

Chemisches und physikalisches Schäumen von Thermoplasten – eine Gegenüberstellung

Volker Gründel
Sales Manger



Wirth Innovationstage - 24.09.2021

Agenda

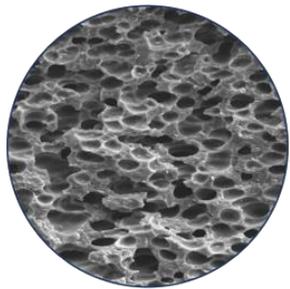
- Trexel – kurz vorgestellt
- Gase N₂ und CO₂ – die Unterschiede
- Entstehung und einbringen des Gases; Einbringungsmenge
- Kunststoffauswahl
- Zellstruktur und Gewichtsreduktion
- Prozess
- Investment und operative Kosten
- Fazit – Vor- und Nachteile beider Verfahren

Agenda

- Trexel – kurz vorgestellt
- Gase N₂ und CO₂ – die Unterschiede
- Entstehung und einbringen des Gases; Einbringungsmenge
- Kunststoffauswahl
- Zellstruktur und Gewichtsreduktion
- Prozess
- Investment und operative Kosten
- Fazit – Vor- und Nachteile beider Verfahren

Trexel – Experts in Foaming

- Technologieführer MuCell®
- Einsatz bei Spritzgießen und Blasformen
- Lieferant für chemisches Treibmittel TecoCell®
- Über 20 Jahre Erfahrung und Know How.
- Weltweit über 500 Systemanlagen

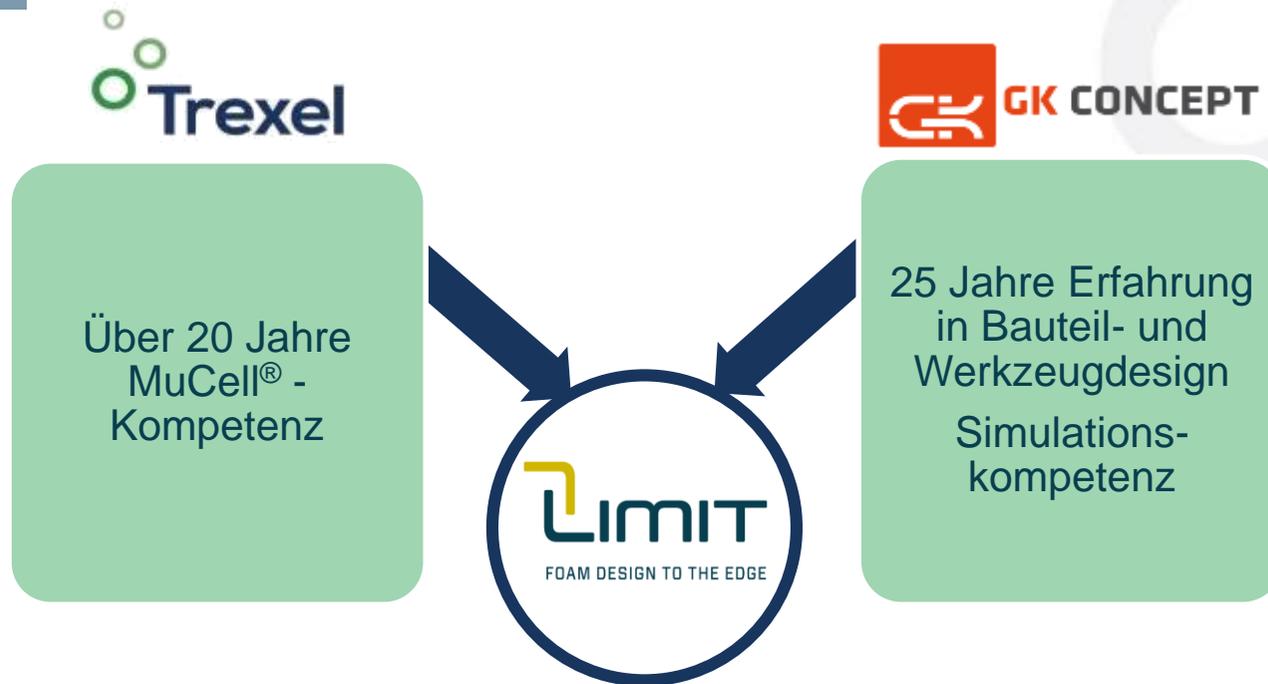


MuCell

TecoCell



Gemeinsam Stärker - Ein Joint Venture, wie es im Buche steht



- **Schäumgerechte Bauteilentwicklung, Moldflow und FEM- Simulation**
- **Kostenfreier Feasibility Check – Optimierungspotential für das Schäumen**
- **Bauteildesign und Redesign**
- **Werkzeugkonzepte und Beschaffung**

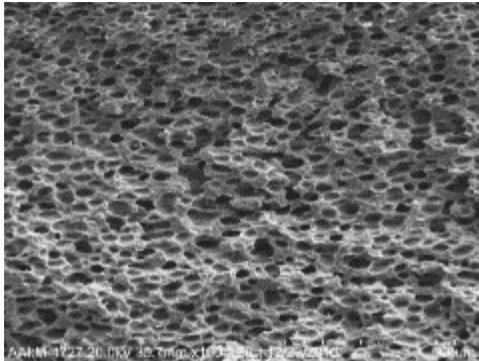
Agenda

- Trexel – kurz vorgestellt
- Gase N₂ und CO₂ – die Unterschiede
- Entstehung und einbringen des Gases; Einbringungsmenge
- Kunststoffauswahl
- Zellstruktur und Gewichtsreduktion
- Prozess
- Investment und operative Kosten
- Fazit – Vor- und Nachteile beider Verfahren

Gase – N₂ und CO₂ – die Unterschiede

N₂

- Schäumphase sehr schnell und energisch
- hohe “Schäumenergie”.
- Wirkender Gasdruck von ca. 30bar



CO₂

- “langsamer” Übergang in die Schäumphase
- Vorteile bei transparenten Bauteilen mit dünnen Wandstärken (Packaging)
- niedrigere “Schäumenergie”.
- Wirkender Gasdruck von ca. 10bar



- Beide Treibgase in der MuCell[®] - Technologie einsetzbar
 - Chemische Treibmittel meist nur CO₂

Gase – N2 und CO2 – die Unterschiede

N2

- homogene und feinporige Zellstruktur von 10-50µm (Ausnahme ungefüllte Materialien)
- Schlierenbildung an Oberfläche
- Sichtteile nur mit spezieller Werkzeugtechnologie oder optimierte Materialtypen



MuCell® mit optimierten Material

CO2

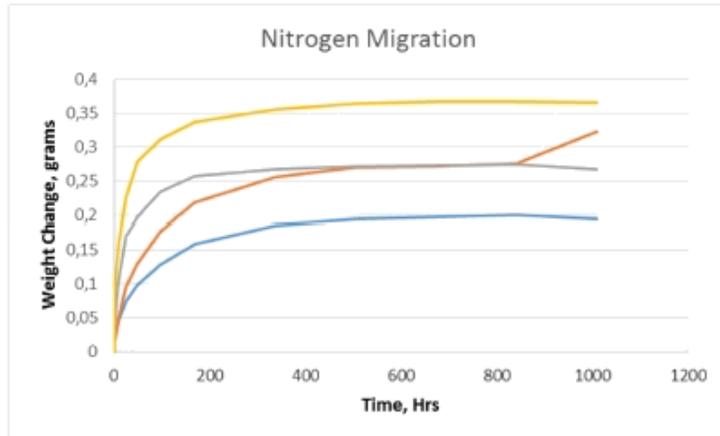
- Grobporigere Zellstruktur von 50-200µm (Ausnahme ungefüllte Materialien)
- Homogenere Oberfläche
- Geringere Schlierenbildung
- Einsatz von chem. Treibmittel für Sichtteile mit Narbung/Struktur bereits im Einsatz



Gase – N2 und CO2 – die Unterschiede

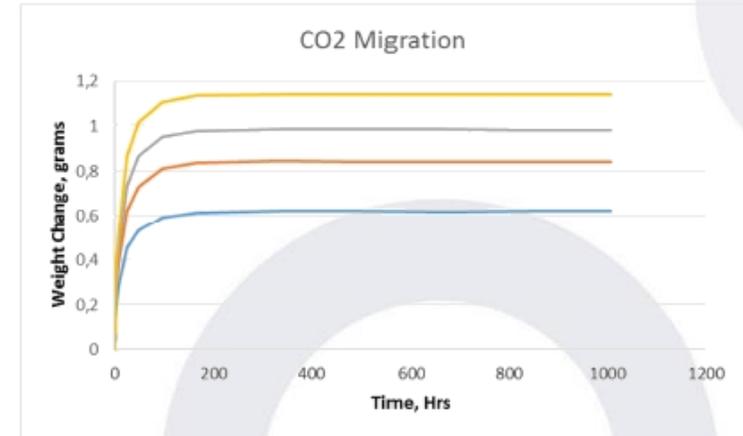
N2

- Sehr geringer Verbrauch (0,2% – 1%)
- Langsames Ausgasen aus Bauteil



CO2

- 3-fache Menge notwendig für gleiche Resultate wie bei N2 (nur bei MuCell®)
- Ausgasung 2mal so schnell wie N2
 - Vorteil für Folgeprozesse wie Lackieren, Laminieren etc.



Agenda

- Trexel – kurz vorgestellt
- Gase N₂ und CO₂ – die Unterschiede
- Entstehung und einbringen des Gases; Einbringungsmenge
- Kunststoffauswahl
- Zellstruktur und Gewichtsreduktion
- Prozess
- Investment und operative Kosten
- Fazit – Vor- und Nachteile beider Verfahren

Entstehung bzw. Quelle des Gases

Physikalisches Schäumen

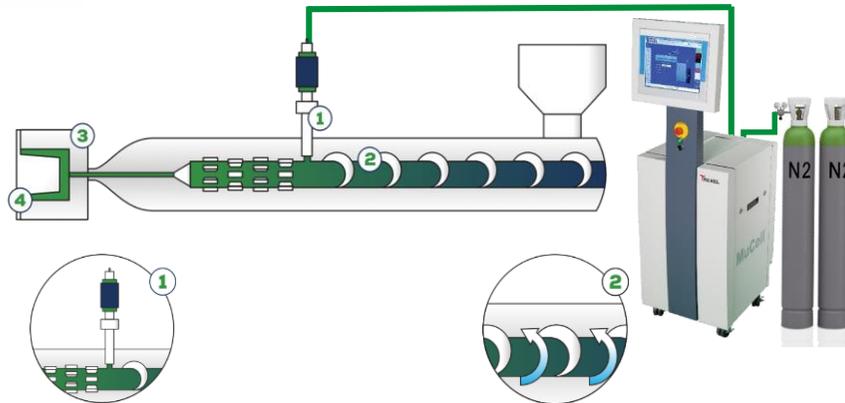
- N₂:
 - 78% in Umgebungsluft
 - Verwendung von Gasflaschen
 - technische Gewinnung durch Linde-Verfahren (Verflüssigung von Luft und deren anschließender fraktionierter Destillation)
 - Stickstoffgenerator in der Fertigung
- CO₂:
 - Industrielle Gewinnung von reinem Kohlenstoffdioxid bei der Kohleverbrennung

Chemisches Schäumen

- Zersetzung des chem. Treibmittels durch Wärmezufuhr
- Zersetzungsreaktion exotherm oder endotherm
- Exotherme Treibmittel
 - energiefreisetzende Reaktion
 - Bildung von Säure möglich
 - höhere Kühlleistung erforderlich
- Endotherme Treibmittel
 - energieabsorbierende Reaktion
 - bessere Prozesskontrolle
- Bei der Reaktion entstehen immer Nebenprodukte
 - z.B. Wasser, Säuren
 - Negativer Einfluss auf Materialeigenschaften und Geruch möglich
 - Korrosion und Ablagerung!

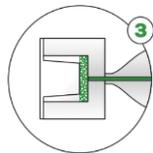
Einbringung des Gases

Physikalisches Schäumen

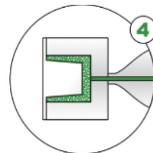


Präzise Gasinjektion bei
Plastifizierung (N₂/CO₂)

Homogenes Mischen
→ einphasige Lösung

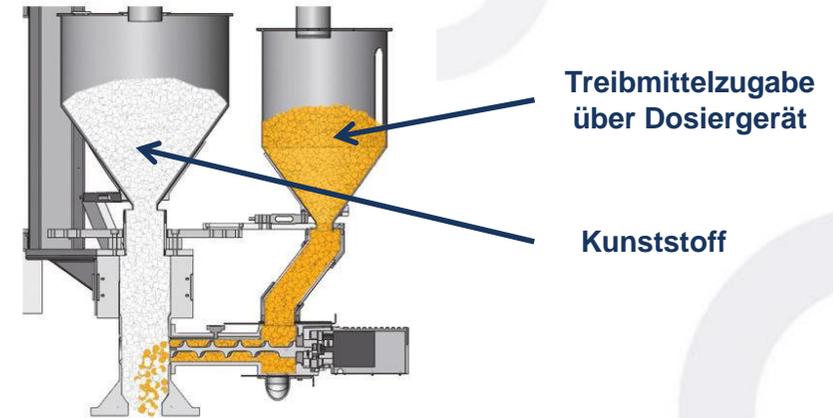


Einspritzen und
Zellwachstum



Zellwachstum eliminiert
Nachdruck

Chemisches Schäumen



Treibmittelzugabe
über Dosiergerät

Kunststoff

- Meist als Masterbatch
- 50% Trägerpolymer, 50% Treibmittel und Füller als Nukleierungspunkte
- Durch chemische Reaktion (Sekundärprozess) wird das zum Schäumen genutzte Gas (meist CO₂) freigesetzt

Einbringungsmenge und Dosierung

Physikalisches Schäumen

- **Präzise Gasdosierung und Regelung bei MuCell®- Technologie**
 - Genauigkeit von 0,01 bis 0,1g (abhängig von notwendiger Durchflussmenge)
- **MuCell® - N2- Dosierung von 0,2 bis 1 Gewichtsprozent, CO2**
- **Präzise Prozessführung und hohe Wiederholgenauigkeit bei MuCell® - Technologie**
- **Andere Verfahren, z.B. Gaszuführung über Trichter → Reproduzierbarkeit und Gasmenge herausfordernd.**

Chemisches Schäumen

- Zuführung über Dosiergerät (volumetrisch oder gravimetrisch)
- Handeinmischung nicht zielführend
- Übliche Dosierungen zwischen 1 und 6 Gewichtsprozent Masterbatch (TecoCell® nur 0,75%- 2,5%!)
- Gasausbeute an CO2 pro Gramm Masterbatch
- Je höher Wert, umso weniger Treibmittel notwendig
- Prozessführung nur über Temperatur und Schneckendrehzahl
 - Schwankungen in Reproduzierbarkeit

Agenda

- Trexel – kurz vorgestellt
- Gase N₂ und CO₂ – die Unterschiede
- Entstehung und einbringen des Gases; Einbringungsmenge
- **Kunststoffauswahl**
- Zellstruktur und Gewichtsreduktion
- Prozess
- Investment und operative Kosten
- Fazit – Vor- und Nachteile beider Verfahren

Physikalisches Schäumen

- Jeder thermoplastische Kunststoff
- Ausnahme: PVC – übersteht die Scherung der MuCell®-Schnecke nicht
- Auch TPE´s (Achtung bei Dichtfunktion)
- Hochleistungskunststoffe wie PPS oder PEEK kein Problem
- Ungefüllte Materialien geringerem Ergebnis
- Gefüllte Materialien bestes Potential

Chemisches Schäumen

- Paradeanwendungen bei PP und PE
- Mittlerweile auch PA´s
 - TecoCell® GT von Trexel mit extrem geringer Wasserbildung
 - Achtung bei anderen Treibmitteln → enorme Wasserbildung! (Korrosion)
- Bei Materialien mit höherem Schmelzpunkt
 - Reaktion in der Schnecke bereits vor Kompressionszone möglich
 - Gas kann durch Trichter entweichen
- Trexel's TecoCell H1 und GT für ein breites Materialspektrum einsetzbar

Agenda

- Trexel – kurz vorgestellt
- Gase N₂ und CO₂ – die Unterschiede
- Entstehung und einbringen des Gases; Einbringungsmenge
- Kunststoffauswahl
- **Zellstruktur und Gewichtsreduktion**
- Prozess
- Investment und operative Kosten
- Fazit – Vor- und Nachteile beider Verfahren

Physikalisches Schäumen

- Gefüllte (GF, CF, Talc, Ruß, ...) Kunststoffe:
 - homogener und sehr feinporiger Schaum 10-50µm
- Ungefüllte Kunststoffe:
 - geringere Homogenität, etwas grobporigerer Schaum 100-200µm
 - Verbesserung mit 10% (Minimum) Füller (z.B. PP-T10 oder Nukleierungsmittel)

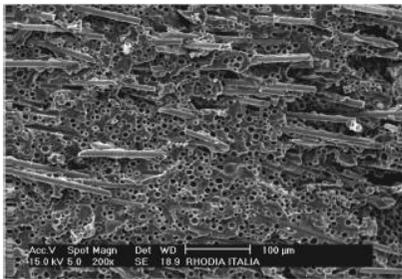


Fig. 5: Microcellular structure with MuCell®, material PA 6 GF35

Chemisches Schäumen

- Gefüllte (GF, CF, Talc, Ruß, ...) Kunststoffe:
 - homogener und feinporiger Schaum 50-200µm
- Ungefüllte Kunststoffe:
 - homogener und teils feinporiger Schaum 50-200µm (durch die dem Masterbatch zugesetzten Nanopartikel)

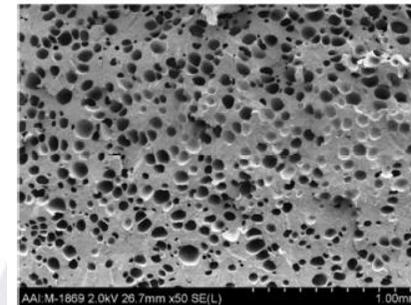


Fig. 6: Cell structure with TecoCell, material PP copolymer unfilled

Gewichtsreduktion

Physikalisches Schäumen

Chemisches Schäumen

Die erreichbare Gewichtsreduktion hängt maßgeblich von Wandstärke, MFI, Gasbeladung, Einspritzgeschwindigkeit und L/d Verhältnis ab

- Werte im optimalen Bereich bis zu 12% Gewichtsreduktion nur durch Schäumen erreichbar
- Ausnutzen der Designfreiheit für bis zu 40% Gewichtsreduktion

- Mit einer wirtschaftlichen Menge an Treibmittel (1-1,5%) ist im Schnitt eine 1-3% geringere Gewichtsreduktion möglich, als mit MuCell®
- Ausnutzen der Designfreiheit für höhere Gewichtsreduktion

Part:	2 mm sample plate			
Foaming process	Chemical foaming agent (TecoCell®)			MuCell®
Foaming agent content	1%	2%	3%	0.5% (N ₂)
Density reduction	4% - 5%	7% - 9%	9% - 12%	9% - 12%

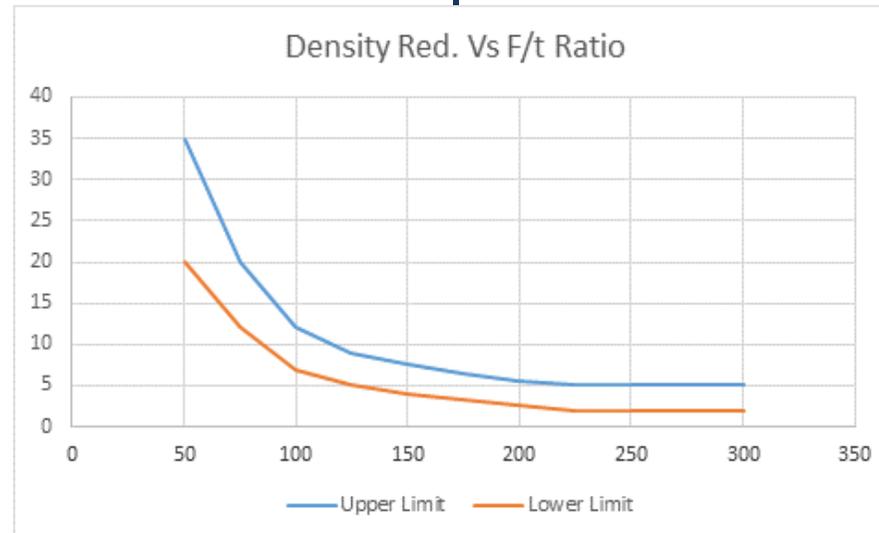
Gewichtsreduktion - Einfluss L/d (Fließweglänge zu Wandstärke) - Verhältnis

Physikalisches Schäumen

- Etwas höhere Gasbeladung und die hohe Schäumenergie bei N₂ bewirkt auch bei einem L/d von 200 und teilweise auch darüber (hoher MFI) noch immer eine Gewichtsreduktion von 5%

Chemisches Schäumen

- Aufgrund geringerer Gasmenge bei chemischen Treibmitteln und niedrigeren Schäumenergie von CO₂ ist ein L/d - Verhältnis von über 150 nicht mehr wirtschaftlich



Agenda

- Trexel – kurz vorgestellt
- Gase N₂ und CO₂ – die Unterschiede
- Entstehung und einbringen des Gases; Einbringungsmenge
- Kunststoffauswahl
- Zellstruktur und Gewichtsreduktion
- **Prozess**
- Investment und operative Kosten
- Fazit – Vor- und Nachteile beider Verfahren

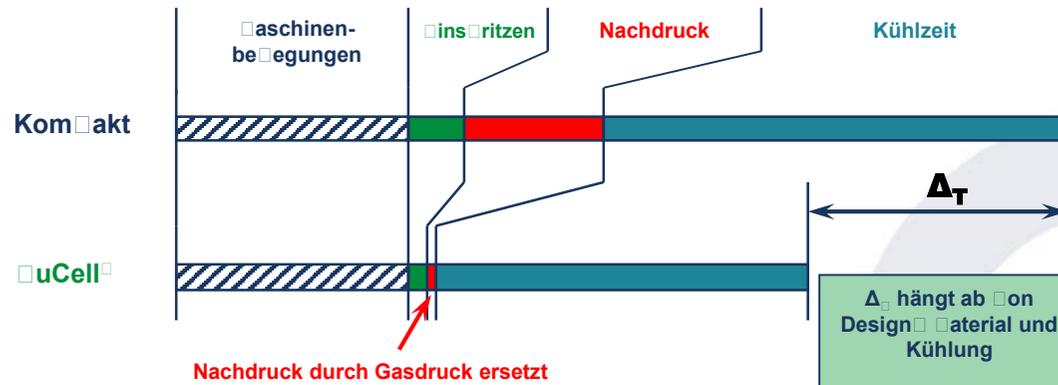
Physikalisches Schäumen

- Einsparung Zykluszeit durch Gasdruck (Nachdruck wird eliminiert)
- Hot Spots und Massenanhäufungen vermeiden (Gefahr durch Post- Blow)
- Aufgabenstellung prinzipiell bei beiden Schäumarten gleich, aber:

- Gasdruck von 30 bar bei N2 birgt höhere Wahrscheinlichkeit für Post Blow
- Auch mit CO2 ist durch die höhere notwendige Gasbeladung Post- Blow möglich

Chemisches Schäumen

- Vorteil durch niedrigere Gasbeladung und geringerem Gasdruck (10bar)
- Möglichkeit, Dickwandige Bauteile (>4mm) zu schäumen



Physikalisches Schäumen

Chemisches Schäumen

Hauptgründe für Reduzierung der Schließkraft beim Schäumen:

- Unterfüllung
 - Eliminierung des Nachdruckes
 - Im Schnitt sind 25% (5% Gewichtsreduktion) bis 50% (9% Gewichtsreduzierung) geringere Schließkräfte möglich. (verglichen mit Kompaktspritzguss für identisches Bauteil und Werkzeug)
-
- | Physikalisches Schäumen | Chemisches Schäumen |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">▪ Beim physikalischen Schäumen niedrigere Materialviskosität.▪ Vor allem großer Einfluss bei Dünnwandanwendungen <1,5mm | <ul style="list-style-type: none">▪ „Power“ eines chemischen Treibmittels bei hohen L/d Verhältnissen nicht mehr ausreichend▪ Bei Dünnwandanwendungen sehr geringer positiver Effekt (Gewichts- und Schließkraftreduktion) |

Einstellbarkeit

Physikalisches Schäumen

- Bei MuCell® klar definiertes Volumen an Gas direkt in die Schmelze eingemischt
- Definiertes Volumen ist entscheidend für den Schaumprozess und die finale Zellenstruktur.
- Schäumprozess kann direkt durch Variation der Gasbeladung beeinflusst werden

Andere physikalische Schäumverfahren, die das Gas nicht direkt in die Schmelze einbringen, haben teilweise mit der Dosiergenauigkeit und dem hohen Gasverbrauch zu kämpfen

Chemisches Schäumen

- Zugegebene Menge an Treibmittel kann bestimmt werden
- Gas entsteht durch Einfluss von Temperatur und Scherung
- Nicht berechenbar, wie viel Gas gebildet wird
- Oder vorne ankommt ...
 - falsche Temperaturführung führt z.B. zu Gasverlust über den Trichter
- Variationen im Gasvolumen sind schwer zu erkennen
- Erhöhung des Treibmittelanteils führt nicht bindend zu mehr Gas im Prozess

Physikalisches Schäumen

- Mit MuCell® - Verfahren sind die Gaseinbringung und das Mischen des Gases in die Schmelze direkt überwachbar
- Gleichmäßigere Druckverteilung in der Kavität
 - Verringerung der Maßabweichung
 - engere Toleranzen
 - höhere Dimensionsstabilität

Chemisches Schäumen

- Chemische Reaktion, beeinflusst durch Temperatur und Scherung
- Daher eine Reihe von Einflüssen möglich
- Breites Verarbeitungsfenster erforderlich, um Schwankungen in der Reproduzierbarkeit auszugleichen
- Insbesondere Dünnwandanwendungen (<2,0mm) bringen chemische Treibmittel an Ihre Grenzen
- Leichter Nachteil gegenüber physikalischem Schäumen bezüglich Dimensionsstabilität durch mögliche Schwankungen im Prozess

Physikalisches Schäumen

- Potenzial zur Verzugsreduzierung durch Eliminierung der Nachdruckphase
- Gasdruck ist homogen in Kavität verteilt (anspritznah- und fern)
- Faktoren wie die Füllstofforientierung (z. B. bei Glasfasern) oder lokale Temperaturunterschiede können während des Entformens zu Verzug führen.
- Im Schnitt (je nach Bauteilgeometrie und Füllstoffen) Verzugs minderungen zwischen 30 und 50% möglich
- MuCell® - Technologie höherer Einfluss auf Verzugs minderung

Chemisches Schäumen



Vergleich Verzugs minderung 3mm Testplatte Material PP GF15

Agenda

- Trexel – kurz vorgestellt
- Gase N₂ und CO₂ – die Unterschiede
- Entstehung und einbringen des Gases; Einbringungsmenge
- Kunststoffauswahl
- Zellstruktur und Gewichtsreduktion
- Prozess
- **Investment und operative Kosten**
- Fazit – Vor- und Nachteile beider Verfahren

Investment chemisches Schäumen

Version	Maschinenmodifikation	Auswirkung auf den Prozess	Zusätzliche Kosten (Maschineninvest)
Standard Maschine	Wie konventioneller Spritzguss	Unkontrolliertes Schäumen von reaktiven Treibmitteln im Zylinder, → zurückdriften der Schnecke während der Standzeit → Ineffizienter Gebrauch von Gas.	0,- EUR
Basis „Schaum“-Paket	Nadelverschlussdüse Maschine, Schneckenpositions-regelung	Verhindert vorzeitiges Schäumen der Schmelze nach Zugabe des Treibmittels im Zylinder. Verbesserung der Gasausbeute und des Gasdrucks in der Kavität.	15.000,- EUR – 25.000,- EUR (grobe Richtwerte)
Vollausgestattete Spritzgussmaschine für das chemische Schäumen	Nadelverschlussdüse Maschine, Schäum Schnecke mit Barriere, Schneckenpositions-regelung, Dosiersystem Treibmittel	Für höchstmögliche Reproduzierbarkeit des Schäumprozesses und maximale Ausbeute des Gases	Von 25.000,- EUR Aufwärts (abhängig von Schneckengröße)

Investment physikalisches Schäumen (am Bsp. MuCell®)

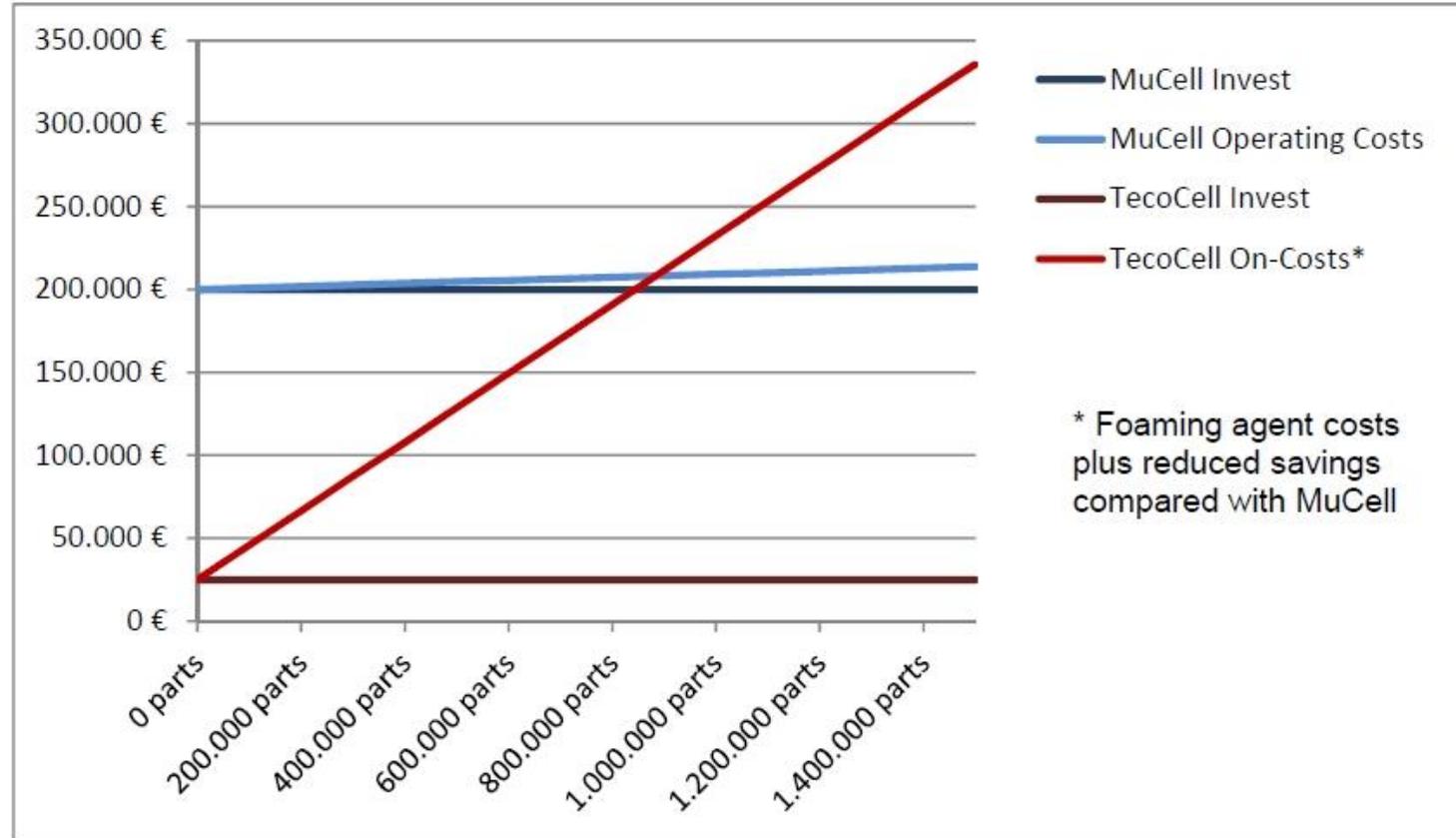
- Equipment:
 - Nadelverschlussdüse Maschine
 - Schneckenpositionsregelung
 - MuCell® - Schnecke (Spezialgeometrie)
 - Bohrungen im Zylinder für Gasinjektor
 - Gasversorgungseinheit (T100, T200, T300 oder T400 oder Satelliten- Lösung)
- Gesamtkosten Investment in Spritzgussmaschinenausstattung und Schäum- Equipment:
 - Zwischen 50.000,- EUR und 250.000,- EUR (abhängig von Maschinengröße)



Vergleich operative Kosten physik. und chem. Schäumen

- Beispielberechnung (Grafik auf Folgeseite)
 - Kapitalinvestitions- und Betriebskosten für MuCell® im Vergleich zu TecoCell®.
- Berechnungsgrundlage
 - 1.000g Teilgewicht Kompakt mit PP T20;
 - Gewichtsreduzierung mit chemisches Treibmittel: 7%
 - Gewichtsreduzierung mit MuCell®: 9%
 - Treibmittelkosten = 7 Euro/kg
 - Treibmittelanteil = 1,5%
 - Stickstoffkosten = 2 Euro/kg
 - Stickstoffanteil = 0,5%
 - Materialkosten (PP T20) = 1,40 Euro/kg
 - Schneckendurchmesser = 105 mm

Vergleich operative Kosten physik. und chem. Schäumen



Fallbeispiel: individuelles Ergebnis abhängig von Schussgewicht, Gasbeladungen, Gaspreise, Gewichtsreduktionen und Materialpreise

Agenda

- Trexel – kurz vorgestellt
- Gase N₂ und CO₂ – die Unterschiede
- Entstehung und einbringen des Gases; Einbringungsmenge
- Kunststoffauswahl
- Zellstruktur und Gewichtsreduktion
- Prozess
- Investment und operative Kosten
- Fazit – Vor- und Nachteile beider Verfahren

Fazit – Vor- und Nachteile der Verfahren

Physikalisches Schäumen

- Hauptvorteile
 - Geringe laufende Kosten
 - Hohe Prozessstabilität
 - Direkte Steuerung des Prozesses
 - Keine Zersetzungsrückstände
 - Höhere Gewichts- und Schließkraftreduktionen, vor allem bei Wandstärken <2mm
- Hauptnachteile
 - höhere Investitionskosten
 - Oberflächenqualität
 - Grobporiger, inhomogener Schaum bei ungefüllten Kunststoffen

Chemisches Schäumen

- Hauptvorteile
 - niedrige Investitionskosten
 - Akzeptable Oberflächenqualität erzielbar mit der richtigen Narbung
 - einfache Prozessführung
 - Etwas geringere Post-Blow Bildung
- Hauptnachteile
 - hohe laufende Kosten
 - Zersetzungsrückstände im Bauteil
 - indirekte Einstellbarkeit
 - Geringere Dichtereduktionen
 - Geringere Prozessstabilität

Die grundlegenden Vorteile des Schaumspritzgießens bestehen bei beiden Verfahren gleichermaßen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Volker Gründel

Sales Manager

Mail: v.gruendel@trexel.com

Mobil: +49 (172) 58 87 222



Wirth Innovationstage - 24.09.2021