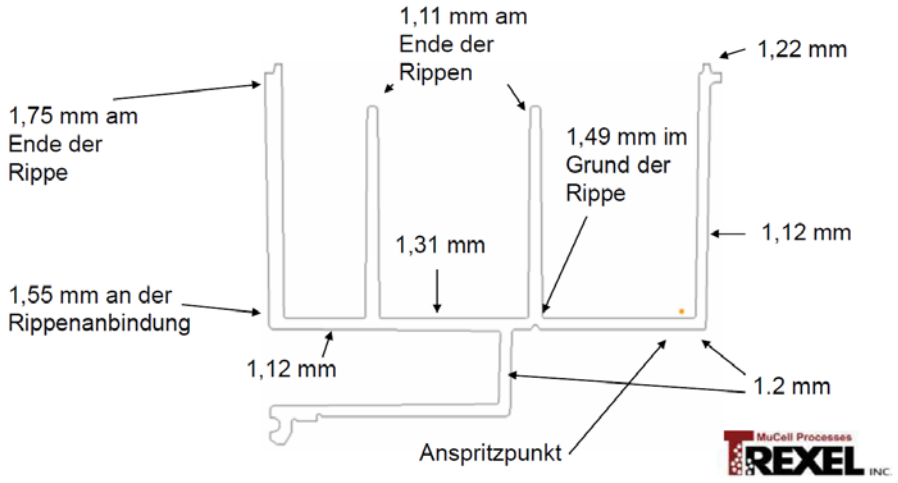


Bild: Wandstärkenauslegung und Rippen nach Fa. Trexel

Allerdings sind einige Vorgaben vor allem im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit auch bei der Rippenkonstruktion zu beachten.

5.6.3.1 Rippendicke

Wanddicke-/Rippe-Verhältnis: bis 1:1 möglich

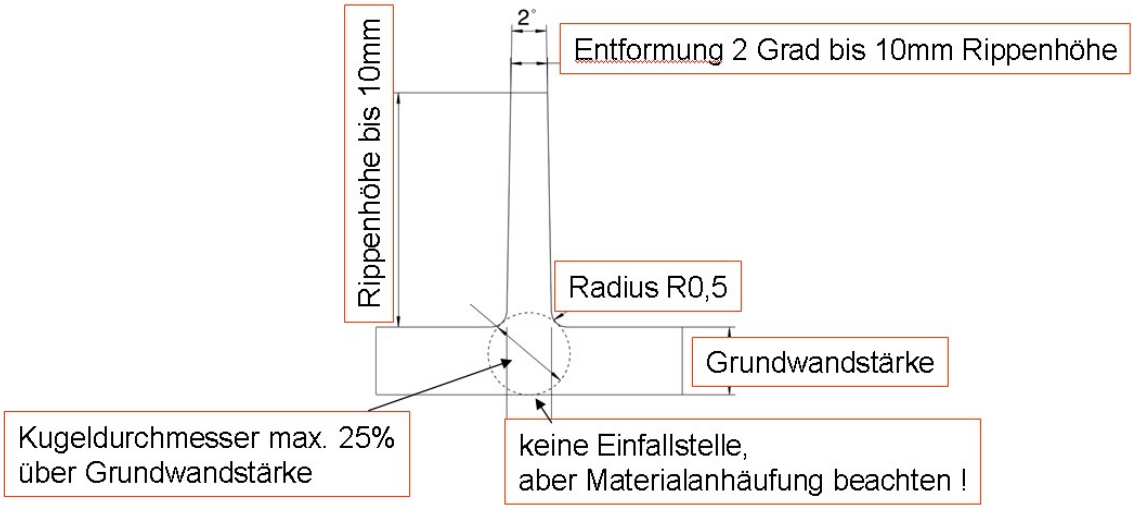
Auslegung für Kompakt

Auslegung für MuCell®

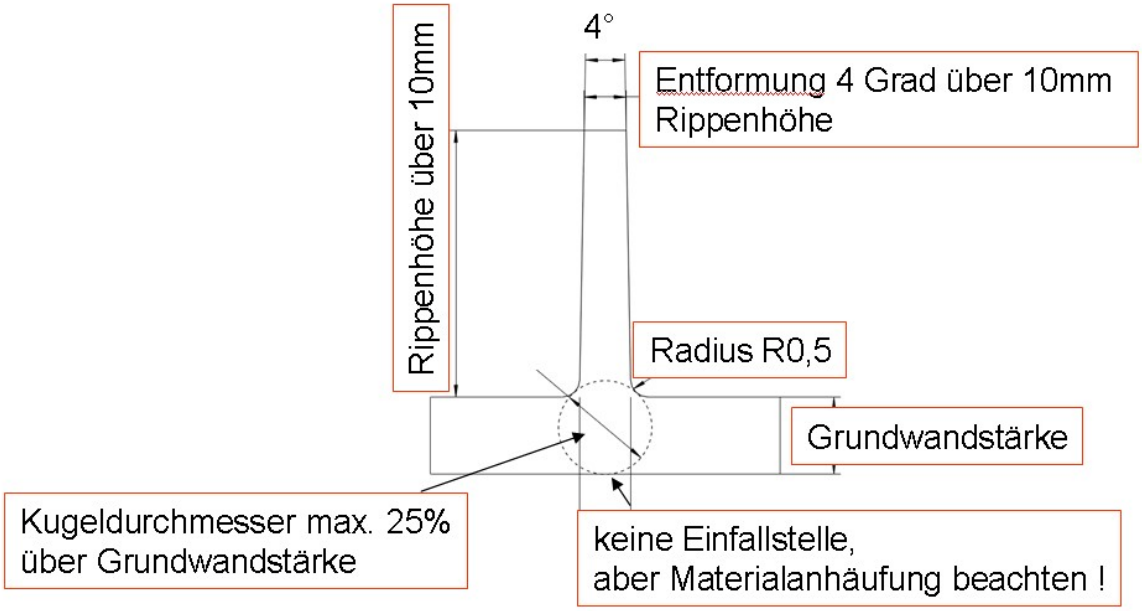
5.6.3.2 Rippengeometrie

Rippen bis zu einer Rippenhöhe von 10 mm müssen mit mind. 1° Entformung pro Seite ausgeführt werden.

Rippen sind an die Grundwand mit einem Radius R0,5 mm anzubinden.



Rippen über einer Rippenhöhe von 10 mm müssen mit mind. 2° Entformung pro Seite ausgeführt werden.



5.6.3.3 Mindestdicken für Rippen

Mindestdicke für angussnahe Rippen (bis 100 mm Abstand zum Anguss):
- Teilkristalline Kunststoffe bis zu 0,9 mm Wandstärke
- Amorphe Kunststoffe bis zu 1,1 mm Wandstärke
- Hierbei ist aber auf gute Entlüftung zu achten!

Rippendicke für angussferne Rippen (über 100 mm Abstand zum Anguss):
- Dicke ähnlich wie Grundwandstärke, da Füllung nur über Schaumdruck

5.6.3.4 Wabenstruktur

Wabenstrukturen sollten bei MuCell® Bauteilen vermieden werden, da diese Bereiche durch den MuCell® Prozess nur schwer entformbar sind.
Sollten Wabenstrukturen nicht vermieden werden können, so ist ein Mindestentformwinkel von 4 bis 5° einzuhalten.
Der Wabeninnendurchmesser muss über 15 mm betragen, um diesen Bereich kühlen zu können.

Aufgrund der schwierigen Entformbarkeit sind Wandbereiche mit Wabenstrukturen durch Rückhalterippen oder Niederhalter im Werkzeug gegen Beschädigung durch Entformung zu sichern.

5.6.3.5 Vermeidung von Wabenstrukturen mittels Strukturanalyse

Es wird dringend empfohlen, zur Vermeidung von Wabenstrukturen eine Strukturanalyse des Bauteils zur Ermittlung der spannungsintensivsten Bereiche durchzuführen.
Anhand der Strukturanalyse lassen sich Bauteile gezielt durch gerade Rippenverläufe verstärken, ohne auf die flächige Verstärkung durch Wabenstruktur zurückgreifen zu müssen.

Ablaufbeschreibung Strukturanalyse:

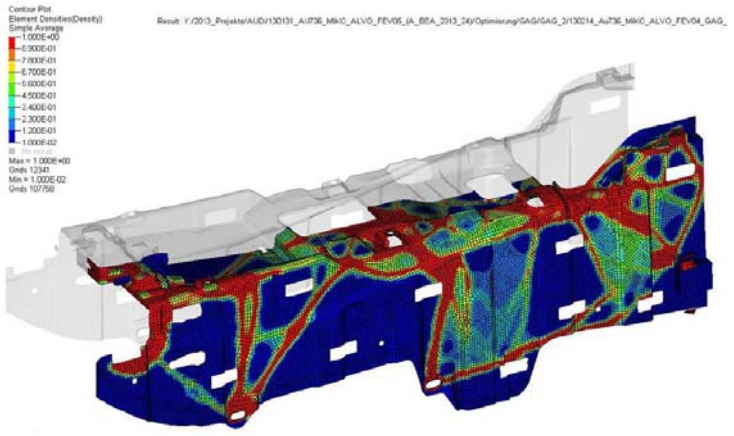


Bild: Ergebnisdarstellung Strukturanalyse

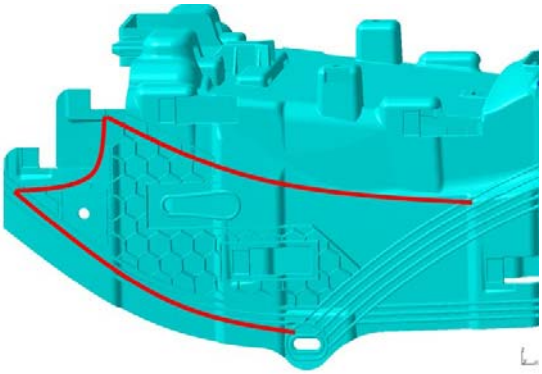


Bild: Rippenverlauf mit Wabenstruktur vor Optimierung - rote Linie für Rippenvorschlag anhand Strukturanalyse

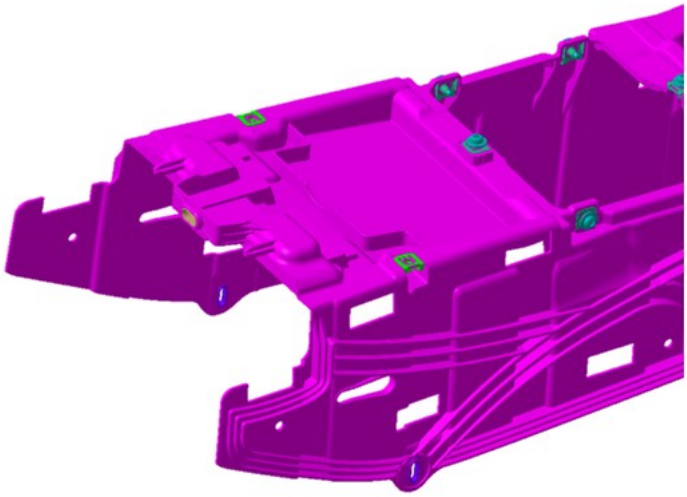


Bild: Rippenverlauf ohne Wabenstruktur nach Strukturanalyse und Optimierung

Verbesserungen am Beispiel Träger Q7:

- Ersatz der Wabenstruktur durch Rippenpaket
- Rippen entsprechen Kraftfluss
- nur 3 anstelle 5 Rippen
- Rippen dicker ausgeführt
- Rippen mit 15 mm Abstand für Kühlung

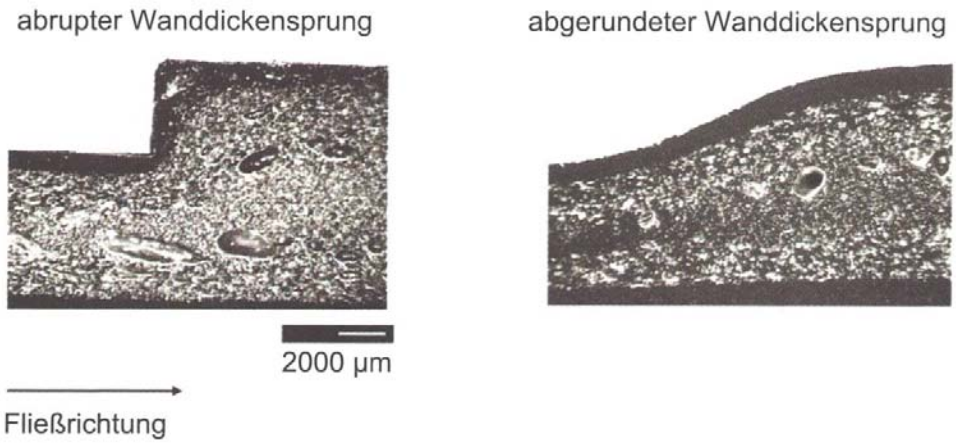
5.6.4 Wanddickensprünge

Wanddickensprünge müssen abrundet werden, um grobe MuCell® Struktur zu vermeiden.

Wanddickensprünge sollten von dünn zu dick gefüllt werden.

Wanddickensprünge dürfen maximal das Verhältnis 1 : 3 von dünner zu dicker Wand aufweisen.

Wanddickensprünge können ohne Schwindungsunterschiede realisiert werden, da die innere Nachdruckwirkung des Schäumens die verschiedenen Schwindungspotentiale ausgleicht.



5.7 Konstruktion für MuCell® gerechte Entformung

Ein im MuCell® Verfahren hergestelltes Bauteil expandiert während der Kühlzeit. MuCell® Bauteile hängen dadurch stärker im Werkzeug fest. Deshalb ist die Entformbarkeit noch stärker zu berücksichtigen wie im Kompaktspritzguss.

5.7.1 Entformungsschrägen

Entformungsvorgaben:

Allgemeiner Mindestentformwinkel
1° - 2° pro Seite generell
1° pro Seite bei Rippen bis 10 mm
2° pro Seite bei Rippen ab 10 mm

Dies entspricht ungefähr der doppelten Entformungsschräge des Kompaktspritzgusses.

Mindestentformwinkel für Wabenstrukturen ist 4° - 5°.

Wabenstrukturen größer als 15 mm Durchmesser
Wabenstrukturen am besten vermeiden
Schwer entformbare Geometrien mit Rück-Niederhalter fixieren

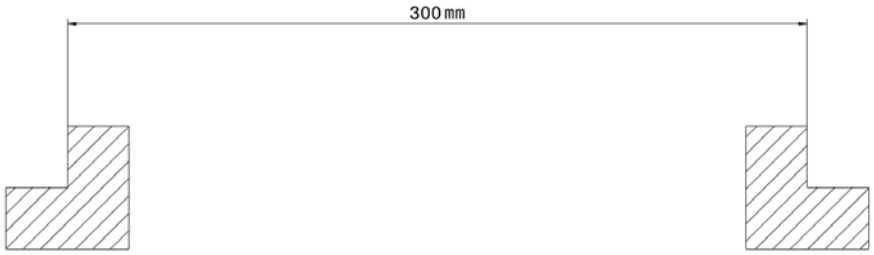
Die Entformungswinkel sind mit dem CATIA-Analysemodul in alle Entformungsrichtungen zu analysieren. Bei Nichteinhaltung obiger Forderungen sind die entsprechenden Bereiche bestmöglich zu optimieren.

5.7.2 Schwindung

MuCell® Bauteile weisen etwa 10% mehr Schwindung auf. Die Schwindung ist aber gleichmäßiger über das Bauteil verteilt als im Kompaktspritzguss.

5.7.3 Ermittlung von Schwindungswerten

Einfach abzumessende Prüfmaße (siehe Skizze) in Längs- und Querrichtung in Form von Rippen am Bauteil vorsehen, um über diese Rippen das Maß der Schwindung bestimmen zu können.
Diese Daten sollen dazu beitragen, eine Datenbank aufzubauen, in der verschiedene Materialien mit verschiedenen Gasbeladungen und deren charakteristischer Schwindung bewertet werden können.



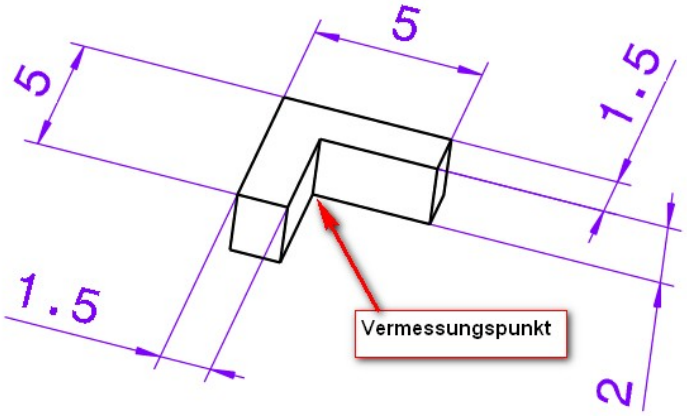


Bild: Skizze für Messgeometrie

5.7.4 Toleranzen

Im MuCell® Verfahren können die gleichen Toleranzen eingehalten werden wie im Kompaktspritzguss.

5.7.5 Radien

Radien müssen wie im Kompaktspritzguss mindestens Radius R0,5 mm betragen.

5.7.6 Einfallstellen

Keine Einfallstellen durch Aufschäumen des Materials nach dem Einspritzen.

5.7.7 Bohrungen

Bohrungen wie im Kompaktspritzguss vorsehen

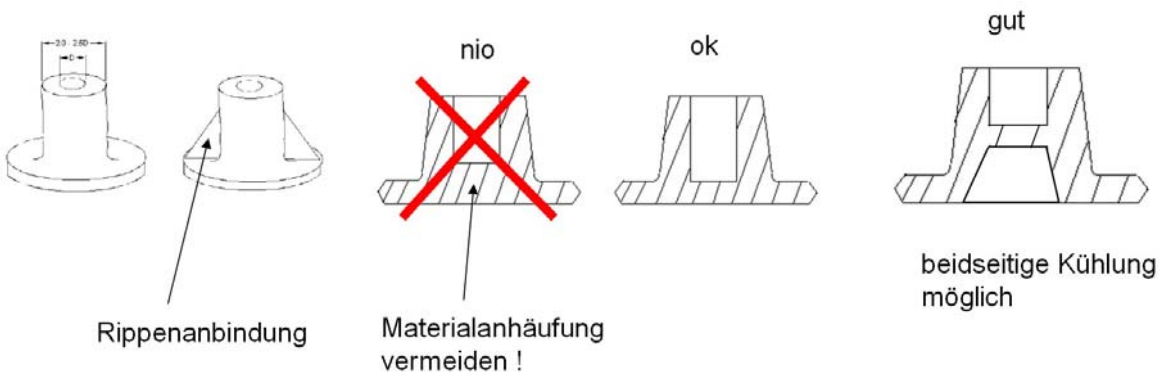
Tiefe bis max. 2-facher Durchmesser
Abstand zur Wand bzw. weiterer Bohrung einfacher Lochdurchmesser
Bei Einschraubungen dreifacher Abstand des Durchmessers

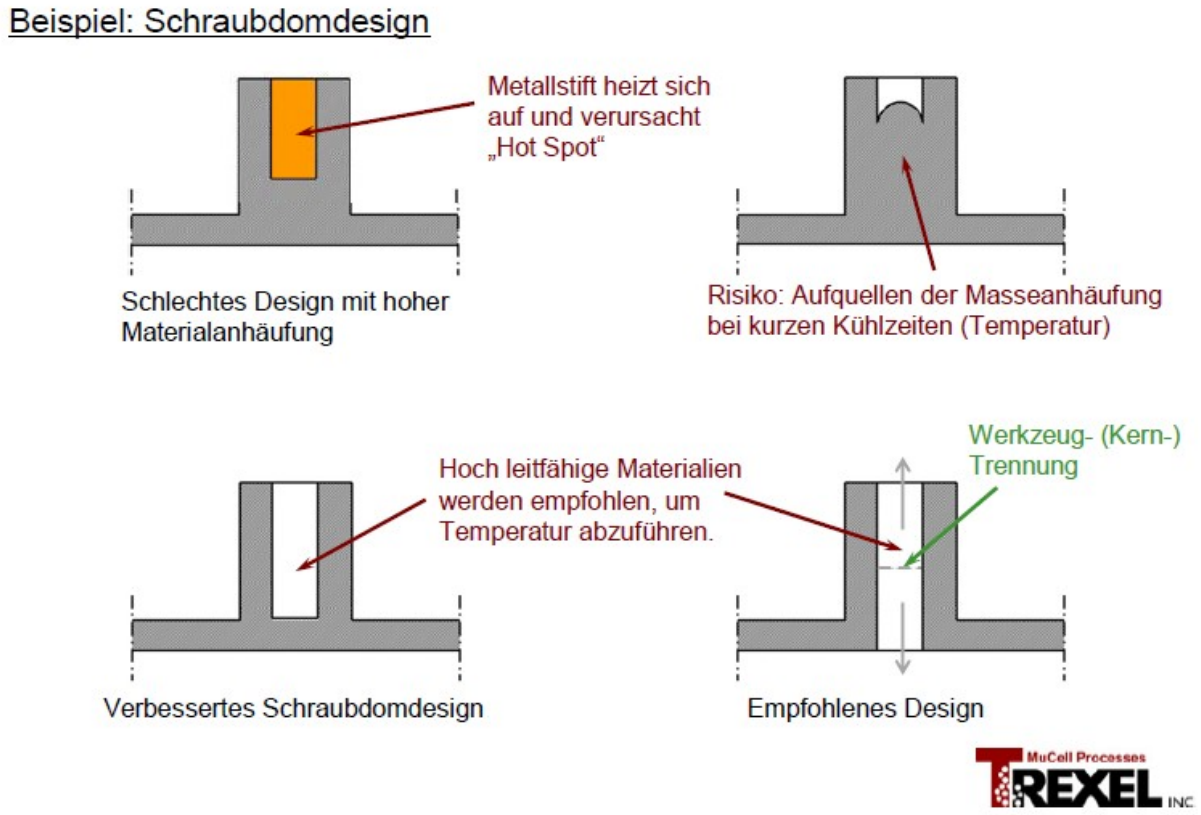
5.7.8 Schraubdome

Materialanhäufung vermeiden!
Alle Bereiche mit mehr als 25% Erhöhung über Grundwandstärke verlängern die Zykluszeit und müssen deshalb bestmöglich optimiert werden!

Dome für bessere Entlüftung mit Rippen anbinden

Wanddicken wie bei Rippenauslegung ausführen





5.7.9 Schnapphaken

Bei Schnapphaken möglichst geringe Wandstärke vorsehen, um ein Aufschäumen und damit einhergehendes Verspröden zu verhindern.

5.7.10 Metalleinleger

Das Vorheizen des Metalleinlegers bringt im MuCell® Prozess keinen Vorteil, da dieser an sich spannungsfrei ist.

Analoge Ausführung wie beim Kompaktspritzguss:

Frei von scharfen Kanten.

5.7.11 Fließhindernisse, Durchbrüche

Fließhindernisse und Durchbrüche führen zu verschlechterten mechanischen Eigenschaften, da hinter diesen Bereichen der Schäumgrad größer ist. Die Bindenahtfestigkeit ist deutlich reduziert.

Deshalb sind unnötige Durchbrüche in mechanisch belasteten Bereichen zu vermeiden oder geometrisch zu verbessern.

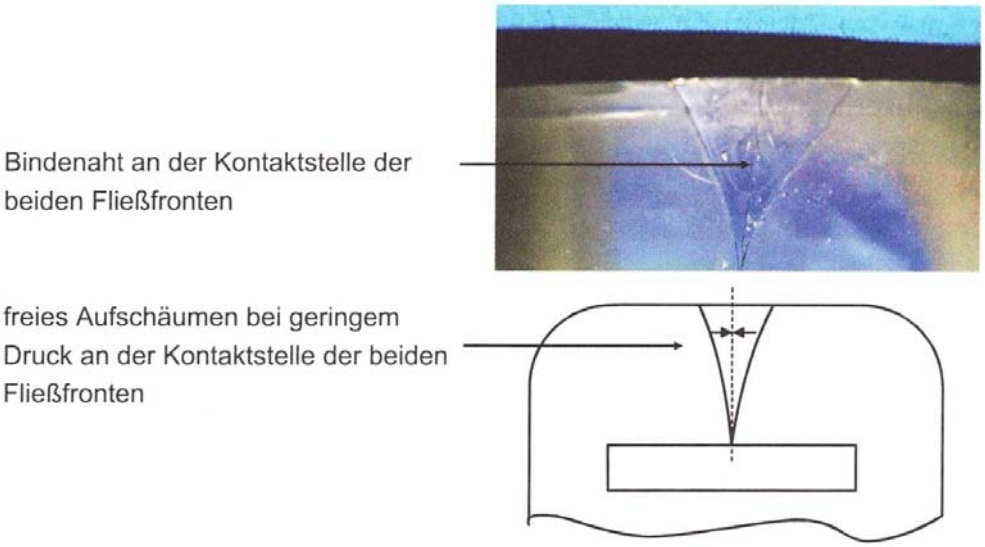


Bild: Füllverhalten beim Schaumspritzgießen hinter Fließhindernissen

5.8 Bauteilverzug (Spannungsverzug)

Im MuCell® Verfahren hergestellte Bauteile weisen im Allgemeinen einen geringeren Verzug wie kompakt gespritzte Bauteile auf. Das Verfahren hat jedoch unterschiedlichen Einfluss auf die Verzugsarten im Kunststoffspritzguss.
Der Mindestschäumgrad für Verzugsverbesserung sollte 5% aufweisen.

5.8.1 Eingefrorene Spannungen durch Nachdruck

Verbesserung, da durch den entfallenen Nachdruck dieser Verzug im Bauteil eliminiert (minimiert) wird.

5.8.2 Verzug durch Temperaturunterschiede bei der Entformung

Keine Verbesserung des Verzuges durch unterschiedliche Temperaturen am entformten Bauteil z.B. Innenradius ⇔ Außenradius bleibt bestehen.

5.8.3 Verzug durch Rippen

Keine Verbesserung durch die MuCell® Technologie
Rippenauslegen möglichst symmetrisch

5.8.4 Verzug durch Glasfaserorientierung

Bei Wandstärken von größer als 2 mm wird der Verzug durch die Glasfaserorientierung verringert, da in der Schaumstruktur sich die Glasfasern nicht in Fließrichtung orientieren.
Bei Wandstärken unter 2 mm ist der Einfluss geringer, da sich die Glasfasern in der Randschicht nach der Fließrichtung orientieren und der Anteil der Randschicht bei dünnen Bauteilen größer ist.

5.9 Übersicht der Analyseverfahren für MuCell® Bauteilbewertung

Diese Übersicht wiederholt teilweise die bereits erläuterten Verfahren.

5.9.1 CATIA Wandstärkenanalyse

Materialanhäufungen im Bauteildesign müssen vermieden werden, da an diesen Stellen die ausgebildete Randschicht dem Gasinnendruck nicht standhalten kann. An diesen Hot Spots kann es infolge des Druckes zum Aufquellen des Bauteils kommen. Man spricht hierbei vom Post Blow Effekt.

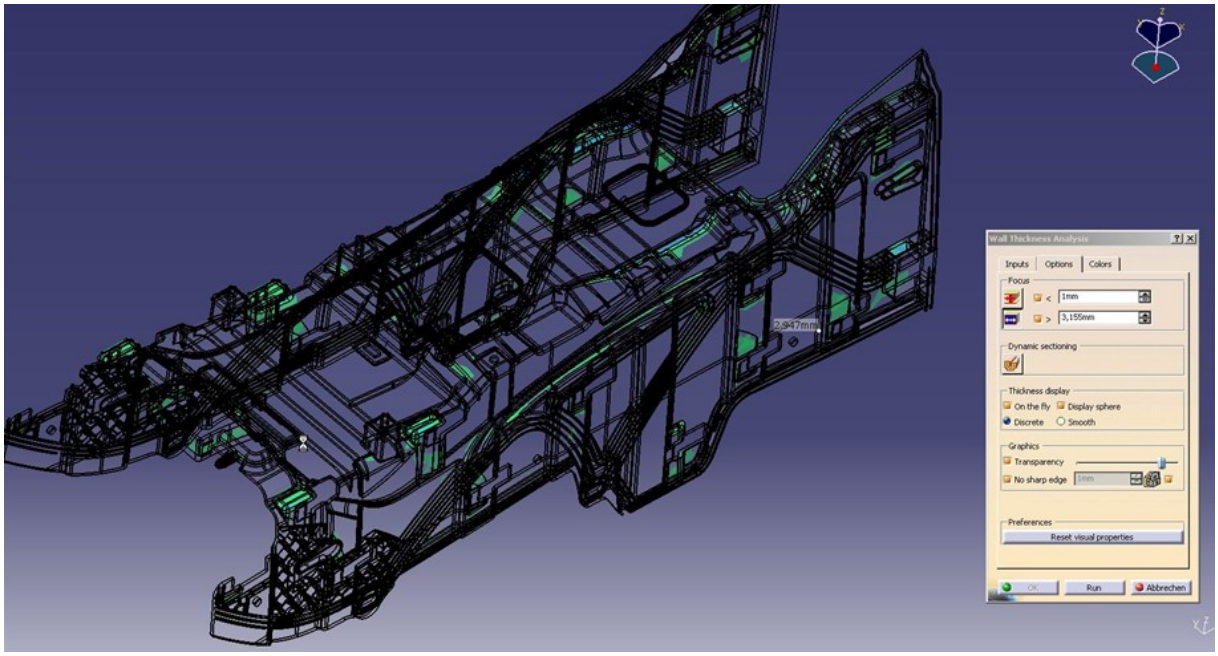
Dies gilt weiterhin auch im Bezug auf kleine Kerne, die nicht entsprechend gekühlt werden können. Achtung: Erst ab 15 mm Kerndurchmesser ist Kühlung möglich!

In CATIA ist eine einfache Wandstärkenanalyse mit dem Tool „**Wall Thickness Analysis**“ möglich.

Jedes Kunststoffteil sollte prinzipiell untersucht werden, vor allem MuCell® Bauteile, da hier durch ungenügende Kühlung Post Blow auftreten kann.

Konstruktionsvorgabe:
Alle Bereiche mit mehr als 25% Erhöhung über Grundwandstärke verlängern die Zykluszeit und müssen deshalb bestmöglich optimiert werden!
ACHTUNG: Diese Forderung gilt insbesondere für Funktionsbereiche und für Bereiche mit Anschlussgeometrie!

Beispiel für eine Wandstärkenanalyse mittels CATIA-Analysemodul

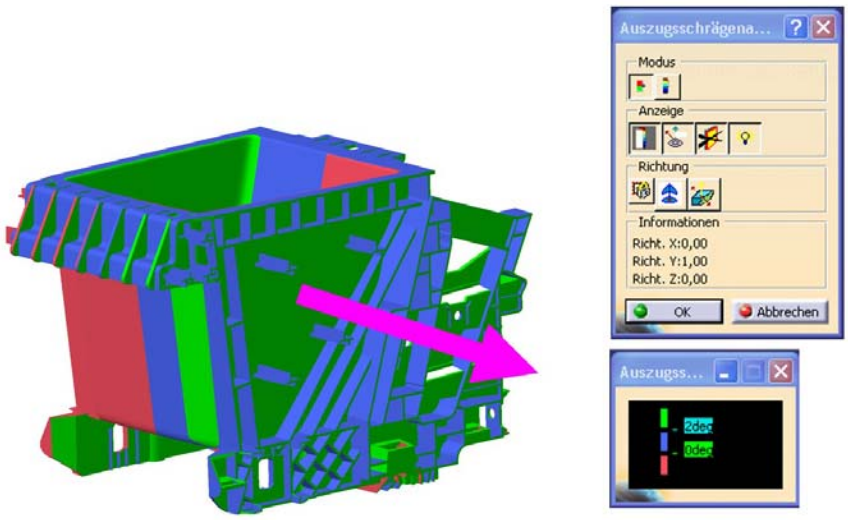


5.9.2 CATIA Entformungsanalyse

Allgemeiner Mindestentformwinkel
1° - 2° pro Seite generell
1° pro Seite bei Rippen bis 10 mm
2° pro Seite bei Rippen ab 10 mm

Mindestentformwinkel für Wabenstrukturen ist 4° - 5°.

Die Entformungswinkel sind mit dem CATIA-Analysemodul in alle Entformungsrichtungen zu analysieren. Bei Nichteinhaltung obiger Forderungen sind die entsprechenden Bereiche bestmöglich zu optimieren.



5.9.3 FEM Berechnung

Durch das MuCell® Verfahren werden mechanische Kennwerte des Ausgangsmaterials verschlechtert.
Dies gilt insbesondere in angussfernen Bereichen und Bereichen um Fließhindernisse und Durchbrüchen.

Für jedes MuCell® Bauteil ist eine FEM-Berechnung durchzuführen.
Bei der Auswertung der Berechnung sind die bekannten Kennwertreduzierungen zu berücksichtigen.
Falls keine Werte vorliegen, ist als Reduktion der doppelte Wert des Schäumgrades anzunehmen.
Beispiel:
Zugfestigkeit Originalwerkstoff 50 MPa ergibt bei 10% Schäumgrad eine Zugfestigkeit von 40MPa.

Besonders zu beachten und möglichst geometrisch zu optimieren sind Bereiche mit hohen Spannungen, die großflächig auftreten und angussfern liegen.
Ebenfalls müssen hochbelastete Bereiche bei Durchbrüchen geometrisch optimiert werden oder die Durchbrüche vermieden werden.

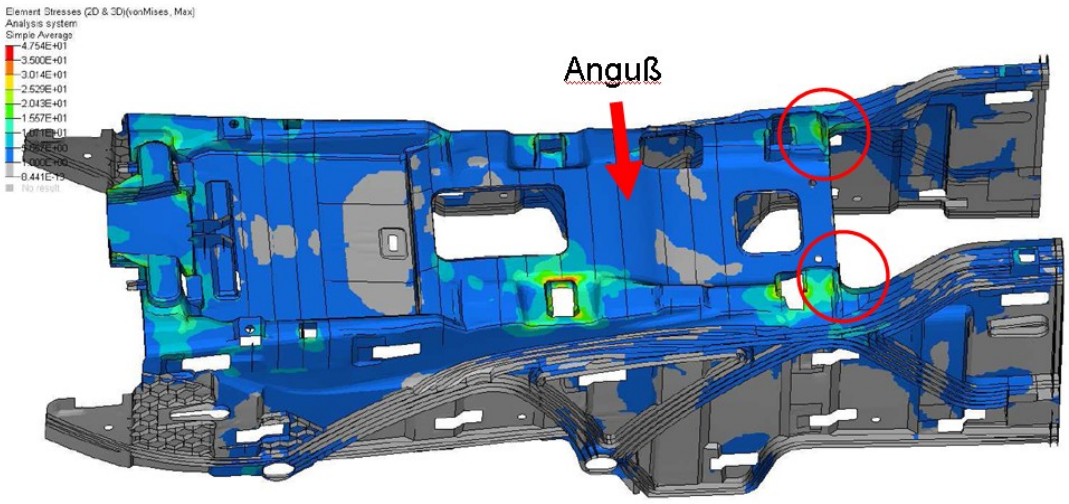


Bild: FEM-Berechnung

5.9.4 Füllsimulation

Jedes Bauteil, dass in MuCell® gefertigt werden soll, muss einer Füllsimulationsanalyse unterzogen werden, um eine gleichmäßige Füllung und damit gleichmäßiges Aufschäumen sicherzustellen.

5.9.5 Strukturanalyse

Im Allgemeinen sollte für alle Kunststoffteile eine Strukturanalyse des Bauteils zur Ermittlung der spannungsintensivsten Bereiche durchgeführt werden.
Anhand der Strukturanalyse lassen sich Bauteile gezielt durch gerade Rippenverläufe verstärken, ohne auf die flächige Verstärkung durch Wabenstruktur zurückgreifen zu müssen. Dadurch lassen sich schwer entformbare Bereiche vermeiden und zielgerichtet Bauteilverstärkungen Material sparend einbringen.

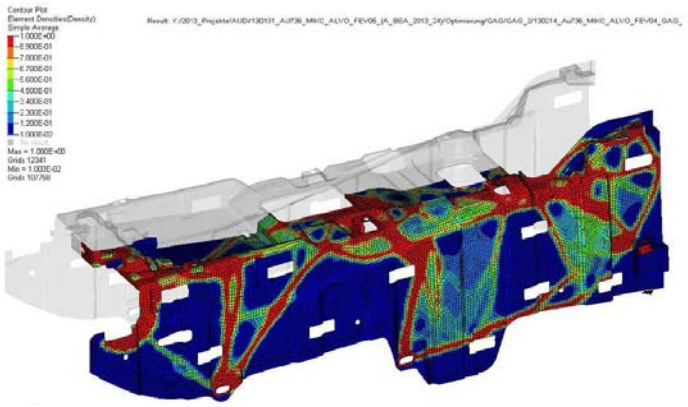


Bild: Ergebnisdarstellung Strukturanalyse

5.10 Materialauswahl

Alle Kunststoffe im Geltungsbereich dieser Work Instruction können für das MuCell® Verfahren verwendet werden. Die generelle Eignung ist allerdings verschieden.

Amorphe Kunststoffe sind besser geeignet als teilkristalline Kunststoffe, da die Kristallisation die Bildung von Schaumzellen behindert.

Gefüllte Kunststoffe sind wesentlich besser als ungefüllte, da Füllstoffe als Keimbildner für die Schaumzellen dienen.

Übersicht Schäumbarkeit verschiedener Kunststoffe:

Material	Schäumbarkeit	Beschreibung
PC (amorph)	Sehr gut	
PS (amorph)	Sehr gut	
PA6 GF (teilkristallin)	Gut	Sehr gute Kontrolle der Schäumbarkeit
PP GF (teilkristallin)	Gut	Glasfasern unterstützen das Zellwachstum effektiver als Talkum
PP T20 (teilkristallin)	Gut	
PA6 (teilkristallin)	Mittel	
ABS – PC (amorph)	Mittel	PC = Sehr gute Schäumbarkeit ABS = Schlechte Schäumbarkeit
ABS (amorph)	Schlecht	bei ABS ist es schwierig, eine gleichmäßige Gas-beladung zu erreichen - Zellbildung schwierig, da keine „Keime“ vorhanden.
HDPE (teilkristallin)	Schlecht	sehr anfällig für Bildung größerer Blasen; ohne ein Nukleirungsmittel ist das Aufschäumen von HDPE nicht sinnvoll.

5.11 Allgemeiner Überblick der Materialeigenschaften im Vergleich zum Kompaktspritzguss

TSG-Bauteile weisen im direkten Vergleich mit dem kompakt spritzgegossenen Bauteil deutlich veränderte mechanische Eigenschaften auf. Der Effekt ist umso größer, je größer der Schäumgrad ist.

kompakt	geschäumt (Integralschaumstruktur) gleiche Wanddicke	gleiche Biegesteifigkeit	gleiches Artikelgewicht
Wanddicke	gleich	etwas größer	größer
Gewicht	kleiner	etwas kleiner	gleich
Biegesteifigkeit	kleiner	gleich	größer
Dichte	kleiner	kleiner	kleiner
E-Modul	kleiner	kleiner	kleiner
Widerstands-moment	gleich	etwas größer	größer

Bei gleichem Bauteilgewicht nimmt die Biegesteifigkeit einer geschäumten Platte zu.

Begründung: Der Wandstärkengewinn verbessert überproportional die Biegesteifigkeit und wiegt damit die Verringerung des Material-E-Moduls und der Materialfestigkeit auf.

5.11.1 Materialeigenschaften bei gleicher Wanddicke

Bezogen auf gleiche Wanddicke nehmen die Materialkennwerte durch das MuCell® Verfahren im Vergleich zum Kompaktspritzguss ab. Die Reduzierung ist vom Material, von den Zuschlagstoffen, den Prozessparametern, der Bauteilgeometrie und anderen Faktoren abhängig.

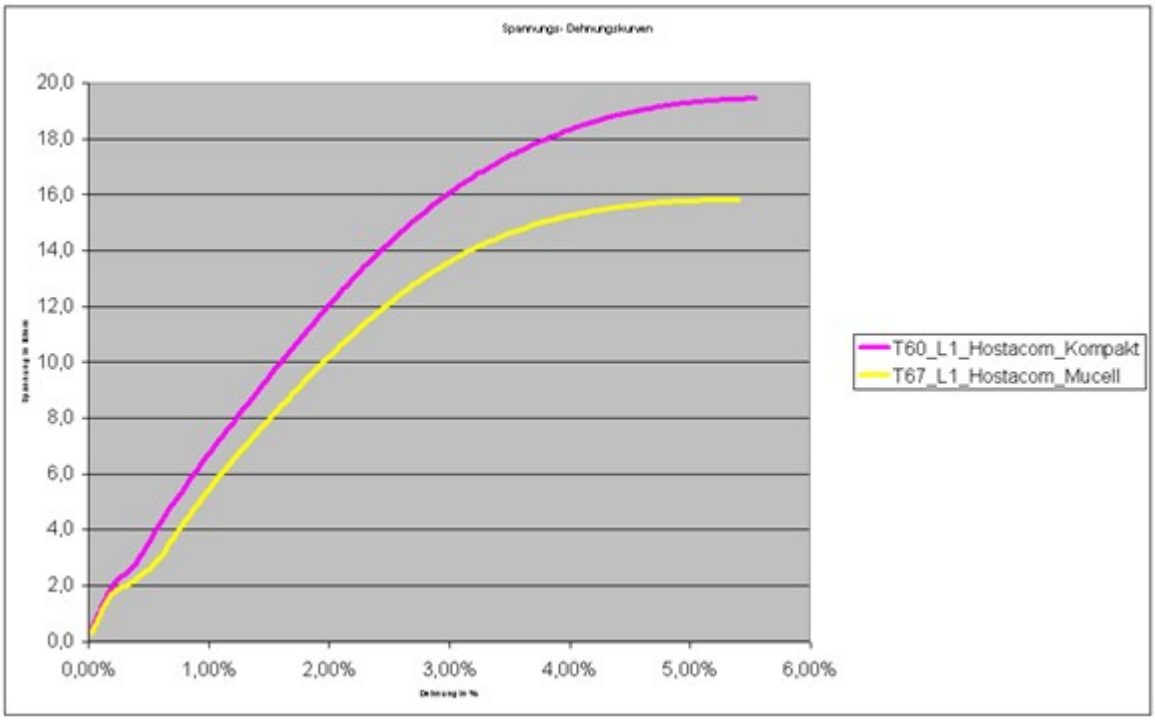
Es tritt eine Reduzierung auf von:

Zug- und Bruchfestigkeit = geringere Festigkeit
Zug- und Biege-E-Modul = geringere Steifigkeit
Bruchdehnung = Werkstoff versprödet

Als pauschale Vorgabe für die Festigkeitsberechnung wird festgelegt:

Der Reduzierungsfaktor der Materialkennwerte entspricht dem 2-fachen Schäumgrad
(also bei 5% Schäumgrad = 10% geringere Materialkennwerte)

Beispiel für eine Spannungs-Dehnungskurve
Vergleich Kompakt zu MuCell® mit 10% Schäumgrad für Material PP



5.11.2 Unterschiedliche Schäumgrade im Bauteil

Definition Schäumgrad = Dichtereduktion im Bauteil

Der Schäumgrad bzw. die Dichtereduzierung ist über ein gesamtes Bauteil betrachtet unterschiedlich.

Im angussnahen Bereich (bis ca. 100 mm Entfernung zum Anguss) ist der Schäumgrad geringer und somit die mechanischen Kennwerte besser. Die Kennwerte erreichen fast das Niveau des kompakt gespritzten Materials.
Im angussfernen Bereich (über 100 mm Entfernung zum Anguss) ist der Schäumgrad höher und somit die mechanischen Kennwerte schlechter. Hier ist der Reduzierungsfaktor aus obigem Absatz entsprechend zu berücksichtigen.

Für die mechanische Auslegung eines Bauteils sind die Dichteunterschiede unbedingt zu berücksichtigen. Mechanisch hochbelastete Bereiche müssen angussnah sein.

5.11.3 Akustische Eigenschaften

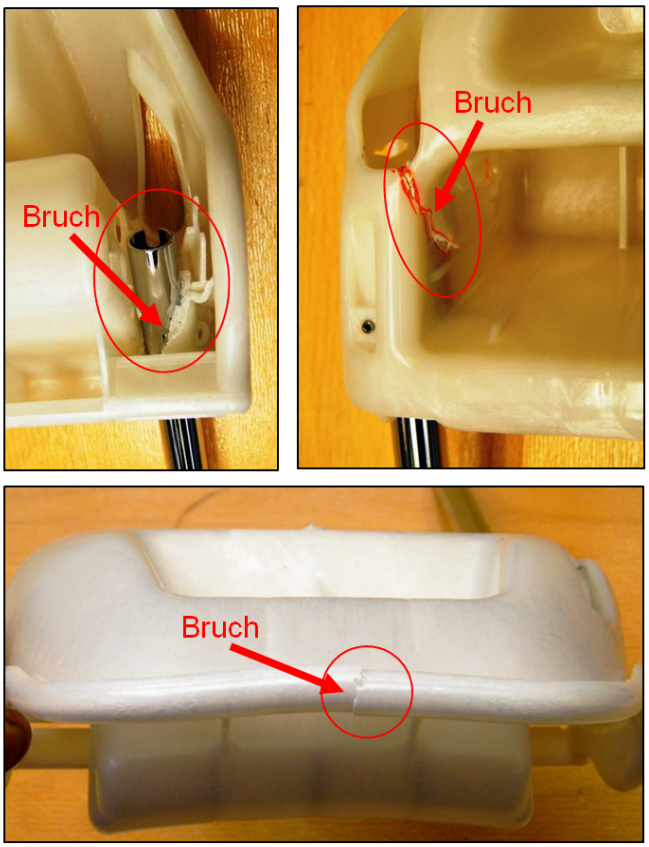
MuCell® Bauteile weisen eine höhere akustische Dämpfung auf als Kompaktbauteile.

5.12 Dynamische Festigkeit

Der Einsatz des MuCell® Verfahrens ist für Kopfkästen nicht zulässig!

MuCell® Bauteile sind nur bedingt für dynamische Belastungen geeignet.

Aufgrund der Abnahme der Bruchdehnung durch das MuCell® Verfahren kann das Bauteil wesentlich weniger Verformungsarbeit verrichten als das Kompaktbauteil.
Es kommt somit bei wesentlich geringeren Belastungen bereits zum Versagen des Bauteils.



WOKS II Kopfstütze mit HDPE HMA025 MuCell® 12%

5.13 Oberflächenqualität

5.13.1 Schlierenbildung durch MuCell® Verfahren

Die Oberflächenqualität von MuCell® Bauteilen reicht nicht an die Oberflächengüte von Kompaktspritzgussteilen heran.

Die mit Schlieren gekennzeichnete Oberfläche entsteht durch Kontakt von freigesetzten Gasbläschen mit der kalten Werkzeugwand.

5.13.2 Verringerung der Schlierenbildung

Tendenziell zeigen sich mehr Schlieren in angussnahen Bereichen.

Die Ausprägung der Schlierenbildung ist auch abhängig vom verwendeten Polymer, der Einspritzgeschwindigkeit und der Gasbeladung der Schmelze.

Je höher die Gasbeladung der Schmelze desto größer die Schlierenbildung.

Der Anspritzpunkt sowie das Fließwegende sollten für eine optimierte Oberfläche nicht im Sichtbereich liegen.

Rippen quer zur Fließrichtung verursachen Verwirbelungen, die eine schlechtere Oberfläche zur Folge haben.

5.13.3 Verbesserung der Oberfläche durch Narbung

Im Allgemeinen sollte die Narbung rau und tief ausgeführt werden, um eine Oberflächenverbesserung zu erreichen.
Plateaus in der Oberfläche wirken sich negativ auf das Kaschieren der Schlieren aus.
Erodiernarben sind geätzten Narbungen vorzuziehen.

Firma Trexel empfiehlt Narbungen nach VDI 27 und größere Narbtiefen.

Hiervon verwendete Narbungen bei Grammer:

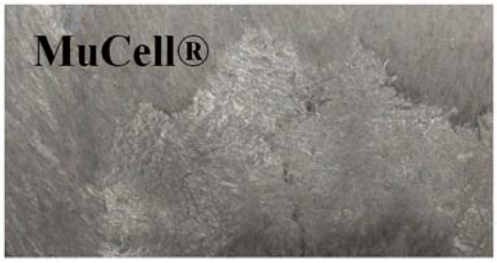
VDI 27, 30, 33, 36

Übersicht über Oberflächenqualitäten bereits abgemusterter Materialen

Material	Oberfläche	Korrekturmaßnahmen
PP T20	starke Schlierenbildung bei ungenarbter Oberfläche Oberfläche wird matter	durch Narbung mattere und leicht fleckige Oberfläche möglich für B-Sichtflächen geeignet
PA6 GF 30	akzeptable Oberfläche mit geringer Schlierenbildung Oberfläche wird matter	mit Narbung gute Oberfläche möglich
ABS-PC	sehr starke Schlierenbildung	auch mit Narbung keine Sichtfläche möglich
ABS	Schlierenbildung bei ungenarbter Oberfläche	

Nach aktuellem Wissensstand sind bis jetzt nur B-Sichtflächen möglich, siehe Projekt B205.
A-Sichtflächen sind nicht möglich.
Grund: Bauteile weisen meist eine schlierenbehaftete Oberfläche auf und sind deshalb für die üblichen A-Sichtoberflächenanforderungen der OEMs nicht geeignet!

5.13.4 Vergleich Kompakt / MuCell® ungenarbt



5.13.5 Vergleich Kompakt / MuCell® genarbt

5.14 Angaben für MuCell® Material in Zeichnung, CAD und SmarTeam

5.14.1 Grammer-Materialdatenbank für MuCell® im CAD und SmarTeam

MuCell® Materialien werden mit Schäumgrad in der Datenbank hinterlegt.
Vor dem Anlegen eines neuen MuCell® Materials ist die Datenbank auf ähnliches Material mit ähnlichem Schäumgrad zu prüfen.
In Zeile 2 des Werkstoff-/Material-Feldes des Zeichnungsschriftkopfes wird der Text angehängt:

" MuCell xx % Schäumgrad „

Englische Übersetzung Schäumgrad ist foam rate.

Im SmarTeam wird an die Profilkarte das Werkstoffdatenblatt des geschäumten Thermoplasten angehängt.
Das Werkstoffdatenblatt erhält eine neue erste Seite mit dem Warnhinweis für MuCell®:
Warnhinweis MuCell®: Durch den MuCell® Prozess werden mechanische Kennwerte des Ausgangsmaterials verändert. Dies führt meist zu niedrigeren Materialkennwerten als im folgenden Datenblatt aufgelistet.

Suchbegriff für MuCell® Werkstoffe in der Datenbank:
MuCell oder Schäumgrad oder foam rate

5.14.2 Weight-Managment

Grammer AG	Keine Besonderheiten, da alle Materialdaten für MuCell® in der Material-datenbank hinterlegt sind und das spezifische Gewicht angepasst ist.
Daimler	Werkstoff auswählen und nach DAG-Freigabe Gewichtsangabe manuell nach SmarTeam-Angabe übertragen.
VW	Werkstoff und Gewicht sind wie gewohnt manuell einzutragen.

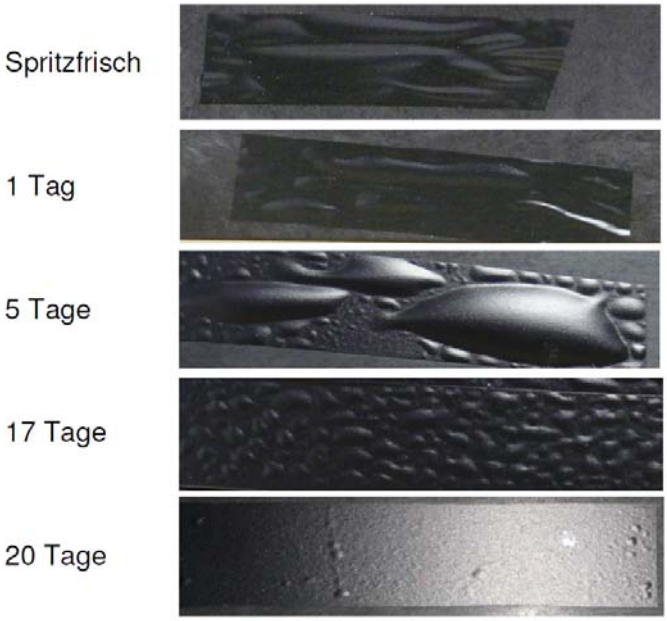
5.14.3 Zeichnungseintrag

Grammer AG	Für Einzelteilzeichnung in Zeile 2 des Werkstoff-/Material-Feldes; wird direkt über Profilkarte eingetragen
OEM-Zeichnungen	Nach Vorgaben der OEM (noch keine Vorgaben bekannt)
Teilekennzeichnung	Wie Kompaktspritzguss, keine weiteren Angaben gefordert nach VDA260

5.15 Oberflächenveredelung und nachfolgende Fertigungsprozesse

5.15.1 Ausgasung von MuCell® Bauteilen

Spritzfrische Bauteile sollten nicht in einem nachfolgenden Prozess verwendet werden, da das im Bauteil gelöste Gas nach dem Spritzgussprozess wieder aus dem Material austritt.



Ausgasungsblasen von aufgebrachten Klebestreifen auf dem MuCell® Bauteil

5.15.2 MuCell® bei Sichtbauteilen – Freigabe notwendig!

Für den Einsatz des MuCell® Verfahrens für Sichtbauteile ist die Freigabe durch den Leiter Verfahrenstechnik notwendig.

Dies ist beim Phasenübergang explizit zu dokumentieren.

Grund: Bauteile weisen meist eine schlierenbehaftete Oberfläche auf und sind deshalb für die üblichen A-Sichtoberflächenanforderungen der OEMs nicht geeignet!

5.15.3 MuCell® bei folienkaschierten Bauteilen – Freigabe notwendig!

Für den Einsatz des MuCell® Verfahrens für folienkaschierte Bauteile ist die Freigabe durch den Leiter Verfahrenstechnik notwendig.

Dies ist beim Phasenübergang explizit zu dokumentieren.

Grund: Bauteile gasen nach dem Spritzguss noch aus!

Der Einfluss auf nachfolgende Prozesse ist noch nicht abschließend geklärt.

5.15.4 MuCell® für beflockte Bauteilen – Freigabe notwendig!

Für den Einsatz des MuCell® Verfahrens für beflockte Bauteile ist die Freigabe durch den Leiter Verfahrenstechnik notwendig.

Dies ist beim Phasenübergang explizit zu dokumentieren.

Grund: Bauteile gasen nach dem Spritzguss noch aus!

Der Einfluss auf nachfolgende Prozesse ist noch nicht abschließend geklärt.

5.15.5 MuCell® bei lackierten Bauteilen – nicht zulässig!

Der Einsatz des MuCell® Verfahrens ist für lackierte Bauteile nicht freigegeben.

Grund: Bauteile gasen nach dem Spritzguss noch aus!
MuCell® Bauteile weisen Oberflächenfehler auf!

5.15.6 MuCell® für Schweißprozess – zulässig

MuCell® Bauteile können nach einer Stunde nach der Spritzgussfertigung verschweißt werden. Noch kürzere Prozesstaktung wurde noch nicht getestet.

Davon abgesehen ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede zu kompakten Bauteilen.

Auch stellt das Verschweißen von Kompakt-Bauteilen mit MuCell® Bauteilen keine Probleme dar.

5.16 Auslegung Spritzgusswerkzeug

Vorgaben siehe Werkzeuglastenheft
„F_012_002 Lastenheft zur Anfrage und Beschaffung von Spritzgusswerkzeugen“ im GBS

6 Mitgeltende Unterlagen

Lastenheft zur Anfrage und Beschaffung von Spritzgusswerkzeugen	F_012_002

7 Änderungen

Keine